

**Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія**

О.Г. Гринь

Г.М. Кущій

Д.А. Волков

ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Навчальний посібник

Затверджено

на Вченій раді ДДМА

Протокол № від .2021

Краматорськ

2021

УДК 621.791

Г 85

Рецензенти:

Марков О.Є., доктор техн. наук, професор, Донбаська державна машинобудівна академія

Трембач Б.О., доктор філософії, інженер-конструктор ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод»

Гринь О. Г.

Г85 Проектування функціональних зварних конструкцій : навчальний посібник / О. Г. Гринь, Г. М. Кущій, Д. А. Волков – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 166 с.
ISBN

Показана послідовність розрахунково-конструкторських робіт, методика їх виконання, наведені посилання на пункти та розділи довідкової літератури, рекомендації відносно оформлення, змісту і об'єму розрахунково-пояснювальної записки, алгоритм визначення зусиль в балці та стержнях ферми і елементах інших конструкцій.

УДК 621.791

ISBN

© О. Г. Гринь, Г. М. Кущій,
Д. А. Волков 2021
© ДГМА, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	5
1.1 Метод розрахунку зварних металевих конструкцій.....	7
1.2 Навантаження і впливи	9
1.3 Нормативний і розрахунковий опір.....	10
1.4 Сортамент	10
1.5 Проектування зварних з'єднань і правила умовного позначення на кресленнях.....	12
1.6 Вибір конструкційних матеріалів	15
1.7 Вибір способу зварювання і електродного матеріалу.....	17
2 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ КОЛОНИ	20
2.1 Загальні положення	20
2.2 Розрахунок і конструювання надкранової частини колони ...	21
2.3 Розрахунок і конструювання підкранової частини колони	30
2.4 Розрахунок і конструювання необхідних стиків, оголовків і опорної бази колони	46
3 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ПІДКРАНОВОЇ БАЛКИ....	52
3.1 Визначення нормативних зусиль в балці	52
3.2 Визначення розрахункових навантажень від крана	65
3.3 Визначення розрахункових зусиль в балці	66
3.4 Підбір і проектування перетину балки	67
3.5 Перевірка міцності і стійкості балки	74
3.6 Розрахунок зварних швів балки	90
3.7 Розрахунок і конструювання опорних ребер балки	92
4 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ЗВАРНОЇ ФЕРМИ	97
4.1 Загальні положення	97
4.2 Вибір матеріалу елементів ферми, способу зварювання і зварювальних матеріалів	98
4.3 Перевірка геометричної незмінності і статичної визначеності ферм	98
4.4 Визначення зусиль в стержнях ферми	100
4.5 Визначення розрахункової довжини стержнів «в площині» і «з площини» ферми	105
4.6 Перетин стержнів	108
4.7 Визначення довжини і катетів зварних швів, що прикріплюють елементи ферми до фасонки	113
4.8 Конструювання і розрахунок опорних вузлів ферми, перевірка міцності фасонки	118
4.9 Конструювання і розрахунок вузлів ферми	121
4.10 Розміщення з'єднуючих планок (сухарів) в стержнях ферми	124
Список рекомендованої літератури	126
Додатки	127

ВСТУП

При вирішенні питань проектування, зварювання, як прогресивний спосіб в технології виготовлення конструкцій, знайшло широке застосування в різних сферах діяльності людини. При цьому виникають задачі забезпечення несучої здатності зварної конструкції і її елементів, раціонального використання металу на основі вдосконалення конструктивних форм і методів розрахунку зварних конструкцій, мінімізації можливості утворення залишкових деформацій, визначення міцності зварних з'єднань [1, 3, 4].

У кожному конкретному випадку оптимальне рішення визначається порівнянням техніко-економічних показників різних конструктивних варіантів. Меншу за вагою і економну у виготовленні конструкцію при забезпеченні несучої здатності можна отримати, якщо досить точно визначити умови її експлуатації, правильно вибрати форми поперечного перерізу, призначити відповідний матеріал, спосіб і режими зварювання.

Теоретичні основи для вирішення завдань проектування викладаються студентам спеціальності «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології та устаткування зварювання» в навчальній дисципліні «Проектування зварних конструкцій». Даний посібник укладено відповідно до робочої програми дисципліни, що дозволяє здобувачеві освіти отримати необхідні компетенції. Поглибити, узагальнити і закріпити знання, а також набути навичок творчого характеру можливо під час виконання конкретної професійної задачі, зокрема - індивідуального завдання за варіантом курсового проекту.

Даний посібник має за мету допомогти студентам розвинути творчий підхід при вирішенні завдань оптимального проектування зварних конструкцій (розглянуті сучасні методи розрахунку зварних металевих конструкцій, заснованих на використанні ПЕОМ, наведено алгоритм і програми розрахунків, застосування яких дозволяє оптимізувати параметри конструкцій).

Наведено довідковий матеріал, що надає можливість виконувати вибір стандартного профілю та використання його геометричних характеристик без пошуку спеціальної довідкової літератури. Використані в посібнику формули та коефіцієнти, які входять в них, приведені до вигляду, придатного для розрахунків в системі СІ, розмірності всіх параметрів узгоджені.

З усіх питань, які не знайшли відображення в посібнику, є посилання на літературні джерела, список яких наведено.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Зварні металеві конструкції проектують відповідно до нормативних документів. Дія норм проектування поширюється на всі металеві конструкції споруд, а також на їх окремі елементи, перерізи та вузли.

Об'єкти проектування повинні задовольняти вимогам, які можна об'єднати в чотири основні групи [1-7]:

- експлуатаційні, які полягають в безумовній відповідності конструкцій своїм функціональним призначенням і визначають конструктивну форму споруди, покликану забезпечити умови її нормальної експлуатації;

- технологічні, які полягають в забезпеченні можливості і зручності виготовлення, транспортування і монтажу конструкцій з мінімальними трудовитратами, з максимальною продуктивністю технологічного обладнання і в більш короткий термін;

- економічні, які забезпечуються раціональним використанням сталі і зварювальних матеріалів, застосуванням економних профілів прокату і ефективних марок сталей, що сприяє зниженню вартості конструкції і будівництва в цілому;

- вимоги, що полягають в забезпеченні надійної і довговічної роботи конструкцій, пов'язані з виконанням умов міцності, стійкості, твердості і витривалості, встановлених на основі максимального наближення розрахункових умов до дійсних особливостей роботи споруди.

При проектуванні слід віддавати перевагу уніфікованим типовим і стандартним конструкціям, просторовим системам. Для сталевих конструкцій слід застосовувати ефективні марки сталей, економічні профілі прокату з мінімальними площами перетинів. Їх з'єднання в заводських умовах має бути орієнтоване на застосування автоматичного і напівавтоматичного зварювання, а на монтажі - високоміцних болтів, хоча при відповідному обґрунтуванні допускаються і зварні монтажні з'єднання.

Прийняті розрахункові схеми і теоретичні умови розрахунку повинні максимально відповідати дійсним умовам роботи конструкції. Вибір розрахункових схем залежить від застосованого методу розрахунку, необхідної його точності і трудомісткості обчислювальних робіт. З огляду на орієнтацію процесу проектування на застосування ПЕОМ, слід розраховувати конструкцію як єдину просторову систему, а при відповідному обґрунтуванні - і за деформаційною схемою, яка враховує вплив переміщень вузлів конструкцій під навантаженням. Спрощення розрахункових схем, розгляд плоских систем замість просторових, врахування нелінійних факторів роботи конструкцій допускаються (при відповідному обґрунтуванні) без погіршення економічності проектного рішення.

Зварні конструкції ділять на стрижневі, листові і машинобудівні.

- *стрижневі конструкції* – каркаси будівельних споруд, спеціальні конструкції (щогли, колони, ферми).

- *листові конструкції* – резервуари, газгольдери, котли.
- *машинобудівні конструкції* – вали, рами, станини і ін.

Будь-яка деталь, вузол, конструкція, споруда повинні відповідати вимогам працездатності і надійності.

Працездатність. Працездатністю називають стан об'єктів, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської (проектної) документації.

Надійність. Під надійністю розуміють властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування. Надійність є комплексною властивістю, що в залежності від призначення об'єкта та умов його експлуатації може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість або певні поєднання цих властивостей.

Працездатність і надійність об'єкта оцінюються певними умовами та показниками. Найважливішими з них є:

- 1) *міцність* – здатність деталі чинити опір руйнуванню;
- 2) *жорсткість* – здатність деталей чинити опір зміні форми (є однією з характеристик працездатності деталей машин);
- 3) *зносостійкість, корозійна стійкість, вібростійкість та ін.*

При розрахунку і проектуванні деталей зазвичай використовують один або два критерії, а інші критерії задовольняються попередньо або не мають практичного значення для розглянутих об'єктів. Існує інженерне і наукове поняття міцності.

Під інженерної міцністю розуміють здатність матеріалу чинити опір пластичній деформації, руйнуванню, здатність конструкції чинити опір втраті стійкості, втраті корозійної стійкості та ін.

У науковому сенсі міцність – це опір руйнуванню матеріалу.

Отже, збереження міцності об'єкта залежить від взаємодії двох чинників: навантаження і здатності об'єкта чинити опір цьому навантаженню. Розрізняють розрахункову і конструкційну міцність.

Конструкційна міцність – це міцність, визначена шляхом випробувань конструкції або її імітатора з урахуванням матеріалу, виду навантаження, умов експлуатації та технології її виготовлення.

Крім експериментальних методів на міцність використовують методи розрахункові.

Розрахункова міцність – це міцність, знайдена розрахунками, шляхом використання найпростіших характеристик матеріалу і апарату теорії, що зв'язує ці характеристики з величиною міцності.

1.1 Метод розрахунку зварних металевих конструкцій

Зварні будівельні конструкції розраховують за граничними станами. Суть цього методу полягає в тому, що з урахуванням призначення і відповідальності споруди, на підставі експертних оцінок встановлено основні показники його роботи, до досягнення яких відсутність граничного стану гарантовано протягом усього терміну служби об'єкта [1-3].

Граничним вважається стан, при якому конструкція перестас задовольняти необхідним умовам і стає непридатною до подальшої експлуатації. Встановлено дві групи розрахункових граничних станів [1].

Перша включає стани, які призводять до втрати несучої здатності і (або) повної непридатності експлуатації конструкції в результаті спільної втрати стійкості форми або положення; в'язкого, крихкого або іншого руйнування, при загальній дії силових факторів і несприятливому впливі зовнішнього середовища; переходу незмінної системи в змінну, якісної зміни конфігурації; припинення експлуатації внаслідок появи неприпустимих переміщень внаслідок текучості сталі, зрушень в з'єднаннях і ін.

До другої групи належать граничні стани, які ускладнюють нормальну експлуатацію конструкцій внаслідок появи неприпустимих переміщень в результаті прогину, горизонтальних зрушень, усадок, повороту, коливань і подібних явищ.

Досягнення того чи іншого граничного стану визначають при розрахунку конструкцій, з огляду на можливі несприятливі відхилення характеристик металу, використаного в проекті, величин діючих навантажень, а також особливості умов проведення робіт і експлуатації.

Умова для розрахунку за другою групою граничних станів відображає вимога не перевищення деформацією (переміщенням) δ , що виникає в конструкції від діючих навантажень, граничної величини $[\delta]$, встановленої нормами:

$$\delta < [\delta], \quad (1.1)$$

Оскільки друга група граничних станів забезпечує умови нормальної експлуатації і не пов'язана з несучою здатністю конструкцій, деформації (переміщення) δ визначають згідно з нормативними навантаженнями. В цьому випадку геометричні характеристики перерізів елементів конструкції визначають без урахування можливих послаблень [1].

У загальному вигляді умови працездатності конструкцій і її елементів при розрахунку їх за першим граничним станом можна записати в наступному вигляді:

$$N_p < \Phi, \quad (1.2)$$

де N_p – розрахунковий силовий фактор (величина навантаження) в перерізі конструкції від сумарної дії всіх розрахункових навантажень в найнебезпечнішому її перетині.

Φ – несуча здатність конструкції, що залежить від геометричних розмірів, розрахункового опору матеріалу та умов роботи конструкції.

Величина N_p може представляти:

- поздовжню силу P ;
- поперечну силу Q ;
- згинаючий момент M .

Виходячи з вищевикладеного можна записати:

$$N_p < mR\Phi, \quad (1.3)$$

де m – коефіцієнт умов роботи, що характеризує особливості навантаження і середовище, в якому працює конструкція (для стиснутих розкосів ферм і одиночних куточків $m = 0,75$).

R – розрахунковий опір матеріалу.

Розрахунок за граничними напруженнями це окремий випадок методу розрахунку за граничним станом, за умови, коли коефіцієнт перевантаження n і коефіцієнт умов роботи m для всіх видів навантажень, що діють на конструкцію, приймають однаковими (або визначити їх не представляється можливим).

$$\sigma = \frac{km}{n} \cdot \sigma_T \Rightarrow \frac{\sigma_T}{k_3} = [\sigma], \quad (1.4)$$

де $[\sigma]$ – граничні напруження для основного металу;

k_3 – коефіцієнт запасу міцності. $k_3 = 1,3 \dots 1,5$.

Умова міцності має вигляд $\sigma \leq [\sigma]$. Принципово розрахунок за граничними напруженнями не відрізняється від розрахунку за граничним станом, оскільки в обох випадках критерієм міцності є значення межі текучості [1-7]. Відмінність полягає лише в ступені зниження його величини.

За методом граничного напруженого стану виконують розрахунки:

- а) на міцність, $\sigma \leq [\sigma]$;
- б) на стійкість, $\sigma \leq \phi[\sigma]$;
- в) на витривалість, $\sigma \leq \gamma[\sigma]$.

ϕ і γ – коефіцієнти, що враховують зниження опору конструкцій при втраті стійкості ϕ і дії змінних навантажень γ .

Вибір коефіцієнта запасу міцності залежить від:

- властивостей матеріалу (граничні напруження підвищуються при поліпшенні механічних властивостей металу);
- ступеня точності розрахунку міцності (чим точніше розрахунок міцності і повніше враховуються навантаження, тим менше приймається коефіцієнт запасу);
- роду зусиль (розтягування, стиснення, вигин, зріз);
- від характеру навантаження (при змінних навантаженнях допустимі напруження знижуються в порівнянні зі статичними).

Граничні напруження є техніко-економічним фактором. Якщо напруження в конструкції занижені ($\sigma < 0,95[\sigma]$) і немає обґрунтування подібного заниження, то конструкція має зайву несучу здатність, а отже, більшу матеріалоемність. В разі $\sigma > 1,05[\sigma]$ - несуча здатність менше необхідної. Оптимальним варіантом є $\sigma = [\sigma]$.

Граничні напруження в зварних швах $[\sigma']$ встановлюються в залежності від граничних напружень основного металу з урахуванням електродного матеріалу.

1.2 Навантаження і впливи

Відповідно до класифікації СНиП 2.01.07-85 «Навантаження і впливи» (Розділ 10 ДСТУ Б В.1.2-3:2006 ; крім розділу 10 ДБН В.1.2-2:2006) навантаження, які діють при експлуатації будинків і споруд, діляться в залежності від тривалості їх дії на постійні і тимчасові (тривалі, короткочасні, особливі). Кожен вид навантаження характеризується, як правило, одним нормативним значенням, проте для навантажень від людей, тварин, обладнання на перекриттях житлових, громадських та сільськогосподарських будівель, від мостових і підвісних кранів, снігових і температурних кліматичних впливів встановлені два нормативних значення - повне і знижене.

Знижене значення нормативних навантажень використовується при врахуванні впливу тривалості їх дії, а також при перевірці на витривалість і в інших випадках, обумовлених нормами.

Постійні навантаження – від власної ваги несучих і огорожувальних конструкцій, частин споруд, маси і тиску ґрунтів, а також від попередніх напружень – визначають, виходячи з проектних геометричних розмірів конструкцій і густини матеріалів і ґрунтів.

1.3 Нормативний і розрахунковий опори сталі

Межа текучості (при наявності площадки текучості) або умовна межа текучості (якщо вона відсутня), приймається як граничний опір матеріалу. Державними стандартами і технічними умовами встановлено гарантовані межі їх зміни (див. Додаток Б). Значення межі текучості і тимчасового опору, обмежені мінімальним розбігом показників, називають нормативним опором за межею текучості R_{tn} і нормативним опором за тимчасовим опором R_{bn} . Розрахунковою характеристикою конструкційних матеріалів є розрахунковий опір, який визначається відношенням нормативного опору до коефіцієнту надійності за матеріалом:

$$R_t = \frac{R_{tn}}{\gamma_m}; \quad R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_m}, \quad (1.5)$$

де $\gamma_m = 1,3$ – коефіцієнт надійності за матеріалом.

Сталі для будівельних конструкцій поставляються відповідно до ГОСТ 27772 – 88 (ДСТУ 8539:2015), який уніфікував вимоги до методів контролю, хімічного складу і механічних властивостей з гарантією рівня забезпечення 0,95 нормативних механічних характеристик. Прийнята класифікація будівельних сталей (буква С означає – сталь будівельна, цифри умовно позначають межу текучості прокату, буква К - варіант хімічного складу) включає 13 найменувань, серед яких С235, С245, С255, С275 і С285 є вуглецевими, а С345, С345К, С375, С390, С390К, С440, С590 і С590К – низьколегованими. Фасонний прокат випускається із сталей від С235 до С275. При підвищеному вмісті міді до позначення сталі додається буква Д, наприклад С345Д. Термічно зміцнена сталь позначається буквою Т (наприклад, С390ДТ). Фасонний прокат з товщиною полки до 12 мм із сталей С245 і С255 після термообробки поставляється як сталь С345Т і С375Т, а листовий прокат зі сталі С345 - як сталь С390Т.

Залежно від вимог щодо ударної в'язкості прокат завтовшки 5 мм і більше зі сталі С345 і С375 поставляється за чотирма категоріями. Для інших сталей ударна в'язкість нормована після механічного старіння.

При виборі матеріалу зварної конструкції необхідно керуватися сукупністю факторів, що впливають на несучу здатність конструкції і економічні показники.

1.4 Сортамент

Каталог профілів із зазначенням їх характеристик і маси називають сортаментом і оформляють у вигляді ГОСТ (ДСТУ) або ТУ.

Для зварних металоконструкцій використовують листову і профільну сталь. Профільну сталь поділяють на:

- а) сортову (кругляк, квадрат, смуга);
- б) фасонну (двотавр, швелер, куточок).

Фасонні профілі. Кутові профілі прокочують у вигляді рівнополичного (ГОСТ 8509 – 93 (ДСТУ 2251:2018)) і з різними полками (ГОСТ 8510 – 86 (ДСТУ 8769:2018)).

Такі куточки раціональні в елементах, що працюють на осьове стискання. Чим тонше полиці куточків, тим більше радіус інерції r , від якого залежить несуча здатність елемента.

Для розтягнутих елементів товщина куточка значення не має, але тонкі куточки краще.

Якщо полиці куточків піддаються вигину, то застосовують товсті куточки.

Куточки знайшли широке застосування в ґратчастих конструкціях.

Двотавр – профільні елементи з підвищеним моментом інерції при відносно невеликих площах поперечного перерізу, висота стінки від 100 до 600 мм і полки 5,5...190 мм, довжина 4...13 м.

Двотавр – найбільш раціональний профіль для елементів, що працюють на вигин, оскільки в порівнянні з іншими профілями має найбільший питомий момент опору:

$$\bar{W} = \frac{W}{\sqrt{F^3}}, \quad (1.6)$$

де W – момент опору;

F – площа перерізу.

В сортамент входять профілі від №10 до №70. З двотаврового профілю раціонально виготовляти балки, тому що це перетин добре працює на вигин. Однак за умовами технології прокатки у більшості двотаврів стінки виходять значно товщі, ніж потрібно за умовами їх стійкості. Двотавр має велику жорсткість щодо осі Х-Х і недостатню стійкість щодо У-У.

Швелер використовують в елементах і конструкціях, що працюють на вигин, в основному у вигляді складових перетинів. Номер швелера відповідає висоті перетину швелера. Сортамент ГОСТ 8240-93 включає швелери від №5 до №40 з ухилом внутрішніх граней. У ГОСТ входять швелери з паралельними гранями полиць, з буквою П в позначенні, наприклад 20П. Перетини таких швелерів мають кращі розрахункові характеристики і більш конструктивні, т. як спрощують болтові кріплення до полиць.

Сталь листова широко використовується в зварних конструкціях, її класифікують наступним чином:

а) сталь товстолиста (ГОСТ 19903 – 74). Сортамент включає листи від 4 до 160 мм, шириною не більше 2400 мм. Поставляється листами 6...12 м і в рулонах – товщиною 1,2...12 мм;

б) сталь тонколиста (товщина до 4 мм), розрізняють холоднокатану (ГОСТ 19904–74 (ДСТУ 8540:2015)) та гарячекатану (ГОСТ 19903–74);

в) сталь широкосмугова (ГОСТ 8200 – 70), товщина такої сталі від 6 до 60 мм, ширина – від 200 до 1050 мм і довжина 5...12 м;

г) сталь смугова (ГОСТ 103–76 (ДСТУ 4747:2007)) товщиною від 4 до 60 мм, при ширині до 200 мм;

д) рифлена сталь (ГОСТ 8568–77 (ДСТУ 8783:2018)).

До сортового прокату відносять: круглу, шестигранну і смугову сталь.

Рациональність штампованих і гнутих профілів з позиції мінімальної маси конструкції, при заданій несучій здатності, визначається відношенням W / F . Чим більше W / F , тим ефективніше використовується профільний прокат.

Виготовляють з гарячекатаної або холоднокатаної відпаленої листової стрічкової і смугової сталі. Гнуті профілі економічні, т. як при відносно малій площі поперечного перерізу і невеликій масі вони володіють підвищеною жорсткістю.

1.5 Проектування зварних з'єднань і правила умовного позначення на кресленнях

Зварні конструкції характеризуються широким діапазоном застосовуваних товщин, форм і розмірів елементів, що з'єднуються, а також різноманітним взаємним розташуванням деталей, що зварюються. Залежно від взаємного розташування деталей, що зварюються, розрізняють чотири типи зварних з'єднань:

- стикове з'єднання – це з'єднання двох елементів, що примикають один до одного торцевими поверхнями (рис. 1.1, а);

- з'єднання внапуск – це з'єднання, при якому елементи, що підлягають зварюванню, розташовані паралельно і частково перекривають один одного (рис. 1.1, б);

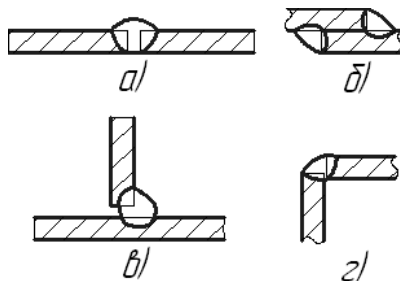
- таврове з'єднання – це з'єднання, в якому торець одного елемента прилягає під кутом і приварюється до бічної поверхні іншого елемента (рис. 1.1, в);

- кутове з'єднання – це з'єднання двох елементів, розташованих під кутом і зварених в місці прилягання їх країв (рис. 1.1, г).

При зварюванні плавленням для забезпечення необхідної глибини проплавлення виконують обробку крайок. Форма обробки крайок, а також

розміри параметрів обробки (кут розкриття крайок, величина зазору, притуплення і ін.) залежать від матеріалу, товщини, способу зварювання.

Зварні з'єднання повинні позначатися за ГОСТ 2.312–72. Шов зображують на кресленні: видимий – суцільною основною лінією, невидимий – штриховою лінією. Від зображення шва проводять лінію-виноску з односторонньою стрілкою, що вказує місце розташування шва.



*а – стиковий шов стикового з'єднання; б – кутовий шов з'єднання внапуск;
в – кутовий шов таврового з'єднання; г – кутовий шов кутового з'єднання*

Рисунок 1.1 – Типи зварних з'єднань

На кресленнях поперечних перерізів межі шва зображують суцільними основними лініями, а конструктивні елементи крайок в межах шва – суцільними тонкими лініями. Допоміжні знаки для позначення зварних швів наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Допоміжні знаки для позначення зварних швів

Номер знака	Знак	Значення допоміжного знака	Розміщення знака	
			з лицьового боку	зі зворотного боку
1	○	Шов по замкненому контуру		
2	┐	Шов виконати при монтажі		
3	○	Опуклість (посилення) шва зняти		
4	⌒	Напливи і нерівності шва обробити з плавним переходом до основного металу		
5	/	Шов переривчастий або точковий по ланцюжку		
6	Z	Шов переривчастий або точковий в шаховому порядку		
7	□	Шов по незамкненому контуру		

Позначення зварних швів наносять над полицею лінії-виноски у випадку лицьового боку шва і під полицею – для зворотного боку шва (табл. 1.2). Ці позначення мають наступні елементи:

- позначення стандарту на типи і конструктивні елементи швів зварних з'єднань;
- буквено-цифрове позначення шва за стандартом;
- умовне позначення способу зварювання;
- знаки профілю шва і його катета для швів кутових, таврових і з'єднань внапуск;
- довжина і розташування ділянок переривчастого шва;
- допоміжні знаки згідно табл. 1.1.

Стикові з'єднання позначаються буквою С, кутові – У, таврові – Т, з'єднання внапуск – Н, якщо форма шва не передбачена ГОСТ (ДСТУ) – О (особливий). Цифри біля букв, наприклад, С25, Т4, вказують порядковий номер даного шва у ГОСТ (ДСТУ) (вид з'єднання і шва, а також форму обробки кромки і розміри з'єднання в зборі).

Буквені позначення дугового зварювання та ручного дугового зварювання на кресленнях не проставляють. Буквені позначення інших способів зварювання проставляють на кресленнях тільки в разі застосування декількох способів. Наприклад: ІН - зварювання в інертних газах, ІНП – зварювання в інертних газах електродом, що не плавиться, УП – зварювання у вуглекислому газі електродом, що плавиться.

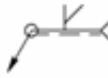
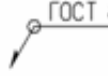
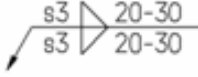
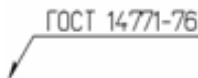
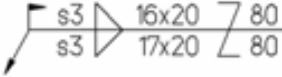
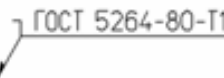
При використанні одного способу зварювання його вказують в технічних вимогах на кресленнях.

