



ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ

Споруди транспорту

МОСТИ І ТРУБИ СТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ

Правила проектування

ДБН В.2.3-26:2010

Видання офіційне

Київ
Мінрегіонбуд України
2011

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО:	Національний транспортний університет (м. Київ)
РОЗРОБНИКИ:	А. Дехтяр д-р техн. наук; А. Лантух-Лященко , д-р техн. наук (науковий керівник); К. Медведєв , канд. ф-м. наук; А. Рубльов , канд. техн. наук; В. Снитко , канд. техн. наук; І. Святишенко
За участю:	ТОВ "Укрінсталькон" ім. В.М.Шимановського (А. Гром , канд. техн. наук; М. Микитаренко , канд. техн. наук; А. Перельмутер , д-р техн. наук) Інститут з вишукування і проектування автомобільних доріг і мостів "Київсоюзспляхпроект" (В. Грищенко) Проектне бюро ВАТ "Мостобуд" (м. Київ) (М. Корнієв , канд. техн. наук; Н. Саричева)
	Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М.Шульгіна (М. Парубець) Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України (Л. Лобанов , академік НАН України, д-р техн. наук; В. Кир'ян , член-кор. НАН України, д-р техн. наук; В. Книш , канд. техн. наук)
2 ПРИЙНЯТО І НАДАНО ЧИННОСТІ:	наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 28.12.2010 р. № 556, чинні з 1 жовтня 2011 р.
3 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ	На заміну ДБН В.2.3-14:2006: у частині: Глава 4. Сталеві конструкції Додаток Х. Коефіцієнт умов роботи канатів Додаток Ц. Коефіцієнти для розрахунку стійкості стержнів та балок Додаток Ю. Розрахунок стійкості полиць та стінок елементів, підкріплених ребрами жорсткості Додаток Я. Коефіцієнти для розрахунку на витривалість Додаток Д. Оцінка витривалості сталевих конструкцій Додаток Ф. Розрахунок міцності та стійкості ортотропної плити проїзної частини

Право власності на цей документ належить державі.
Цей документ не може бути повністю чи частково відтворений,
тиражований і розповсюджений як офіційне видання без дозволу
Міністерства регіонального розвитку та будівництва України

© Мінрегіонбуд України, 2011

ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ

Споруди транспорту

МОСТИ І ТРУБИ. СТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ.

Правила проектування

Сооружения транспорта

МОСТЫ И ТРУБЫ. СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ.

Правила проектирования

Transport construction

BRIDGES AND CULVERTS. STEEL CONSTRUCTION DESIGN CODE.

Design regales

Чинні від 2011-10-01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Ці Норми встановлюють правила проектування сталевих конструкцій залізничних і автодорожніх мостів та дорожніх труб, пішохідних мостів і пішохідних тунелів під залізницями, автомобільними і міськими дорогами, прогонових будов та опор розвідних мостів, нових споруд, а також таких, що ремонтуються або реконструюються.

1.2 Норми розповсюджуються на проектування, ремонт і реконструкцію мостів із переліку, наведеного у ДБН В.2.3-22.

1.3 Норми охоплюють сталеві конструкції, які виготовлено, змонтовано та прийнято незалежною інспекцією відповідно до чинних норм і які експлуатуються в умовах мінімальних температур до -40°C включно.

Примітка 1. Ці Норми охоплюють сталеві прогонові будови зі сталевими плитами проїзної частини, а також прогонові будови, в яких плита проїзної частини виконана із залізобетону, але не об'єднана для спільної роботи зі сталевими балками.

Примітка 2. За розрахункову мінімальну температуру прийнято температуру повітря найбільш холодної доби в районі будівництва із забезпеченістю 0,98.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Будівельні норми та стандарти, на які є посилання, наведено в додатку А.

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Терміни та визначення понять, індекси в позначеннях та пояснення до них наведено в додатку Б.

4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

4.1 Ці Норми встановлюють правила і вимоги, за якими проектується сталеві конструкції транспортної споруди, що відповідають своєму функціональному призначенню та мають такий рівень надійності, який гарантує безпечну експлуатацію протягом проектного строку служби.

4.2 При проектуванні сталевих конструкцій мостів рекомендується:

- при виборі статичних схем мосту, конструкцій прогонових будов та конструкцій вузлів і елементів віддавати перевагу таким, в яких заміна, ремонт та експлуатація елементів виконуються з меншими втратами;

- вибирати матеріали за критеріями техніко-економічних показників (можливість загального зменшення ваги конструкції при застосуванні прокату високої міцності та інших механічних властивостей прокату, надійність виконання монтажних зварних з'єднань та з'єднань на високоміцних болтах, вартість прокату тощо);

- оцінювати напружений стан конструкцій з урахуванням похибок, що можуть виникнути в процесі монтажу (відхили у розмірах та формі монтажних елементів, формі складених конструкцій статично невизначених систем, відхили у величинах опорних реакцій тимчасових та постійних опор, накопичення зварювальних деформацій та напружень при складанні);

- надавати перевагу зварним з'єднанням перед болтовими та болто-зварними, за винятком з'єднань, у яких розтяг спрямований поперек прокату, та при кріпленні елементів залізничних мостів до наскрізних головних ферм.

4.3 Проектна довговічність конструкцій мостів забезпечується якісним виготовленням, застосуванням якісних матеріалів для захисту від корозії та гідроізоляції, а також наступними проектними рішеннями:

- конструктивні елементи та їх компоненти повинні проектуватися з урахуванням утомленості та випадкових подій, що можуть відбутися в період строку служби мосту;

- несні конструкції автодорожніх мостів, розташовані поруч із проїздом, слід захистити від пошкодження при наїзді транспорту в результаті деформацій огорожі;

- передбачати можливість огляду, очищення, фарбування та ремонту всіх частин конструкції; перевагу віддавати елементам з герметичними замкненими перерізами; за відсутності на конструкціях постійних оглядових пристроїв передбачати можливість їх тимчасового закріплення;

- компоненти, які не можуть бути розроблені з достатньою надійністю, щоб досягти проектного строку служби, мають бути змінними. Наприклад, водовідвід; огорожі та протишумові бар'єри; опорні частини; деформаційні шви; підвіси, ванти тощо;

- якщо міст має елементи, що можуть бути замінені, то для їх безпечної заміни слід передбачати спеціальні конструктивні елементи, а проектна ситуація під час виконання заміни має бути заздалегідь розглянута;

- для збільшення довговічності покриття проїзної частини автодорожніх мостів допускається збільшувати товщину елементів ортотропної плити, параметри яких знайдено за критеріями міцності, стійкості та витривалості;

- за неможливості нормальної експлуатації збільшувати товщину прокату елементів, розташованих у ґрунті або у воді, на корозію під час експлуатації (наприклад, стінок труб опор або фундаментів опор);

- збільшення довговічності сталевих ортотропних плит досягається за рахунок застосування покриття проїзду з епоксид-асфальту або з мастик-асфальту і якісного гідроізоляційного матеріалу, який забезпечує гарантований зв'язок плити з покриттям.

4.4 У робочих кресленнях КМ слід надавати всю необхідну інформацію для складання креслень КМД, а саме:

- надавати перелік марок сталей, метизів та зварювальних матеріалів, які можуть бути застосовані; у необхідних випадках проектувальник може вказувати тільки одну конкретну марку сталі, конкретні вироби або конкретний зварювальний матеріал;

- наводити типи, способи та перерізи швів зварювання; вказувати тип обробки контактних поверхонь у фрикційних з'єднаннях;

- надавати монтажну схему з переліком всіх монтажних елементів, елементів стиків та метизів із зазначенням ваги кожного з елементів; поділ конструкцій на монтажні елементи слід виконувати з урахуванням їх габаритів та ваги, а також оцінювати можливості їх виготовлення, транспортування та складання;

- вказувати повну систему захисту від корозії (а не тільки шарів, що наносяться на заводі при виготовленні); у місяцях можливого накопичення та застою води при експлуатації слід передбачати отвори діаметром не менше ніж 25 мм;

- встановлювати методи та обсяги контролю при виготовленні конструкцій; у разі необхідності встановлювати допуски на геометрію елементів, якщо вони відмінні від наведених у чинних стандартах.

4.5 Усі конструктивні відмінності у кресленнях КМД у порівнянні з кресленнями КМ повинні бути погоджені з авторами проекту до початку виготовлення конструкцій. Завод-виробник конструкцій також має погодити з авторами проекту марки прокату сталі, зварювальні матеріали та метизи до початку їх закупівлі.

5 МАТЕРІАЛИ ТА НАПІВФАБРИКАТИ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

5.1 Для несних та допоміжних конструкцій мостів слід використовувати матеріали та напівфабрикати, наведені в додатку Г:

- сталевий прокат (листовий, сортовий, фасонний);

- труби та гнуті профілі;

- відливки та поковки з вуглецевої та легованої сталі;

- високоміцні та звичайні метизи;

- зварювальні матеріали, з дотриманням загальних вимог до сталевих прокату.

Складові елементи мостів, такі як канати, опорні частини та деформаційні шви приймаються відповідно до додатків С, Т та У.

5.2 Розрахункові опори прокату для різних видів напружених станів визначаються за формулами, наведеними у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Розрахункові опори прокату для різних видів напружених станів

Напружений стан	Розрахункові опори прокату
Розтяг, стиск та згин:	$R_y = R_{yn} / \gamma_m$
- за границею текучості;	
- за тимчасовим опором	$R_u = R_{un} / \gamma_m$
Зсув	$R_s = 0,58 R_{yn} / \gamma_m$
Змінання торцевої поверхні (за наявності підгонки)	$R_p = R_{un} / \gamma_m$
Змінання місцеве у циліндричних шарнірах (цапфах) при щільному дотику	$R_{fp} = 0,5 R_{un} / \gamma_m$
Діаметральний стиск котків (при вільному дотику в конструкціях з обмеженою рухомістю)	При $R_{un} \leq 600$ МПа (5886 кгс/см ²) $R_{cd} = 0,025 R_{un} / \gamma_m$; при $R_{un} > 600$ МПа (5886 кгс/см ²) $R_{cd} = [0,042 \cdot 10^{-6} (R_{un} - 600)^2 + 0,025] R_{un} / \gamma_m$, МПа; $R_{cd} = [0,0438 \cdot 10^{-8} (R_{un} - 5886)^2 + 0,025] R_{un} / \gamma_m$, кгс/см ²
Розтяг у напрямку товщини прокату t при t до 60 мм	$R_{th} = 0,5 R_{un} / \gamma_m$
Примітка. γ_m – коефіцієнт надійності за матеріалом визначають відповідно до таблиці 5.2.	

5.3 Величини коефіцієнтів надійності за матеріалом сталевих прокату приймають за таблицею 5.2.

Таблиця 5.2 - Коефіцієнти надійності за матеріалом сталевих прокату

Сталевий прокат згідно з додатком Г	Коефіцієнт надійності за матеріалом γ_m
Наведений у таблиці Г.1 додатка Г	1,1
Наведений у розділі Г.10 додатка Г	1,1
Наведений у таблицях Г.2 та Г.3 додатка Г	1,05

6 РОЗРАХУНКИ. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

6.1 Граничні стани

6.1.1 Розрахунки сталевих конструкцій базуються на двох групах граничних станів.

6.1.2 Граничні стани I групи - це аварійне руйнування конструкції від втрати міцності, стійкості форми або від появи тріщин утомленості.

Граничні стани за міцністю та стійкістю форми для сталевих конструкцій мостів можуть бути викликані:

- втратою міцності;
- втратою стійкості форми.

Граничні стани за витривалістю для сталевих конструкцій мостів можуть бути викликані появою тріщин утомленості від дії циклічних навантажень.

6.1.3 Граничні стани II групи характеризують стан, який викликає ускладнення або припинення нормальної експлуатації.

Граничні експлуатаційні стани для мостових сталевих конструкцій можуть бути викликані:

- надмірними пружними деформаціями;
- коливаннями та вібраціями від вітру та рухомого навантаження;
- збільшеними динамічними впливами від пошкоджень проїзної частини.

6.1.4 Експлуатаційна надійність мосту забезпечується виконанням наступних 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 збільшенню динамічних впливів оцінюються розрахунками витривалості елементів плит проїзду.

Якщо немає інших спеціальних вимог замовника, експлуатаційний граничний стан має прийматися згідно з чинними нормами.

Примітка. Аеропружні явища слід досліджувати для мостів комбінованих систем, вантових, висячих, аркових, рамних та мостів, у яких період власних коливань перевищує 0,5 сек. Оцінка коливань досліджується за частотами, амплітудами та прискореннями.

6.1.5 Кожен граничний стан конструкції або її елемента описують нерівністю

$E_d \leq R_d$	(6.1)
----------------	-------

де E_d - функція навантаження (значення розрахункового узагальненого впливу - зусилля, деформації тощо). Значення E_d знаходиться від дії характеристичних навантажень, помножених на коефіцієнти надійності γ_f та динамічні коефіцієнти $(1 + \mu)$;

R_d - функція опору (значення розрахункового узагальненого опору перерізу - зусилля, деформації тощо). Значення R_d - це частка від ділення його характеристичного значення на коефіцієнти γ_m та γ_r і множення на коефіцієнт m .

Прийняті позначки:

γ_f - коефіцієнт надійності за навантаженням;

$(1 + \mu)$ - динамічний коефіцієнт;

γ_m - коефіцієнт надійності за матеріалом елемента, виробу, з'єднання, з оцінки порогу витривалості тощо (таблиця 6.1);

γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю споруди згідно з ДБН В.2.3-22;

m - коефіцієнт умови роботи споруди, з'єднання, елемента (таблиця 6.2).

6.2 Зусилля, напруження та деформації в елементах конструкції знаходяться за умови пружної роботи конструкції або елемента, якщо це не призводить до помилок більше ніж на 5 %. Перерозподіл внутрішніх зусиль за рахунок пластичних деформацій у перерізах може враховуватися за умови спеціального обґрунтування. Навантаження, впливи та відповідні коефіцієнти приймаються згідно з ДБН В. 1.2-15.

6.3 Класи перерізів

6.3.1 Елементи і конструкції, що охоплені цими Нормами, в залежності від прийнятого в розрахунках їх напружено-деформованого стану, розподіляються на два класи перерізів:

- 1-й клас - пружна робота перерізу (напруження не перевищують розрахункового опору текучості, що дорівнює $R_{y,m}/\gamma_r$);

- 2-й клас - робота перерізу характеризується появою напружень текучості, що дорівнюють $R_{y,m}/\gamma_r$, по всій висоті балки (пластичний шарнір).

6.3.2 Вимоги і обмеження щодо застосування класів перерізів наводяться в додатку В.

6.4 Розрахункову схему конструкції слід приймати відповідно до її проектно-геометричної схеми, при цьому будівельний підйом і деформації від навантаження, як правило, не враховуються.

Зусилля в елементах і переміщення сталевих мостових конструкцій визначаються з умови їх роботи з перерізами бруто.

Геометричну нелінійність, викликану переміщенням елементів конструкцій, слід враховувати при розрахунку систем, які викликають зміну зусиль і переміщень більше ніж на 5 %. Фізичну нелінійність звитих канатних елементів, що викликана повзучістю, слід враховувати при визначенні напружено-деформованого стану мосту.

При визначенні зусиль в елементах конструкцій зварні і фрикційні з'єднання на високоміцних болтах розглядаються як невіддатливі.

6.5 При розрахунку жорсткі з'єднання елементів у вузлах решітчастих ферм приймаються шарнірними, якщо конструкція зберігає свою незмінюваність, і при цьому для головних ферм відношення висоти перерізу до довжини елементів не перевищує 1:15.

Додаткові напруження в поясах ферм від деформації підвісок враховуються незалежно від відношення висоти перерізу до довжини елемента пояса.

Урахування жорсткості вузлів у решітчастих фермах допускається здійснювати наближеними методами, при цьому визначення осьових зусиль виконується за шарнірного розрахунковою схемою.

6.6 За всієї елементів прогонових будов приймається лінія, що з'єднує центри ваги їх перерізів. При визначенні положення центра ваги перерізу послаблення його отворами болтових з'єднань не враховується, а послаблення перфорацією приймається постійним по всій довжині елемента. При зміщенні осі елемента наскрізних ферм відносно лінії, що з'єднує центри вузлів, ексцентриситет слід враховувати:

- для I- та II-подібних, коробчастих, двовелерних елементів - 1,5 % висоти перерізу;

- для T- та H-подібних елементів - 0,7 % висоти перерізу.

Згинальні моменти від зміщення осей елементів розподіляються між усіма елементами, що сходяться у вузлі, пропорційно до їх жорсткості і обернено пропорційно до довжини. При цьому кожен згинальний момент приймається таким, що дорівнює добутку ексцентриситету на максимальну величину зусиль в даному елементі в основній розрахунковій системі.

В елементах в'язей із кутників з болтовими з'єднаннями, які центровані по рисках, найближчих до обухка, допускається ексцентриситет, що виникає, не враховувати.

6.7 При проектуванні необхідно забезпечувати просторову незмінюваність, міцність і витривалість, загальну і місцеву стійкість прогонових будов і опор у цілому, блоків, окремих елементів та їх частин, деталей і з'єднань під дією навантажень, що виникають при виготовленні, транспортуванні і монтажі, а також під впливом експлуатаційних навантажень.

6.8 При розрахунках міцності і витривалості конструкцій застосовують геометричні характеристики перерізів - нетто, а для розрахунків стійкості - бруто.

Площу нетто поперечного перерізу або його елементів отримують із площі перерізу бруто за винятком отворів і вирізів. Геометричні характеристики перерізу нетто елементів конструкцій знаходять як характеристики з найбільш невідгідним послабленням.

Для елементів, послаблених отворами під звичайні болти, при розрахунках міцності і витривалості приймають площі перерізу нетто. При розрахунках стійкості і жорсткості - площі перерізу бруто.

При розрахунках елементів із фрикційними з'єднаннями на високоміцних болтах на витривалість, стійкість і жорсткість приймають площі перерізу бруто; при розрахунках на міцність - площі перерізу нетто з урахуванням того, що половина зусиль, які припадають на даний болт, у розглянутому перерізі вже передано силами тертя.

6.9 При проектуванні гнучких елементів мостів слід враховувати можливість появи тріщин утомленості від вітрових навантажень.

6.10 Оцінку роботи елементів та з'єднань конструкцій виконують введенням коефіцієнтів надійності та коефіцієнтів умови роботи.

6.11 Коефіцієнт надійності для елементів та з'єднань приймають відповідно до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Коефіцієнт надійності для елементів та з'єднань

Область застосування	Коефіцієнт надійності γ_m
Коефіцієнт надійності за призначенням γ_n ¹⁾	$\geq 1,0$
Коефіцієнт надійності за розрахунком γ_u ²⁾	1,3
Для перерізів швів зварювання γ_{wm}	1,25
Для контактних поверхонь з'єднань на високоміцних болтах γ_{bh}	Таблиця Р.3.2
Для канатних розтягнутих елементів γ_m	1,6
¹⁾ Приймають таким, що дорівнює 1,0; коефіцієнт може бути збільшено розробником проекту до 1,1 для випадків, коли руйнація розрахункового елемента може призвести до руйнації мосту в цілому. ²⁾ Для елементів і з'єднань, які розраховуються з використанням розрахункового тимчасового опору R_{ct} .	

6.12 Коефіцієнт умов роботи для мостів і для елементів та з'єднань слід приймати відповідно до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Коефіцієнт умов роботи для мостів і для елементів та з'єднань

Сфера застосування	Коефіцієнт умов роботи m
Мости	
1 Елементи та їх з'єднання в прогонових будовах і опорах залізничних і пішохідних мостів при розрахунках на експлуатаційні навантаження	0,9
2 Елементи та їх з'єднання в прогонових будовах і опорах автодорожніх і міських мостів при розрахунку на експлуатаційні навантаження, а також для всіх мостів на навантаження, що виникають при виготовленні, транспортуванні і монтажі	1,0
Елементи та з'єднання	
3 Канати елементів мостів	Додаток С
4 Розтягнуті і стиснуті елементи з одиночних профілів, що прикріплені однією полицею (стілкою): - нерівнополічковий кутник, прикріплений меншою полицею;	0,7
- те саме прикріплений більшою полицею;	0,8
- рівнополічковий кутник;	0,75
- прокатний або складений швелер, прикріплений стійкою, або тавр, прикріплений полицею	0,9
5 Болтові з'єднання:	Додаток Р, п. Р.2.3
- на звичайних болтах m_{bf} ;	
- на високоміцних болтах m_{bh} ;	0,95
- переріз нетто накладок у з'єднаннях на болтах;	0,9
- затиснення анкерного болта	0,7
Примітка 1. Значення коефіцієнтів умов роботи за 1 і 2 застосовуються одночасно з коефіцієнтом, визначеним за 3 і 4 цієї таблиці.	
Примітка 2. У випадках, не обумовлених цією таблицею, слід приймати $m = 1,0$.	

7 РОЗРАХУНКИ МІЦНОСТІ

7.1 Елементи центрально-розтягнуті і центрально-стиснуті

7.1.1 Розрахунки міцності елементів, що зазнають центрального розтягнення або стискання силою N , виконуються за формулою

$\frac{N}{N_{Rd}} \leq 1,0 ;$	(7.1)
-------------------------------	-------

де N - осьова сила, що діє в перерізі;

N_{Rd} - розрахунковий опір перерізу.

Для перерізів з отворами розрахунковий опір N_{Rd} розтягу приймається меншим з двох значень

$N_{pl,Rd} = A_n \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r},$	(7.2)
---	-------

$N_{u,Rd} = A_n \frac{0,9 \cdot R_u \cdot m}{\gamma_u \cdot \gamma_r},$	(7.3)
---	-------

де m - коефіцієнт умов роботи, що приймають за таблицею 6.2;

γ_u - коефіцієнт надійності, що приймають за таблицею 6.1;

γ_r - коефіцієнт відповідальності, що приймають за таблицею 4.1 ДБН В.2.3.-22;

A_n - площа нетто згідно з 6.8.

Для перерізів з отворами розрахунковий опір при стисканні приймають таким, що дорівнює

$$N_{pl,Rd} = A_n \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (7.4)$$

7.2 Елементи, що знаходяться під дією згину

7.2.1 Пружні розрахунки міцності елементів для перерізів 1-го класу, що згинаються в одній з головних площин, виконують за формулою

$$\frac{M}{I_{xn}} y \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (7.5)$$

де I_{xn} - тут і далі в розрахунках міцності момент інерції перерізу нетто, визначений з урахуванням ефективних геометричних характеристик перерізів. Нерівномірності розподілу нормальних напружень по ширині плит враховуються введенням до розрахунків зменшеної ширини плит b_{ef} .

Оцінку ефективної ширини плит рекомендується виконувати за результатами розрахунків пружних просторових схем. Допускається оцінювати ефективну ширину плит відповідно до додатка Д.

Розрахунки елементів з урахуванням пластики для перерізів 2-го класу, що згинаються в одній з головних площин, виконують за формулою

$$\frac{M}{W_{pl}} \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (7.6)$$

де W_{pl} - пластичний момент опору; обмеження щодо застосування наводиться в додатку В.

7.2.2 Пружні розрахунки міцності елементів для перерізів 1-го класу, що згинаються в двох головних площинах, виконують для найбільш навантаженого волокна за формулою

$$\frac{M_x}{I_{xn}} y + \frac{M_y}{I_{yn}} x \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (7.7)$$

Згинальні моменти в перерізі та відстані від головних осей приймаються зі своїми знаками. Розрахунки елементів з урахуванням пластичної роботи для перерізів 2-го класу, що згинаються в двох головних площинах, виконують за формулою

$$\frac{M_x}{M_{pl,x,Rd}} + \frac{M_y}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1, \quad (7.8)$$

де $M_{pl,x,Rd} = \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r} W_{pl,x}$ та $M_{pl,y,Rd} = \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r} W_{pl,y}$ - згинальні моменти опору перерізу відносно осі x та y відповідно;

$W_{pl,x}$ та $W_{pl,y}$ - пластичні моменти опору відносно осі x та y відповідно.

7.3 Елементи, що знаходяться під дією осьової сили і згину

7.3.1 Пружні розрахунки міцності позациентрово-стиснутих, стиснуто-зігнутих, позациентрово розтягнутих і розтягнуто-зігнутих елементів для перерізів 1-го класу при згині в одній з головних площин виконуються за формулою

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_n} \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}. \quad (7.9)$$

При розтягу (сила N із знаком "+")	$M = M_I$.	(7.10)
--------------------------------------	-------------	--------

При розтягу (сила N із знаком "-")	$M = \frac{M_I}{1 + \frac{N}{N_s}}$	(7.11)
--------------------------------------	-------------------------------------	--------

де M_I - момент, що діє в розглядуваному перерізі;

$N_s = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$ - Ейлерова критична сила (зі знаком "+") у площині дії моменту, обчислена для відповідних закріплень стержня.

При гнучкості $\lambda \leq 60$ допускається приймати $M = M_I$.

При виконанні розрахунків за деформованою схемою завжди приймають $M = M_I$.

Розрахунки елементів з урахуванням пластичної роботи для перерізів 2-го класу, підданих дії осьової сили та згину, виконують за формулою

$$M \leq M_{N,Rd}. \quad (7.12)$$

де $M_{N,Rd}$ - розрахунковий пластичний момент опору, зменшений на дію осьової сили N

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left[1 - \left(\frac{N}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right]. \quad (7.13)$$

Вимоги щодо застосування формули (7.12) залежать від величини осьової сили N і від форми поперечного перерізу.

Для I-подібних та H-подібних перерізів з двома осями симетрії зниження теоретичного пластичного моменту опору при дії осьової сили може не враховуватися, якщо величина сили менше ніж 1/2 пластичного опору стінки при розтягу та менше ніж 1/2 всього перерізу

$$N \leq 0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r} \text{ та } N \leq 0,25 N_{pl,Rd}.$$

7.3.2 Пружні розрахунки міцності позациентрово-стиснутих, стиснуто-зігнутих, позациентрово-розтягнутих і розтягнуто-зігнутих елементів для перерізів 1-го класу при згині в двох головних площинах виконують за формулою

$\frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{I_{xn}} y + \frac{M_y}{I_{yn}} x \leq \frac{R_y m}{\gamma_r}$	(7.14)
---	--------

Розрахунки елементів з урахуванням пластичних деформацій для перерізів 2-го класу виконують за формулою

$\frac{N}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_x}{M_{pl,x,Rd}} + \frac{M_y}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,0.$	(7.15)
---	--------

7.4 Елементи, що знаходяться під дією зрізу

Значення дотичних напружень τ для перерізів 1-го класу при пружних розрахунках мають задовольняти умову

$\tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot t} \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}$	(7.16)
--	--------

За наявності послаблення стінки отворами болтових з'єднань замість товщини стінки t у формулу (7.16) слід підставити значення

$t_{sf} = t \frac{a-d}{a},$	(7.17)
-----------------------------	--------

де a - крок болтів; d - діаметр отвору.

При розрахунку елементів з урахуванням пластики для перерізів 2-го класу розрахункова величина зрізу Q для всіх перерізів має задовольняти умову

$Q \leq Q_{pl,Rd},$	(7.18)
---------------------	--------

де $Q_{pl,Rd}$ - розрахунковий пластичний опір зрізу, що дорівнює

$Q_{pl,Rd} = A_Q \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r},$	(7.19)
---	--------

є A_Q - площа зрізу, яку знаходять:

а) для прокатних I- та H-подібних перерізів при дії сили в площині стінки

$A_Q = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f$, але має бути не меншою ніж $\eta \cdot h_w \cdot t_w$;

б) для прокатних швелерних перерізів при дії сили в площині стінки

$A_Q = A - 2b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$;

с) для T-подібних та H-подібних перерізів при дії сили в площині стінки

$A_Q = \eta \sum (h_w \cdot t_w)$;

е) для складених I- та H-подібних, швелерних і коробчастих перерізів при дії сили в площині поясів

$A_Q = \sum (h_w \cdot t_w)$.

ж) для прокатних порожнистих прямокутних перерізів постійної товщини

- навантаження по вертикалі: $A_Q = \frac{A \cdot h}{b+h}$;

- навантаження по горизонталі: $A_Q = \frac{A \cdot h}{b+h}$;

з) для труб $A_Q = \frac{2A}{\pi}$,

де A - площа поперечного перерізу;

b - повна ширина;

h - повна висота;

h_w - висота стінки;

r - радіус примикання пояса до стінки;

t_f - товщина пояса;

t_w - товщина стінки;

η - коефіцієнт, що дорівнює 1,0.

Для інших випадків площа зрізу A_Q знаходиться за аналогією.

Для спрощення A_Q для прокатних I- та H-подібних і коробчастих перерізів може бути прийнята як $A_Q = 1,04 \cdot h \cdot t_w$.

7.5 Елементи, що знаходяться під дією дотичних та нормальних напружень

7.5.1 Розрахунки для стінок балок, діафрагм та інших елементів, що зазнають впливу нормальних напружень у двох площинах та зрізу, виконуються за формулою

$\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2 \leq \gamma_r' \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}$	(7.20)
--	--------

де σ_x - нормальні (додатні при стиску) напруження, паралельні осі балки в точці, що перевіряється, і має координати (x, y) серединної площини стінки;

σ_y - нормальні напруження, перпендикулярні до осі балки;

γ - коефіцієнт, що дорівнює 1,15 при $\sigma_y = 0$ і 1,10 при $\sigma_y \neq 0$;

τ_{xy} - дотичне напруження в точці стінки балки, що перевіряється.

Обмеження при розрахунках з урахуванням пластичної роботи при одночасній дії поперечної сили і згинального моменту наводяться у додатку В.

7.5.2 При розрахунках з урахуванням появи пластичних деформацій елементи, що сприймають зусилля різних знаків, при пружних розрахунках перевіряють за формулою

$$(\sigma_{max} - \sigma_{min})^2 + 3(\tau_1 - \tau_2)^2 \leq \frac{1,8R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (7.21)$$

де σ_{max} , σ_{min} - розрахункові максимальні і мінімальні (зі своїми знаками) нормальні напруження в точці, що перевіряється, обчислені за умови пружної роботи матеріалу, відповідно;

τ_1 , τ_2 - дотичні напруження в точці, що перевіряється (з урахуванням їх знаків), обчислені від тих же навантажень, що і σ_{max} , σ_{min} відповідно.

У разі невиконання умови (7.21) елементи, що сприймають зусилля різних знаків, розраховуються тільки за умови пружної роботи.

8 РОЗРАХУНКИ СТАЛЕВИХ КАНАТІВ

8.1 Розрахунки міцності сталевих канатів елементів мостів слід виконувати згідно з додатком С.

8.2 Поздовжню повзучість $\epsilon_{cr,x}$ сталевих спіральних і закритих канатів слід приймати за даними виробника, але не менше ніж 0,15 мм/м. Для зменшення величини $\epsilon_{cr,x}$ виробник канатів на вимогу замовника має виконувати попереднє циклічне навантаження канатів (5 циклів від нуля до рівня нормативних постійних навантажень).

8.3 Поперечну повзучість $\epsilon_{cr,y}$ сталевих спіральних і закритих канатів слід приймати за даними виробника канатів.

8.4 Для канатів із паралельними дротами повзучість допускається не враховувати.

9 РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ СТЕРЖНІВ І БАЛОК

9.1 Розрахунок при плоскій формі втрати стійкості суцільностінчастих елементів замкнутого і відкритого перерізів, що піддані центральному стиску, стиску зі згином і позacentровому стиску при згині в площині найбільшої гнучкості, необхідно виконувати за формулою

$$\frac{N}{A} \leq \varphi \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (9.1)$$

де φ - коефіцієнт поздовжнього згину, що визначається за додатком Е у залежності від гнучкості елемента λ і приведеного відносного ексцентриситету e_{ef} .

Гнучкість елемента слід визначати за формулою

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}, \quad (9.2)$$

де l_{ef} - розрахункова довжина;

i - радіус інерції перерізу відносно осі, перпендикулярної до площини найменшої гнучкості (площини згину).

Приведений відносний ексцентриситет e_{ef} слід визначати за формулою

$$e_{ef} = \eta \cdot e_{rel}, \quad (9.3)$$

де η - коефіцієнт впливу форми перерізу, що визначається за додатком Ж;

e_{rel} - відносний ексцентриситет у площині згину знаходиться за формулою

$$e_{rel} = \frac{e}{\rho}, \quad (9.4)$$

де e - дійсний ексцентриситет від дії сили та моменту знаходять за формулою

$$e = \frac{M}{N}, \quad (9.5)$$

ρ - ядрова відстань, яку приймають як частку від ділення моменту опору для найбільш стиснутого волокна на площу перерізу

$$\rho = \frac{W_c}{A}, \quad (9.6)$$

W_c - момент опору перерізу бруто для найбільш стиснутого волокна.

Розрахункові значення поздовжньої сили і згинального моменту M в елементі слід приймати для одного й того ж сполучення навантажень при розрахунку системи за недеформованою схемою за умови пружних деформацій сталі. При цьому, значення M необхідно приймати таким, що дорівнює:

- для елементів постійного перерізу рамних систем - найбільшому моменту в межах довжини елемента;

- для елементів з одним затиснутим, а другим вільним кінцем - моменту в затисненні, але не меншим ніж момент у перерізі, що знаходиться на третині довжини елемента від затиснення;

- для стиснутих поясів ферм, що сприймають позавузлове навантаження, - найбільшому моменту в межах середньої третини довжини панелі пояса, що визначається за розрахунками пружної роботи пояса як нерозрізної балки;

- для стиснутих стержнів із шарнірно-обертими кінцями і перерізами, що мають одну вісь симетрії, яка збігається з площиною згину, - моменту, що визначається за формулами додатка И.

Для стиснутих стержнів із шарнірно-обертими кінцями і перерізами, що мають дві осі симетрії, розрахункові значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef} слід визначати за таблицею Ж.3 додатка Ж.

9.2 При плоскій формі втрати стійкості наскрізних елементів замкнутого перерізу, гілки яких з'єднано планками, решітками або перфорованими листами, при центральному стиску, стиску зі згином і позacentровому стиску слід виконувати розрахунок:

- елемента в цілому в площині дії згинального моменту або в площині передбаченого згинання при центральному стисненні, перпендикулярній до площини планок або перфорованих листів, - за формулою (9.1);

- елемента в цілому в площині дії згинального моменту або в площині передбаченого згинання при центральному стисненні, паралельній площині планок або перфорованих листів, - за формулою (9.1); коефіцієнт поздовжнього згину φ визначається в цьому випадку за додатком Е в залежності від приведеної гнучкості λ_{ef} ;

- окремих гілок - за формулою (9.1) в залежності від гнучкості гілки λ_α (9.2).

Гнучкість гілки λ_α слід визначати за формулою (9.2),

де l_{ef} - відстань у просвіті між привареними планками або відстань між центрами крайніх болтів сусідніх планок, або 0,8 довжини отвору в перфорованому листі;

i - радіус інерції перерізу гілки відносно власної осі, перпендикулярної до площини планок або перфорованих листів.

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

$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_\alpha^2},$	(9.8)
---	-------

де λ - гнучкість елемента в площині з'єднувальних планок або перфорованих листів, що визначається за формулою (9.2);

λ_α - гнучкість гілки.

При підрахунку площі перерізу, моменту інерції і радіуса інерції елемента слід приймати еквівалентну товщину t_{ef} , яку визначають:

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

$t_{ef} = \frac{t(A - \sum A_1)}{A},$	(9.9)
---------------------------------------	-------

де $A = b \cdot l$ - площа листа до утворення перфорацій;

$\sum A_1$ - сумарна площа всіх перфорацій на поверхні листа;

- для з'єднувальних планок товщиною t - за формулою

$t_{ef} = \frac{t \sum l_1}{l},$	(9.10)
----------------------------------	--------

Де $\sum l_1$ - сума довжин всіх планок елемента (вздовж елемента);

l - довжина елемента.

Наскрізні елементи з деталей, що з'єднані впритул або через прокладки, треба розраховувати як суцільні, якщо найбільші відстані між болтами у просвіті між привареними планками або між центрами крайніх болтів сусідніх планок не перевищують:

- для стиснутих елементів - $40i$;

- для розтягнутих елементів - $80i$.

Тут i - радіус інерції кутника або швелера, що приймається:

- для складених таврових або двотаврових перерізів - відносно осі, паралельної площині розташування прокладок;

- для хрестових перерізів радіус інерції - мінімальним.

При цьому в межах довжини стиснутого елемента має бути не менше двох прокладок.

9.3 Розрахунок втрати стійкості суцільностінчастих елементів замкнутого і відкритого перерізів із моментами інерції $I_x > I_y$, що зазнають стиску зі згином і позacentровому стиску в площині найменшої гнучкості, що збігається з площиною симетрії і віссю y , слід виконувати за формулою

$\left \frac{N}{A} \right + \left \frac{N \cdot e}{W_c} \right \leq \varphi_c \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r},$	(9.11)
--	--------

де e - фактичний ексцентриситет сили при позacentровому стиску і розрахунковий ексцентриситет при стиску зі згином;

W_c - момент опору перерізу бруто, що обчислюється для найбільш стиснутого волокна;

φ_c - коефіцієнт поздовжнього згину, що визначається за додатком Е при

$e_{ef} = 0$

$$\lambda_y = \pi \sqrt{\frac{E \cdot A}{N_{cr} \left(1 + \left| \frac{e \cdot A}{W_c} \right| \right)}} \quad \text{або} \quad \lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot i_{ef}^2}{I} \cdot \frac{1}{\left(1 + \left| \frac{e \cdot A}{W_c} \right| \right)}} = \frac{i_{ef}}{i} \sqrt{\frac{1}{1 + |e \cdot \rho|}}$$

Розрахунок втрати стійкості суцільностінчастих елементів замкнутого і відкритого перерізів, що зазнають стиску зі згином і позacentровому стиску в двох площинах, виконується за формулою

	(9.12)
--	--------

$$\left| \frac{N}{A} \right| + \left| \frac{N \cdot e_y}{I_x} y_c \right| + \left| \frac{N \cdot e_x}{I_y} x_c \right| \leq \varphi_c \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r},$$

де e_y, e_x - фактичні ексцентриситети в напрямку осей y і x при позацентровому стиску і розрахункові ексцентриситети при стиску зі згином;

y_c, x_c - координати найбільш стиснутої точки перерізу від спільної дії M_x, M_y і N ; φ_c - коефіцієнт поздовжнього згину, що визначають за додатком Е при

$$e_{ef} = 0$$

$$\lambda = \pi \sqrt{\frac{E \cdot A}{N_{cr} \left(1 + \left| \frac{e_y \cdot A}{I_x \cdot y_c} \right| + \left| \frac{e_x \cdot A}{I_y \cdot x_c} \right| \right)}} \quad \text{або} \quad \frac{l_{ef}}{i} \sqrt{\frac{1}{1 + |e_y \cdot \rho_y| + |e_x \cdot \rho_x|}}.$$

Крім того, має бути виконаний розрахунок за формулою (9.1) за умови плоскої форми втрати стійкості в площині осі y (при $e_x = 0$) і в площині осі x з ексцентриситетом e_x (при $e_y = 0$).

9.4 Розрахунок при згинально-крутній формі втрати стійкості з площини дії моменту суцільноствінчастих балок, зігнутих у площині найбільшої жорсткості, слід виконувати за формулою

$$\frac{M}{W_c} \leq \varphi_b \frac{R_y \cdot m}{\gamma_r}, \quad (9.13)$$

де M - найбільший розрахунковий згинальний момент у межах розрахункової довжини l_{ef} стиснутого пояса балки;

φ_b - коефіцієнт поздовжнього згину, що визначають згідно з додатком Е при $e_{ef} = 0$ і гнучкості з площини стінки

$$\lambda = \pi \sqrt{\frac{E \cdot W_c}{M_{cr}}},$$

де M_{cr} - критичний момент при згинально-крутній формі втрати стійкості, що визначають за додатком И.

9.5 Розрахунок при згинально-крутній формі втрати стійкості суцільноствінчастих балок, зігнутих у двох площинах, виконується за формулою (9.13), при цьому коефіцієнт приймають за додатком Е при $e_{ef} = 0$ і гнучкості з площини стінки при $e_{ef} = \eta \cdot e_{rel}$, де η - коефіцієнт впливу форми перерізу, що визначають за додатком Ж; e_{rel} - відносний ексцентриситет, що знаходять за формулою

$$e_{rel} = \frac{\sigma_{fh}}{\sigma_{fv}}, \quad (9.14)$$

де σ_{fh} - найбільше напруження в стиснутому поясі від дії згинального моменту в горизонтальній площині в перерізі, що знаходиться в межах середньої третини незакріпленої довжини стиснутого пояса балки;

σ_{fv} - напруження в стиснутому поясі балки від вертикального навантаження в тому ж перерізі.

9.6 Перевірка загальної стійкості розрізної балки і стиснутої зони пояса нерозрізної балки не виконується у випадках:

- якщо стиснутий пояс об'єднано із залізобетонною або сталеву плитою;

- якщо відстані між поперечними в'язями, що утримують стиснутий пояс, не перевищують значень, наданих у додатку И (розділ И.3).

10 РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ ПОЛИЦЬ І СТІНОК ЕЛЕМЕНТІВ, НЕ ПІДКРІПЛЕНИХ РЕБРАМИ ЖОРСТКОСТІ

10.1 Методика розповсюджується на розрахунки стійкості стиснутих полиць, прокатних, складених і зварних стінок, а також стиснуто-зігнутих і зігнутих елементів постійного поперечного перерізу, не підкріплених ребрами жорсткості (рисунок 10.1).

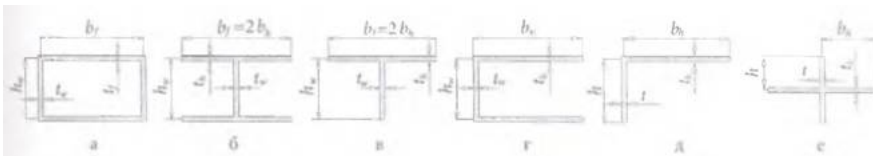


Рисунок 10.1 - Схеми розрахункових перерізів елементів, не підкріплених ребрами жорсткості

10.2 Стійкість полиць і стінок елементів, не підкріплених ребрами жорсткості, при середніх дотичних напруженнях, що не перевищують $0,2\sigma_x$ слід забезпечувати призначенням відношення висоти стінки h, h_p або ширини полиці b_f, b_p до товщини t, t_p, t_f, t_h не більше ніж

$$\frac{h}{t} \text{ або } \frac{h_p}{t_p} \leq 0,951 \cdot \alpha \sqrt{\frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E}},$$

де α - коефіцієнт, що знаходять за формулами (10.2) та (10.3);

$\sigma_{x,cr,ef}$ - приведені критичні напруження знаходять за таблицею (10.2), де критичні напруження $\sigma_{x,cr}$ приймають такими, що дорівнюють нормальним напруженням σ_x в елементі.

Коефіцієнт α для пластинок, обертих з одного боку (рисунок 10.1, б-е), слід знаходити за формулою (10.2), а для пластинок, обертих з обох боків (рисунок 10.1, а, б, г), - за формулою (10.3).

$$\alpha = \left(1 + \frac{3,10}{3\vartheta + 4} \right) \sqrt{0,405 + 0,035 \cdot \xi^2}, \quad (10.2)$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{0,96}{10 \cdot \vartheta + 3} \right) \sqrt{4 + 3,8 \cdot \xi^{2,33}}, \quad (10.3)$$

де ϑ - коефіцієнт защемлення пластинки, що визначають за формулами таблиці 10.1;

ξ - коефіцієнт, що враховує нелінійність епори напружень по краях пластинки і визначається (для перерізів бруто) за формулою

$$\xi = 1 - \frac{\sigma_{x,min}}{\sigma_{x,max}}, \quad (10.4)$$

де $\sigma_{x,max}$ і $\sigma_{x,min}$ - максимальні і мінімальні поздовжні нормальні напруження по поздовжніх краях пластинки, додатні при стисненні, і які знаходять при пружних розрахунках.

Таблиця 10.1 - Визначення коефіцієнта защемлення пластинки

Тип перерізу елемента відповідно до рисунка 10.1	Коефіцієнти затиснення пластинок ϑ			
	стілки	поліці в кутникових перерізах при b_f/h		
		1,0	0,667	0,5
Коробчастий (рисунок 10.1, а)	$\vartheta_1 = \beta_1^3 \frac{0,38}{1 - \beta_1^2 \cdot \alpha_1^2}$	$\vartheta_2 = \frac{1}{\beta_1^3} \cdot \frac{0,38}{1 - \frac{1}{\beta_1^2 \cdot \alpha_1^2}}$		
Двотавровий (рисунок 10.1, б)	$\vartheta_3 = \beta_1^3 \frac{0,16 + 0,0056/\alpha_2^2}{1 - 9,4 \cdot \beta_2^2 \cdot \alpha_2^2}$	$\vartheta_4 = \frac{1}{\beta_2^3 \cdot \alpha_2} \cdot \frac{2}{1 - 0,106 \frac{1}{\beta_2^2 \cdot \alpha_2^2}}$		
Тавровий (рисунок 10.1, в)	$\vartheta_5 = \beta_3^3 \frac{1}{1 - \beta_3^2 \cdot \alpha_3^2}$	$\vartheta_6 = \frac{1}{\beta_3^3 \cdot \alpha_3} \cdot \frac{2}{1 - \frac{1}{\beta_3^2 \cdot \alpha_3^2}}$		
Швелерний (рисунок 10.1, г)	$\vartheta_7 = 2\vartheta_3$	$\vartheta_8 = \frac{1}{2}\vartheta_4$		
Кутниковий для полиці висотою h (рисунок 10.1, д)	-	$\vartheta_9 = \infty$	$\vartheta_9 = 10$	$\vartheta_9 = 5,2$
Хрестовий (рисунок 10.1, е)	$\vartheta_{10} = \infty$	$\vartheta_{10} = \infty$		
У таблиці 10.1 позначено:				
$\beta_1 = \frac{t_w}{t_f}; \alpha_1 = \frac{b_f}{h_w}; \alpha_2 = \frac{b_h}{h_w}; \beta_2 = \frac{t_f}{t_h}; \beta_3 = \frac{t}{t_h}; \alpha_3 = \frac{b_h}{h}.$				
Примітка 1. При від'ємному значенні знаменника у формулах таблиці 10.1, а також за умови, що знаменник дорівнює нулю, слід приймати $\vartheta_9 = \infty$.				
Примітка 2. Для кутникового перерізу з відношенням b_f/h , не зазначеним у таблиці 10.1, величину ϑ_9 треба визначати за інтерполяцією, для відношення $b_f/h = 1,0$ значення величини $\vartheta_9 = 100$.				

Таблиця 10.2 - Приведені критичні напруження

Сталь	Значення $\sigma_{x,cr} = \sigma_x$, МПа (кгс/см ²)	Формули для визначення $\sigma_{x,cr,ef}$ або його значення, МПа (кгс/см ²)
Вуглецева класу міцності С245	$\leq 176(1800)$	$1,111\sigma_{x,cr}$
	$176(1800) \leq 205(2100)$	$\left(1,868 \cdot 10^{-3} - 2,420 \cdot 10^{-3} \sqrt{1 - 1000 \frac{\sigma_{x,cr}}{E}}\right) E$
	$> 205(2100)$	$385(3923)$
Низьколегована класу міцності С345	$\leq 186(1900)$	$1,111\sigma_{x,cr}$
	$186(1900) \leq 284(2900)$	$\left(2,544 \cdot 10^{-3} - 2,620 \cdot 10^{-3} \sqrt{1 - 724 \frac{\sigma_{x,cr}}{E}}\right) E$
	$> 284(2900)$	$524(5342)$
Низьколегована класу міцності С390	$\leq 206(2100)$	$1,111\sigma_{x,cr}$
	$206(2100) \leq 343(3499)$	$\left(2,868 \cdot 10^{-3} - 2,778 \cdot 10^{-3} \sqrt{1 - 600 \frac{\sigma_{x,cr}}{E}}\right) E$
	$> 343(3499)$	$591(6023)$

11 РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ СТІНОК БАЛОК, ПІДКРІПЛЕНИХ РЕБРАМИ ЖОРСТКОСТІ, І ПЛАСТИНОК ОРТОТРОПНИХ ПЛИТ

11.1 Розрахунок стійкості стінок балок слід виконувати відповідно до додатка К.

11.2 Стійкість пластинок ортотропних плит допускається забезпечувати призначенням відношення їх ширини до товщини відповідно до додатка Л.

12 РОЗРАХУНКОВІ ДОВЖИНИ

12.1 Розрахункові довжини елементів головних ферм, за винятком елементів перехресної решітки, слід приймати за таблицею 12.1.

Таблиця 12.1 - Розрахункові 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	$0,8l$
2. З площини ферми	l_I	l_I	l_I

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 треба приймати, як і для інших елементів решітки.

12.2 Розрахункову довжину 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), слід обчислювати за формулою

$$l_{ef} = l_1 \left(0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right), \quad (12.1)$$

де l_1 - відстань між вузлами, закріпленими від зміщення з площини ферми.

Розрахунок стійкості в цьому випадку треба виконувати на зусилля N_1 .

Формула (12.1) застосовується при розтягувальній силі N_2 . У цьому випадку значення N_2 слід приймати зі знаком "мінус", $l_{ef} \geq 0,5l_1$.

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

- у площині ферми такими, що дорівнюють $0,8l$ де l - відстань від центра вузла ферми до точки їх перетину;
- з площини ферми: для стиснутих елементів - за таблицею 12.2; для розтягнутих елементів - такими, що дорівнюють повній геометричній довжині елемента $l_{ef} = l$, де l - знаходять за таблицею 12.1.

Таблиця 12.2 - Розрахункова довжина l_{ef}

Конструкція вузла перетину решітки	Розрахункова довжина l_{ef} з площини ферми при підтримувальному елементі		
	розтягнутому	не працюючому	стиснутому
Обидва елементи не перериваються	l	$0,7l_1$	l_1
Підтримувальний елемент не переривається і перекривається фасонкою	$0,7l_1$	l_1	$1,4l_1$
Підтримувальний елемент переривається і перекривається фасонкою	$0,7l_1$	-	-

12.4 При перевірці загальної стійкості балки розрахункову довжину стиснутого пояса необхідно приймати такою, що дорівнює:

- відстані між вузлами ферми поздовжніх в'язей - за наявності поздовжніх в'язей у зоні верхніх і нижніх поясів і поперечних в'язей в опорних перерізах;
- відстані між фермами поперечних в'язей - за наявності поздовжніх в'язей тільки в зоні розтягнутих поясів, при цьому ферми поперечних в'язей мають бути центровані 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 - при навісному монтажі прогонової будови або поздовжньому насуванні.

12.5 Розрахункову довжину стиснутого пояса головної l_{ef} балки або ферми "відкритої" прогонової будови, що не має поздовжніх в'язей у цьому поясі, треба визначати з розрахунку стійкості стержня 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 пояса, що дорівнює розрахунковому прогону для балок і ферм із паралельними поясами, повній довжині пояса для балок із криволінійним верхнім поясом і повній довжині ферм із полігональним верхнім поясом;

μ - коефіцієнт розрахункової довжини.

Коефіцієнти розрахункової довжини μ для поясів балок і ферм із паралельними поясами приймаються за таблицею 12.3.

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

Таблиця 12.3 - Коефіцієнти розрахункової довжини для ферми з полігональним та для балки з криволінійним верхнім поясом

ζ	0	5	10	15	30	60	100	150	200	300	500	1000	>1000
μ_1	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 отримана розрахункова довжина $l_{ef} < 1,3d$ то її слід визначати з розрахунку стійкості стержня на пружних опорах.