Умовні позначення швів зварних з'єднань встановлені державними стандартами.

Таблиця 1.2 – Приклади умовного позначення зварних з'єднань і швів

Зварне з'єднання і шов	Умовне позначення за ДСТУ (ГОСТ)
1	2
Шов таврового з'єднання без оброблення кромки, двосторонній, переривчастий або розташований в шаховому порядку, виконаний дуговим зварюванням в середовищі вуглекислого газу електродом, що плавиться. Катет шва 6 мм, довжина шва 50 мм, крок – 100 мм. На кресленні 3 однакових шва № 1	
Коротке зображення однакових швів при умові повного зображення одного з них	
Те ж саме, якщо всі шви однакові	

Продовження таблиці 1.2

1	2
Зварне з'єднання і шов	Умовне позначення
Шов стикового з'єднання з обробленням однієї крайки, двосторонній, виконаний дуговим зварюванням під шаром флюсу електродом, суцільним дротом по замкненому контуру.	 ISO 4063-121 - ISO 4063  ГОСТ 8713-79-С12 - ГОСТ
Шов кутовий без оброблення крайок, двосторонній, переривчастий або розташований в шаховому порядку, виконаний дуговим зварюванням в середовищі активного газу електродом, що плавиться. Катет шва 3 мм, довжина шва 20 мм, крок (відстань між закінченням попереднього і початком наступного) – 30 мм.	 20-30 20-30 ISO 4063-135 - ISO 4063  ГОСТ 14771-76-Т2-Δ 6-50/100 - ГОСТ
Шов кутовий без оброблення крайок, двосторонній, переривчастий розташований в шаховому порядку, виконаний дуговим зварюванням електродом з покриттям при монтажі. Катет шва 3 мм, довжина шва 20 мм, кількістю 16 з однієї сторони і 17 з іншої.	 s3 s3 16x20 17x20 80 80 ISO 4063-111 - ISO 4063  ГОСТ 5264-80-Т1-Δ 3-20/100 - ГОСТ

В додатку А наведені деякі стандартизовані та загальноприйняті позначення і терміни.

1.6 Вибір конструкційних матеріалів

Вибір виконують на основі проектування та техніко-економічного аналізу з урахуванням нормативних вимог.

Вибір сталі залежить від наступних факторів:

- температури навколишнього середовища, в якій передбачається експлуатація конструкції;
- характеру навантаження, що визначає особливість роботи матеріалу при динамічних, змінних і статичних навантаженнях;
- виду напруженого стану та рівня напружень;
- зварюваності, наявності механічних пошкоджень;
- забезпечення оптимальної матеріаломісткості;

– службових властивостей матеріалу.

При виборі сталі необхідно враховувати групу конструкцій. Всі конструкції умовно можна розділити на 4 групи:

– I група – зварні конструкції, що працюють в особливо важких умовах і піддаються впливу динамічних або вібраційних навантажень (підкранові балки, фасонки ферм, елементи естакад і т. п.);

– II група – зварні конструкції, статично навантажені при наявності одно- і двовісного напруженого розтягуючого поля (балки перекриття, ферми, згинальні елементи);

– III група – зварні конструкції, що працюють при переважному впливі стискаючих напружень (стійки, опори, колони і т. п.);

– IV група – допоміжні конструкції і елементи (зв'язки, сходи, огорожі і т. п.).

При проектуванні металоконструкцій необхідно враховувати основні принципи:

а) економія металу – досягається застосуванням високоміцних сталей і сплавів, впровадженням конструктивних форм, використанням прокатного профілю, вдосконаленням методів розрахунку;

б) технологічність – забезпечується проектуванням конструкцій з урахуванням вимог технології виготовлення і монтажу, спрямованих на зниження трудомісткості;

в) швидкісний монтаж – попереднє складання конструкції в великі блоки;

г) транспортабельність;

д) естетичність.

Для виготовлення зварних конструкцій в машинобудуванні, будівництві, мостобудуванні та інших галузях найбільше поширення отримали сталі (як матеріали, що мають високу здатність до зварювання).

Оцінку зварюваності здійснюють за еквівалентом вуглецю, що залежить від хімічного складу, а також застосуванням технологічних проб. Існують різні формули розрахунку еквіваленту вуглецю ($C_{екв}$), але найбільш часто застосовують вираз:

$$C_{екв} = C + Mn/6 + Cr/5 + V/5 + Mo/4 + Ni/15 + Cu/13 + P/2, \quad (1.7)$$

де C, Cr, Mn та ін. – кількість відповідних легуючих елементів у відсотках.

Всі сталі за зварюваністю умовно поділяють на три групи:

1. Сталі, що зварюються без обмежень ($C_{екв} < 0,4 \%$);

2. Сталі з обмеженою зварюваністю, при зварюванні яких застосовують додаткові технологічні прийоми ($0,4 \% \leq C_{екв} \leq 0,6 \%$);

3. Сталі, що умовно не зварюються ($C_{екв} > 0,6 \%$).

Якість сталі залежить від технології виготовлення, що пов'язано з її розкисленням. Залежно від ступеня розкислення розрізняють сталі киплячі

- «кп», напівспокійні – «пс», спокійні «сп». Ступінь розкислення, як правило, визначають за вмістом кремнію в сталі.

Головною метою виготовлення легованих сталей є надання конструкційним сталям підвищених механічних властивостей або забезпечення спеціальних особливостей (наприклад, теплостійкості). В залежності від кількості легуючих елементів, леговані сталі ділять на низьколеговані (вміст легуючих елементів до 5%), середньолеговані (вміст легуючих елементів до 10%) і високолеговані (вміст легуючих елементів більше 10%).

1.7 Вибір способу зварювання і електродного матеріалу

Для призначення способу зварювання необхідно провести аналіз конструктивних факторів, тобто взаємного розташування деталей, що зварюються, їх товщини, довжини швів. Рекомендації щодо вибору способу зварювання наведені в роботах [1, 3, 5]. Визначають стандарт на спосіб зварювання. Під розміром зварного шва розуміють катет кутового шва або розмір зварної точки при контактному зварюванні. Конкретні рекомендації за призначенням розмірів зварних швів наведено в ГОСТах для відповідних способів зварювання, розмір катета можна вибрати з рекомендацій [2, 4, 7]. При виготовленні зварних конструкцій застосовують електродугові види зварювання плавким електродом (ручне, механізоване і автоматичне), а також контактні способи зварювання (точкове, шовне і стикове).

Ручне зварювання плавким електродом виконують за допомогою електродів, які підрозділяють на типи і марки (ГОСТ 9467-75).

Тип електрода визначає міцність металу шва (одиниці вимірювання – кН/см^2). Наприклад, електроди типів Е50 або Э50А забезпечують $\sigma_b > 50 \text{ кН/см}^2$, літера А означає, що метал шва має підвищені пластичні властивості. Електрод вибирають в залежності від марки сталі деталей, що зварюються. Цим забезпечуються передумови до створення рівномічного з'єднання, хоча рівномічність досягається також вибором технології зварювання.

Марка електрода визначається складом захисної обмазки і вибирається залежно від роду зварювального струму (змінний або постійний) і просторового положення шва.

Область застосування ручного дугового зварювання – невеликі за протяжністю шви, розташовані у важкодоступних місцях в різних просторових положеннях.

Для автоматичного зварювання під шаром флюсу використовують сталевий зварювальний дріт суцільного перерізу і флюси, а також порошковий дріт. Зварювальний дріт виготовляють із спеціальних

низьколегованих сталей і позначають буквами Св (зварювальний), а далі характеризують його хімічний склад, прийнятий при позначенні низьколегованих сталей. Вибір матеріалу для автоматичного зварювання (зварювального дроту і флюсу) проводять в залежності від групи конструкцій, сталі і клімату району, в якому конструкція експлуатується.

Таблиця 1.3 – Рекомендовані дроти і марки флюсів

Тип сталі	Марка дроту	Марка флюсу
Низьковуглецеві Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Сталь 10, Сталь 20, Сталь 30	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2	АН-348, ОСЦ-45, АН-47, АН-60
Низьколеговані 12Г, 14Г214ХГС, 10ХСНД, 15ХСНД	Св-10Г2, Св-12ГС, Св-18ХГС, СВ-18ХМФА	ОСЦ-45, АН-22, АН-47, АН-60

Механізоване (напівавтоматичне) зварювання виконують електродним дротом із газовим захистом зварювальної ванни або порошковим дротом. Вибір зварювальних матеріалів для напівавтоматичного зварювання виконують в залежності від тих же факторів, що і для автоматичного зварювання.

Зварювання порошковим дротом виконують механізованим або автоматичним способом. Порошковий дріт являє собою металеву оболонку, заповнену сумішшю порошків спеціального складу. Металева оболонка зі сталевий стрічки товщиною 0,2...0,5 мм, через яку підводиться зварювальний струм, утримує порошкове осердя і дає можливість здійснювати безперервний процес плавлення, що забезпечує високу продуктивність зварювання.

За призначенням порошкові дроти бувають самозахисні, призначені для зварювання без додаткового газового захисту, і дроти для зварювання у вуглекислому газі. Самозахисні дроти рутил-органічного типу забезпечують метал шва, за хімічним складом близький до складу низьковуглецевої напівспокійної сталі. Типовим представником дротів рутил-органічного типу є зварювальний дріт марки ПП-АН1.

Дроти карбонатно-флюоритного типу рекомендується використовувати для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей. При цьому механічні властивості шва вище, ніж для рутил-органічних дротів. Зварні шви більш пластичні і краще працюють при низьких температурах. Представниками даного типу є ПП-АН11, ПП-АН17.

Дроти флюоритного типу за характеристиками займають проміжне положення між дротами рутил-органічного і карбонатно-флюоритного типу, наприклад, зварювальний дріт ПП-2ДСК.

Для зварювання у вуглекислому газі використовуються дроти рутилового і рутил-флюоритного типу. Дроти рутилового типу (ПП-АН8,

ПП-АН-10) призначені для зварювання широкого кола конструкцій з низьковуглецевої і низьколегованої сталі. Дроти рутил-флюоритного типу (ПП-АН4, ПП-АН9, ПП-АН20) забезпечують високу ударну в'язкість і рекомендуються для зварювання конструкцій з легованих сталей, які працюють в складних кліматичних умовах при динамічних навантаженнях.

Питання для самоконтролю

1. Які матеріали називають конструкційними?
2. Як здійснюють оцінку зварюваності?
3. Назвіть класифікацію сталей за зварюваністю, хімічним складом, ступенем розкислення.
4. Назвіть чинники, від яких залежить вибір сталі.
5. Від чого залежить вибір способу зварювання?
6. Як визначають вид деформаційного стану?
7. Запишіть умови міцності за допустимим напруженням і граничним станом для: нормальних напружень, дотичних напружень, результируючих еквівалентних напружень.
8. Зобразіть схематично стикове, таврове, кутове і з'єднання внапуск.
10. Як позначається видимий зварний шов на кресленні?
11. Назвіть типи зварних з'єднань.
12. У якому випадку зварний шов позначають односторонньою стрілкою без виносної полиці?
13. Запишіть умовне позначення стикового шва, виконаного у вуглецевому газі плавким електродом.
14. Запишіть умовне позначення таврового з'єднання, виконаного плавким електродом у середовищі вуглецевого газу по замкненому контуру.
15. В чому полягає несуча здатність конструкції?

2 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ КОЛОНИ

2.1 Загальні положення

При розрахунку колони необхідно забезпечити міцність і стійкість. Стійкість забезпечують зниженням допустимих напружень для стиснутих елементів [1, 2, 4, 7]. Це досягається множенням граничних напружень при статичному навантаженні $[\sigma]$ на коефіцієнт поздовжнього вигину $\varphi < 1$. Тоді $[\sigma]_{\text{ст}} \leq [\sigma]\varphi$. Коефіцієнт поздовжнього вигину φ залежить від гнучкості λ і матеріалу стисненого стержня. Для визначення гнучкості λ береться наведена вільна довжина, яка залежить від геометричної довжини стержня і від характеру закріплення його кінців. Чим менше гнучкість λ , тим ближче до одиниці коефіцієнт φ і тим повніше використовується матеріал конструкції. Тому для стійок вигідно використовувати ті перетини, в яких більше відношення I/F , тобто більше радіус інерції $r = \sqrt{\frac{I}{F}}$. Гранична гнучкість стійок і колон обмежена (див. Додаток Б (табл. Б.2, Б.3)). Для основних стійок і колон $\lambda < 120$; для допоміжних стійок $\lambda < 150$. Перетин стійки може бути суцільним або складеним (наскрізним), тобто таким, що складається з окремих гілок, з'єднаних планками або розкідною решіткою.

У складеному (наскрізному) перерізі є одна або кілька центральних осей, які не перетинають метал. Такі вісі називають вільними. У стійках складеного перетину можна отримувати великі значення I/F , однак при розрахунку гнучкості таких стійок необхідно враховувати власну гнучкість $\lambda_{\text{г}}$ окремих гілок перетину, так як за рахунок неї збільшується загальна гнучкість стійки. Тому розрахунок стійок складеного перетину ведуть за наведеною гнучкості $\lambda_{\text{нг}}$, яка враховує звичайну гнучкість λ і гнучкість гілки $\lambda_{\text{г}}$. Тип перетину стійки вибирається конструктором в залежності від призначення, величини і характеру навантаження (центральне, позацентрове) і від наведеної вільної довжини стійки [2, 5].

При проектуванні колон необхідно враховувати наступні вимоги:

1 Стінки суцільних колон при $\frac{h_{\text{ст}}}{\delta_{\text{ст}}} \geq 100 \sqrt{\frac{210}{R}}$ слід зміцнювати парними поперечними ребрами жорсткості, розташованими на відстані a одне від одного:

$$a = (2,5 \dots 3,0)h_{\text{ст}} \quad (2.1)$$

2 На кожному елементі повинно бути не менше двох ребер.

3 Ширина виступаючої частини поперечного ребра жорсткості повинна бути не менше $\frac{h_{\text{ст}}}{40} + 30\text{мм}$; товщина ребра зі сталі класів

C38/23...C46/33 не менше $b_n/15$, зі сталі класів C52/40...C85/75 – не менше $b_n/12$.

4 Колони складеного перерізу слід зміцнювати діафрагмами, які з'єднують гілки цих колон. Діафрагми слід розташовувати не більше ніж через 4 м по висоті колони, при цьому їх повинно бути не менше двох.

5 Заводські стики колон слід виконувати зварними, прямими, в стик, з повним проваром.

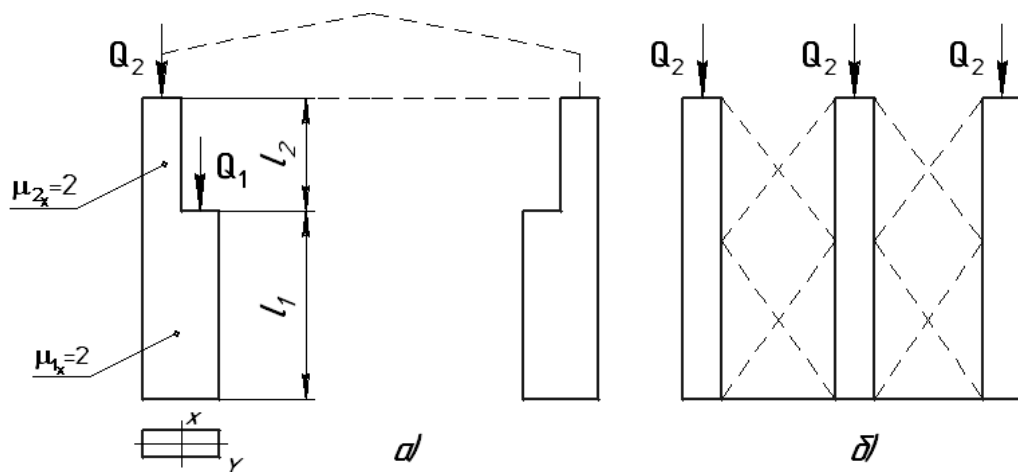
6 У з'єднаннях елементів з фрезерованими торцями (в стиках, базах колон і т. ін.) вважається, що стискаюча сила цілком передається через торці.

7 При відцентровому стисканні частин конструкції зварні шви або заклепки, болти зазначених з'єднань перевіряються на найбільші напруження від дії згинального моменту, який відповідає мінімальній поздовжній силі.

8 Компонування суцільних колон виконують з ширококутної універсальної сталі стандартних розмірів, не прагнучи до отримання загальних розмірів, кратних 10 мм.

2.2 Розрахунок і конструювання надкранової частини колони

У металевих конструкціях, як правило, застосовують два типи колон: колони постійного і змінного (за висотою) перетину. Вибір типу перетину колони визначають в процесі аналізу схеми споруди, для якої призначена металлоконструкція [1,2, 4, 7]. В нашому випадку підкранова колона має змінний перетин і складається з двох частин – надкранової (із заданою довжиною l_2) і підкранової (з довжиною l_1) (рис. 2.1).



а – поперечний розріз прольоту цеху; б – установка і закріплення колони вздовж прольоту; μ_{1x} і μ_{2x} – коефіцієнти, що характеризують спосіб закріплення частин колони в площині рами

Рисунок 2.1 – Схема установки колони

2.2.1 Визначення розрахункової довжини

У площині рами (рис. 2.2, а) верхня частина колони працює як стійка із закладенням у основі, що не закріплена вгорі, тому при втраті стійкості вона згинається, як показано на рис. 2.2, а, і на її довжині утворюється четверта частина хвилі, отже:

$$\mu_{2x} = \frac{2l_2}{l_2} = 2, \quad (2.2)$$

де μ – коефіцієнт, що залежить від способу закріплення кінців стержня.

З площини рами верхня частина колони працює як стійка із закладенням у основі і закріплена шарнірно вгорі, тому при втраті стійкості вона згинається, як показано на рис. 2.2, б, і на її довжині утворюється напівхвиля протяжністю $0,7 \cdot l_2$, отже:

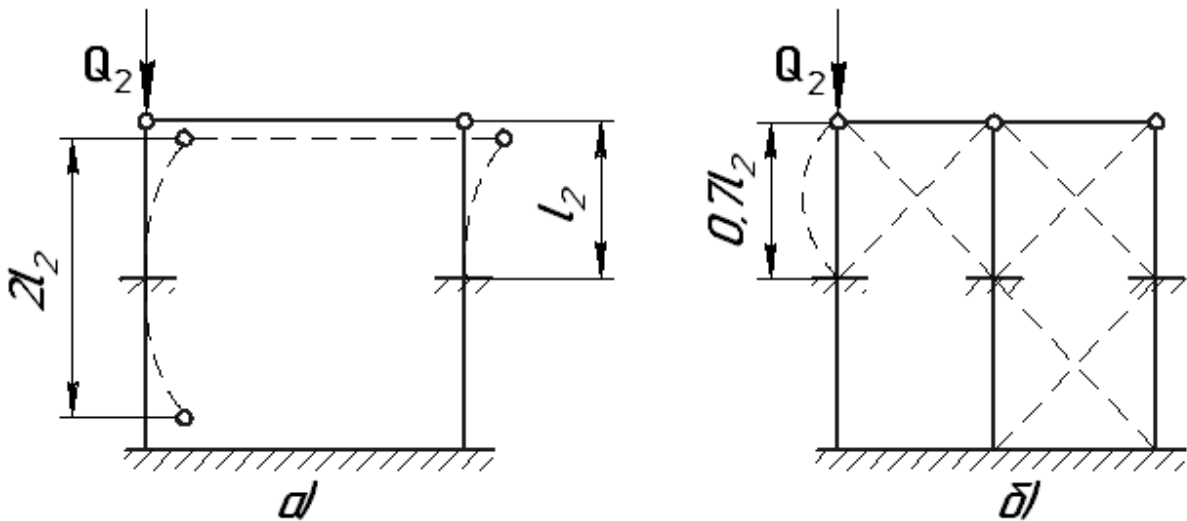
$$\mu_{2y} = \frac{0,7l_2}{l_2} = 0,7 \quad (2.3)$$

тому розрахункова довжина «в площині» рами

$$l_{2x} = \mu_{2x} l_2,$$

а «з площини» -

$$l_{2y} = \mu_{2y} l_2.$$



а – в площині рами ($\mu = 2$); б – з площини рами ($\mu = 0,7$)

Рисунок 2.2 – Схема втрати стійкості надкранової частини колони

Значення коефіцієнтів μ_{1x} і μ_{2y} приймають за табл. А.1, відповідно до способу кріплення опорної бази.

2.2.2 Призначення розмірів поперечного перерізу

Перетин (рис. 2.3) підбирається методом послідовних наближень з урахуванням рекомендацій по вибору Н-подібного перетину, центральностиснутого елемента [2, с.141, 2, с.155], зазвичай $\delta_n \geq 0,8$ см.

Розміри поперечного перерізу визначаються за формулами:

$$A = \left(\frac{1}{15} \dots \frac{1}{25} \right) l_2, \quad (2.4)$$

$$B = (0,7 \dots 1,0)A. \quad (2.5)$$

Доцільно в першу чергу перевірити перетин з мінімальними розмірами.

Для сталей класу С38/23...С52/40 при визначенні товщини пояса необхідно виконувати умову:

$$\delta_n \geq \frac{B}{30}, \quad (2.6)$$

при гнучкості $\lambda = \frac{l}{r} = 50$

$$\delta_n \geq \frac{B}{38}, \quad (2.7)$$

при гнучкості $\lambda = \frac{l}{r} = 100$

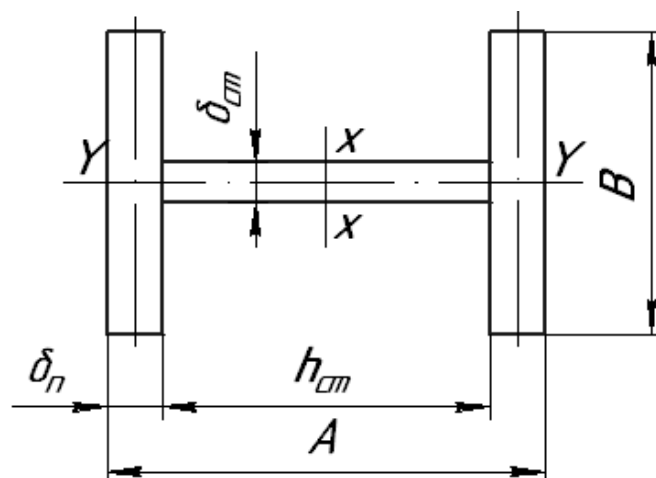


Рисунок 2.3 - Габарити Н-подібного перетину

Попередньо товщина стінки вибирається за співвідношенням

$$K_{\text{ст}} = \frac{h_{\text{ст}}}{\delta_{\text{ст}}} = 80 \dots 120, \quad (2.8)$$

але завжди $\delta_{\text{ст}} \geq 0,6 \text{ см}$ і $\delta_{\text{ст}} \leq \delta_{\text{п}}$.

2.2.3 Визначення геометричних характеристик перерізу

Площа поперечного перерізу підкранової частини балки

$$F = 2b_{\text{п}}\delta_{\text{п}} + h_{\text{ст}}\delta_{\text{ст}}. \quad (2.9)$$

Момент інерції

$$I_x = \frac{\delta_{\text{ст}}h_{\text{ст}}^3}{12} + 2F_{\text{п}} \left(\frac{A}{2} - \frac{\delta_{\text{п}}}{2} \right)^2, \quad (2.10)$$

$$I_y = 2 \frac{\delta_{\text{п}}b_{\text{п}}^3}{12}. \quad (2.11)$$

момент опору

$$W_x = \frac{2I_x}{A}, \quad W_y = \frac{2I_y}{b_{\text{п}}} \quad (2.12)$$

2.2.4 Визначення гнучкості надкранової частини

Для елементів суцільного перерізу розрахункові гнучкості λ визначають в двох головних площинах, відповідних осям X-X і Y-Y.

У площині рами

$$\lambda_x = \frac{l_{2x}}{r_x}, \quad r_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}}, \quad (2.13)$$

де l_{2x} – розрахункова довжина надкранової частини колони в площині;
 r_x – радіус інерції перерізу відносно осі X-X.

З площини рами

$$\lambda_y = \frac{l_{2y}}{r_y}, \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}} \quad (2.14)$$

де r_y - радіус інерції перерізу відносно осі Y-Y.

Перевіряємо відповідність λ_x і λ_y нормам (табл. додатку Б.2, Б.3), за даними табл. Б.4, Б.5 знаходимо коефіцієнти подовжнього вигину φ_x і φ_y .

2.2.5 Перевірка загальної стійкості

Перевірку виконують у двох площинах:

$$\sigma_x = \frac{Q_2}{\varphi_x F} \leq R \text{ і } \sigma_y = \frac{Q_2}{\varphi_y F} \leq R \quad (2.15)$$

де R – розрахунковий опір матеріалу, МПа (кН/см²).

2.2.6 Перевірка місцевої стійкості стінки

Гнучкість стінки колони перевіряємо за формулою, яка враховує вплив загальної стійкості стійки λ на втрату місцевої стійкості стінки. При дотриманні нерівності (2.15) втрата місцевої стійкості двотаврового перетину відбувається тільки після втрати загальної стійкості стінки:

$$K_{ст} = \frac{h_{ст}}{\delta_{ст}} \leq 40 \sqrt{\frac{21000}{R}} + 0,4\lambda_{max} \leq 75, \quad (2.16)$$

де $h_{ст}$ – висота стінки, см;

R – розрахунковий опір сталі, Н/см²;

$\delta_{ст}$ – товщина стінки, см;

λ_{max} – найбільша гнучкість стійки (λ_x або λ_y).

У разі використання в перерізі швелера, труби або прямокутника у формулі (2.16) коефіцієнт при λ_{max} приймають рівним 0,2.

Якщо нерівність не виконується, на стінці необхідно встановити подовжні парні ребра жорсткості. Для зниження трудомісткості виготовлення колони подовжні ребра допускається не ставити, в цьому випадку в розрахунковий переріз при визначенні σ вводяться площі поперечного перерізу полиці і крайні ділянки стіни товщиною $\delta_{ст}$ і довжиною $n \cdot \delta_{ст}$, з кожного боку (рис. 2.4). Значення коефіцієнта n призначається залежно від класу сталі: для С38/23 - $n = 15$; С44/29, С46/33 - $n = 14$; С52/40 - $n = 13$; С70/60 - $n = 12 (n \cdot \delta_{ст})$

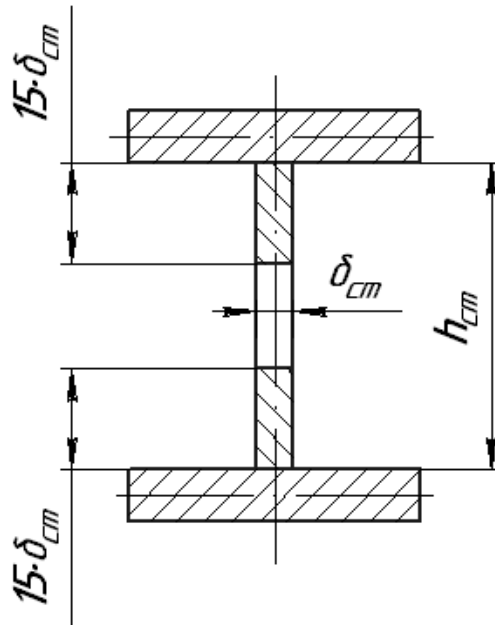


Рисунок 2.4 – Перетин колони з ділянками стінки, що враховуються при розрахунках

2.2.7 Конструювання і розміщення поперечних і поздовжніх ребер

При $\frac{h_{ст}}{\delta_{ст}} \geq 70$ необхідно ставити поперечні ребра для збільшення крутильної жорсткості стійки. В цьому випадку приймаються такі розміри:

– ширина ребра

$$b_p \geq \frac{h_{ст}}{30} + 40; \quad (2.17)$$

– товщина

$$\delta_p \geq \frac{b_p}{15}. \quad (2.18)$$

Відстань між ребрами має бути не менше

$$d = (2,5 \dots 3,0)A. \quad (2.19)$$

число ребер

$$n = \frac{l_2}{d} - 1, \quad (2.20)$$

де l_2 – геометрична довжина надкранової частини колони.

При $\frac{h_{ст}}{\delta_{ст}} \geq 75$ необхідно ставити парні поздовжні ребра для забезпечення місцевої стійкості стінки, розміри ребер приймаються:

$$\text{– ширина ребра} \quad b'_p \geq 10h_{ст}; \quad (2.21)$$

$$\text{– товщина} \quad \delta'_p \geq \frac{3}{4} \delta_{ст}. \quad (2.22)$$

Поздовжні ребра рекомендується включати в розрахунковий переріз стійки.

Конструкція кутових швів залежить від умов їх виконання (заводські або монтажні шви) і від товщини деталей, що з'єднуються.

Монтажні кутові шви конструюють таким чином, щоб отримати мінімальну кількість стельових швів. Кутові шви працюють головним чином на зріз по площині, яка проходить через бісектрису прямого кута (рис. 2.5).

При навантаженні стійки центральноприкладеною силою, поперечна сила $Q = 0$. Насправді в стійці можуть існувати невеликі викривлення осі і незначні ексцентриситети прикладання сили. Ці обставини викликають появу поперечної сили. На підставі численних експериментів при навантаженні стійки поздовжньою силою умовну поперечну силу, яка виражається в кН, допускається визначати за емпіричною формулою

$$Q_{ум} = 0,2 F, \quad (2.23)$$

де F – площа поперечного перерізу стійки, см^2 .

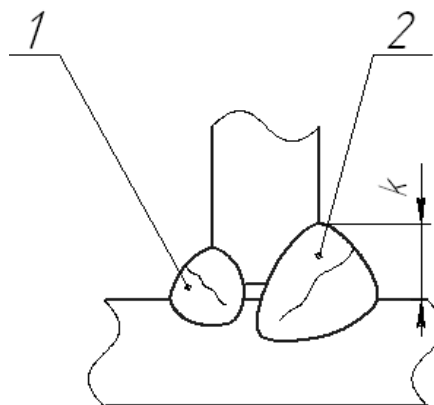


Рисунок 2.5 – Розрахункові площини зрізу при ручному (1) і автоматичному (2) зварюванні

Цією формулою слід користуватися при розрахунку стійок з низьковуглецевої сталі, а також зі сплаву АМг6. При розрахунку

конструкцій зі сталі підвищеної міцності і сплаву Д16Т доцільніше використовувати формулу

$$Q_{ум} = 0,4 F. \quad (2.24)$$

Якщо в стійці виникає реальна поперечна сила Q (рис. 2.6), то вона дорівнює горизонтальній реакції:

$$Q = \frac{P \cdot e}{l}. \quad (2.25)$$

Коли в стійках діють реальні поперечні сили (Q) більші, ніж умовні, визначені за формулами (2.21), (2.22), то для розрахунків беруть реальну поперечну силу (Q)

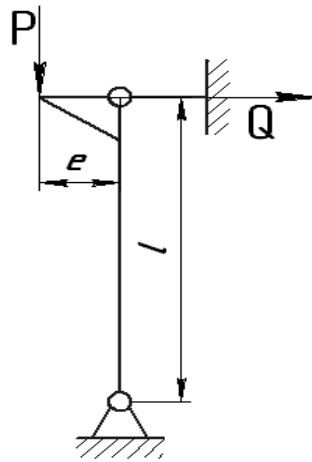


Рисунок 2.6 – Схема навантаження конструкції

Дотичні напруження в таких швах визначають за формулою

$$\tau = \frac{Q S}{2 I \beta_K}, \quad (2.26)$$

де I – момент інерції всього перетину щодо осі $Y - Y$, см^4 ;

S – статичний момент площі пояса, см^3 (рис. 2.7, а, б).

Для конструкції, зображеної на рис. 2.7, в, дотичні напруження в поздовжньому шві визначаються за формулою

$$\tau = \frac{Q S}{2 I \delta}, \quad (2.27)$$

де F – площа півкільця, см^2 ;

$$S = F e$$

e – відстань від центра ваги півкільця до центру труби, см .

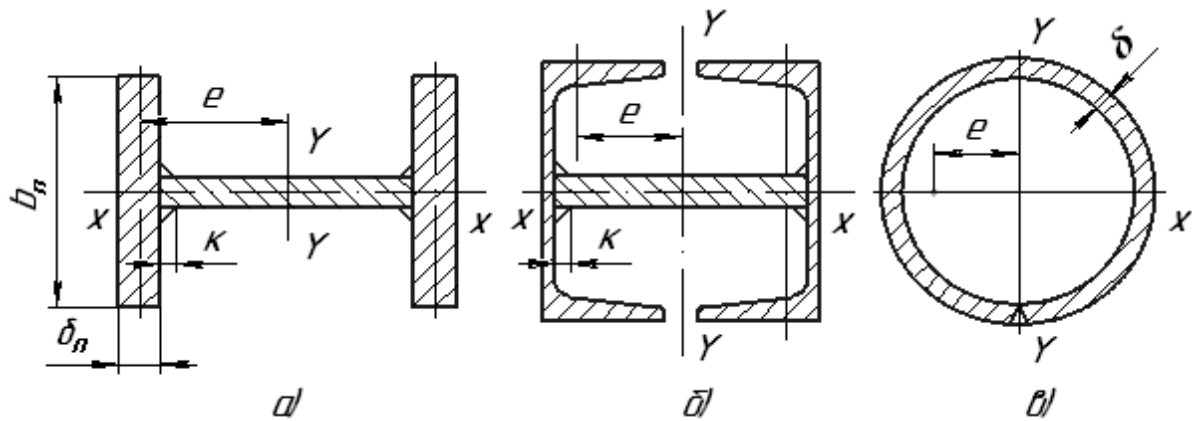


Рисунок 2.7 – Поперечні перерізи стійок

У більшості випадків напруження в швах від поперечної сили виявляються досить незначними. Проте, величину катета шва слід приймати відповідно до правил.

2.2.8 Основні правила конструювання кутових швів

1 Мінімальні та максимальні розміри катета швів (рис. 2.8) приймаються $K_{\min} \geq 4$ мм, Крім зварювання деталей товщиною менше 4 мм і не менше даних, наведених в додатку Б.6. Максимальний катет вибирають виходячи з умови $K_{\max} \leq 1,2\delta_{\min}$, де $\delta_{\min}$ – товщина більш тонкої деталі.

Обмеження максимальної товщини шва обумовлено небезпекою пропалу основного металу.

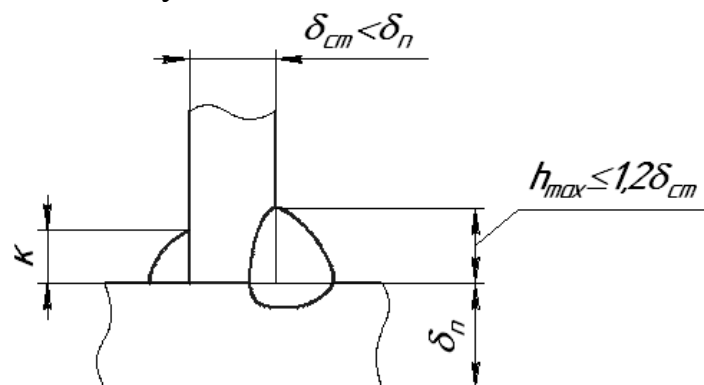


Рисунок 2.8 – Максимальна і мінімальна висоти катета кутових швів

2 Типові розміри катетів кутових швів $K = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 30$ мм.

3 Розрахункові довжини зварних швів приймаються:

а) мінімальна довжина кутового шва – 40 мм, але не менше $4K$;

б) максимальна розрахункова довжина кутового шва 60К, крім випадків, коли зусилля передається рівномірно уздовж всієї довжини шва.

4 Кутові шви при статичних навантаженнях, як лобові, так і флангові, повинні мати співвідношення катетів 1:1. При динамічних навантаженнях – флангові шви 1:1, а лобові – 1:1,5.

2.3 Розрахунок і конструювання підкранової частини колони

Підкранова частина колони має складений перетин (наскрізний) – зовнішня гілка і підкранова (рис. 2.9).

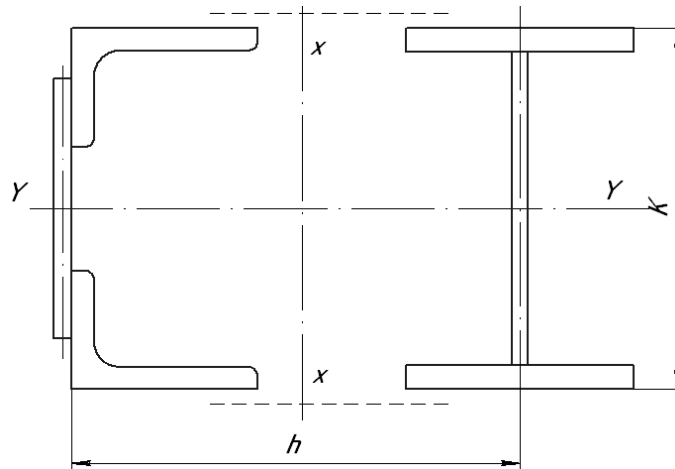


Рисунок 2.9 – Габаритні розміри і форма перетину підкранової частини колони

Зовнішню гілку рекомендовано виготовляти з куточків або швелера, підкранову – з двотавра (або інші варіанти формування наскрізного перетину в залежності від величини і схеми навантаження).

2.3.1 Визначення розрахункових довжин колони «в площині» і «з площини» рами

Розрахункові довжини визначаються згідно з п. 2.2.1 та рис. 2.2:
– «в площині» рами:

$$l_{1x} = \mu_{1x} l_1, \quad (2.28)$$

де l_1 – геометрична довжина підкранової частини, см;

μ_{1x} – коефіцієнт, який залежить від способу закріплення кінців підкранової частини;

– «з площини» рами:

$$l_{1y} = \mu_{1y} l_1. \quad (2.29)$$

2.3.2 Призначення форми і розмірів поперечного перерізу підкранової частини колони

В наведеному прикладі поперечний переріз нижньої частини колони складається з двох гілок: підкранова гілка – зварний двотавр; зовнішня – два куточки, з'єднані між собою прокатним листом. Для того щоб забезпечити спільну роботу гілок колони (стійки) складеного перерізу, їх з'єднують планками або розкідними ґратами (див. рис. 2.12), а також діафрагмами.

Габаритні розміри перетину (див. рис. 2.9) підбираються методом послідовних наближень з використанням формул:

$$h = \left(\frac{1}{13} \dots \frac{1}{17} \right) l_1; K = \left(\frac{1}{20} \dots \frac{1}{30} \right) l_1 \quad (2.30)$$

2.3.3 Визначення зусиль в підкрановій і зовнішній гілках колони (рис. 2.10)

У підкрановій гілці зусилля мають значення:

$$N_{\text{пг}} = Q_1 + Q_2 \frac{a}{h}; \quad a = \frac{A}{2}, \quad (2.31)$$

де A – висота двотавру надкранової частини колони, м.

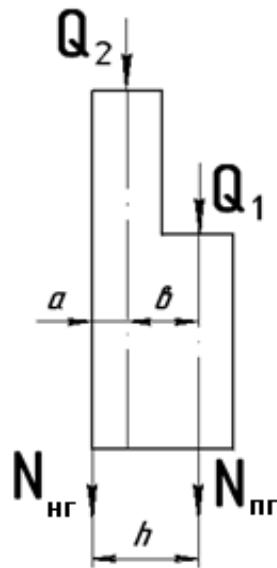


Рисунок 2.10 – Схема визначення зусиль в гілках колони

У зовнішній гілці:

$$N_{\text{нв}} = Q_2 \frac{b}{h}; \quad b = h - a. \quad (2.32)$$

2.3.4 Визначення необхідної площі перетину гілки колони

Задаємося гнучкістю підкранової частини колони із площини рами:
 $\lambda_y = 70$ ($\varphi_y = 0,77$).

Тоді необхідна площа підкранової ($F_{\text{пг}}^{\text{н}}$) і зовнішньої гілок визначається за формулами ($F_{\text{нг}}^{\text{н}}$)

$$F_{\text{пг}}^{\text{н}} = \frac{N_{\text{пг}}}{\varphi_y R}; \quad F_{\text{нг}}^{\text{н}} = \frac{N_{\text{нг}}}{\varphi_y R} \quad (2.33)$$

2.3.5 Підбір перерізу підкранової гілки (рис. 2.11)

Товщина полки $\delta_{\text{п}}$, ширина полки $b_{\text{п}}$ і товщина стінки $\delta_{\text{ст}}$ призначаються за умовами (2.5) ... (2.7), при цьому $\delta_{\text{ст}} \leq \delta_{\text{п}}$ і $\delta_{\text{ст}} \geq 0,8$ см аналогічно перетину надкранової частини колони.

Гнучкість стінки перевіряється за формулою (2.15). При $K_{\text{ст}} \geq 75$ – стінка зміцнюється поздовжніми парними ребрами, розміри яких визначаються з виразів (2.19), (2.20) з урахуванням рекомендацій розділів 2.2.6 і 2.2.7.

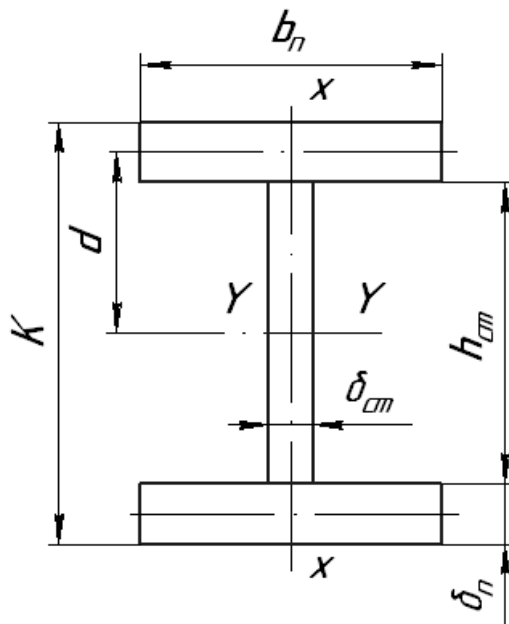


Рисунок 2.11 – Габаритні розміри і форма перетину підкранової гілки

2.3.6 Визначення геометричних характеристик перерізу підкранової гілки

Площа поперечного перерізу:

$$F = 2b_{\text{п}}\delta_{\text{п}} + h_{\text{ст}}\delta_{\text{ст}} + 2b'_{\text{р}}\delta'_{\text{р}}, \quad (2.34)$$

де $b'_{\text{р}}$, $\delta'_{\text{р}}$ – ширина і товщина ребра жорсткості.

Момент інерції:

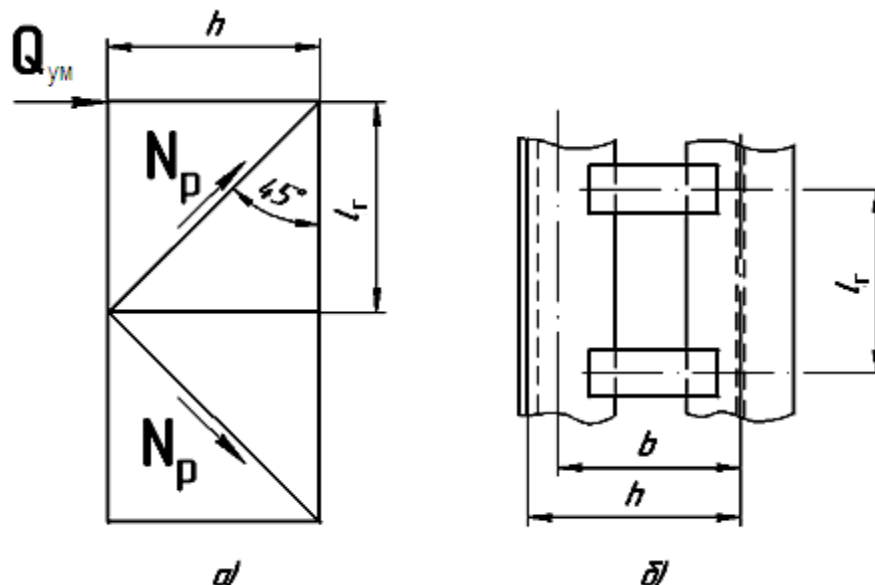
$$I_x = 2 \frac{\delta_{\text{п}} b_{\text{п}}^3}{12}; I_y = \frac{\delta_{\text{ст}} h_{\text{ст}}^3}{12} + 2\delta_{\text{п}} b_{\text{п}} d^2 \quad (2.35)$$

Радіус інерції:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{F_{\text{пв}}}}; r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F_{\text{пв}}}} \quad (2.36)$$

2.3.7 Перевірка гнучкості і напружень гілки між вузлами решітки

Щоб забезпечити спільну роботу гілок колони, їх з'єднують планками або розкісними ґратами. При $h \geq 0,6\text{м}$ застосовують тільки розкісні ґрати (рис. 2.12), при $h < 0,6\text{м}$ використовують сполучні планки (рис. 2.12, б).



l_g – довжина гілки; N_p – зусилля в розкосі

Рисунок 2.12 – Схема розташування розкісних ґрат (а) та з'єднуючих планок (б)

Гнучкість окремих гілок не повинна бути більше приведеної гнучкості всього стержня $\lambda_{пр}$.

На ділянці між планками гнучкість гілки між вузлами

$$\lambda_{гх} = \frac{l_{г}}{r_{х}} \leq 40, \quad (2.37)$$

де $l_{г}$ – довжина гілки, см;

$r_{х}$ – радіус інерції перерізу гілки відносно осі х-х.

Між вузлами кріплення розкосів решітки гранична гнучкість – $\lambda_{гх} \leq 80$

У розрахунках береться більше значення λ з двох – $\lambda_{х}$, $\lambda_{у}$, за яким в табл. Б.4, Б.5 (див. Додаток Б) визначають коефіцієнт поздовжнього вигину гілки $\varphi_{г}$.

Напруження в гілці

$$\sigma_{пг} = \frac{N_{пг}}{\varphi_{г} F_{пг}}. \quad (2.38)$$

2.3.8 Підбір перерізу зовнішньої гілки

Намічаємо перетин, наприклад з двох нерівнобічних куточків і листа (рис. 2.13).

Куточок вибираємо, виходячи з $0,5F_{нг}^H$

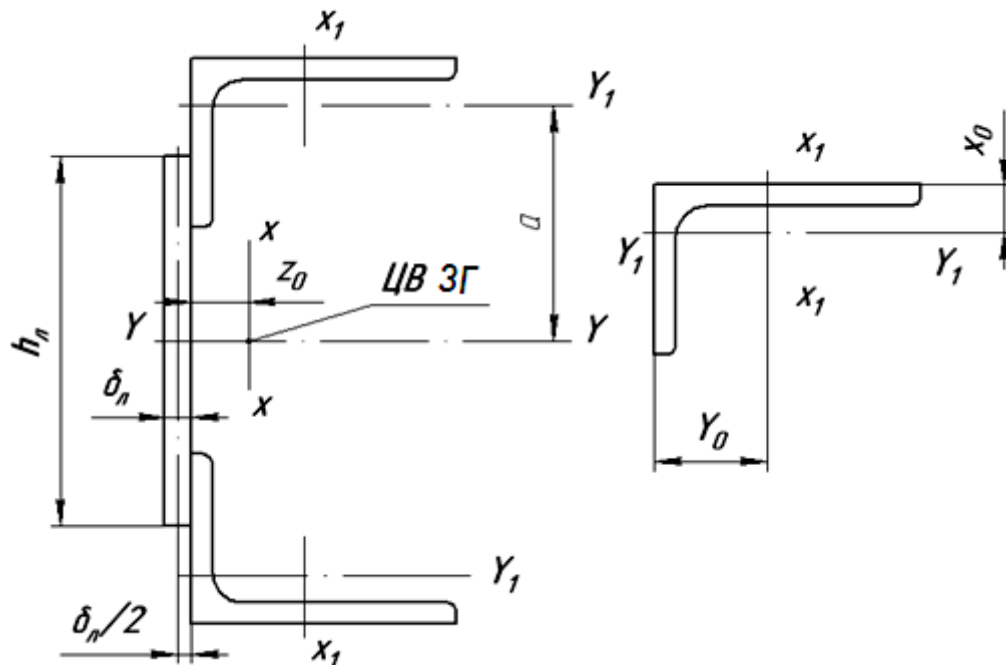


Рисунок 2.13 – Габаритні розміри і форма перетину зовнішньої гілки

Ширину листа визначають з конструктивних міркувань, при цьому можна керуватися виразом

$$(h_{\text{л}} \leq K - 6), \text{ см}$$

де K – габаритний розмір підкранової частини колони.

Товщину листа призначають в межах $\delta_{\text{л}} \leq 4 \dots 6 \text{ мм}$

З сортаменту виписуємо характеристики куточка: $B \times b \times s$; $F_{\text{кут}}$; X_0 ; Y_0 ; I_{x1} ; I_{y1} ; g_{x1} ; g_{y1} .

2.3.9 Визначення центра ваги зовнішньої гілки

Визначимо відстань від центру ваги зовнішньої гілки до краю кутика по обуху (рис.2.13):

$$z_0 = \frac{2F_{\text{кут}}Y_0 + \delta_{\text{л}}h_{\text{л}}0,5\delta_{\text{л}}}{2F_{\text{кут}} + \delta_{\text{л}}h_{\text{л}}}, \quad (2.38)$$

де $\delta_{\text{л}}$ – товщина листа, см;

$h_{\text{л}}$ – ширина листа, см.

2.3.10 Визначення геометричних характеристик поперечного перетину зовнішньої гілки

Площа поперечного перерізу:

$$F_{\text{нг}} = 2F_{\text{кут}} + \delta_{\text{л}}h_{\text{л}}. \quad (2.39)$$

Момент інерції:

$$I_y = \frac{\delta_{\text{л}}h_{\text{л}}^3}{12} + 2(I_{y1} + F_{\text{кут}}a^2); \quad (2.40)$$

$$I_x = h_{\text{л}}\delta_{\text{л}}\left(\frac{\delta_{\text{л}}}{2} + z_0\right)^2 + 2[I_{x1} + F_{\text{кут}}(y_0 - z_0)^2]. \quad (2.41)$$

Радіус інерції:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{F_{\text{нг}}}}; r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F_{\text{нг}}}} \quad (2.42)$$

2.3.11 Перевірка гнучкості і напруження гілки між вузлами решітки

Гнучкість гілки:

$$\lambda_{\Gamma\chi} = \frac{l_{\Gamma}}{r_{\chi}} \leq 40. \quad (2.43)$$

Якщо одна із умов (2.32) або (2.40) не виконується, то необхідно внести зміни в геометричні характеристики перерізу або довжину гілки.

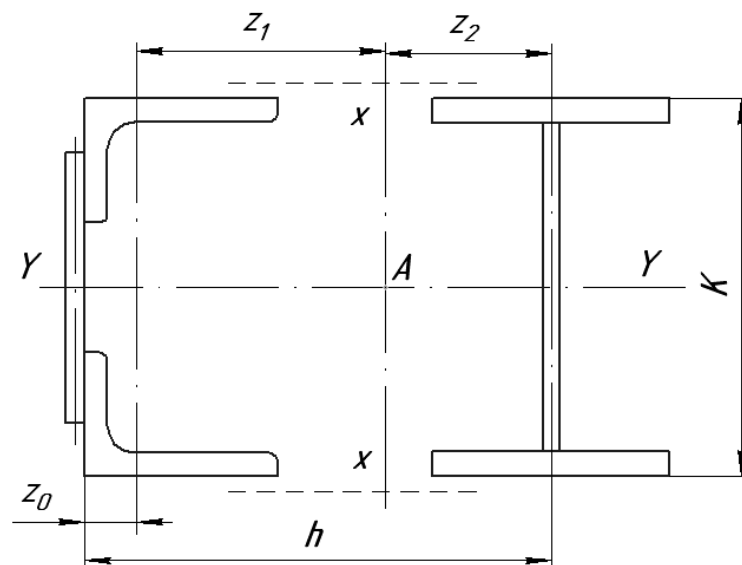
За даними, наведеними в табл. А.4, А.5 (див. Додаток Б), визначаємо коефіцієнт поздовжнього вигину (φ_{Γ}).