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

У таблиці 12.3 позначено:

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

$$\xi = \frac{l^4}{16d \cdot \delta \cdot EI_m}, \quad (12.4)$$

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 пояса балки (ферми) відносно вертикальної осі.

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

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

де $\alpha = f/l$ - коефіцієнт (f - стріла підйому арки, l - довжина прогону арки);

ζ - коефіцієнт, що приймається за таблицею 12.4. Значення ζ для двохарнірної арки перемінного перерізу при зміні її моменту інерції в межах $\pm 10\%$ від середнього його значення за довжиною прогону, допускається визначати за таблицею 12.4, при цьому приймаючи EI_{bog} у чверті прогону.

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

Таблиця 12.4 - Визначення коефіцієнта ζ в залежності від типу арки

Тип арки	Коефіцієнт ζ
Двошарнірна з іздою понизу з гнучкою затяжкою*, що з'єднана з аркою підвісками	$\zeta = 2\zeta_1$
Безшарнірна	$\zeta = 2\zeta_1 + \alpha \cdot \zeta_1$
Тришарнірна	менше $\zeta = \zeta_1$ і із або $\zeta = \zeta_2$
Двошарнірна з нерозрізною балкою жорсткості, що з'єднана з аркою стояками	$\zeta = \zeta_1 + (0,95 + 0,7\alpha^2)\beta \cdot \zeta_1$

ζ_1 та ζ_2 - коефіцієнти, що приймають за таблицею 12.5;
 $\alpha = f/l$ (формула 12.5);
 $\beta = E \cdot I_{bal} / E \cdot I_{bog}$; I_{bal} та I_{bog} - моменти інерції балки та арки відповідно.
 * При відношенні жорсткості затяжки і арки більше ніж 0,8 розрахункову довжину арки знаходять як для двохарнірної арки з нерозрізною балкою жорсткості, що з'єднана з аркою стояками.

Таблиця 12.5 - Визначення 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	-	-	-

Для проміжних значень α коефіцієнти ζ_1 і ζ_2 треба визначити за лінійною інтерполяцією.

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

- у площині в'язей - відстані l_2 між центрами прикріплення елементів в'язей до головних ферм або балок та балок проїзної частини;

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

Розрахункову довжину l_{ef} перехресних елементів в'язей треба приймати:

- у площині в'язей - такою, що дорівнює відстані від центра прикріплення елемента в'язей до головної ферми або балки, а також до балки проїзної частини, до точки перетину осей в'язей;

- з площини в'язей - для розтягнутих елементів такою, що дорівнює l_3 ; для стиснутих елементів за таблицею 12.2, приймаючи при цьому за відстань l відстань від точки перетину осей елемента в'язей з віссю крайнього ряду болтів прикріплення фасонки в'язей до точки перетину осей елементів в'язей, за l_1 - відстань l_3 .

Для елементів в'язей із будь-якою решіткою, крім хрестової, з одиночних кутників розрахункову довжину l_{ef} приймають такою, що дорівнює відстані між крайніми болтами прикріплення їх кінців. При хрестовій решітці в'язей $l_{ef} = 0,6l$. Радіус інерції перерізів елементів треба приймати 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, які примикають до них, слід визначати 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 пояса або до найближчого вузла поперечних в'язей.

Коефіцієнт розрахункової довжини опорного стояка необхідно визначати за формулою

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

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

де I_c - момент інерції перерізу опорного стояка з площини стінки;

I_r, l_r - момент інерції перерізу і довжина розпірки поперечних в'язей відповідно; у "відкритих" прогонових будовах у формулі (12.8) $n = 0$.

При визначенні площі і моменту інерції опорного ребра до складу його перерізу слід включати ділянки стінки, що примикають до нього. З кожного боку ребра - $b_1 = 0,5t\sqrt{E/R_y}$, а між ребрами не більше $b_2 = 1,4t\sqrt{E/R_y}$.

13 ГРАНИЧНА ГНУЧКІСТЬ СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

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

Таблиця 13.1 - Значення гнучкості стержневих елементів

Елементи конструкції	Гранична гнучкість стержневих елементів мостів		
	залізничних та пішохідних	автодорожних та міських	
Стиснуті та стиснуто-розтягнуті елементи головних ферм, стояки опор, розтягнуті елементи поясів головних ферм	100	120	
Розтягнуті елементи головних ферм, крім поясів, елементи яких служать для зменшення розрахункової довжини l_{ef}	150	150	
Пояси ферм поперечних в'язей, в рівні яких відсутні поздовжні в'язі або плита, що об'єднана з поясами 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	стиснутих	40	40
	розтягнутих	50	50

Гнучкість у таблиці знаходять за формулою $\lambda = l_{ef}/i$.

l_{ef} та i - розрахункові довжина та радіус інерції елемента.

14 РОЗРАХУНКИ ВИТРИВАЛОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

14.1 Розрахунки витривалості елементів сталевих конструкцій і з'єднань залізничних мостів (крім сталевих канатних елементів) слід виконувати за формулами:

$$\sigma_{max,ef} \leq \gamma_w \frac{R_y m}{\gamma_r}, \quad (14.1)$$

$$\tau_{max,ef} \leq 0,75 \gamma_w \frac{R_y m}{\gamma_r} \quad (14.2)$$

де $\sigma_{max,ef}$ - абсолютне найбільше значення нормальних напружень - додатне при розтягу;

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

γ_w - коефіцієнт, що враховує зменшення розрахункового опору текучості за рахунок утомленості, слід знаходити за формулою

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

де ζ - коефіцієнт 1,0 для залізничних мостів;

ϑ - коефіцієнт, що залежить від довжини завантаження λ лінії впливу при розрахунках σ_{max} ; при $\lambda \geq 22$ м - $\vartheta = 1$, а при $\lambda < 22$ м - $\vartheta = v \cdot \lambda$. Коефіцієнти v та ζ слід визначати за таблицею 14.2;

α та δ - коефіцієнти, що враховують опір текучості сталі і нестационарність режиму навантаження, визначаються за таблицею 14.1. Для швів зварювання приймають ті самі коефіцієнти α та δ , що і для основного металу;

β - ефективний коефіцієнт концентрації напружень, що визначається за додатком Н;

ρ - коефіцієнт асиметрії циклів змінних напружень визначають за формулами

$$\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}, \quad (14.4)$$

$$\rho = \frac{\tau_{min}}{\tau_{max}}. \quad (14.4)$$

σ_{min} , σ_{max} та τ_{min} , τ_{max} - найменші та найбільші за абсолютним значенням напруження зі своїми знаками, що знайдені в тому самому перерізі.

У формулі (14.3) верхні знаки (+ або -) приймають відповідно:

- для формули (14.1) за умови $\sigma_{max} > 0$;

- для формули (14.2) - завжди.

Таблиця 14.1 - Визначення коефіцієнтів α та δ

Характеристичний опір текучості сталі, МПа	Значення коефіцієнтів	
	α	δ
До 250	0,64	0,20
251-350	0,72	0,24

Таблиця 14.2 - Визначення коефіцієнтів ν та ζ

Ефективний коефіцієнт концентрації напружень β	Значення коефіцієнтів ν та ζ для сталей з характеристичним опором текучості, МПа			
	до 250		251 і більше	
	ν	ζ	ν	ζ
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

14.2 Розрахунки витривалості сталевих елементів мостів на автомобільних, пішохідних та міських мостах, а також елементів суміщених мостів, що зазнають впливу автомобільного та залізничного навантаження, слід виконувати відповідно до додатка М. Для залізничних мостів відповідно до додатка М розраховуються тільки сталеві канатні елементи.

15 ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТІВ І З'ЄДНАНЬ

15.1 Елементи головних ферм

15.1.1 У розрахунках міцності елементів і з'єднань решітчастих головних ферм при відношенні висоти перерізу до довжини елемента понад 1/15 слід враховувати згинальні моменти від жорсткості вузлів. Ця вимога стосується і розрахунків на витривалість елементів решітчастих головних ферм із вузловими з'єднаннями на високоміцних болтах. Для зварних вузлових з'єднань розрахунок на витривалість необхідно виконувати з урахуванням згинальних моментів від жорсткості вузлів незалежно від величини відношення висоти перерізу до довжини елементів.

Розрахунок міцності решітчастих головних ферм, які мають у рівні проїзду пояс, що працює на спільну дію осьових зусиль і згину від позавузлового прикладання навантаження, виконується з урахуванням жорсткості вузлів зазначеного пояса незалежно від відношення висоти перерізу до довжини панелі. Урахування жорсткості інших вузлів слід виконувати, як зазначено вище.

У всіх наведених випадках у розрахунках міцності згинальні моменти від жорсткості вузлів необхідно зменшувати на 20 %.

Згинальні моменти від примикання в'язей або горизонтальних діафрагм з ексцентриситетом і від неповного центрування елементів (згідно з 6.6) ферм слід враховувати повністю. Ця вимога поширюється і на врахування згинальних моментів, які виникають у горизонтальних і нахилених елементах решітчастих головних ферм і в'язях від власної ваги.

При цьому допускається приймати згинальні моменти розподіленими за параболою, ординати якої посередині довжини та в місці примикання в'язей дорівнюють 0,6 моменту вільно обертого елемента.

15.1.2 У розрахунках стійкості елементів решітчастих головних ферм згинальні моменти від жорсткості вузлів, впливів в'язей і поперечних балок допускається не враховувати. Елементи решітчастих ферм, що мають замкнутий коробчастий переріз із відношенням розмірів сторін не більше двох, розраховуються на стійкість за плоскими згинаними формами відносно горизонтальної та вертикальної осей перерізу.

15.1.3 Стойки, розпірки, стяжки, в'язі та інші елементи прогонової будови, які використовуються для зменшення вільної довжини стиснутого елемента, розраховуються на стиск і розтяг від дії поздовжньої сили, що становить 3% від поздовжнього зусилля в стиснутому елементі.

15.1.4 В аркових мостах з передачею розпору на опори в'язі між арками слід розраховувати як елементи балкової ферми, защемленої на кінцях.

У розрізних балкових прогонових будовах вітрова ферма, яку утворено поясами головних ферм і поперечних в'язей, вважається розрізною балковою, рухомо-обертою у своїй площині на портали або опорні частини. В арках і фермах із полігональним обрисом поясів допускається визначення зусиль в елементах вітрової ферми як для плоскої системи. Зусилля в елементах діляться на косинус кута нахилу даного елемента до горизонталі.

У нерозрізних балкових прогонових будовах з їздою понизу вітрові ферми, утворені поясами головних ферм і поперечними в'язями, розраховують як нерозрізні балкові, вважаючи верхній пояс рухомо-обертим на пружні опори - на портали на кінцевих опорах і на кожній проміжній опорі головних ферм, а нижній пояс - обертим на жорсткі опори - опорні частини.

15.1.5 Елементи головних ферм і в'язі прогонових будов на згин від впливу вітру допускається не розраховувати. Опорні портали розраховуються на вплив реакцій відповідної вітрової ферми, при цьому в нижніх поясах балкових прогонових будов слід враховувати горизонтальні складові поздовжніх зусиль, що виникають у похилих елементах опорних порталів.

15.1.6 Пояси головних ферм і елементи решітки, що примикають до опорного вузла, розраховуються на осьову силу і згинальний момент, які виникають від поздовжніх сил гальмування або тяги, а також на згинальний момент від реакції рухомої опорної частини з ексцентриситетом відносно центра опорного вузла.

Розподіл згинальних моментів між елементами опорного вузла приймають відповідно до 6.6.

15.1.7 Поперечні елементи в прогонових будовах коробчастого і П-подібного перерізів з решітчастими або суцільностінчастими діафрагмами, а також елементи, утворені поперечними ребрами та листами ортотропних плит і стінок балок, перевіряються на міцність, стійкість і витривалість на зусилля, які визначаються з просторового розрахунку прогонових будов.

Допускається розраховувати як рами або балки такі поперечні елементи, конфігурація яких відповідає поперечнику прогонової будови, і до складу перерізу яких, крім поперечних ребер або діафрагм - решітчастих або суцільностінчастих - входить лист, загальна ширина якого становить 0,2 відстані між сусідніми стінками головних балок, але не більшою ніж відстань між поперечними підкріпленнями.

Поперечні елементи в опорних перерізах розраховують на дію опорних реакцій, місцевого вертикального навантаження, зусиль, які розподілені по контуру поперечного перерізу в листах стінок і ортотропних плит та на дію дотичних зусиль від згину і кручення прогонів.

Поперечні елементи, розташовані в прогоні, у тому числі в місцях прикладання зосереджених сил (наприклад, зусиль від вант), розраховуються з урахуванням усіх зовнішніх сил і дотичних напружень у листах стінок і ортотропних плит від дії згину і кручення.

15.1.8 У розрахунках на міцність і витривалість прямолінійних залізничних прогонових будов, які розташовані на кривих ділянках шляху з радіусом меншим ніж 1000 м, слід враховувати зусилля, що виникають при крученні прогонової будови як просторової конструкції.

15.1.9 При багатостадійному зведенні конструкції міцність перерізів на проміжних стадіях монтажу перевіряється лише за умови пружної роботи елементів.

15.1.10 Розрахунок поздовжніх деформацій канатів вант виконується за деформованими схемами з урахуванням геометричної нелінійності. Такі розрахунки рекомендується виконувати за програмами, які реалізують МСЕ. Слід враховувати при розрахунках фізичну нелінійність, пов'язану з повзучістю канатів. При цьому також розглядається напружений стан мосту і за відсутності повзучості (початкова за часом схема).

15.1.11 Пілони вантових і висячих мостів перевіряються за міцністю і стійкістю на основі нелінійних розрахунків за деформованою схемою. Розрахункові схеми пілонів мають враховувати особливості роботи фундаментів.

15.1.12 Конструкції, в яких застосовуються канатні елементи для створення попереднього напруження, перевіряються на всіх етапах створення напруження. Розрахунки міцності канатних елементів виконуються відповідно до додатка С. Усі втрати попереднього напруження, що пов'язані з релаксацією, силами тертя, піддатливістю анкерів тощо, мають бути враховані.

15.2 Елементи проїзної частини залізничних мостів

15.2.1 Поздовжні і поперечні балки проїзної частини прогонових будов, що не мають розривів поздовжніх балок (спеціальних вузлів із поздовжньо-рухомих обпиранням кінців, які примикають один до одного), розраховуються на міцність з урахуванням пружної роботи матеріалу та додаткових зусиль від їх спільної роботи з поясами головних ферм, при цьому зменшення зусиль у поясах головних ферм враховується тільки при включенні проїзної частини до спільної роботи головних ферм за допомогою спеціальних горизонтальних діафрагм.

15.2.2 У розрахунках всіх болтозварних прогонових будов, незалежно від порядку їх монтажу, при включенні проїзної частини до спільної роботи з решітчастими головними фермами враховується зменшення зусиль у поясах головних ферм тільки від тимчасового вертикального навантаження.

15.2.3 При визначенні зусиль у проїзній частині деформації поясів враховуються:

- а) від усіх навантажень - при включенні проїзної частини до спільної роботи з головними фермами одночасно з їх монтажем;
- б) тільки від тимчасового вертикального навантаження - при включенні проїзної частини до спільної роботи з головними фермами після передачі постійного навантаження на головні ферми.

15.2.4 В елементах проїзної частини зусилля від спільної роботи з головними фермами визначаються за умови, що в горизонтальній площині мають місце такі закріплення:

- поздовжні балки прикріплено до поперечних шарнірно;
- пояс поперечної балки, розташований у рівні в'язей, прикріплено до поясів головних ферм жорстко, а інший її пояс - шарнірно.

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

Елементи проїзної частини з плитним безбаластовим полотном розраховуються з урахуванням зусиль у них від включення плит до спільної роботи з поздовжніми балками.

15.2.5 Зусилля в поздовжніх балках з накладками ("рибками") у верхньому поясі або в обох поясах при з'єднанні з поперечними балками визначаються з урахуванням нерозрізності балок і пружної піддатливості опор. Розподіл осьового зусилля і згинального моменту між прикріпленнями поясів і стінки поздовжньої балки здійснюється з урахуванням їх піддатливості.

15.2.6 Поздовжні балки решітчастих прогонових будов із проїзною частиною, яку включено до спільної роботи з головними фермами, розраховуються за міцністю як розрізні, незалежно від конструктивного оформлення прикріплення їх поясів до поперечних балок, при цьому деталі прикріплення поясів і стінки балок до поперечних розраховуються на 0,6 моменту, що діє в середині прогону розрізної балки з розподілом його згідно з 15.1.1. При розрахунку зазначених поздовжніх балок на витривалість згинальні моменти необхідно визначати по лінії впливу нерозрізної балки на пружно-податливих опорах.

15.2.7 Поперечні балки решітчастих прогонових будов розраховуються як елементи рам, що утворені поперечною балкою та елементами головних ферм, пов'язаними між собою вузловими фасонками.

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

Згинальні моменти в елементах замкнутих поперечних рам для одноколієних прогонових будов залізничних мостів визначають за формулами:

- опорний згинальний момент у поперечній балці

$M_{st} = \frac{F a (B - a)}{B} \cdot \frac{1}{1 + \frac{H}{2B} \cdot \frac{I_{bal}}{I_c + I_t \frac{G}{E} \cdot \frac{H}{2l_m}}};$	(15.1)
---	--------

- згинальний момент у підвісці або стояку: біля краю прикріплення поперечної балки

$$M_c = M_{ст} \frac{I_c}{I_c + I_t \frac{G}{E} \cdot \frac{H}{2l_m}}; \quad (15.2)$$

у рівні центра найближчого до поперечної балки вузла поперечних в'язей, а за їх відсутності - центра протилежного пояса головної ферми

$$M_{cl} = -0,5 M_c, \quad (15.3)$$

де F - опорна реакція поперечної балки;

a - відстань між віссю перерізу пояса 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;

I_{bal} - момент інерції перерізу бруто поперечної балки посередині її довжини;

I_c - момент інерції перерізу бруто підвіски або стояка відносно осі, паралельної площині головної ферми;

I_t - полярний момент інерції пояса ферми, що примикає до поперечної балки.

15.2.8 У відкритих прогонових будовах з їздою понизу поперечні рами розраховуються на умовні горизонтальні сили, які прикладені на рівні центра ваги перерізу пояса і дорівнюють 2% поздовжнього зусилля в стиснутому поясі балки або ферми.

15.2.9 Зусилля в елементах проїзної частини зі сталевими ортотропними плитами автодорожніх, міських, суміщених і пішохідних мостів визначаються за просторовою розрахунковою схемою з дискретним розташуванням поперечних ребер і з урахуванням спільної роботи плит і головних ферм (балок).

15.3 Елементи проїзної частини автодорожніх, міських та пішохідних мостів

15.3.1 Ортотропні плити проїзної частини автодорожніх, міських і пішохідних мостів, як правило, включаються до сумісної роботи з головними балками (фермами) прогонових будов.

15.3.2 Розрахунки елементів ортотропних плит виконуються відповідно до додатка П, а розрахунки на витривалість - до додатка М.

15.4 Елементи поздовжніх в'язей

15.4.1 Зусилля в елементах поздовжніх в'язей із хрестовою, ромбічною і трикутною решіткою, які виникають від деформації поясів головних ферм або балок, визначаються за просторовими розрахунковими схемами від навантажень, що діють після включення їх у роботу.

Зусилля в елементах поздовжніх в'язей, які не з'єднані або з'єднані за наявності розривів у них з поздовжніми балками, визначаються за формулами:

- у розкосі хрестової решітки, якщо розпиркою в'язей є поперечна згинальна балка

$$N_d = A_d(\sigma_f \cos^2 \alpha + \sigma \cdot m \cdot \sin^2 \alpha); \quad (15.4)$$

- в інших розкосах хрестової решітки

$$N_d = \frac{\sigma_f A_d \cos^2 \alpha}{1 + 2 \frac{A_d}{A_c} \sin^3 \alpha}; \quad (15.5)$$

- у розкосі ромбічної решітки

$$N_d = \frac{\sigma_f A_d \cos^2 \alpha}{1 + 2 \frac{A_d}{A_c} \sin^3 \alpha + \frac{A_d}{48l} B^2 \cos^3 \alpha}; \quad (15.6)$$

- у розкосі трикутної решітки

$$N_d = \frac{\sigma_f A_d \cos^2 \alpha}{1 + 2 \frac{A_d}{A_c} \sin^3 \alpha + \frac{A_d}{12l} B^2 \cos^3 \alpha}; \quad (15.7)$$

- у розпірці в'язей із будь-якою решіткою

$$N_c = (N_{d,l} + N_{d,r}) \cdot \sin \alpha, \quad (15.8)$$

де N_d, N_c - зусилля в розкосі і розпірці в'язей відповідно;

$N_{d,l}, N_{d,r}$ - зусилля в розкосі з лівої і правої сторони від розпірки відповідно;

σ_f - нормальне напруження в поясі головної ферми;

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

A_d, A_c - площа перерізу розкосу і розпірки в'язей відповідно;

α - кут між розкосом зв'язків і поясом головної ферми.

У випадку, якщо розпиркою є поперечна балка, що згинається, у формулах (15.5) - (15.8) слід приймати $A_c = \infty$.

У формулах (15.4) - (15.7) при визначенні зусиль в елементах в'язей балок із суцільною стінкою замість напруження в поясі головної ферми σ_f приймається напруження у стінці головної балки σ_n , обчислене за площею бруто на рівні розташування площин в'язей. У формулі (15.4) замість σ_{mf} приймається 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 не враховується.

15.4.2 Зменшення зусиль у поясах головних ферм за рахунок включення поздовжніх в'язей до спільної роботи в суцільнозварних прогонових будовах враховується від усього навантаження, що діє після постановки і закріплення поздовжніх в'язей, а в болтовзварних прогонових будовах - тільки від тимчасового вертикального навантаження.

15.4.3 Розрахунок міцності і витривалості поясів головних ферм із ромбічною і трикутною решіткою в'язей, а також хрестовою з розпірками різної жорсткості виконується 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 із трикутною і ромбічною решіткою, визначаються за формулою

$$M_f = \frac{N_c l_m}{4}, \quad (15.9)$$

де N_c - зусилля в розпірці в'язей;

l_m - відстань між центрами вузлів прикріплення елементів до пояса.

15.5 Розрахунок з'єднань

15.5.1 Зварні, фрикційні і болтові з'єднання розраховуються на зусилля, що діють в елементі конструкції. Кожний переріз елемента, що прикріплюється, розраховується на зусилля, яке припадає на нього, і яке має становити не менше ніж 50 % від несної здатності перерізу.

При розрахунку прикріплення елемента до вузла з одиночною фасонкою згинальні моменти в площині, перпендикулярній до площини фасонки, не враховуються.

Поздовжнє зусилля, що проходить через центр ваги з'єднання, приймається як рівномірно розподілене між болтами або зварними швами прикріплення.

При проектуванні реконструкції клепанних прогонових будов розрахунки клепанних з'єднань виконуються за вказівками "Технических условий проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200-62)".

15.5.2 Проектування та розрахунки з'єднань виконуються відповідно до додатка Р.

15.5.3 У випадку спільної роботи проїзної частини і поясів головних ферм, що забезпечується спеціальними горизонтальними діафрагмами, розрахунок прикріплення поздовжніх балок до поперечних виконується на поперечну силу і момент з урахуванням вимог 15.2.5, при цьому зусилля в болтах, які прикріплюють вертикальні кутники до стінки поперечної балки, визначаються як для фланцевих з'єднань.

Розрахунок болтових і фрикційних з'єднань прикріплення балок проїзної частини прогонових будов із решітчастими головними фермами виконується тільки на поперечну силу з додатковими коефіцієнтами умов роботи m_b згідно з табл. 15.6.

Таблиця 15.6 - Коефіцієнт умов роботи для розрахунку болтових і фрикційних з'єднань прикріплення балок проїзної частини прогонових будов із решітчастими головними фермами

Характеристика прикріплення і місця розташування болтів	Особливості конструкції вузла	Коефіцієнт умов роботи, m_b
В усіх прогонових будовах		
Вертикальні кутники прикріплення поперечної балки до вузла головної ферми		
Болти в полицях кутників, що прикріплюються до ферми	Конструкція не здатна сприймати опорний момент	0,85
	Конструкція здатна сприймати опорний момент	0,9
Те саме, до поперечної балки	Незалежно від конструкції	0,9
Спільна робота проїзної частини і поясів ферм не забезпечується		
Вертикальні кутники прикріплення поздовжньої балки до поперечної		
Болти в полицях кутників, що прикріплюються до ферми	Конструкція не здатна сприймати опорний момент	0,7
	Конструкція здатна сприймати опорний момент	0,9
Те саме, до поздовжньої балки	Незалежно від конструкції	0,9

15.5.4 З'єднувальні планки або перфоровані листи наскрізних стиснутих елементів розраховуються на умовну поперечну силу Q_{fic} , яка приймається постійною по всій довжині стержня і визначається за формулою

$$Q_{fic} = \frac{\alpha \cdot N}{\varphi}, \quad (15.10)$$

де N - поздовжнє зусилля стиску в елементі;

φ - коефіцієнт поздовжнього згину при перевірці стійкості елемента в площині з'єднувальних планок або перфорованих листів приймається відповідно до обов'язкового додатка Е в залежності від приведенного відносного ексцентриситету e_{ef} .

α_l - коефіцієнт приймається таким, що дорівнює 0,024 - 0,00007 λ , але не більше ніж 0,015, 0,017 і 0,018 для сталей класів міцності С290, С345 і С390 відповідно. Тут λ - гнучкість елемента в площині з'єднувальних планок або перфорованих листів.

З'єднувальні планки і перфоровані листи наскрізних стиснуто-згннутих елементів розраховуються на поперечну силу, що дорівнює сумі фактичної поперечної сили при згині та умовної Q_{fc} , яка і визначається за (15.10).

При розташуванні з'єднувальних елементів у кількох паралельних площинах, перпендикулярних до осі, відносно якої виконується перевірка стійкості, поперечна сила Q розподіляється:

- при з'єднувальних планках або перфорованих листах, а також у випадку їх сполучення - порівну між усіма площинами планок і перфорованих листів;

- при суцільному листі (пакеті) і з'єднувальних планках або перфорованих листах - на суцільний лист (пакет), який приймає частину поперечної сили, що дорівнює Q_{bl} і визначається за формулою

$$(15.11)$$

$$Q_{bl} = Q \frac{A_{bl,ef}}{A_{ef}}$$

де A_{ef} - площа перерізу бруто наскрізного елемента, що дорівнює $\sum b \cdot t_{ef}$, тут b і t_{ef} визначаються згідно з рисунком 10.1;

$A_{bl,ef}$ - частина перерізу елемента, що працює разом із суцільним листом і дорівнює $A_{bl} + 2 \cdot b_l$ (A_{bl} - площа перерізу суцільного листа; $b_l = 0,5t$, E / R_y - ділянка з кожного боку від ребра; t_w - товщина вертикального листа або пакета).

З'єднувальні планки і перфоровані листи в проміжках між отворами перфорації розраховуються на частину поперечної сили Q , що припадає на них як на елементи безрозкісних ферм.

15.6 Розрахунок опорних частин

15.6.1 Елементи опорних частин (котки, балансири, плити) розраховуються як конструкції на пружній основі.

Допускається визначати зусилля у верхніх балансирах всіх опорних частин, у нижніх балансирах нерухомих опорних частин за умови рівномірного розподілу навантаження по площі обпирання.

15.6.2 При розрахунку опорних частин мають бути враховані вказівки додатка Т та ДБН В.1.2-15.

Для рухомих опорних частин враховуються ексцентриситети передачі тиску, що дорівнюють позовжнім переміщенням котків, секторів і балансирів від нормативних навантажень та впливів.

Поздовжні переміщення рухомих опорних частин визначаються від постійного навантаження, тимчасового вертикального навантаження з динамічним коефіцієнтом, з урахуванням деформації опор і їх основ, а також від температури відповідно до ДБН В.1.2-15. При цьому, для прогонових будов із відношенням відстані між фермами до прогону понад 1:15 необхідно враховувати вплив на нерухомі опорні частини навантажень, що виникають від перепаду температур поясів головних ферм, який дорівнює 15 °С.

15.6.3 У розрахунках кріплень анкерного болта у бетоні застосовується коефіцієнт умов роботи $m = 0,7$.

15.6.4 Розрахунок на зминання в циліндричних шарнірах (цапфах) балансирних опорних частин (при центральному куті дотикання поверхонь, який дорівнює або є більшим ніж 90°) виконують за формулою

$$\frac{F}{1,25 \cdot r \cdot l} \leq \frac{R_{ip} m}{\gamma_r} \quad (15.12)$$

Розрахунок на діаметральний стиск котків виконують за формулою

$$\frac{F_1}{2 \cdot r \cdot l} \leq \frac{R_{cd} m}{\gamma_r} \quad (15.13)$$

де F - тиск на опорну частину;

F_1 - тиск на один найбільш навантажений коток;

r - радіус кривизни поверхні котка або шарніра;

l - довжина котка або шарніра;

R_{ip} , R_{cd} - розрахункові опори місцевого зминання при щільному дотиканні котків і діаметрального стику при вільному дотиканні котків, приймаються за таблицею 5.1.

16 КОНСТРУЮВАННЯ

16.1 Загальні принципи конструювання

16.1.1 При проектуванні сталевих конструкцій необхідно:

- враховувати можливості технологічного і кранового устаткування заводів-виробників сталевих конструкцій, а також підйомно-транспортного і монтажного устаткування будівельних організацій;
- розділяти конструкції на відправні елементи виходячи з умов виконання максимального обсягу робіт на заводах-виробниках з урахуванням вантажопідйомності і габаритів транспортних засобів;
- передбачати в'язі, що забезпечують у процесі транспортування, монтажу й експлуатації стійкість і просторову незмінюваність конструкції в цілому, її частин та елементів;
- здійснювати уніфікацію монтажних блоків і елементів, а також вузлів і розташування болтових отворів;
- забезпечувати зручність складання і виконання монтажних з'єднань, передбачаючи монтажні кріплення елементів, влаштування монтажних столиків тощо;
- здійснювати уніфікацію застосовуваного прокату за профілями і довжинами з урахуванням вимог до використання металу з мінімальними відходами і втратами;
- враховувати допуски прокату і допуски заводського виготовлення;
- передбачати застосування автоматичного зварювання під флюсом і фрикційних з'єднань на високоміцних болтах.

16.1.2 При проектуванні зварних конструкцій слід виключати незручне розташування зварюваних деталей, різкі зміни перерізу елементів, утворення конструктивних "надрізів" у вигляді обривів фасонів і ребер жорсткості або вирізів у них, що примикають під кутом до поверхні напружених частин перерізу (поясів і стінки балок, листів складених елементів тощо).

Для підвищення витривалості і холодостійкості конструкцій та зниження негативного впливу залишкових деформацій і напружень від зварювання слід передбачати заходи конструктивного і технологічного характеру (оптимальний порядок складання і зварювання елементів; розпуск швів; попередній вигин і місцевий підігрів; нагрівання окремих зон після зварювання; повне проплавлення і викружка на кінцях деталей, що обриваються або підходять за дотичною до поверхні частини перерізу, що залишився; механічну обробку зон концентрації напружень тощо).

16.1.3 У залізничних мостах у прогонових будовах з роздільними балками і позовжніми балками проїзної частини слід передбачати позовжні в'язі в площині верхніх і нижніх поясів. Прикріплення позовжних в'язей до стінок балок у залізничних мостах не допускається.

"Відкриті" прогонові будови (такі, що не мають позовжних в'язей у площині верхнього пояса ферм) і "відкриті" проїзну частину (така, що не має позовжних в'язей у площині поясів) у залізничних мостах допускається використовувати тільки за наявності техніко-економічного обґрунтування і за умови закріплення вільних поясів жорсткими рамами в площинах поперечних балок, а для проїзної частини - поперечними в'язями.

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

В аркових прогонових будовах поздовжні в'язі влаштовуються у площині одного з поясів арок і в площині проїзної частини, якщо вона не має плити. У решітчастих арках між ними передбачаються поперечні в'язі і поздовжні в'язі по обох поясах.

16.1.4 Поздовжні в'язі центруються в плані з поясами головних ферм, при цьому ексцентриситети в прикріпленні з площини в'язей мають бути мінімальними.

16.1.5 У залізничних мостах при мостовому полотні з поперечинами відстань між осями поздовжніх балок призначається 1,90 м, а між осями головних балок (ферм) за відсутності балкової клітини - 2,00 м. При більшій відстані між осями головних балок (ферм) передбачається влаштування залізобетонної або сталеві плити.

16.1.6 У залізничних мостах прогонові будови з роздільними двотавровими балками і поздовжні балки проїзної частини слід передбачати з поперечними в'язями, які розташовані на відстанях, що не перевищують двох висот балок.

16.1.7 Для зниження напружень у поперечних балках проїзної частини від деформації поясів головних ферм до спільної роботи з головними фермами слід включати проїзну частину.

У прогонових будовах із проїзною частиною, яку не включено до спільної роботи з головними фермами, слід передбачати гальмові в'язі.

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

У прогонових будовах залізничних мостів прикріплення стінок поздовжніх і поперечних балок здійснюється, як правило, за допомогою вертикальних кутників і фрикційних з'єднань.

У прогонових будовах усіх мостів, як правило, забезпечується нерозрізність поздовжніх балок вздовж всього прогону, а за наявності розривів у проїзній частині - на ділянках між ними.

16.2 Перерізи елементів

16.2.1 Найменша товщина деталей елементів прогонових будов і опор приймається з розрахунку міцності, стійкості, витривалості, жорсткості і коливальності, але не менше ніж зазначено в таблиці 16.1.

Таблиця 16.1 - Найменша товщина деталей елементів прогонових будов і опор

Деталі конструкції	Найменша товщина або переріз деталей конструкції, мм	
	у залізничних мостах і трубах під залізницю	в автодорожніх, міських і пішохідних мостах і трубах
1. Листові хвилясті профілі для металевих гофрованих труб	2	1,5
2. Листові деталі (за винятком деталей, зазначених у поз. 3-9)	10	10
3. Вузлові фасонки головних ферм і вертикальні стінки зварних згинальних 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 (8)*
9. Ребра ортотропних плит:		
а) відкритих;	12	12
б) закритих	6	6
10. Кутники в основних елементах головних ферм і проїзної частини	100 × 100 × 10	100 × 100 × 10
11. Кутники фланцевих прикріплень поздовжніх і поперечних балок	100 × 100 × 12	100 × 100 × 10
12. Кутники в елементах в'язей	80 × 80 × 8	80 × 80 × 7
* Для пішохідних мостів.		

Дозволяються такі найбільші товщини прокату:

20 мм - у пакетах деталей, що стягуються звичайними болтами;

60 мм - у зварних елементах з вуглецевої і низьколегованої сталей;

15 мм - у стикових накладках і вузлових фасонних листах при застосуванні фрикційних з'єднань.

16.2.2 Для зменшення числа з'єднувальних зварних швів перерізи складених елементів решітчастих ферм проектується з мінімального числа деталей.

16.2.3 У решітчастих головних фермах матеріал елементів коробчастого і Н-подібного перерізів має бути сконцентровано в листах, розташованих у площині ферми.

Пояси, стиснуті елементи ферм і опор, як правило, проектується коробчастого перерізу.

16.2.4 У складених елементах решітчастих ферм відношення ζ розрахункової ширини b до товщини t листів має не перевищувати таких величин:

60 - у вертикальних і горизонтальних листах коробчастих елементів;

45 - у горизонтальних листах Н-подібних елементів;

20 - у листах з вільними (необлямованими) звисами;

30 - у листах зі звисами, облямованими кутниками або ребрами.

За розрахункову ширину b листа приймають:

а) у випадку закріплення обох поздовжніх країв:

- відстань між найближчими рисками болтів, що приєднують даний лист до перпендикулярних йому листів або до з'єднувальних в'язей для елементів, - із болтовими з'єднаннями;

- відстань між осями зазначених листів - для зварних і прокатних елементів;

б) при закріпленні одного поздовжнього краю:

- відстань від вільного краю листа до найближчої риски болтів - для елементів із болтовими з'єднаннями;

- відстань від вільного краю листа до осі найближчого листа, розташованого перпендикулярно до даного, - для зварних і прокатних елементів.

16.2.5 У стиснутих елементах Н-подібного перерізу товщина горизонтального листа становить не менше:

$0,4t_f$ - в елементах із болтовими з'єднаннями;

$0,6 t_f$ - у зварних і прокатних елементах при $t_f \leq 24$ мм і $0,5t_f$ при $t_f > 24$ мм, де t_f - товщина листів, що з'єднуються.

16.2.6 При конструюванні вузлів ферм слід забезпечити місцеву стійкість стиснутих зон вузлових фасонів, підкріплюючи за необхідності вільні краї облямувальними кутниками або ребрами.

16.2.7 Двотаврові зварні балки слід проектувати з одного вертикального і двох горизонтальних листів, а коробчасті - із двох вертикальних і двох горизонтальних листів, безпосередньо з'єднаних з ними поясними швами.

Якщо необхідна товщина пояса зварної балки перевищує 60 мм, допускається застосування в поясах пакетів із двох листів.

Зміна перерізу пояса здійснюється в зоні розташування його стиків з улаштуванням скосів по ширині або по товщині пояса, а за необхідності - те й інше одночасно з ухилом для розтягнутого пояса - 1:8 і для стиснутого - 1:4.

У поясах із двох листів застосовуються листи, які відрізняються за шириною не менше ніж на 100 мм. В автодорожніх і міських мостах допускається застосування в поясах балок пакетів із листів однакової ширини, що з'єднані між собою зварними швами, накладеними на дотичних кромках, з обробкою останніх на глибину, необхідну за розрахунком.

16.2.8 Зовнішній лист пакета пояса, що обривається в прогоні балки (із врахуванням вказівок 16.1.2), слід подовжити за місце його теоретичного обриву на довжину, що забезпечує прикріплення 50 % площі перерізу листа. При цьому слід передбачити:

- товщину цього листа на кінці - 10 мм;

- симетричні скоси по ширині листа (зі зведенням до нуля) - з ухилом 1:4;

- скіс по товщині - з ухилом 1:8 для розтягнутого пояса і для стиснутого - 1:4. Для косих швів на кінці листа передбачається відношення катетів 1:2 (менший катет - по вертикалі) і механічна обробка для одержання плавних (радіусом не менше ніж 5 мм) переходів до основного металу неперервного листа пояса.

16.2.9 У залізничних мостах при мостовому полотні з дерев'яними поперечинами слід забезпечувати центровану передачу тиску поперечин на стінки головних або поздовжніх балок, при цьому під навантаженням слід виключити можливість дотикання поперечинами елементів поздовжніх і поперечних в'язей.

16.3 Ребра жорсткості суцільних згинаних балок

16.3.1 В опорних перерізах, у місцях передачі зосереджених сил (крім місць обпирання мостових поперечин), розташування поперечних в'язей у суцільних балках, що згинаються, слід передбачити поперечні ребра жорсткості зі смуг, кутників або таврів.

Проміжні поперечні, а також поздовжні ребра жорсткості слід передбачити відповідно до розрахунку місцевої стійкості стінок для стадій виготовлення, транспортування, монтажу й експлуатації.

За відсутності місцевого тиску поздовжні ребра жорсткості слід розташовувати на відстанях від стиснутого пояса:

- при одному ребрі - $(0,20 - 0,25) h_w$;

- при двох або трьох ребрах: перше ребро - $(0,15-0,20) h_w$, друге ребро - $(0,40 - 0,50) h_w$; третє ребро розташовується, як правило, у розтягнутій зоні стінки.

Розрахункову висоту стінки h_w слід приймати відповідно до додатка К.

У балках зі стінкою, укріпленою тільки поперечними ребрами, ширина виступної частини b_f має бути для парного симетричного ребра не менше ніж $h_w/30 + 40$ мм, для

однобічного ребра - не менше ніж $h_w/24 + 50$ мм; товщина ребра t_s має бути не менше ніж $2b_f \sqrt{\frac{R_y}{E}}$.

При зміцненні стінки поперечними і поздовжніми ребрами жорсткості моменти інерції їх перерізів мають задовольняти вимоги таблиці К.4 для поперечних ребер і таблиці К.5 для поздовжніх (при одному поздовжньому ребрі) додатка К.

У прогонових будовах мостів усіх призначень допускається розташування ребер з одного боку стінки, а також розташування однобічних поперечних і поздовжніх ребер з різних боків стінки.

Момент інерції однобічних ребер жорсткості обчислюється відносно нейтральної осі складеного перерізу, до складу якого входять ребро (плоске, кутникове або таврове) і ділянки стінки в кожний бік від осі ребра завширшки $b_1 = 0,5t_s \sqrt{E/R_y}$.

Мінімальні розміри виступних частин поздовжніх ребер жорсткості слід приймати відповідно до наведених вище вимог для поперечних ребер жорсткості.

За необхідності встановлення ребер з більшим моментом інерції застосовуються замість смугових поперечні ребра жорсткості у вигляді кутників або таврів. Поздовжні ребра таврового перерізу допускається застосовувати для підкріплення стінки при їх розташуванні у середині коробчастої частини прогонової будови. У поздовжніх ребрах із кутника вертикальна полиця має бути повернена донизу.

16.3.2 У ребрах жорсткості, приварених до стінки балки, у місцях їх примикання до поясів балки, до ребер жорсткості іншого напрямку, а в автодорожніх мостах - і до фасонів в'язей, приварених до стінки балки, необхідно передбачити округлені вирізи заввишки 120 мм і завширшки 50 мм; біля опорних ребер жорсткості допускається зменшувати ширину вирізу до 30 мм, а висоту - до 50 мм.

16.3.3 У місцях передачі зосереджених сил слід передбачити підгонку торців ребер жорсткості до листа пояса балки або виконувати зварні з'єднання, що розраховані на передачу зосереджених сил.

Кінці проміжних поперечних ребер жорсткості зварних балок мають, як правило, щільно примикати до поясних листів балок. Для забезпечення примикання ребер до поясів допускається, в усіх мостах встановлювати на кінцях ребер спеціальні перехідні деталі (приварені до ребра і щільно обперті на пояс). В автодорожніх, міських і пішохідних мостах, як правило, ребра приварюються до поясів. Допускається влаштування обривів проміжних поперечних ребер жорсткості на стінці поблизу поясів з оформленням зони обриву ребра відповідно до вимог 16.6.6.

16.3.4 Поздовжні ребра жорсткості в зварних балках слід застосовувати лише в тих випадках, коли забезпечення місцевої стійкості за рахунок встановлення самих лише поперечних ребер жорсткості і зміни товщини стінки виявляється недоцільним.

16.3.5 Ребра жорсткості, що приварюються до стінки або полицки балки, і які паралельні до заводських або монтажних зварних стикових швів стінки або полицки, необхідно віддалити від них на відстань не менше ніж $10t_w$.

Віддалення пера або обушка кутника, який використовується як ребро жорсткості і прикріплюється до стінки болтами, від стикового зварного шва має бути не менше ніж $5t_w$.

16.3.6 Ребра жорсткості мають бути прикріплені суцільними двосторонніми швами.

Ребра жорсткості і шви, що прикріплюють їх до стінки, у місцях перетину стикових швів стінки переривати не допускається.

У прогонових будовах усіх призначень у місцях перетинання ребер жорсткості необхідно пропускати безперервними поздовжні ребра і їх шви, а поперечні ребра, крім опорних, переривати і прикріплювати до поздовжніх ребер кутковими швами. Ці шви в розтягнутій зоні стінки мають відношення катетів 1:2 (більший катет - на поздовжному ребрі) і плавний перехід до основного металу.

При обриві поздовжніх ребер жорсткості біля болтового поперечного стику стінки оформлення зони обриву ребра має відповідати вимогам 16.6.6.

16.4 Попередньо напружені прогонові будови

16.4.1 Для попереднього напруження сталевих прогонових будов слід використовувати канати з переліку, що надається в додатку С.

16.4.2 Розрахунки попередньо напружених прогонових будов слід виконувати за міцністю, стійкістю і витривалістю з урахуванням вимог додатка С.

16.5 Зварні, фрикційні і болтові з'єднання

16.5.1 У випадках, коли прикріплення з ексцентриситетом неминуче, у суцільнозварній конструкції при одностінчастих перерізах елементів їх прикріплення слід здійснювати по всьому контуру з'єднання.

16.5.2 Для вузлів і конструкцій, що застосовуються вперше, на кресленнях КМ слід наводити форми деталей із розмірами, що стосуються механічної обробки зварних швів і зон концентрації напружень, і рекомендації зі способів її виконання.

16.5.3 При застосуванні складних прокатних профілів (швелерів, таврів і двотаврів, у тому числі з паралельними гранями полиць) влаштування за допомогою зварювання поперечних стиків і прикріплень до вузлів не допускається.

У конструкціях автодорожніх, міських і пішохідних мостів дозволяється зварювання поздовжніми безперервними швами суцільних (без стиків по довжині) таврів і двотаврів (у тому числі різних номерів) між собою і з листом, що прикріплюється по всій довжині в стик або в тавр до стінки профілю або двома кутковими швами до крайок полиці профілю.

У конструкціях зазначених мостів допускається застосування приварювання вузлових фасонів і фасонів в'язей до стінки профілів із вжиттям заходів для зниження концентрації напружень біля кінців фасонів відповідно до 16.6.6 і 16.6.7, а також приварювання ребер жорсткості тільки до стінки двотаврів і таврів.

16.5.4 Застосування електрозаклепок у залізничних мостах не допускається, а в автодорожніх, міських і пішохідних мостах допускається тільки для неробочих з'єднань.

16.5.5 Кутові шви необхідно застосовувати, як правило, із увігнутим окресленням їх поверхні і плавним переходом до основного металу.

Лобові шви, як правило, слід проектувати нерівнобічними з більшим катетом, спрямованим уздовж зусилля, при цьому рекомендується відношення більшого катета до меншого приймати таким, що дорівнює 2.

16.5.6 Розміри куткових зварних швів необхідно призначати якомога меншими з розрахунку міцності і витривалості з урахуванням зазначених нижче технологічних вимог.

Поздовжні з'єднувальні кутові шви коробчастих, таврових і Н-подібних елементів слід приймати з розрахунковою висотою перерізу не менше ніж 5 мм, а шви, що прикріплюють ребра жорсткості до стінки балки, а також поздовжні ребра ортотропної плити до покривного листа, - не менше ніж 6 мм.

Довжина куткового, лобового або флангового шва має бути не меншою 60 мм і не менше шестиразового розміру катета шва.

16.5.7 Конструкція стикових швів має забезпечувати можливість одержання повного проплавлення розрахункової товщини з'єднуваних деталей і плавних переходів до основного металу.

16.5.8 При розташуванні стику поперек зусилля в елементі товщина стикового шва має бути не менше від товщини листів, що зварюються.

16.5.9 У зварних балках і складених елементах, перерізи яких утворюються за допомогою з'єднувальних швів, повне проплавлення таврових і куткових з'єднань не потрібне, якщо деталі, що зварюються, обриваються в одному перерізі. За наявності обриву у кількох перерізах на довжині 100 мм від обриву необхідно передбачити повне проплавлення таврового або куткового з'єднання зварюваних деталей.

У з'єднаннях, що працюють на відрив, забезпечення повного проплавлення обов'язкове. Застосування вузлів із роботою на відрив деталей пакета, створеного за допомогою куткових зварних швів внапуск, не допускається.

У куткових з'єднаннях складених замкнутих герметичних елементів, утворених однією кутковими швами, глибина провару має бути не меншою від 4 мм при товщині більш тонкого листа до 16 мм і не меншою від 5 мм при товщині більш тонкого листа понад 16 мм. Для з'єднання окремих деталей і прикріплення елементів конструкцій застосування переривчастих швів не допускається.

16.5.10 У конструкціях із фрикційними з'єднаннями має бути забезпечена можливість вільної постановки високоміцних болтів, щільного стягування пакета болтами і закручування гайок із застосуванням динамометричних ключів і гайковертів.

16.5.11 У з'єднаннях прокатних профілів із непаралельними поверхнями полиць належить застосовувати клиноподібні шайби.

16.5.12 Номінальні діаметри отворів під високоміцні болти у фрикційних з'єднаннях наведено в таблиці 16.2.

Таблиця 16.2 - Номінальні діаметри отворів під високоміцні болти у фрикційних з'єднаннях

Група з'єднань	Номінальний діаметр отворів, мм, у фрикційних з'єднаннях при номінальному діаметрі болтів, мм			
	18	22	24	27
Стики і прикріплення основних несучих елементів та в'язей, що визначають проектне положення конструкцій	21	25	28	30
Прикріплення: в'язей, що не визначають проектне положення конструкцій; стикових накладок (рибок) поясів поздовжніх балок; гальмівних в'язей і горизонтальних діафрагм проїзної частини	23	28	30	33

16.5.13 З'єднання треба проектувати з якомога компактнішим розташуванням високоміцних і звичайних болтів за таблицею 16.3.

Таблиця 16.3 - Мінімальні та максимальні відстані для розташування високоміцних і звичайних болтів

Характеристика відстаней	Відстань між центрами болтів
1. Відстань між центрами болтів:	
а) мінімальна у будь-якому напрямку;	2,5d*
б) максимальна у будь-якому напрямку в крайніх рядах при розтягу та стиску:	7d або 16t
- в листах;	
- в кутниках**	160 мм
в) максимальна в середніх рядах:	
- поперек зусилля при розтягу або стиску;	24t
- вздовж зусилля при розтягу або стиску	24t
2. Відстань від центра болта до краю елемента:	
а) мінімальна вздовж зусилля і по діагоналі;	16t
б) те саме поперек зусилля:	
- при крайках після механічної обробки;	1,5d
- при крайках прокатних або після газового різання за методом "змив-процес";	1,5d
- з кисневою завісою	1,3d
в) максимальна	8t або 120 мм
* Для звичайних болтів слід призначати 3,0d;	
** При дворядному розташуванні норма відноситься до ряду біля пера.	
d - номінальний діаметр болта;	
t - товщина найбільш тонкої деталі, що розташована зовні пакета.	

16.5.14 Число високоміцних болтів має бути не менше двох:

- у прикріпленнях в'язей головних ферм і проїзної частини;
- у кожному поздовжньому ряду прикріплення або стиковій накладці (відраховуючи від осі стику).

У прикріпленні стержня на звичайних болтах число болтів у поздовжньому ряду має бути не менше:

- 3 - при одному ряді;
- 2 - при двох рядах і більше;
- 5 - у виступній полиці кутникового оцупка.

16.5.15 Діаметр болтів, поставлених у кутниках основних елементів, має бути, як правило, більшим від 1/4 полиці кутника.

16.5.16 Повну довжину високоміцних болтів треба призначати з умови, щоб верх гайки після затягування знаходився нижче краю фаски болта.

16.5.17 Стики вертикальної стінки балки при болтових з'єднаннях перекриваються накладками по всій висоті.

Стикові накладки поясних кутників допускається застосовувати у вигляді плоских листів.

16.5.18 Безпосередньо прикріплена площа елементів наскрізних головних ферм у вузлах і стиках має становити не менше ніж 50 % усієї робочої площі елемента. При непрямому перекритті площі перерізу належить зменшувати ексцентриситет у прикріпленні накладок і збільшувати їх довжину.

16.6 Деталі конструкції

16.6.1 У конструкції не повинно бути дотичних несполучених частин (крім місць примикання ребер жорсткості до поясів балок), а також щілин, зазорів, пазух і корит. У місцях можливого скупчення вологи слід влаштовувати дренажні отвори діаметром не менше ніж 30 мм.

Розтягнуті канати й елементи їх прикріплення мають бути захищені від корозії відповідно до вимог додатка С.

16.6.2 У розтягнутих елементах симетричного перерізу, що мають отвори для їх з'єднання вузловими болтами-шарнірами, площа нетто перерізу, що проходить через болтовий отвір, має бути не меншою від 140 %, а перерізу від торця елемента до болтового отвору - не менше ніж 100 % розрахункового перерізу елемента.

16.6.3 Гілки стиснутих складених стержнів із болтовими з'єднаннями, а також стиснуто-зігнуті зварні елементи в місцях впливу зосереджених сил слід підкріплювати 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 менше ніж 50 мм.

16.6.4 Безпосереднє приварювання допоміжних деталей (кронштейнів, елементів перил і тротуарів, навігаційних знаків, сигналів тощо) до елементів головних балок і балок проїзної частини, а також до елементів решітчастих головних ферм є небажаним і допускається тільки за умови виконання розрахунків витривалості.

Розпірки і діагоналі поздовжніх в'язей, розпірки поперечних в'язей не допускається приварювати безпосередньо до поясів балок прогонових будов усіх призначень.

У залізничних прогонових будовах не допускається також приварювання елементів поздовжніх і поперечних в'язей до ребер жорсткості і фасонки в'язей, прокладок - до основних елементів.

16.6.5 Для забезпечення плавних (радіусом не меншим ніж 15 мм) переходів від металу шва до основного металу в стиках розтягнутих та стиснуто-розтягнутих на стадії експлуатації, поперечних стиків деталей та елементів залізничних прогонових будов слід передбачити механічну обробку; ці вимоги поширюються на граничні ділянки поперечних стикових швів стінки балок вздовж 40 % висоти розтягнутої зони, але не менше ніж 200 мм, відраховуючи від розтягнутого пояса.

Для автодорожніх, міських і пішохідних прогонових будов необхідність застосування механічної обробки слід передбачити в проєкті з урахуванням типу виконання конструкцій і результатів розрахунку на витривалість.

16.6.6 Для автодорожніх, міських і пішохідних прогонових будов при прикріпленні горизонтальних фасонки поздовжніх в'язей безпосередньо в стик до поясів суцільних балок необхідно передбачити повне проплавлення всієї товщини фасонки і можливість неруйнівного контролю стику.

Необхідно також передбачати на кінцях фасонки викружки і механічну обробку їх разом із кінцями швів для одержання плавних переходів (радіусом не меншим ніж 60 мм) до пояса.

16.6.7 Для автодорожніх, міських і пішохідних прогонових будов при хрестовій і напіврозкісній системах поздовжніх в'язей, розташованих у рівні, зміщеному відносно поясів, для фасонки, що приварюються до стінки в тавр, необхідно передбачати заходи щодо зниження концентрації напружень, зазначені в 16.6.6 При цьому для забезпечення стійкості й усунення коливань пояса відносно стінки мають бути поставлені на стінці балки поперечні ребра жорсткості в площині кожного вузла в'язей.

У випадку, якщо зазначені фасонки перетинаються з поперечними ребрами жорсткості, фасонки і їх шви треба влаштовувати безперервними; приварювання елементів поперечного ребра жорсткості до фасонки слід здійснювати кутовими швами з відношенням катетів 1:2 (більший катет - на фасонці) і плавним переходом до основного металу фасонки.

16.6.8 У суцільнозварних автодорожніх, міських і пішохідних прогонових будовах елементи в'язей, що приєднуються внапуск до фасонки, слід прикріплювати двома фланговими і двома лобовими швами; елементи в'язей із парних кутників, симетрично розташованих відносно фасонки, допускається прикріплювати двома фланговими й одним лобовим (торцевим) швами.

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

16.6.9 У випадку приварювання вертикальних діафрагм, ребер жорсткості і фасонки до розтягнутого пояса в прогоні поперечні шви, що прикріплюють зазначені елементи, слід проєктувати з відношенням катетів 1:2 (більший катет - на поясі) і плавним переходом до основного металу.

16.6.10 Протигннї пристрої допускається приварювати до верхнього пояса зварних балок поздовжніми і поперечними кутовими швами. При цьому для поперечних швів необхідно передбачати заходи до зниження концентрації напружень, зазначені в 16.6.9, а також механічну обробку для одержання плавних переходів (радіусом не меншим ніж 5 мм) до основного металу.

16.6.11 У конструкціях деталей, що змінюють напрямок сталевго канату (відхилювальних пристроїв, оголовків пілонів тощо) або дроту в канаті (анкерних пристроїв), а також обтискують канат (стискачів, хомутів підвісок тощо), слід застосовувати жолоби криволінійного поперечного перерізу з округленнями біля торців (у місці виходу канату) і укороченими (у порівнянні з основою) притискними накладками, прокладками з алюмінію або іншого м'якого матеріалу. При цьому для виключення електрохімічної корозії контактуючі з алюмінієм сталеві канати і сталеві деталі зазначених вище пристроїв мають бути захищені покриттями з кадмію або цинку завтовшки не менше ніж 20 мкм.

16.7 Конструкція планок і перфорованих листів

16.7.1 У зварних коробчастих і Н-подібних елементах головних ферм залізничних мостів допускається застосування тільки суцільних або перфорованих горизонтальних листів. З'єднувальні планки використовуються тільки для елементів в'язей залізничних мостів і для тих елементів автодорожніх, міських і пішохідних мостів, у яких виконується розрахунок витривалості. З'єднання планок з основними частинами перерізу можливо здійснювати без спеціальних заходів для зниження концентрації напружень.

16.7.2 Довжина проміжних планок l_s має бути не меншою від $0,75a$, де a - відстань між рядами болтів (або зварними швами) прикріплення планки.

Кінцеві планки в стиснутих і стиснуто-розтягнутих елементах треба виконувати в 1,7 раза довгими від проміжних, а в розтягнутих - у 1,3 раза. Кінцеві планки слід ставити якомога ближче до вузла.

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

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

4 - для елементів, що працюють на тимчасове навантаження;

3 - для елементів, що працюють тільки на постійне навантаження;

2 - для неробочих елементів.

16.8 Особливості конструкції болтозварних прогонових будов

16.8.1 У болтозварних прогонових будовах допускається застосування стикових і накладних компенсаторів послаблення перерізу елементів болтовими отворами.

На кінцях стикових компенсаторів ослаблення n (у стику) необхідно передбачати скоси і механічну обробку з'єднань відповідно до 16.2.7 і 16.6.5.

У накладних компенсаторах послаблення слід передбачати скоси по ширині з ухилом 1:1. Для косих швів треба приймати відношення катетів 1:2. Для забезпечення плавних (радіусом не менше ніж 5 мм) переходів від шва до основного металу необхідно передбачати обробку косих швів на кінці компенсатора. Косі шви і ділянки поздовжніх швів до першого ряду отворів мають забезпечувати повне прикріплення площі компенсатора. Ширина компенсатора зі сталі класу міцності С245, С345 і С390 має бути не більше ніж 44, 38 і 36 його товщини відповідно. При більшій необхідній ширині треба застосовувати два роздільних компенсатори, відстань між їх швами має бути не менше ніж 60 мм. Відстань від центра болта до краю компенсатора має бути не менше подвоєного діаметра отвору під болт.

16.8.2 Для решітчастих болтозварних ферм автодорожніх, міських і пішохідних прогонових будов допускається застосування вузлових фасонки-вставок і фасонки-приставок, що з'єднуються з поясами за допомогою зварювання.

Вузлові фасонки-вставки і фасонки-приставки повинні мати плавні переходи (радіусом не менше ніж 250 мм) до пояса. Відстань від стику пояса і фасонки-вставки до початку викружки в ній приймається не менше ніж 70 мм. Для стикових швів фасонки-вставок розтягнутого і стиснуто-розтягнутого поясів належить передбачати механічну обробку, яка відповідає вимогам 16.6.5.

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

16.8.3 Поясні листи поздовжніх і поперечних балок можуть мати довжину меншу ніж довжина стінки за умови влаштування на кутах стінки прямокутних округлених (радіусом 15 мм) вирізів, вертикальна крайка яких збігається з торцем поясного листа, що обривається.

Подібні вирізи мають також фасонки, що приварюються до верхнього пояса поперечної балки для збільшення висоти її стінки в зоні прикріплення до головних ферм.

Конструкція сполучення кінця фасонки з поясом поперечної балки має відповідати вимогам 16.6.6 і 16.6.7.

За необхідності влаштування обриву пояса двотаврової балки без утворення вищевказаного вирізу в стінці слід передбачати:

- пояс до місця обриву має бути скошеним по товщині до 6 мм з ухилом 1:8 і по ширині до 32 мм з ухилом 1:4;

- прикріплення до стінки балки на довжині скошеної частини пояса повинне мати повне проплавлення.

Також необхідно передбачати механічну обробку кінця пояса для отримання плавних переходів (радіусом, не меншим ніж 60 мм) до стінки (в обох площинах).

16.9 Конструкція ортотропної плити проїзної частини

16.9.1 Рекомендації щодо конструювання та розрахунків надані в додатку П.

16.10 Конструкція опорних частин і деформаційних швів

16.10.1 Прогонові будови мають займати незмінне положення під час розрахункового строку експлуатації мосту. При цьому, реалізація переміщень має бути забезпечена встановленням рухомих опорних частин вздовж напрямку температурних переміщень. Мають бути також оцінені інші переміщення, викликані рухомими навантаженнями,

довготривалими процесами, сейсмічними навантаженнями тощо.

При відстані між центрами опорних частин на одній опорі понад 15 м слід забезпечити поперечну рухомість однієї з опорних частин шляхом влаштування подвійно рухомих опорних частин або іншим способом.

Допускається (у сейсмічних районах - рекомендується) застосування опорних частин з використанням полімерних матеріалів.

16.10.2 У залізничних мостах нижні балансири нерухомих опорних частин і плити рухомих опорних частин мають бути закріплені на опорах анкерними болтами.

У випадку невиконання вимог 6.2.6 ДБН В.2.3-22 кінці прогонових будов всіх мостів мають бути прикріплені до опор анкерними болтами за розрахунком.

16.10.3 Конструкція опорних частин та підкладних клинових листів має забезпечувати проектний розподіл навантаження на опорний вузол прогонової будови і на опору.

16.10.4 Опорні частини шарнірно-коткового або секторного типу слід застосовувати, як правило, литими із шарнірами вільного дотикання. Допускається застосовувати рухомі однокоткові опорні частини з високоміцної сталі, а також з наплавленням на поверхню котка і плити матеріалів високої твердості.

У рухомих опорних частинах має бути не більше чотирьох котків.

Котки мають бути з'єднані між собою бічними стяжками, що гарантують спільність переміщення і не перешкоджають перекочуванню й очищенню, і оснащені пристроями від бічних зсувів і поздовжнього уgonу, а також захищені футлярами. При застосуванні циліндричних котків, що мають дві плоскі грані, слід унеможливити їх перекидання і заклинювання.

16.10.5 Вимоги до конструювання і розрахунків опорних частин надані в додатку Т.

16.10.6 Вимоги до застосування деформаційних швів надані в додатку У.

ДОДАТОК А (довідковий)

НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

ДБН А.2.2-3-2004 Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації

ДБН В.1.2.-2.2006 Навантаження і впливи. Норми проектування

ДБН В.1.2-15-2009 Споруди транспорту. Навантаження та впливи. Мости та труби

ДБН В.2.3-14.2006 Мости і труби. Правила проектування

ДБН В.2.3-22-2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування

ГОСТ 380 Сталь углеродистая обыкновенного качества (Сталь вуглецева звичайної якості)

ГОСТ 495 Листы и полосы медные. Технические условия (Листи і смуги мідні. Технічні умови)

ГОСТ 859 Медь. Марки (Мідь. Марки)

ГОСТ 977 Отливки стальные. Общие технические условия (Відливки сталеві. Загальні технічні умови)

ГОСТ 1050 Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали (Прокат сортовой, калібрований, із спеціальним опорядженням поверхні із вуглецевої якісної конструкційної сталі)

ГОСТ 2246 Проволока стальная сварочная (Дріт сталевий зварювальний)

ГОСТ 5264 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные (Ручне дугове зварювання. З'єднання зварні)

ГОСТ 5521 Прокат для судостроения (Прокат для суднобудування)

ГОСТ 5632 Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки (Сталі високолеговані і сплави корозійностійкі, жаростійкі і жароміцні. Марки)

ГОСТ 6713 Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения (Прокат низьколегований конструкційний для мостобудування)

ГОСТ 6996 Сварные соединения. Методы определения механических свойств (Зварні з'єднання. Методи визначення механічних властивостей)

ГОСТ 7512 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиграфический метод (Контроль неруйнівний. З'єднання зварні. Радіографічний метод)

ГОСТ 8479 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали (Поковки з конструкційної вуглецевої і легованої сталі)

ГОСТ 8713 Сварка под флюсом. Соединения сварные (Зварювання під флюсом. З'єднання зварні)

ГОСТ 8731 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные (Труби сталеві безшовні гарячедеформовані)

ГОСТ 9087 Флюсы сварочные плавные. Технические условия (Флюси зварювальні плавні. Технічні умови)

ГОСТ 9454 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах (Метали. Метод випробування на ударний вигин за знижених, кімнатній і підвищених температур)

ГОСТ 9467 Электроды покрытые металлическими для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы (Електроди покриті металеви для ручного дугового зварювання конструкційних і теплостійких сталей. Типи)

ГОСТ 10705 Трубы стальные электросварные (Труби сталеві електрозварні)

ГОСТ 11533 Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами (Автоматичне і напівавтоматичне дугове зварювання під флюсом. З'єднання зварні під гострими і тупими кутами)

ГОСТ 11534 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами (Ручне дугове зварювання. З'єднання зварні під гострими і тупими кутами)

ГОСТ 14771 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (Дугове зварювання у захисному газі. З'єднання зварні. Основні типи, конструктивні елементи і розміри)

ГОСТ 14782 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые (Контроль неруйнівний. З'єднання зварні. Методи ультразвукові)

ГОСТ 14792 Детали и заготовки, вырезаемые кислородной и плазменно-дуговой резкой. Качество (Деталі і заготовки, які вирізаються кисневим і плазмено-дуговим різанням. Якість)

- ГОСТ 1759.4 Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний (Болти, гвинти та шпильки. Механічні властивості і методи випробувань)
- ГОСТ 19170 Детали и заготовки, вырезаемые кислородной и плазменно-дуговой резкой. Качество (Деталі і заготовки, які вирізаються кисневим і плазмено-дуговим різанням. Якість)
- ГОСТ 19281 Прокат из стали повышенной прочности (Прокат із сталі підвищеної міцності)
- ГОСТ 22353-77 Болты высокопрочные класса точности В (Болти високоміцні класу точності В)
- ГОСТ 22354-77 Гайки высокопрочные класса точности В (Гайки високоміцні класу точності В)
- ГОСТ 22355-77 Шайбы класса точности С к высокопрочным болтам (Шайби класу точності С до високоміцних болтів)
- ГОСТ 22356-77 Болты и гайки высокопрочные и шайбы. Общие технические условия (Болти і гайки високоміцні і шайби. Загальні технічні умови)
- ГОСТ 22727 Прокат листовой. Методы ультразвукового контроля (Прокат листовий. Методи ультразвукового контролю)
- ГОСТ 23518 Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами (Дугове зварювання у захисних газах. З'єднання зварні під гострими і тупими кутами)
- ГОСТ 24379.0 Болты фундаментные. Общие технические условия (Болти фундаментні. Загальні технічні умови)
- ГОСТ 27751 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету (Надійність будівельних конструкцій і основ. Основні положення розрахунку)
- ДСТУ ISO 898-1 Механічні властивості кріпильних виробів, виготовлених з вуглецевої і легованої сталі. Частина 1: Болти, гвинти і шпильки
- ДСТУ ISO 898-2 Вироби кріпильні. Механічні властивості. Частина 2: Гайки з установленими значеннями пробних навантажень. Різьба з великим кроком.
- ТУ 6-48-92 Стеклопластик рулонный марки РСТ. Технические условия (Склопластик рулонний марки РСТ. Технічні умови)
- ТУ 14-3-1128 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные для газопроводов газлифтных систем и обустройства газовых месторождений (Труби сталеві безшовні гарячедеформовані для газопроводів газліфтових систем і облаштування газових родовищ)
- ТУ 322-16-127-97 Прокат листовый з низьколегованої сталі для мостобудування
- ТУУ 27.1-05416923-085:2006 Прокат листовий зварювальний з якісної сталі класів міцності 355-590 для машинобудування
- ДСТУ ISO 3506-1 Механічні властивості кріпильних виробів із корозійностійкої нержавіючої сталі. Частина 1: Болти, гвинти та шпильки
- ДСТУ ISO 898-898 Механічні властивості кріпильних виробів із корозійностійкої нержавіючої сталі. Частина 2: Гайки

ДОДАТОК Б (довідковий)

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

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

- Граничний стан** - стан, за якого конструкція, основа, будівля або споруда в цілому або її частина перестають задовольняти заданим вимогам (ГОСТ 27751)
- Депланція поперечного перерізу** - переміщення точок плоского поперечного перерізу, що перетворює його на поверхню або на сукупність площин (СТ СЭВ 3972)
- Деформована схема** - розрахункова схема, в рівняннях рівноваги якої враховуються переміщення від початкового незавантаженого стану і зміни в положенні навантажень від деформацій (СТ СЭВ 3972)
- Довговічність** - здатність об'єкта тривалий час зберігати робочий стан за відповідної системи технічного обслуговування і прийнятого порядку проведення ремонтів
- Замовник** - інвестор або інша юридична (фізична) особа, яка за дорученням інвестора видає замовлення на виконання проектно-вишукувальних робіт і на будівництво об'єкта, укладає договори (контракти), контролює хід будівництва, здійснює технічний нагляд, приймає закінчені роботи (послуги), виконує розрахунки, здає об'єкти в експлуатацію (ДБН А.2.2-3-2004)
- Креслення КМ** - креслення конструкцій металевих (КМ), що розробляються проектною організацією
- Креслення КМД** - креслення конструкцій металевих деталей (КМД), що розробляються на основі креслень КМ для виготовлення конструкцій
- Незалежна інспекція** - служба, що наймається замовником (незалежна від підрядника), і виконує нагляд за відповідністю виготовлення та складання конструкцій проекту та чинним нормам
- Розрахункова довжина** - умовна довжина стержня, для якого при шарнірному обпиранні кінців критична сила така ж сама, як у заданого стержня (СТ СЭВ 3972)
- Повзучість канатів** - збільшення деформацій у часі без зміни зусиль за рахунок зміни структури та ущільнення витків канату. Визначається випробуваннями
- Пружинні розрахунки** - розрахунки, у яких залежність між навантаженнями та деформаціями є лінійною
- Геометрична нелінійність** - нелінійний закон співвідношення між навантаженнями та деформаціями за рахунок змінної форми елемента
- Фізична нелінійність** - нелінійний закон співвідношення між навантаженнями та деформаціями за рахунок зміни фізичних властивостей елемента
- Основні конструкції мосту** - до основних віднесені несні конструкції мосту, які сприймають навантаження від впливів експлуатаційних навантажень
- Допоміжні конструкції мосту** - конструкції, які є частиною проїзної частини, декоративного оформлення, експлуатаційних облаштувань тощо
- Характеристичні значення механічних характеристик сталевих виробів** - найменші (із певною ймовірністю) значення границі текучості, тимчасового опору, відносного подовження, ударної в'язкості тощо, які надані в держаному стандарті на даний виріб (матеріал)
- Розрахункові значення механічних характеристик сталевих виробів** - розрахункові значення, які є часткою від ділення характеристичних значень на коефіцієнт надійності за матеріалом
- Переріз елемента** - сукупність геометричних характеристик перерізу елемента, нормального до його поздовжньої осі
- Жорсткість елемента** - жорсткість осьова, згинальна та крутна, яка є множенням модуля пружності матеріалу елемента на його геометричні характеристики - площу, момент інерції при згині та вільному крученні відповідно

ХАРАКТЕРИСТИКА КЛАСІВ ПЕРЕРІЗІВ

При розрахунках граничних станів елементів конструкцій розглядаються 2 класи перерізів:

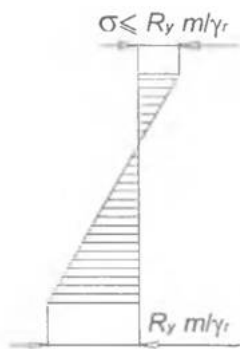
клас 1 - граничний стан - пружна робота перерізу (застосовується у всіх розрахунках без обмежень);

клас 2 - граничний стан - пластична робота перерізу (має обмеження до застосування).

В.1 Клас 1. Пружна робота перерізу

Пружна робота перерізу характеризується досягненням розрахункових напружень текучості $R_y \cdot m / \gamma_r$ тільки в крайній фібрі поперечного перерізу. Робота перерізу при згині характеризується трикутною епюрою, що показано в таблиці В.1.

Таблиця В.1 - Пружна робота

Характерна епюра	Характеристика
	<p>Граничний момент, який сприймається перерізом при пружній роботі за формулою</p> $M_{rd} = W_y \cdot R_y \cdot m / \gamma_r \quad (B.1)$ <p>W_y - пружний момент опору; R_y - розрахунковий опір текучості сталі; γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю; m - коефіцієнт умови робіт</p>

При пружних розрахунках для будь-якої точки елемента еквівалентні напруження не можуть перевищити розрахункового опору текучості $R_y \cdot m / \gamma_r$.

Обмежень до застосування не існує. Поперечні перерізи класу 1 мають застосовуватися при всіх розрахунках несучих конструкцій мостів.

В.2 Клас 2. Пластичний шарнір

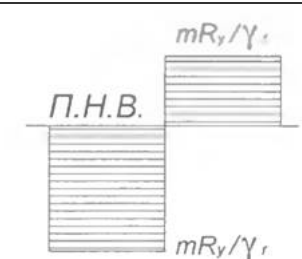
Робота поперечного перерізу характеризується досягненням напружень текучості, що дорівнюють $R_y \cdot m / \gamma_r$, по всій висоті перерізу.

Пластичний шарнір при гнутті балки може бути утворений за умов:

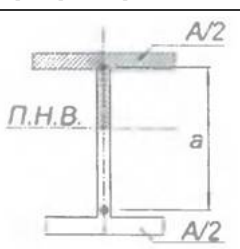
- якщо забезпечена стійкість полиць та стінок перерізу;

- якщо забезпечена достатня обертова здатність, тобто, обертання перерізу балки в конструкції може бути реалізоване.

Таблиця В.2 - Пластичний шарнір

Характерна епюра	Характеристика
	<p>Граничний момент</p> $M_{pl,rd} = W_{pl} \cdot R_y \cdot m / \gamma_r \quad (B.2)$ <p>W_{pl} - пластичний момент опору за таблицею В.3 з обмеженнями за таблицею В.4, формулою (B.1); R_y - розрахунковий опір текучості; γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю; m - коефіцієнт умови робіт</p>

Таблиця В.3 - Розрахунки пластичного моменту опору

Характерна епюра	Характеристика
	$W_{pl} = a \cdot A / 2, \quad (B.3)$ <p>П.Н.В. - пластична нейтральна вісь, яка ділить площу перерізу навпіл; A - площа перерізу; a - відстань між центрами ваги половинних площ</p>

Граничний момент балки при утворенні пластичного шарніра оцінюється за формулою таблиці В.2.

В.3 Обмеження щодо застосування пластичного шарніра як граничного стану перерізів пов'язані зі стійкістю елементів перерізу і залежать від величини поперечної сили.

Обмеження, що пов'язані зі стійкістю елементів перерізу, характеризуються співвідношенням ширини і товщини полиць та стінок і наводяться в таблиці В.4.

Таблиця В.4 - Обмеження до стінок та поясів для утворення пластичного шарніра

№	Вимоги до елементів перерізу	Формула
1	Звиси поясів b_f і t_f - ширина і товщина звису пояса	$\frac{b_f}{t_f} \leq 10 \cdot \varepsilon$
2	Стінки	

	b_w і t_w , ширина і товщина стінки	$\frac{b_w}{t_w} \leq 72 \cdot \varepsilon$					
$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{R_y}}$	R_y , МПа	235	250	300	345	390	440
	ε	1,00	0,97	0,89	0,83	0,78	0,73

Обмеження, пов'язані з величиною поперечної сили в перерізі

При пластичному шарнірі при одночасній дії в перерізі згинального моменту та поперечної сили величина пластичного згинального моменту має бути зменшена в залежності від величини поперечної сили за формулою

$$W_{pl,y} = \rho \frac{t_w \cdot h_w^2}{4}, \quad (B.4)$$

$$\text{де } \rho = (2a - 1)^2$$

$$a = \frac{Q}{Q_{ck}} - \text{але не менше ніж } 0,5;$$

Q - поперечна сила, що діє в перерізі;

$$Q_{ck} = \frac{R_y}{\sqrt{3}} \cdot h_w \cdot t_w - \text{гранична поперечна сила};$$

h_w і t_w - товщина і висота стінки відповідно.

**ДОДАТОК Г
(обов'язковий)****МАТЕРІАЛИ ТА НАПВФАБРИКАТИ**

У цьому додатку в таблицях надаються марки та механічні властивості матеріалів та виробів, які застосовуються для основних та допоміжних елементів мостових конструкцій:

Г.1 Листовий та фасонний прокат для несних елементів мостів;

Г.2 Листовий та фасонний прокат для допоміжних елементів мостів;

Г.3 Сталевий прокат труб;

Г.4 Сталевий прокат для котків шарнірів;

Г.5 Відливки з вуглецевої і легованої сталі;

Г.6 Поковки з вуглецевої та легованої сталі;

Г.7 Матеріали для зварювання;

Г.8 Високоміцні метизи;

Г.9 Звичайні метизи;

Г.10 Загальні вимоги до сталевих прокатів.

Перелік виробів (прокату, відливок, поковок, зварювальних матеріалів та метизів) може бути доповнений за умови відповідних обґрунтувань та погоджень.

Г.1 Листовий та фасонний прокат для несних елементів мостів

Сталевий прокат (листовий, сортовий, фасонний) для несних елементів мостів слід приймати з переліку марок сталей, що наведені у таблиці Г.1

Таблиця Г.1 - Перелік марок сталей для несних елементів мостів

Марка сталі	ГОСТ, ТУ, ТУУ	Товщина прокату, мм		Характеристичні значення, МПа (кг/см ²)	
		листового	фасонного	границя текучості R_{yk}	тимчасовий опір R_{tk}
16Д		≤ 20		235 (2400)	370 (3800)
		21-40		225 (2300)	370 (3800)
		41-60		215(2200)	370 (3800)
15ХСНД-2	ГОСТ 6713	8-32		340 (3500)	490 (5000)
		33-50	-	330 (3400)	470 (4800)
10ХСНД-2		8-15		390 (4000)	530 (5400)
		16-32	-	390 (4000)	530 (5400)
		33-50	-	390 (4000)	510 (5200)
09Г2СД-12	ГОСТ 19281	≤ 10		345 (3500)	480 (4900)
		11-20		325(3300)	450 (4600)
		21-32	≤ 20	295(3000)	430 (4400)
		≤ 32	≤ 10	345 (3500)	480 (4900)
15ХСНД-12		≤ 40	≤ 15	390 (4000)	530 (5400)
10ХСНД-12		≤ 40	≤ 15	390 (4000)	530 (5400)
09Г2СЮЧ-2-325	ТУ 322-16-127-97	8-50		325 (3300)	450 (4600)
09Г2СЮЧ-2-355				355(3600)	490 (5000)

09Г2СЮЧ-3-390			390(4000)	530 (5400)
06ГБД-355	ТУУ 27.1-05416923- 085:2006		355(3600)	450 (4600)
06ГБД-390			390 (4000)	490 (5000)
06Г2БД-440			440(4500)	540(5500)
06Г2БД-490			490 (5000)	590(6000)
Е 36		ГОСТ 5521	≤50	355 (3600)
Е 40	≤ 40		390 (4000)	530(5400)
Примітка 1.	За характеристичні опори прийняті гарантовані значення опору текучості R_{yT} та тимчасового опору R_{mT} , що надані в державних стандартах та в технічних умовах.			
Примітка 2.	Розрахункові значення опору текучості R_y та тимчасового опору R_m мають бути отримані діленням їх характеристичних значень на коефіцієнти надійності за матеріалом γ_m , що надані в таблиці 6.1.			
Примітка 3.	Для всіх сталей, що надаються в таблиці Г.1, клас суцільності має бути не нижче 2-го, згідно з табл. 3 додатка 4 ГОСТ 22727. В разі потреби допускається вказувати в замовленні інший клас або надавати конкретні вимоги щодо контрольованих характеристик суцільності ділянок прокату.			
Примітка 4.	Додаткові вимоги для сталей згідно з: - ГОСТ 6713 та приміткою 3 до таблиці 1, та 2.2.7, 2.2.9; - ГОСТ 19281 та 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.6, 2.2.9, 2.2.11 та 2.3; - ГОСТ 19280 та 2.2.4 і 2.2.8.			
Примітка 5.	За товщину фасонного прокату приймають товщину полицки.			

Г.2 Листовий та фасонний прокат для допоміжних елементів мостів

Сталевий прокат (листовий, сортовий, фасонний) для допоміжних елементів мостів слід приймати з переліку марок сталей, що наведені у таблиці Г.2.

Таблиця Г.2 - Перелік марок сталей для допоміжних елементів мостів

Марка сталі	ГОСТ	Товщина прокату, мм	Характеристичне значення, МПа (кг/см ²)		Можливість застосування
			границя текучості R_{yT}	тимчасовий опір R_{mT}	
Ст3пс4, Ст3сп4	ГОСТ 380	До 10 вкл.	245 (2500)	370 (3800)	Без зварювання
Ст3сп4		Понад 10 до 20 вкл.	245(2500)	370 (3800)	
Ст3пс5, Ст3сп5	ГОСТ 380	До 10 вкл.	245(2500)	370 (3800)	Для зварювання
Ст3сп5		Понад 10 до 20 вкл.	245(2500)	370 (3800)	
09Г2-12	ГОСТ 19281	До 100 вкл.	265(2700)	430 (4400)	
09Г2С-12		До 160 вкл.	265(2700)	430 (4400)	
Примітка 1.	Допускається застосовувати прокат марки Ст3пс2 з гарантією зварюваності для кутників з полицею до 70 мм включно.				
Примітка 2.	Сталевий прокат марок 09Г2-12 та 09Г2С-12 може бути застосований для опорних елементів основних несних конструкцій.				
Примітка 3.	Для прокладок балансирів опорних частин без зварювання можуть бути застосовані сталі 09Г2 та 09Г2С категорії 3, а для зварних елементів, що не сприймають динамічних навантажень, категорії 6.				

Г.4 Сталевий прокат для котків шарнірів

Сталевий прокат для котків шарнірів та наплавлена поверхня балансирів з високоміцної нержавіючої сталі 40Х13 наведені в таблиці Г.4.

Таблиця Г.4 - Сталевий прокат для котків шарнірів

Марка сталі	ГОСТ, ТУ	Діаметр круга, мм	Характеристичне значення, МПа (кг/см ²)	
			границя текучості R_{yT}	тимчасовий опір R_{mT}
40Х13	ГОСТ 5632	До 250	1200(12200)	1540 (15700)
Примітка.	Коефіцієнт надійності за матеріалом γ_m для розрахунків котків шарнірів та наплавлених поверхонь балансирів за границею текучості та за тимчасовим опором слід приймати таким, що дорівнює 1.1.			

Г.5 Відливки з вуглецевої і легованої сталі

Марки сталі для відливок із вуглецевої та легованої сталі та їх розрахункові опори наведені в таблиці Г.5.

Таблиця Г.5 - Марки сталі для відливок із вуглецевої та легованої сталі

Марка сталі	Розрахункові опори, МПа (кг/см ²)				
	Розтяг, стиск, гнуття R_y	Зсув R_s	Змінання торцевої поверхні (за наявністю підгонки) R_p	Змінання місцеве в циліндричних шарнірах при щільному дотику R_{lp}	Діаметральне стиснення котків при вільному дотику R_{cd}
25 Л	175 (1800)	105 (1100)	265 (2700)	125 (1300)	7 (70)

30Л	190(1950)	115(1200)	300 (3050)	145 (1500)	7,5 (75)
35Л	205(2100)	125 (1300)	315 (3200)	155 (1600)	8 (80)
20ГЛ	205 (2100)	125 (1300)	345 (3500)	170 (1750)	9(90)
20ФЛ	220 (2250)	130 (1350)	315 (3200)	155(1600)	8 (80)
35ХН2МЛ	400 (4100)	240 (2450)	440 (4500)	220 (2250)	11(110)
35ГЛ	220 (2250)	130 (1350)	345(3500)	170(1750)	9 (90)
Примітка 1.	Відливки для елементів мосту, які розраховуються на міцність і зазнають впливу динамічних навантажень, мають бути групи 3 згідно з ГОСТ 977. Контролю підлягають: зовнішній вигляд, розміри, хімічний склад, механічні властивості (границя текучості, тимчасовий опір, відносне подовження після розриву та ударна в'язкість).				
Примітка 2.	Обробка поверхні має забезпечувати подальше нанесення захисного покриття.				

Г.6 Поковки з вуглецевої та легованої сталі

Таблиця Г.6 - Поковки з вуглецевої та легованої сталі

Категорія міцності і (марка сталі)	Розрахункові опори, МПа (кг/см ²)				
	Розтяг, стиск, гнуття R_y	Зсув R_s	Змінання торцевої поверхні (за наявністю підгонки) R_p	Змінання місцеве в циліндричних шарнірах при щільному дотику R_{lp}	Діаметральне стиснення котків при вільному дотику R_{cd}
КП275 (Ст5сп2)	215 (2200)	120 (1250)	325 (3300)	160 (1650)	8 (80)
КП 245 (20-а-Т)	205 (2100)	115 (1200)	310 (3150)	150 (1550)	7,5 (75)
КП 315 (35-а-Т)	260 (2650)	145 (1500)	395 (4000)	195 (2000)	10 (100)
КП 345 (45-а-Т)	290 (2950)	165 (1700)	435 (4400)	215 (2200)	11 (110)
КП 315 (30Г-2-Т)	260 (2650)	145 (1500)	395 (4000)	195 (2000)	10 (100)
КП 315 (35Г-2-Т)	280 (2850)	160 (1650)	420 (4250)	205 (2100)	10 (100)
КП 785 (40ХН2МА-2-Т)	605 (6150)	350 (3550)	905 (9200)	450 (4600)	23 (230)
КП 1200 (40Х13)	1050 (10700)				
Примітка.	Поковки для елементів мосту, які розраховуються на міцність і зазнають впливу динамічних навантажень, мають бути групи 4 або 5 згідно з ГОСТ 8479. Контролю підлягають: розміри, хімічний склад, механічні властивості (границя текучості, тимчасовий опір, відносне зрушення та ударна в'язкість). Типові види випробувань: на розтяг, на ударну в'язкість, на твердість. За потреби в проєкті слід вказувати додаткові вимоги.				

Г.7 Матеріали для зварювання

Цей додаток надає інформацію відносно механічних характеристик матеріалів для зварювання, а остаточний вибір матеріалів має здійснюватися фахівцями із зварювання з обов'язковим погодженням з проєктувальником.

Таблиця Г.7 - Розрахункові опори зварних з'єднань

Зварні з'єднання	Напружений стан	Розрахункові опори зварних з'єднань
Стикові	Стиск, розтяг і гнуття (приймається як для основного металу)	за границею текучості $R_{wy} = R_y$
		за тимчасовим опором $R_{wu} = R_u$
		зріз $R_{ws} = R_s = 0,58R_y$
З кутовими швами	Зріз (умовний) по металу шва $R_{wf} = 0,55R_{win} / \gamma_m$	
	Зріз (умовний) по металу межі сплавлення $R_{wz} = 0,45R_{un}$	
Примітка 1.	R_{win} - тимчасовий опір розриву металу шва, приймається за сертифікатами виробника зварювальних матеріалів (для поширених матеріалів надається в таблицях Г.8-Г.10).	
Примітка 2.	Коефіцієнт надійності за матеріалом приймається згідно з таблицею 6.1 таким, що дорівнює 1,25.	

Для зварювання сталевого прокату міцності більше С440 вибір зварювальних матеріалів слід виконувати з залученням фахівців із зварювання і, як правило, з проведенням випробувань.

Таблиця Г.8 - Механічні характеристики металу, що наплавлений покритими електродами

Тип (марка) електрода	Опір металу шва, МПа (кг/см ²)		Рекомендований клас міцності основного металу
	тимчасовий розрив R_{win}	розрахунковий умовного зрізу R_{wf}	

Э42АУОНИИ 13/45 ГОСТ 9467	410 (4200)	180 (1850)	≤ С315
Э46АУОНИИ 13/55К ГОСТ 9467	450 (4600)	200 (2050)	≤ С355
Э50А УОНИИ 13/55 ГОСТ 9467	490 (5000)	215 (2200)	≤ С390
FOX EV 50 E42 5 B42 H5, EN 499	490 (5000)	215 (2200)	≤ С390
OK 53.70 E42 5 B 12 H5/EN 499	490 (5000)	215 (2000)	≤ С390
Э60 УОНИИ 13/65 ГОСТ 9467	530 (5400)	230 (2350)	≤ С440
Э60А 48ХН-2 ГОСТ 9467	560 (5700)	240 (2450)	≤ С490
Примітка.	Для зварювання сталевого прокату класу міцності більше С440 вибір зварювальних матеріалів слід виконувати з залученням фахівців із зварювання.		

Таблиця Г.9 - Механічні характеристики металу, що наплавлений дротом, при автоматичному зварюванні

Тип (марка) дроту	Опір металу шва, МПа (кг/см ²)		Рекомендований клас міцності основного металу
	тимчасовий розрив R_{wim}	розрахунковий умовного зрізу R_{wf}	
Св-08ГА ¹⁾ ГОСТ 2246	450 (4600)	200 (2050)	≤ С345
Св-08А ³⁾ ГОСТ 2246	450 (4600)	200 (2050)	≤ С345
Св-08ГА ³⁾ ГОСТ 2246	490 (5000)	215 (2200)	≤ С390
Св-10НМА ²⁾ ГОСТ 2246	490 (5000)	215 (2200)	≤ С390
OK Autrod 12.32 ³⁾ EN 756 S3Si	530 (5400)	230 (2350)	≤ С440
Св-08Г1НМА ³⁾ ГОСТ 2246	560 (5700)	240 (2450)	≤ С490
Примітка 1.	В індексах до позначок марок дроту наданий рекомендований склад флюсу при зварюванні: ¹⁾ АН-348А ГОСТ 9087; ²⁾ АН-47 ГОСТ 9087; ³⁾ ОК Flux 10.71 EN 760: SA AB1 67 AC H5.		
Примітка 2.	Тип дроту та флюсу має бути вказаний в супроводжувальній документації до конструкції, що приймається.		

Таблиця Г.10 - Механічні характеристики металу, що наплавлений дротом при механізованому зварюванні

Тип (марка) дроту	Опір металу шва, МПа (кг/см ²)		Рекомендований клас міцності основного металу
	тимчасовий розрив R_{wim}	розрахунковий умовного зрізу R_{wf}	
Св-08Г2С ^{1) 2)} ГОСТ 2246	450 (4600)	200 (2050)	≤ С345
Св-08ГСМТ ²⁾ ГОСТ 2246	490 (5000)	215 (2200)	≤ С390
OK Autrod 12.64 ¹⁾ C42 2C G4 Si1; EN440	490 (5000)	215 (2200)	≤ С390
OK Autrod 12.64 ²⁾ C46 3M 4 Si1; EN440	530 (5400)	230 (2350)	≤ С440
ПП Megafil-710 M ²⁾ T46 4 MM1 H5; EN758	530 (5400)	230 (2350)	≤ С440
ПП Megafil-713 R ¹⁾ 46 2PC1 H5; EN758	530 (5400)	230 (2350)	≤ С440
ПП Megafil-713 R ²⁾ T46 4 PM1 H5; EN758	530 (5400)	230 (2350)	≤ С440
ПП Megafil-821 R ¹⁾ T46 4 1Ni PC1 H5; EN758	530 (5400)	230 (2350)	≤ С440
ПП Megafil-821 R ²⁾ T50 4 1Ni PM1 H5; EN758	560 (5700)	240 (2500)	≤ С490
Примітка 1.	У позначеннях марок дроту наданий рекомендований склад суміші захисних газів при зварюванні: ¹⁾ CO ₂ для Ø 1,2 мм; ²⁾ Ar (78-82) % + CO ₂ (18-22) % для Ø 1,2-1,6 мм.		
Примітка 2.	Тип дроту та склад суміші захисних газів при зварюванні має бути вказаний в супроводжувальній документації до конструкції, що приймається.		

Г.8 Метизи

Г.8.1 Для фрикційних з'єднань несних конструкцій мостів слід застосовувати високоміцні болти згідно з ГОСТ 22353, гайки згідно з ГОСТ 22354, шайби згідно з ГОСТ 22355 за технічними вимогами ГОСТ 22356.

Поверхня метизів згідно з ГОСТ 22356 має чорну оксидну плівку після термічної обробки. Допускається для несних конструкцій мостів застосовувати болти з захисним покриттям. При цьому, значення тимчасового опору покритих болтів може бути меншим у порівнянні із ГОСТ 22356, але без погіршення показників відносного подовження та ударної в'язкості. Покриття болтів має виключати присутність атомарного водню в поверхні металу метизів.

Г.8.2 Допускається за відповідного обґрунтування для зрізних з'єднань несних конструкцій мостів застосування конічних високоміцних болтів М22 та М24 з напівкруглою головкою згідно з СТО 963.

Г.8.3 Для з'єднань допоміжних конструкцій мостів слід переважно застосовувати метизи з захисним покриттям. Болти і шпильки - класів міцності 3.6, 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 8.8, 9.8 та 10.9 згідно з ДСТУ ISO 898-1 та гайки класів міцності 4, 5, 6, 8, 9 та 10 згідно з ДСТУ ISO 898-2.

Г.8.4 Для анкерних болтів зі зварними з'єднаннями слід застосовувати прокат згідно з таблицею Г.1 (без обмежень) і таблицею Г.2 (з гарантією зварюваності). Для болтів без зварних з'єднань допускається застосовувати шпильки класів міцності 4,6, 4,8, 5,6, 5,8, 8,8 і 9,8 згідно з ДСТУ ISO 898-1 і гайки класів міцності 4, 5, 6, 8 та 9 згідно з ДСТУ ISO 898-2.

Г.8.5 Для кріплення відповідальних елементів проїзної частини, що експлуатуються в агресивному середовищі, наприклад, шумозахисних бар'єрів та стовпів освітлення, рекомендується застосовувати болти, гвинти та шпильки з нержавіючої сталі згідно з ДСТУ ISO 3506-1 і гайки згідно з ДСТУ ISO 3506-2.

Г.9 Площі перерізів болтів

При розрахунках з'єднань відповідно до додатка Р для болтів з метричною нарізкою слід використовувати площі перерізів згідно з ГОСТ 1759.4, що наведені у таблиці Г.11.

Таблиця Г.11 - Площі перерізів болтів, см²

Діаметр болта, мм	16	18	20	22	24	27	30	36	42	48
A_b	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
A_{bn}	1,57	1,92	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,16	11,20	14,72

Примітка 1. У таблиці A_b - площа бруто болта; A_{bn} - площа по нарізці.

Примітка 2. Площі перерізів болтів більше ніж 48 мм слід приймати згідно з ГОСТ 24379.0.

Г.10 Загальні вимоги до сталевих прокатів

У цьому додатку викладені основні вимоги до механічних та хімічних характеристик прокатних сталей для виготовлення основних несних та допоміжних конструкцій мостів, які не охоплені таблицями Г.1 та Г.2.

Г.10.1 Сталевий прокат умовно поділений на 5 груп відповідно до таблиці Г.12.

Таблиця Г.12 - Поділ сталевих прокатів

Група	Сталевий прокат	Клас міцності
1	Вуглецеві сталі	C235 до C355
2	Низьколеговані сталі нормалізовані	C275 до C460
3	Низьколеговані сталі з термообробкою	C275 до C460
4	Атмосферостійкі сталі	C235 до C355
5	Сталі з високою границею текучості	C460 до C620

Г.10.2 Значення відношень найменшого тимчасового опору до границі текучості сталевих прокатів має бути не менше значень, наведених в таблиці Г.13.

Таблиця Г.13 - Значення відношень найменшого тимчасового опору до границі текучості сталевих прокатів

Група	Сталевий прокат	Найменше значення R_{un} / R_{yn}
1	Вуглецеві сталі	1,3
2	Низьколеговані сталі нормалізовані	1,2
3	Низьколеговані сталі з термообробкою	1,2
4	Атмосферостійкі сталі	1,3
5	Сталі з високою границею текучості	1,1

Г.10.3 Мінімальні значення подовження при розриві циліндричного або плоского зразків діаметром або товщиною не менше ніж 3 мм з початковою розрахунковою довжиною не менше ніж $l_1 = 5,65\sqrt{A_0}$ (A_0 - площа поперечного перерізу зразка) для прокату завтовшки до 100 мм наведені в таблиці Г.14.

Таблиця Г.14 - Мінімальні значення подовження при розриві зразків

Група	Сталевий прокат	Мінімальний відсоток подовження зразка завдовжки після розриву, %					
		Класи міцності					
		C235	C275	C355	C420	C460	> C460
1	Вуглецеві сталі	24	20	20	—	—	—
2	Низьколеговані сталі нормалізовані	—	23	21	18	17	—
3	Низьколеговані сталі з термообробкою	—	24	22	19	17	—
4	Атмосферостійкі сталі	24	—	20	—	—	—
5	Сталі з високою границею текучості	—	0?	—	—	—	15

Г.10.4 Для запобігання можливості крихкого руйнування за найнижчої температури, яка передбачається при експлуатації мосту, слід задовольнити вимоги за ударною в'язкістю, що наведені в таблиці Г.15, для товщин прокату до 60 мм.

Таблиця Г.15 - Вимоги щодо ударної в'язкості для прокату до 60 мм

Група	Сталевий прокат	Тип надрізу і температура зразка при випробуванні	Мінімальні значення енергії удару для тесту ударної в'язкості, Дж/см ² , для класів міцності сталі		
			C235 - C355	C355 - C460	> C460
			1	Вуглецеві сталі	КСУ-20
		КСУ ⁰	27		

		KCV ⁻²⁰	27		
2 та 3	Низьколеговані сталі нормалізовані та низьколеговані сталі з термообробкою	KCV ⁰		47	
		KCV ⁻¹⁰		43	
		KCV ⁻²⁰		40	
		KCV ⁻³⁰		30	
		KCV ⁻⁴⁰		27	
4	Атмосферостійкі сталі	KCU ⁻²⁰	29		
		KCV ⁰	27		
		KCV ⁻²⁰	27		
5	Сталі з високою границею текучості	KCV ⁻²⁰			50
		KCV ⁻⁴⁰			40
		KCV ⁻⁶⁰			30

KCU - ударна в'язкість на зразках із U-подібним надрізом (тип I відповідно до ГОСТ 9454);

KCV - ударна в'язкість на зразках із V-подібним надрізом (тип II відповідно до ГОСТ 9454); індекс t (KCU^t і KCV^t) - регламентує температуру випробувань на ударний згин; відсутність індексу вказує на температуру +20 °C;

KCA - ударна в'язкість за температури +20 °C при випробуванні зразків з U-подібним надрізом після деформаційного старіння.

Примітка. Для низьколегованих сталей основних несних конструкцій мостів має бути викопана умова із забезпечення ударної в'язкості 29 Дж/см² на зразках з U-подібним надрізом за температури: при -40 °C - для всіх, крім наведених нижче; при -60 °C - для залізничних і суміщених із залізницею.

Г.10.5 Зварюваність прокату має бути оцінена за допомогою вуглецевого еквівалента CEV, що має не перевищувати значення, які наведені в таблиці Г. 16.

Таблиця Г.16 - Вуглецевий еквівалент CEV для оцінки зварюваності прокату

Група	Сталевий прокат	Граничні значення вуглецевого еквівалента CEV				
		≤ 30	> 30 ≤ 40	> 40 ≤ 150	> 100 ≤ 250	
1	Товщина прокату, мм					
	Вуглецеві сталі	C235	0,35	0,35	0,38	0,40
		C275	0,40	0,40	0,42	0,44
C355		0,45	0,47	0,47	0,47	
2	Товщина прокату, мм	≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 250	
	Низьколеговані сталі нормалізовані	C275	0,40	0,40	0,40	0,42
		C355	0,43	0,43	0,45	0,45
		C420	0,48	0,48	0,50	0,52
C460		0,53	0,53	0,54	0,55	
3	Товщина прокату, мм	≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 120	> 120 ≤ 150	
	Низьколеговані сталі термічно покращені	C275	0,34	0,35	0,38	0,38
		C355	0,39	0,40	0,45	0,45
		C420	0,45	0,46	0,47	0,47
C460		0,46	0,47	0,48	0,48	
5	Товщина прокату, мм		≤ 50	> 50 ≤ 100	> 100 ≤ 150	
	Сталі з високою границею текучості	C460		0,47	0,48	0,50
		C500		0,47	0,70	0,70
		C550		0,65	0,77	0,83
C620			0,65	0,77	0,83	

Примітка 1. Значення вуглецевого еквівалента в таблиці знаходять за формулою

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Примітка 2. Обмеження вмісту сірки та фосфору:

сірка - вміст не більше ніж 0,03% (сірка знижує витривалість та зварюваність);

фосфор - вміст не більше ніж 0,025% (фосфор знижує пластичність та в'язкість).

ДОДАТОК Д (довідковий)

РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОЇ ШИРИНИ ПЛИТ

При гнутті балок верхні та нижні широкі пояси (плити) мосту включаються в роботу разом зі стінками за рахунок передачі зрізних зусиль із стінок на плити. Тому нормальні напруження в плиті біля стінок, як правило, більше ніж на периферії (рисунок Д.1).

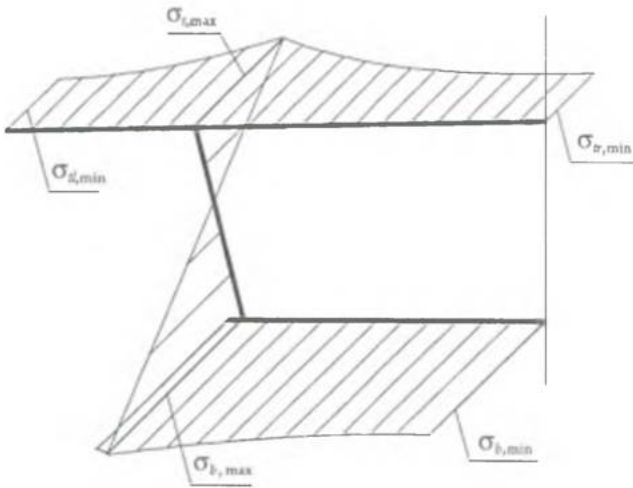


Рисунок Д.1 - Нерівномірність розподілу напружень у перерізі балки

Оцінювати нерівномірність розподілу нормальних напружень по ширині плит рекомендується на основі просторових розрахунків прогонової будови. При цьому, для визначення нерівномірності допускається завантажувати схему розподіленим навантаженням від власної ваги.

За результатом розрахунків визначається "ефективна ширина полиць" b_{eff} , яка менше номінальної ширини. Відношення ефективної ширини b_{eff} до номінальної ширини b_0 є коефіцієнтом редукції ширини β . Для визначення ефективної ширини полиць при пружній роботі конструкції слід розділити площу епюри нормальних напружень на максимальну ординату напружень (рисунок Д.2).