Умова стійкості зовнішньої гілки колони:

$$\sigma_{\text{нг}} = \frac{N_{\text{нг}}}{\varphi_{\Gamma} F_{\text{нг}}}. \quad (2.44)$$

2.3.12 Визначення центра ваги поперечного перетину підкранової частини колони (рис. 2.14)

Центром ваги перетину є точка А, відносно якої сумарний момент ваги (сил) дорівнює нулю.



А – центр ваги колони

Рисунок 2.14 – Схема визначення центру ваги поперечного перетину підкранової частини колони

Координати центра ваги визначаються відносно осі Х-Х за формулами:

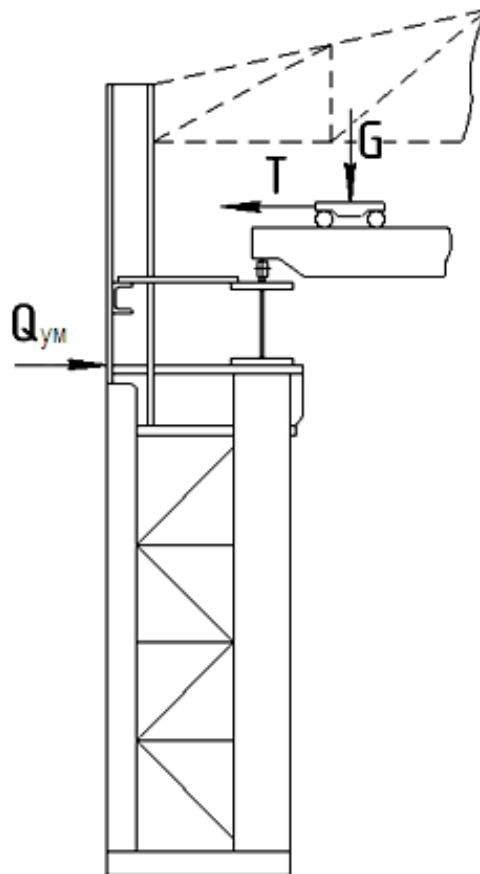
$$z_1 = \frac{F_{\text{пр}}(h-z_0)}{F_{\text{пр}}+F_{\text{нр}}}; \quad (2.45)$$

$$z_2 = h - (z_1 + z_0). \quad (2.46)$$

Наявність Z_1 і Z_2 , як ексцентриситету діючих в гілках зусиль, сприяє утворенню дії згинаючого моменту із площини перетину.

2.3.13 Вибір розкісної ґратки

Стержні решітки колони виготовляють з окремих рівнополічних куточків і розраховують на міцність від дії горизонтальних навантажень (рис. 2.15), наприклад дії гальмівних сил T , які виникають при гальмуванні вантажного візка крана і т. п.



$Q_{\text{ум}}$ – умовна перерізуюча сила; T – горизонтальне навантаження від гальмування кранового візка з вантажем, G – вага кранового візка

Рисунок 2.15 – Схема розрахунку стержнів решітки на міцність від дії горизонтальних навантажень

При відсутності горизонтальних навантажень міцність решітки перевіряється від дії умовної перерізуючої сили $Q_{\text{ум}}$, яка виникає від дії

поздовжньої сили $Q_{ум}$. Величина сили залежить від класу сталі [2, с. 155]. Для сталі класу С 38/23 її можна розрахувати відповідно до формули (2.21), в цьому випадку площа перерізу колони: $F_k = F_{пг} + F_{зг}$

Зусилля і напруження в розкосі визначаються (див. рис. 2.12) за формулою

$$N_p = \frac{Q_{ум}}{2\cos\alpha}; \quad \sigma_p = \frac{N_p}{\varphi_p F_p}, \quad (2.47)$$

де $\cos\alpha$ – косинус кута між вертикальною віссю стійки і розкосом;

F_p – площа поперечного перерізу розкосу, см²;

$\frac{Q_{ум}}{2}$ – половина перерізуючої сили, фактичної або умовної (при парній решітці);

φ_p – коефіцієнт поздовжнього вигину, який відповідає гнучкості розкосу.

Кут α не може виходити за межі 35...65°. Оптимальні значення кута α для розкісних ґраток з розпірками $45 \pm 10^\circ$, а ґрати без розпірок $\alpha = 50 \pm 10^\circ$.

Зусилля, що діє в розпірці, визначають:

$$N_{розп} = \frac{Q}{2}. \quad (2.48)$$

Перетин розкоса визначається з виразу

$$F_p = \frac{N_p}{[\sigma]\varphi_p},$$

або за його радіусом інерції, уточнюючи площу перетину за сортаментом.

Наприклад, радіус інерції розкоса визначають із виразу

$$r_p = \frac{l'_p}{\lambda},$$

а розрахункову довжину розкоса -

$$l'_p = l_p \mu, \quad (2.49)$$

де l'_p – розрахункова довжина розкосу, см;

l_p – геометрична довжина розкосу, см;

μ – коефіцієнт, який залежить від способу закріплення кінців стержня;

λ – гранична гнучкість стиснутих стержнів розкосів решіток стійки ($\lambda = 150$).

Для елементів розкісної решітки застосовують рівнополичні куточки.

Кріплення куточків до пластини або до іншого елемента виконують за допомогою лобового і флангових швів (рис. 2.16). Пластина приварюється встик до полиці кутика.

Катети призначають для лобового шва і шва по перу з умови

$$K_{\text{л}} = R_{\text{п}} = (\delta_{\text{кут}} - 2) \text{ мм},$$

де $\delta_{\text{кут}}$ – товщина полиці куточка, мм.

Катет шва по обушка

$$K_{\text{об}} = 1,2\delta,$$

де δ – менша товщина елементів, які зварюються, мм.

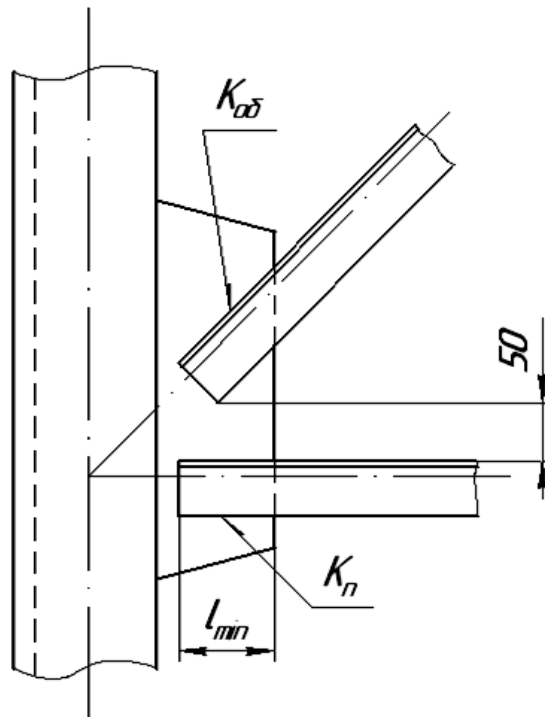


Рисунок 2.16 - Кріплення елементів розкідної решітки

Остаточне значення катета беруть з урахуванням рекомендацій п. 2.2.8.

Величина напуску повинна забезпечувати мінімальну довжину шва (40...50) мм.

Перевірку міцності швів можна здійснити за формулами:

$$\tau_{\text{об}} = \frac{0,7N_{\text{ф}}}{\beta K_{\text{об}} l_{\text{об}}} \leq [\tau']; \tau_{\text{п}} = \frac{0,3N_{\text{ф}}}{\beta K_{\text{п}} l_{\text{п}}} \leq [\tau'] \quad , \tau_{\text{л}} = \frac{N_{\text{л}}}{\beta K_{\text{л}} l_{\text{л}}} \leq [\tau'] \quad (2.47)$$

де $N_{\text{ф}}$, $N_{\text{л}}$ – сили, які сприймаються фланговими швами (по перу і по обушку) та лобовим відповідно, кН;

β – коефіцієнт, який враховує спосіб зварювання;

$l_{об}, l_{п}, l_{л}$, – довжини швів по обушка, перу і лобового, см.

Поясні шви двотаврів надкранової і підкранової частин призначають суцільними з повним проваром, мінімальний катет шва $K = 4$ мм. Міцність перевіряють, виходячи з умови

$$\tau = \frac{Q_{ум}S}{2IK} \leq R'_{зр}, \quad (2.50)$$

де $Q_{ум}$ – умовна перерізуюча сила, кН;

S – статичний момент перетину двотавра, см³;

I – більший момент інерції двотавра, см⁴;

K – катет зварного шва, см;

$R'_{зр}$ – розрахунковий опір зварного шва на зріз, МПа (кН/см²).

Планки застосовують при невеликому розносі гілок при $h \leq 0,6$ м. При великих розносах планки не економічні.

Планки повинні бути жорсткими, тому:

– висота планки
$$h_{пл} \geq \frac{b}{2}; b = z_1 + z_2 \quad (2.51)$$

– товщина планки
$$\delta_{пл} \geq \frac{b_0}{2}; b_0 = h - B_{кут} - \frac{b_{п}}{2} \quad (2.52)$$

де $B_{кут}$ – ширина полки куточка, см;

товщину планки $\delta_{пл}$ приймають не менше 6...8 мм.

При відсутності горизонтальних навантажень міцність сполучних планок перевіряється за умовною перерізуючою силою $Q_{ум}$

В кожній планці виникає внутрішнє перерізуюче зусилля T . При парних планках воно дорівнює

$$T = \frac{Q_{ус}l_{Г}}{2b}. \quad (2.53)$$

Максимальний момент в планці:

$$M_{пл} \approx T \frac{b}{2} = \frac{Q_{ум}l_{Г}}{4}. \quad (2.54)$$

Уточнюємо значення висоти планки, отримане за формулою (2.51):

$$h_{пл} = \sqrt{\frac{6M_{пл}}{[\sigma]\delta_{пл}}}. \quad (2.55)$$

Після коригування висоти планки визначаємо напруження в ній:

$$\sigma = \frac{M_{пл}}{W} = \frac{6M_{пл}}{\delta_{пл}h_{пл}^2} \leq [\sigma]. \quad (2.56)$$

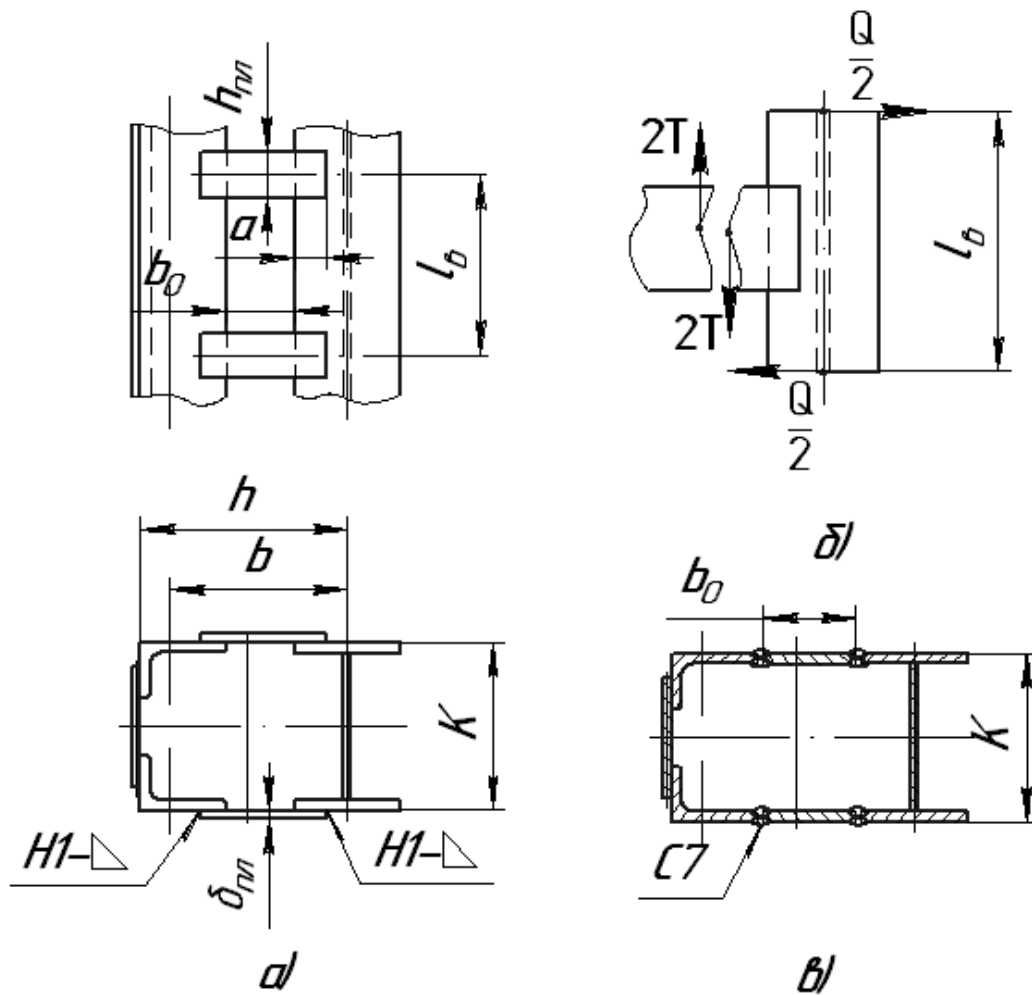


Рисунок 2.17 – Способи кріплення з'єднувальних планок

У стійках з малим розносом гілок перетин планки виходить невеликим і його необхідно перевіряти на зріз від сили T :

$$\tau_T = 1,5 \frac{T}{\delta_{пл}h_{пл}} \leq [\tau]. \quad (2.57)$$

Якщо планки приварюють внапуск (рис. 2.17, а), величину напуску планок беруть $a = 40 \dots 50$ мм. Катет кутових швів, що прикріплюють планки, призначають виходячи з умови $K = (0,5 \dots 0,8) \delta_{пл}$

Шов, що прикріплює планку, перевіряють за напруженнями від дії перерізуючої сили T ($\tau_Q = \frac{T}{0,7Kh_{пл}}$) і моменту $M_T = M_{пл} \approx T \frac{b}{2} = \frac{Q_{ум}l_T}{4}$

Напруження від моменту рекомендують визначати за методом розчленування на складові:

$$\tau_M = \frac{M_T}{0,7Ka(h_{пл}+K)+\frac{0,7Kh_{пл}^2}{6}}; \quad (2.58)$$

$$\tau_{рез} = \sqrt{\tau_Q^2 + \tau_M^2} \leq [\tau']. \quad (2.59)$$

Якщо планки приварені встик (рис. 2.17, в), то величина моменту становитиме:

$$M_T = T \frac{b_0}{2}. \quad (2.60)$$

Тоді шов необхідно перевірити за формулою

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_M^2 + 3\tau_T^2} \leq [\sigma']_p. \quad (2.61)$$

2.3.14 Визначення величини згинального моменту в площині рами

Так як сили Q_1 і Q_2 прикладені ексцентрично відносно центра ваги колони (рис. 2.18), в ній буде діяти згинальний момент.

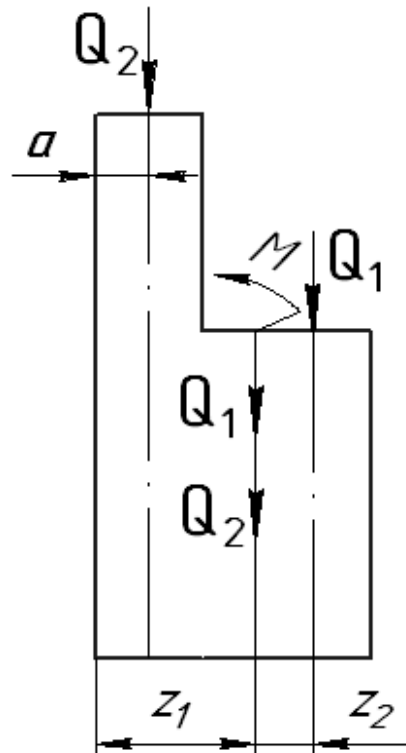


Рисунок 2.18 - Схема визначення згинального моменту M в колоні

Для визначення величини цього моменту, умовно перенесемо сили Q_1 і Q_2 в центр ваги колони:

$$M = Q_1 z_1 - Q_2 (z_1 - a); a = \frac{A}{2} \quad (2.62)$$

де A – висота двотавру надкранової частини колони, см (див. рис. 2.3).

2.3.15 Визначення геометричних характеристик поперечного перетину підкранової частини колони

Площа перетину

$$F_k = F_{\text{пг}} + F_{\text{зг}}. \quad (2.63)$$

Момент інерції:

$$I_x = (I_{x_{\text{пг}}} + F_{\text{пг}} z_1^2) + (I_{x_{\text{зг}}} + F_{\text{зг}} z_2^2), \quad (2.64)$$

$$I_y = I_{y_{\text{пг}}} + I_{y_{\text{зг}}}. \quad (2.65)$$

Радіус інерції:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{F_k}}; r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F_k}} \quad (2.66)$$

Гнучкість нижньої частини колони:

$$\lambda_x = \frac{l_{1x}}{r_x}, \lambda_y = \frac{l_{1y}}{r_y} \quad (2.67)$$

У додатку Б [табл. Б.4, Б.5] знаходимо φ_x і φ_y .

Для стійок складеного перерізу, гілки яких з'єднані планками або розкідними ґратами, гнучкість щодо матеріальної осі (перетинає стінки гілки) визначають за формулами (2.65), а щодо вільної осі (перпендикулярної до площини розташування з'єднуючих елементів) - з поступовим зниженням гнучкості.

2.3.16 Визначення приведеної гнучкості підкранової частини

Якщо гнучкість суцільної колони $\lambda = \frac{\mu l}{r}$, то гнучкість колони складеного перерізу з тими ж μ , L , і r буде більше, так як стійки і розкісна решітка значно податливіші, ніж суцільний лист. Стійкість таких колон оцінюють за приведеною гнучкістю.

При використанні розкісної решітки

$$\lambda_{\text{пр}} = \sqrt{\lambda_x^2 + K_1 \frac{F_k}{2F_p}}, \quad (2.68)$$

де λ_x – звичайна гнучкість підкранової частини колони;

F_k – площа поперечного перерізу колони, см^2 ;

F_p – площа поперечного перерізу розкосу, см^2 ;

K_1 – коефіцієнт, який залежить від кута α між розкосом і гілкою (якщо кут $\alpha = 30, 40, 45 \dots 60^\circ$, то K_1 має значення 43, 31, 27 відповідно).

При використанні з'єднувальних планок:

$$\lambda_{\text{пр}} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_r^2}, \quad (2.69)$$

де λ_r – гнучкість гілки по формулі (2.40).

2.3.17 Визначення відносного ексцентриситету прикладання навантаження на підкранову частину і коефіцієнта $\varphi_{\text{вн}}$

Визначаємо відносний ексцентриситет, тобто співвідношення найбільшого напруження від моменту до величини напружень, що виникають від поздовжньої сили:

$$m = \frac{MF}{WN} \text{ або } m = \frac{\sigma_{\text{зг}}}{\sigma_{\text{ст}}} \quad (2.70)$$

При центральному стисканні $\sigma_{\text{зг}} = 0$; $\sigma_{\text{ст}} \neq 0$, а $m = 0$. Зі збільшенням ексцентричності навантаження зростають $\sigma_{\text{зг}}$ і m .

Чим більше ексцентриситет, тим при меншому $\sigma_{\text{кр}}$ втрачається загальна стійкість колони, тому замість звичайного коефіцієнта поздовжнього вигину φ застосовується $\varphi_{\text{вн}} < \varphi$.

Коефіцієнти $\varphi_{\text{вн}}$ використовують для перевірки стійкості позацентрово стиснуто-зігнутих суцільних стрижнів в площині дії моменту, що збігається з площиною симетрії.

У нашому випадку

$$m = \left(\frac{M_x Y_1}{I_x} \right) \left(\frac{F_k}{N} \right) = \frac{\sigma_{зг}}{\sigma_{ст}}, \quad (2.71)$$

де M_x – згинальний момент в площині рами, кН·см;

N – зусилля в найбільш стисненій гілці, кН;

Y_1 – відстань від центра ваги перерізу до найбільш стисненої гілки, см.

Обчислюємо умовну приведену гнучкість:

$$\overline{\lambda}_{пр} = \lambda_{пр} \sqrt{\frac{R}{E}}, \quad (2.72)$$

де R – розрахунковий опір, МПа (кН/см²);

E – модуль Юнга матеріалу колони, МПа (кН/см²).

За знайденими m і $\overline{\lambda}_{пр}$ визначаємо $\varphi_{вн}$ (Табл. А.10).

Тоді напруження в підкрановій частині

$$\sigma = \frac{N_{пг}}{\varphi_{вн} F_k}, \quad (2.73)$$

де N – поздовжнє зусилля, що діє в підкрановій частини колони, кН.

Для збільшення згинально-крутильної жорсткості підкранової частини колони гілки з'єднуються жорсткими поперечними діафрагмами, розташованими через 3...4 м по висоті колони.

У кожній стійці має бути не менше 2 діафрагм. База і оголовки одночасно є і діафрагмами.

Діафрагми можуть бути листовими і гратчастими. Листові діафрагми (рис. 2.19, а) раціонально застосовувати при невеликому розносі гілок (до 0,6 м), їх товщина визначається $\delta_d \geq \frac{b_0}{50}$

Елементи гратчастих діафрагм розраховують за граничною гнучкістю, яка для стиснутих елементів не повинна перевищувати 200, а для розтягнутих (хрестові зв'язки) - 400.

Для забезпечення жорсткості діафрагми рекомендують розташовувати тільки в оточенні планок (посередині висоти планки) або в площині розпірок (рис. 2.19, б, в) розкошу решітки, до яких приварюють діафрагми.

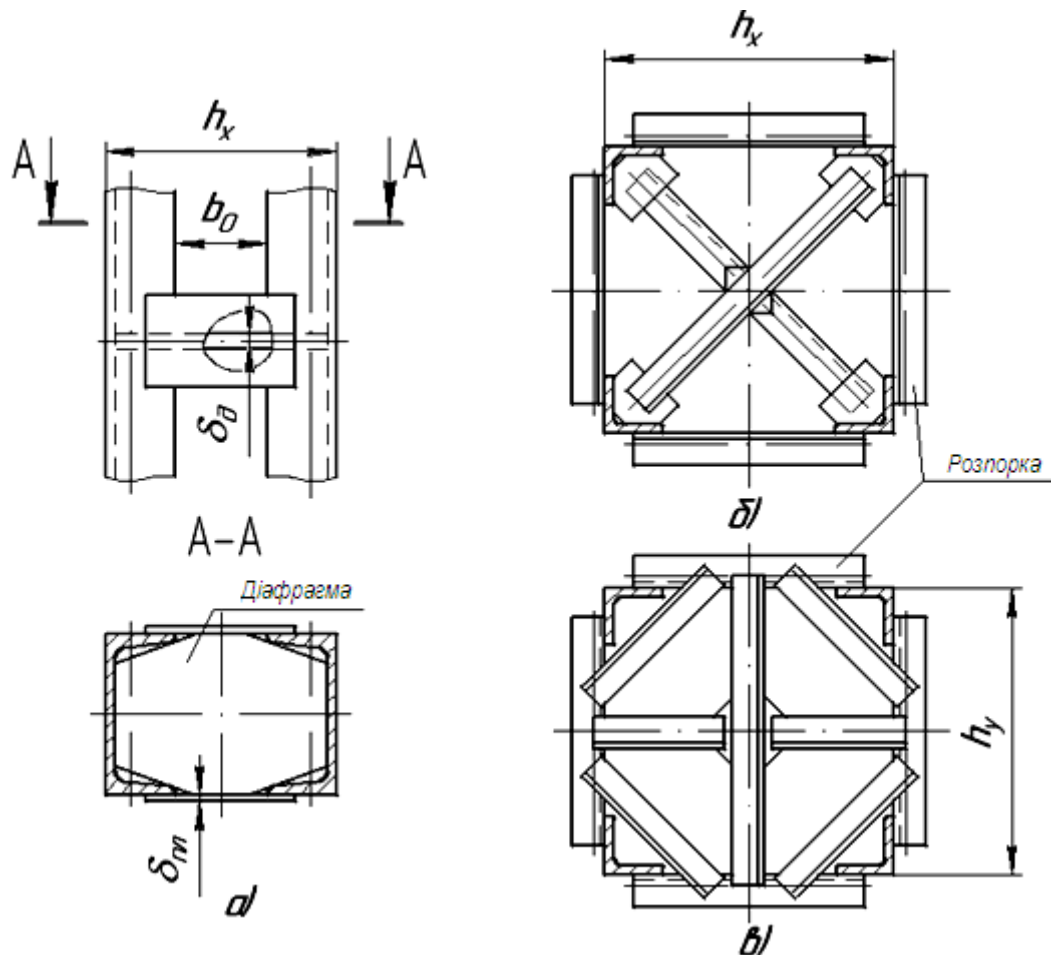


Рисунок 2.19 – Конструкція і розташування діафрагм

2.4 Розрахунок і конструювання необхідних стиків, оголовків і опорної бази колони

Стики стійок розрізняють технологічні, конструктивні та монтажні [2, 4, 7].

Технологічні стики краще виконувати стиковими прямими швами (рис. 2.20, а, б). Як правило, в з'єднаннях встик напруження σ менше $[\sigma]_p \varphi$, тому міцність такого з'єднання забезпечена.

Однак такий стик вимагає ретельної підготовки і розробки крайок. Тому в стійках часто використовують стики з накладками (рис. 2.20, в).

З'єднання цього типу допускаються для конструкцій стійок, що мають наскрізний поперечний переріз. При цьому стикові накладки служать одночасно сполучними планками.

Стик з прокладкою (рис. 2.20, г) частіше застосовують як конструктивний в місці зміни перерізу, або як фланцеве з'єднання (монтажний стик).