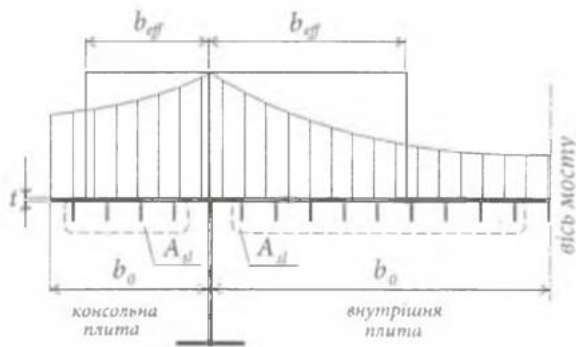


Рисунок Д.2 - Схема визначення коефіцієнта редукції для пружної роботи

Ефективну ширину b_{eff} плит знаходять за формулою

$b_{eff} = \beta \cdot b_0,$	(Д.1)
------------------------------	-------

де β - коефіцієнт редукції за таблицею Д.1.

Якщо просторові розрахунки не виконувались, то альтернативно ефективну ширину полиць при пружних розрахунках допускається визначати за (Д.2) в залежності від форми епюри моментів (рисунок Д.3).

$b_{eff} = \beta \cdot b_0,$	(Д.2)
------------------------------	-------

Коефіцієнт редукції β оцінюється за формулами таблиці Д.1 та параметром

$k = \frac{\alpha_0 \cdot b_0}{L_g},$	(Д.3)
---------------------------------------	-------

$\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 \cdot t}},$	(Д.4)
---	-------

де A_{sl} - площа поздовжніх ребер плити;

t - товщина листа настилу.

Огибающая эпюра моментів нерозрізної балки

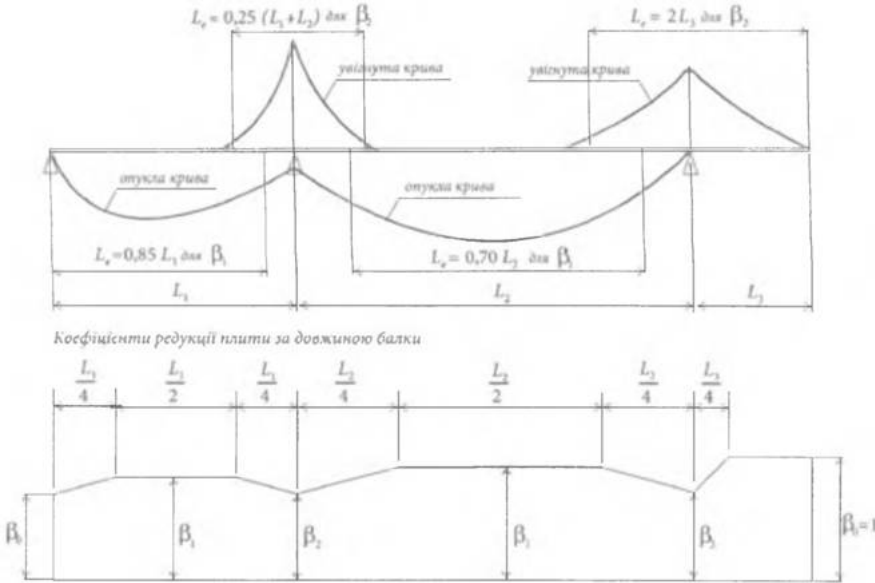


Рисунок Д.3 - Схема для визначення ефективної довжини прогону L_e .

Решта позначень наведені на рисунку Д.2.

Ефективну довжину прогону L_e можна визначити, керуючись схемою на рисунку Д.3 за умови, що нема прогонів завдовжки не більше ніж 1,5 довжини суміжного прогону, а консоль завдовжки не більше половини суміжного прогону. В інших випадках довжина прогону визначається між нульовими точками епюри моментів.

За таблицею Д.1 в залежності від обрахованого коефіцієнта k і форми ділянки епюри моментів по довжині балки можна визначити значення коефіцієнтів редукції β .

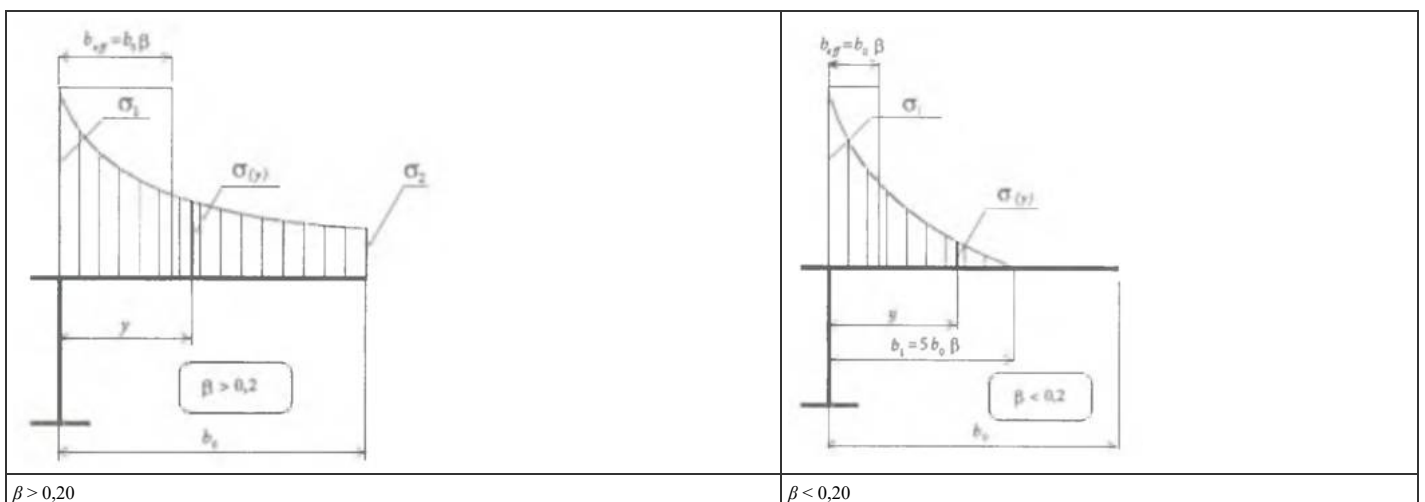
Таблиця Д.1 - Значення коефіцієнта редукції β

$k = \frac{\alpha_0 \cdot b_0}{L_e}$	Ділянка, що розглядається	Значення коефіцієнта β
$\leq 0,02$		$\beta = 1,0$
0,02 - 0,70	Опукла епюра	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot k^2}$
	Увігнута епюра	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0 \left(k - \frac{1}{2500k} \right) + 1,6k^2}$
> 70	Опукла епюра	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9 \cdot k}$
	Увігнута епюра	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6 \cdot k}$
Всі значення k	Кінцеве обпирання	$\beta_0 = \left(0,55 + \frac{0,025}{k} \right) \cdot \beta$ але $\beta_0 < \beta_1$
	Консоль	$\beta = \beta_2$ в обпиранні $\beta_0 = 1,0$ на кінці

Для кількісного оцінювання характеру розподілу значень напружень по ширині плит можна скористатися формулами, що наведені в таблиці Д.2. Значна нерівномірність розподілу нормальних напружень по ширині плити можлива при значній різниці в довжині прогонів або під дією тимчасового навантаження.

Ефективну ширину плит слід використовувати не лише при розрахунках перерізів на міцність, але й при визначенні геометричних характеристик елементів розрахункових схем, що застосовуються у розрахунках із визначення зусиль та деформацій.

Таблиця Д.2 - Кількісна оцінка нерівномірності розподілу напружень



$\sigma_2 = 1,25(\beta - 0,20) \cdot \sigma_1$	$\sigma_2 < 0,20$
$\sigma_{(y)} = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \left(1 - \frac{y}{b_0}\right)^4$	$\sigma_{(y)} = \sigma_1 \cdot \left(1 - \frac{y}{b_1}\right)^4$

Вище наведена методика оцінки нерівномірності розподілу нормальних напружень по ширині поясів балки жорсткості передбачає пружну роботу плит.

ДОДАТОК Е (обов'язковий)

КОЕФІЦІЄНТИ ПОЗДОВЖНЬОГО ЗГИНУ У РОЗРАХУНКАХ СТІЙКОСТІ СТЕРЖНІВ ТА БАЛОК

Таблиця Е.1 - Коefіцієнти поздовжнього згину для розрахунку стійкості стержнів та балок із сталі класу міцності до С250

Гнучкість $\lambda, \lambda_x, \lambda_y, \lambda_{ef}$	Коefіцієнти $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ для розрахунку стійкості стержнів та балок із сталі класу міцності до С250 при приведеному відносному ексцентриситеті 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 (0,84)	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. Для прокатних двотаврів із паралельними гранями полиць та зварних елементів двотаврового та Н-подібного перерізів коefіцієнти $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ за цим додатком застосовуються при власних залишкових напруженнях на краях полиць не більше ніж 49 МПа (500 кгс/см²). Для елементів вказаного типу з власними залишковими напруженнями на краях полиць більше ніж 49 МПа (500 кгс/см²) при розрахунку стійкості в площині полиць приймаються величини коefіцієнтів $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$, зазначені в дужках.

Таблиця Е.2 - Коefіцієнти поздовжнього згину для розрахунку стійкості стержнів та балок із сталі класу міцності від С250 до С345

--	--

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

Примітка. Для прокатних двотаврів із паралельними гранями полиць та зварних елементів двотаврового та Н-подібного перерізів коефіцієнти $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ за цим додатком застосовуються при власних залишкових напруженнях на краях полиць не більше ніж 49 МПа (500 кгс/см²). Для елементів вказаного типу з власними залишковими напруженнями на краях полиць більше ніж 49 МПа (500 кгс/см²) при розрахунку стійкості в площині полиць приймаються величини коефіцієнтів $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$, зазначені в дужках.

Таблиця Е.3 - Коефіцієнти поздовжнього згину для розрахунку стійкості стержнів та балок із сталі класу міцності більше С345

Гнучкість $\lambda, \lambda_x, \lambda_y,$ λ_{ef}	Коефіцієнти $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ для розрахунку стійкості стержнів та балок із сталі класу міцності більше С345 при приведеному відносному ексцентриситеті 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	0,65	0,58	0,48	0,43	0,40	0,34	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16	

	(0,70)	(0,62)	(0,55)	(0,45)	(0,40)	(0,37)	(0,31)	(0,27)	(0,24)	(0,21)	(0,19)	(0,17)	(0,14)
70	0,63 (0,59)	0,55 (0,51)	0,49 (0,45)	0,41 (0,37)	0,39 (0,33)	0,36 (0,30)	0,31 (0,25)	0,29 (0,23)	0,25 (0,19)	0,23 (0,17)	0,21 (0,16)	0,19 (0,14)	0,16 (0,11)
80	0,53 (0,49)	0,46 (0,42)	0,42 (0,38)	0,35 (0,31)	0,33 (0,29)	0,31 (0,27)	0,26 (0,22)	0,25 (0,21)	0,22 (0,18)	0,20 (0,16)	0,18 (0,14)	0,17 (0,13)	0,14 (0,10)
90	0,43 (0,38)	0,39 (0,34)	0,37 (0,32)	0,31 (0,26)	0,29 (0,24)	0,28 (0,23)	0,24 (0,19)	0,23 (0,18)	0,21 (0,16)	0,19 (0,14)	0,18 (0,13)	0,17 (0,11)	0,14 (0,09)
100	0,35 (0,32)	0,33 (0,30)	0,31 (0,28)	0,26 (0,23)	0,25 (0,22)	0,24 (0,21)	0,21 (0,18)	0,20 (0,17)	0,19 (0,15)	0,19 (0,14)	0,18 (0,13)	0,17 (0,11)	0,14 (0,08)
110	0,30 (0,27)	0,28 (0,25)	0,27 (0,24)	0,23 (0,20)	0,22 (0,19)	0,20 (0,17)	0,18 (0,15)	0,18 (0,15)	0,17 (0,14)	0,15 (0,12)	0,15 (0,11)	0,15 (0,10)	0,13 (0,08)
120	0,26 (0,24)	0,25 (0,23)	0,24 (0,22)	0,21 (0,19)	0,20 (0,18)	0,19 (0,17)	0,16 (0,14)	0,16 (0,14)	0,15 (0,13)	0,14 (0,12)	0,13 (0,11)	0,12 (0,10)	0,10 (0,08)
130	0,23 (0,21)	0,22 (0,20)	0,21 (0,19)	0,19 (0,17)	0,18 (0,16)	0,17 (0,15)	0,15 (0,13)	0,15 (0,13)	0,14 (0,12)	0,13 (0,11)	0,12 (0,10)	0,11 (0,09)	0,10 (0,08)
140	0,21 (0,20)	0,20 (0,19)	0,19 (0,18)	0,17 (0,16)	0,16 (0,15)	0,16 (0,15)	0,14 (0,13)	0,14 (0,13)	0,13 (0,12)	0,12 (0,11)	0,11 (0,10)	0,11 (0,09)	0,09 (0,08)
150	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07
160	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07
170	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06
180	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06
190	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05
200	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05

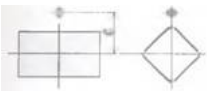
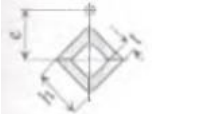

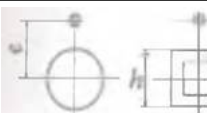
Примітка. Для прокатних двотаврів із паралельними гранями полиць та зварних елементів двотаврового та Н-подібного перерізів коефіцієнти φ , φ_c , φ_b за цим додатком застосовуються при власних залишкових напруженнях на краях полиць не більше ніж 49 МПа (500 кгс/см²). Для елементів вказаного типу з власними залишковими напруженнями на краях полиць більше ніж 49 МПа (500 кгс/см²) при розрахунку стійкості в площині полиць приймаються величини коефіцієнтів φ , φ_c , φ_b , зазначені в дужках.

ДОДАТОК Ж (довідковий)

ДОПОМІЖНА ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ПЛОСКОЇ ФОРМИ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ СТЕРЖНІВ

Ж.1 Коефіцієнти впливу форми перерізу

Таблиця Ж1 - Коефіцієнти впливу форми перерізу η

Тип перерізу	Схема перерізу	A_f	Значення η при			
			$0 \leq \bar{\lambda} \leq 5$		$\bar{\lambda} > 5$	
		A_w	$0,1 \leq m \leq 5$	$5 \leq m \leq 20$	$0,1 \leq m \leq 5$	$5 \leq m \leq 20$
1		-	1,0			
2	 $\frac{t}{h} = 0,25$	-	0,85			
3		-	$0,75 + 0,02\bar{\lambda}$	$0,75 + 0,02\bar{\lambda}$	0,85	
4	 $\frac{t}{h} = 0,25$	-	$(1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda}$		1,1	
5		0,25	$(1,45 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda}$		1,2	
		0,5	$(1,75 - 0,1m) - 0,02(5 - m)\bar{\lambda}$		1,25	
		≥ 1	$(1,90 - 0,1m) - 0,02(6 - m)\bar{\lambda}$		$1,4 - 0,02\bar{\lambda}$	1,3

	$\frac{a_1}{h} < 0,15$						
6		$\frac{a_1}{h} < 0,15$	-	$\eta_5 \left[1 - 0,3 \left(5 - m \frac{a_1}{h} \right) \right]$	η_5		
7		$\frac{a_1}{h} < 0,13$	-	$\eta_5 \left(1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$			
8			0,25	$(0,75 + 0,05m) + 0,01(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0		
			0,5	$(0,5 + 0,1m) + 0,02(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0		
			$\geq 1,0$	$(0,25 + 0,15m) + 0,03(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0		
9			0,5	$(1,25 - 0,05m) - 0,01(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0		
			$\geq 1,0$	$(1,5 - 0,1m) - 0,02(5 - m) \bar{\lambda}$	1,0		
10			0,5	1,4			
			1,0	$1,6 - 0,01(5 - m) \bar{\lambda}$	1,6	$1,35 + 0,05m$	1,6
			2,0	$1,8 - 0,02(5 - m) \bar{\lambda}$	1,8	$1,3 + 0,1m$	1,8
11			0,5	$1,45 - 0,04m$	1,65	$1,45 + 0,04m$	1,65
			1,0	$1,8 - 0,12m$	2,4	$1,8 + 0,12m$	2,4
			1,5	$2,0 - 0,25m + 0,1 \bar{\lambda}$	-		
			2,0	$3,0 - 0,25m + 0,1 \bar{\lambda}$	-		
Примітка.	<p>Коефіцієнт впливу форми перерізу η знаходять у залежності від умовної гнучкості λ і від носного ексцентриситету e_{rel} (в таблиці e_{rel} позначений літерою m).</p> <p>Відносний ексцентриситет $m = \frac{e}{\rho} = \frac{e \cdot A}{W}$. Умовна гнучкість $\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{l}{i} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$.</p> <p>$W_c$ - момент опору перерізу брутку, що знаходять для найбільш стиснутого волокна. A_f і A_w - площа поясів і стінок відповідно.</p> <p>Для типів перерізів 5-7 при розрахунках значень A_f/A_w площу вертикальних елементів полиць не слід враховувати.</p> <p>Для типів перерізів 6-7 значення η_5 слід приймати таким, що дорівнює значенню η для типу 5 при тих самих значеннях A_f/A_w.</p>						

Ж.2 Розрахункові значення моменту в перерізах стержня з однією віссю симетрії, що збігається з площиною згину, наведено в таблиці Ж.2.

Таблиця Ж.2 - Значення моменту в перерізах стержня з однією віссю симетрії

Відносний ексцентриситет, що відповідає M_{max}	Розрахункові значення M за умовної гнучкості стержня	
	$\bar{\lambda} < 4$	$\bar{\lambda} \geq 4$
e_{rel}	$M = M_2 = M_{max} - \frac{\bar{\lambda}}{4} (M_{max} - M_1)$	$M = M_1$
$3 < e_{rel} \leq 20$	$M = M_2 + \frac{e_{rel} - 3}{17} (M_{max} - M_2)$	$M = M_1 + \frac{e_{rel} - 3}{17} (M_{max} - M_1)$

Тут M_{max} - найбільший згинальний момент у межах довжини стержня;

M_1 - найбільший згинальний момент у межах середньої третини довжини стержня, але не менше ніж $0,5M_{max}$;





e_{rel} - відносний ексцентриситет за формулою $e_{rel} = \frac{M_{max} \cdot A}{N \cdot W_c}$;

$\bar{\lambda}$ - умовна гнучкість, що визначається за формулою $\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$.

У всіх випадках належить приймати $M \geq 0,5 M_{max}$.

Ж.3 Розрахункові значення приведених відносних ексцентриситетів для стиснутих стержнів, що мають дві осі симетрії, наведено в таблиці Ж.3.

Таблиця Ж.3 - Розрахункові значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef}

$\delta = \frac{M_2}{M_1}$	$\bar{\lambda}$	Приведені відносні ексцентриситети e_{ef} при e_{ef1}										
		0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0	20,0
	1	0,10	0,30	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,17	0,39	0,68	1,03	1,80	2,75	3,72	5,65	8,60	18,50
	3	0,10	0,10	0,22	0,36	0,55	1,17	1,95	2,77	4,60	7,40	17,20
	4	0,10	0,10	0,10	0,18	0,30	0,57	1,03	1,78	3,35	5,90	15,40
	5	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,23	0,48	0,95	2,18	4,40	13,40
	6	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,18	0,40	1,25	3,00	11,40
	7	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	1,70	9,50
	1	0,10	0,31	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,22	0,46	0,73	1,05	1,88	2,75	3,72	5,65	8,60	18,50
	3	0,10	0,17	0,38	0,58	0,80	1,33	2,00	2,77	4,60	7,40	17,20
	4	0,10	0,14	0,32	0,49	0,66	1,05	1,52	2,22	3,50	5,90	15,40
	5	0,10	0,10	0,26	0,41	0,57	0,95	1,38	1,80	2,95	4,70	13,40
	6	0,10	0,16	0,28	0,40	0,52	0,95	1,25	1,60	2,50	4,00	11,50
	7	0,10	0,22	0,32	0,42	0,55	0,95	1,10	1,35	2,20	3,50	10,80
	1	0,10	0,32	0,70	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,28	0,60	0,90	1,28	1,96	2,75	3,72	5,65	8,40	18,50
	3	0,10	0,27	0,55	0,84	1,15	1,75	2,43	3,17	4,80	7,40	17,20
	4	0,10	0,26	0,52	0,78	1,10	1,60	2,20	2,83	4,00	6,30	15,40
	5	0,10	0,25	0,52	0,78	1,10	1,55	2,10	2,78	3,85	5,90	14,50
	6	0,10	0,28	0,52	0,78	1,10	1,55	2,00	2,70	3,80	5,60	13,80
	7	0,10	0,32	0,52	0,78	1,10	1,55	1,90	2,60	3,75	5,50	13,00
	1	0,10	0,40	0,80	1,23	1,68	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,40	0,78	1,20	1,60	2,30	3,15	4,10	5,85	8,60	18,50
	3	0,10	0,40	0,77	1,17	1,55	2,30	3,10	3,90	5,55	8,13	18,00
	4	0,10	0,40	0,75	1,13	1,55	2,30	3,05	3,80	5,30	7,60	17,50
	5	0,10	0,40	0,75	1,10	1,55	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	17,00
	6	0,10	0,40	0,75	1,10	1,50	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	16,50
	7	0,10	0,40	0,75	1,10	1,40	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	16,00

Для стиснутих стержнів, що мають дві осі симетрії, розрахункові значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef} слід знаходити за таблицею Ж.3 в залежності від форми епюри моментів $\delta = M_2 / M_1$, умовної гнучкості $\bar{\lambda}$, і приведених відносних ексцентриситетів $e_{ef1} = \eta \cdot \frac{M_2}{N} \cdot \frac{A}{W_c}$.

Тут M_1 - найбільший за абсолютним значенням момент, прикладений на шарнірно-обертних кінцях стиснутого стержня;

N - абсолютне значення сили стиску;

η - коефіцієнт впливу форми перерізу (таблиця Ж.1);

A і W_c - площа і момент опору перерізу брутку, які знаходять для найбільш стиснутого волокна.

ДОДАТОК И (довідковий)

ЗГИНАЛЬНО-КРУТНА ФОРМА ВТРАТИ СТІЙКОСТІ БАЛОК

И.1 Характеристика явища

На відміну від явища поздовжнього згину, за якого елемент аналізується як стержень з перерізами, що не повертаються навколо поздовжньої осі, при згинально-крутній формі втрати стійкості передбачається повертання перерізів відносно її поздовжньої осі.

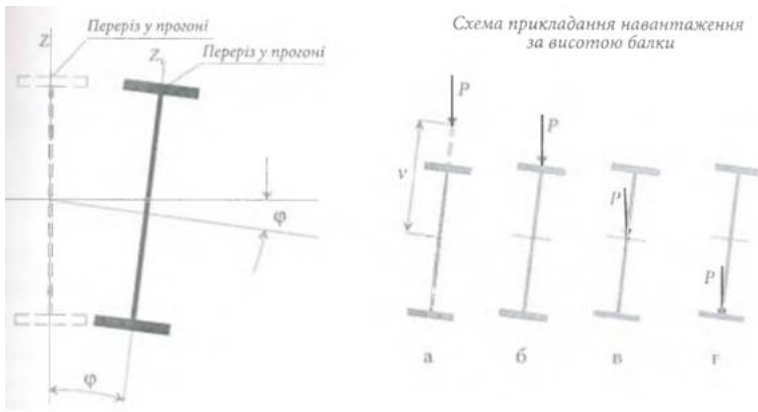


Рисунок И.1 - Поперечний переріз I-подібної зігнутої балки при згинально-крутній формі втрати стійкості

Значення критичного навантаження залежить від рівня його прикладення до перерізу. На рисунку И.1 наведено схеми прикладання навантаження по висоті балки відносно центра ваги перерізу. У схемах а і б прикладене навантаження збільшує скручування балки. На схемі г навантаження протистоїть скручуванню балки.

И.2 Розрахунок критичних моментів

Критичний момент M_{cr} знаходять у кожному окремому випадку з врахуванням схеми балки та її закріплень, типу поперечного перерізу і схеми розташування навантаження по висоті. Розрахунок критичних станів у складних випадках слід виконувати за деформованою схемою з урахуванням (завданням) початкових невідповідностей.

У простих випадках інформація для знайдення M_{cr} може бути отримана з таблиць И.1 та И.2. У таблицях надані формули для розрахунків критичних навантажень для шарнірно-обпертих I-подібних балок постійної висоти з двома осями симетрії для двох випадків навантаження. Торці балок закріплені від бокових зміщень.

Таблиця И.1 - Розрахунок M_{cr} для балок, навантажених зосередженою силою

Шарнірно-обперта балка, навантажена зосередженою силою														
		$P_{cr} = \frac{r \cdot k \cdot \sqrt{B \cdot C}}{l^2}; B = EI_y; C = GI_k;$ $\alpha = \frac{4 \cdot GI_k}{EI_y} \left(\frac{l}{h}\right)^2 = \frac{4 \cdot I_k}{I_y \cdot 2(1 + \nu)} \left(\frac{l}{h}\right)^2$												

α	0,4	4	8	16	24	32	48	64	80	96	160	240	320	400
k	86,4	31,9	25,6	21,8	20,3	19,6	18,8	18,3	18,1	17,9	17,5	17,4	17,2	17,2
k_B	51,2	20,2	17,0	15,5	15,4	14,9	14,8	15,0	15,0	15,1	15,3	15,5	15,7	15,8
k_H	146	50,0	38,2	30,4	27,2	25,5	23,5	22,4	21,6	21,1	20,0	19,3	18,9	18,7

Тут k - у випадку прикладання навантаження на рівні осі балки;

k_B - у випадку прикладання навантаження до верхнього пояса;

k_H - у випадку прикладання навантаження до нижнього пояса;

h - висота балки;

E - модуль пружності;

G - модуль зсуву;

ν - коефіцієнт Пуассона;

I_y - момент інерції балки відносно вертикальної осі;

I_k - момент інерції при чистому крученні.

Значення коефіцієнта r										
ζ	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	
$r = P_\zeta / P_{\zeta=0,5}$	1,00	1,01	1,05	1,12	1,24	1,42	1,72	2,23	3,31	

Таблиця И.2 - Розрахунок M_{cr} для балок з розподіленим навантаженням

Шарнірно-обперта балка, навантажена розподіленим навантаженням														
		$(p \cdot l)_{cr} = \frac{k \cdot \sqrt{B \cdot C}}{l^2}; B = EI_y; C = GI_k;$ $\alpha = \frac{4 \cdot GI_k}{EI_y} \left(\frac{l}{h}\right)^2 = \frac{4 \cdot I_k}{I_y \cdot 2(1 + \nu)} \left(\frac{l}{h}\right)^2$												

α	0,4	4	8	16	24	32	48	64	80	96	160	240	320	400
----------	-----	---	---	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

k	143	53	42,6	36,3	33,8	32,6	31,5	30,5	30,1	29,2	29,0	28,8	28,7	28,6
k_B	93,0	36,4	30,1	27,6	26,7	26,1	25,4	26,0	25,9	26,0	26,5	26,6	26,7	26,7
k_H	222	77,3	58,9	47,9	43,4	40,4	37,6	36,2	35,2	33,3	32,2	31,5	31,1	30,8

И.3 Критерії стійкості зігнутих балок

Вільна довжина стиснутого пояса l_{ef} суцільної зігнутої балки приймається як відстань між поперечними в'язями, які утримують пояс від бокових зміщень. В'язі мають бути розраховані на умовну поперечну силу за формулою

	(И.1)
--	-------

де N - граничне поздовжнє зусилля в стиснутому поясі з ділянкою $1/4$ висоти стінки;

$N = (A_f + 0,25A_w) \cdot R_y,$	(И.2)
----------------------------------	-------

де A_f, A_w - площа стиснутого пояса і ділянки стінки;

φ - коефіцієнт поздовжнього гнуття стиснутого пояса при гнучкості, що дорівнює (i - радіус інерції стиснутого пояса в горизонтальній товщині);

E і R_y - модуль пружності і розрахунковий опір текучості сталі.

Лімітовані відстані між в'язями l_{ef} стиснутого пояса зварних та прокатних балок (при відношенні i для яких допускається не виконувати перевірку згинальнокрутної стійкості, слід знаходити з таблиці И.3.

Таблиця И.3 - Граничні значення відношення l_{ef}/b_f

Рівень прикладання навантаження	Найбільше значення відношення l_{ef}/b_f
До верхнього пояса	
До нижнього пояса	
Незалежно від рівня прикладання навантаження при розрахунку ділянки балки між в'язями при чистому гнутті	
Тут b_f і t_f - ширина и товщина стиснутого пояса; h - відстань в осях поясів.	
Для балок із закріпленням пояса на високоміцних болтах граничні значення l_{ef}/b_f можуть бути збільшені в 1,2 раза.	
Для балок із відношенням t_f/b_f у формулах слід приймати	

ДОДАТОК К (обов'язковий)

РОЗРАХУНКИ МІСЦЕВОЇ СТІЙКОСТІ СТИНОК БАЛОК, ПІДКРІПЛЕНИХ РЕБРАМИ ЖОРСТКОСТІ

К.1 Знаходження діючих зусиль у відсіках стінки

К.1.1 Конструкція, що розраховується, це стінка балки, яка укріплена поперечними ребрами жорсткості, або поперечними і поздовжніми. Ребра на стінці поділяють її на окремі відсіки, стійкість яких і перевіряється в цьому додатку. Вимоги до жорсткості ребер надаються в К.6. Схема до розрахунку стінки на стійкість відсіків наведена на рисунку К.1.

Рисунок К.1 - Схема до розрахунку стінки на стійкість відсіків

К.1.2 Позначки

Зусилля, що діють у межах відсіку:

N - нормальна сила (позитивна при стисканні), що діє на переріз;

M - згинальний момент, що діє на переріз балки;

Q - поперечна сила, що діє на переріз балки;

p - розподілена сила по V , прикладена до пояса;

F - зосереджена сила по V , прикладена до пояса;

s_x - потік нормальних зусиль по X від локальних дій;

s_y - потік нормальних зусиль по Y від локальних дій;

s_{xy} - потік дотичних напружень від локальних дій.

Параметри розрахункової балки:

A - площа перерізу балки;

I - момент інерції перерізу балки в межах відсіку;

S_i - статичний момент по крайках i -го відсіку;

n - кількість відсіків;

i - відсік, що розглядається;

h_w - висота стінки відповідно до рисунка К.1;

h_i - висота i -го відсіку відповідно до рисунка К.1;

a_i - ширина i -го відсіку відповідно до рисунка К.1;

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

t ; t_i - товщина стінки, товщина i -го відсіка;

c_{ef} - довжина розподілення прикладеної до пояса сили на рівні кромки стінки;

h_{F1} - ордината від навантаженого зосередженою силою пояса до рівня розрахунку напружень;

$\sigma_{x,i,max}$; $\tau_{xy,i,max}$ - максимальні напруження в i -му відсіку; нормальні (позитивні при стисканні) і дотичні (позитивні завжди);

$\sigma_{x,i,min}$; $\tau_{xy,i,min}$ - мінімальні напруження в i -му відсіку; нормальні (позитивні при стисканні) і дотичні (позитивні завжди);

$\sigma_{y,i,max}$ - максимальні поперечні напруження в i -му відсіку (позитивні при стисканні).

К.1.3 Потоки зусиль s_x , s_y і s_{xy} в 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.

К.1.4 Розподіл зусиль від поперечного навантаження (вздовж) на кромку стінки визначається за формулами:

- від розподіленого вздовж пояса навантаження p

	(К.1)
--	-------

- від зосередженої сили F

	(К.2)
--	-------

К.1.5 Довжина розподілу навантаження вздовж верхньої кромки стінки визначається за формулою:

- при передачі навантаження безпосередньо через пояс балки або через рейку і пояс

	(К.3)
--	-------

де I - момент інерції пояса або сума моментів інерції пояса і рейки;

c - коефіцієнт, що дорівнює 3,25 при зварних та прокатних балках;

c - коефіцієнт, що дорівнює 3,75 при з'єднанні пояса на високоміцних болтах;

c - коефіцієнт, що дорівнює 4,50 при з'єднанні пояса на звичайних болтах;

- при передачі навантаження від котка через рейку, дерев'яний лежень і пояс балки розподіл приймається під кутом 45° від сили за формулою (К.4), але не більше ніж відстань між котками

$c_{ef} = c + 2 \cdot (h_s + h_f)$	(К.4)
------------------------------------	-------

де c - відбиток колеса на покритті (згідно з ДБН В.1.2-15) для залізниць $c = 0$;

h_s - товщина покриття для залізниць - відстань від поверхні рейки до кромки стінки балки;

h_f - товщина пояса;

c_{ef} - довжина розподілу зусилля на кромку стінки;

- при передачі тиску від колеса автомобіля за формулою (К.4) - відповідно до рисунка К.2.

Рисунок К.2 - Передача тиску від колеса автомобіля

К.1.6 Розподіл напружень по висоті стінки від навантажень, прикладених до пояса, слід оцінювати на основі розрахунку кінцево-елементної моделі.

Допускається приймати розподіл від розподіленої вздовж пояса сили за формулою (К.5), від зосередженої сили - за формулою (К.6).

Напруження на i -му рівні стінки на відстані від зосередженої сили F , прикладеної до покриття або пояса

	(К.5)
--	-------

Напруження на i -му рівні стінки від дії розподіленої сили p , прикладеної до кромки стінки через пояс,

	(К.6)
--	-------

де α - відношення $1/2$ штампу розподілу зосередженої сили до висоти стінки;

β - відношення ділянки стінки від навантаженого пояса до рівня розрахунку напружень до висоти стінки.

К.1.7 Напруження σ_x , σ_y і τ_{xy} знаходять виходячи з пружної роботи перерізу без урахування коефіцієнтів поведздовжнього згину для верхньої та нижньої кромки відсіку, враховуючи і локальні напруження. На рисунку К.1 показано фрагмент стінки, який поділений поперечними та позовжніми ребрами на відсіки і показано епюру нормальних напружень σ_x від дії в перерізі сил M , N і Q . Напруження по краях i -го відсіку від дії глобальних і локальних дій знаходять за формулами

	(К.7)
--	-------

	(К.8)
--	-------

	(К.9)
--	-------

К.2 Вибір розрахункового випадку

Розрахункові випадки для оцінки стійкості відсіків стінки можна звести до дев'яти, в залежності від чотирьох критеріїв: напруженого стану стінки, числа позовжних ребер, положення відсіку по висоті стінки і напруженого стану відсіку.

Вибір розрахункового випадку для розрахунку критичних напружень у відсіках та формул для перевірки стійкості може бути здійснений, користуючись таблицею К.1.

Таблиця К.1 - Розрахункові випадки при розрахунку критичних напружень

Критерії віднесення до розрахункового випадку				Номери розрахункових випадків	
Напружений стан стінки	Число позовжних ребер на стінці	Положення відсіку по висоті стінки	Напружений стан відсіку		
Стиснуто-розтягнута стінка вздовж балки	Без ребер	Крайній	Стиснуто-розтягнутий	РВ 1	
	Одне ребро	Крайній	Пояс розтягнутий	РВ 2	
		Крайній	Пояс стиснутий	РВ 3	
	Два і більше ребер		Крайній	Пояс розтягнутий	РВ 4
			Проміжний	Розтягнутий	РВ 5
			Проміжний	Стиснуто-розтягнутий	РВ 6
			Проміжний	Стиснутий	РВ 7
			Крайній	Пояс стиснутий	РВ 8
Стиснута стінка	-	-	-	РВ 9	

Напружений стан стінки і відсіку оцінюється за епорами розрахункових діючих позовжних нормальних напружень σ_x за таблицею К.2.

Таблиця К.2 - Схеми напружених станів стінки

Стінка без проміжних ребер	Стінка з одним поздовжнім ребром
Стінка з двома і більше поздовжніми ребрами	

К.3.1 Розрахунки стійкості відсіків стінки виконуються за таблицями, в яких надані формули для розрахункових випадків РВ.1 - РВ.9 (таблиця К.1). У таблицях зроблені посилання на коефіцієнти $\beta, \gamma, \omega_1, \chi, \varepsilon, \zeta, z$ і δ , які підраховуються за К.4; критичних напружень $\sigma_{x,cr}, \sigma_{y,cr}$ і $\tau_{xy,cr}$, які підраховуються за К.5, та співвідношення коефіцієнтів:

m - коефіцієнт умов роботи, що приймається за таблицею 6.2;

γ_r - коефіцієнт відповідальності, що приймається за таблицею 4.1 ДБН В.2.3.-22.

Випадок РВ.1

Стінка без поздовжніх ребер	Перевірка стійкості	(К.10) табл. К.4.2 як функція від ζ_i ; для автодорожніх та міських мостів; для всіх інших мостів
	Формули для розрахунку приведених критичних напружень	(К.11) табл. К.4.3 табл. К.4.9 як функція від μ_i і ζ_i
		(К.12) при розподіленому навантаженні, табл. К.4.10 при зосередженому навантаженні; табл. К.4.4; табл. К.4.11
		(К.13) табл. К.4.5; $\mu_I = \mu_i$ при $a_i > h_i$ та $\mu_I = 1 / \mu_i$ при $a_i \leq h_i$

Випадок РВ.2

Стінка з одним поздовжнім ребром	Перевірка стійкості	(К.10) табл. К.4.2 як функція від ζ_i ; $\omega_2 = 1$
	Формули для розрахунку приведених критичних напружень	(К.11) $\chi = 1,0$; табл. К.4.9 як функція від μ_i і ζ_i
		(К.12) табл. К.4.10 при $\rho = 0,35$; $\chi = 1,0$; табл. К.4.11
		(К.13) $\chi = 1,0$; $\mu_I = \mu_i$ при $a_i > h_i$ та $\mu_I = 1 / \mu_i$ при $a_i \leq h_i$

Випадок РВ.3

Стінка з одним поздовжнім ребром Відсік, що примикає до стиснутого пояса	Перевірка стійкості	(К.14) табл. К.4.2 як функція від ζ_i
	Формули для розрахунку приведених критичних напружень	(К.11) χ - табл. К.4.6 як функція від γ ; ε - табл. К.4.9 як функція від μ_i і ζ_i
		(К.15) $t = 1$ при $\mu_i \geq 0,7$ та $t = 2$ при $0,7 > \mu_i > 0,4$; χ - табл. К.4.7 та К.4.8
		При дії зосередженої сили безпосередньо на пояс та за наявності σ_y , що визначається за формулою (К.2), а значення $\sigma_{z,cr,ef}$ слід множити на 1,55.
		При цьому, якщо $a_i > 2(h_i + c_{ef})$, то
	(К.13) табл. К.4.5; $\mu_1 = \mu_i$ при $a_i > h_i$ та $\mu_1 = 1 / \mu_i$ при $a_i \leq h_i$	

Випадок РВ.4

Стінка з двома і більше поздовжніми ребрами Крайній розтягнутий відсік	Перевірка стійкості	(К.16) табл. К.4.2 як функція від ζ_i ; $\omega_2 = 1$
	Формули для розрахунку приведених критичних напружень	(К.17) δ - табл. К.4.12 як функція від a_i / h_i
		(К.18) $\mu_1 = \mu_i$ при $a_i > h_i$ та $\mu_1 = 1 / \mu_i$ при $a_i \leq h_i$

Випадок РВ.5

Стінка з двома і більше поздовжніми ребрами Проміжний розтягнутий відсік	Перевірка стійкості	(К.16)
	Формули для розрахунку приведених критичних напружень	(К.17) δ - табл. К.4.12 як функція від a_i / h_i
		(К.19) $\mu_1 = \mu_i$ при $a_i > h_i$ та $\mu_1 = 1 / \mu_i$ при $a_i \leq h_i$

Випадок РВ.6

Стінка з двома і більше поздовжніми ребрами Проміжний стиснуто-розтягнутий відсік	Перевірка стійкості	(К.10) $\omega_1 = 1,0$; $\omega_2 = 1$
	Формули для розрахунку приведених критичних напружень	(К.11) $\chi = 1,0$; табл. К.4.9 як функція від μ_i і ζ_i
		(К.12)

	табл. К.4.10 при $\rho = 0,35; \chi = 1,0;$ табл. К.4.11
	(К.13) $\chi = 1,0; \mu_I = \mu_i$ при $a_i > h_i$ та $\mu_I = 1 / \mu_i$ при $a_i \leq h_i$

Випадок РВ.7

Стінка з одним поздовжнім ребром Проміжний стиснутий відсік	Перевірка стійкості	(К.14) табл. К.4.2 як функція від ζ_i
	Формули для розрахунку приведених критичних напружень	(К.11) $\chi = 1,0;$ табл. К.4.9 як функція від μ_i і ζ_i
		(К.15) $\chi = 1; t = 1$ при $\mu_i \geq 0,7$ та $t = 2$ при $0,7 > \mu_i > 0,4$
		(К.13) $\chi = 1,0; \mu_I = \mu_i$ при $a_i > h_i$ та $\mu_I = 1 / \mu_i$ при $a_i \leq h_i$

Випадок РВ.8

Стінка з одним поздовжнім ребром Відсік, що примикає до стиснутого пояса	Перевірка стійкості	(К.14) табл. К.4.2 як функція від ζ_i
	Формули для розрахунку приведених критичних напружень	(К.11) табл. К.4.3; табл. К.4.9 як функція від μ_i і ζ_i
		(К.15) табл. К.4.7 та К.4.8; $t = 1$ при $\mu_i \geq 0,7$ та $t = 2$ при $0,7 > \mu_i > 0,4$
		(К.13) табл. К.4.5; $\mu_I = \mu_i$ при $a_i > h_i$ та $\mu_I = 1 / \mu_i$ при $a_i \leq h_i$

Випадок РВ.9

Стиснутий переріз по всій висоті	Перевірка стійкості	(К.20) табл. К.4.2 як функція від ζ_i
	Формули для розрахунку приведених критичних напружень	(К.11) табл. К.4.3 (додаток до табл. К.4.3); табл. К.4.9 як функція від μ_i і ζ_i
		(К.12) при розподіленому навантаженні; табл. К.4.10 при зосередженому навантаженні; табл. К.4.4; табл. К.4.11
		(К.13) табл. К.4.5; $\mu_I = \mu_i$ при $a_i > h_i$ та $\mu_I = 1 / \mu_i$ при $a_i \leq h_i$

К.4 Обчислення коефіцієнтів β , γ , ω_I , χ , ε , z і δ К.4.1 Коефіцієнт β враховує ступінь утримання пояса елементами плити проїзду**Таблиця К.4.1** - Коефіцієнт β

Характер закріплення стиснутого пояса балки, звареного до стінки	Коефіцієнт β
До пояса за допомогою лапчастих болтів закріплені мостові бруси	0,3
До пояса шпильками прикріплена залізобетонна плита на дерев'яних підкладках	0,5
Пояс вільний від закріплень	0,8
До пояса приєднана ортотропна плита	2,0
До пояса приєднана збірна залізобетонна плита	1,5
До пояса приєднана монолітна залізобетонна плита	20

К.4.2 Коефіцієнт у враховує утримання стінки поясом балки

де t_f і b_f - товщина і розрахункова ширина пояса балки. Ширина звису пояса в кожний бік обмежена значеннями 11,5, 12 і 14 товщини пояса для сталей з лімітом текучості 390,345 і 220 відповідно. Для ортотропної плити ширина може бути прийнята 18,19 і 22 товщини настилу плити в кожний бік від стінки для сталей з лімітом текучості 390,345 і 220 відповідно, але не більше 1/2 ширини коробки. У разі, якщо стінка примикає до пояса 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 пояса.К.4.3 Коефіцієнт μ_i - коефіцієнт форми i -го відсіку;Коефіцієнт ξ_i враховує форму епюри нормальних напружень σ_x .- коефіцієнт нелінійності епюри напружень в межах i -го відсіку.К.4.4 Коефіцієнт ω_I враховує форму епюри нормальних напружень σ_x .**Таблиця К.4.2** - Коефіцієнт ω_I

ξ_i	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
ω_I	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,30	1,40

К.4.5 Коефіцієнт χ . χ - коефіцієнт пружного утримання стінки поясом балки визначається для крайніх відсіків за таблицями К.4.3 - К.4.7 та відповідно до вказівок. Для проміжних відсіків $\chi = 1,0$;Для розрахункових випадків 1, 8 і 9 при обчисленні $\sigma_{x,cr,ef}$ **Таблиця К.4.3** - Коефіцієнт χ для зварного з'єднання стінки з поясом

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 пояса $\chi = 1,4$.Для розрахункових випадків 1 і 8 при обчисленні $\sigma_{y,cr,ef}$ **Таблиця К.4.4** - Коефіцієнт μ для зварного з'єднання стінки з поясом

γ	Значення коефіцієнта χ при 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

Для розрахункових випадків 1, 3, 8 і 9 при обчисленні $\tau_{xy,cr,ef}$ **Таблиця К.4.5** - Коефіцієнт μ_i для зварного з'єднання стінки з поясом

γ	Значення коефіцієнта χ при μ_i				
	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	1,26	1,30

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 пояса $\chi = 1,0$.

Для розрахункових випадків 3 і 8 при обчисленні $\sigma_{x,cr,ef}$

Таблиця К.4.6 - Коефіцієнт χ для зварного з'єднання стінки з поясом

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

Для болтового прикріплення пояса $\chi = 1,3$.

Для пояса, об'єднаного з залізобетонною плитою, $\chi = 1,35$.

Для розрахункових випадків 3 і 8 при обчисленні $\sigma_{y,cr,ef}$

Таблиця К.4.7 - Коефіцієнт χ для болтового з'єднання стінки з поясом або із залізобетонною плитою

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

Таблиця К.4.8 - Коефіцієнт μ_i для зварного з'єднання стінки з поясом

γ	Значення коефіцієнта χ при μ_i							
	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

К.4.6 Коефіцієнт ϵ , що враховує відношення сторін відсіку і форму епюри нормальних напружень σ_x по висоті, знаходять за таблицею К.4.9 в залежності від коефіцієнтів ξ_i і μ_i .

Таблиця К.4.9 - Значення коефіцієнта ϵ

ξ_i	Значення коефіцієнта ϵ при μ_i									
	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	4,2	4,04	4,0	4,34	4,0
0,67	10,8	8,0	7,1	6,6	6,1	6,0	5,9	5,8	6,1	5,8
0,80	13,3	9,6	8,3	7,7	7,1	6,9	6,7	6,6	7,1	6,6
1,00	15,1	11,0	9,7	9,0	8,4	8,1	7,9	7,8	8,4	7,8
1,33	18,7	14,2	12,9	12,0	11,0	11,2	11,1	11,0	11,5	11,0
2,00	29,1	25,6	24,1	23,9	24,1	24,4	25,6	25,6	24,1	23,9
3,00	54,3	54,5	58,0	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8
4,00	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7

К.4.7 Коефіцієнт ζ , що враховує локальний характер дії зосередженої сили для визначення $\sigma_{y,cr,ef}$

ζ - коефіцієнт, що враховує локальний характер дії сили F . При розподіленому навантаженні $\zeta = 1,0$;

- коефіцієнт, що враховує локальний характер сили F , що діє на пояс.

Для інших відсіків приймається $\rho = 0,35$.

Для розрахункових випадків 1, 2, 6 і 9 при обчисленні $\sigma_{y,cr,ef}$

Таблиця К.4.10 - Коефіцієнт ζ

μ_i	Значення коефіцієнта ζ при 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
≥ 2,0	2,86	2,75	2,65	2,55	2,47	2,40	2,36	2,28	2,20	2,05	1,98	1,88

К.4.8 Коефіцієнт z , що враховує форму відсіків

Для розрахункових випадків 1, 2, 6 і 9 при обчисленні $\sigma_{y,cr,ef}$

Таблиця К.4.11 - Коефіцієнт z

μ_i	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2	≥ 2,5
z	4,88	5,12	5,37	5,59	5,80	6,26	6,87	7,69	8,69	9,86	11,21	15,28

К.4.9 Коефіцієнт δ , що враховує форму відсіків

Для розрахункових випадків 4 і 5 при обчисленні $\sigma_{y,cr,ef}$

Таблиця К.4.12 - Коефіцієнт δ

Положення пластинки	Значення коефіцієнтів δ при a_i / h_i							
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0
Примикає до розтягнутого пояса	1240	1380	1520	1650	1820	2240	3860	6300
Проміжна	920	970	1020	1060	1100	1190	1530	2130

К.5 Розрахунки критичних напружень

Критичні напруження $\sigma_{x,cr}$, $\sigma_{y,cr}$ і $\tau_{xy,cr}$, що обмежуються пластичною роботою сталі, знаходять за таблицею К.5 від приведених критичних напружень $\sigma_{x,cr,ef}$, $\sigma_{y,cr,ef}$ і $\tau_{xy,cr,ef}$, які знайдені за умови необмеженої пружності сталі.

Таблиця К.5 - Розрахунки критичних напружень

Сталь	Інтервал значень напружень $\sigma_{x,cr,ef}$, МПа (кг/см ²)	Формули для визначення критичних напружень
Вуглецева	0 ÷ 196 (0 ÷ 2000)	$\sigma_{x,cr} = 0,9 \cdot \sigma_{x,cr,ef}$
	196 ÷ 385 (2000 ÷ 3921)	
	> 385 > (3921)	
Низько-легована класу міцності С345	0 ÷ 207 (0 ÷ 2111)	$\sigma_{x,cr} = 0,9 \cdot \sigma_{x,cr,ef}$
	207 ÷ 524 (2111 ÷ 5342)	
	> 524 > (5342)	
Низько-легована класу міцності С390	0 ÷ 229 (0 ÷ 2333)	$\sigma_{x,cr} = 0,9 \cdot \sigma_{x,cr,ef}$
	229 ÷ 591 (2333 ÷ 6024)	
	> 591 > (6024)	
Примітка 1.	При підрахунку критичних поперечних напружень $\sigma_{x,cr}$ у формулах таблиці слід замінити $\sigma_{x,cr}$ на $\sigma_{y,cr}$ і $\sigma_{x,cr,ef}$ на $\sigma_{y,cr,ef}$	
Примітка 2.	При підрахунку критичних дотичних напружень $\tau_{xy,cr}$ у формулах таблиці слід замінити $\sigma_{x,cr}$ на $\tau_{xy,cr}$ і $\sigma_{x,cr,ef}$ на $\tau_{xy,cr,ef}$	

К.6 Вимоги до ребер жорсткості

К.6.1 Всі надані вище формули дійсні за умови, що поперечні та поздовжні ребра жорсткості не втрачають стійкість при втраті стійкості відсіків стінки. Для виконання цієї умови мінімальні моменти інерції поперечних ребер із площини стінки мають відповідати вимогам К.6.2, а поздовжніх - вимогам К.6.3 при одному ребрі і за К.6.4 при трьох та більшій кількості ребер на стінці.

К.6.2 Жорсткість поперечних ребер із площини стінки (моменти інерції їх перерізів) мають задовольняти вимогам таблиці К.6.

Таблиця К.6 - Мінімальні жорсткості поперечних ребер

μ	$I_s / (h_w \cdot t_w^3)$
0,75	0,80

0,62	1,44
0,50	2,8
0,40	4,6
0,33	6,6

$\mu = a / h_w$ - відношення ширини відсіку до висоти;

t_w та h_w - товщина та висота стінки балки;

a - відстань між осями поперечних ребер жорсткості;

I_s - момент інерції поперечного ребра.

К.6.3 Жорсткість поздовжнього ребра з площини стінки (момент інерції його перерізу) при одному поздовжньому ребрі на стінці має задовольняти вимоги таблиці К.7.

Таблиця К.7 - Вимоги до жорсткості поздовжнього ребра

h_l / h_w	Необхідний момент інерції перерізу поздовжнього ребра I_{sl}	Граничні значення I_{sl}	
		мінімальні	максимальні
0,20	$(2,5 - 0,5a / h_w) \cdot a^2 t_w^3 / h_w$	$1,5 h_w t_w^3$	$7 h_w t_w^3$
0,25	$(1,5 - 0,4a / h_w) \cdot a^2 t_w^3 / h_w$	$1,5 h_w t_w^3$	$3,5 h_w t_w^3$
0,30	$1,5 h_w t_w^3$	—	—

Тут h_l - відстань від осі поздовжнього ребра жорсткості до осі найближчого пояса в зварних балках або до крайньої риски поясних кутників у балках з болтовими з'єднаннями;

I_{sl} - момент інерції перерізу поздовжнього ребра.

Примітка 1. При обчисленні I_{sl} для проміжних значень h_l / h_w допускається лінійна інтерполяція.

Примітка 2. У таблиці, окрім необхідних моментів інерції поздовжнього ребра, надані його граничні мінімальні та максимальні значення. Ці значення слід приймати за необхідні, якщо необхідний момент інерції виходить за вказані межі.

К.6.4 Для стінки з трьома і більше ребрами слід забезпечити унеможливлення втрати стійкості стінки разом із ребрами між поперечними ребрами.

Оцінювання достатності поздовжніх ребер для забезпечення стійкості стінки балки з ребрами між поперечними балками слід виконувати для розрахунку стійкості стінки з ребрами або окремого ребра, "вирізаного" зі складу стінки. Напружений стан стінки наведено на рисунку К.3.

Критичні напруження знаходять за формулою

$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E$	(К.21)
---	--------

де $k_{\sigma,p}$ - коефіцієнт стійкості плити;

- Ейлерові критичні напруження;

E - модуль пружності;

I_{sl} - момент інерції плити з площини (лист настилу сумісно з поздовжніми ребрами);

A_{sl} - площа плити (лист сумісно з поздовжніми ребрами);

b - ширина (для стінки $b = h_w$, рис. К.3)

b - довжина відсіку (вздовж напружень σ_x).

Рисунок К.3 - Схема до розрахунку достатності ребер плити

Коефіцієнт стійкості $k_{\sigma,p}$ знаходять за формулою

при	(К.22)
-----	--------

при

де - коефіцієнт форми;

- коефіцієнт, що враховує збільшення жорсткості за рахунок ребер;

- коефіцієнт, що враховує збільшення площі за рахунок ребер;

- коефіцієнт форми епюри;

 A_{sl} і A_s - площа стінки з ребрами і площа стінки без ребер відповідно; I_{sl} - момент інерції стінки з ребрами;

- момент інерції листа стінки (з урахуванням циліндричної жорсткості);

 $\sigma_{x,min}$ і $\sigma_{x,max}$ - найменше і найбільше напруження по кромках стінки зі своїми знаками відповідно.**ДОДАТОК Л
(довідковий)****СТІЙКІСТЬ ПЛАСТИНОК ОРТОТРОПНИХ ПЛИТ**

Л.1 Стійкість пластинок ортотропних плит знаходять за формулою

	(Л.1)
--	-------

де b - ширина пластинки; t - товщина пластинки; $\sigma_{x,cr,ef}$ - приведені критичні напруження, які знаходять за таблицею 10.2, приймаючи за критичні $\sigma_{x,cr}$ діючі нормальні напруження в елементі σ_x ; α - коефіцієнт для пластинок:

обпертих з одного боку

	(Л.2)
--	-------

обпертих з двох боків

	(Л.3)
--	-------

де ξ - коефіцієнт, що враховує нелінійність епюри напружень по краях пластинки і визначається (для перерізів бруто) за формулою

	(Л.4)
--	-------

де σ_x і σ_y - максимальне і мінімальне поздовжні нормальні напруження вздовж границь пластинки, додатні при стиску, які знаходять при пружних розрахунках.

Формули (Л.2) та (Л.3) отримано з (10.2) та (10.3) за умови, що ефект защемлення відсутній.

 b_1 та t_1 - розміри пластинок з обпиранням з одного боку; b_2 та t_2 - розміри пластинок з обпиранням із двох боків**Рисунок Л.1** - Схеми поздовжніх ребер ортотропних плит з різною конфігурацієюЛ.2 Допускається для оцінки співвідношення товщини і ширини пластинок вести розрахунки за спрощеною формулою (Л.5), де нелінійність епюри напружень не враховується, а рівень напружень дорівнює розрахунковому опору текучості R_p .

де K - коефіцієнт, що приймається за таблицею Л.1.

Таблиця Л.1 - Значення коефіцієнта K для пластинок

Переріз	K	Ширина пластинки (характерний розмір)
Пластинки, що оберті з одного боку		
Звиси поясів та ребер	0,5	Звиси (половина ширини пояса) двотаврів
		Відстань від кромки листа до осі першого ряду болтів
		Ширина штабового ребра
		Ширина полиці швелерів або полиці кутника
Пластинки, що оберті з двох боків		
Стінки та інші елементи	1,4	Відстань у просвіті між ребрами
		Ширина стінки або пояса гнучого ребра без урахування радіусів згину
		Відстань у просвіті між полицями без урахування прокатних радіусів

Для характерних значень R_y , величини h_{ef}/t наведені в таблиці Л.2.

Таблиця Л.2 - Граничні значення h_{ef}/t для пластинок

Розрахунковий опір текучості R_y , кг/см ²	2500	3000	3500	4000
h_{ef}/t для пластинок з одного боку	14,5	13,2	12,2	11,5
h_{ef}/t для пластинок із двох боків	40,6	37,0	34,3	32,1

ДОДАТОК М (обов'язковий)

РОЗРАХУНКИ ВИТРИВАЛОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ І МІСЬКИХ МОСТІВ

Оцінку витривалості, наведену нижче, слід застосовувати для автомобільних та міських мостів, а також для мостів із сумісною дією автомобільного та рейкового транспорту.

М.1 Оцінка витривалості елементів мосту від дії автомобільних навантажень

М.1.1 Автомобільне навантаження

Оцінка витривалості передбачає, що тільки важкі транспортні засоби викликають небезпечний для конструкції розмах напружень, які призводять до появи тріщин утомленості. Передбачається, що відносно легкі екіпажі вагою менше ніж 8 т не викликають суттєвого впливу на втомленість. Напруження від постійних навантажень не враховуються. При розрахунках враховується вплив тільки одного важкого транспортного засобу (танделу АК) незалежно від кількості смуг руху на мосту. Одночасна поява двох тандемів не розглядається.

Рисунок М.1 - Схема навантаження танделу АК (розміри надані в метрах)

Тандел із тиском на вісь $P_n = 15$ т (вагою 30 т) має відбитки коліс у плані 20 см × 60 см. Розрахунковий тиск на вісь P_f приймають за формулою

$P_f = P_n \cdot \gamma_s \cdot \gamma_f \cdot (1 + \mu)$,	(М.1)
---	-------

де P_n - характеристичний тиск на вісь 147 кН (15 тс);

γ_s - коефіцієнт, що дорівнює:

0,5 для розрахунків елементів, які зазнають безпосереднього впливу колеса танделу (елементи ортотропних плит тощо);

1,0 для інших розрахунків і для деформаційних швів;

γ_f - коефіцієнт надійності за навантаженням приймають таким, що дорівнює 1,0, якщо не прийнято інше;

$(1 + \mu)$ - динамічний коефіцієнт, що дорівнює:

1,0 - для всіх розрахунків;

2,0 - для розрахунків деформаційних швів.

Таблиця М.1 - Розрахунковий тиск P_f на вісь і розрахункова вага тандему

Елементи мосту	Тиск на вісь P_f кН (тс)	Вага тандему $2P_f$ кН (тс)
Елементи проїзної частини	73,5 (7,5)	147 (15)
Всі інші елементи мосту	147 (15)	254 (30)
Деформаційні шви	254 (30)	508 (60)

М.1.2 Розрахунок кількості циклів

Кількість циклів розмаху діючих напружень знаходять на основі розрахунку кількості проїздів одного тандему по мосту протягом проектного строку служби. Загальна кількість циклів N розмаху напружень від проходу одного тандему в одному напрямку по мосту за період проектного строку служби розраховується за формулою

$$N = n_D \cdot n_Y \cdot n_C \cdot n_T \leq 1 \cdot 10^8, \quad (M.2)$$

де n_D - кількість днів у році;

n_Y - проектний строк служби мосту в роках;

n_C - кількість циклів від одного проходу тандему;

n_T - середня денна кількість тандемів, які проходять по мосту в одному напрямку по одній смузі.

Проектний строк служби мосту n_Y або його елемента слід приймати згідно з ДБН В.2.3-22 або визначати за технічним завданням на проектування мосту. Кількість циклів від одного проходу тандему n_C приймають за таблицею М.2.

Таблиця М.2 - Кількість циклів від одного проходу тандему

Елементи мосту	Кількість циклів від одного проходу тандему n_C
Для елементів, крім наведених нижче	1,0
Елементи мосту, в яких число циклів подвоюється від одного проходу тандему	2,0
Елементи деформаційного шва	2,0

Середню денну кількість тандемів, які проходять в одному напрямі по одній смузі мосту n_T , знаходять за формулою

$$n_T = n_{ТВ} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (M.3)$$

де $n_{ТВ}$ - середня денна кількість тандемів, які проходять в одному напрямі по одній смузі мосту.

Фізичний ліміт кількості машин, що можуть пройти по одній смузі за день, приймається таким, що дорівнює 20 000 одиниць;

k_1 - коефіцієнт, що враховує частку важких автомобілів у загальній кількості транспорту. Якщо статистичні дані відсутні, то коефіцієнти слід приймати відповідно до таблиці М.3.

Таблиця М.3 - Коефіцієнт частки важких автомобілів у потоці

Тип мосту	Коефіцієнт k_1
Міські мости і мости на магістралях	0,20
Мости на інших дорогах	0,15
Інші міські мости	0,10

Таблиця М.4 - Коефіцієнт кількості смуг в одному напрямку

Тип мосту	Коефіцієнт k_2
Одна смуга	1,00
Дві смуги	0,85
Три і більше смуг	0,80

М.2 Оцінка витривалості елементів мосту від навантаження рейкового транспорту

М.2.1 Навантаження рейкового транспорту

Навантаження для оцінки витривалості слід приймати різним для локальних та глобальних розрахунків.

При глобальних розрахунках розмах напружень в елементі мосту визначається від дії одного потягу, при цьому довжина ділянки лінії впливу одного знака має бути більше за відстань між візками вагона.

При локальних розрахунках оцінюють дію вагонних осей.

Розрахункове навантаження на вісь P_f слід приймати за формулою

$$P_f = P_n \cdot \gamma_f \cdot (1 + \mu), \quad (M.4)$$

де P_n - характеристичне навантаження на вісь;

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).

М.2.2 Розрахунок кількості циклів

Розрахунок кількості циклів розмаху напружень від рейкового транспорту аналогічний до розрахунку кількості циклів від автомобільного навантаження. Загальну кількість циклів від проїзду потягів по мосту за період проектного строку служби визначають за формулою

$N = n_D \cdot n_Y \cdot n_C \cdot n_T \leq 1 \cdot 10^8,$	(М.5)
--	-------

де n_D - кількість днів у році;

n_Y - проектний строк служби мосту в роках;

n_C - кількість циклів від проходу одного потягу за таблицею М.5;

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

Таблиця М.5 - Визначення кількості циклів від проходу одного потяга

Елементи мосту	Кількість циклів від проходу одного потяга n_C
Для елементів, крім наданих нижче	1,0
Поздовжні ребра та поперечні балки проїзду	Подвоєна кількість вагонів
Елементи з довжиною лінії впливу одного знака менше відстані між візками вагонів	

М.2.3 Оцінка витривалості

Оцінка витривалості з'єднання (деталі) виконується за формулою

$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}, (\Delta\tau = \tau_{max} - \tau_{min}).$	(М.6)
---	-------

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

$\Delta\sigma_{R,n}$ - поріг витривалості елемента в залежності від кількості циклів навантажень;

γ_M - коефіцієнт надійності порогу витривалості дорівнює:

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

1,00 - для ключових елементів;

γ_r - коефіцієнт відповідальності, що дорівнює:

1,00 - для елементів, руйнація яких не призведе до руйнування мосту;

1,05 - для ключових елементів.

Розмах напружень знаходять за (М.7) як різницю між найбільшими і найменшими напруженнями при лінійному аналізі. При цьому розтяг має становити не менше ніж 1/3 загального розмаху напружень.

$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}, (\Delta\tau = \tau_{max} - \tau_{min}).$	(М.7)
---	-------

Поріг витривалості $\Delta\sigma_{R,n}$ знаходять, базуючись на значеннях таблиці М.5 порогів витривалості $\Delta\sigma_C$ або $\Delta\tau_C$ для 2 млн. циклів.

При кількості циклів менше ніж 5 млн. відповідний поріг витривалості $\Delta\sigma_{R,n}$ обчислюють за формулою

$\Delta\sigma_{R,5} = \Delta\sigma_D$	(М.8)
---------------------------------------	-------

При числі циклів більше 5 млн. відповідний поріг витривалості знаходять за формулою

$\Delta\sigma_{R,n} = \Delta\sigma_D \cdot n^{-0.05}$	(М.9)
---	-------

При числі циклів більше 5 млн. відповідний поріг витривалості знаходять за формулою

$\Delta\sigma_{R,n} = \Delta\sigma_D \cdot n^{-0.05}$	(М.10)
---	--------

М.3 Оцінка витривалості елементів мосту від сумісної дії автомобільного і рейкового транспорту

М.3.1 Автомобільний і рейковий транспорт

Для багатьох елементів суміщеного мосту достатньо виконати перевірку тільки від дії одного з навантажень - автомобільного або рейкового. Але деякі елементи прогонової будови приблизно сприймають вплив від дії обох навантажень порівну. Нижче розглянуто випадок, за якого елемент зазнає впливу декількох навантажень різної інтенсивності.

М.3.2 Оцінка витривалості

Оцінку витривалості деталі виконують, якщо відома категорія витривалості, розмах напружень $\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_i$ і відповідна кількість циклів навантажень $n_1, n_2 \dots n_i$ використовуючи наступний алгоритм:

1. Знаходиться граничне значення циклів при заданому розмаху напружень за формулою (М.11) при числі циклів n менше 5 млн. і за формулою (М.12) - при числі циклів більше ніж 5 млн.

	(М.11)
--	--------

	(М.12)
--	--------

У формулах значення $\Delta\sigma_C$ та $\Delta\sigma_D$ - пороги витривалості деталі при 2 і 5 млн. циклів відповідно.

2. Для оцінки витривалості використовується лінійний закон накопичення пошкоджень (Палгрена Мінера). А саме, сума відношень фактичної кількості циклів до граничної не повинна перевищувати одиниці.

	(М.13)
--	--------

де $n_1, n_2 \dots n_i$ - кількість циклів при заданих розмахах напружень $\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_i$;

$N_1, N_2 \dots N_i$ - граничні значення циклів при заданих розмахах напружень.

М.4 Приклад оцінки витривалості ортотропних плит від дії автомобільного навантаження

М.4.1 Основні принципи розрахунків

Для ортотропних плит автопроїзду рекомендується у наведених нижче вузлах та перерізах робити перевірки на витривалість. На рисунку М.2 показано 10 місць підвищеної небезпеки появи тріщин утомленості і характерні для цього напруження.

Опис 10 місць і відповідні характерні напруження наведено в таблиці М.6.

Таблиця М.6 - Місця і характерні напруження

№ точки	Місце концентратора	Познака	Що контролюється
1	Зварний шов листа настилу на підкладці, що не лишається Категорія 90	$\Delta\sigma_{d1}$	Нормальні напруження в основному металі біля шва
2	Зварний шов першого шва стику зі вставкою ребра на підкладці, що лишається Категорія 71	$\Delta\sigma_{jr2}$	Те саме
3	Зварний шов другого шва стику зі вставкою ребра на підкладці, що лишається Категорія 71	$\Delta\sigma_{jr3}$	»
4	Основний метал ребра в місці приварки до поперечної балки Категорія 71	$\Delta\sigma_{rc4}$	Нормальні напруження в ребрі на рівні кінця зварного шва біля вирізу
5	Основний метал стінки поперечної балки біля вирізу Категорія 71	$\Delta\sigma_{wc5}$	Нормальні напруження в стінці біля вирізу для ребра
6	Зварний шов приварки ребра до поперечної балки Категорія 80 при $m = 5$	$\Delta\tau_{rw6}$	Зрізні напруження в зварному шві ребра і стінці поперечної балки
7	Зварний шов приварки стінки поперечної балки до настилу Категорія 80 при $m = 5$	$\Delta\tau_{dw7}$	Зрізні напруження в зварному шві стінки поперечної балки і листа настилу
8	Зварний шов приварки стінки поперечної балки до настилу Категорія 80 при $m = 5$	$\Delta\tau_{dw8}$	Те саме
9	Шов приварки ребра до листа настилу Категорія 71 (повний провар) Категорія 50 (кутовий шов)	$\Delta\sigma_{rw9}$	Нормальні напруження в шві від гнуття ребра з площини
10	Основний метал біля вільного вирізу Категорія 90	$\Delta\sigma_{rw10}$	Нормальні напруження біля вільного отвору

σ - нормальні напруження;

τ - зрізні напруження.

Індексми напружень позначено місце належності напружень:

w - стінка (wall);

wc - стінка біля вирізу (wall cut);

jd - стик листа настилу (joint deck);

jr - стик ребра (joint rib);

f - пояс поперечної балки (flange);

rw - шов приварювання ребра (rib weld).

Рисунок М.2 - Місця підвищеної небезпеки появи тріщин втомленості

М.5 Категорії витривалості

М.5.1 Значення порогів витривалості (МПа) названо категоріями. У нижче наведених таблицях "категорії деталей" відповідають порогу втомленості в МПа при 2 млн. циклів для $\Delta\sigma_C$ або $\Delta\tau_C$ (якщо є посилання $m = 5$, при 5 млн. циклів $\Delta\sigma_D$, або $\Delta\tau_D$).

М.5.2 Категорії в залежності від виду деталей наведено у таблицях М.5.1 - М.5.10.

Таблиця М.5.1 - Елементи без зварювання та елементи з механічними стицями

Категорія деталі	Конструктивна деталь	Опис	Вимоги
160		Прокатні краї деталей, краї після термічного різання із класом шорсткості I згідно з ГОСТ 14792. 1 - лист і штаба 2 - сортовий прокат 3 - порожнисті безшовні круглі та прямокутні перерізи	Деталі 1-3: гострі краї та дефекти поверхні мають бути зачищені до гладкої поверхні та плавних переходів
140		Різани ножицями або газом краї: 4 - машинне газове різання з наступним зачищенням;	Деталь 4: всі видимі риси на краях, які порушують безперервність, слід вилучити шляхом механічного зачищення з напрямком рисок зачищення уздовж зусиль з глибиною не більше ніж 0,3 мм.
125		5 - краї після машинного газового різання без зачищення або після ручного газового різання, або після різання ножицями з наступним зачищенням по всій довжині. Краї після машинного газового різання мають відповідати 2-му класу шорсткості згідно з ГОСТ 14792	Деталі 4 і 5: - кути переходу перетину (ухил менше ніж 1:4) або отвори слід полішити зачищенням; - ремонт із використанням зварювання не допускається.
100 $m = 5$		Деталі 6 і 7 відповідають деталям 1, 2 і 3. Елемент зазнає зсуву	Деталі 6 і 7: $\Delta\tau$ оцінюється з дотичних за формулою
112		8 - стик із двосторонніми накладками на високоміцних болтах 8 - стик із двосторонніми накладками на заповнених високоміцних болтах	Деталь 8: $\Delta\sigma$ визначається для перерізу бруття Для з'єднань на болтах (деталі від 8 до 13):

				- відстань від осі болта до краю має бути не менше ніж $1,5d$; - відстань між болтами має бути не менше ніж $2,5d$
90		9 - стик із двосторонніми накладками на чистих (класу А) болтах; - стик із двосторонніми накладками на звичайних заповнених болтах	Деталь 9: $\Delta\sigma$ визначається для перерізу нетто	Для з'єднань на болтах (деталі від 8 до 13): - відстань від осі болта до краю має бути не менше ніж $1,5d$ - відстань між болтами має бути не менше ніж $2,5d$
		10 - стик з однобічною накладкою на високоміцних болтах; стик з однобічною накладкою на заповнених високоміцних болтах	Деталь 10. $\Delta\sigma$ визначається для перерізу нетто	
		11 - елемент підданий згину й (або) осьовому розтягу	Деталь 11: $\Delta\sigma$ визначається для перерізу нетто	
80		12 - стик з однобічною накладкою на чистих (класу А) болтах; 12 - стик з однобічною накладкою на звичайних заповнених болтах	Деталь 12: $\Delta\sigma$ визначається для перерізу нетто	
50		13 - однобічні або парні накладки з болтами класу В і С	Деталь 13: $\Delta\sigma$ визначається для перерізу нетто	
50		14 - болти та шпильки з накатаним або нарізаним різьбленням. Для болтів великого діаметра (анкерних) слід вводити коефіцієнт розміру k_s	Деталь 14: $\Delta\sigma$ напруження визначають, використовуючи площу болта. Вигин болта необхідно враховувати. Для високоміцних болтів зменшення розмаху напружень також враховується	
100 $m = 5$		15 - болти з одиночним або подвійним зрізом. Нарізка не в перерізі зрізу: - чисті болти; - болти нормальної точності	Деталь 15: $\Delta\tau$ - зріз оцінюється для зони без нарізки болта	

Таблиця М.5.2 - Зварні складені перерізи

Категорія деталі	Конструктивна деталь	Опис	Вимоги
125		Безперервні поздовжні шви: 1 - автоматичні кутові шви із двох сторін; 2 - автоматичні зварні шви кінців покривних листів для деталей 6 або 7 у таблиці М.5.5	Деталі 1 і 2: відсутня зона початок/кінець по довжині шва, крім випадків, коли забезпечено якісний ремонт
112		3 - автоматичні заповнені та кутові шви приварки кінців листа, що мають зони початок/кінець; 4 - автоматичні стикові шви виконані з однієї сторони на підкладці, що залишається, без зон початок/кінець	Деталь 4: якщо є зона початок/кінець, то категорія 100
100		5 - ручне кутове або стикове зварювання; 6 - ручне або автоматичне зварювання виконане з одного боку, як правило, для коробок	Деталі 5 і 6: притиснення поясів до стінок для вибору зазорів є обов'язковим. Підготовка країв стінки має бути такою, щоб проплавлення кореня шва було забезпечено
100		7 - відновлені після ремонту автоматичні або ручні кутові або заповнені шви для деталей 1 і 6	Деталь 7: якісний ремонт, виконаний з адекватною перевіркою, дає можливість підвищити категорію
80		8 - переривчастий поздовжній шов	Деталь 8: $\Delta\sigma$ оцінюється за напруженнями у поясі

71		9 - кінці швів перервані в отворі діаметром до 60 мм. Для отворів діаметром більше ніж 60 мм (деталь 1) у таблиці М.5.4	Деталь 9: Δσ оцінюється за напруженнями у поясі
125		10 - стикові шви, паралельні дії зусиль, 100 % НМК	Деталь 10: НМК - неруйнівний метод контролю
112		10 - те саме без зачищення і без зони початок/кінець	
90		10 - те саме з наявністю зони початок/кінець; - те саме без зачищення і без зони початок/кінець; - те саме з наявністю зони початок/кінець	
140		11 - автоматичні стикові шви без місць зони початок/кінець	Деталь 11: товщина стінки ≤ 12,5 мм
125			Деталь 11: товщина стінки > 12,5 мм
90			11 - те саме з місцями зони початок/кінець

Примітка. Для деталей 1-11, що виконані з повністю механізованим (напівавтоматичним) зварюванням, приймаються ті ж самі значення, що і для автоматичного.

Таблиця М.5.3 - Поперечні стикові шви

Категорія деталі	Конструктивна деталь	Опис	Вимоги
112		Зварювання стиків без підкладок, що залишаються: 1 - поперечні стики листів і штабів; 2 - стики поясів і стінок складених балок у процесі складання; 3 - стик в одному перерізі прокатного перерізу без викру- жок; 4 - стик листів змінної товщини або ширини при ухилі ≤ 1/4	Зачищення всіх швів слід виконувати врівень та паралельно стрілкам: - для зварювання слід використовувати вивідні планки, а після цього зачищати торці врівень; - при зварюванні стиків з двох боків слід виконувати 100% НМК
90		Зварювання стиків без підкладок: 5 - поперечні стики листів і штабів; 6 - стик в одному перерізі прокату без викружок; 7 - стик листів змінної товщини або ширини при ухилі ≤ 1/4	Висота підсилення швів не більше ніж 10 % ширини шва при плавному переході до поверхні листа: - для зварювання використовуються вивідні планки, потім зачищаються торці врівень; - при зварюванні стиків з двох боків слід виконувати 100% НМК
90		8 - те саме, що й у 3, але з викружкою	Зачищення всіх швів виконується урівень та паралельно стрілкам: - для зварювання використовуються вивідні планки, потім зачищаються торці врівень
80		9 - поперечні стикові шви без викружок; 10 - стик в одному перерізі прокату без викружок; 11 - поперечні стики листів, прокатних або складових балок	Висота підсилення швів не більше ніж на 20 % ширини шва при плавному переході до поверхні листа: - шви не зачищені врівень; - для зварювання використовуються вивідні планки, потім зачищаються торці врівень; - зварювання із двох боків передбачає 100% НМК
Для товщин > 25 мм до категорії варто застосовувати розмірний коефіцієнт $k_s = (25/t)^{0,2}$			
для деталей 1-11			
63		12 - стик в одному перерізі прокатного перерізу без викружок	Для зварювання використовуються вивідні планки, потім зачищаються торці врівень; - зварювання із двох боків передбачає 100 % НМК
63		13 - шов виконано з одного боку	Деталь 13: шов виконано без підкладки
71	$k_s = (25/t)^{0,2}$	13 - шов виконано з	

			одного боку, що передбачає НМК	
71	$k_s = (25/t)^{0,2}$		Шви на підкладці, що залишається: 14 - поперечні стики 15 - поперечні стикові шви листів змінної товщини або ширини при ухилі $\leq 1/4$	Деталі 14 і 15: шви на підкладці виходять не менше ніж на 10 мм. Шви приварки підкладки переварені стиковим швом
50	$k_s = (25/t)^{0,2}$		16 - поперечні стикові шви листів постійної і змінної товщини або ширини при ухилі $\leq 1/4$	Деталь 16: шви на підкладці виходять менше ніж на 10 мм
71	Розмірний коефіцієнт $t_2 > t_1$	Ухил $\leq 1/2$ $t_2 > t_1$	17 - поперечний стиковий шов листів різної товщини без ділянки переходу	
Як деталь 1 табл. М.5.5			18 - поперечний стиковий шов перетинання поясів	Деталі 18 і 19: розмах напружень $\Delta\sigma$ у безперервному елементі слід перевіряти за таблицею М.5.4 для деталей 4 або 5
Як деталь 4 табл. М.5.4			19 - те саме з радіусом переходу за таблицею М.5.4, деталь 4	

Таблиця М.5.4 - З'єднання з прикріпленнями та фасонками

Категоріядеталі	Конструктивна деталь		Опис	Вимоги
80	$L \leq 50$ мм		Поздовжнє ребро, фасонка 1 - категорії деталей варіюються в залежності від довжини елементів L	Висота ребра (фасонки) прикріплення має бути меншою за довжину, якщо інакше, - див. табл. М.5.5, деталь 5 або 6
71	$50 < L \leq 80$			
63	$80 < L \leq 100$			
56	$L \geq 100$ мм			
71	$L \geq 100$ мм $\alpha < 45^\circ$		2 - поздовжня фасонка на листі або трубі	
80	$r \geq 150$ мм		3 - поздовжні шви фасонки з радіусом переходу до листа (труби). Кінці швів із повним проварюванням	Деталі 3 і 4: радіус переходу від фасонки до листа, утворений після зварювання з наступною механічною зачисткою з напрямком ризок зачищення уздовж стрілки
90	або $r \geq 150$ мм	L - довжина фасонки для деталей 1, 2 і 3	4 - фасонка приварена в стик до краю листа	Деталі 3 і 4: радіус переходу від фасонки до листа, утворений після зварювання з наступною механічною зачисткою з напрямком ризок зачищення уздовж стрілки
71				
50				
40	–		5 - немає радіуса переходу від фасонки до пояса	
80	$l \leq 50$ мм		Поперечна фасонка, ребро, діафрагма: 6 - приварювання ребра до листа; 7 - приварювання ребра до стінки та пояса; 8 - приварювання діафрагми до коробчастого перерізу. Застосовувати також до круглого перерізу	Деталі 6 і 7: кінці швів ретельно зачищені від підрізів; 7 - розмах напружень $\Delta\sigma$ визначається за напрямком стрілок
71	$50 \leq l \leq 80$ мм			
90				
			9 - вплив приварювання гнучкого анкера до пояса	Деталь 9: розмах напружень $\Delta\sigma$ визначено за стрілкою

--	--	--	--	--

Таблиця М.5.5 - Навантажені зварні шви

Категорія деталі	Конструктивна деталь		Опис	Вимоги
80	$l \leq 50$ мм	всі t , мм	Елемент, який навантажений у площині, приварено до стінки: 1 - часткове або повне проплавлення	Деталь 1: повна 100 % перевірка швів; 1 - для розрахунку $\Delta\sigma$ напруження номінальні; 2 - для швів із частковим проплавленням - дві перевірки: 1 - за наявності кореневої тріщини перевірка напружень у шві $\Delta\sigma_w$ - за категорією 36*, а для $\Delta\tau_w$ - за категорією 80; 2 - п'яткова тріщина від напружень $\Delta\sigma$ у навантаженій пластині. Деталі 1 і 3: плита, що несе навантаження, не повинна бути товще більше ніж на 15 % проміжної плити
71	$50 < l \leq 80$	всі t , мм		
63	$80 < l \leq 100$	всі t , мм		
56	$100 < l \leq 120$	всі t , мм		
56	$l > 120$ мм	$t \leq 20$		
50	$120 < l \leq 200$	$t \geq 20$		
50	$l > 200$ мм	$20 < t \leq 30$		
45	$200 < l \leq 300$	$t \geq 30$		
45	$l > 300$ мм	$30 < t \leq 50$		
Як і деталь 1			2 - руйнування п'яти шва	
36*			3 - руйнування таврового з'єднання з кутковими швами або з ефективним повним проплавленням	
Які деталь 1			4 - зварні шви внапуск	Деталь 4: розмах напружень $\Delta\sigma$ обчислюють в основній плиті відносно площі, що показана на рисунку, деталь 4;
45*			5 - зварні шви внапуск	Деталь 5: розмах напружень $\Delta\sigma$ обчислюють у перерізі накладної плити. Деталі 4 і 5: - шви не доводять до краю ближче ніж на 10 мм; - зрізні тріщини перевіряються, як для деталі 8
	$t_c < t$	$t_c \geq t$	Покривні плити балок і коробки: 6 - кінцеві зони швів покривних листів з/або без поперечних швів	Деталь 6: у покривних листах, ширина яких більше ніж ширина нижнього листа, кінцеві шви обов'язкові. Кінці швів слід якісно зачищати. Мінімальна довжина листів більше ніж 300 мм. Якщо листи коротші, використовують деталь 1
56*	$t \leq 20$			
50	$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$		
45	$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$		
40	$t > 50$	$30 < t \leq 50$		
36		$t > 50$		
56			7 - покривні листи балок $5t_c$ - мінімальна довжина підсилення шва	Деталь 7: поперечний шов зачищений урівень. Якщо $t_c > 20$ мм, ухил зачищення не більше ніж 1/4
80 $m = 5$			8 - безперервні кутові шви передають зусилля зрізу зі стінки на пояс у балках; 9 - кутові шви внапуск	Деталь 8: розмах напружень $\Delta\sigma$ для перерізу шва. Деталь 9: розмах напружень Δt , що розподілені по всій довжині шва. Шви не доводять до краю ближче ніж на 10 мм (як для деталей 4, 5)
90 $m = 8$			10 - приварювання гнучкого анкера до пояса в сталезалізобетонних балках	Деталь 10: розмах напружень Δt , що визначається для перерізу анкера

71		11 - шви фланців труб з проварюванням на 80%	Деталь 11: тріщини в корені шва. Розмах напружень $\Delta\sigma$ в трубі
40		12 - кутові шви фланців труб	Деталь 12: розмах напружень $\Delta\sigma$ у трубі

Таблиця М.5.6 - Порожністі перерізи (завтовшки не більше 12,5 мм)

Категорія деталі	Конструктивна деталь		Опис	Вимоги
71			1 - висаджені кінці труб, до яких приварений лист з Х-обробкою	Деталь 1: розмах напружень $\Delta\sigma$ для перерізу в трубі діаметром менше ніж 200 мм
71	$\alpha \leq 45^\circ$		2 - лист приварений до вирізу труби з отвором	Деталь 2: $\Delta\sigma$ - перевіряється по перерізу труби. Тріщини зрізу у шві оцінюються для деталі 8 таблиці М.5.5.
63	$\alpha > 45^\circ$			
71			Поперечні стикові шви: 3 - замкнуті шви круглих труб	Деталі 3 і 4: підсилення швів менше 10 % ширини із плавним переходом до основного металу: - зварювання у нижньому положенні за відсутності зовнішніх дефектів;
56			4 - замкнуті шви прямокутних труб	- класифікується на 2 категорії вище при товщині менше ніж 8 мм
71			5 - зварні з'єднання круглого або прямокутного перерізу до іншого, виконаного кутовими швами	Деталь 5: кутові шви не навантажені: - ширина уздовж напрямку зусилля менше ніж 100 мм; - інше за таблицею М.5.4
50			6 - шви з повним проварюванням круглої труби виконані через проміжну плиту	Деталі 6 і 7: - шви навантажені;
45			7 - шви з повним проваром прямокутної труби виконані через проміжну плиту	- перевірка швів за відсутності зовнішніх дефектів; - класифікуються на 2 категорії вище при товщині менше ніж 8 мм
40			8 - кутові шви круглої труби виконані через проміжну плиту	Деталі 8 і 9: - шви навантажені;
36			9 - кутові шви прямокутної труби виконані через проміжну плиту	- товщина труб менше ніж 8 мм

Таблиця М.5.7 - Стики трубчастих ферм

Категорія деталі	Конструктивна деталь		Вимоги
90 $m = 5$		Стики із зазором g між в'язями для круглої труби	Деталі 1 і 2: - потрібна оцінка для в'язей і поясів. Проміжні значення відношення t_0/t_i визначаються за лінійною інтерполяцією. Кутові зварні шви застосовуються для в'язей з товщиною стінки $t \leq 8$ мм t_0 і $t_i \leq 8$ мм $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ $b_0/t_0 \times t_0/t_i \leq 25$ $d_0/t_0 \times t_0/t_i \leq 25$
45 $m = 5$			
71 $m = 5$			
36 $m = 5$		Стики із зазором між в'язями для прямокутної труби	$0,4 \leq b_i/b_0 \leq 1,0$ $0,25 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$ $b_0 \leq 200$ $d_0 \leq 300$ $0,5h_0 \leq e_{ip} \leq 0,25h_0$

			$0,5d_0 \leq e_{ip} \leq 0,25d_0$ $e_{op} \leq 0,02b_0$ або $\leq 0,02d_0$ e_{op} ексцентриситет із площини Деталь 2: $0,5(b_0 - b_i) \leq g \leq 1,1(b_0 - b_i)$ і $g \geq 2t_0$
71 $m=5$		Стики з перехрещенням в'язей для К-стиків	Деталі 3 і 4: перехрещення від 30 до 100 %; перехрещення = $(q/p) \times 100$ %. Потрібна оцінка для в'язей і поясів. Проміжні значення відношення t_0 / t_i між деталями категорій визначаються за лінійною інтерполяцією. Кутові зварні шви застосовуються для в'язей з товщиною стінки $t \leq 8$ мм t_0 і $t_i \leq 8$ мм $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ $b_0 / t_0 \times t_0 / t_i \leq 25$ $d_0 / t_0 \times t_0 / t_i \leq 25$ $0,4 \leq b_i / b_0 \leq 1,0$ $0,25 \leq d_i / d_0 \leq 1,0$ $b_0 \leq 200$ $d_0 \leq 300$
56 $m=5$			$0,5h_0 \leq e_{ip} \leq 0,25h_0$ $0,5d_0 \leq e_{ip} \leq 0,25d_0$ $e_{op} \leq 0,02b_0$ або $\leq 0,02d_0$ e_{op} ексцентриситет із площини Для q й p
71 $m=5$		Стики з перехрещенням в'язей для N-стиків	
50 $m=5$			

Таблиця М.5.8 - Ортотропні плити із закритими ребрами

Категорія деталі	Конструктивна деталь	Опис	Вимоги
80	$t \leq 12$	1 - безперервні поздовжні ребра з вирізами, вільним вирізом у стінках поперечних балок 2 - безперервні поздовжні ребра без вирізів вільного вирізу у стінках поперечних балок	Деталі 1 і 2: - перевірка розмаху напружень $\Delta\sigma$ у поздовжніх ребрах у місці приварювання (нижня точка) до стінки поперечної балки завтовшки t , мм
71	$t > 12$		
80	$t \leq 12$		
71	$t > 12$		
36		3 - поздовжнє ребро переривається на стінці поперечної балки	Деталь 3: перевірка розмаху напружень $\Delta\sigma$ по нижньому краю поздовжніх ребер
71		4 - стик поздовжнього ребра з повним проплавленням на підкладці, що залишається	Деталь 4: перевірка розмаху напружень $\Delta\sigma$ у стикі поздовжніх ребер
112	Як 1, 2 і 4 Табл. М.5.3	5 - стик поздовжнього ребра з повним проплавленням при зварюванні із двох сторін без підкладок	Деталь 5: перевірка розмаху напружень $\Delta\sigma$ у стикі поздовжніх ребер
90	Як 5 і 7 Табл. М.5.3		
80	Як 9 і 11 Табл. М.5.3		

71			6 - переріз стінки поперечної балки між вирізами	Деталь 6: перевірка виконується по перерізу А-А як для ферми Веренделя. Примітка. Якщо перевірка напружень виконана за EN 1993-2, п. 9.4. 2.2. (3), категорія може бути прийнята 112
71			7 - зварне з'єднання ребра та листа настилу. Часткове проплавлення з $a \geq t$	Деталь 7: перевірка нормальних напружень від вигину листа настилу
50			8 - кутовий шов або часткове проплавлення зовні ребра	Деталь 8: перевірка нормальних напружень від вигину листа настилу

Таблиця М.5.9 - Ортотропні плити з відкритими ребрами

Категорія деталі	Конструктивна деталь	Опис	Вимоги
80	$t \leq 12$	1 - перервані поздовжні ребра на стінці поперечної балки	Деталь 1: перевірка розмаху напружень $\Delta\sigma$ у поздовжніх ребрах, де t - товщина стінки поперечної балки, мм
71	$t > 12$		
56		2 - з'єднання безперервного ребра і поперечної балки	Деталь 2: перевірка на комбінацію дотичних $\Delta\tau$ і нормальних напружень $\Delta\sigma$

Таблиця М.5.10 - Приєднання пояса до стінки для підкранових балок

Категорія деталі	Конструктивна деталь	Опис	Вимоги
160		1 - прокатні І-подібні або Н-подібні секції	Деталь 1: вертикальний стиск $\Delta\sigma_{vert}$ у стінці від колеса
71		2 - повне проплавлення стінки до пояса	Деталь 2: вертикальний стиск $\Delta\sigma_{vert}$ у стінці від колеса
36*		3 - часткове проплавлення стінки до пояса	Деталь 3: вертикальний стиск $\Delta\sigma_{vert}$ у зварних швах від колеса
36*		4 - кутові шви приварювання стінки до пояса	Деталь 4: вертикальний стиск $\Delta\sigma_{vert}$ у зварних швах від колеса
71		5 - Т-подібні перерізи (тавр) приварені до стінки з повним проварюванням	Деталь 5: вертикальний стиск $\Delta\sigma_{vert}$ у стінці від колеса
36*		6 - кутові шви приварювання стінки до тавра	Деталь 4: вертикальний стиск $\Delta\sigma_{vert}$ у зварних швах від колеса

М.6 Спрощена процедура оцінки витривалості

М.6.1 Для швидкої оцінки витривалості використовується графік на рисунку М.3. Після визначення категорії деталі за таблицями витривалості і кількості циклів навантаження за графіком визначають поріг витривалості для деталі.

М.6.2 Приклад. Категорія деталі 71, а число циклів навантаження - 50 млн.; необхідно визначити поріг витривалості при 50 млн. циклів. По ординаті 50 млн. на перетині з лінією категорії 71 знаходимо значення порогу витривалості по осі напружень - 33 МПа.

Рисунок М.3 - Графік залежності напружень від кількості циклів

**ДОДАТОК Н
(довідковий)****КОЕФІЦІЄНТИ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ВИТРИВАЛОСТІ**

Таблиця Н.1 - Ефективні коефіцієнти концентрації напружень β для розрахунку сталевих конструкцій мостів на витривалість

Розташування розрахункового перерізу та характеристика конструкцій	Коефіцієнт β для марок сталі з характеристичним значенням границі текучості	
	до 300 МПа	більше 300 МПа
1. По основному металу після дробометального очищення або з неопрацьованої прокатної поверхні в деталях із прокатними або обробленими фрезеруванням, обструюванням крайками в перерізах поза зварними швами і болтами	1,0	1,0
2. Те саме з крайками, обрізаними газовим машинним різанням:		
а) нормальної якості;	1,1	1,2
б) чистовим (змив-процес, різання з кисневою завісою, киснево-плазмове);	1,0	1,0
3. По основному металу деталей у перерізах (таблиця Н.3):		
а) нетто за сполучними болтами складених елементів, а також біля вільних отворів;	1,3	1,5
б) нетто в отворі з поставленим у нього високоміцним болтом, затягнутим на нормативне зусилля;	1,1	1,3
в) бруто по першому ряду високоміцних болтів у прикріпленні фасонки до поясів, що не стікуються у даному вузлі суцільних балок і елементів решітчастих ферм;	$1,3m_f$	$1,5m_f$
г) те саме у прикріпленні до вузла в стикі двостінчастих елементів, у яких:		
- безпосередньо перекрита частина перерізу ($2A_1$) становить, %, не менше ніж: 80 загальної площі перерізу, в тому числі при двосторонніх накладках - 60;	$1,4m_f$	$1,6m_f$
- безпосередньо перекрита частина перерізу ($2A_1$) становить, %, не менше ніж: 60 загальної площі перерізу, у тому числі при двосторонніх накладках - 40;	$1,5m_f$	$1,7m_f$
д) те саме у прикріпленні до вузла або в стикі з однобічними накладками двостінчастих елементів, у яких безпосередньо перекрита частина перерізу ($2A_1$) становить, % загальної площі перерізу:	$1,6m_f$	$1,8m_f$
- 60 і більше;		
- менше 60.	$1,7m_f$	$1,9m_f$

е) те саме у прикріпленні до вузла або в стик з однобічними накладками одноствінчастих елементів	2,2 m_f	2,5 m_f
4. По основному металу деталей у перерізі по краю неопрацьованого стикового шва з підсиленням, що має плавний перехід (при стикуванні листів однакової товщини і ширини)	1,5	1,8
5. По основному металу деталей у перерізі по зоні переходу до стикового шва, обробленого в цьому місці абразивним кругом або фрезою при стикуванні 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, що закріплюється внапуск, у перерізі по краю лобового кутового шва:		
а) без механічної обробки цього шва при відношенні його катетів $b : a \geq 2$ (при напрямку більшого катета b уздовж зусилля);	2,3	3,2
б) те саме при відношенні катетів $b : a = 1,5$;	2,7	3,7
в) при механічній обробці цього шва і відношенні катетів $b : a \geq 2$;	1,2	1,4
г) те саме при відношенні катетів $b : a = 1,5$	1,6	1,9
7. По основному металу елемента, що прикріплюється в перепуск фланговими кутовими швами, у перерізах по кінцях цих швів незалежно від їх обробки	3,4	4,4
8. По основному металу розтягнутих поясів балок і елементів ферм у перерізі по краю поперечного кутового шва, що прикріплює діафрагму або ребро жорсткості:		
а) без механічної обробки шва, але за наявності плавного переходу від шва до основного металу при зварюванні:	1,6	1,8
- ручному;		
- напівавтоматичному під флюсом;	1,3	1,5
б) при механічній обробці шва фрезою	1,0	1,1
9. Переріз складених елементів з листів, з'єднаних безперервними поздовжніми швами, звареними автоматом, при дії зусилля вздовж осі шва	1,0	1,0
10. По основному металу елементів у місцях, де обриваються деталі:		
а) фасонки, що приварюються в стик до крайок поясів балок ферм або в тавр до стінок і поясів балок, а також до елементів ферм при плавній криволінійній формі і механічній обробці переходу фасонки до пояса, при 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 пояса, приєднання стінки до поясів на кінцевій ділянці з повним проплавленням і механічною обробкою переходу поясів до стінки;	1,3	1,6
в) один лист пакета пояса зварної балки при зменшенні до місця обриву товщини з ухилом не крутіше 1:8 і ширини листа зі зведенням її навінець з ухилом не крутіше 1:4 і з механічною обробкою кінців швів;	1,2	1,4
г) накладна деталь для посилення послабленого отворами перерізу елемента (компенсатор послаблення) при симетричному зменшенні її ширини зі зведенням навінець з ухилом не крутіше 1:1 і з механічною обробкою 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 пояса поздовжньої балки, а також "рибки" до нижнього пояса поперечної балки;	1,1	1,3
б) фасонки горизонтальної діафрагми до нижнього пояса поздовжньої балки;	1,3	1,5
в) "рибки" до верхнього пояса поздовжньої балки	1,6	1,8
12. По осі стикового шва з повним проплавленням основи шва: а) при автоматичному і напівавтоматичному зварюванні під флюсом і ручному зварюванні з контролем за допомогою ультразвукової дефектоскопії (УЗД);	1,0	1,0
б) те саме без контролю УЗД	1,2	1,4
13. За розрахунковим перерізом кутового шва:		
а) лобового шва, виконаного зварюванням:		
- ручним;	2,3	3,2
- автоматичним і напівавтоматичним під флюсом;	1,9	2,4
б) флангового шва;	3,4	4,4
в) поздовжнього з'єднувального шва складеного елемента на ділянці його прикріплення до вузла при безпосередньому перекритті стиковими накладками або вузловими фасонками лише частини перерізу;	1,5	1,7
г) поздовжнього поясного шва балки	1,7	1,9
14. По основному металу листа настилу ортотропної плити в зоні переходу до монтажного стикового шва, виконаного однобічним автоматичним зварюванням під флюсом:		
а) з накладанням першого шару ручним зварюванням на флюсомітній підкладці без механічної обробки підсилення;	2,4	2,7

б) те саме із механічною обробкою підсилення зі зворотного боку стику;	1,6	1,8
в) на склотканинно-мідній підкладці із застосуванням гранульованої металохімічної присадки без механічної обробки підсилення	1,5	1,65
15. По основному металу листа настилу ортотропної плити в зоні переходу до стельового кутового шва його монтажного з'єднання з поясом головної балки або ферми перепуском:		
а) виконаним ручним зварюванням;	6,4	7,1
б) те саме із застосуванням монтажної смугової вставки, що приварюється в стик до крайок ортотропних плит, що прикріплюються перепуском до пояса балки	3,8	4,2
16. По основному металу листа настилу ортотропної плити в зоні переходу до його монтажного стикового з'єднання з поясом головної балки або ферми, виконаному однобічним автоматичним зварюванням під флюсом:		
а) з накладанням першого шару ручним зварюванням на флюсомідній підкладці з механічною обробкою підсилення зі зворотного боку стику при однаковій товщині з листами, що стикаються;	1,6	1,8
б) те саме при різній товщині з листами, що стикаються;	1,8	2,0
в) на склотканинно-мідній підкладці з застосуванням металево-хімічної присадки, без механічної обробки підсилення при однаковій товщині стикованих листів;	1,5	1,65
г) те саме при різній товщині листів, що стикаються	1,7	1,9
17. По основному металу в зоні 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 15-20 мм у стінці поперечного ребра і приварене до неї з однієї сторони двома кутковими швами;	2,2	2,4
б) поздовжнє ребро проходить через виріз у стінці поперечного ребра й в опорній пластинці і приварене до неї кутковими швами	1,3	1,5
18. Те саме у двоярусній ортотропній плиті:		
а) таврове поздовжнє ребро з'єднується з поперечними високоміцними болтами через отвори, просвердлені в полиці поздовжнього і поясі поперечного ребер;	1,2	1,3
б) таврове поздовжнє ребро з'єднується з поперечними спеціальними притисками	1,1	1,2
19. По основному металу листа настилу і поздовжніх ребер ортотропної плити по краях швів у зоні суцільнозварного монтажного поперечного стику ортотропної плити:		
а) при суміщенні в одному перерізі стиках листа настилу та поздовжніх ребер без механічної обробки підсилення швів;	2,2	2,5
б) з рознесеними від стику листа настилу стиками поздовжніх ребер без механічної обробки підсилення настилу стиками поздовжнього ребра, без механічної обробки підсилення швів;	2,2	2,4
в) з рознесеними від стику листа настилу обробленими стиками поздовжнього ребра з механічною обробкою 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 їх кінцевих ділянок, без механічної обробки підсилення стикового шва листа настилу;	2,8	3,1
б) із влаштуванням їх кінцевих ділянок з механічною обробкою підсилення шва з оброблених напівкруглих викружок у поздовжніх ребрах, з повним проплавленням зворотного боку настилу;	2,1	2,3
в) з обривом поздовжніх ребер поблизу стику листа настилу і постановкою вставки між їх торцями, без механічної обробки підсилення стикового шва листа настилу	1,9	2,1
Примітка 1.	m_f - коефіцієнт, що враховує вплив зсувів по контактах з'єднаних елементів та приймається за таблицею Н.2. в залежності від числа поперечних рядів болтів n у з'єднанні.	
Примітка 2.	Параметр n визначають: - числом поперечних рядів болтів у прикріпленні даного елемента до фасонки або стикової накладки, якщо цей елемент обривається в даному вузлі; - загальним числом поперечних рядів болтів у прикріпленні фасонки до неперервного елемента.	

Таблиця Н.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 Н.3 - Схеми вузлів до визначення ефективних коефіцієнтів концентрації напружень β

Схеми вузлів	Розташування розрахункового перерізу А-А, що перевіряється на витривалість за основним металом
	у перерізі нетто за з'єднувальними болтами складових елементів, а також біля вільного отвору

	у перерізі нетто в отворі з вставленим у нього високоміцним болтом, затягнутим нормативним зусиллям
	у перерізі бруто за першим рядом високоміцних болтів у прикріпленні фасонки до нестикованих у даному вузлі пояса суцільних балок і елементів решітчастих ферм
	у перерізі бруто за першим рядом високоміцних болтів у прикріпленні до вузла або в стику двостінчастих елементів
	у перерізі бруто за першим рядом високоміцних болтів у прикріпленні до вузла або в стику двостінчастих елементів з однобічними накладками
	у перерізі бруто за першим рядом високоміцних болтів із прикріпленням до вузла або в стику одностінчастих елементів з однобічними накладками

ДОДАТОК П (обов'язковий)

ОРТОТРОПНІ ПЛИТИ

П.1 Ортоотропні плити автопроїзду

П.1.1 Загальні положення

Цей додаток розповсюджується на конструювання деталей ортоотропних плит мостів.