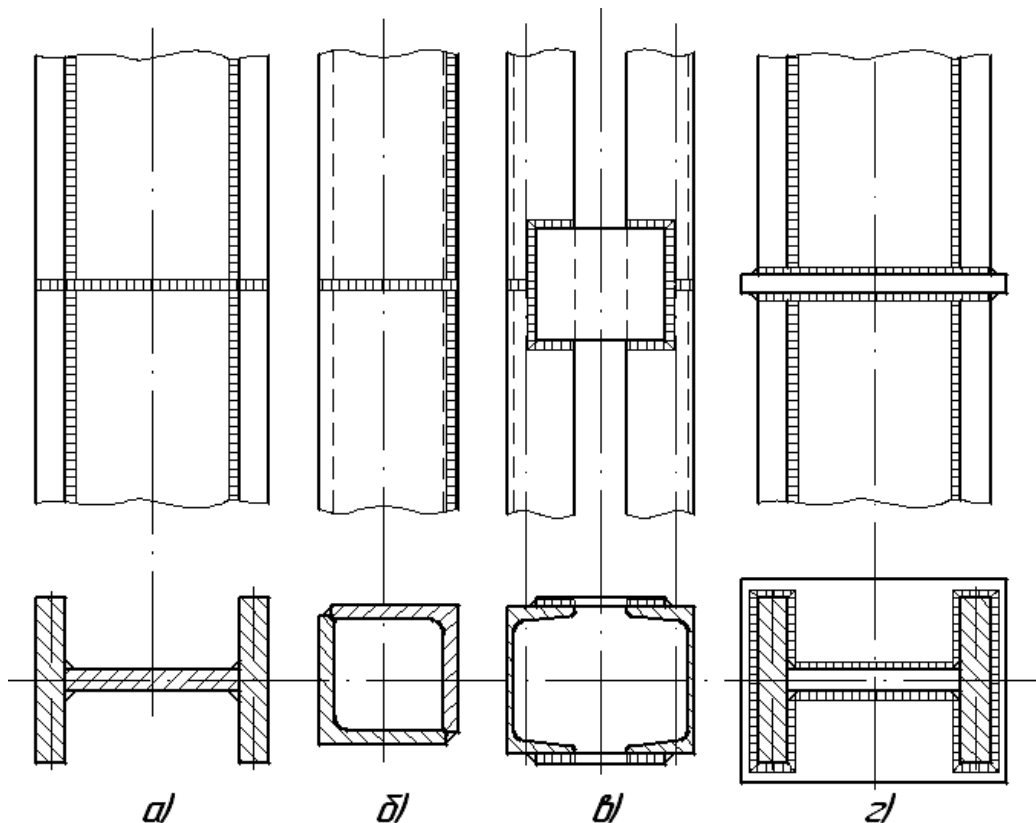


Рисунок 2.20 - Конструкції стиків стійок

Оголовки призначені для з'єднання надкранової частини колони з підкрановою, сприйняття зосереджених навантажень і розподілу їх по перетину підкранової частини. Окремі приклади конструкції оголовків наведені на рис. 2.21.

Найкраще зарекомендували себе оголовки у вигляді балкових конструкцій (рис. 2.21, в) з прокатних профілів (швелерів, двотаврів, куточків) і ребер.

При цьому, щоб уникнути втрати стійкості стінки в місцях докладання великих зосереджених сил необхідно ставити вертикальні ребра. Такі ребра беруть товщиною 8...12 мм, що дорівнює товщині стінки прокатного елемента або на 1...2 мм товстіше.

Оголовок має невелику висоту (до 500 мм), тому згинаючими моментами, які виникають в робочих швах, нехтують.

База служить для передачі навантаження зі стійки на фундамент і розподілу її по фундаменту.

Для стійок суцільного і складеного перерізу при невеликому розносі гілок застосовують бази із загальною плитою.

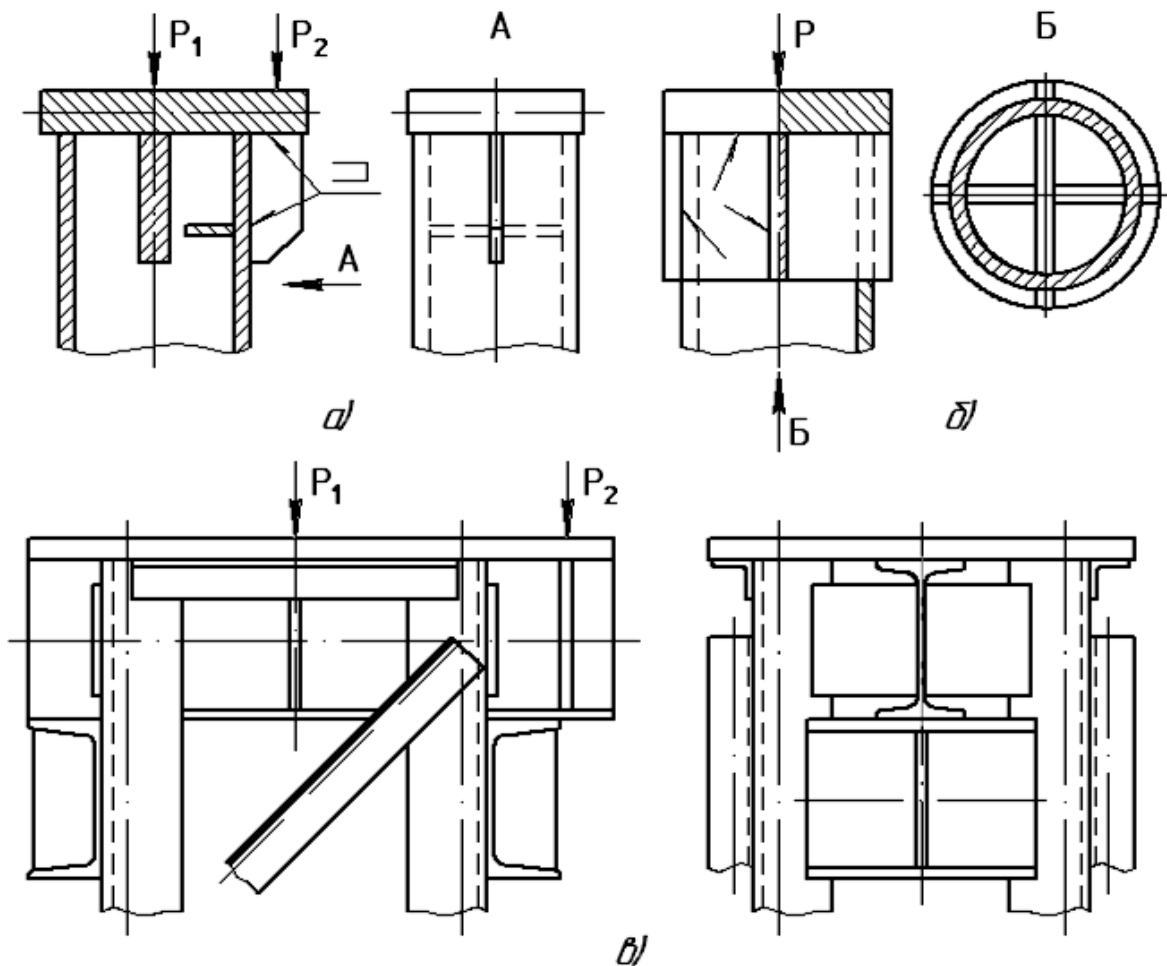


Рисунок 2.21 – Конструкції оголовків стійок

При великій відстані між гілками раціонально застосовувати роздільні бази з окремою плитою для кожної гілки (рис. 2.22).

Розміри плит a_1 , a_2 і $b_{пл}$ призначають так, щоб максимальні напруження в фундаменті під плитами були більше, ніж допустимі для матеріалу фундаменту (для бетону $[\sigma]_{\phi} = 300 \dots 800 \text{ Н/см}^2$).

Задавши розмір $b_{пл}$ з конструктивних міркувань, мінімальні розміри a_1 і a_2 визначаємо за формулами:

$$a_1 = \frac{N_{нг}}{b_{пл}[\sigma]_{\phi}}; a_2 = \frac{N_{пг}}{b_{пл}[\sigma]_{\phi}} \quad (2.74)$$

Отримані значення a_1 і a_2 коригуються до необхідних розмірів в процесі виконання графічної частини.

Залежно від величини навантаження приймають товщину плити 16...30 мм, або розраховують:

$$\delta_{пл} = \sqrt{\frac{6M_{\max}}{R_m}} \text{ або } \delta_{пл} = \sqrt{\frac{6M_{\max}}{[\sigma]}} \quad (2.75)$$

де $M_{\max}$ – величина згинального моменту, кН·см;

R_m – несуча здатність опорної плити, МПа (кН/см²);

$[\sigma]$ – допустимі напруження для матеріалу опорної плити, МПа (кН/см²).

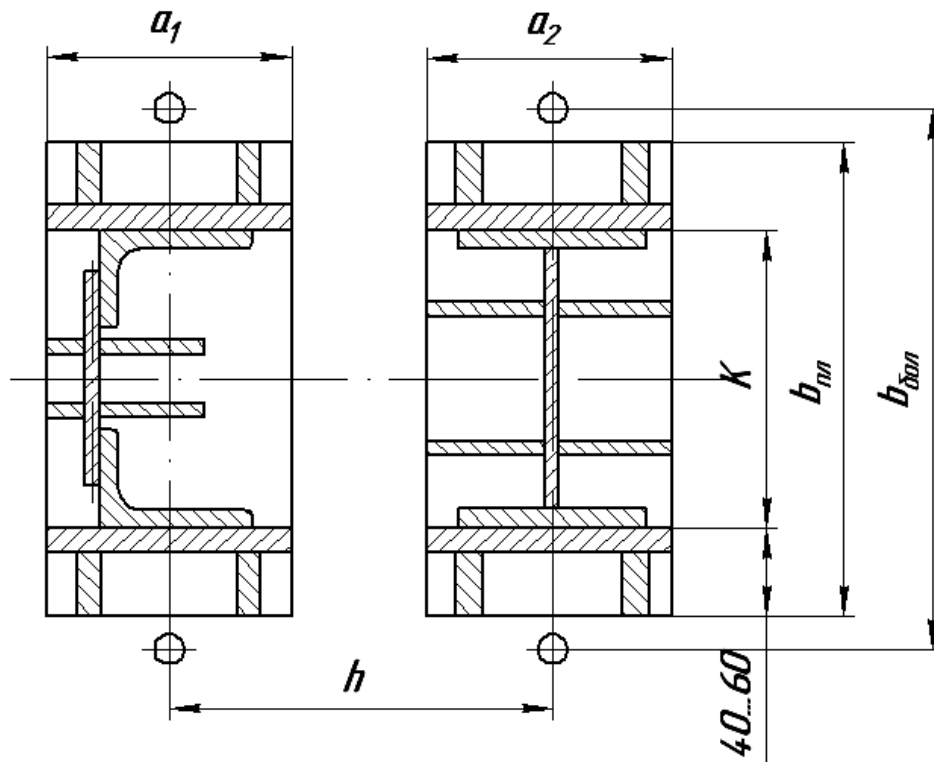


Рисунок 2.22 – Конструкція опорної частини бази колони

Типова конструкція бази колони наведена на рис. 2.23.

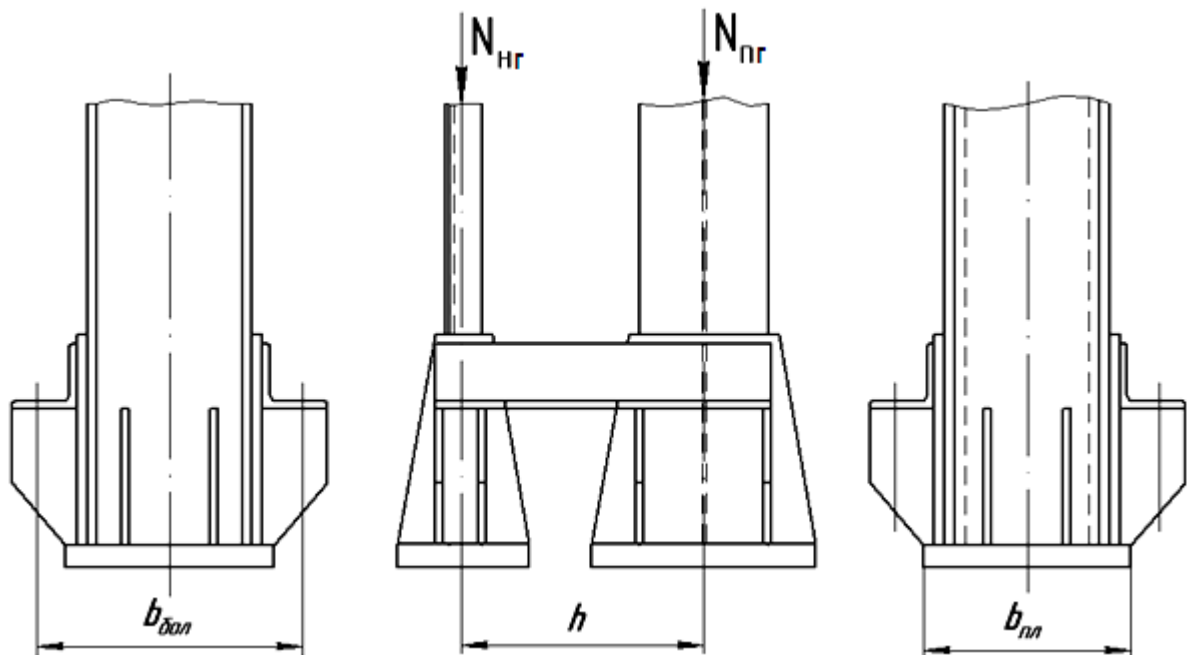


Рисунок 2.23 – Типова конструкція бази колони

Колона з плитою і ребрами жорсткості з'єднується зварними швами. Вертикальні шви сприймають незначне навантаження від умовної перерізуючої сили.

Горизонтальні шви в тавровому з'єднанні сприймають частину навантаження колони на плиту, в той же час друга частина навантаження передається через площину обпирання колони на плиту. Причому, якщо торець колони фрезерувати, то зусилля, яке сприймається швом, $N_{ш} = 0,4N$.

Коли фрезерування частини колони не виконується - все зусилля передається на шви. Шви виконують суцільними, а катет визначається за формулою

$$K = (0,75 \dots 1)\delta_T, \quad (2.76)$$

де δ_T – товщина траверси.

Бази колон кріплять до фундаменту анкерними болтами з діаметром не менше М24. Ці болти можуть мати зміщення, тому діаметр отвору або прорізи в кріпленні колони беруть більше, ніж діаметр болта, тобто має виконуватися умова $d_{отв} \geq 2d_{бол}$.

Для забезпечення жорсткості бази і зменшення товщини опорної плити встановлюють траверси (ребра), розрахунок яких виконують на дію реактивного опору фундаменту, що припадає на їх частку.

Розміри траверс призначають виходячи з таких міркувань:

$$\begin{aligned} \text{– висота} \quad h_T &= \left(\frac{1}{6} \dots \frac{1}{3}\right) b_{пл}, \\ \text{– товщина} \quad \delta_T &= (0,5 \dots 0,8)\delta_{пл}. \end{aligned} \quad (2.77)$$

Як правило, перетин А-А (рис. 2.24) перевіряють на вигин:

$$\sigma = \frac{M_A}{I_A} Y_{\max} \leq [\sigma]_{\phi}, \quad (2.78)$$

де $M_A = [\sigma]_{\phi} L_{пл} c \frac{c}{2}$ – величина згинального моменту.

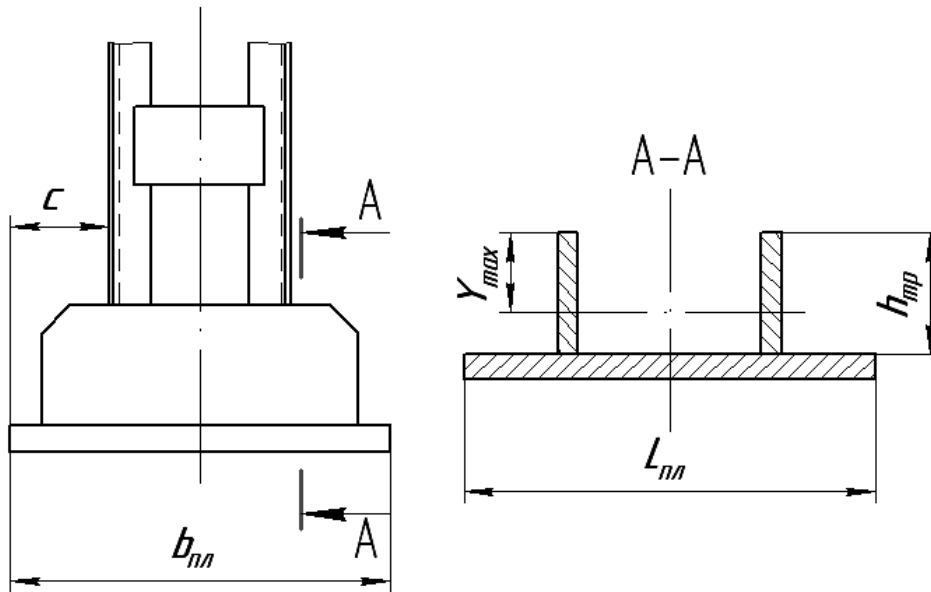


Рисунок 2.24 – До розрахунку траверси колони

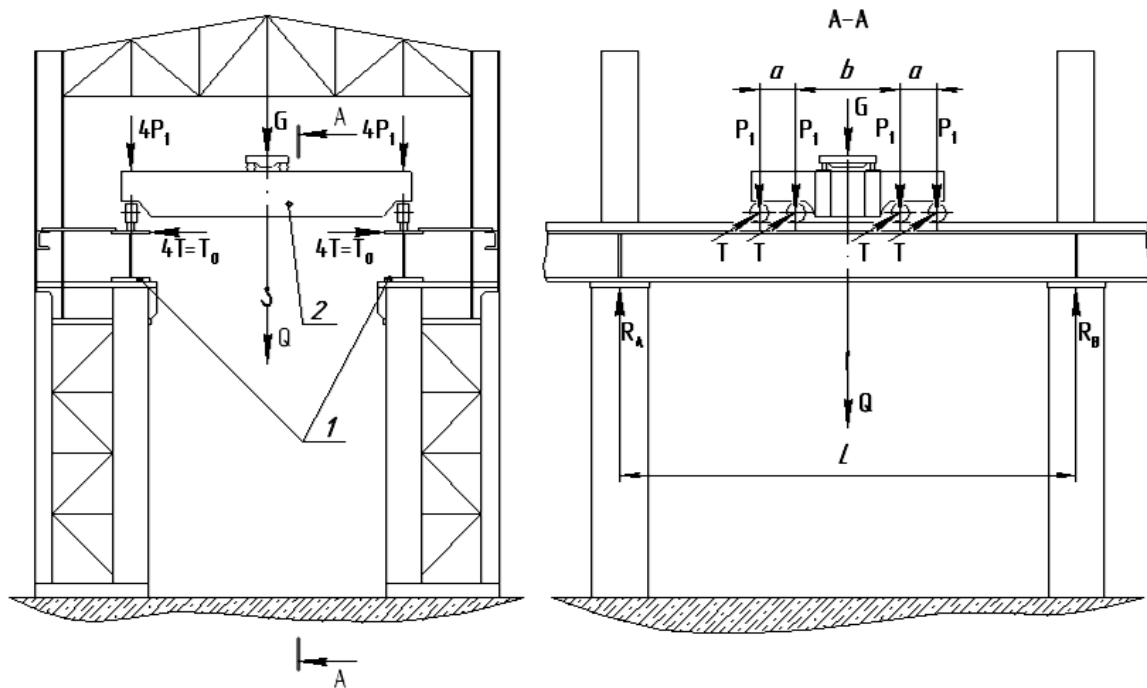
3 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ПІДКРАНОВОЇ БАЛКИ

3.1 Визначення нормативних зусиль в балці

3.1.1 Загальні положення

Балки входять до складу різних споруд і конструкцій машин. За перетином розділяють балки двотаврові, таврові, коробчасті, П-подібні та ін. Найбільш поширеними є зварні балки двотаврового профілю, завдяки їх технологічності при виготовленні і обслуговуванні та можливості мати значний момент інерції I і момент опору W при заданій площі поперечного перерізу [2, 4 - 7]..

Приклад використання зварної двотаврової балки, як підкранової, наведено на рис.3.1



P_1 - вертикальні навантаження від тиску кранових коліс;
 T - горизонтальні навантаження від гальмування кранового візка з вантажем Q ; R_A і R_B - опорні реакції балки; L - проліт балки;

1 - підкранові балки; 2 - мостовий кран

Рисунок 3.1 - Схема навантажень, що діють на підкранові балки

Дії рухомого навантаження піддається велика кількість споруд: залізничні та кранові мости, підкранові балки і т. п.

Рухоме навантаження складається з системи паралельних сил, що зберігають між собою незмінну відстань. Таке навантаження називають

«поїздом». При переміщенні поїзда по балці безперервно змінюються опорні реакції, згинальні моменти, перерізуючі сили, прогини і кути повороту перетинів балки.

Правильний розрахунок балки на міцність можливий, якщо відомий закон зміни внутрішніх зусиль. Для з'ясування цього закону балку навантажують найпростішим навантаженням - безрозмірним одиничним вантажем ($P_1 = 1$) і визначають, в залежності від положення одиничного вантажу, певну величину (M , Q і т. д.), що виникає в заданому перерізі балки.

Графік, що виражає цю залежність, називається лінією впливу (ЛВ) певної величини (M , Q). Побудувавши лінію впливу для одиничного вантажу, неважко перейти до визначення дійсного навантаження.

Лінією впливу зусилля в балці називається графік, що показує, як змінюється зусилля в заданому перерізі балки при русі по ній одиничного навантаження ($P_1 = 1$).

Лінії впливу M і Q мають велику зовнішню схожість з епюрами згинальних моментів M і перерізуючих сил Q , проте за своїм змістом вони принципово різні.

Епюри M і Q графічно зображують величину M і Q в різних перетинах балки при фіксованому значенні нерухомою навантаження. Щоб отримати закон розподілу M і Q в різних перетинах при іншому положенні вантажу, потрібно будувати нові епюри M і Q .

Лініями впливу M і Q зображують графічно закон зміни M і Q в одному перерізі при різних положеннях одиничного вантажу на балці.

Щоб отримати закон зміни M і Q в іншому перерізі, потрібно будувати нові ЛВ.

Після побудови ЛВ проводять визначення величини зусилля в заданому перерізі балки від дійсного навантаження.

Якщо по балці переміщається тільки один вантаж $P_1 = 1$, то величина X в перерізі дорівнює Y - ординаті ЛВ, розташованій під одиничним вантажем:

$$X = Y. \quad (3.1)$$

Якщо по балці переміщається один вантаж P , то величина в перетині

$$X = P_1 Y_1, \quad (3.2)$$

де Y_1 – ордината ЛВ, розташована під вантажем;

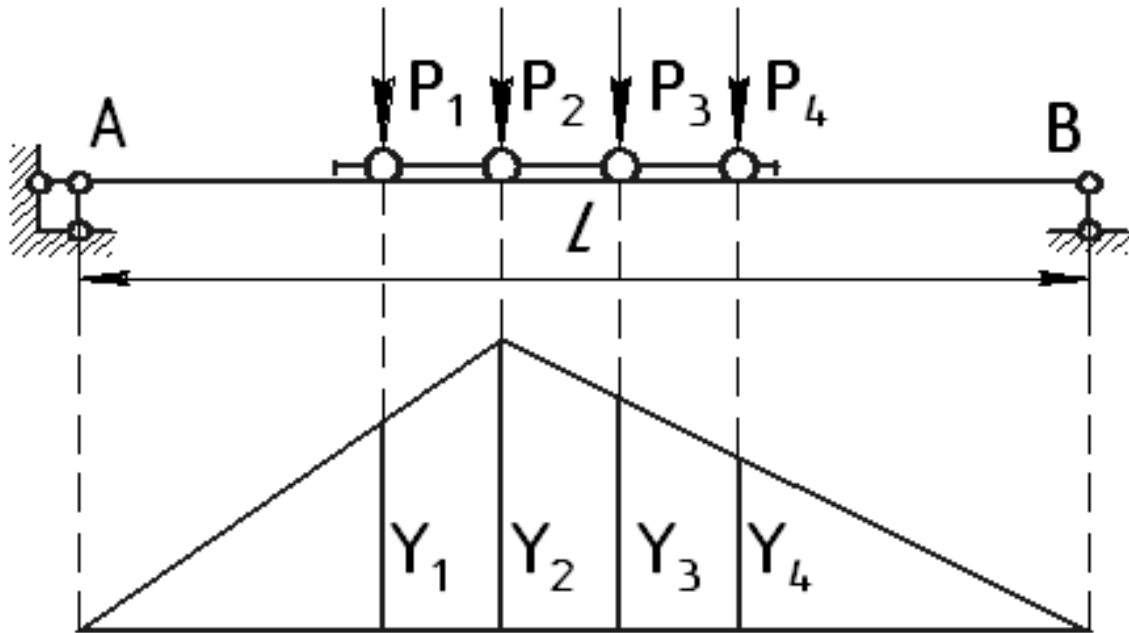
P_1 – маса вантажу, кН.

Якщо по балці (рис. 3.2) переміщаються кілька вантажів ($P_1, P_2, \dots, P_n$), то, на підставі принципу незалежності дії сил, величину X в перерізі можемо обчислити за формулою

$$X = P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + \dots + P_n Y_n, \quad (3.3)$$

де $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ – ординати ЛВ, розташовані під вантажем $P_1, P_2, \dots, P_n$.

Розмірність Y – ординат ЛВ визначається відношенням X/P за формулою (3.2), тому ординати ліній впливу Q безрозмірні, а ординати згинальних моментів M виражаються в одиницях довжини (метри).



P – вантаж; Y_i – ордината ЛВ під вантажем

Рисунок 3.2 - Схема визначення згинального моменту в перерізі від декількох сил по лінії впливу ЛВ

3.1.2 Знаходження критичного вантажу

«Поїзд» складається з декількох вантажів (рис. 3.3), необхідно знати, який вантаж потрібно поставити над вершиною ЛВ, щоб отримати максимальне зусилля в балці. Такий вантаж називають критичним.