У додатку наведено правила проектування, які мають забезпечити надійність сталевих конструкцій плит і покриття проїзду (рисунок П.1).

1 - лист настилу; 2 - зварне з'єднання поздовжнього ребра до листа настилу; 3 - зварне з'єднання поздовжнього ребра до стінки поперечної балки; 4 - деталь вирізу у стінці поперечної балки; 5 - зварне з'єднання поздовжнього ребра; 6 - зварне з'єднання поперечної балки до стінки головної балки (ферми); 7 - зварне з'єднання пояса поперечної балки до стінки головної балки (ферми); 8 - зварне з'єднання стінки поперечної балки до листа настилу.

Рисунок П.1 - Приклади конструкції сталевих плит автодорожніх мостів

Замість зварних з'єднань допускається застосування з'єднань на високоміцних болтах для:

- поздовжніх ребер між собою;

- стінок і поясів поперечних балок між собою;
- стінок і поясів поперечних балок до головних балок.

П.1.2 Лист настилу

Тріщини втомленості найбільш імовірно в місці однобічного зварного з'єднання замкненого поздовжнього ребра до листа настилу. Механізм появи тріщин втомленості у цих місцях наведено на рисунку П.2.

а - поява тріщини з внутрішнього боку в корені шва;

б - поява тріщини з зовнішнього боку в п'яті шва

Рисунок П.2 - Місця появи тріщин утомленості в односторонніх швах зварювання ребер

При застосуванні литого асфальту (мастикасфальту або гусасфальту) або епоксидасфальту допускається при розрахунках витривалості враховувати його роботу сумісно з листом настилу плити.

Рекомендації щодо геометричних параметрів плити розповсюджуються на наступне (позначки надаються на рисунку П.3):

а) товщина листа настилу t плити проїзду під важкий транспорт:

$t \geq 14$ мм для асфальту завтовшки ≥ 70 мм;

$t \geq 16$ мм для асфальту завтовшки ≥ 40 мм;

б) відстань між стінками поздовжніх ребер e :

- при $e/t \leq 25$ рекомендується приймати $e \leq 300$ мм;

- місцеве збільшення e може становити 5 % для мостів, що розташовані на кривих;

в) товщина листа настилу t плити пішохідних мостів (з навантаженнями від машин експлуатації):

$t \geq 8$ мм при $e/t \leq 40$, але $e \leq 600$ мм;

г) товщина ребер жорсткості - $t_s \geq 6$ мм.

Примітка. Перевірка на вигин листа настилу над ребрами не виконується, якщо наведені вище умови витримані.

Рисунок П.3 - Позначки елементів ортотропної плити

Мінімальну згинальну жорсткість поздовжніх ребер рекомендується приймати на основі графіка (рисунок П.4).

Крива А приймається для всіх ребер, що не охоплені кривою В; крива В приймається для ребер, що розміщені під найбільш важкими лініями транспорту без обмеження відстані на 1,20 м від стінки головної балки; 1 - смуга руху для важкого транспорту; 2 - стінка головної або поздовжньої балок

Рисунок П.4 - Мінімальна жорсткість поздовжніх ребер

Незалежно від отриманої жорсткості поздовжніх ребер не допускається зміщення ребра відносно прилеглих ребер або прилеглої стінки більше ніж на 2,5 мм.

Зварювання листів настилу. Стики листа настилу, поздовжні та поперечні, мають бути виконані з V-подібною обробкою кромки за допомогою автоматичного зварювання під флюсом на підкладці, що знімається.

Допускається застосовувати ручне дугове або механізоване зварювання на сталевій підкладці, що залишається, але тільки у випадках, коли зварювання не може бути виконано за П.5.

П.1.3 Поздовжні ребра

Типи поздовжніх ребер для плит проїзду представлені на рисунку П.5. Вимоги до точності виготовлення та зварювання надані в таблицях П.6 - П.11.

Герметичність замкнутих ребер плит має бути гарантована виготовленням і монтажем.

Рисунок П.5 - Відкриті ребра (штабові, Т-подібні, Г-подібні)

Рисунок П.6 - Замкнуті ребра (трапецієподібні, V-подібні, U-подібні)

Рекомендована товщина ребер: штабових - 12 мм - 20 мм; замкнутих - 6 мм - 8 мм.

П.1.4 Поперечні балки

Відстань між поперечними балками приймають у межах:

- для відкритих ребер - 2,5 м - 3,0 м;

- для замкнутих ребер - 4,0 м - 5,0 м.

Вирізи в поперечних балках для пропускання поздовжніх ребер зображені на рисунку П.10. Рекомендуються конструкції вузла перетину замкнутого ребра із стінкою поперечної балки, що надані на рисунку П.7.

а - конструкція вузла без діафрагми;

б - конструкція вузла з діафрагмою в ребрі в площині стінки поперечної балки

h_r - висота ребра;

h_h - висота вільної від шва зони; $h_h \geq 0,14h_r$;

b - зазор у вільному вирізі; $b \geq t_{w,cb} \geq 25$ мм;

d - зазор між діафрагмою і настилом; $d \leq 25$ мм;

c - зона обробки кромки стінки; $c = 4 \cdot t_{w,cb}$ (рисунок П.8);

$t_{w,cb}$ - товщина стінки поперечної балки не менше ніж 12 мм;

$t_{w,d}$ - товщина діафрагми; $t_{w,d} \geq 0,75t_{w,cb}$.

Рисунок П.7 - Вузол перетину ребра зі стінкою поперечної балки

Конструкцію з діафрагмою приймають у випадках, коли цього вимагають розрахунки стінки за П.2.2.

Шви приварки стінки поперечної балки до ребра мають переріз не менше ніж 0,4 товщини стінки. Мінімальний катет шва становить 7 мм. Кінці швів біля вільного вирізу виконуються з обробкою кромки відповідно до рисунка П.8 для утворення повного проплавлення кінця.

$t_{w,cb}$ - товщина стінки поперечної балки; s - притуплення дорівнює 2 мм.

Рисунок П.8 - Кінці швів біля вільного вирізу з обробкою кромки

Шви приварки діафрагми мають катети не менше ніж 1/2 товщини діафрагми.

Вирізи в стінках для пропускання штабових ребер можуть бути різної форми.

Рекомендовані форми і розміри вирізів наведені на рисунку П.9 а.

Форми вирізів б, в, і г слід застосовувати за спеціального обґрунтування. Відстань 15 мм від низу ребра до верхньої кромки вирізу за можливості має бути збільшена.

Рисунок П.9 - Форми і розміри вирізів для штабових ребер

Рекомендовані форми та розміри вирізів для Г- та Т-подібних поздовжніх ребер надані на рисунку П.10 а і в. Форми вирізів б і г слід застосовувати тільки за спеціального обґрунтування.

Рисунок П.10 - Форми і розміри вирізів для Г- та Т-подібних поздовжніх ребер

П.2 Розрахунки міцності ортотропної плити автопроїзду

Місця визначення напружень в ортотропній плиті автопроїзду рекомендується виконувати для точок, зображених на рисунку П.11.

Рисунок П.11 - Характерні точки на ортотропній плиті

На рисунку П.11 наведені характерні точки, що рекомендуються для розрахунку поздовжніх ребер (точки C_i) і точки для розрахунку поперечних балок (B_i).

C_1 - точка з найбільшим від'ємним моментом у ребрі. Рекомендується приймати 1/3 прогону поперечної балки;

C_2 - точка в місці стику поздовжнього ребра;

C_3 - точка з найбільшим позитивним моментом у ребрі. Рекомендується приймати в середині прогону поздовжнього ребра між головними балками;

B_1 - точка з найбільшим від'ємним моментом та найбільшою поперечною силою в поперечній балці. Як правило, біля головної балки;

B_2 - точка в місці стику поперечної балки;

B_3 - точка з найбільшим позитивним моментом у поперечній балці. Як правило, в середині прогону балки.

Таблиця П.1 - Характерні точки для розрахунків ортотропної плити

Точки	Зусилля в перерізах			Характерний переріз
Поздовжнє ребро				
C_1	M_y	Q	N_x	Переріз над поперечною балкою
C_2	M_y	Q	N_x	Переріз у місці стику ребра
C_3	M_y	Q	N_x	Переріз в середині прогону ребра
Поперечна балка				
B_1	M_x	Q	N_y	Переріз над головною балкою
B_2	M_x	Q	N_y	Переріз у місці стику балки
B_3	M_x	Q	N_y	Переріз у середині прогону балки

П.2.1 Поздовжні ребра

Перевірку міцності листа настилу ортотропної плити в будь-якій точці виконують за формулою

	(П.1)
--	-------

де σ_x та σ_y - нормальні напруження від сумарної дії глобальних та локальних навантажень вздовж осі x та y;

τ_{xy} - зрізні напруження від сумарної дії глобальних та локальних навантажень;

m - коефіцієнт умов роботи згідно з таблицею 6.2;

γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю згідно з таблицею 4.1 ДБН В.2.3.22.

Перевірку міцності розтягнутої крайньої фібри поздовжнього ребра виконують за формулою

	(П.2)
--	-------

Перевірку міцності стиснутої крайньої фібри поздовжнього ребра виконують за формулою

	(П.3)
--	-------

Перевірку міцності стінки поздовжнього ребра ортотропної плити виконують за формулою

	(П.4)
--	-------

П.2.2 Поперечні балки

Зусилля в поперечних балках ортотропної плити проїзду слід знаходити від сумарної дії глобальних та локальних навантажень прогонової будови. Всі розрахунки виконуються у лінійній постановці.

Напруження в стінці поперечної балки між вирізами для пропуску поздовжніх ребер (виступ між вирізами) від дії поперечної сили можуть бути знайдені за спрощеною процедурою.

Значення зусилля зсуву T , прикладене до виступу стінки між вирізами ребер, знаходять за формулою

	(П.5)
--	-------

де Q - поперечна сила в перерізі;

S - статичний момент листа настилу;

I - момент інерції поперечної балки;

$2e$ - довжина збирання сили зсуву;

- нормальні напруження в перерізі $a-a$ від моменту $M = T \cdot h_0$;

τ - зрізні напруження в перерізі $a-a$ (рисунок П.12).

Рисунок П.12 - Схема для розрахунку напружень на перерізі $a-a$

Фактична епора нормальних напружень не є лінійною у зв'язку з роботою виступу як балки-стінки, але при розрахунках міцності кінцеві піки не враховуються. Нормальні напруження на гранях вирізу, знайдені за лінійною епорою, обмежуються розрахунковою текучістю сталі стінки за формулою

	(П.6)
--	-------

При виконанні цієї умови розрахунки витривалості в місцях вирізів (в перерізі $a-a$) допускається не виконувати.

Зрізні напруження в стінці обмежуються розрахунковим значенням зрізних напружень сталі стінки за формулою

	(П.7)
--	-------

Перевірки за формулами (П.6) та (П.7) слід виконувати також для поперечних балок із штабовими ребрами.

Рисунок П.13 - Форми і розміри вирізів у стінці поперечної балки для штабових ребер

	(П.8)
--	-------

При застосуванні Г- та Т-подібних поздовжніх ребер збільшуються вирізи в стінках поперечних балок і вони мають бути перевірені на зрізання виступу за (П.6) та (П.7).

Рисунок П.14 - Форми і розміри вирізів для Г- та Т-подібних поздовжніх ребер

Горизонтальну силу, що діє на виступ стінки, знаходять за формулою (П.8).

Напруження у нижньому поясі поперечної балки, знайдене від сумарної дії глобальних та локальних навантажень, має бути перевірене в передбаченні пружної роботи за формулою

	(П.9)
--	-------

П.3 Розрахунок стійкості ортотропної плити

Місцеву стійкість листа настилу між поздовжніми ребрами, поздовжніх смугових ребер, звисів поясів таврових поздовжніх і поперечних ребер слід забезпечити відповідно до вимог додатка Л.

П.3.1 Стійкість ортотропної плити між поперечними балками

Необхідний момент інерції поперечних балок I_{cr} ортотропної плити може бути визначений за напруженнями, що діють у плиті σ_{xc} за (П.10), або виходячи з граничного пружного навантаження при напруженні стиску, що дорівнюють розрахунковій текучості за (П. 11).

	(П.10)
--	--------

	(П.11)
--	--------

де σ_{xc} - напруження в листі настилу плити від спільної роботи ортотропної плити з головними балками прогонової будови, що визначаються за умови пружних деформацій сталі;

$\sigma_{x,cr,tf}$ - приведені критичні напруження, що визначаються за таблицею К.3, де значення критичного напруження $\sigma_{x,cr} = \sigma_{xc}$.

Допускається також визначати $\sigma_{x,cr,tf}$ за формулою

α - коефіцієнт, який визначають за таблицею П.2;

k - кількість поздовжніх ребер, що утримуються поперечною балкою;

ψ - коефіцієнт, що дорівнює:

0,055 при $k = 1$;

0,15 при $k = 2$;

0,20 при $k \geq 3$;

L - відстань між стінками головних балок або між центрами вузлів геометрично незмінюваних поперечних в'язей;

l - відстань між поперечними балками;

I_{sl} - момент інерції повного перерізу поздовжнього ребра.

Таблиця П.2 - Визначення коефіцієнта 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

Примітка. Коефіцієнт ω визначається за формулою де φ_0 знаходять за таблицею П.3 при $l_{ef} = l$.

Для стиснутої ортотропної плити, яка не сприймає місцеві навантаження, у (П.10) коефіцієнт α дорівнює 2,025, що забезпечує рівність розрахункової довжини l_{ef} поздовжніх ребер відстані між поперечними ребрами l .

Розрахунок загальної стійкості стиснутої або стиснуто-згнутої ортотропної плити в цілому на вигин між поперечними балками виконують за формулою

	(П.12)
--	--------

де σ_{xc} - напруження в листі настилу плити від спільної роботи ортотропної плити з головними балками прогонової будови;

φ_0 - коефіцієнт поздовжнього згину, який приймають за таблицею П.3 в залежності від гнучкості λ_0 ;

Таблиця П.3 - Значення коефіцієнта поздовжнього згину φ_0

Гнучкість λ_0, λ_1	Коефіцієнт φ_0 для сталей з нормативною границею текучості		
	менше ніж 300 МПа	від 300 до 350 МПа	350 і більше, МПа
0	1,00	1,00	1,00
41	1,00	1,00	1,00
44	1,00	1,00	0,96
50	1,00	0,92	0,88
53	1,00	0,87	0,83
60	0,95	0,76	0,72
70	0,83	0,64	0,59
80	0,73	0,56	0,49
90	0,64	0,50	0,43
100	0,59	0,44	0,38
110	0,53	0,39	0,33
120	0,47	0,34	0,28
130	0,41	0,30	0,25
140	0,36	0,26	0,22
150	0,32	0,23	0,20
160	0,29	0,21	0,17
170	0,26	0,19	0,16
180	0,23	0,17	0,14
190	0,21	0,15	0,13
200	0,20	0,14	0,11

m - коефіцієнт умов роботи відповідно до таблиці 6.2;

γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю відповідно до таблиці 4.1 ДБН В.2.3-22.

Гнучкість слід визначати за формулою

	(П.13)
--	--------

де l - розрахункова довжина поздовжніх ребер;

$\omega \leq 1,0$ - коефіцієнт, що знаходять за таблицею П.2 за значенням коефіцієнта

I_{cr} - момент інерції поперечної балки з ділянками листа настилу по $0,2L$ в кожний бік від осі балки, але не більше ніж l ;

ξ - коефіцієнт, дорівнює 1,0 для ортотропної плити без місцевого навантаження і призначається за таблицею П.4 для плити, що профдеформована між поперечними балками від дії місцевого навантаження;

A - площа повного перерізу поздовжнього ребра;

β - коефіцієнт, що враховує крутильну жорсткість ребер плити;

I_i - момент інерції повного перерізу поздовжнього ребра при чистому крученні.

Таблиця П.4 - Визначення коефіцієнта ξ для ортотропної плити без місцевого навантаження

f/i	ξ
0	1,00
0,01	0,75
0,05	0,70
0,10	0,66

f - прогин поздовжнього ребра між поперечними ребрами;
 i - радіус інерції повного перерізу поздовжнього ребра.

Стиснуто-зігнуто ортотропну плиту залізничних мостів на загальну стійкість треба перевіряти за формулою (10.1), розраховуючи гнучкість за формулою П.13) при $\xi = 1,0$.

Таврові поздовжні ребра стиснутої ортотропної плити нижнього пояса коробчастих головних балок при згинально-крутній формі втрати стійкості слід розраховувати за формулою (П.12), приймаючи коефіцієнт поздовжнього згину φ_0 в залежності від гнучкості λ_I .

Гнучкість λ_I визначається за формулою

	(П.14)
--	--------

$$\text{де } I_p = I_y + I_z + A(h_w - e)^2,$$

l - відстань між поперечними балками;

h_w - висота стінки ребра завтовшки t_w ;

e - відстань від центра ваги полиці завширшки b_f завтовшки t_f до центра ваги таврового поздовжнього ребра (рисунок П.15);

I_y, I_z - моменти інерції перерізу таврового поздовжнього ребра відносно горизонтальної осі y та вертикальної осі z відповідно;

$$A = b_f + h_w t_w.$$

Рисунок П.15 - Таврові поздовжні ребра ортотропної плити

Для забезпечення місцевої стійкості елементів таврового перерізу поздовжнього ребра товщина полиці і стінки має задовольняти вимоги додатка К:

- якщо $b_f > 0,3h_w$, то поздовжнє ребро повного перерізу слід вважати двотавром,

- якщо $b_f = 0$ - тавром;

- якщо $0 < b_f \leq 0,3h_w$, то вимоги до товщини стінки визначають за лінійною інтерполяцією між нормами для двотавра і тавра ($b_f = 0$).

У залізничних прогонових будовах лист настилу ортотропної плити проїзної частини розраховують на згин, при цьому прогин листа настилу не перевіряють.

При влаштуванні колії на баласті найбільші значення згинальних моментів у листі настилу над поздовжніми ребрами визначають за формулами

у зоні під рейкоюю

$M_y = - 0,1 \nu a^2,$	(П.15)
------------------------	--------

у зоні по осі прогонової будови

$M_y = - 0,08 \nu a^2,$	(П.16)
-------------------------	--------

де a - відстань між поздовжніми ребрами;

ν - навантаження на одиницю довжини, що приймають згідно з Б.2 додатка Б,ДБН В.1.2-15.

П.4 Розрахунки із застосуванням МСЕ

Розрахунки стиснутих та зігнуто-стиснутих плит слід виконувати за деформованими схемами із застосуванням геометрично-нелінійних елементів та вводити недосконалість у межах допусків, таких як вигин плит з площини.

Кількісні значення вигину плити з площини приймають такими, що дорівнюють $l/400$.

Граничне значення напружень у плиті знаходять за деформованими схемами і обмежують значенням

	(П.17)
--	--------

Основні рекомендовані типи розрахунків ортотропних плит виконують із застосуванням методу МСЕ, в розрахункових схемах якого використано нелінійність та недосконалість, які наводяться в таблиці П.5.

Таблиця П.5 - Вимоги до типів розрахунків ортотропних плит

Врахування		Приклад використання
Геометричної нелінійності	Недосконалісті	
Ні	Ні	Розподіл нормальних напружень по ширині плити від її роботи з головними балками
Ні	Ні	Розрахунки напружень у плиті від місцевого навантаження
Так	Ні	Розрахунки напружень зігнуто-стиснутої плити за деформованими схемами та розрахунки стійкості плити
Так	Так	Розрахунки напружень стиснутої плити за деформованими схемами та розрахунки стійкості плити

П.5 Вимоги до виготовлення та зварювання

Таблиця П.6 - Допуски напівфабрикатів

Довжина і переріз	Переріз	Прямолінійність
Лист настилу після прокатки й виправлення на роликах		
Довжина й ширина прийнята з урахуванням зварювальних деформацій від наступного зварювання		
		1 - лінійка 2000 мм; 2 - лист; 3 - зазор $\leq 2,0$ мм
Гнутий профіль поздовжніх ребер		
Товщина листа $t \geq 6$ мм, для ребер холодного формування відношення радіуса загину до товщини $r/t \geq 4$. Кінець ребра інспектується візуально на наявність тріщин. а) і б) якщо допуски перевищені, вирізи в поперечних балках мають бути пристосовані для компенсації неточностей		
а) гнутий профіль для проходу через стінку поперечної балки з вільним вирізом унизу		Для випадків а) і б)
б) гнутий профіль для проходу через стінку поперечної балки без вільного вирізу внизу		Допуски: 1 - зазор $\leq l/1000$; 2 - розширення ≤ 1 мм;
		3 - у місці стиків ребер: радіус загину ± 2 мм, поворот 1° на довжині 4 м, непаралельність 2 мм
Штабовий профіль приварений по крайці		
Товщина листа $t \geq 10$ мм		
Штабове ребро, що проходить у вирізах у стінках поперечних балок		
		1 - зазор $\leq l/1000$

Таблиця П.7 - Стиковий шов листа настилу на змінній підкладці

Конструктивна деталь	Контрольовані параметри	Примітки
Стикові односторонні шви листів настилу ортотропних плит на змінній скломідній або мідній підкладці зі склотканиною виконані автоматичним зварюванням під шаром флюсу з ручною або механізованою підваркою кореня шва з формуванням зворотної сторони шва без наступного механічного зачищення		
$t = 12-40$ мм Рекомендовані параметри: $\alpha = 30^\circ$; $s = 1^{\pm 1}$; $c = 5$ мм Неплоскостність $\delta \leq 2$ мм	Контроль перед зварюванням: - геометрія крайок; - стан поверхні крайок (наявність запиленості, конденсату, мастила або корозії); - щільність установки підкладки	Форми оброблення крайок шва й величини зварювального зазору можуть бути змінені на підставі відпрацьованої технології, підтверженої випробуваннями на зразках
	Контроль перед зварюванням: Те саме, що й для основної конструкції	Вивідні планки виготовлені заводом зі сталі основних конструкцій з формою крайок заданою монтажною організацією. Шви приварки планок виконують спочатку по двох торцевих крайках, а потім зверху. Переріз шва 2-4 мм
1 - ручна або механізована підварка кореня шва; при $t = 12-40$ мм; $t_f = 8-10$ мм	Шов I категорії Обсяг контролю наведено у додатку Р	Мідна підкладка завтовшки 12-16 мм при струмах до 600А Канавка в міді завглибшки 1-1,5 мм. Мідь марок М1-М3, і М1р-м3р згідно з ГОСТ 859 і ГОСТ 495. Склотканина марок Т10, Т11 або Т13 згідно з ГОСТ 19170 або ТС-23 за ТУ 6-48-92

Таблиця П.8 - Стиковий шов листа настилу на підкладці, що залишається

Конструктивна деталь	Контрольовані параметри	Примітки
Стикові односторонні шви листів настилу ортотропних плит на сталевій підкладці, що залишається, виконані механізованим або ручним дуговим зварюванням		
Рекомендовані параметри: при $t = 12-40$ мм; $\alpha = 30^\circ$; $s = 1^{\pm 1}$; $c = 6-8$ мм; $b \geq 40$ мм; $h = 3$ мм Неплоскостність $\delta \leq 2$ мм	Контроль перед зварюванням: - геометрія крайок; - стан поверхні крайок (наявність запиленості, конденсату, мастила або корозії); - щільність установки підкладки і якість кореневого шва	Зварювання на сталевій підкладці, що залишається, виконується для місць, у яких зварювання зі змінною підкладкою неможливі Виконання верхніх проходів швів автоматичним зварюванням під флюсом можливо за умови ошадних режимів, які не допускають пропалювання швів, що знаходяться нижче
	Шов I категорії Обсяг контролю наведено у додатку Р	

Таблиця П.9 - Стик замкнутих ребер

Конструктивна деталь	Контрольовані параметри	Примітки
Підготовка вставки та крайок замкнутого ребра перед зварюванням і черговість накладення швів		
	Контроль підготовки крайок і лінійних розмірів див. таблицю П.7: 1 - паралельна крайка для заводського зварювання ребра; 2 - крайка з обробкою для монтажного зварювання; 3 - підкладка, що залишається	Розміри вставки й розпусків для монтажного зварювання можуть бути зменшені для товщини ребра 6 мм до значень: - довжина розпусків шва стінки ребра до листа настилу - 150 мм; - довжина вставки 200 мм
	С.1 - стиковий шов вставки ребра; С.2 - кутові стельові шви стінок ребра до листа настилу. Черговість виконання зварювання зазначена цифрами 1, 2 і 3	

Однобiчний стиковий шов на пiдкладцi, що залишається, стiнки замкнутого поздовжнього ребра ортотропної плити виконаний механiзованим зварюванням iз застосуванням металопорошкового дроту або ручним дуговим зварюванням з використанням покритих електродiв		
Рекомендованi параметри при $t = 6$ мм: $c \geq 7$ мм - при механiзованому зварюваннi; $c \geq 8$ мм - при ручному дуговому зварюваннi; Неплосциннiсть $\delta \leq 2$ мм	1. 100 % ВВК (тут i далi вiзуально-вимiрювальний контроль) перед зварюванням 2. 100 % ВВК пiсля зварювання 3. Механiчне зачищення шва	Допуск зварникiв до роботи на основнiй конструкцiї можливий тiльки пiсля їх атестацiї не менше нiж на двох швах-зразках, заварених у тому ж положеннi, що й на основнiй конструкцiї
Рекомендованi параметри при $t > 6$ мм: $c \geq 6$ мм - при механiзованому зварюваннi; $c \geq 7$ мм - при ручному дуговому зварюваннi; $\alpha = 30^\circ$; притуплення $s = 1^{\pm 1}$ Неплосциннiсть $\delta \leq 2$ мм	ВВК перед зварюванням вклучає данi таблицi П.8 Крiм того, контролюється: 1) кореневий шов пiдкладки, катет 3-3,5 мм; 2) зазор мiж пiдкладкою й ребром $\leq 0,7$ мм	Зварювальнi матерiали, що рекомендуються: 1) металопорошковий дрiт дiаметром 1,2-1,6 мм; 2) покритi електроди дiаметром 3-4 мм
		Показане число проходiв дано для товщини $t = 8$ мм
Однобiчний кутовий шов приварки стiнки ребра до листа настилу		
Перерiз шва $\geq S$	1. 100 % ВВК перед зварюванням 2. 100 % ВВК пiсля зварювання 3. Контроль режимiв зварювання на пiдставi металографiчних дослiджень макрошлiфiв через кожних 500 м шва	Заводськi шви виконуються в нижньому положеннi автоматичним зварюванням пiд флюсом
Перерiз шва $\geq S$	1. 100 % ВВК перед зварюванням 2. 100 % ВВК пiсля зварювання 3. Крайка стiнки ребра має бути I категорiї	Монтажнi шви в зонi стику виконуються як стельовi механiзованим зварюванням iз застосуванням металопорошкового дроту або ручним дуговим зварюванням з використанням покритих електродiв
Перерiз шва a - з розрахунку	Те саме	Тiльки для пiшохiдних зон, де рух автотранспорту виключений

Таблиця П.10 - Кутовi шви приварки стiнки поперечної балки до ребра

Конструктивна деталь	Контрольованi параметри	Примiтки
Шви приварки стiнки поперечної балки до ребра й до листа настилу		
	1. 100 % ВВК перед зварюванням	Перерiз шва a визначається з розрахунку, при цьому:

	2. 100 % ВВК після зварювання 3. Різани крайки стінки балки повинні бути I категорії	при $g \leq 2\text{мм}$ $a = a_{ном}$; при $g > 2\text{мм}$ $a = a_{ном} + (g - 2)$
	Те саме	Те саме
	1. 100 % ВВК перед зварюванням 2. 100 % ВВК після зварювання 3. Різани крайки стінки балки повинні бути I категорії	Переріз шва a визначається з розрахунку. Без розрахунку переріз шва a варто приймати $1/2$ товщини стінки поперечної балки
	Те саме	Вузол А рекомендується для автодорожніх мостів. Вузол В рекомендується для залізничних мостів

Таблиця П.11 - Стик ребра зі стінкою поперечної балки (без проходу у вирізі)

Конструктивна деталь	Контрольовані параметри	Примітки
Стик ребра зі стінкою поперечної балки (без проходу у вирізі)		
1 - ребро; 2 - стінка поперечної балки; 3 - зазор $g \leq 2\text{мм}$ 4 - неспіввісність стінок ребра $\delta \leq 2\text{мм}$	1. 100 % ВВК перед зварюванням 2. 100 % ВВК після зварювання 3. Переріз шва a не менше товщини ребра	Однобічний шов із повним проплавленням без підкладки Може застосовуватися: 1) для плит пішохідних мостів; 2) для торцевих поперечних балок, що примикають до деформаційного шва автодорожніх мостів
1 - ребро; 2 - стінка поперечної балки; 3 - кореневий шов; неспіввісність стінок ребра $\leq 2\text{мм}$	Те саме	Однобічний шов з повним проплавленням на підкладці що залишається Може застосовуватися: 1) для плит пішохідних мостів; 2) для торцевих поперечних балок, що примикають до деформаційного шва автодорожніх мостів

Таблиця П.12 - Стик ребра зі стінкою поперечної балки (без проходу у вирізі)

Конструктивна деталь	Контрольовані параметри	Примітки
Стик поперечної балки з головною балкою		
1 - стінка головної балки; 2 - стінка поперечної балки; 3 - товщина стінки поперечної балки $t_{w,crossb}$;	1. 100 % ВВК перед зварюванням 2. 100 % ВВК після зварювання	Поперечні балки примикають із двох сторін до стінки головної балки. Кут оброблення крайок повинен забезпечити повне проплавлення стінок

4 - неспіввідношення стінок ребра $\delta \leq 0,5t_w, crossb$			
	1 - стінка головної балки; 2 - стінка поперечної балки; 3 - зазор $g \leq 2$ мм	1. 100 % ВВК перед зварюванням 2. 100 % ВВК після зварювання 3. Переріз кутового шва a з розрахунку	Поперечна балка примикає з однієї сторони до стінки головної балки
	1 - стінка головної балки; 2 - стінка поперечної балки; 3 - товщина стінки поперечної балки $t_w, crossb$; 4 - неспіввідношення $\delta \leq 0,5 t_w, crossb$; 5- увігнутий шов		
	Мінімальний радіус у примиканні поясів $\min r = 150$ мм. Оцінка витривалості необхідна 1 - головна балка; 2 - поперечна балка; 3 - ширина поясу поперечної балки; 4 - ширина поясу головної балки		Примикання поясів поперечних балок до головної балки

ДОДАТОК Р
(обов'язковий)

З'ЄДНАННЯ

У додатку розглянуті основні правила проектування та основи розрахунків зварних з'єднань, з'єднань на звичайних болтах, на високоміцних болтах та на пальцях.

Р.1 Зварні з'єднання

Р.1.1 Загальні положення

Зварні з'єднання поділяють на три категорії в залежності від їх відповідальності відповідно до таблиці Р.1.

Таблиця Р.1 - Категорії зварних з'єднань

Категорія шва	Типи швів заводських з'єднань, що входять до даної категорії, характеристика умов їх експлуатації і монтажу
I	1. Поперечні й поздовжні стикові шви розтягнутих (стиснуто-розтягнутих) поясів головних балок, елементів ортотропних і ребристих плит, у т.ч. і стикові шви трапецієподібних поздовжніх ребер, елементів ферм, а також стиснуті й розтягнуті стикові шви поперечних і поздовжніх балок проїзної частини залізничних мостів.
	2. Кутові й поясні шви нижніх і верхніх поясів головних балок, а також кутові шви таврових з'єднань, що працюють на відрив і зріз при розтягу або згині із суцільним проплавленням за кресленнями КМ.
	3. Кінцеві ділянки стикових швів (завдовжки 100 мм), що прикріплюють до розтягнутих елементів ферм і розтягнутих поясів балок, вузлові фасонки або розташовані уздовж зусилля фасонки в'язей.
	4. Кінцеві ділянки поперечних стикових швів стінок балок вздовж 30 % її висоти, відраховуючи від кожного (верхнього або нижнього) пояса балки.
II	5. Кутові поясні шви нижніх і верхніх поясів головних балок, а також кутові шви таврових, кутових і з'єднань внапуск, що працюють на відрив і зріз при розтягу та вигині з неповним проплавленням за кресленнями КМ.
	6. Стикові шви (за винятком кінцевих ділянок), що прикріплюють до розтягнутих поясів балок вузлові фасонки або розташовані уздовж зусилля фасонки в'язей, а в сталезалізобетонних прогонових будовах - упори.
	7. Поперечні стикові шви стінок балок на ділянках завдовжки 10 % її висоти, що примикають до кінцевих ділянок.
	8. Поздовжні стикові шви стінок балок, розташовані в межах 40 % її висоти, відраховуючи від верхнього або нижнього пояса, відповідно.
III	9. Поперечні і поздовжні стикові шви стиснених поясів головних балок, елементів ортотропних і ребристих плит, елементів ферм.
	10. Поперечні стикові шви стінок балок на ділянках, крім зазначених на рисунку Р.1.
	11. Поздовжні стикові шви стінок балок, розташовані в межах частини висоти стінки.
	12. Кутові поясні шви, а також кутові шви таврових, кутових і з'єднань внапуск, що працюють на стиск із неповним проплавленням за кресленнями КМ.
	13. Стикові шви, що прикріплюють до стиснених поясів балок вузлові фасонки в'язей, а в сталезалізобетонних прогонових будовах - упори.
	14. Кутові шви, що прикріплюють вертикальні і горизонтальні ребра жорсткості, діафрагми й фасонки в'язей до основних металокопункцій.
	15. Кутові шви, що прикріплюють елементи в'язей до фасонки і ребер жорсткості.

Методи й обсяги контролю зварних з'єднань, в залежності від категорій наводяться у таблиці Р.2.

Таблиця Р.2 - Методи й обсяги контролю зварних з'єднань

Метод контролю	Категорія шва	Типи контрольованих швів за таблицею Р.1	Обсяг контролю	Примітки
Візуальний і вимірювальний (ВВК)	I-III	Всі	100 %	Відхилення від проекту

				відображені в журналі зварювальних робіт
Ультразвуковий (УЗД) ГОСТ 14782	I	1,2, 3,4	100 %	Від довжини кожного контрольованого шва
	II	6,7,8	50 %*	
	III	9, 10, 11, 13	30 %**	
Радіографічний (R) ГОСТ 75122	I	1,3,4	Ділянки стикових швів, які не можуть бути піддані УЗД контролю, або вимагають уточнень після УЗД контролю	Просвічування випромінюванням
	II	6, 7,8		
	III	9, 10, 11, 13		
Металографічні дослідження макрощліфів	I	Стикові шви розтягнутих або стиснуто-розтягнутих поясів	Кожен третій стиковий шов за вказівкою організації, що контролює	—
Механічні випробування контрольних зварних з'єднань згідно з ГОСТ 6996	Тип контрольованих з'єднань, обсяг контролю, вимоги до якості зварних з'єднань мають бути зазначені в проектній документації			
<p>Примітка. Методи та обсяги контролю зварних з'єднань у вузлах підвищеної жорсткості, де збільшується небезпека утворення тріщин, слід додатково зазначити в проектно-технологічній документації. У зварних полотнищах із перерізами та примиканнями стикових швів (у зонах "хрестів" і "напівхрестів") слід робити повторний контроль якості цих зон по 150 мм в кожен бік методом УЗД не раніше ніж через три доби (72 год) після первинного контролю цих зон.</p> <p>Категорія і тип зварного шва мають бути зазначені в кресленнях КМ.</p> <p>При контролі ділянки стикового шва методом УЗД і R і виявленні при цьому дефектів одним із методів рішення про якість шва приймається за результатами найбільш надійного методу при виявленні дефектів даного типу.</p> <p>* При виявленні дефектів, що виходять за межі допусків, контролю підлягають 100 % довжини швів типу 6, 7 і 8 категорії II (таблиця P.1).</p> <p>** Якщо при контролі методом УЗД якість швів, що перевіряються, більше ніж 10 % загальної довжини буде визнано незадовільною, то виконується додатковий контроль стиків в обсязі 50 % довжини кожного стикового шва. Якщо при додатковому контролі виявляються шви незадовільної якості, то контролю підлягають 100 % довжини швів типу 9, 10, 11 і 13 категорії III (таблиця P.1).</p>				

Дефекти, зазначені в таблиці P.3, поділені відповідно до таблиць P.3, P.4 і P.5 на поверхневі, внутрішні і дефекти геометрії.

Таблиця P.3 - Поверхневі дефекти

Найменування дефектів	Характеристика дефектів за розташуванням, формою та розмірами	Допустимі дефекти за категоріями зварних швів		
		I	II	III
Поверхневі дефекти				
1 Тріщини	Тріщини всіх видів і розмірів	Не допускаються		
2 Непроварювання (у корені шва й неповне проплавлення)	Для однобічних зварних швів	Те саме		
3 Несплавлення поверхневі по краях, які стикаються		>>		
4 Пропали		>>		
5 Поверхневі одиночні пори й свищі	Максимальний розмір (діаметр) одиночного дефекту в стикових і кутових швах	1 мм	1,5 мм	2,0 мм
6 Множинні поверхневі пори і свищі	У стикових і кутових швах при відстані між дефектами $\leq 20t$ і менше ніж 400 мм	Не допускаються		
7 Підрізи уздовж і поперек зусиль	1. Перехід від основного металу до металу шва при підрізі має бути плавним 2. Підріз має бути плавним	Без виправлення не допускаються $h \leq 1$ мм допускається виправляти зачищенням з $r \geq 3$ мм $h > 1$ мм спочатку заварити, а потім виправляти зачищенням з $r \geq 3$ мм	$h \leq 1$ мм допускається не виправляти $1 < h \leq 2$ мм допускається виправляти зачищенням з $r \geq 3$ мм $h > 2$ мм спочатку заварити, а потім виправляти зачищенням з $r \geq 3$ мм	Те саме, що і категорія II

8 Перевищення посилення (опуклість): стикового шва;	Перехід від основного металу до металу шва повинен бути плавним	$h \leq 1 + 0,1t$ мм, але не більше 4 мм	$h \leq 1 + 0,15t$ мм, але не більше 6 мм	$h \leq 1 + 0,25t$ мм, але не більше 8 мм
кутового шва		$h \leq 2$ мм	$h \leq 3$ мм	$h \leq 4$ мм
9 Збільшення катета кутового шва: K - проектний катет; K_{ϕ} - фактичний катет	Перевищення катета кутового шва не є бракувальною ознакою, якщо немає обмеження в проєкті	$h \leq + 0,1K$ мм, але не більше 2 мм	$h \leq + 0,15K$ мм, але не більше 3 мм	$h \leq + 0,2K$ мм, але не більше 4 мм
10 Зменшення катета кутового шва: K - проектний катет; K_{ϕ} - фактичний катет		Не допускається	Протяжні дефекти не допускаються	
			Місцеві дефекти $h \leq 0,3 + 0,1K$ мм	
			$h_I \leq$ мм	$h \leq 2$ мм
11 Перевищення опуклості кореня шва	Для однобічних стикових швів	$h \leq 1 + 0,1t$ мм, але не більше 3 мм	$h \leq 1 + 0,2t$ мм, але не більше 4 мм	$h \leq 1 + 0,3t$ мм, але не більше 5 мм
12 Неповне заповнення порожнини шва (увігнутість)	Перехід від основного металу до металу шва має бути плавним	Протяжні дефекти не допускаються		
		Місцеві дефекти		
		$h \leq 0,03t$ мм, але не більше ніж 0,5 мм	$h \leq 0,06t$ мм, але не більше ніж 1 мм	$h \leq 0,1t$ мм, але не більше ніж 2 мм
13 Асиметрія кутового шва	Відмінність у величині катетів, якщо це не передбачено проєктом	$h \leq 1 + 0,1K$ мм	$h \leq 1,5 + 0,1K$ мм	$h \leq 2,0 + 0,1K$ мм
14 Увігнутість кореня шва	Для однобічних стикових швів (перехід від шва до основного металу плавний)	$h \leq 0,5$ мм,	$h \leq 1,0$ мм	$h \leq 1,5$ мм

15 Напливи до крайок шва: стикового; кутового		Не допускається		
16 Сполучення поверхні посилення шва з основним металом	Стикові шви	$\alpha \geq 150^\circ$	$\alpha \geq 130^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$
	Кутові шви	$\alpha \geq 120^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$	$\alpha \geq 100^\circ$
17 Опік основного металу зварюванням	Місцеві ушкодження внаслідок запалювання дуги поза швом	Без виправлення не допускаються		
Бризки розплавленого металу	Бризки, що прилипили до поверхні			
Задири поверхні металу	Ушкодження поверхні, викликані видаленням тимчасових елементів			
18 Дефектне запалювання дуги	Місцева нерівність поверхні шва в місці повторного запалювання дуги	Не допускається	Допускається при виконанні умов 8 і 16	
19 Дефекти від шліфування та різання	Місцеві ушкодження внаслідок зачищення й різання (пропили, вихвати, кольори мінливості тощо)	Без виправлення не допускаються		
20 Зменшення перерізу шва	Зменшення перерізу шва при механічній обробці	Місцеві дефекти з обмеженнями за 12. При більшому ослабленні шва його слід підварювати та зачищати		

Таблиця Р.4 - Внутрішні дефекти

Найменування дефектів	Характеристика дефектів за розташуванням, формою та розмірами	Допустимі дефекти за категоріями зварних швів		
		I	II	III
Внутрішні дефекти				
1 Тріщини	Тріщини всіх видів і розмірів	Не допускаються		
2 Непровари та неспалення	а) у стикових швах вздовж осі в місцях обробки	Те саме		
	б) у корені кутових швів	Не допускаються	$h \leq 0,1K$ мм, але не більше ніж 1 мм при відстанях між дефектами $L \geq 30 \cdot t$ мм	
	в) між шарами стикового шва	Те саме	$h \leq 0,1K$ мм, але не більше ніж 1,5 мм при відстанях між дефектами $L \geq 30 \cdot t$ мм	
	г) непровар бічної крайки	>>		

3 Поодинокі внутрішні пори, газові порожнини й жужільні вклучення	а) максимальний розмір одиночного дефекту, мм:	$t \leq 25 \quad d \leq 1 \quad r > 25$		
	- у стиковому шві	$d \leq 0,04t$ мм	$d \leq 0,05t$ мм	$d \leq 0,06t$ мм
	- у кутовому шві	$d \leq 0,05K$ мм	$d \leq 0,08K$ мм	$d \leq 0,1K$ мм
	б) відстань між дефектами	$L \geq 45$ мм	$L \geq 15$ мм	$L \geq 10$ мм
	в) кількість дефектів на довжині 400 мм	≤ 4	≤ 5	≤ 6
4 Ланцюжки пор і жужільних вклучень	Стикові та кутові з'єднання	Не допускаються		
5 Сторонні вклучення	Вклучення інших металів (мідь, бронза, вольфрам)			

Таблиця Р.5 - Дефекти геометрії з'єднань

Найменування дефектів	Характеристика дефектів за розташуванням, формою та розмірами	Допустимі дефекти за категоріями зварних швів		
		I	II	III
Дефекти геометрії з'єднань				
1 Лінійні зсуви крайок (непло- щинність)		$h \leq 0,05t$ мм, але не більше ніж 1,0 мм	$h \leq 0,1t$ мм, але не більше ніж 2,0 мм	$h \leq 0,15t$ мм, але не більше ніж 3,0 мм
2 Кутове відхилення від прямолінійності		$\beta \leq 0,50^\circ$	$\beta \leq 1^\circ$	$\beta \leq 2^\circ$
3 Збільшений зазор у тавровому з'єднанні		$h \leq 0,5 + 0,1K$ мм, але не більше ніж 2,0 мм	$h \leq 0,5 + 0,15K$ мм, але не більше ніж 2,5 мм	$h \leq 1 + 0,2K$ мм, але не більше ніж 3,0 мм

Кожна партія зварювальних матеріалів має бути перевірена зварюванням та випробуванням механічних властивостей контрольних зразків. Зразки для випробувань мають відповідати вимогам ГОСТ 6996. Після випробувань мають бути надані протоколи випробувань і висновок про можливість використання даних зварювальних матеріалів.

Перелік показників при випробуваннях зразків наведено в таблиці Р.6

Таблиця Р.6 - Показники при випробуванні зразків

№№	Тип з'єднання	Місце випробувань	Показники
1	Стикове з'єднання	Метал шва	Границя текучості
2			Тимчасовий опір
3			Відносне подовження
4		Лінія сплавлення	Тимчасовий опір
5			Кут загинання
6			Ударна в'язкість KCV (КСУ)
7			Твердість HV
1	Кутові шви і таврові з'єднання	Лінія сплавлення	Твердість HV
2		Метал шва (для катетів більше 12 мм)	Границя текучості
3			Тимчасовий опір
4			Відносне подовження

Примітка. На макрошліфах кутових швів, зроблених для виміру твердості, оцінюється величина проплавлення і наявність мікротріщин.

Глибина проплавлення при кутових з'єднаннях має становити не менше ніж 1,5 мм

Випробування контрольних зразків

Для випробування стикових з'єднань необхідно зварити встик дві пластини 250 мм × 700 мм при товщині 14 мм і 300 мм × 1000 мм при більшій товщині (рисунок Р.1). Із пластини вирізати зразки для виконання ряду випробувань.

1, 2, 3, 4, 5 - лінії заміру твердості

Рисунок Р.1 - Рекомендована схема вирізування зразків зі стикового з'єднання

Зразки для випробувань слід вирізати із пластини (при малій товщині) механічним шляхом або за допомогою газокисневого різання. Відстань від газового різа до контуру зразка для виключення теплового впливу на зразок має становити не менше ніж 8 мм для товщини прокату до 14 мм і 16 мм для товщини 25 мм і 25 мм для товщини 50 мм.

На макрошліфах, крім твердості, оцінюється форма швів і глибина проплавлення. Мінімальна величина проплавлення для таврових кутових і напуктових з'єднань має бути не менше ніж 1,5 мм.

Зразки мають бути заварені на тих же режимах і в тих же положеннях, як і в основній конструкції.

Основні типи зразків для випробування надані в таблиці Р.7

Таблиця Р.7 - Типи зразків для випробування

№№ зразків	Схема зразка для випробування	Опис випробування
1	V-подібний надріз U-подібний надріз	Ударна в'язкість оцінюється за результатами випробувань зразків Шарпі (KCV) або Менаже (KCU). 6 зразків з лінією надрізу по півні сплавки й 6 зразків з лінією надрізу вздовж осі шва. Значення ударної в'язкості на зразках з U-подібним надрізом має бути не менше ніж 29 Дж/см ² за температури -40 °С для автодорожніх і пішоходних або -60 °С для залізничних і суміщених мостів відповідно
2		Слід виготовляти не менше ніж 3 зразки. Твердість по кожній лінії вимірюється не менше ніж у 4 точках (основний метал, зона термічного впливу, лінія сплавки та метал шва). Чистота обробки поверхні для макрошліфа має відповідати шорсткості (R_z 0,4...0...0,8), а при вимірюванні твердості за Вікерсом (вдавлення алмазної пірамідки) шорсткість не нижче ніж (R_z 6,3...10...10). Твердість обмежується 350 одиницями за шкалою Вікерса (HV). Для кутових швів з катетом 5-7 мм твердість допускається 400 одиниць. 1, 2, 3, 4 - лінії заміру твердості
3		Слід виготовляти не менше ніж 3 зразки для статичного розтягування. Випробування на статичне розтягування виконують на циліндричних зразках завдовжки 30 мм або 60 мм. Тимчасовий опір і границя текучості вздовж шва та в будь-яких зонах, прилеглих до шва, мають бути не менше ніж для основного металу. Значення відносного подовження на п'ятикратних зразках має становити не менше ніж 16 %
4		Те саме для плоских зразків. Величина захвату зразка F визначається виходячи з конструктивних вимог до випробувальної машини
5		Кут статичного згину зварного з'єднання з поперечним стиком має становити не менше ніж 120°

У кресленнях КМ має бути надана інформація про:

- розміри та форму швів зварювання і способи зварювання;

- необхідність механічної обробки зварних з'єднань;
- відповідальність швів (віднесення швів до певних категорій);
- форми кромок перед зварюванням;
- зварювальні матеріали (можуть не надаватися в кресленнях КМ, а бути погодженими за пропозиціями заводу або будівельної організації).

P.1.2 Механічні показники металу шва, геометрія та розміри

Механічні показники металу шва такі, як напруження текучості, тимчасовий опір, відносне видовження при розриві та мінімальне значення ударної міцності металу шва мають дорівнювати або бути більшими за показники основного металу.

Механічні характеристики металу швів наведено в таблицях Г.8 - Г. 10.

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

Розрахункові опори зварних з'єднань надані в таблицях Г.8 - Г.10.

Кутові шви

Кутові шви застосовуються у випадку, коли ухил з'єднувальних частин знаходиться у межах від 60° до 120°.

Ухили можуть бути меншими за 60° або більшими за 120°, але при цьому слід виконувати обробку кромки під зварювання.

Кінці кутових швів мають бути або замкнутими, або повністю переплавленими на певній довжині.

Не допускається в основних конструкціях мостів використання переривчастих кутових та однобічних кутових швів у відкритих конструкціях (на відміну від замкнутих).

Переріз кутових швів має відповідати параметрам, наведеним на рисунку Р.2.

Рисунок Р.2 - Переріз кутових швів

За умови відпрацьованої технології зварювання величина проплавлення може бути врахована за схемою, що надається на рисунку Р.3.

Рисунок Р.3 - Величина проплавлення

З'єднання з повним проплавленням

Стикові шви мають забезпечувати повне проплавлення кромок листів (рисунок Р.4б), що стикаються. За відповідного обґрунтування допускається накладати не повні стикові шви з обробкою кромок, як показано на рисунку Р.4а.

Рисунок Р.4 - Стикові шви з обробкою кромок

Геометрія Т-подібного з'єднання з повним проплавленням надана на рисунку Р.5. Зона *c* має бути проплавленою.

Рисунок Р.5 - Геометрія Т-подібного з'єднання з повним проплавленням

З'єднання з частковим проплавленням

Розміри швів зварювання Т-подібного рівномірного з'єднання з частковим проплавленням (рисунок Р.6) забезпечується умовою $a_1 + a_2 \geq t$, а розмір *c* має бути меншим з двох величин: 3 мм або $t / 5$.

Рисунок Р.6 - Шви зварювання Т-подібного рівномірного з'єднання з частковим проплавленням

За умови, коли не потрібна рівномірність шва з'єднання, допускається для Т-подібного з'єднання збільшувати розмір с.

З'єднання з напуском листів

З'єднання листів із напуском з обох боків слід виконувати, як показано на рисунку Р.7а. З'єднання з одним швом, як на рисунку Р.7б, допускається застосовувати за умови герметизації протилежного відкритого боку з'єднання.

Рисунок Р.7 - З'єднання листів із напуском

Розміри швів зварювання можуть бути меншими за товщину елементів, що зварюються (рисунок Р.8).

Рисунок Р.8 - Розміри швів зварювання**Р.1.3 Розрахунки швів**

Розрахункова висота перерізу зварних стикових швів приймається:

$t_w = t_{min}$ - для деталей, що зварюються з повним проплавленням;

$t_w = t_{w,min}$ - для деталей, що зварюються з неповним проплавленням.

Розрахункова висота перерізу зварних кутових швів приймається:

$t_f = \beta_f k_f$ - для металу шва;

$t_z = \beta_z k_f$ - для металу межі сплавлення,

де t_{min} - найменша з товщин деталей, що зварюються;

$t_{w,min}$ - найменша товщина перерізу стикового шва при зварюванні деталей з неповним проплавленням;

k_f - найменший із катетів кутового шва;

β_f, β_z - коефіцієнти розрахункових перерізів кутових швів (таблиця Р.8).