Критичний вантаж в сумі з навантаженням праворуч від перетину робить середнє навантаження на цій ділянці більше середнього навантаження на лівій ділянці, тобто

$$\frac{P_k + R_2}{b} > \frac{R_1}{a}, \quad (3.4)$$

і навпаки,

$$\frac{P_k + R_1}{a} > \frac{R_2}{b}. \quad (3.5)$$

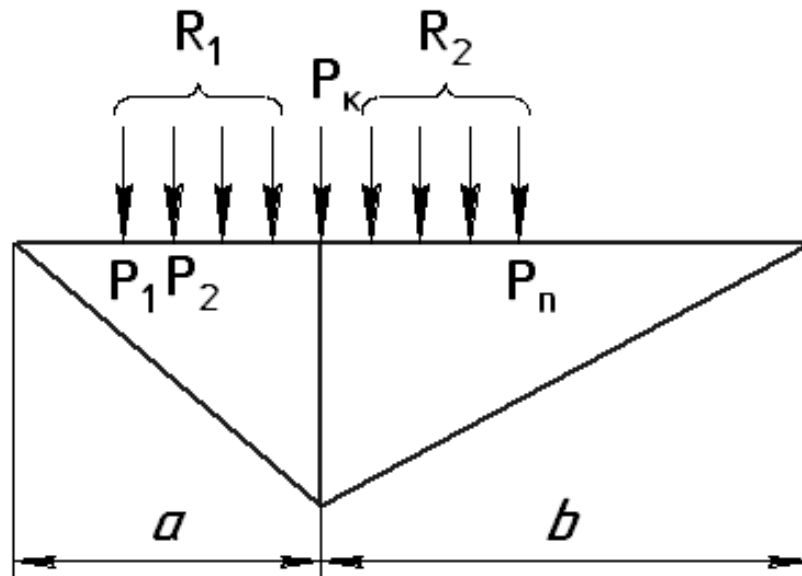


Рисунок 3.3 – Схема розрахункового визначення критичного вантажу для «поїзда» з декількох вантажів P_n

За даними нерівностями можна перевірити, чи буде дана система вантажів (поїзд), яка стоїть над вершиною ЛВ, критичною.

Використання цих умов передбачає, що відомо місце положення небезпечного перетину.

Критичний вантаж можна визначити графічним методом, який полягає в наступному.

Нехай «поїзд» складається з шести вантажів (рис. 3.4), а ЛВ має вигляд трикутника mnp , де mn – довжина балки в довільно обраному масштабі; d – заданий перетин балки.

На вертикальній прямій, проведеній через правий (лівий) край трикутника, послідовно відкладають, в довільно обраному масштабі, сили від дії кожного вантажу, починаючи з ближнього вантажу до кінця.

Якщо сили відкладати на правому кінці, то найближчим вантажем буде P_6 . З'єднаємо точки m і s , а з точки d проведемо пряму, паралельну ms , до перетину з прямою nc .

Та із сил, яка виявиться на перетині, i є критичним вантажем.

В даному прикладі це P_3 . Якщо точка k виявиться на кордоні між двома силами, то обидва вантажі критичні.

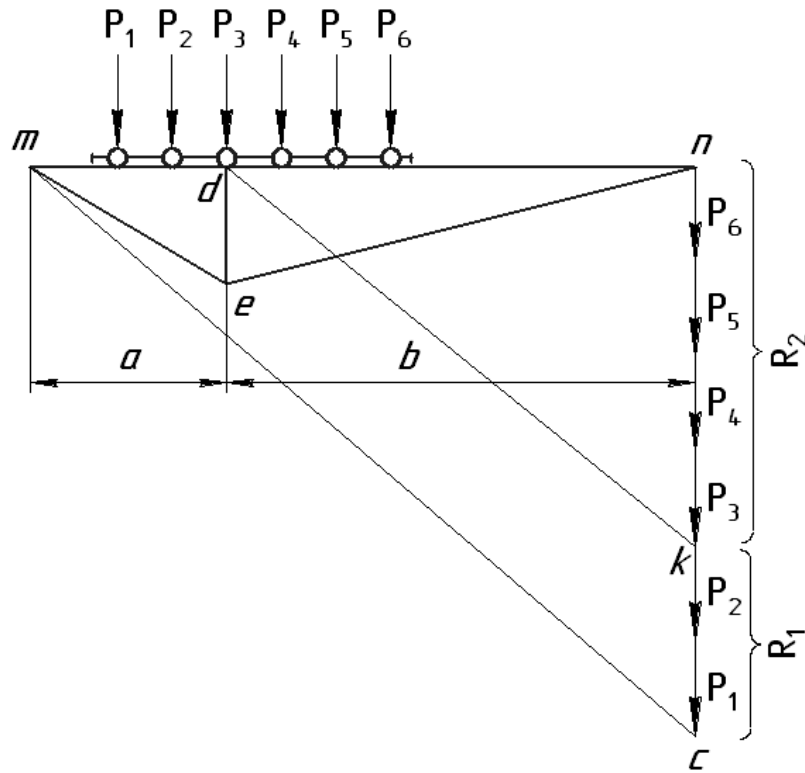


Рисунок 3.4 – Схема графічного визначення критичного вантажу P_k для «поїзда», що складається з декількох вантажів

3.1.3 Визначення перетину з максимальним згинальним моментом

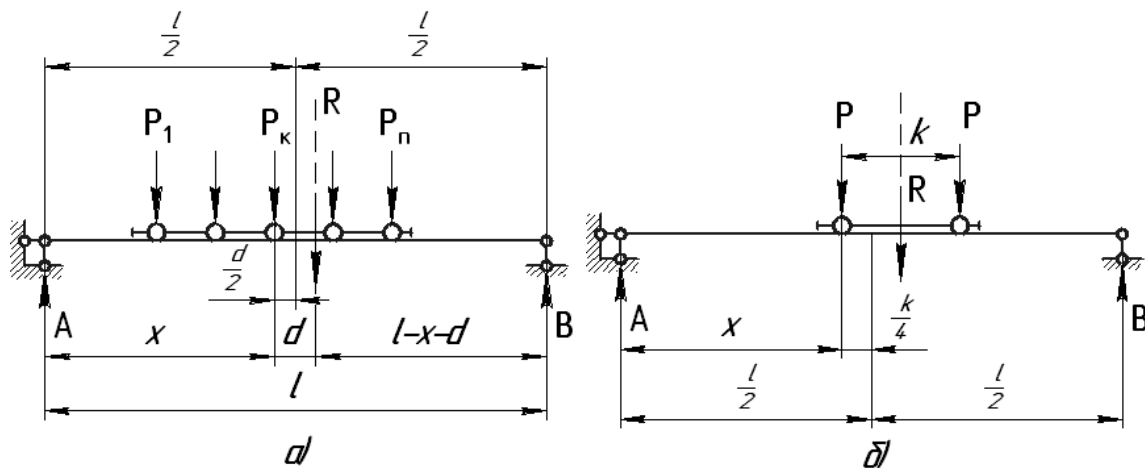
Необхідно знати, який перетин небезпечний, тобто де виникає максимальний момент $M_{\max}$. Балкою (рис. 3.5) переміщається «поїзд», рівнодіюча якого R .

Відомо, що $M_{\max}$ буде під критичним вантажем P_k , який розташований поблизу рівнодіючої. Згинальний момент в перерізі балки під вантажем P_k можна визначити:

$$M = Ax - \sum M_k, \quad (3.6)$$

де A – ліва опорна реакція, $A = R \frac{l-x-d}{l}$

$\sum M_k$ – сума моментів всіх сил, розташованих лівіше P_k , очевидно, що $\sum M_k = \text{const}$.



а – при числі вантажів більше двох; б – два вантажі
 Рисунок 3.5 – Схеми для визначення перетину з максимальним згинальним моментом

Положення найбільш небезпечного перерізу $M = M_{\max}$ можна визначити з умови

$$\frac{dM}{dx} = 0, \frac{d}{dx}(Ax - \sum M_k) = \frac{R}{l}(l - 2x - d) \quad (3.7)$$

Звідки

$$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{2}, \quad (3.8)$$

тобто небезпечний перетин балки x зміщений від середини на відстань $\frac{d}{2}$, що складає половину відстані між R_k і R (рис. 3.5, а).

Якщо рухоме навантаження складається з двох вантажів (рис. 3.5, б), то

$$x = \frac{l}{2} - \frac{k}{4}, \quad (3.9)$$

де k - відстань між вантажами, м.

Приклад 1

Необхідно визначити критичні сили для перетину балки, довжина якої 12 м, нормативний тиск коліс $P_H = 400$ кН.

Для цього необхідно балку розділити по довжині на 10 рівних ділянок (рис. 3.6), кожен довжиною $0,1l = 1,2$ м, отримуємо 11 перетинів (0, 1, 2, ..., 10).

Виконавши побудову за вище описаною методикою (п. 3.1.2), визначимо критичний вантаж в перерізі $x - P_2$, а в перетині $x' - P_3$.

Приклад 2

Визначити перетин X з найбільшим згинальним моментом $M_{\max}$.

Перетин X розташовується ліворуч і праворуч від середини балки (перетин 5), на ділянках 4-5 і 5-6 (рис. 3.6) з критичним вантажем P_2 і P_3 (точки x і x'). Рівнодіюча «поїзда» R розташована на його середині і ділить відстань між силами P_2 і P_3 навпіл. У цьому випадку за формулою (3.8) визначимо

$$x = \frac{l}{2} - \frac{d}{2} = \frac{12-1,6}{2} = 5,2 \text{ м}, \quad (3.10)$$

де $d = \frac{b}{2} = \frac{3,2}{2} = 1,6 \text{ м}$

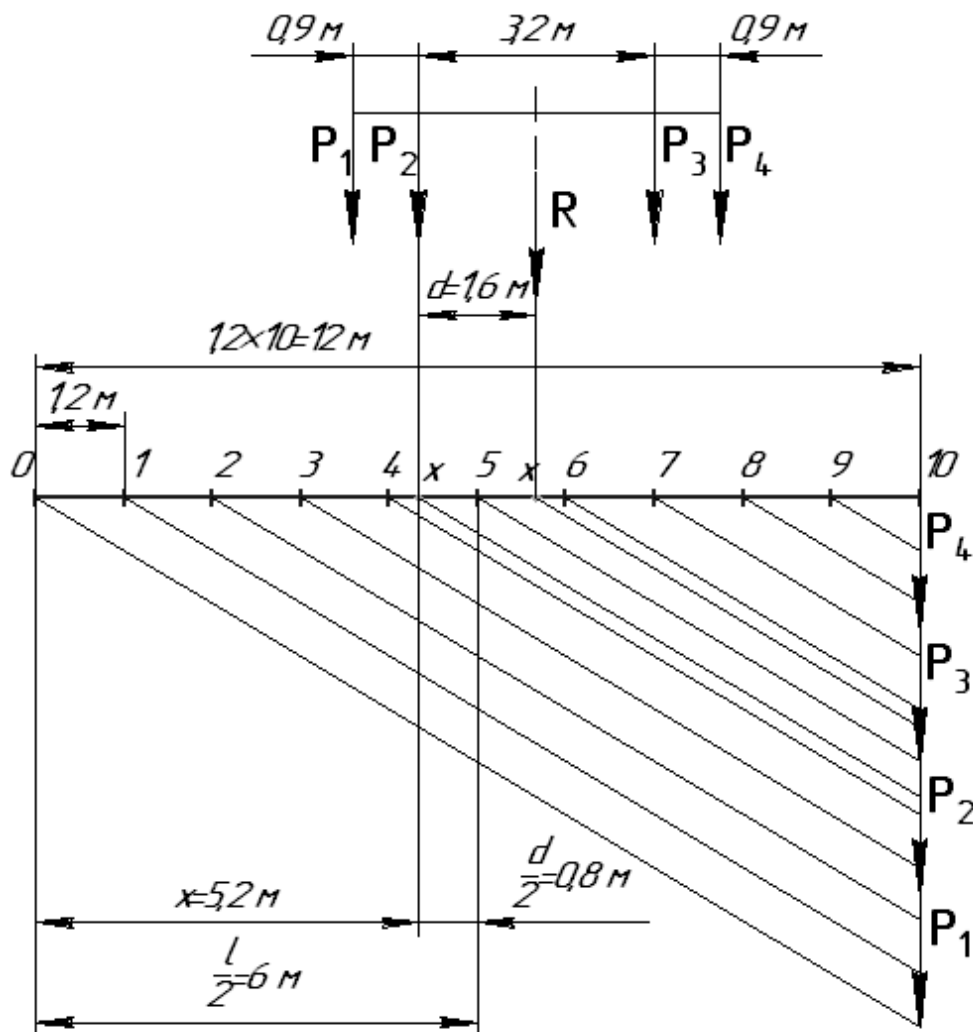


Рисунок 3.6 – Графічне визначення критичних вантажів для перетинів балки

3.1.4 Побудова ліній впливу від згинального моменту M

Побудову ліній впливу від згинального моменту M починають з креслення схеми балки в довільно обраному масштабі з нанесенням перетинів (0, 1, 2, ... x , ..., 10) і «поїзда» (рис. 3.7).

Під схемою балки будують лінію впливу для перетину 1 наступним чином:

а) проводимо пряму (ab) (вісь балки), з точки a відкладаємо вгору відрізок av , що дорівнює відстані від лівого кінця балки до розглянутого перетину c ; ($ac = 0,1l = av$)

б) з'єднуємо b і v ;

в) з'єднуємо прямою точки a і $г$, отримана фігура ($agbca$) є епюрою лінії впливу (ЛВ) M_1 для перетину 1, одиниці ординат ЛВ M_1 - метри;

г) навантажуюмо епюру M_1 «поїздом» (нормативним тиском коліс крана P_n) так, щоб критичний вантаж $P_k = P_n = P_1$ знаходився над вершиною епюри (точка $г$), при цьому згинальний момент в перерізі $c = 1$ від дії ваги крана (системи сил P_n):

$$M_1 = P_n(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4)\mu_l, \quad (3.11)$$

де μ_l – масштабний коефіцієнт довжини балки;

$$M_1 = P_n(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4)\mu_l = 400(11 + 10 + 7 + 6)0,1 = 1360 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

д) аналогічно будуємо ЛВ для перетинів 2, 3, 4, x і 5. З огляду на симетричність балки, побудову ліній впливу виконують тільки до перетину 5.

Для зручності обробки даних заповнюють табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Величина M_c в перетинах балки

Ордината ЛВ, момент	1	2	3	4	x	5	x	6	7	8	9
$\sum Y_i = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4)\mu_l, \text{ м}$	3,4	5,6	7,3	8,0	8,4	8,0	8,4	8,0	7,3	5,6	3,4
$M_c = P_n \sum Y_i, \text{ кН} \cdot \text{м}$	1360	2700	2920	3200	3360	3200	3360	3200	2920	2700	1360

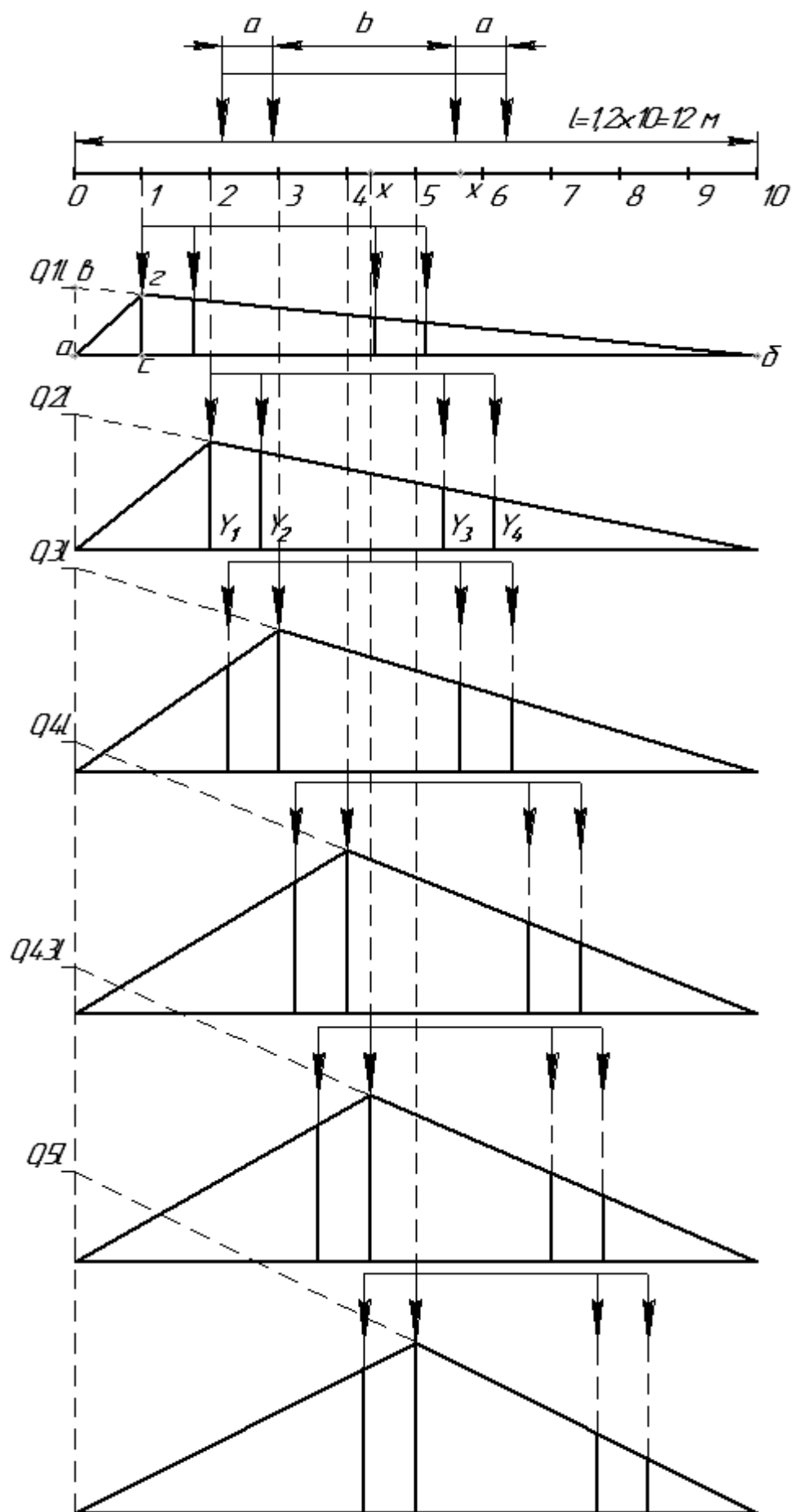


Рисунок 3.7 - Побудова ліній впливу M_c

3.1.5 Побудова ліній впливу перерізуючої сили Q

Виконують в масштабі креслення схеми балки з перетинами (0, 1, 2, ..., 10) і «поїздом» (рис. 3.8). Під схемою балки будують лінію впливу Q для перетину 0 в наступній послідовності:

а) проводять вісь балки (ab) і з точки (a) відкладають відрізок (av) довільної довжини, який беруть як одиницю, наприклад, (av) = 1 = 20 мм;

б) з'єднують точки (b) і (v), отримана фігура (abv) - епюра лінії впливу Q_0 для перетину 0 на лівому кінці балки;

в) навантажують епюру Q_0 «поїздом» (нормативний тиск коліс P_n), так, щоб ліве (крайнє) колесо знаходилося над перетином 0 (точка епюри v), при цьому перерізуюча сила Q в перерізі балки 0 від дії ваги крана:

$$Q_0 = P_n(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4)\mu_{ав}, \quad (3.12)$$

$$Q_0 = P_n(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4)\mu_{ав} = 400(21 + 19 + 14 + 12)0,05 = 1320 \text{ кН.}$$

Для інших перерізів (1, 2, ..., x , 5) лінією впливу Q_c буде фігура ($сгб$), де пряма ($сг$) знаходиться під даним перерізом балки.

З огляду на симетрію балки, епюру ЛВ будують тільки до перетину 5, за цим перетином епюра буде антисиметричною (спрямована вниз від осі $сб$).

Найбільш небезпечним перетином для визначення Q_c є опори балки (точки 0 і 10). Ординати епюри - безрозмірні величини, виміряні за масштабом $\mu_{ав}$, що становлять частину від (av) = 1.

Результати розрахунків заносять в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Величина Q_c в перетинах балки

Ордината ЛВ, поперечна сила	0	1	2	3	4	x	5	x	6	7	8	9	10
$\Sigma Y_i = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4)\mu_{ав}, \text{ м}$	3,3	2,9	2,5	2,1	1,7	1,6	1,3	1,6	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3
$Q_c = P_n \Sigma Y_i, \text{ кН}$	1320	1160	1000	840	680	620	520	620	680	840	1000	1160	1320

Побудова ліній впливу не обов'язкова. Дані для побудови епюр згинального моменту і перерізуючої сили можна отримати за допомогою програмного продукту «BALKA».

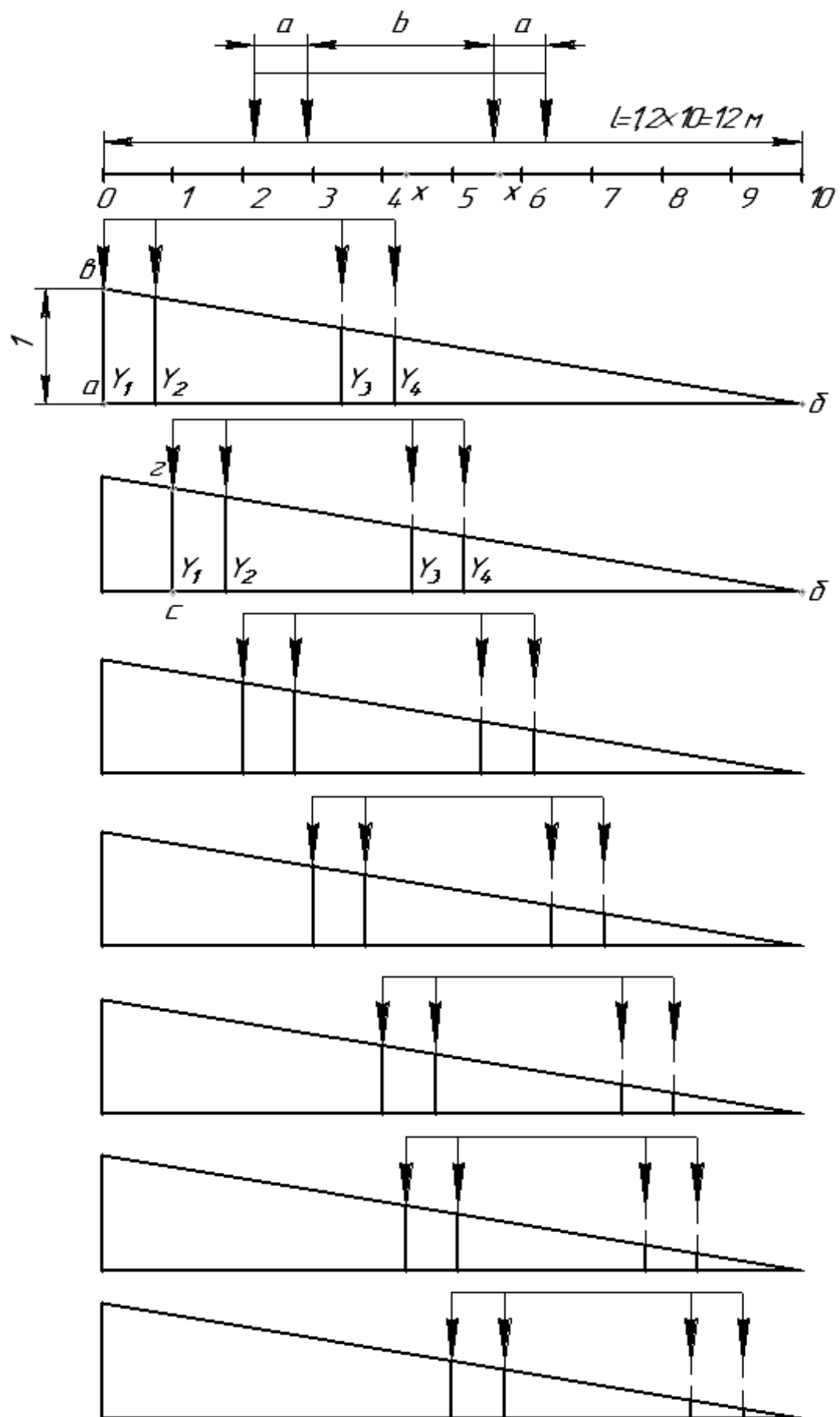


Рисунок 3.8 - Побудова ліній впливу Q_c

3.1.6 Алгоритм програми визначення нормативних зусиль в перетинах балки

Програма розрахунку зусиль в поперечних перетинах балки створена за допомогою програмного пакета Delphi-3, блок-схема якої приведена на рис. 3.9. Після запуску програми на екран виводиться наступне вікно (рис. 3.10).

У відповідні віконця вводяться: довжина балки, відстані (a) і (b) між силами (P_H) (одиниці вимірювання - сантиметри), сила (P_H) (кН).

В процесі виконання розрахунків програма визначає критичні вантажі, перерізуючі сили Q і згинальні моменти M у заданих перетинах балки. Балка розбивається на 10 рівних ділянок, тобто епюра згинальних моментів симетрична відносно середнього перетину, а епюра перерізуючих сил асиметрична і результати розрахунку наводяться тільки для однієї половини балки (перетини 0...5). Наводяться також результати в найбільш небезпечному перерізі X .

Отримані результати записуються в текстовий файл. Для цього за допомогою курсору натискається кнопка «В файл» і у вікні набирається ім'я файлу. Після закінчення розрахунків для виходу з програми натискається кнопка «Закрити».