Таблиця Р.8 - Коефіцієнти розрахункових перерізів кутових швів

Розташування шва при зварюванні	Коефіцієнти розрахункових перерізів кутових швів				
	Позначки	при катетах швів k_f мм			
		3-8	9-12	14-17	≥ 18
Автоматичне зварювання при діаметрі дроту 3-5 мм					
У човник	β_f	1,1	1,1	1,1	0,7
	β_z	1,15	1,15	1,15	1,0
Нижнє	β_f	1,1	0,9	0,9	0,7
	β_z	1,15	1,05	1,05	1,0
Автоматичне та механізоване зварювання при діаметрі дроту 1,4-2 мм					
У човник	β_f	0,9	0,9	0,8	0,7
	β_z	1,05	1,05	1,0	1,0
Нижнє	β_f	0,9	0,8	0,7	0,7

	β_z	1,05	1,0	1,0	1,0
Ручне та механізоване зварювання дротом суцільного перерізу при діаметрі дроту < 1,4 мм або порошковим дротом					
У човник та всі інші розташування	β_f	0,7	0,7	0,7	0,7
	β_z	1,0	1,0	1,0	1,0

Розрахунок міцності зварних стикових з'єднань виконується:

- при зварюванні деталей зі сталей різного рівня міцності, а також при зварюванні матеріалами, для яких $R_{wy} < R_y$ (у цих випадках R_{wy} має бути зазначене в проекті);

- за наявності викружок або послаблень у зоні стику, якщо

$$l_w < b \text{ або } t_{w,min} < t, \text{ або } A_{w,n} < A,$$

де l_w - повна довжина стикового шва;

b і t - ширина та товщина деталей, що з'єднуються;

$A_{w,n}$ і A - площа нетто послабленого (наприклад, отворами) перерізу стикового шва і площа бруто (або нетто) перерізу деталей, що з'єднуються у зоні стику, відповідно.

Розрахунок міцності зварних стикових з'єднань виконують за формулами

	(P.1)
--	-------

	(P.2)
--	-------

де σ_w і τ_w - нормальні і дотичні напруження в будь-якій точці зварного шва відповідно;

R_{wy} і R_{wz} - розрахункові опори зварного шва текучості та зрізу відповідно.

Значення приймають відповідно до додатка Г, таблиця Г.7.

Шви зварювання стінок та інших елементів, що зазнають впливу нормальних напружень у двох площинах та зрізу, слід виконувати за формулою (7.20), приймаючи $R_{wy} = R_y$, а коефіцієнт $\gamma = 1,0$. Міцність кутових швів зварювання може бути оцінена за формулою

	(P.3)
--	-------

де R_{wnt} - номінальне значення тимчасового опору металу шва;

$\gamma_{wnt} = 1,25$ - коефіцієнт надійності за матеріалом шва;

β_f - коефіцієнт розрахункових перерізів кутових швів визначається за таблицею P.8;

σ_{\perp} - нормальні напруження, що діють перпендикулярно до перерізу шва;

τ_{\perp} - дотичні напруження в площині перерізу шва, що діють перпендикулярно до напрямку шва;

$\tau_{//}$ - дотичні напруження в площині перерізу шва, що діють вздовж напрямку шва.

Позначки напружень, що діють у розрахунковому перерізі кутового шва, надані на рисунку P.9

Рисунок P.9 - Напруження у перерізі кутового шва

Міцність кутових швів перевіряється за спрощеною процедурою - на умовний зріз за двома перерізами (рисунок P. 10):

- переріз металу шва 0-1

	(P.4)
--	-------

- переріз в місці сплавлення з основним металом 0-2

	(P.5)
--	-------

Рисунок Р.10 - Розрахункові перерізи для розрахунків кутового зварного шва

За відсутності інформації про глибину проплавлення розміри перерізів 0-1 та 0-2 приймаються від зовнішньої поверхні основного металу до поверхні зварювання.

Зварні шви, що з'єднують окремі листові деталі перерізу складених суцільностінчастих стиснутих елементів, слід розраховувати на умовну поперечну силу, прийняту постійною по всій довжині елемента і яку визначають за формулою

	(Р.6)
--	-------

де W - момент опору перерізу елемента бруто в площині, що перевіряється (послаблення листових деталей перфораціями допускається не враховувати);

l - довжина складеного елемента;

φ - коефіцієнт поздовжнього гину при розрахунку стійкості елемента в площині, що перевіряється.

Ті ж самі зварні шви в стиснуто-зігнутих складених елементах розраховуються на поперечну силу Q_l що дорівнює сумі поперечних сил - умовної Q_{fic} визначуваної за формулою (Р.6), і фактичної.

Якщо в перерізі складеного елемента існують дві і більше паралельно розташовані листові деталі, то прикріплення кожної з них розраховують на поперечну силу Q_i яка визначається за формулою

	(Р.7)
--	-------

де t_i - товщина листової деталі, що прикріплюється;

n - число паралельно розташованих листових деталей.

При прикріпленні до вузлів головних ферм складених суцільностінчастих елементів, окремі частини перерізу яких безпосередньо не прикріплюються до вузлових фасонки, зварні шви приєднання неприкріпленої частини перерізу до прикріпленої треба розраховувати на передачу зусилля, що припадає на неї, приймаючи коефіцієнти умов роботи такими, що дорівнюють:

$m = 0,8$ - при відношенні площі прикріпленої частини перерізу до всієї площі перерізу елемента A_v / A менше 0,6;

$m = 0,9$ - при відношенні A_v / A понад 0,6 і до 0,8;

$m = 1,0$ - при відношенні A_v / A понад 0,8.

Розрахункова довжина зварного шва приймається такою, що дорівнює довжині перекриття елемента вузловою фасонкою ферми.

Геометричні параметри зварних швів залежать від різновиду зварки, положення та режимів зварювання. Якщо при проектуванні конструкції існує можливість вимірювання перерізу швів на зразках і технологічні режими зварювання відпрацьовані, тоді для розрахунків приймають фактичні розміри швів з урахуванням проплавлення. У всіх інших випадках розрахунки слід виконувати з використанням вимог Р.1.2.

Р.1.4 Механічна обробка зварних швів

Механічна обробка зварних з'єднань та відповідних зон у місцях змінного перерізу має забезпечувати отримання плавних переходів від металу шва до основного металу для зменшення концентраторів напруження і підвищення витривалості конструкції. При цьому обробку слід виконувати без надмірного послаблення перерізу на мінімальну глибину, необхідну для отримання чистої поверхні (номінально на глибину до 1 мм). На обробленій поверхні не має бути рисок, видимих неозброєним оком. Напрямок зачищення має збігатися з напрямком найбільших розтягувальних зусиль.

При механічній обробці зварних з'єднань послаблення перерізу по товщині прокату, впоперек і вздовж зусилля в елементі не повинно перевищувати 1 мм при товщині прокату до 25 мм і 4% товщини для прокату завтовшки більше 25 мм.

Механічну обробку для стикових швів не виконують за дотримання наступних умов:

- геометричні розміри швів відповідають вимогам ГОСТ 8713, ГОСТ 11533 (автоматичне зварювання під флюсом), ГОСТ 14771, ГОСТ 23518 (механізоване зварювання в захисних газах), ГОСТ 5264, ГОСТ П 1534 (ручне дугове зварювання);

- шви мають посилення не більше ніж 3 мм;

- шви мають плавні переходи від шва до основного металу;

- шви мають гладку поверхню або лускоподібну фактуру поверхні.

Р.2 З'єднання на звичайних болтах**Р.2.1 Утворення отворів**

Отвори в елементах конструкцій із болтовими з'єднаннями мають бути утворені свердлінням або лазерним різанням. Лазерне різання виконується для товщини металу до 20 мм і діаметрів отворів від 12 мм. Дopusкається утворювати отвори діаметром більше ніж 50 мм за допомогою термічного різання з обов'язковим подальшим механічним розточуванням.

Отвори, що утворені свердлінням, мають бути циліндричної форми. Шорсткість поверхні має відповідати R_z 40...80.

Для заповнених болтами отворів фаски на кромках знімати не потрібно. Для вільних отворів слід знімати фаску 2 мм × 2 мм.

Р.2.2 Класи точності болтів

Для елементів мостових споруд застосовуються болти підвищеної і нормальної точності, що відповідають класам А і В. Болти грубої точності (клас С) можуть застосовуватися тільки для допоміжних конструкцій.

Для болтів підвищеної точності (класу А) діаметр отвору має дорівнювати діаметру болтів з відхилами, наведеними в таблиці Р.9.

Таблиця Р.9 - Допустимі відхили діаметрів отворів для болтів підвищеної точності

Номинальний діаметр отвору, мм	Відхил, мм
Більше ніж 12 і до 18 (включно)	+0,24; 0
Більше ніж 18 і до 30 (включно)	+0,28; 0
Більше ніж 30 і до 48 (включно)	+0,34; 0
Більше ніж 48 і до 80 (включно)	+0,40; 0

Для болтів нормальної точності (класу В) номінальний діаметр отвору має бути більшим за діаметр болта на 1 мм з відхилами, наведеними у таблиці Р. 10.

Таблиця Р.10 - Допустимі відхили діаметрів отворів для болтів нормальної точності

Характеристика	Діаметри і відхили, мм					
	16	18	20	22	24	27
Номинальний діаметр болта	16	18	20	22	24	27
Номинальний діаметр отвору	17	19	21	23	25	28
Відхил діаметра отвору	+0,4	+0,5	+0,5	+0,5	+0,5	+0,6
	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
Овальність у межах відхилів по діаметру	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6
Косина	До 3 % товщини листа або пакета, але не більше ніж 2 мм					
Максимальний діаметр після продавлювання	13	15	17	19	21	23

Для з'єднань без контрольованого натягу болтів слід застосовувати як звичайні метизи згідно з Г.8, так і високоміцні згідно з Г.9 додатка Г.

Р.2.3 Розрахунки з'єднань на звичайних болтах

Розрахункове зусилля N_b , яке сприймається одним болтом, визначається за формулами

- наріз

$$N_b = R_{bs} A \cdot n_s \cdot m_{bl} \quad (P.8)$$

- на зминання

$$N_b = R_{bp} \cdot d \cdot \sum t \cdot m_{bl} \quad (P.9)$$

- на розтяг

$$N_b = R_{bt} \cdot A_{bn} \quad (P.10)$$

де R_{bs} , R_{bp} і R_{bt} - розрахункові опори болтових з'єднань зрізу, зминання і розтягу (таблиця Р.13);

d - діаметр стержня болта;

$A = \pi^2/4$ - площа стержня болта;

A_{bn} - площа перерізу болта нетто; для болтів із метричною нарізкою значення A_{bn} приймається згідно з ГОСТ 1759.4 (площі наведено в таблиці Г.11 додатка Г);

$\sum t$ - найменша сумарна товщина елементів, що зминаються, в одному напрямку;

n_s - число розрахункових зрізів одного болта;

m_{bl} - коефіцієнт умов роботи з'єднання (таблиця Р.11).

Таблиця Р.11 - Значення коефіцієнта умов роботи з'єднання

Характеристика з'єднання	Коефіцієнт умов роботи з'єднання m_{bl}
Багатоболтове в розрахунках на зріз та зминання при болтах: - підвищеної точності;	1,0
- нормальної та грубої точності	0,9

Число болтів n у з'єднанні при дії поздовжньої сили N , що проходить через центр ваги з'єднання, визначається за формулою

$$n = \frac{N}{N_{b,min}} \quad (P.11)$$

де $N_{b,min}$ - найменше із значень розрахункового зусилля для одного болта, що обчислені за формулами (Р.8), (Р.9) та (Р.10);

m_b - коефіцієнти умов роботи (таблиця Р.12).

Таблиця Р.12 - Значення коефіцієнта умов роботи

Характеристика з'єднання	Коефіцієнт m_b
Стик елемента або його частини, усі частини перерізу яких перекриті однобічними накладками	0,9

Стик елемента або його частини з двосторонніми накладками за наявності частини перерізу, безпосередньо не перекритої	0,9
Прикріплення елемента у вузлі одиночної фасонкою	0,9
Прикріплення частини перерізу через один лист	0,9
Прикріплення частини перерізу через два листи і більше	0,8
Прикріплення частини перерізу через прокладку, яка прикріплена за межами з'єднання не менше ніж на 1/4 повного зусилля, що може бути прийнято її перерізом	0,9
Прикріплення виступної полиці швелера, кутника або горизонтального листа коробчастого перерізу кутниковим оцупком	0,7

При дії в площині з'єднання згинального моменту розподіл зусиль на болти слід приймати пропорційно відстані від центра ваги з'єднання до болта, що розглядається.

Болти, що працюють на зріз від одночасної дії поздовжньої сили і моменту, слід перевіряти на зусилля, що визначається як рівнодійна зусиль, знайдених окремо від поздовжньої сили і моменту.

Болти, що працюють одночасно на зріз і розтяг, перевіряються окремо на зріз і окремо на розтяг.

Розрахункові опори болтових з'єднань зрізу, зминанню і розтягу визначаються за формулами, наведеними в таблиці Р.13.

Таблиця Р.13 - Формули розрахункових опорів болтових з'єднань

Напружений стан	Розрахункові опори одноболтових з'єднань			
	зрізу та розтягу болтів			Зминання з'єднань із сталі класу міцності до С440 включно
	3,6; 4,6; 5,6	4,8; 5,8	8,8; 9,8; 10,9	
Зріз	$R_{bs} = 0,38R_{bun}$	$R_{bs} = 0,4R_{bun}$	$R_{bs} = 0,40R_{bun}$	
Розтяг	$R_{bt} = 0,42R_{bun}$	$R_{bt} = 0,4R_{bun}$	$R_{bt} = 0,50R_{bun}$	
Зминання для болтів класу точності А	—		—	
Зминання для болтів класів точності В і С	—		—	

Болти, що з'єднують стінки і пояси складених балок, розраховуються за формулами

- за відсутності місцевого тиску

	(Р.12)
--	--------

- при впливі на пояс місцевого тиску q

	(Р.13)
--	--------

де a - крок поясних болтів;

$N_{b,min}$ - найменше із значень розрахункового зусилля для одного болта, що обчислені за формулами (Р.8), (Р.9);

S - статичний момент бруто пояса балки відносно нейтральної осі;

I - момент інерції перерізу бруто балки відносно нейтральної осі.

Розрахунковий опір фундаментних болтів розтягу R_{ba} знаходять за формулою

$R_{ba} = 0,4R_{um}$	(Р.14)
----------------------	--------

Р.3 З'єднання на високоміцних болтах

Розрахункове зусилля Q_{bh} , яке сприймається кожною поверхнею тертя з'єднаних елементів, стягнутих одним високоміцним болтом (одним болтоконтактом), визначають за формулою

	(Р.15)
--	--------

де P - зусилля натягу високоміцного болта;

μ - коефіцієнт тертя, прийнятий за таблицею Р. 14;

γ_{bh} - коефіцієнт надійності, що приймається за таблицею Р.15.

Таблиця Р.14 - Значення коефіцієнта тертя μ

№	Спосіб обробки контактних поверхонь	Коефіцієнт тертя μ
1	Піщаноструменевий, дробоструменевий двох поверхонь без наступної консервації	0,58
2	Піщаноструменевий, дробоструменевий однієї поверхні з консервацією полімерним клеєм та посипанням карборундовим порошком; другої поверхні - сталевими шітками без консервації	0,50
3	Газополуменевий двох поверхонь без консервації	0,42

4	Сталевими щітками двох поверхонь без консервації	0,35
5	Дробоструменевий двох поверхонь без консервації	0,38
6	Дробометалний двох поверхонь із наступним газополуменевим нагрівом поверхонь у кільцевих зонах навколо отворів під шайбами до температури 250-300 °С	0,61

Таблиця Р.15 - Значення коефіцієнта надійності γ_{bh}

Число болтів у з'єднанні	Значення коефіцієнта надійності γ_{bh} при обробці контактних поверхонь у відповідності зі способами обробки за таблицею Р.14					
	спосіб 1	спосіб 2	спосіб 3	спосіб 4	спосіб 5	спосіб 6
2-4	1,57	1,25	1,96	2,51	1,44	1,40
5-19	1,36	1,16	1,58	1,85	1,32	1,30
≥ 20	1,18	1,07	1,29	1,41	1,21	1,19

Зусилля натягу P високоміцного болта визначається за формулою

$P = R_{bh} \cdot A_{bh} \cdot m_{bh}$	(Р.16)
--	--------

де $R_{bh} = 0,7R_{bun}$ - розрахунковий опір високоміцного болта розтягу.

Характеристичне значення тимчасового опору високоміцного болта R_{bun} знаходять відповідно до додатка Г. Для болтів згідно з ГОСТ 22356 $R_{bun} = 1100$ МПа;

$m_{bh} = 0,95$ - коефіцієнт умов роботи високоміцних болтів при їх натягу з контролем крутного моменту.

Застосування інших способів обробки контактних поверхонь (наприклад, фарбування) допускається за умови отримання коефіцієнта тертя μ у результаті випробувань зразків з обов'язковим врахуванням ефекту повзучості з'єднань під навантаженням. Коефіцієнт надійності γ_{bh} знаходять за статистичною обробкою даних випробувань і він має бути не менше ніж 1,25.

Число n високоміцних болтів у з'єднанні при дії поздовжньої сили N , яка проходить через центр ваги з'єднання, визначається за формулою

	(Р.17)
--	--------

де Q_{bh} - розрахункове зусилля на один болтоконтакт, визначуване за формулою (Р.15);

n_s - число контактних поверхонь у з'єднанні.

При дії в площині з'єднання згинального моменту або поздовжньої сили зі згинальним моментом зусилля, яке припадає на високоміцний болт, слід визначати відповідно до вказівок із розподілу зусиль у з'єднанні із звичайними болтами.

Високоміцні болти, що з'єднують стінки і пояси складених балок, розраховують за формулами:

- за відсутності місцевого тиску

	(Р.18)
--	--------

- при дії на пояс місцевого тиску q

	(Р.19)
--	--------

де a - крок поясних болтів;

n_s - число контактів у з'єднанні;

Q_{bh} - розрахункове зусилля на один болтоконтакт.

У випадку, коли спільна робота проїзної частини і поясів головних ферм забезпечується спеціальними горизонтальними діафрагмами, розрахунок прикріплення поздовжніх балок до поперечних слід виконувати на поперечну силу і момент з урахуванням вимог 15.2.4; при цьому зусилля в болтах, що прикріплюють вертикальні кутники до стінки поперечної балки, необхідно визначати, як для фланцевих з'єднань.

Розрахунок болтових і фрикційних з'єднань прикріплень балок проїзної частини прогонових будов із решічастими головними фермами допускається виконувати тільки на поперечну силу, вводячи додаткові коефіцієнти умов роботи m_b згідно з таблицею Р.16.

Таблиця Р.16 - Коефіцієнт умов роботи m_b

Характеристика прикріплення і місця розташування болтів	Особливості конструкції вузла	Коефіцієнт умов роботи
У всіх прогонових будовах		
Вертикальні кутники прикріплення поперечної балки до вузла головної ферми:	Конструкція не сприймає опорного моменту	0,85
	Конструкція сприймає опорний момент	0,9
болти в полицях кутників, що прикріплюються до ферми		
те саме до поперечної балки	Незалежно від конструкції	0,9
Спільна робота проїзної частини і поясів ферм не забезпечується		
Вертикальні кутники прикріплення поздовжньої балки до поперечної:	Конструкція не сприймає опорного моменту	0,7
	Конструкція сприймає опорний момент	0,9
болти в полицях кутників, що прикріплюються до ферми		
те саме до поздовжньої балки	Незалежно від конструкції	0,9

Р.4 Накладки та фасонки

Розрахунок міцності стикових накладок розтягнутих елементів ферм і поясів суцільних балок виконується з введенням коефіцієнта умов роботи $m_g = 0,9$ для накладок.

Листи вузлових фасонки слід перевіряти на міцність прикріплення розтягнутих і стиснутих елементів по контуру, що з'єднує центри отворів периферійних болтів прикріплення зазначених елементів, за формулою

	(P.20)
--	--------

де N - поздовжнє зусилля в елементі;

$A_n = 0,675 \cdot t \cdot \sum (0,212\alpha_i + 1) \cdot l_i$ - площа перерізу нетто;

t - товщина вузлової фасонки;

l_i - довжина i -ї ділянки контуру вузлової фасонки між кромками отворів;

α_i - кут між напрямком i -ї ділянки контуру і віссю елемента ($0 \leq \alpha_i \leq \pi / 2$), рад.

Для елементів, послаблених отворами під звичайні болти, при розрахунках міцності витривалості слід приймати площі перерізу нетто. При розрахунках стійкості і жорсткості - площ перерізу бруто.

Р.5 З'єднання на пальцях

З'єднання на пальцях є шарнірним. Таке з'єднання допускає повороти під навантаженням навколо осі пальця і працює при цьому в межах пружності. У випадку, коли повороти при експлуатації не передбачені, розрахунки слід вести як для одноболтового з'єднання.

Основні елементи з'єднання: палець; провухини.

Р.5.1 Проектування провухин**Конструктивні вимоги**

Провухини мають постійну товщину без підсилення біля отворів. Допускається проектування провухин із накладними листами біля отворів за умови рівномірності швів зварювання підсилення та герметизації щілин між листами підсилення.

Товщина t провухин має бути не менше ніж $1/8$ її ширини w , не менше ніж 12 мм і не більше ніж 50 мм. При більшій товщині провухини її напружений стан слід досліджувати на скінченно елементних моделях.

Переріз нетто A_{netto} , що проходить через центр отвору, перевищує регулярний переріз A_b на 35 %.

Переріз по осі отвору в передній частині провухини A_f має бути не менше ніж 75% перерізу A_b . Радіус r переходу між головкою і тілом провухини має бути не менше ніж ширина w . Провухини, як правило, мають бути симетричними відносно центральної осі. Слід забезпечити фіксацію пальця від переміщень вздовж осі пальця.

Рисунок Р.11 - Форма провухини

Конструювання провухин

При наперед заданих товщині провухини, діаметра отвору і діючого зусилля знаходять невідомі параметри провухини a та b (рисунок Р.12).

Рисунок Р.12 - Схема провухини

a (відстань вздовж зусилля) та b (відстань поперек зусилля) визначаються за формулами:

	(P.21)
--	--------

	(P.22)
--	--------

Якщо геометричні параметри провухини відповідають показаним на рисунку P.13, то за наступними формулами визначаються товщина і діаметр отвору:

- рекомендована товщина

	(P.23)
--	--------

- рекомендований діаметр

$d_0 \leq 2,5t,$	(P.24)
------------------	--------

де N_{Sd} - розрахункове зусилля;

γ_{mp} - коефіцієнт надійності для з'єднання на пальцях, що дорівнює:

1,25 - для граничного стану за міцністю;

1,1 - для граничного експлуатаційного стану;

d_0 - діаметр отвору;

t - товщина провухини;

a - відстань вздовж зусилля;

b - відстань поперек зусилля.

Рисунок P.13 - Схема провухини

Розрахунки провухини

Рисунок P.14 - Основні позначки для розрахунку провухин

Розрахунки з'єднань на пальцях рекомендується виконувати відповідно до таблиці P.17.

Таблиця P.17 - Розрахунки з'єднань на пальцях

Ескіз	Умова міцності	Граничне зусилля
Перевірка пальця на зріз		
	$N_{Sd} \leq N_{Rd,s}$	$A = \pi d^2 / 4$ n_s - число зрізів
Перевірка пальця на згин		
	$M_{Sd} \leq M_{Rd}$	$W = \pi d^3 / 32$ - момент опору пальця
Перевірка одинарної провухини на розрив		
	$N_{Sd} \leq N_{Rd,t}$	

Перевірка одинарної провущини на зріз		
	$N_{Sd} \leq N_{Rd,sa}$	
Перевірка одинарної провущини на зминання		
	$N_{Sd} \leq N_{Rd,b}$	
<p>де R_{p1m} - тимчасовий опір пальця (характеристичне значення);</p> <p>R_{p1m} - границя текучості пальця (характеристичне значення);</p> <p>R_{1m} - тимчасовий опір провущини (характеристичне значення);</p> <p>R_{1m} - границя текучості провущини (характеристичне значення);</p> <p>R_{1m1} - найменше із значень опорів текучості R_{p1m} і R_{1m}</p> <p>N_{Sd} - розрахункове зусилля;</p> <p>$\gamma_{mp} = 1,25$ - коефіцієнт надійності для з'єднання на пальцях для граничного стану за міцністю, $\gamma_{mp} = 1,1$ для граничного експлуатаційного стану;</p> <p>m - коефіцієнт умов роботи (таблиця 6.2);</p> <p>γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю (ДБН В.2.3-22);</p> <p>t_1 - товщина одинарної провущини;</p> <p>t_2 - товщина подвійних провущин;</p> <p>c - зазори між провущинами</p> <p>d - діаметр пальця;</p> <p>d_0 - діаметр отвору;</p> <p>M_{Sd} - умовний згинальний момент у пальці, що визначається за формулою</p>		

ДОДАТОК С
(обов'язковий)

СТАЛЕВІ КАНАТНІ ЕЛЕМЕНТИ

С.1 Загальні положення

С.1.1 Розтягнуті сталеві елементи, зазначені у додатку, застосовуються для наступних елементів мостів:

- підвіси аркових та висячих мостів;
- ванти вантових мостів;
- несні кабелі підвісних мостів;
- елементи для вітрових розтяжок мостів;
- розтягнуті елементи для створення попереднього напруження в сталевих конструкціях мостів;
- розтягнуті елементи для з'єднання елементів мосту між собою;
- розтягнуті елементи для нежорсткого з'єднання балок жорсткості з опорами.

С.1.2 Розтягнуті елементи поділяються на три групи, наведені в таблиці С.1.

Таблиця С.1 - Групи розтягнутих елементів

Група	Складова розтягнутого елемента	Розтягнуті елементи мосту
А	Суцільний стержень	Різні розтягнуті елементи
В	Круглий дріт	Спіральний канат-пасмо
	Круглий та Z-подібний дріт	Замковий спіральний канат

	Круглий дріт та пасмо з дротів	Дротовий трос
С	Круглий дріт	Канат із паралельних дротів (КПД)
	Круглий дріт	Пучок із паралельних дротів
	Семидротове пасмо	Пучок із паралельних пасом

Група А - елементи цієї групи можуть бути суцільними розтягнутими елементами, які з'єднані за допомогою нарізних елементів. Допускається застосування в мостових спорудах за умов перевірки витривалості від циклічних рухомих навантажень при врахуванні вітрових навантажень. Вони використовуються в основному для цивільних споруд.

Група В - охоплює спіральні пасма та канати, що мають на кінцях анкери (з холодною або гарячою фіксацією дротів), мають діаметри до 180 мм і виготовляються заздалегідь. До групи віднесені наступні вироби:

- спіральні канати-пасма (або спіральні мостові канати) застосовуються для основних несних елементів мостів, таких як ванти, підвіси, кабелі малих висячих мостів тощо, а також для відтяжок різного призначення;
- заповнені замкові канати переважно застосовуються для вант і підвісів та основних кабелів висячих мостів. Перевагу, як правило, віддають цим канатам перед спіральними мостовими канатами;
- дротові канати застосовуються тільки для допоміжних конструкцій мостів; для основних конструкцій мають обмежене застосування (для підйомних механізмів розвідних мостів або для гасників коливань). Недоліки цих канатів - мала щільність та жорсткість і ненадійний захист від корозії.

Група С - продукція цієї групи потребує спеціальних анкерів та спеціального захисту від корозії. До групи віднесені наступні вироби:

- канати з паралельних дротів, що застосовуються для вант підвісів та кабелів. Канати оснащені анкерами (як правило, з холодною заливкою), мають заповнення порожнин між дротами і поверхневий захист від корозії;
- пучки з паралельних дротів застосовуються для вант (та іншого) з натягуванням при складанні і встановленні анкерів на місці;
- пучки з паралельних пасом застосовуються для вант (та іншого) з натягуванням при складанні і встановленні анкерів на місці.

С.1.3 Типи анкерів для виробів групи В та С:

- анкери з металевим або клейовим заповненням;
- анкери з цементним заповненням;
- анкери з затискними пристроями;
- обтискні анкери;
- U-подібна стяжка;
- анкери пучків зафіксовані за допомогою клинів, холодної деформації головок дротів та гайок на стержнях.

С.2 Основа для проектування

С.2.1 Канатні розтягнуті елементи мають бути запроєктованими за двома граничними станами

С.2.2 Граничний стан за міцністю

Перевірку міцності виконують за формулою

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}, \quad (C.1)$$

де N_{Ed} - розрахункова найбільша сила в канатному елементі;

N_{Rd} - граничне розрахункове значення опору канатного елемента,

$$N_{Rd} = \frac{N_{uk}}{m} \quad (C.2)$$

де N_{uk} - характеристичне значення розривного зусилля канатного елемента з анкерами (приймається за даними заводу-виробника);

m - коефіцієнт умов роботи згідно з таблицею 6.2.

m_k - коефіцієнт умов роботи канатного елемента знаходять за формулою

$$m_k = m_1 \cdot m_2,$$

де $m_1 = 0,8$ - 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, що перегинаються на сидлі, в сепараторі або в стяжці;

γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю згідно з таблицею 4.1 ДБН В.2.3-22;

$\gamma_m = 1,6$ - коефіцієнт надійності канату згідно з таблицею 6.2.

Розрахункові коефіцієнти для розрахунків міцності канатів наведені в таблиці С.2.

Таблиця С.2 - Коефіцієнти для розрахунку міцності канатів

Призначення мосту	Перегинання навколо радіуса R	γ_r	γ_m	m	$m_k = m_1 \cdot m_2$		
					m_1	m_2	
Залізничний	нема	1,0	1,6	0,9	0,8	1,0	0,450

	€				0,9	0,405
Пішохідний	нема	1,05			1,0	0,429
	€				0,9	0,386
Всі інші	нема				1,0	0,476
	€				0,9	0,429

$$N_{uk} = N_{min} \cdot s, \quad (C.3)$$

де N_{min} - мінімальне розривне зусилля канату в цілому;

s - коефіцієнт зменшення несної здатності за рахунок анкерів (таблиця С.3).

Таблиця С.3 - Значення коефіцієнта зменшення несної здатності за рахунок анкерів

Типи анкерів	s
Металеве заповнення анкера	1,0
Клейове заповнення анкера	1,0
Обтиснута провущина	0,9
Обтиснутий анкер	0,9
U-болт	0,8

$$N_{uk} = N_{min} \cdot K \cdot d^2, \quad (C.4)$$

де K - коефіцієнт мінімального розривного зусилля і приймається відповідно до таблиць С.9 та С.10;

d - діаметр канату, мм;

R_r - мінімальне розривне напруження дротів канату, Н/мм².

Перегинання канатів допускається виконувати за радіусом R , більшим або таким, що дорівнює 30 діаметрам канату d , та більшим ніж 400 діаметрів дроту. Граничні бокові напруження на спіральні мостові та замкові спіральні канати (якщо немає інших даних) приймаються відповідно до таблиці С.4.

Таблиця С.4 - Граничні бокові напруження на канати

Тип канату	Граничний поперечний тиск, Н/мм ²	
	твердий контакт	м'який контакт
Замковий спіральний	40	100
Спіральний	25	60

Примітка. М'який контакт утворюється за рахунок прокладок алюмінію тощо.

С.2.3 Експлуатаційний граничний стан

Обмеження деформацій або вібрацій

Надмірні деформації і коливання можуть викликати зміни в жорсткості системи, у попередньому напруженні елементів та в опорі зсуву на стяжних пристроях (сідлах).

Умови пружної роботи

Пружна робота канатного елемента на всіх експлуатаційних етапах навантаження має зберігатися. Робота канату вважається пружною, якщо нелінійна складова становить менше ніж 5%.

Обмеження напружень у канаті від характеристичних навантажень виконується за умови:

- витримування напруження в пружному стані під час спорудження та при експлуатації;
- витримування обмеження в подовженнях для запобігання утворенню тріщин у захисних оболонках, наповненнях оболонок тощо;
- граничного значення напружень за формулою

$$\sigma_s \leq \sigma_{const} \cdot A_m, \quad (C.5)$$

де A_m - площа металевого перерізу.

Обмеження робиться для стадії монтажу (таблиця С.5.1) та для стадії експлуатації (таблиця С.5.2).

Таблиця С.5.1 - Обмеження напружень σ_{const} для стадії спорудження

Стадії монтажу	σ_{const}
Перший канатний елемент тільки на декілька годин	$0,60 \cdot \sigma_{uk}$
Після установки інших канатних елементів	$0,55 \cdot \sigma_{uk}$

Таблиця С.5.2 - Обмеження напружень σ_s для стадії експлуатації

Стадія експлуатації	σ_s
---------------------	------------

Напруження з врахуванням напружень від згину	$0,5 \cdot \sigma_{uk}$
Напруження без врахуванням напружень від згину	$0,45 \cdot \sigma_{uk}$

С.3 Жорсткості канатних елементів

Модуль пружності канатів слід приймати за сертифікатами 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 визначити модуль деформації після стабілізації властивостей канату.

Для попередніх розрахунків значення модуля пружності знаходять за даними таблиці С.6.

Таблиця С.6 - Значення модуля пружності E_Q

Канатні елементи	Модуль пружності E_Q , кН/мм ²	
	сталеві дроти	сталеві неіржавіючі дроти
Суцільні стержні	210	–
Спіральні мостові канати	150 ± 10	130 ± 10
Замкові спіральні канати	160 ± 10	–
Дротовий трос	Від 80 до 110	–
Канат із паралельних дротів (КПД)	205 ± 5	–
Пучок із паралельних дротів	205 ± 5	–
Пучок із паралельних пасом	195 ± 5	–

Примітка. Модуль пружності E_Q відповідає навантаженню Q .

С.4 Основа проектування сідла

За відсутності більш точних розрахунків розміри сідла мають бути такими, як надано на рисунку С.1.

L_2 - довжина канату на контакт з сідлом від найбільш несприятливої комбінації навантажень, включаючи ефект провисання канатів;

ΔL_2 - додаткова довжина;

r_1 - радіус сідла, який, як правило, має бути не менше ніж 30 діаметрів канату, або 400 діаметрів дротів канату;

d - діаметр канату;

d' - діаметр відбитка для оцінювання напружень на контакт канату з сідлом.

Рисунок С.1 - Конфігурація сідла

Радіус сідла r_1 може бути зменшений до 20 діаметрів канату в разі застосування покриття канату м'яким металом або цинком завтовшки не менше ніж 1 мм.

Менші діаметри можуть бути прийняті в разі застосування спіральних канатів і якщо така можливість підтверджується результатами тестів.

Просування канатів на сідлі не допускається.

С.5 Витривалість

Розрахунок витривалості канатних елементів слід виконувати відповідно до додатка М. Розрахунок витривалості канатних елементів слід виконувати, приймаючи категорію деталі $A\sigma_C$ (поріг витривалості при 2 млн. циклів) відповідно до таблиці С.7.

Таблиця С.7 - Категорія деталі при розрахунку витривалості канатних елементів

Група	Канатні елементи	Категорія деталі $A\sigma_C$, Н/мм ²
А	1 Суцільні стержні (попередньо напружені)	105
В	2 Спіральні замкові канати з металевим або клейовим заповненням анкерів	150
	3 Спіральні канати з металевим або клейовим заповненням анкерів	150
С	4 Канати з паралельних дротів із клейовим заповненням анкерів	160
	5 Пучок із паралельними пасмами	160
	6 Пучок із паралельними дротами	160

С.6 Захист від корозії

Захист від корозії має забезпечити довговічність канатних елементів на строк не менше ніж 100 років без заміни.

Протягом повного строку експлуатації слід підтримувати відповідний стан канатного елемента за рахунок дрібних ремонтів.

С.7 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ**Таблиця С.8** - Продукція групи А

Розтягнутий суцільний елемент

Таблиця С.9 - Продукція групи В

Спіральні канати				
Характеристики				
Конструкція	1 × 19	1 × 37	1 × 61	1 × 91
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	0,51

Таблиця С.10 - Продукція групи В

Дротові троси				
Характеристики				
Конструкція	6 × 19-CF	6 × 19-CWS	6 × 36-WS-CF	6 × 36-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
Кількість 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 С.11 - Продукція групи В

Спіральні замкові канати			
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 d_s	+5%	+5%	+5%
Кількість дротів, шт.	19	37	61
Коефіцієнт C	0,636	0,660	0,700
Коефіцієнт K	0,585	0,607	0,643

Таблиця С.12 - Продукція групи С

--

Розтягнуті елементи з живими анкерами	
Клинове анкерування з наступним 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	
Анкерування дротів за допомогою заливки компаундом	
Анкерування дротів з висадженими головками і епоксидним заповненням	
Анкер для одного стрижня	
Анкери для багатьох стрижнів із сталеву обоймою та цементним розчином	

Таблиця С.13 - Продукція групи С

Анкерні стакани, заповнені металевим або клейовим компаундом	
Відкритий анкер	
Циліндричний анкер	
Конічний анкер із внутрішньою нарізкою і штоком для натягу	
Циліндричний анкер із зовнішньою нарізкою і опорною шайбою	
Циліндричний анкер із зовнішньою і внутрішньою нарізкою і опорною шайбою і штоком	
Циліндричний анкер з внутрішньою нарізкою і штоком (для натягу)	

Таблиця С.14 - Продукція групи С

Анкери з обтиснутими канатами

Відкритий обтиснутий анкер	
Закриши обтиснутий анкер	
Обтиснутий анкер із нарізкою	
Коуш із обтиснутим алюмінієм	
U-болт	

У тексті чинного додатка використовуються наступні терміни та визначення.

Кабель (cable) - розтягнутий елемент, що включає один чи більше канатних елементів. Дроти, пасма або канати, що складають кабель, можуть бути об'єднані або розділені спеціальними пристроями по довжині.

Дріт (wire) - індивідуальне сталеве волокно круглого або Z-подібного перерізу з розміром від 3 мм до 8 мм. Висока міцність дроту досягається холодним волочінням або холодною протяжкою. Дроти заповнення проміжків можуть мати діаметр менший за 3 мм.

Канат (strand) - універсальний термін, що містить у собі ряд інших визначень: пасмо, пучок тощо.

Спіральний канат-пасмо (spiral strand) - канат із малою кількістю дротів, що лежать по спіралі навколо прямого дроту; як правило, з малою кількістю дротів, що лежать по спіралі, семи- або 19-дротової конфігурації.

Спіральний мостовий канат (spiral bridge strand) - канат із великою кількістю дротів, що лежать по спіралі навколо центрального прямого дроту, як правило, не менше 3 шарів, із наступними шарам зустрічних напрямків (але не обов'язково).

Замковий спіральний канат (locked coil strand) - схожий на спіральні мостові канати, але дроти зовнішнього шару (шарів) Z-подібної форми.

Канати з паралельних дротів (parallel wire strand) - пучок прямих дротів, що лежать паралельно один до одного і поєднані разом в єдиний елемент.

Кабелі з паралельних пучків (parallel strand cable) - поєднані разом прямі пучки, як правило, одного діаметра або зібрані разом, або розділені з постійними проміжками за рахунок пристроїв, що їх розділяють.

Дротовий трос (wire rope) - зібрані разом спіральні пасма, що розташовані по спіралі навколо сталевого або волоконного сердечника, як правило, із зиванням у зустрічних напрямків верхнього шару дротів. Дротові троси з волоконним сердечником не слід застосовувати для постійних конструкцій мостів.

Анкерний пристрій (anchorage) - пристрій включає всі компоненти і матеріали типу анкерів, опорних плит, штифтів, різьбових шпильок тощо, які потрібні для передачі зусиль із канатного елемента на балку, пілон або інші елементи мосту.

Анкер (socket) - постійний замковий елемент на кінцях канату для передачі зусиль з канату на іншу частину анкерного пристрою. Анкер може бути встановлений заздалегідь у постійне положення (для спіральних канатів і канатів із паралельних дротів) або встановлюватися на монтажі (для пучків із паралельних дротів або пасом).

Матеріал заповнення анкера (socket filler material) - матеріал, що вводиться в рідкому стані в порожнину анкерного стакана для фіксації дротів та герметизації в анкері.

Стяжка (clamp) - пристрій, що охоплює канат через визначені інтервали для утримання форми поперечного перерізу, або для передачі поперечних зусиль на канат (пучок).

Сідло (saddle) - компонент, що являє собою місце (ложе) для канатів, як правило, наскрізне, що з'єднане з елементом мосту (пілоном, стояном) і дозволяє перегинати канати, змінюючи їх напрям, і передаючи невеликі контактні поперечні напруження на канати.

Сідло-сепаратор (splay saddle) - сідло, що дозволяє розділяти окремі канати (пасма).

Стяжка-сепаратор (splay clamp) - те саме, що сідло-сепаратор, але не приєднане до конструкції мосту і вільно висить на канатах.

Демпфер (damper) - пристрій на канатному елементі для відбору енергії коливань.

Оболонка (sheath) - металева чи пластмасова, що вкриває поверхню канатного елемента для його захисту від корозії та пошкоджень.

Коефіцієнт суцільності (fill factor f) - відношення суми номінальної площі металевих перерізів всіх дротів до площі канату бруто, включаючи порожнини та оболонку, якщо вона існує.

Коефіцієнт спіральності (spinning loss factor k) - редуційний коефіцієнт для визначення коефіцієнта K .

Коефіцієнт розривного зусилля (breaking force factor K) - емпіричний коефіцієнт, що використовується для визначення мінімального розривного зусилля канату, яке оцінюється за формулою

де f - коефіцієнт суцільності;

k - коефіцієнт спіральності (надається виробником).

ДОДАТОК Т
(обов'язковий)

ОПОРНІ ЧАСТИНИ

Т.1 Перелік опорних частин:

- пружні опорні частини;
- стаканні опорні частини;
- сферичні опорні частини;
- тангенціально-точкові опорні частини;
- тангенціально-лінійні опорні частини;
- коткові опорні частини;
- циліндричні опорні частини;
- вертикально-рухома опорна частина.

Додаток не охоплює наступні типи опорних частин:

- опорні частини, які передають дію моменту як основну функцію;
- опорні частини, що сприймають відрив;
- опорні частини розвідних мостів;
- залізобетонні шарніри;
- сейсмічні пристрої.

Основні типи конструкції опорних частин надані в таблицях Т.1.1 - Т. 1.8.

Таблиця Т.1.1 - Пружні опорні частини (ПОЧ)

Схема опорної частини	Назва	Можливі переміщення
	ПОЧ без елементів страхування від зсуву з опорних плит. Всебічно рухома	вздовж X вздовж Y навколо X навколо Y навколо Z
	ПОЧ з елементом страхування від зсуву з опорних плит в одному напрямку. Деформації в напрямку осі Y зменшені за рахунок планок	вздовж X вздовж Y навколо X навколо Y навколо Z
	ПОЧ з елементом ковзання, зафіксована від переміщень вздовж осі Y	вздовж X навколо X навколо Y

	ПОЧ з елементом ковзання, без фіксації елементів та страхування. Всебічно рухома	вздовж X вздовж Y навколо X навколо Y навколо Z
	ПОЧ з фіксацією від переміщень вздовж осей X та Y. Нерухома	навколо X навколо Y
	ПОЧ з елементом ковзання, зафіксована в одному напрямку від переміщень. Пружний елемент зафіксований від горизонтальних переміщень. Лінійно-рухома	вздовж X навколо X навколо Y
	ПОЧ з пружним елементом, розміщеним у стакані і елементом ковзання, без фіксації верхнього балансиру. Всебічно рухома	вздовж X вздовж Y навколо X навколо Y навколо Z

Таблиця Т.1.2 - Стаканні опорні частини (СОЧ)

Схема опорної частини	Назва	Можливі переміщення
	СОЧ нерухома	навколо X навколо Y навколо Z
	СОЧ із фіксацією верхнього балансиру вздовж осі Y. Лінійно-рухома	вздовж X навколо X навколо Y навколо Z
	СОЧ без фіксації верхнього балансиру. Всебічно рухома	

			вздовж X вздовж Y навколо X навколо Y навколо Z
--	--	--	---

Таблиця Т.1.3 - Сферичні опорні частини (СФЧ)

Схема опорної частини	Назва	Можливі переміщення
	СФЧ нерухома	навколо X навколо Y навколо Z
	СФЧ з елементами фіксації ковзання вздовж осі Y. Лінійно-рухома	вздовж X навколо X навколо Y навколо Z
	СФЧ всебічно рухома	вздовж X вздовж Y навколо X навколо Y навколо Z

Таблиця Т.1.4 - Тангенціально-точкові опорні частини (ТТОЧ)

Схема опорної частини	Назва	Можливі переміщення
	ТТОЧ нерухома	навколо X навколо Y навколо Z
	ТТОЧ лінійно-рухома	вздовж X навколо X навколо Y навколо Z
	ТТОЧ всебічно рухома	вздовж X вздовж Y навколо X навколо Y навколо Z

Таблиця Т.1.5 - Тангенціально-лінійні опорні частини (ТЛОЧ)

Схема опорної частини	Назва	Можливі переміщення
	ТЛОЧ нерухома	

		навколо Y
	ТЛЮЧ лінійно-рухома	вздож X навколо Y
	ТЛЮЧ всебічно рухома	вздож X вздож Y навколо Y навколо Z

Таблиця Т.1.6 - Коткові опорні частини (КОЧ)

Схема опорної частини	Назва	Можливі переміщення
	КОЧ рухома в напрямку осі X за рахунок кочення	вздож X навколо Y
	КОЧ рухома в напрямках осей X та Y за рахунок кочення та ковзання відповідно	вздож X вздож Y навколо Y
	КОЧ із зрізаними котками рухома в напрямку осі X за рахунок кочення	вздож X навколо Y
	СЕОЧ (секторна опорна частина) рухома в напрямку осі X за рахунок кочення	вздож X навколо Y

Таблиця Т.1.7 - Циліндричні опорні частини (ЦОЧ)

Схема опорної частини	Назва	Можливі переміщення
	ЦОЧ нерухома	навколо Y
	ЦОЧ рухома в напрямку осі Y за рахунок ковзання сталі по сталі	навколо Y вздовж Y
	ЦОЧ рухома в напрямку осі X за рахунок ковзання	вздовж X навколо Y
	ЦОЧ рухома в напрямках осей X та Y за рахунок ковзання	вздовж X вздовж Y навколо Y навколо Z

Таблиця Т.1.8 - Вертикально рухомі опорні частини (ВРОЧ)

Схема опорної частини	Назва	Можливі переміщення
	ВРОЧ	вздовж Z навколо X навколо Y навколо Z
	Те саме	вздовж X вздовж Z навколо Y

Примітка. Напрямок X в таблицях Т.1.1 - Т.1.8 - це напрям основного переміщення прогонової будови.

Т.2 Інформація, що надається в комплекті креслень опорних частин

1. Схема розташування опорних частин по фасаду та в плані з позначенням напрямів та величин переміщень. Таблиця установочних температур.
2. Таблиця монтажних марок опорних частин із наданням інформації про найбільші та найменші розрахункові реакції та реакції від характеристичних навантажень.
3. Схеми приєднання опорних частин до опори та прогонової будови (три проекції). Специфікація елементів та матеріалів приєднання.

Т.3 Анкерування опорних частин

1. Анкерування (закріплення) опорних частин до опор та прогонових будов слід виконувати за розрахунками 1 групи граничних станів. Тертя, що виникає на контактній опорній частині з опорами та прогоновими будовами, має бути враховане, крім вказаного в 3.

$H_{Ed} \leq H_{Rd}$	(Т.1)
----------------------	-------

де H_{Ed} - розрахункове значення сили зсуву, що діє на опорну частину

	(Т.2)
--	-------

γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю;

V_{Ed} - мінімальне розрахункове значення опорної реакції;

H_{pd} - розрахункове значення опору деталей анкерування опорної частини;

μ_k - коефіцієнт тертя на контактній з опорною частиною;

γ_μ - значення коефіцієнтів надійності тертя може бути прийнято:

$\gamma_\mu = 1,2$ - на контактній сталі по бетону;

$\gamma_\mu = 2,0$ - на контактній сталі по сталі.

Таблиця Т.3.1 - Характеристичні значення коефіцієнтів тертя

Поверхні на сталевих компонентах	Сталь по сталі	Сталь по бетону
Непокрита сталь вільна від олії	0,4	0,6
Металеві розпилені покриття		
Покриття з цинк-силікату		
Інша поверхня	На основі тесту	На основі тесту

2. При динамічних навантаженнях мінімальне значення V_{Ed} слід знаходити з врахуванням всіх можливих динамічних варіацій руху.

3. Для залізничних мостів та для мостів, розташованих у сейсмічних зонах, слід приймати $V_{Ed} = 0$.

4. У випадку, коли анкерні болти або інші пристрої фіксують опорну частину проти будь-якого горизонтального переміщення, вони можуть бути розраховані лише на частину горизонтальної сили, тобто тертя може бути враховане. У разі, коли анкерні болти поміщені в отвори, що мають люфт, вони мають бути розраховані на повне горизонтальне зусилля H_{Ed} .

Т.4 Люфти в опорних частинах

Слід брати до уваги, що нерухомі опорні частини мають можливість переміщень до 2 мм. Такі переміщення не мають враховуватися, якщо вони покращують проектну ситуацію.

Якщо горизонтальну силу стримує більше ніж одна опорна частина, то можливе переміщення 2 мм повинно братися до уваги при розподілі зусиль між опорними частинами.

Т.5 Переміщення в опорних частинах із врахуванням похибок

При виборі опорних частин слід враховувати похибки, які можуть виникнути при установці опорної частини за температурою.

Похибки в оцінці температури враховують за формулами

$T_{0,max} = T_0 + \Delta T_0$	(Т.3)
--------------------------------	-------

$T_{0,min} = T_0 - \Delta T_0$	(Т.4)
--------------------------------	-------

де T_0 - температура установки опорної частини;

ΔT_0 - похибка в оцінці температури під час установки опорної частини.

Якщо немає іншої інформації, то похибки ΔT_0 можуть бути прийняті за таблицею Т.5.1.

Таблиця Т.5.1 - Значення температурної похибки ΔT_0

Випадок	Установка опорної частини	ΔT_0 , °C
1	Установка опорної частини з безпосереднім вимірюванням температури прогонової будови з коригуванням положення опорної частини	0
2	Установка опорної частини без вимірювання температури і без подальшого коригування положення опорної частини за температури установки $T_0 \pm 10$ °C	15

Розрахунковий розмах температур ΔT_d , який приймається для оцінки переміщень опорної частини, слід знаходити за формулою

$\Delta T_d = \Delta T_k + \Delta T_\gamma + \Delta T_\theta$	(Т.5)
---	-------

де ΔT_k - характеристичне значення розмаху температур слід знаходити за формулою

	(Т.6)
--	-------

t_w і t_c - найбільші та найменші характеристичні значення температур відповідно до 22 ДБН В.1.2-15;

ΔT_{γ} - додаток на безпеку = 5°C;

ΔT_{θ} - похибка відповідно до таблиці Т.5.1.

Т.6 Горизонтальні реакції на опори

При визначенні горизонтальних реакцій на опори, де встановлені коткові або опорні ковзні частини, слід знаходити несприятливий та сприятливий коефіцієнти тертя відповідно до 24 ДБН В.1.2-15.

Значення коефіцієнтів тертя або модуль пружності (для пружного матеріалу) слід приймати за даними виробника опорних частин.

Т.7 Контактні напруження в опорних частинах

При розрахунках опорних частин із контактними поверхнями, що зминаються, слід користуватися формулою

$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	(Т.7)
----------------------	-------

де V_{Ed} - розрахункове значення вертикальної реакції при найбільш несприятливій ситуації навантаження;

V_{Rd} - граничне значення вертикальної сили на опорну частину.

При розрахунках напружень на контакті циліндра з площиною слід застосовувати формулу

	(Т.8)
--	-------

де R_{cd} - розрахункове значення опору при діаметральному стиску (таблиця 5.1);

L - довжина контакту;

d - діаметр котка;

m - коефіцієнт умов роботи (таблиця 6.2);

γ_r - коефіцієнт надійності (таблиця 4.1 ДБН В.2.3-22).

При розрахунках напружень на контакті сфери з площиною допускається користуватися формулою

	(Т.9)
--	-------

де r - радіус сфери;

R_u - розрахунковий тимчасовий опір;

E - модуль пружності матеріалу контактних поверхонь;

m - коефіцієнт умов роботи;

γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю.

Розрахунки опорних провудин (з'єднань з одним фіксуєчим пальцем) мають бути прийняті відповідно до розрахунків, наведених в додатку Р.

Т.8 Таблиця вихідних даних

Вибір опорних частин рекомендується виконувати, користуючись формою таблиць Т.8.1 та Т.8.2.

У таблицях позначено:

V та e_z - реакція та переміщення по вертикалі;

H_x та e_x - реакція та переміщення вздовж осі x ;

H_y та e_y - реакція та переміщення вздовж осі y ;

M_z та α_z - момент та кут повороту навколо осі z ;

M_x та α_x - момент та кут повороту навколо осі x ;

M_y та α_y - момент та кут повороту навколо осі y .

Таблиця Т.8.1 - Зусилля

Розрахункові зусилля кН (т), та м	Позначки											
	V		H_x		H_y		M_z		M_x		M_y	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
1. Постійні навантаження												
1.1 Власна вага												
1.2 Повна постійна вага												
1.3 Попереднє напруження												
1.4 Повзучість												
2. Змінні та рухомі навантаження												
2.1 Вертикальні												

2.2 Сили гальмування													
2.3 Поперечні удари													
2.4 Вітрові навантаження													
2.5 Температура													
2.6 Сили тертя													
2.7 Інші сили													
3. Сейсмічні навантаження													
3.1 1-а група граничних станів													
3.2 2-а група граничних станів													

Таблиця Т.8.2 - Переміщення

Розрахункові переміщення, мм та радіани	Позначки												
	e_z		e_x		e_y		α_z		α_x		α_y		
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	
1. Постійні навантаження													
1.1 Власна вага													
1.2 Повна постійна вага													
1.3 Попереднє напруження													
1.4 Повзучість													
2. Змінні та рухомі навантаження													
2.1 Вертикальні													
2.2 Сили гальмування													
2.3 Поперечні удари													
2.4 Вітрові навантаження													
2.5 Температура													
2.6 Сили тертя													
2.7 Інші сили													
3. Сейсмічні навантаження													
3.1 1-а група граничних станів													
3.2 2-а група граничних станів													

Т.9 Установка опорних частин (ОЧ)

Опорні частини мають бути з одного боку приєднані до прогонових будов, а з іншого боку до опор. Переміщення опорних частин відносно прогонових будов та опор не допускаються.

Як правило, опорні частини встановлюються на підферменики, підняті над рівнем опор площадки. Допускається при забезпеченні нормальної експлуатації опорних частин підферменики не влаштувати.

Приєднання опорної частини до прогонової будови слід виконувати на болтах, що дозволяє демонтувати або виконати її заміну в майбутньому. Між верхнім балансиром і прогоною будовою слід встановлювати клинові прокладки, що виставляють верхній балансир у горизонтальне положення. Проміжки між ОЧ і клиновими прокладками та клиновими прокладками і прогоною будовою мають бути загерметизовані. Рекомендується заповнювати проміжки полімерним компаундом із складом за таблицею Т.9.1, що має консистенцію густої сметани.

Таблиця Т.9.1 - Склад полімерного компаунду

Матеріал	Процентний склад, %
Епоксидна смола + затверджувач + розчинник	15
Портландцемент М 400	50
Карборундовий порошок фракції до 1 мм	35

Установку ОЧ на опору слід виконувати (як правило, після приєднання до прогонової будови) на шар розчину 20 мм - 30 мм.

Нижній балансир опорної частини слід виставити паралельно з верхнім балансиром. Непаралельність між балансиром - не більше 1,5 мм/м. Відхилення нижнього балансира від горизонтального положення - не більше 2 мм/м. У цьому положенні нижній балансир ОЧ має бути зафіксований і утримуватися, поки розчин підливки не набере потрібної міцності.

До укладання розчину поверхня підферменика має бути очищена і вільна від льоду та олії. Перед підливанням розчину навколо нижнього балансира слід встановити збірно-розбірну рамку, вищу за шар підливки.

У якості розчину підливки слід застосовувати водно-цементні саморозширюючі суміші з міцністю на 25% більшій ніж розрахунковий середній тиск опорної частини. Термін набору розчином 50% міцності не повинен перевищити 8 год.

Допускається також застосовувати полімерний компаунд, склад якого допускається приймати за таблицею Т.9.2. Консистенція суміші - густа сметана, яка вільно заповнює горизонтальну поверхню під нижнім балансиром.

Таблиця Т.9.2 - Склад полімерного компаунду

--	--

Матеріал	Процентний склад, %
Епоксидна смола + затверджувач + розчинник	13
Портландцемент М 400	35
Пісок кварцовий	55

Пружні опорні частини (ПОЧ) допускається встановлювати безпосередньо на підферменті площадки.

Т.10 Експлуатація опорних частин

Експлуатація опорних частин полягає:

- в утриманні всіх елементів опорних частин у чистоті (особливо елементів ковзання), у ліквідації місць замочування та застою води, а також у ліквідації місць появи корозії;
- у контролі геометричного проектного положення опорної частини (один раз на рік слід виконувати реєстрацію переміщень опорних частин за певних температур);
- у нагляді за елементами анкерування до прогонової будови і до опори, у перевірці стану підферментів.

При фарбуванні прогонових будов слід врахувати всі засоби перестороги для запобігання попаданню фарби на елементи ковзання опорних частин.

Можливість заміни опорних частин має бути передбачена в проекті експлуатації мосту шляхом визначення місць установки домкратів, їх вантажопідйомності і висоти підйому при заміні опорної частини. Проект експлуатації замовник замовляє проектній організації за спеціальним завданням.

ДОДАТОК У (обов'язковий)

ДЕФОРМАЦІЙНІ ШВИ

У.1 Типи і використання деформаційних швів

Для сталевих прогонових будов можливе використання швів під номерами 3-7. Шви за номерами 1 та 2 можуть використовуватися лише за умови спеціальних обґрунтувань.

№ 1. Перекритий деформаційний шов - призначений для компенсації переміщень до 15 мм. Шов влаштовується на місці з використанням водонепроникної мембрани з еластичного матеріалу, яка деформується при переміщеннях у шві. Зверху шов перекривається покриттям.

№ 2. Бітумно-гумовий деформаційний шов - призначений для компенсації переміщень до 25 мм. Шов влаштовується на місці з бітумного матеріалу з заповненням, що має велику розтяжність і підтримується тонкими металевими елементами для перекриття зазору.

№ 3. Заповнений деформаційний шов - призначений для компенсації переміщень до 50 мм. Шов має підготовані кромки з обох боків, зазор між якими заповнюється пружною гумовою стрічкою, яка заповнює проміжок врівень із поверхнею.

№ 4. Стрічковий деформаційний шов - призначений для компенсації переміщень до 80 мм. Шов має підготовані кромки з обох боків і використовує деформаційні якості армованого пружного матеріалу, що закріплюється до країв мосту болтами.

№ 5. Консольний деформаційний шов - гребінчастий та інші шви, які жорстко закріплюються з обох боків від шва і несуть навантаження за схемою консолі.

№ 6. Деформаційний шов із листом перекриття - шов, що перекривається елементом, який шарнірно обертий на одній стороні і ковзає по іншій стороні.

№ 7. Модульний деформаційний шов - деформаційний шов, який складається з окремих балок (модулів), розмішених вздовж шва, і обертих на балки, що орієнтовані в основному поперек шва. Модулі об'єднані між собою елементами з пружного матеріалу для герметизації шва.

Перевагу слід віддавати деформаційним швам під номерами 5 і 7.

Вимоги до деформаційних швів, які мають враховуватися у проекті:

- герметичність;
- відсутність динамічного впливу на автомобіль при проїзді;
- довговічність;
- доступність для огляду та ремонту.

Для міських мостів слід застосовувати шви зі зменшеним рівнем шуму при проїзді транспорту.

Довговічність деформаційного шва до повної заміни слід приймати 20 років відповідно до таблиці 4.4 ДБН В.2.3-22. При виборі типу деформаційного шва слід віддавати перевагу шву з більшою довговічністю. Виробник при складанні контракту має вказувати строк роботи шва до його заміни.

У.2 Проектна документація по деформаційних швах

До переліку проектною документації, яка має бути надана проектувальником, слід віднести наступну:

- креслення-замовлення на виготовлення деформаційного шва;
- креслення деформаційного шва при експлуатації мосту;
- креслення установки деформаційного шва.

У даному випадку передбачається, що проектування шва виконує спеціалізована організація. У разі, якщо проектування шва виконує безпосередньо проектувальник мосту, то детальність розроблення креслень має забезпечити виготовлення шва.

Креслення-замовлення має нести нижче надану інформацію, необхідну для проектування і виготовлення шва, включаючи наступне:

- геометричні дані про поперечний і поздовжній ухили проїзду. Інформація про розміри шва в плані і в поперечному перерізі. Інформація про конструкцію закріплення деформаційних швів до прогонової будови (опори); ця інформація має бути уточнена і погоджена з проектувальниками мосту під час розроблення робочих креслень деформаційних швів;

- дані про навантаження на шов: автомобілів, велосипедів, пішоходів.

Для тротуарів слід надати додаткову інформацію про навантаження від експлуатаційного обладнання:

- дані про горизонтальні та кутові переміщення деформаційного шва від монтажних, температурних, сейсмічних і інших навантажень;
- дані про навантаження: розрахункові вертикальні та горизонтальні, характеристичні та навантаження для розрахунків витривалості;

- дані про конструкцію приєднання покриття та гідроізоляції до шва.

У кресленнях деформаційного шва при експлуатації мосту слід надати наступну інформацію:

- у кресленнях КМ - специфікацію монтажних елементів, розміри швів зварювання і матеріали для зварювання;

- у разі приєднання шва до залізобетонної частини мосту слід розробити креслення КЗ;

- у кресленнях ПЧ (проїзна частина) - конструкцію приєднання гідроізоляції до шва зварювання, конструкцію приєднання покриття, конструкцію захисту від корозії.

У кресленнях установки деформаційного шва слід надати наступну інформацію:

- діаграму зміни зазору в шві в залежності від температури;

- конструкцію фіксуєчих пристроїв під час бетонування (зварювання) до країв мосту;

- порядок демонтажу тимчасових фіксуєчих пристроїв.

ДОДАТОК Ф
(довідковий)

ОСНОВНІ ПОЗНАКИ ВЕЛИЧИН ЛІТЕРАМИ

Позначки величин літерами наводяться у порядку їх знаходження в тексті. Якщо у розділі не наведено позначку, то вона має значення, наведене вище (якщо не вказано, що дана позначка стосується лише певного розділу).

5 МАТЕРІАЛИ ТА НАШВФАБРИКАТИ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

R_{yt} - характеристичне значення опору текучості

R_{tm} - характеристичне значення тимчасового опору

γ_m - коефіцієнт надійності за матеріалом сталевих прокату

R_y - розрахункові опори прокату; розтяг, стиск та гнуття за границею текучості

R_u - розрахункові опори прокату; розтяг, стиск та гнуття за тимчасовим опором

R_s - розрахункові опори прокату; зсув

R_p - розрахункові опори прокату; зминання торцевої поверхні (за наявності підгонки)

R_{lp} - розрахункові опори прокату; зминання місцеве у циліндричних шарнірах (цапгах) при щільному дотику;

R_{cd} - розрахункові опори прокату; діаметральний стиск котків (при вільному дотику в конструкціях з обмеженою рухомістю);

R_{th} - розрахункові опори прокату; розтяг у напрямку товщини прокату

t - товщина прокату

6 РОЗРАХУНКИ. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

E_d - функція навантаження (значення розрахункового узагальненого впливу - зусилля, деформації тощо)

R_d - функція опору (значення розрахункового узагальненого опору перерізу - зусилля, деформації тощо)

$(1 + \mu)$ - динамічний коефіцієнт

γ - коефіцієнт надійності для елементів та з'єднань

γ_{bh} - коефіцієнт надійності для контактних поверхонь з'єднань на високоміцних болтах

γ_f - коефіцієнт надійності за навантаженням

γ_m - коефіцієнт надійності за матеріалом елемента, виробу, з'єднання, з оцінки порога витривалості тощо

γ_n - коефіцієнт надійності за призначенням

γ_r - коефіцієнт надійності за відповідальністю споруди згідно з ДБН В.2.3-22

γ_u - коефіцієнт надійності за розрахунком

γ_{wm} - коефіцієнт надійності для перерізів швів зварювання

m - коефіцієнт умов роботи споруди, з'єднання, елемента

m_{bl} - коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання на звичайних болтах

m_b - коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання на звичайних болтах

m_{bh} - коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання на високоміцних болтах

7 РОЗРАХУНКИ МІЦНОСТІ

N - осьова сила, що діє в перерізі

N_{Rd} - розрахунковий опір перерізу

$N_{pl,Rd}$ - розрахунковий опір перерізу для розрахунків за опором текучості

$N_{u,Rd}$ - розрахунковий опір перерізу для розрахунків за тимчасовим опором

A_n - площа нетто

M - згинальний момент

y - відстань від головної осі до найбільш навантаженого волокна

I_{xn} - момент інерції перерізу нетто відносно осі X

b_{ef} - ефективна ширина плити

W_{pl} - пластичний момент опору

M_x - згинальний момент в перерізі відносно осі X

M_y - згинальний момент в перерізі відносно осі Y

I_{yn} - момент інерції перерізу нетто відносно осі Y

x - відстань від головної осі до найбільш навантаженого волокна

$M_{pl,x,Rd}$ - згинальний момент опору перерізу відносно осі X

$M_{pl,y,Rd}$ - згинальний момент опору перерізу відносно осі Y

$W_{pl,x}$ - пластичний момент опору відносно осі x

$W_{pl,y}$ - пластичний момент опору відносно осі y

W_n - момент опору перерізу нетто

M_I - момент, що діє в перерізі, що розглядається

N_e - Ейлерова критична сила

l - розрахункова довжина елемента

E - модуль пружності

$M_{N,Rd}$ - розрахунковий пластичний момент опору

h_w - висота стінки

t_w - товщина стінки

τ - значення дотичних напружень

Q - зусилля зрізу

S - статичний момент частини перерізу, що зсувається

I - момент інерції перерізу

t - товщина стінки

t_{ef} - товщина стінки за наявності послаблення стінки отворами болтових з'єднань

a - крок болтів

d - діаметр отвору

$Q_{pl,Rd}$ - розрахунковий пластичний опір зрізу

A_Q - площа зрізу

A - площа поперечного перерізу

b - повна ширина

h - повна висота

r - радіус примикання пояса до стінки

r_f - товщина пояса

η - коефіцієнт форми перерізу

σ_x - нормальне напруження вздовж осі X

σ_y - нормальне напруження вздовж осі Y

τ_{xy} - дотичне напруження в точці стінки балки, що перевіряється

σ_{max} - розрахункове максимальне напруження

σ_{min} - розрахункове мінімальне напруження

τ_1 і τ_2 - дотичні напруження

8 РОЗРАХУНКИ СТАЛЕВИХ КАНАТІВ

$\epsilon_{cr,x}$ - поздовжня повзучість сталевих спіральних і закритих канатів, мм/м

$\epsilon_{cr,y}$ - поперечна повзучість сталевих спіральних і закритих канатів, мм/м

9 РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ СТЕРЖНІВ І БАЛОК

φ - коефіцієнт поздовжнього згину, що визначається за додатком Е у залежності від гнучкості елемента

λ - гнучкість елемента

e_{ef} - приведений відносний ексцентриситет

l_{ef} - розрахункова довжина

i - радіус інерції перерізу

η - коефіцієнт впливу форми перерізу

e_{rel} - відносний ексцентриситет у площині згину

e - дійсний ексцентриситет від дії сили та моменту

N - поздовжня сила, що діє в елементі

M - згинальний момент, що діє в елементі

ρ - ядрова відстань

W_c - момент опору перерізу бруто для найбільш стиснутого волокна

λ_{ef} - приведена гнучкість

λ_a - гнучкість гілки

t_{ef} - еквівалентна товщина

b - ширина

l - довжина

t - товщина

ΣA_l - сумарна площа всіх перфорацій на поверхні листа

Σl_l - сума довжин всіх планок елемента (вздовж елемента)

I_x - момент інерції

I_y - момент інерції

φ_c - коефіцієнт поздовжнього згину, що визначається за додатком Е

λ_y - гнучкість

N_{cr} - критична сила

A - площа

e_x - дійсний ексцентриситет в напрямку осі x

e_y - дійсний ексцентриситет в напрямку осі y

y_c - координата найбільш стиснутої точки перерізу від спільної дії M_x , M_y і N

x_c - координата найбільш стиснутої точки перерізу від спільної дії M_x , M_y і N

φ_b - коефіцієнт поздовжнього згину, що визначається за додатком Е

M_{cr} - критичний момент при згинально-крутній формі втрати стійкості

e_{rel} - відносний ексцентриситет

σ_{fn} - найбільше напруження в стиснутому поясі від дії згинального моменту в горизонтальній площині в перерізі, що знаходиться в межах середньої третини незакріпленої довжини стиснутого пояса балки

σ_{fv} - напруження в стиснутому поясі балки від вертикального навантаження в перерізі, що знаходиться в межах середньої третини незакріпленої довжини стиснутого пояса балки

10 РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ ПОЛИЦЬ І СТІНОК ЕЛЕМЕНТІВ, НЕ ПІДКРІПЛЕНИХ РЕБРАМИ ЖОРСТКОСТІ

h , h_w - висоти стінки

b_f , b_h - ширини полиці

t , t_w , t_f , t_h - товщини

$\sigma_{x,cr,ef}$ - приведені критичні напруження

$\sigma_{x,cr}$ - критичні напруження

σ_x - нормальні напруження в елементі

θ - коефіцієнт затиснення пластинки

ζ - коефіцієнт, що враховує нелінійність епюри напружень по краях пластинки

$\sigma_{x,max}$ - максимальне поздовжнє нормальне напруження по краях пластинки

$\sigma_{x,min}$ - мінімальне поздовжнє нормальне напруження по краях пластинки

$\beta_1, \alpha_1, \beta_2, \alpha_2, \beta_3, \alpha_3$ - коефіцієнти співвідношень розмірів елементів

12 РОЗРАХУНКОВІ ДОВЖИНИ

l_{ef} - розрахункові довжини елементів головних ферм

N_1 - стискальні зусилля ($N_1 > N_2$)

N_2 - стискальні зусилля ($N_1 > N_2$)

l_1 - відстань між вузлами, закріпленими від зміщення з площини ферми

l - відстань від центра вузла ферми до точки їх перерізу

l - довжина пояса

μ, μ_1 - коефіцієнт розрахункової довжини

d - відстань по довжині мосту між рамами

δ - найбільше горизонтальне переміщення вузла рами від одиничної сили $F = 1$

I_m - середнє (по довжині прогону) значення моменту інерції пояса

l - довжина прогону арки

f - стріла підйому арки

α - коефіцієнт стріловидності арки

I_{bal} - момент інерції балки

I_{bog} - момент інерції арки

l_{ef} - розрахункова довжина елементів поздовжніх і поперечних в'язей

l_2 - відстань між центрами прикріплень елементів в'язей до головних ферм

l_3 - відстань між точками перерізу осей елементів в'язей з осями крайніх рядів болтів прикріплення фасонки в'язей до головної ферми або балки, а також балок проїзної частини - із площини в'язей

l - відстань між крайніми болтами прикріплень кінців елементів в'язей

l_c - довжина опорного стояка балки

I_c - момент інерції перерізу опорного стояка з площини стінки

I_r - момент інерції перерізу поперечних в'язей

l_r - довжина розпірки поперечних в'язей

b_1 - ділянка стінки, що примикає до опорного ребра з кожного боку і включається до складу його перерізу

b_2 - ділянка стінки, що примикає до опорного ребра

13 ГРАНИЧНА ГНУЧКІСТЬ СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

l_{ef} - розрахункова довжина елемента

i - радіус інерції елемента

14 РОЗРАХУНКИ ВИТРИВАЛОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

$\sigma_{max,ef}$ - абсолютне найбільше значення нормальних напружень

$\tau_{max,ef}$ - абсолютне найбільше значення дотичних напружень

γ_f - коефіцієнт, що враховує зменшення розрахункового опору текучості за рахунок утомленості

θ - коефіцієнт, що залежить від довжини завантаження λ лінії впливу при розрахунках σ_{max}

λ - довжина завантаження лінії впливу

α - коефіцієнт, що враховує марку сталі

δ - коефіцієнт, що враховує нестационарність режиму навантаження

β - ефективний коефіцієнт концентрації напружень

ρ - коефіцієнт асиметрії циклів змінних напружень

$\sigma_{max}, \sigma_{min}$ - найменші та найбільші за абсолютним значенням нормальні напруження із своїми знаками, що знайдені в тому самому перерізі

τ_{min}, τ_{max} - найменші та найбільші за абсолютним значенням дотичні напруження із своїми знаками, що знайдені в тому самому перерізі

15 ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТІВ І З'ЄДНАНЬ

15.2 Елементи проїзної частини залізничних мостів

G - модуль зсуву

M_{St} - опорний згинальний момент у поперечній балці

M_c - згинальний момент у підвісі або стояку біля краю прикріплення поперечної балки

M_{Cl} - згинальний момент у підвісі або стояку у рівні центра найближчого до поперечної балки вузла поперечних зв'язків, а за їх відсутності - центра протилежного пояса головної ферми

F - опорна реакція поперечної балки

a - відстань між віссю перерізу пояса 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 в середині її довжини

I_c - момент інерції перерізу бруто підвіски або стояка відносно осі, паралельної площині головної ферми

I_t - полярний момент інерції пояса ферми, що примикає до поперечної балки

15.4 Елементи поздовжніх в'язей

N_d - зусилля в розкосі в'язей

N_c - зусилля в розпірці в'язей

$N_{d,l}$ - зусилля в розкосі з лівої сторони від розпірки

$N_{d,r}$ - зусилля в розкосі з правої сторони від розпірки

σ_f - нормальне напруження в поясі головної ферми

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

A_d - площа перерізу розкосу

A_c - площа перерізу розпірки

I - момент інерції пояса головної ферми відносно вертикальної осі

α - кут між розкосом в'язей і поясом головної ферми

σ_w - напруження у стінці головної балки, обчислене за площею бруто на рівні розташування площин в'язей

σ_{mw} - середнє напруження у стінці поперечної балки на рівні розташування площини в'язей (обчислені з урахуванням нерівномірності розподілу згинальних моментів за довжиною балки)

l_m - відстань між центрами вузлів прикріплення елементів до пояса

15.5 Розрахунок з'єднань

Q_{fc} - умовна поперечна сила

N - поздовжнє зусилля стиску в елементі

φ - коефіцієнт поздовжнього згину при перевірці стійкості елемента в площині з'єднувальних планок або перфорованих листів

Q - поперечна сила

Q_{bl} - частина поперечної сили

A_{ef} - площа перерізу бруто наскрізного елемента

b - ділянка стінки з кожного боку від ребра

t_{ef} - ефективна товщина

$A_{bl,ef}$ - частина перерізу елемента, що працює разом із суцільним листом

A_{bl} - площа перерізу суцільного листа

b_l - ділянка з кожного боку від ребра, що працює разом із суцільним листом

t_v - товщина вертикального листа або пакета

15.6 Розрахунок опорних частин

F - тиск на опорну частину

F_1 - тиск на один найбільш навантажений коток

r - радіус кривизни поверхні котка або шарніра

l - довжина котка або шарніра

16 КОНСТРУЮВАННЯ

16.2 Перерізи елементів

ζ - коефіцієнт площинності листа

b - розрахункова ширина листів

t - товщина листів

t_f - товщина листів, що з'єднуються

16.3 Ребра жорсткості суцільних згинаних балок

h_w - розрахункова висота стінки

b_w - ширина виступної частини поперечних ребер

t_s - товщина ребра

b_l - ширина ділянки стінки в кожний бік від осі ребра, що входить до складеного перерізу ребра

t_w - товщина стінки

16.5 Зварні, фрикційні і болтові з'єднання

d - номінальний діаметр болта

t - товщина найбільш тонкої деталі, що розташована зовні пакета

16.7 Конструкція планок і перфорованих листів

l_s - довжина проміжних планок

a - відстань між рядами болтів (або зварними швами)

ДОДАТОК В Характеристика класів перерізів

σ - нормальні напруження

M_{Rd} - граничний пружний момент

W_y - пружний момент опору

$M_{pl,Rd}$ - граничний пластичний момент

A - площа перерізу

a - відстань між центрами ваги половинних площ

b_f - ширина звису пояса

t_f - товщина звису пояса

b_w - ширина стінки

t_w - товщина стінки

$W_{pl,y}$ - пластичний момент опору перерізу

Q - поперечна сила

Q_u - гранична поперечна сила

ДОДАТОК Г Матеріали та напівфабрикати

R_{wmt} - тимчасовий опір розриву металу шва

R_{wy} - розрахунковий опір стикових зварних швів за границею текучості

R_{wt} - розрахунковий опір стикових зварних швів за тимчасовим опором

R_{ws} - розрахунковий опір стикових зварних швів при роботі на зріз

R_{wt} - розрахунковий опір кутових зварних швів при зрізі по металу шва

R_{wz} - розрахунковий опір кутових зварних швів при зрізі по металу границі сплавлення

R_{bh} - розрахункове значення опору високоміцного болта розтягу

ψ - відносне звуження

δ - відносне видовження

A_b - площа брутто болта

A_{bn} - площа болта по нарізці

l_i - початкова розрахункова довжина зразка

A_0 - площа поперечного перерізу зразка прокату

ДОДАТОК Д Розрахунки ефективної ширини плит

b_{eff} - ефективна ширина полиць

b_0 - номінальна ширина полиць

β - коефіцієнт редукції ширини

b_{ef} - ефективна ширина плит

k - параметр

L_e - ефективна довжина прогону

A_{sl} - площа перерізу поздовжніх ребер плити

t - товщина листа настилу

β_0 - коефіцієнт редукції ширини (на кінці епюри)

β_1 - коефіцієнт редукції ширини (опукла епюра)

β_2 - коефіцієнт редукції ширини (увігнута епюра)

σ_1 - напруження по осі балки

σ_2 - напруження на відстані b_0 від осі балки

$\sigma_{(y)}$ - напруження на відстані y від осі балки

y - відстань від осі балки

ДОДАТОК Е Коефіцієнти поздовжнього згину у розрахунках стійкості стержнів та балок

$\lambda, \lambda_x, \lambda_y, \lambda_{ef}$ - гнучкість

$\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ - коефіцієнти для розрахунку стійкості стержнів та балок

ДОДАТОК Ж Допоміжна інформація для розрахунків плоскої форми втрати стійкості стержнів

η - коефіцієнт впливу форми перерізу

$\bar{\lambda}$ - умовна гнучкість

e_{rel} - відносний ексцентриситет

A - площа перерізу брутто

A_f - площа пояса

A_w - площа стінки

η_5 - коефіцієнт впливу форми перерізу для типу перерізу

N - абсолютне значення сили стиску

M - розрахункове значення моменту

M_{max} - найбільший згинальний момент у межах довжини стержня

M_1 - найбільший згинальний момент у межах середньої третини довжини стержня, але не менше ніж $0,5M_{max}$

δ - коефіцієнт форми епюри моментів

M_1 - найбільший за абсолютним значенням момент, прикладений на шарнірно-обпертих кінцях стиснутого стержня

ДОДАТОК И Згинально-крутна форма втрати стійкості балок

M_{cr} - критичний момент

P_{cr} - критична зосереджена сила

l - прогін балки

B - згинальна жорсткість

C - крутна жорсткість

k - коефіцієнт у випадку прикладання навантаження на рівні осі балки

k_B - коефіцієнт у випадку прикладання навантаження до верхнього пояса

k_H - коефіцієнт у випадку прикладання навантаження до нижнього пояса

h - висота балки

ν - коефіцієнт Пуассона

I_y - момент інерції балки відносно вертикальної осі

I_k - момент інерції при чистому крученні

l_{ef} - вільна довжина стиснутого пояса суцільної зігнутої балки

Q_{fc} - умовна поперечна сила

N - граничне поздовжнє зусилля в стиснутому поясі з ділянкою 1/4 висоти стінки

A_f - площа стиснутого пояса

A_w - площа стиснутої ділянки стінки

b_f - ширина стиснутого пояса

t_f - товщина стиснутого пояса

h - відстань в осях поясів

ДОДАТОК К Розрахунки місцевої стійкості стінок балок, підкріплених ребрами жорсткості

N - нормальна сила (позитивна при стиску), що діє на переріз мосту

M - згинальний момент (найбільший) у розрахунковому перерізі мосту

Q - поперечна сила (найбільша) у розрахунковому перерізі мосту

p - розподілена сила (по Y), прикладена до пояса

F - зосереджена сила (по Y), прикладена до пояса

s_x - потік нормальних зусиль по X від локальних дій, н/м

s_y - потік нормальних зусиль по Y від локальних дій, н/м

s_{xy} - потік дотичних напружень від локальних дій, н/м

I - момент інерції перерізу мосту в межах відсіку

S_i - статичний момент по крайках i -го відсіку

i - відсік, що розглядається

n - кількість відсіків

h_w - висота стінки

h_i - висота i -го відсіку

a_i - ширина i -го відсіку (відстань між осями поперечних ребер жорсткості)

t_i - товщина i -го відсіку

c_{ef} - довжина розподілення прикладеної до пояса сили на рівні кромки стінки

y_i - ордината рівня розрахунку напружень в i -му відсіку від навантаженого пояса

$\sigma_{x,i,max}$ - максимальне нормальне напруження в i -му відсіку (позитивне при стиску)

$\tau_{xy,i,max}$ - максимальне дотичне напруження в i -му відсіку

$\sigma_{x,i,min}$ - мінімальне нормальне напруження в i -му відсіку (позитивне при стиску)

$\tau_{xy,i,min}$ - мінімальне дотичне напруження в i -му відсіку

$\sigma_{y,i,max}$ - максимальне поперечне напруження в i -му відсіку (позитивне при стиску)

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

ζ_i - коефіцієнт нелінійності епюри напружень у межах i -го відсіку

μ_i - коефіцієнт форми i -го відсіку

μ - коефіцієнт форми відсіку

μ_I - коефіцієнт форми відсіку

χ - коефіцієнт пружного утримання стінки поясом балки

ζ - коефіцієнт, що враховує локальний характер дії сили F

ρ - коефіцієнт, що враховує локальний характер сили F на i -й відсік

a_p - ширина розподілу сили на поясі вздовж балки

z - коефіцієнт, що враховує форму відсіку

i - коефіцієнт, що враховує форму відсіку

δ - коефіцієнт, що враховує форму відсіку

t_i - товщина відсіку стінки, що примикає до пояса

I - момент інерції пояса або сума моментів інерції пояса і рейки

c - відбиток колеса на покритті

h_s - товщина покриття

h_f - товщина пояса

$\sigma_{y,i}$ - напруження на i -му рівні стінки

σ_x - нормальні напруження, що діють вздовж осі x

σ_y - нормальні напруження, що діють вздовж осі y

$\tau_{x,z}$ - дотичні напруження

$\sigma_{x,i}$ - нормальні напруження, що діють вздовж осі x в i -му відсіку

$\sigma_{y,i}$ - нормальні напруження, що діють вздовж осі y в i -му відсіку

$\tau_{xy,i}$ - дотичні напруження в i -му відсіку

S_i - статичний момент

β - коефіцієнт ступеня утримання пояса елементами плити проїзду

γ - коефіцієнт утримання стінки поясом балки

ω_I - коефіцієнт, що враховує форму епюри нормальних напружень σ_x

χ - коефіцієнт пружного утримання поясом відсіку, що примикає

ε - коефіцієнт, що враховує відношення сторін відсіку і форму епюри нормальних напружень σ_x по висоті

ζ - коефіцієнт нелінійності епюри напружень у межах i -го відсіку

$\sigma_{x,cr}$ - критичне напруження, що обмежується пластичною роботою сталі

$\sigma_{y,cr}$ - критичне поперечне напруження, що обмежується пластичною роботою сталі

$\tau_{xy,cr}$ - критичне дотичне напруження, що обмежується пластичною роботою сталі

$\sigma_{x,cr,ef}$ - приведені критичне напруження, яке знайдено за умови необмеженої пружності сталі

$\sigma_{y,cr,ef}$ - приведені критичне напруження, яке знайдено за умови необмеженої пружності сталі

$\tau_{xy,cr,ef}$ - приведені критичне напруження, яке знайдено за умови необмеженої пружності сталі

$\sigma_{z,cr}$ - критичне нормальне напруження

σ_z - нормальне напруження

$\tau_{xz,cr}$ - критичне дотичне напруження

τ_{xz} - дотичне напруження

$\sigma_{z,cr,ef}$ - приведені критичне напруження, яке знайдено за умови необмеженої пружності сталі

t_f - товщина пояса балки

b_f - розрахункова ширина пояса балки

t_w - товщина стінки балки

I_s - момент інерції поперечного ребра

h_I - відстань від осі поздовжнього ребра жорсткості до осі найближчого пояса у зварних балках або до крайньої риски поясних кутників у балках із болтовими з'єднаннями

I_{sl} - момент інерції перерізу поздовжнього ребра

σ_{crp} - критичні напруження в ребрі

$k_{\sigma,p}$ - коефіцієнт стійкості плити

σ_E - Ейлерові критичні напруження

I_p - момент інерції плити з площини (лист настилу сумісно з поздовжніми ребрами)

A_p - площа плити (листя настилу сумісно з поздовжніми ребрами)

b - ширина (для стінки = h_w)

α - коефіцієнт форми

γ - коефіцієнт, що враховує збільшення жорсткості за рахунок ребер

δ - коефіцієнт, що враховує збільшення площі за рахунок ребер

ψ - коефіцієнт форми епюри

A_{sl} - площа стінки з ребрами

A_s - площа стінки (без ребер)

I_{sl} - момент інерції стінки з ребрами

I_s - момент інерції листа стінки (з урахуванням циліндричної жорсткості)

t_h - товщина листа стінки

$\sigma_{x,max}$ - найбільше напруження по кромках стінки

$\sigma_{x,min}$ - найменше напруження по кромках стінки

ДОДАТОК Л Свійкість пластинок ортотропних плит

b - ширина пластинки

t - товщина пластинки

$\sigma_{x,cr,ef}$ - приведені критичні напруження

$\sigma_{x,cr}$ - критичні напруження

α - коефіцієнт, що враховує умови обпирання

ζ - коефіцієнт, що враховує нелінійність епюри напружень по краях пластинки

σ_x - максимальне поздовжнє нормальне напруження вздовж країв пластинки

- мінімальне поздовжнє нормальне напруження вздовж країв пластинки

b_1 - ширина пластинки з обпиранням з одного боку

t_1 - товщина пластинки з обпиранням з одного боку

b_2 - ширина пластинки з обпиранням з двох боків

t_2 - товщина пластинки з обпиранням з двох боків

h_{ef} - ефективна ширина

ДОДАТОК М Розрахунки витривалості елементів автомобільних і міських мостів

М.1 Оцінка витривалості елементів мосту від дії автомобільних навантажень

P_f - розрахунковий тиск на вісь

P_n - характеристичний тиск на вісь

γ_s - коефіцієнт впливу

N - загальна кількість циклів розмаху напружень від проходу одного тандему в одному напрямку по мосту протягом проектного строку служби

n_D - кількість днів у році

n_Y - проектний строк служби мосту в роках

n_C - кількість циклів від одного проходу тандему

n_T - середня денна кількість тандемів, які проходять по мосту в одному напрямку по одній смузі

n_{TB} - середня денна кількість тандемів, що проходять в одному напрямку по одній смузі мосту

k_1 - коефіцієнт, яким враховується частка важких автомобілів у загальній кількості транспорту

k_2 - коефіцієнт кількості смуг в одному напрямку

М.2 Оцінка витривалості елементів мосту від навантаження рейкового транспорту

P_f - розрахункове навантаження на вісь

P_n - характеристичне навантаження на вісь

N - загальна кількість циклів від проїзду потягів по мосту протягом проектного строку служби

n_C - кількість циклів від проходу одного потягу

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

$\Delta\sigma$ - розрахунковий розмах діючих напружень від розрахункових навантажень

$\Delta\sigma_{R,n}$ - поріг витривалості елемента в залежності від кількості циклів навантажень

γ_M - коефіцієнт надійності порогу витривалості

σ_{max} - найбільше напруження

σ_{min} - найменше напруження

$\Delta\sigma_C$ - поріг витривалості для 2 млн. циклів

$\Delta\sigma_D$ - поріг витривалості при 5 млн. циклів ($\Delta\sigma_{R,5}$)

М.3 Оцінка витривалості елементів мосту від сумісної дії автомобільного і рейкового транспорту

n_i - кількість фактичних циклів навантажень

N_i - граничне значення циклів

М.4 Приклад оцінки витривалості ортотропних плит від дії автомобільного навантаження

$\Delta\sigma_{jd}$ - нормальні напруження в основному металі біля стикового шва листа настилу

$\Delta\sigma_{jr}$ - нормальні напруження в основному металі біля стикового шва ребра

$\Delta\sigma_{rc}$ - нормальні напруження в ребрі на рівні кінця зварного шва біля вирізу

$\Delta\sigma_{wc}$ - нормальні напруження в стінці біля вирізу для ребра

$\Delta\sigma_f$ - нормальні напруження в поясі поперечної балки

$\Delta\tau_{rw}$ - зрізувальні напруження в зварному шві приварки ребра до стінки поперечної балки

$\Delta\tau_{dw}$ - зрізувальні напруження в зварному шві стінки поперечної балки і листа настилу

М.5 Категорії витривалості

$\Delta\tau_C$ - поріг втомленості при 2 млн. циклів для дотичних напружень

m - кількість мільйонів циклів

d - діаметр болта

$\Delta\tau$ - розмах дотичних напружень

k_s - розмірний коефіцієнт

$\Delta\sigma_w$ - розмах нормальних напружень у шві

$\Delta\tau_w$ - розмах дотичних напружень у шві

$\Delta\sigma_{eq}$ - приведені напруження

$\Delta\sigma_{vert}$ - вертикальний стиск у стінці від колеса

ДОДАТОК Н Коефіцієнти для розрахунків витривалості

A_v - площа безпосередньо перекритої частини перерізу

a - менший катет

b - більший катет

m_f - коефіцієнт, що враховує вплив зсувів по контактах елементів, що з'єднуються

n - параметр від числа поперечних рядів болтів

β - ефективний коефіцієнт концентрації напружень

ДОДАТОК П Ортотропні плити

П.1. Ортотропні плити автопроїзду

I_b - згинальна жорсткість поздовжніх ребер

a - катет розділки кромки

b - зазор у вільному вирізі

c - зона розділки кромки стінки

d - зазор між діафрагмою і настилом

e - відстань між стінками поздовжніх ребер

h_h - висота вільної від шва зони

h_r - висота ребра

s - розмір

t - товщина листа пастилу плити проїзду

t_s - товщина ребер жорсткості

$t_{w,cb}$ - товщина стінки поперечної балки

$t_{w,d}$ - товщина діафрагми

II.2 Розрахунки міцності ортотропної плити автопроїзду

M - згинальний момент кореня виступу

M_x - згинальний момент у поперечній балці

M_y - згинальний момент у поздовжньому ребрі

N_x - поздовжня сила у поздовжньому ребрі

N_y - поздовжня сила у поперечній балці

I - момент інерції поперечної балки

S - статичний момент листа настилу

T - значення зусилля зсуву, прикладене до виступу стінки між вирізами ребер

W_{a-a} - момент опору перерізу $a-a$

$2e$ - довжина, з якої збираються сили зсуву

Q - поперечна сила в перерізі

σ - нормальні напруження в перерізі $a-a$ від моменту

σ_x - нормальні напруження від сумарної дії глобальних та локальних навантажень вздовж осі x

σ_y - нормальні напруження від сумарної дії глобальних та локальних навантажень вздовж осі y

τ - зрізувальні напруження в перерізі $a-a$

τ_{xy} - зрізувальні напруження від сумарної дії глобальних та локальних навантажень

II.3 Розрахунок стійкості ортотропної плити

A - площа повного перерізу поздовжнього ребра

I_{cr} - момент інерції поперечної балки з ділянками листа настилу по $0,2L$ в кожний бік від осі балки, але не більше ніж l

I_{cr} - необхідний момент інерції поперечних балок ортотропної плити

I_{sl} - момент інерції повного перерізу поздовжнього ребра

I_t - момент інерції повного перерізу поздовжнього ребра при чистому крученні

I_y - момент інерції перерізу таврового поздовжнього ребра відносно горизонтальної осі y

I_z - момент інерції перерізу таврового поздовжнього ребра відносно вертикальної осі z

L - відстань між стінками головних балок або між центрами вузлів геометрично незмінюваних поперечних в'язей

M_y - найбільші значення згинальних моментів у листі настилу над поздовжніми ребрами

a - відстань між поздовжніми ребрами

b_f - ширина полиці таврового поздовжнього ребра

e - відстань від центра ваги полиці таврового поздовжнього ребра до його центра ваги

f - прогин поздовжнього ребра між поперечними ребрами

h_w - висота стінки (ширина листа)

i - радіус інерції повного перерізу поздовжнього ребра

k - кількість поздовжніх ребер, що утримуються даною поперечною балкою

l - відстань між поперечними балками (ребрами)

l_{ef} - розрахункова довжина поздовжніх ребер

t_{ef} - товщина полиці таврового поздовжнього ребра

t_w - товщина стінки ребра

t_h - товщина листа настилу

θ - коефіцієнт, що враховує крутну жорсткість ребер плити

σ_{xc} - напруження в листі настилу плити від спільної роботи ортотропної плити з головними балками прогонової будови, визначувані за умови пружних деформацій сталі

$\sigma_{x,cr,ef}$ - приведені критичні напруження

$\sigma_{x,cr}$ - критичне напруження

λ_0 - гнучкість

λ_1 - гнучкість

ν - навантаження на одиницю довжини

φ_0 - коефіцієнт поздовжнього згину

П.4 Розрахунки із застосуванням МСЕ

l - відстань між поперечними балками (ребрами)

σ_{xc} - граничне значення напружень у плиті, знайдені за розрахунками за деформованими схемами

ДОДАТОК Р З'єднання

Р.1 Зварні з'єднання

A - площа бруutto (або нетто) перерізу деталей, що з'єднуються у зоні стику

A_v - площа частини перерізу, що прикріплюється

$A_{w,n}$ - площа нетто послабленого (наприклад, отворами) перерізу стикового шва

Q_l - поперечна сила

Q_i - поперечна сила

Q_{fic} - умовна поперечна сила

W - момент опору перерізу елемента бруutto в площині, що перевіряється

b - ширина деталей, що з'єднуються

k_f - найменший із катетів кутового шва по металу шва

k_z - найменший із катетів кутового шва по металу границі сплавлення

l - довжина складеного елемента

l_w - повна довжина стикового шва

n - кількість листових деталей, розташованих паралельно

t - товщина деталей, що з'єднуються

t_f - товщина по металу шва

t_i - товщина листової деталі, що прикріплюється

t_w - товщина стінки

t_z - товщина по металу межі сплавлення

t_{min} - найменша з товщин деталей, що зварюються

$t_{w,min}$ - найменша товщина перерізу стикового шва при зварюванні деталей з неповним проплавленням

β_f - коефіцієнт розрахункового перерізу кутового шва по металу шва

β_z - коефіцієнт розрахункового перерізу кутового шва по металу границі сплавлення

σ_w - нормальні напруження в будь-якій точці зварного шва

σ_{\perp} - нормальні напруження перпендикулярні до перерізу шва

τ_w - дотичні напруження в будь-якій точці зварного шва

τ_{\perp} - дотичні напруження в площині перерізу шва перпендикулярні до напрямку шва (по металу шва)

$\tau_{//}$ - дотичні напруження в площині перерізу шва вздовж напрямку шва (по металу шва)

$\tau_{\perp,z}$ - дотичні напруження в площині перерізу шва перпендикулярні до напрямку шва по границі сплавлення

$\tau_{//,z}$ - дотичні напруження в площині перерізу шва вздовж напрямку шва по границі сплавлення

φ - коефіцієнт поздовжнього згину при розрахунку стійкості елемента в площині, що перевіряється

Р.2 З'єднання на звичайних болтах

A - площа стержня болта

A_{bn} - площа перерізу болта нетто

N - поздовжня сила, що проходить через центр ваги з'єднання

N_b - розрахункове зусилля, що сприймається одним болтом

$N_{b,min}$ - найменше значення розрахункового зусилля для одного болта

I - момент інерції перерізу бруто балки відносно нейтральної осі

R_{bs} - розрахунковий опір болтового з'єднання зрізу

R_{bp} - розрахунковий опір болтового з'єднання змінанню

R_{bt} - розрахунковий опір болтового з'єднання розтягу

R_{bun} - характеристичне значення тимчасового опору болта

S - статичний момент бруто пояса балки відносно нейтральної осі

a - крок поясних болтів

d - діаметр стержня болта

n_s - число розрахункових зрізів одного болта

n - число болтів у з'єднанні

q - місцевий тиск

Σt - найменша сумарна товщина елементів, що змінюються, в одному напрямку

Р.3 З'єднання на високоміцних болтах

A_{bh} - площа перерізу високоміцного болта

N - поздовжня сила, що проходить через центр ваги з'єднання

P - зусилля натягу високоміцного болта

Q_{bh} - розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте кожною поверхнею тертя з'єднаних елементів, стягнутих одним високоміцним болтом

a - крок поясних болтів

n - число болтів у з'єднанні

n_s - число контактних поверхонь у з'єднанні

μ - коефіцієнт тертя

Р.4 Накладки та фасонки

A_n - площа перерізу нетто

N - поздовжнє зусилля в елементі

l_i - довжина i -ї ділянки контуру вузлової фасонки між кромками отворів, що перевіряється

m_g - коефіцієнт умов роботи накладок

t - товщина вузлової фасонки

α_i - кут між напрямком i -ї ділянки контуру, що перевіряється, і віссю елемента

Р.5 З'єднання на пальцях

A_b - регулярний переріз провущини

A_f - переріз по осі отвору в передній частині провущини

A_{netto} - переріз нетто, що проходить через центр отвору провущини

M_{sd} - умовний згинальний момент у пальці

$N_{Rd,s}$ - зрізання пальця

$N_{Rd,t}$ - розрив одинарної провущини

$N_{Rd,sa}$ - зрізання одинарної провущини

$N_{Rd,b}$ - змінання на контактні одинарної провущини

N_{Sd} - розрахункове зусилля

R_{un} - тимчасовий опір провущини (характеристичне значення)

R_{yn} - границя текучості провущини (характеристичне значення)

R_{pun} - тимчасовий опір пальця (характеристичне значення)

R_{pyu} - границя текучості пальця (характеристичне значення)

R_{ynl} - найменше значення з опорів текучості R_{pyu} і R_{yn}

a - відстань вздовж зусилля

b - відстань поперек зусилля

c - зазори між провущинами

d - діаметр пальця

d_0 - діаметр отвору провущини

n_s - число зрізів

t - товщина провущини

t_1 - товщина одинарної провущини

t_2 - товщина подвійної провущини

r - радіус переходу між головкою і тілом провущини

w - ширина провущини

γ_{mp} - коефіцієнт надійності для з'єднання на пальцях

ДОДАТОК С Сталеві канатні елементи

A_m - площа металевого перерізу канату

E_Q - модуль пружності, що відповідає навантаженню Q

F_{min} - мінімальне розривне зусилля

K - коефіцієнт мінімального розривного зусилля

L_2 - довжина канату на контакт з сідлом від характеристичних навантажень найнесприятливішої комбінації, включаючи ефект провисання канатів

ΔL_2 - додаткова довжина

N_{Ed} - найбільша розрахункова сила в канатному елементі

N_{Rd} - граничне розрахункове значення опору канатного елемента

N_{uk} - характеристичне значення розривного зусилля канатного елемента з анкерами

N_{min} - мінімальне розривне зусилля каната в цілому

R_r - мінімальне розривне напруження дротів канату

d, d_s - діаметр канату

d' - діаметр відбитка для оцінювання напружень на контакт каната з сідлом

f - коефіцієнт суцільності

k - коефіцієнт спіральності

r_1 - радіус сідла

m_k - коефіцієнт умов роботи канатного елемента

m_1 - коефіцієнт умов роботи для несних канатних елементів мостів

m_2 - коефіцієнт умов роботи для канатів, який враховує перегинання на сідлі, в сепараторі або в стяжці

s - коефіцієнт, що враховує зменшення несної здатності за рахунок анкерів

σ_{uk} - граничне значення напружень

σ_{const} - обмеження напружень на стадії спорудження

σ_s - обмеження напружень на стадії експлуатації

ДОДАТОК Т Опорні частини

E - модуль пружності матеріалу контактних поверхонь

H_x - реакція вздовж осі x

H_y - реакція вздовж осі y

H_{Rd} - розрахункове значення опору деталей анкерування опорної частини

H_{Ed} - розрахункове значення сили зсуву, що діє на опорну частину

H_{Rd} - розрахункове значення сили тертя, що виникає на контактній опорній частині з опорами та прогоновими будовами

L - довжина контакту котка

M_x - момент навколо осі x

M_y - момент навколо осі y

M_z - момент навколо осі z

T_0 - температура, за якої виконується монтаж опорної частини

$T_{0,max}$ - максимальна температура, за якої виконується монтаж опорної частини

$T_{0,min}$ - мінімальна температура, за якої виконується монтаж опорної частини

ΔT_0 - похибка в оцінці температури під час монтажу опорної частини

ΔT_d - розрахунковий діапазон температур

ΔT_k - характеристичне значення діапазону температур

ΔT_y - збільшення розрахункової температури, що дорівнює 5°C

V - вертикальна реакція

V_{Ed} - мінімальне розрахункове значення опорної реакції (за найбільш несприятливої ситуації навантаження)

V_{Rd} - граничне значення вертикальної сили на опорну частину

d - діаметр котка

e_x - переміщення вздовж осі x

e_y - переміщення вздовж осі y

e_z - переміщення по вертикалі

r - радіус сфери

t_c - найменше характеристичне значення температур

t_w - найбільше характеристичне значення температур

α_x - кут повороту навколо осі x

α_y - кут повороту навколо осі y

α_z - кут повороту навколо осі z

γ_μ - значення коефіцієнтів надійності тертя

μ_k - коефіцієнт тертя на контакті з опорною частиною

Ключові слова: сталеві конструкції мостів, матеріали і напівфабрикати сталевих мостів, розрахунок міцності сталевих мостів, розрахунок стійкості сталевих мостів, розрахунок витривалості елементів сталевих мостів, розрахунок з'єднань сталевих мостів, конструювання сталевих мостів.