Рисунок 3.9 – Блок-схема алгоритму розрахунку згинального моменту і перерізуючої сили

Линии влияния

Исходные данные

Длина балки, см: 1200 a , см: 90

Сила P , кН: 420 b , см: 310

Расчет В файл... Закрыть

Результаты

	0	1	2	3	4	X	5
Q , кН	1337	1169	1001	833	665	497	605,5

	0	1	2	3	4	X	5
M , кН*см		140280	240240	307440	341880	336000	344409

Рисунок 3.10 – Вид вікна програми з даними розрахунків

Приклад визначення критичних навантажень балки відповідно до схеми (рис. 3.11) за вихідними даними, наведеними в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані (приклад)

Найменування	Позначення	Величина
Довжина балки	l , см	1 200
Величина кожного рухомого зосередженого вантажу	P_n , кН	420
Норма жорсткості	f/l	1/500
Відстані між пов'язаними рухомими вантажами	a , см	90
	b , см	310

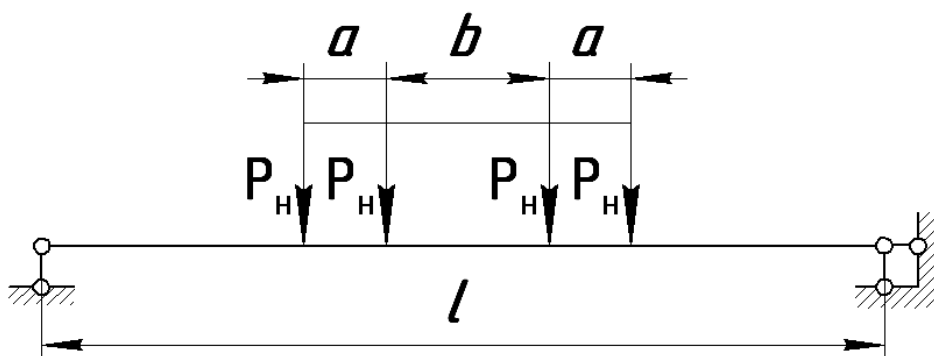


Рисунок 3.11 – Схема навантаження балки

Результати розрахунку M і Q наводяться у вигляді таблиці (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Приклад розрахунку M і Q

Перетин	0	1	2	3	4	X	5
Q , кН	1337	1 169	1 001	833	665	605,5	497
Перетин	0	1	2	3	4	X	5
M , кН·см	0	140 280	240 240	307 440	341 880	344 409	336 000

3.1.7 Побудова огинаючих епюр $M_{\max}$ і $Q_{\max}$

При проектуванні балки необхідно знати найбільші M і Q , що виникають в перетині балки при русі «поїзда». Для їх визначення будують огинаючі епюри наступним чином:

- відкладаємо в масштабі вісь балки (рис. 3.12) і розбиваємо її на 10 рівних відрізків;
- в кожному перетині на вісі балки будуємо ординати M_c і Q_c в довільному масштабі за даними розрахунку і з'єднуємо їх кінці пальною лінією.

Найбільші M будуть в перетинах X, а Q – на опорах балки.

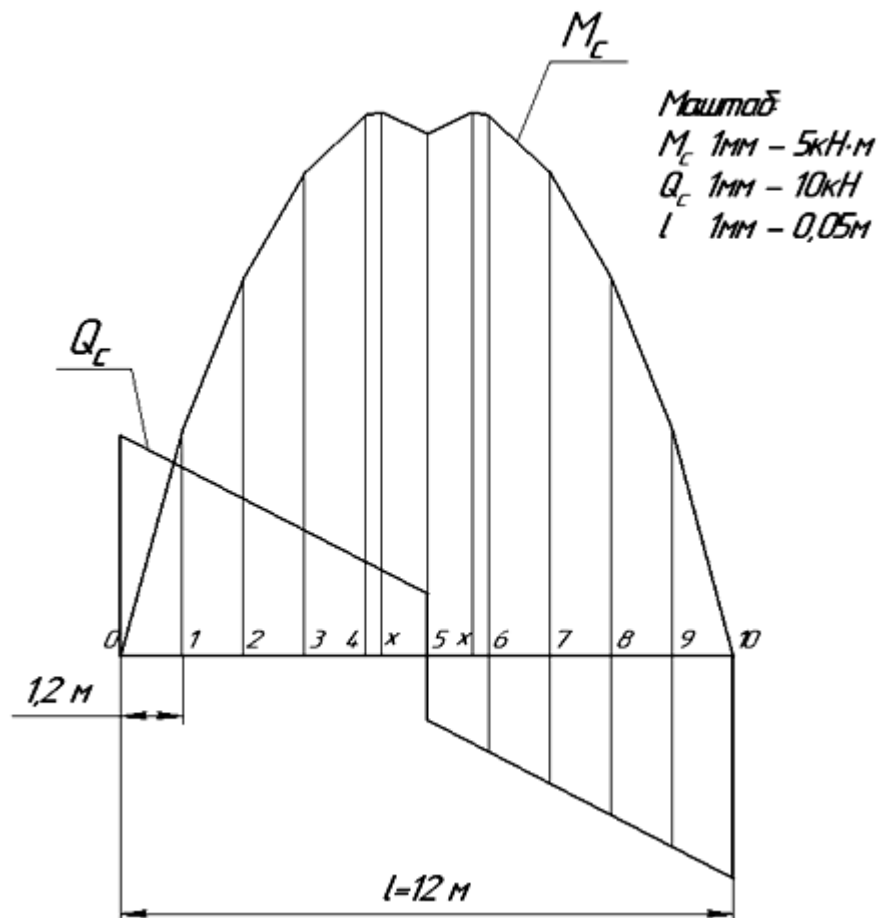


Рисунок 3.12 – Огинаючі епюри M_c і Q_c

3.2 Визначення розрахункових навантажень від крана

3.2.1 Вертикальне навантаження від колеса крана

Нормативний тиск коліс крана P_n і їх взаємне розташування видаються в завданні.

Для отримання розрахункових тисків P нормативні навантаження P_n множаться на коефіцієнт перевантаження $n = 1,2$, який враховує перевантаження при щорічних статистичних випробуваннях крана, і коефіцієнт динамічності $k = 1,1$, що враховує зміну швидкості підйому вантажу, нерівності підкранової колії і т. п. [1, с.71].

Визначаємо вертикальне розрахункове навантаження:

$$P = n k P_n, \quad (3.13)$$

де n – коефіцієнт перевантаження, $n = 1,2$;

k – коефіцієнт динамічності, $k = 1,1$;

P_n – нормативний тиск колеса.

3.2.2 Горизонтальне навантаження від колеса крана [2, с.71]

При гальмуванні вантажного візка виникають поперечні горизонтальні сили (див. рис. 3.1). Приймають, що гальмівна сила T_0 передається порівну між колесами крана.

Визначимо горизонтальне розрахункове навантаження:

$$T = n f \frac{Q + G_T}{n_k} \frac{n'_0}{n_0} \alpha, \quad (3.14)$$

де Q – вантажопідйомність крана, $Q = 4P_n$

G – вага вантажного візка, $G = 0,3Q$

n_k – число коліс крана на одній стороні, $n_k = 4$;

$\frac{n'_0}{n_0}$ – відношення числа гальмівних коліс візка до числа всіх його коліс,

$$\frac{n'_0}{n_0} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

f – коефіцієнт тертя коліс об рейки, $f = 0,1$;

α – коефіцієнт, що враховує горизонтальні сили при важкому режимі роботи (табл. 3.5), а також можливі перекоси, удари, інші бічні сили, що передаються на верхній пояс балки.

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнта α

Тип крана	Вантажопідйомність Q, кН	α
З гнучким підвісом вантажу (на тросах)	50 ... 100	2,5
	150 ... 200	2,0
	300 ... 1 500	1,5
	1 750 ... 2 750	1,3
	3 000 ... 3 500	1,1

3.3 Визначення розрахункових зусиль в балці

3.3.1 Зусилля від вертикальних навантажень

Нормативний згинальний момент M_n і перерізуюча сила Q_n в найбільш не вигідному становищі визначаються за огинаючими епюрами (див. рис. 3.12) і даними розрахунків комп'ютера або графічного методу: M_n - в перетинах X, а Q_n - на опорах.

Розрахункові згинальний момент M_p і перерізуюча сила Q_p [2, с. 73] знаходять множенням M_n і Q_n на коефіцієнт перевантаження $n = 1,2$ і коефіцієнт динамічності $k = 1,1$ (див. п. 3.2.1), а також коефіцієнти β_M і β_Q (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Значення коефіцієнта β_M і β_Q

Довжина балки, м	6	12	18 і більше
β_M	1,03	1,05	1,08
β_Q	1,02	1,04	1,07

Ці коефіцієнти враховують власну вагу конструкції підкранової балки і тимчасове навантаження на гальмівний майданчик, що прикріплюється до балки.

Визначаємо розрахункові зусилля в балці:

– на середині балки

$$M_p = M_n n k \beta_M; \quad (3.15)$$

– на опорах

$$Q_p = Q_n n k \beta_Q. \quad (3.16)$$

3.3.2 Зусилля від горизонтальних навантажень

Вони виникають при гальмуванні вантажного візка.

Визначаємо розрахункові зусилля в балці від сил гальмування візка:

$$\frac{T}{P} = \frac{M_T}{M_P}; \quad \frac{T}{P} = \frac{Q_T}{Q_P}, \quad (3.17)$$

де M_T – момент, що виникає від дії гальмівних сил;

Q_T – перерізуюча сила від дії гальмівних сил;

P – вертикальна розрахункове навантаження.

$$M_T = M_P \frac{T}{P}, \quad (3.18)$$

$$Q_T = Q_P \frac{T}{P}. \quad (3.19)$$

3.4 Підбір і проектування перетину балки

3.4.1 Підбір перерізу підкранової балки

Визначення висоти балки за умовою жорсткості [2, с.62, 319; 5, с. 174; 7, с.230]:

$$h_{ж} = \frac{lR}{10E[f/l]} \psi; \quad (3.20)$$

де l – довжина балки, см;

R – розрахунковий опір сталі МПа (кН/см²);

E – модуль пружності матеріалу балки, МПа (кН/см²);

ψ – коефіцієнт, який залежить від комбінації навантаження і схеми кріплення балки на опорах:

$$\psi = \frac{M_H}{M_P}; \quad (3.21)$$

де M_H – нормативний згинальний момент в перерізі X, кН·см;

M_P – розрахунковий згинальний момент в перерізі X, кН·см.

При визначенні висоти балки $h_{ж}$, виходячи з умов жорсткості, необхідно враховувати, що:

а) чим міцніше матеріал (більше R) і менше модуль пружності E , тим більше висота балки;

б) при декількох навантаженнях, які діють на балку, перетин, для якого прогин балки є максимальним, може не збігатися з перетинами, що відповідає максимальним прогинам від окремих навантажень. Це можна врахувати виразом

$$f = f_1 + f_1 + \dots + f_n; \quad (3.22)$$

в) небезпечний перетин балки, в якому згинальний момент має максимальне значення, а $\sigma_{\max} = \sum \sigma_i = R_n$ може не збігатися з перетином максимального прогину. Для визначення коефіцієнта ψ необхідно врахувати перетин, де $M = M_{\max}$;

г) якщо висота балки h була прийнята з умови жорсткості ($h = h_{\text{ж}}$) і при цьому $h_{\text{ж}} \gg h_e$ (h_e – висота балки з умови економічності), то в цьому випадку може статися те, що $\sigma_{\max} \ll R$. Так як висота $h_{\text{ж}}$ розраховується виходячи з умови $\sigma_{\max} = R$, матиме місце значне недовантаження. Необхідно буде виконати перерахунок за середнім значенням напружень.

Визначення висоти балки за оптимальною вагою [2, с.62; 5, с.113 - 114], тобто з умови економічності і міцності, полягає у виконанні наступного алгоритму розрахунку:

1 Необхідно попередньо задатися гнучкістю стінки [2, с.63]:

$$K_{\text{ст}} = \frac{h_{\text{ст}}}{\delta_{\text{ст}}} = 125; \quad (3.23)$$

2 Оптимальна висота балки, при якій міцність гарантована, а площа поперечного перерізу мінімальна, може бути визначена з формули

$$h_e = \sqrt[3]{\frac{3}{2} K_{\text{ст}} W_n}, \quad (3.24)$$

де W_n – необхідний момент опору перерізу балки, см^3 .

Виходячи з умови міцності необхідний момент опору W_n буде визначатися за формулою $\sigma = \frac{M_{\max}}{W_n} \leq R$

$$W_n = \frac{M_p}{mR - 2} \quad (3.25)$$

де M_p – максимальне значення згинального моменту (3.15);

m – коефіцієнт зниження нормативних розрахункових опорів R_n (при важкому режимі $m = 0,9$, в інших випадках $m = 1,0$);

R – розрахунковий опір сталі (для Ст3 $R_n = 21 \text{ кН/см}^2 = 210 \text{ МПа}$);

2 – зниження розрахункових опорів з урахуванням впливу на міцність верхнього пояса горизонтальних навантажень, кН/см^2 .

Приймаємо висоту балки за більшим значенням, округляючи останню цифру до 5 або 0.

Товщину стінки визначають для двох випадків:

1 За міцністю на опорі від дії дотичних напружень [2, с.63]:

$$\delta_{\min} \geq \frac{3}{2} \frac{Q_n}{h_{\text{ст}} R_{\text{сп}} m}, \quad (3.26)$$

де Q_n – нормативна перерізуюча сила, кН;

$R_{\text{сп}}$ – розрахунковий опір зрізу, $R_{\text{сп}} = 13 \text{ кН/см}^2$ для сталі Ст3.

2 За міцністю від місцевого тиску під колесом крана [5, с.74]:

$$\delta_{\min} \geq \frac{n_1 P_1}{3,25 m R} \sqrt{\frac{n_1 P_1}{3,25 I_p R}}, \quad (3.27)$$

де P_1 – розрахунковий тиск колеса крана з урахуванням коефіцієнта перевантаження ($n = 1,2$):

$$P_1 = n P_n;$$

n_1 – коефіцієнт при важкому режимі і гнучкому підвісі, $n_1 = 1,3$;

I_p – момент інерції кранової рейки (для КР120 $I_p = 4924 \text{ см}^4$);

R – розрахунковий опір сталі, кН/см^2 .

З двох отриманих товщини приймаємо найбільшу і узгоджуємо з товщиною сортового прокату.

Визначають перетин поясів балки [2, с.63; 5, с.144, §4]. При цьому дотримуються наступних вимог:

а) всі розміри δ_n і b_n (рис. 3.13) повинні відповідати стандарту на сталь широкосмугову, з якої рекомендовано виготовляти пояса балок (табл. В.1, додаток В);

б) для забезпечення місцевої стійкості полиць стиснутого пояса необхідно, щоб

$$\frac{b_n}{\delta_n} \leq 10 \dots 20 \text{ (не більше 24) - для балок з } h > 700 \text{ мм} \quad (3.28)$$

в) на пояси повинно припадати не менше 30% матеріалу перетину балки, для чого

$$F_n = \delta_n b_n \geq \frac{F_{\text{ст}}}{70} 15 = \frac{15}{70} h_{\text{ст}} \delta_{\text{ст}}. \quad (3.29)$$

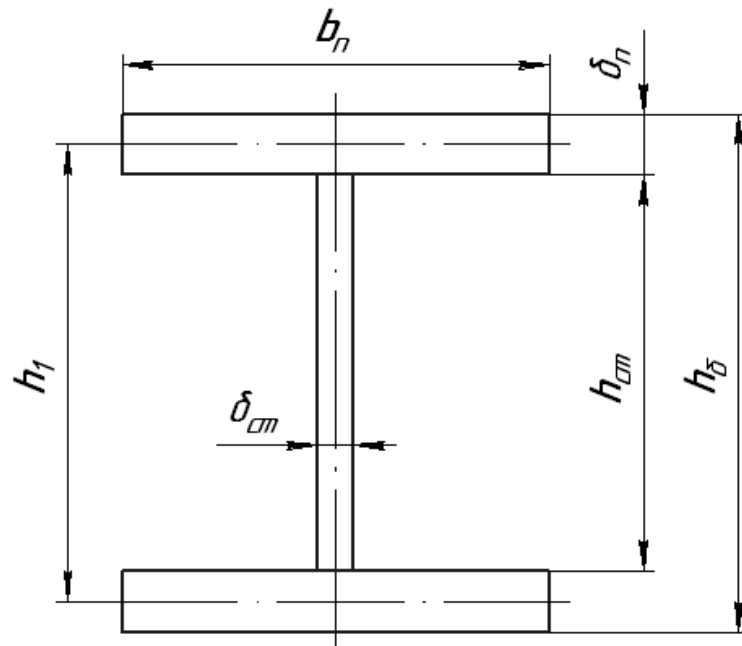


Рисунок 3.13 – Основні розміри перетину двотаврової балки

Дотримуючись вимог пункту (б), конструктивно призначають b_n , а товщина пояса

$$\delta_n = \frac{b_n}{20} \text{ або. } \delta_n = (0,01 \dots 0,025)h \quad (3.30)$$

Якщо розраховані розміри перетину не відповідають вимогам ($W_{tr} \leq W$), то необхідно збільшити перетин пояса. Кінцеві розміри повинні відповідати ГОСТ 82- 70. Для уточнення всіх розмірів необхідно накреслити переріз балки, проставити розміри і зробити перевірку.

3.4.2 Перевірка загальної стійкості балки [2, с. 66, 7, 240]

Конструкція балки повинна забезпечувати її загальну стійкість, для чого необхідно, щоб були виконані наступні умови:

а) обмежити вільну довжину верхнього пояса, для чого застосовують з'єднувальні елементи, які кріплять за сусідні балки або інші конструкції, наприклад гальмівні балки з настилами;

б) перевірити напруження з урахуванням вимог забезпечення загальної стійкості:

$$\frac{M}{W} \leq R\varphi_0, \quad (3.31)$$

де M , W – згинальний момент (кН·см) і момент опору (см³) в площині найбільшої жорсткості відповідно;

φ_0 – коефіцієнт зниження розрахункового опору з урахуванням забезпечення стійкості.

У двотаврових балках

$$\varphi_0 = \psi \left(\frac{I_y}{I_x} \right) \left(\frac{h}{l_0} \right)^2 10^3, \quad (3.32)$$

де I_x , I_y – моменти інерції щодо осей X і Y відповідно;

l_0 – відстань між горизонтальними закріпленнями, що перешкоджають переміщенню верхнього пояса в горизонтальній площині, беруть з умови $10 \leq 30\delta_{\text{п}}$, см;

h – висота балки, см.

Отримані результати будуть наближеними, тому їх необхідно коригувати відповідно до табл. 3.7

Таблиця 3.7 – Значення коефіцієнта φ_0

розрахункова величина φ_0	0,85 ... 1,0	1,0 ... 1,25	1,25 ... 1,55	1,55
значення φ_0 , яке необхідно приймати	0,85	0,9	0,96	1,0

Коефіцієнт ψ залежить від параметрів балки, тобто є функцією α :

$$\alpha = 8 \left(\frac{l_0 \delta_{\text{п}}}{b_{\text{п}} h} \right)^2 \left(1 + \frac{h \delta_{\text{ст}}^3}{2 b_{\text{п}} \delta_{\text{п}}} \right). \quad (3.33)$$

Для двотаврових балок, виготовлених зі сталі класу 38/23, значення коефіцієнта ψ представлені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Значення коефіцієнта ψ , як функції α

α	0,1	1,0	8,0	16,0	32,0	64,0
ψ	1,73	1,85	2,63	3,27	4,59	6,50

Для інших конструкційних сталей коефіцієнт ψ необхідно помножити на співвідношення $210/R$, де R – розрахунковий опір, МПа.

Перевірка загальної стійкості не вимагається, якщо відношення розрахункової довжини балки (l) до ширини стиснутого пояса (b) не перевищує величин, наведених в табл. Б.10 (див. Додаток Б).

Наприклад, при розмірах балки, наведених на рис. 3.14, і довжині $l = 12$ м відношення $h/b \approx 3$ і $l/b = 20$, якщо допустимі максимальні значення. Фактично, відношення перевищує допустиме значення $h/b \approx 15$, $h/\delta = 100$. Тому необхідно конструювати гальмівну балку для

додаткового закріплення верхнього пояса від вигину в горизонтальній площині.

3.4.3 Підбір перерізів гальмівної балки [2, с.69 - 72, с. 114 - 118]

Головне призначення гальмівної балки - забезпечення загальної стійкості підкранової балки. Гальмівна балка складається з швелера (поз. 1), листа (поз. 2), посиленого ребрами жорсткості (як варіант) і привареного до верхнього поясу підкранової балки (поз. 3) (рис. 3.14).

При ширині гальмівної конструкції більше 1,3 м і довжині балки 12 м і більше, застосовують гальмівні ферми, наявність яких дозволяє економити метал. В цьому випадку розкісна решітка виконується з куточків, що кріпляться до верхнього поясу підкранової балки, і гальмівного швелера.

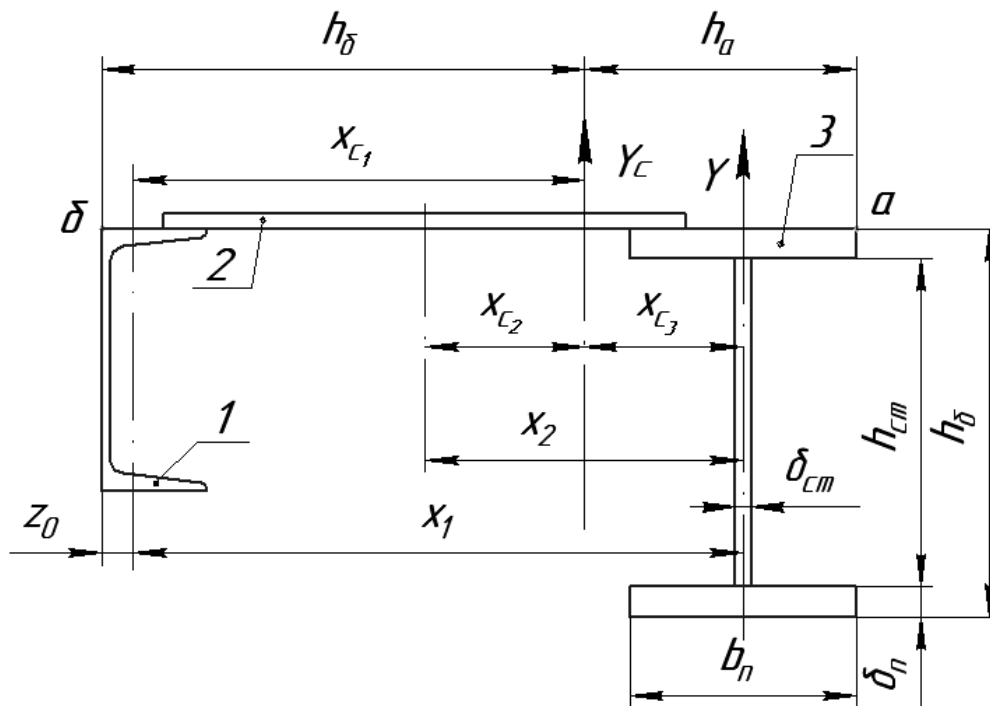


Рисунок 3.14 – Перетин гальмівної і підкранової балок

Гальмівні конструкції розраховуються на зусилля від горизонтально діючої гальмівної сили. Перетин гальмівної балки задається конструктивно, а перевіряється величина діючих напружень в гальмівному швелері від горизонтальних і вертикальних сил на майданчику.

Приклад. Пояс гальмівної балки виконують з швелера №24, параметри якого: $F_1 = 30,6 \text{ см}^2$; $z_{01} = 2,42 \text{ см}$; $I_1 = 208 \text{ см}^4$.

Визначають геометричні характеристики гальмівної балки.

Положення центра ваги перетину гальмівної балки відносно осі Y-Y:

$$x_c = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2}{F_1 + F_2 + F_3}, \quad (3.34)$$

де F_1 – площа перерізу елемента 1 (швелера), см^2 ;
 F_2 – площа перерізу елемента 2 (листа), см^2 ;
 F_3 – площа перерізу елемента 3 (верхній пояс), см^2 ;
 x_1 – відстань від центра ваги елемента 1 до осі Y-Y, см ;
 x_2 – відстань від центра ваги елемента 3 до осі Y-Y, см .

Момент інерції перерізу відносно осі Yc-Yc:

$$I_{yc} = I_1 + F_1 x_{c1}^2 + I_2 + F_2 x_{c2}^2 + I_3 + F_3 x_{c3}^2, \quad (3.35)$$

де x_{c1} – відстань від центра ваги елемента 1 до осі Yc-Yc, см ;
 x_{c2} – відстань від центра ваги елемента 2 до осі Yc-Yc, см .

Моменти опору вигину для крайніх волокон в точках (а) і (б) (див. рис. 3.14):

$$W_a = \frac{I_{yc}}{h_a}, \quad (3.36)$$

$$W_b = \frac{I_{yc}}{h_b}, \quad (3.37)$$

де h_a, h_b – відстані від центра ваги перерізу до точок (а) і (б), см .

3.4.4 Визначення геометричних характеристик перерізу балки

Момент інерції перерізу відносно осі X-X:

$$I_x = \frac{\delta_{ст} h_{ст}^3}{12} + 2F_{п} \left(\frac{h}{2} + \frac{\delta_{п}}{2} \right)^2, \quad (3.38)$$

де h – висота балки, см .

Момент опору перерізу відносно осі X-X

$$W_x = \frac{2I_x}{h}. \quad (3.39)$$

Статичний момент перетину

$$S_x = \delta_{п} b_{п} \left(\frac{\delta_{п}}{2} + \frac{h_{ст}}{2} \right) + \frac{h_{ст}}{2} \delta_{ст} \frac{h_{ст}}{4}. \quad (3.40)$$

Площа балки

$$F_{\sigma} = 2\delta_{\Pi}b_{\Pi} + h_{\text{ст}}\delta_{\text{ст}}. \quad (3.41)$$

3.5 Перевірка міцності і стійкості балки

3.5.1 Перевірка міцності балки за нормальними і дотичними напруженнями

Найбільші нормальні напруження при наявності гальмівної балки визначаються:

– в точці (а) верхнього пояса:

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{M_{\text{р}}}{W_{\text{х}}} + \frac{M_{\text{т}}}{W_{\text{а}}} \leq mR, \quad (3.42)$$

де m – коефіцієнт умов експлуатації крана ($m = 0,9$ для кранів вантажопідйомністю 50 кН і важких умовах експлуатації);

– в нижньому поясі:

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{M_{\text{р}}}{W_{\text{х}}}. \quad (3.43)$$

Дотичні напруження в стінці під опорою

$$\tau = \frac{Q_{\text{р}}S_{\text{х}}}{I_{\text{х}}\delta_{\text{ст}}}. \quad (3.44)$$

3.5.2 Перевірка жорсткості балки від вертикальних нормативних навантажень

Враховуючи максимальне значення згинаючого моменту $M_{\text{р}}$, необхідно розрахувати нормативне значення згинаючого моменту, що впливає на величину прогину балки (3.15)

$$M_{\text{н}} = \frac{M_{\text{р}}}{nk}, \quad (3.45)$$

де $k = 1,1$ - коефіцієнт динамічності;

$n = 1,2$ - коефіцієнт перевантаження.

Абсолютний прогин балки

$$f_{\max} = \frac{M_H l^2}{10EI_X}, \quad (3.46)$$

де l – довжина балки, см;

E – модуль пружності (для сталі класу 38/23 $E = 2,1 \cdot 10^4$ кН/см²).

Відносний прогин не повинен перевищувати нормативний:

$$\frac{f_{\max}}{l} < \frac{1}{500} \quad (3.47)$$

3.5.3 Перевірка міцності стінки при місцевому тиску колеса крана

У разі дії на балку зосередженої сили (колесо крана і т.ін.), необхідно провести перевірку міцності стінки з урахуванням місцевих напружень:

$$\sigma_M = \frac{n_1 P_1}{\delta_{\text{ст}} z}, \quad (3.48)$$

де $n_1 = 1,3$ – коефіцієнт для кранів особливого режиму з гнучким підвісом,
 $n_1 = 1,1$ – коефіцієнт для інших типів кранів;

P_1 – розрахунковий тиск колеса крана.

Умовну довжину розподілу місцевого тиску при рухомому навантаженні визначають за формулою

$$z = C \sqrt[3]{\frac{I}{\delta_{\text{ст}}}}, \quad (3.49)$$

де $C = 3,25$ – для зварних балок;

$I = I_p + I_{\Pi}$ – інтегрований момент інерції перерізу (рис. 3.15), см⁴;

I_p – момент інерції рейки (для рейки КР120 - $I_p = 4\,923$ см⁴) [1, с.344];

I_{Π} – момент інерції пояса балки, $I_{\Pi} = \frac{b_{\Pi} \delta_{\Pi}^3}{12}$

b_{Π} і δ_{Π} – ширина і товщина пояса балки, см.

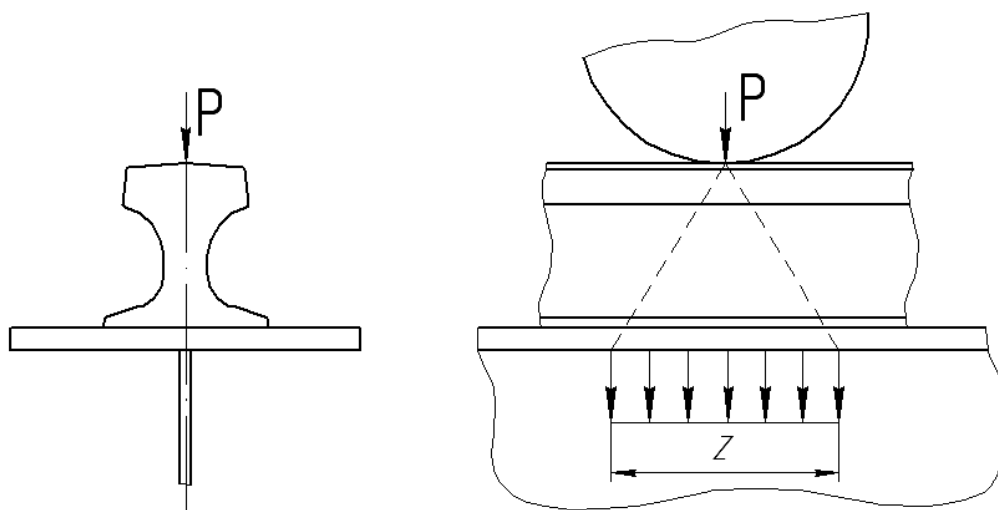


Рисунок 3.15 – Схема передачі тиску від колеса крана на лист стінки

3.5.4 Визначення місцевої стійкості елементів балки [2, с.76 - 83; 5, с.144 - 146, с.190 - 193; 6, с. 117 - 119]

У балках з прокатних профілів перевірка місцевої стійкості поясів і стінок не виконується.

У зварних балках місцева стійкість стиснутого пояса полки завжди забезпечена, якщо співвідношення між величиною звисання пояса і його товщиною не перевищує значень, наведених в табл. 3.9. Звіс пояса - це відстань від стінки балки до торцевої поверхні пояса, яка не повинна перевищувати величину $(b_{\text{п}} - \delta_{\text{п}})/2$.

Таблиця 3.9 – Граничні значення співвідношень $\frac{b_{\text{п}}}{2\delta_{\text{п}}}$

клас сталі	38/23	44/29	52/40	60/45	70/60
$\frac{b_{\text{п}}}{2\delta_{\text{п}}}$	15	13	11	10,5	10

У стінці балки втрата стійкості може бути викликана дією нормальних стискаючих напружень, дотичних напружень або комбінацією дотичних і нормальних напружень.

Послідовність рішення задачі про необхідність постановки ребер жорсткості для зварної балки (наприклад, із Ст3) полягає в наступному.

1 Якщо умовна гнучкість стінки

$$K_{\text{ст}} = \frac{h_{\text{ст}}}{\delta_{\text{ст}}} \geq K_{\text{кр}}, \quad (3.50)$$

можлива втрата стійкості від нормальних напружень. Величина критичної гнучкості ($K_{кр}$) залежить від матеріалу стінки балки, наприклад, для вуглецевих сталей $K_{кр} = 160$, для низьколегованих – $K_{кр} = 130$.

Стійкість стислої частини стінки можна підвищити, застосувавши поздовжні парні ребра, які чинять опір вигину стінки із своєї площини. Поздовжнє парне ребро жорсткості встановлюється на відстані $0,25h$ від верхньої полиці (поясу).

2 Якщо гнучкість стінки $K_{ст} \geq K_{кр} = 100$ і відсутнє рухоме навантаження на поясі балки, тобто $\sigma_m = 0$ (при $\sigma_m \geq 0$ і для $K_{ст} \geq 80$), можлива втрата стійкості від дотичних напружень, яка вимагає постановки парних поперечних (вертикальних) ребер жорсткості на відстані $a = (2 \dots 2,5)h$.

3 Необхідно провести перевірку стійкості стінки у відсіках від одночасної дії нормальних і дотичних напружень і, якщо необхідно, уточнити відстань між ребрами a . При наявності поздовжнього ребра можлива установка коротких поперечних ребер в зоні стиснення на відстані a_1 , що призводить до зменшення довжини відсіку.

3.5.5 Перевірка місцевої стійкості стінки балки [2, с.76 - 83; 5. с.190 - 193; 4, с. 117 - 120; 7, с. 236 - 240]

Стінка балки може втратити стійкість під дією дотичних або нормальних напружень, а також від їх спільної дії.

1 Втрата стійкості стінки під дією дотичних напружень

Поблизу від опори стінка балки сприймає дотичні напруження, під впливом яких вона перекошується: по лініях укорочених діагоналей стінка стискається, а по лініях подовжених - витягується (рис. 3.16).

Під впливом стиснення стінка може деформуватися, утворюючи хвилі, нахилені до вертикальної осі балки під кутом приблизно 45° . Для попередження деформації стінки розміщують вертикальні (поперечні) ребра жорсткості, які перетинають можливі хвилі (рис. 3.16). Стінка при цьому виявляється розділеною на прямокутники, обмежені з чотирьох сторін поясами і ребрами жорсткості.

Якщо позначити через (a) відстань між осями ребер жорсткості, через $(h_{ст})$ – висоту стінки і через (d) – меншу сторону прямокутника, то критичне дотичне напруження в стінці виражається формулою (з урахуванням пружного защемлення стінки в поясах), т/см^2 ,

$$\tau_{кр} = \left(1,25 + \frac{0,95}{\mu^2}\right) \left(\frac{100\delta_{ст}}{d}\right)^2, \quad (3.51)$$

де μ – відношення більшої сторони (а або $h_{ст}$) до меншої d ;
 $\delta_{ст}$ – товщина стінки.

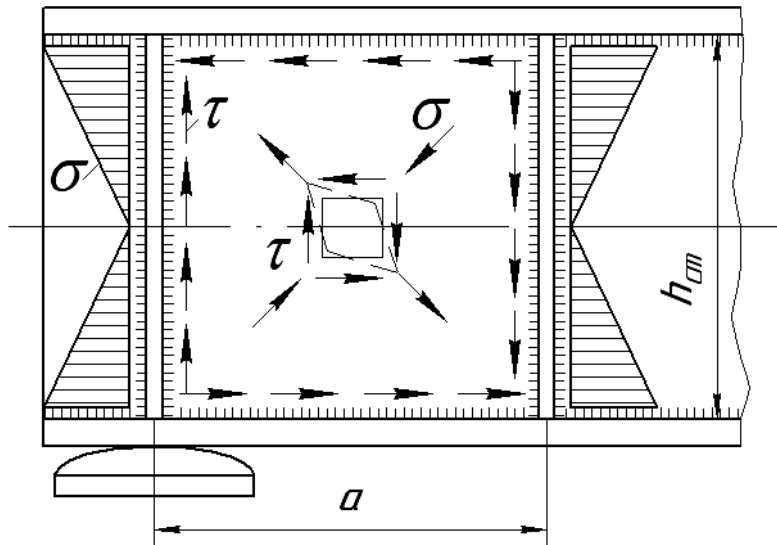


Рисунок 3.16 – Втрата стійкості стінки від дотичних напружень

Розрахунок на стійкість зазвичай ведуть в тоннах і сантиметрах. У разі якщо значення (а) дуже велике (що в крайньому випадку означає наявність ребер жорсткості тільки на опорах балки), менша із сторін відсіку (d) стає рівною ($h_{ст}$) і тоді:

$$\tau_{кр} = 1,25 \left(\frac{100\delta_{ст}}{d} \right)^2 = \frac{1,25 \cdot 100^2}{K_{ст}^2}, \quad (3.52)$$

де $K_{ст} = \frac{h_{ст}}{\delta_{ст}}$ – гнучкість стінки.

Визначимо, при якому значенні гнучкості стінки $K_{ст}$ напруження $\tau_{кр}$ може досягти межі текучості τ_T і назвемо таку гнучкість критичною гнучкістю $K_{кр}$. Як відомо $\tau_T = 0,6\sigma_T$. Підставляючи це значення в формулу (3.51) для $\tau_{кр}$, знаходимо критичну гнучкість:

$$K_{кр} = \sqrt{\frac{1,25 \cdot 100^2}{\tau_T}}. \quad (3.53)$$

Для сталевих балок $\tau_T = 0,6\sigma_T = 0,6 \cdot 2400 = 1,44 \text{ т/см}^2$, і тоді критична гнучкість становить:

$$K_{кр} = \sqrt{\frac{1,25 \cdot 100^2}{1,44}} \approx 90.$$

Таким чином, при $K_{кр} < 90$ стінка при навантаженні досягне межі текучості від дотичних напружень раніше, ніж втратить стійкість. Для запобігання втрати стійкості рекомендується встановлювати парні поперечні ребра жорсткості на відстані $a_{max} = (2 \dots 2,5)h$.

З огляду на деякий вплив ребер на характер деформування стінки і ряд спрощень, нормами дозволяється не виконувати перевірку стійкості стінки балки при значеннях гнучкості стінки в разі

$$K_{кр} = 110 \sqrt{\frac{210}{[\sigma]}}, \quad (3.54)$$

а при наявності місцевого тиску між ребрами жорсткості ($\sigma_m \neq 0$) при значеннях гнучкості стінки -

$$K_{кр} = 80 \sqrt{\frac{210}{[\sigma]}}. \quad (3.55)$$

2 Втрата стійкості стінки під дією нормальних напружень

В міру віддалення від опор, ближче до середини балки, вплив дотичних напружень на стінку знижується; стінка тут піддається, головним чином, впливу нормальних напружень, через що вона також може втратити стійкість (рис. 3.17).

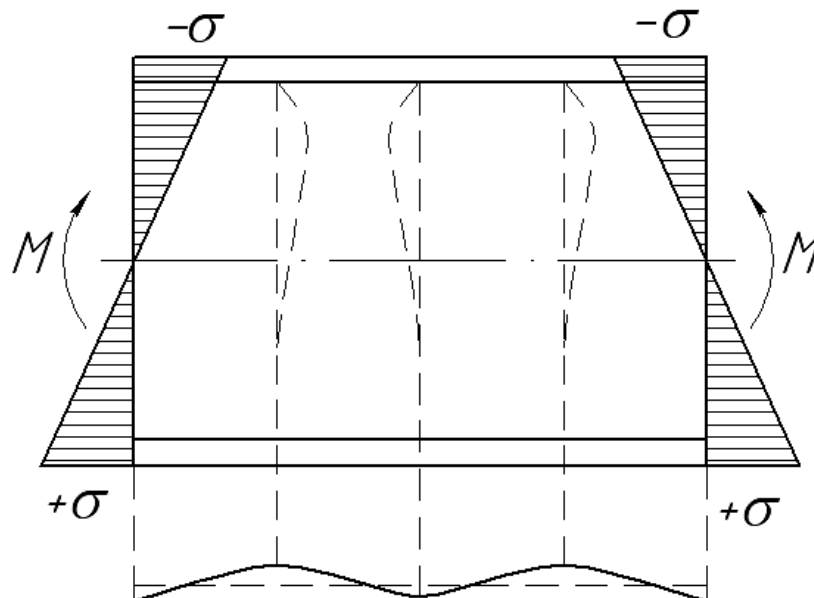


Рисунок 3.17 – Втрата стійкості стінки від нормальних напружень

Величина критичних нормальних напружень залежить від закону їх розподілу. Критичні нормальні напруження в стінці балки, яка згинається, рівні:

$$\sigma_{кр} = k_0 \left(\frac{100\delta_{ст}}{h_{ст}} \right)^2, \text{ т/см}^2, \quad (3.56)$$

де k_0 приймається за табл. 3.10 в залежності від величини γ , яка враховує пружне защемлення стінки в поясах:

$$\gamma = 0,8 \frac{b_{п}}{h_{ст}} \left(\frac{\delta_{п}}{\delta_{ст}} \right)^3, \quad (3.57)$$

де $b_{п}$ і $\delta_{п}$ – ширина і товщина стисненого пояса балки.

Таблиця 3.10 – Значення коефіцієнта k_0

γ	$\leq 0,8$	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	≥ 30
k_0	6,3	6,62	7,0	7,27	7,32	7,37	7,46

Визначимо величину критичної гнучкості, при якій критичне нормальне напруження досягає межі текучості $\sigma_T = 2,4 \text{ т/см}^2$ (для Ст3). З рівняння (3.55) для $\sigma_{кр}$ отримаємо при $k_0 = 6,3$:

$$K_{ст} = 100 \sqrt{\frac{6,3}{2,4}} \approx 162.$$

У разі вигину стінка починає втрачати стійкість від нормальних напружень при значеннях $h_{ст}/\delta_{ст} > 162$. Для запобігання втрати стійкості рекомендується встановлювати парні поздовжні ребра жорсткості на відстані $0,25h$ від верхньої полиці.

Однак, з огляду на наближеність ряду передумов, при виведенні вищенаведених формул рекомендується критичну гнучкість стінки (при впливі тільки нормальних напружень) приймати на рівні:

– $K_{кр} = 160$ для Ст3;

– $K_{кр} = 160 \sqrt{\frac{210}{[\sigma]}}$ для інших сталей.

3 При спільній дії нормальних і дотичних напружень втрата стійкості може відбутися при напруженнях менших, ніж критичні напруження $\sigma_{кр}$ і $\tau_{кр}$, що відповідають роздільному впливу нормальних і дотичних напружень.

Перевірка стінки балки на стійкість проводиться по відсіках (прямокутниках), які утворюються між поясами балки і ребрами жорсткості. Змінюючи відстань між ребрами жорсткості, можна отримати таке співвідношення сторін відсіку, при якому стінка балки буде стійкою.

Попередньо намітивши розміщення ребер жорсткості з максимально можливою відстанню між ними $a_{\max} = (2 \dots 2,5)h$, перевіряють стійкість стінки при спільній дії нормальних і дотичних напружень.

Умова стійкості відсіку стінки набирає вигляду:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{кр}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{кр}}}\right)^2} \leq m, \quad (3.58)$$

де $\sigma_{\text{кр}}$, $\tau_{\text{кр}}$ – критичні нормальні і дотичні напруження при їх роздільному впливі (формули (3.50), (3.55));

σ – крайове напруження в відсіку, $\sigma = \frac{M_p h_{\text{ст}}}{2I_x}$

τ – середнє дотичне напруження в тому ж відсіку, $\tau = \frac{Q_p}{h_{\text{ст}} \delta_{\text{ст}}}$

m – коефіцієнт, що враховує призначення балки (для підкранових балок $m = 0,9$, для інших $m = 1$).

Перевірку цієї умови проводять в балці, укріпленій тільки поперечними ребрами, якщо $\frac{h_{\text{ст}}}{\delta_{\text{ст}}} = 110 \sqrt{\frac{210}{[\sigma]}}$.

Якщо умова (3.57) не виконується, то в підкорінному виразі повинні бути збільшені знаменники, що досягається конструктивними рішеннями, тобто установкою поперечних або (і) поздовжніх ребер жорсткості.

Якщо до нормальних і дотичних напружень додати місцеві напруження зминання ($\sigma_{\text{м}} > 0$), то стійкість балки перевіряється за такою залежністю:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{кр}}} + \frac{\sigma_{\text{м}}}{\sigma_{\text{мкр}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{кр}}}\right)^2} \leq m, \quad (3.59)$$

де $\sigma_{\text{м}}$ – місцеве напруження;

$\sigma_{\text{мкр}}$ – критичне значення місцевого напруження, яке визначається з виразу

$$\sigma_{\text{мкр}} = k_1 \left(\frac{100 \delta_{\text{ст}}}{a}\right)^2, \quad (3.60)$$

де k_1 – коефіцієнт, що залежить від співвідношення сторін $a/h_{\text{ст}}$ розглянутого відсіку (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Значення коефіцієнта k_1

γ^*	$a/h_{ст}$								
	$\leq 0,5$	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\leq 0,8$	2,04	2,39	3,04	3,67	4,11	4,67	5,32	6,04	6,88
1,0	2,07	2,44	3,13	3,80	4,29	4,90	5,61	6,39	7,29
2,0	2,13	2,54	3,33	4,17	4,85	5,67	6,59	7,59	8,72
4,0	2,17	2,60	3,47	4,46	5,33	6,38	7,58	8,89	10,35
6,0	2,18	2,62	3,52	4,58	5,55	6,73	8,07	9,54	11,19
10,0	2,19	2,64	3,57	4,68	5,76	7,07	8,56	10,21	12,06
≥ 30	2,21	2,67	3,65	4,86	6,15	7,74	9,56	11,58	13,86

* коефіцієнт γ визначається за формулою (3.56)

3.5.6 Підбір та розміщення вертикальних ребер [2, с.76 - 83; 5, с.44 - 146]

Відстань між поперечними ребрами при $\frac{h_{ст}}{\delta_{ст}} > 100$ не повинна перевищувати $2h_{ст}$ і $2,5h_{ст}$ при $\frac{h_{ст}}{\delta_{ст}} \leq 100$

У стінках, укріплених тільки поперечними ребрами ширина ребра

$$b_p \geq \frac{h_{ст}}{30} + 40 \text{ мм.} \quad (3.61)$$

Товщина поперечного ребра зі сталі класу С38/23 - С46/33

$$\delta_p \geq \frac{b_p}{15}. \quad (3.62)$$

Поперечні ребра жорсткості виготовляють зі смугового прокату, рідше – з профільного металу (рис. 3.18) і розміщують від стикового шва на відстані (с) не менш $10\delta_{ст}$.

Торці поперечних вертикальних ребер не доводяться до нижнього пояса на 40...60 мм, у верхній частині ребер виконується висікання розміром не менше 30×30 мм.

При рухомих зосереджених навантаженнях з інтенсивністю $\frac{P}{\delta_p} \geq 15 \text{ кН/мм}$ відстань між ребрами (а) зменшується:

- поблизу від опори $a = (1,0 \dots 1,2)h$
- в прольоті $a = (1,2 \dots 1,5)h$

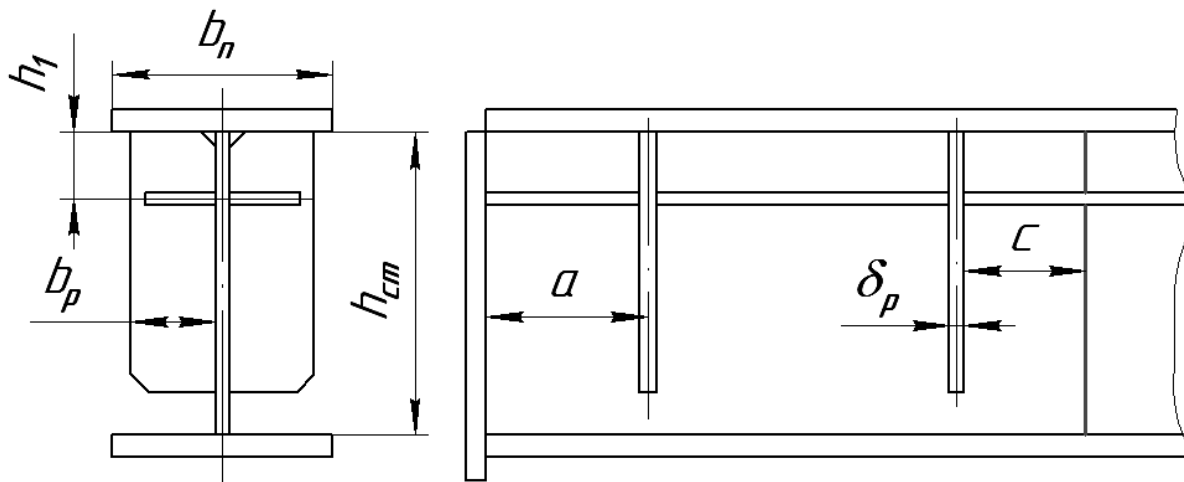


Рисунок 3.18 – Схема розміщення поперечних і поздовжніх ребер жорсткості

Розміри парних поперечних ребер повинні забезпечувати (рис. 3.19):
– необхідний момент інерції

$$I_{\text{поп.р}}^{\text{н}} \geq 3h_{\text{ст}}\delta_{\text{ст}}^3; \quad (3.63)$$

– фактичний (дійсний)

$$I_{\text{поп.р}} > \frac{\delta_p(2b_p)^3}{12}. \quad (3.64)$$

При цьому обов'язковим є виконання нерівності

$$I_{\text{поп.р}} > I_{\text{поп.р}}^{\text{н}}. \quad (3.65)$$

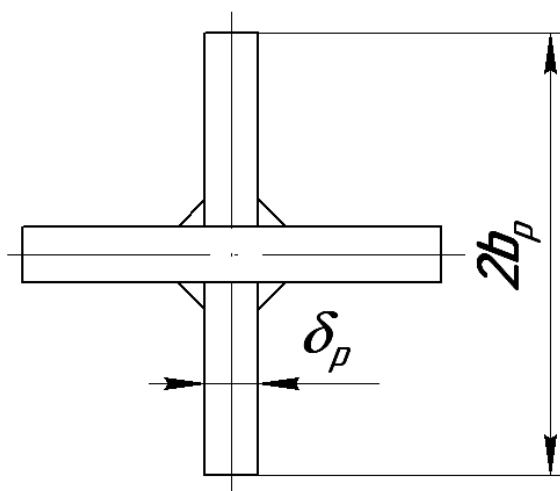


Рисунок 3.19 - Схема визначення моменту інерції поперечного ребра

3.5.7 Підбір та встановлення горизонтального (поздовжнього) ребра

Поздовжні ребра встановлюються на відстані $h_1 = (0,2 \dots 0,3)h_{\text{ст}}$ від стисненого пояса. Розміри поздовжнього ребра призначають, виходячи з таких міркувань:

- товщина ребра $\delta'_p \geq \frac{b}{15}$ – для вуглецевих сталей;
 $\delta'_p \geq \frac{b}{12}$ – для низьколегованих сталей;
- ширина поздовжнього ребра приймається менше ширини вертикального ребра.

Поздовжнє ребро виконується суцільним по всій довжині балки.

Отримані розміри округлюють до стандартного розміру смуги.

Правильно призначені розміри парних поздовжніх ребер повинні забезпечувати [1, с. 81, 2, с. 144]:

$$I_{\text{пр.р}}^{\text{н}} \geq 1,5h_{\text{ст}}\delta_{\text{ст}}^3, \quad (3.66)$$

$$I_{\text{пр.р}} > \frac{\delta'_p(2b'_p)^3}{12}; \quad (3.67)$$

$$I_{\text{пр.р}} > I_{\text{пр.р}}^{\text{н}}, \quad (3.68)$$

де $I_{\text{пр.р}}^{\text{н}}$ $I_{\text{пр.р}}$ – необхідний і дійсний моменти інерції поздовжніх ребер;

δ'_p і b'_p – товщина і ширина поздовжнього ребра.

3.5.8 Перевірка стійкості стінки балки по відсіках

При вигині балки в стінці виникає складний напружений стан від спільної дії нормальних і дотичних напружень, який може викликати втрату місцевої стійкості стінки.

Перевірка стінки балки на стійкість проводиться по відсіках (прямокутникам), які утворюються між поясами балки і ребрами жорсткості.

Можливі три варіанти розміщення ребер жорсткості (рис. 3.20):

- балка симетричного перетину, укріплена поперечними основними ребрами жорсткості (рис. 3.20, а);
- балка симетричного перетину, укріплена поперечними основними ребрами жорсткості і поздовжнім ребром (рис. 3.20, б);

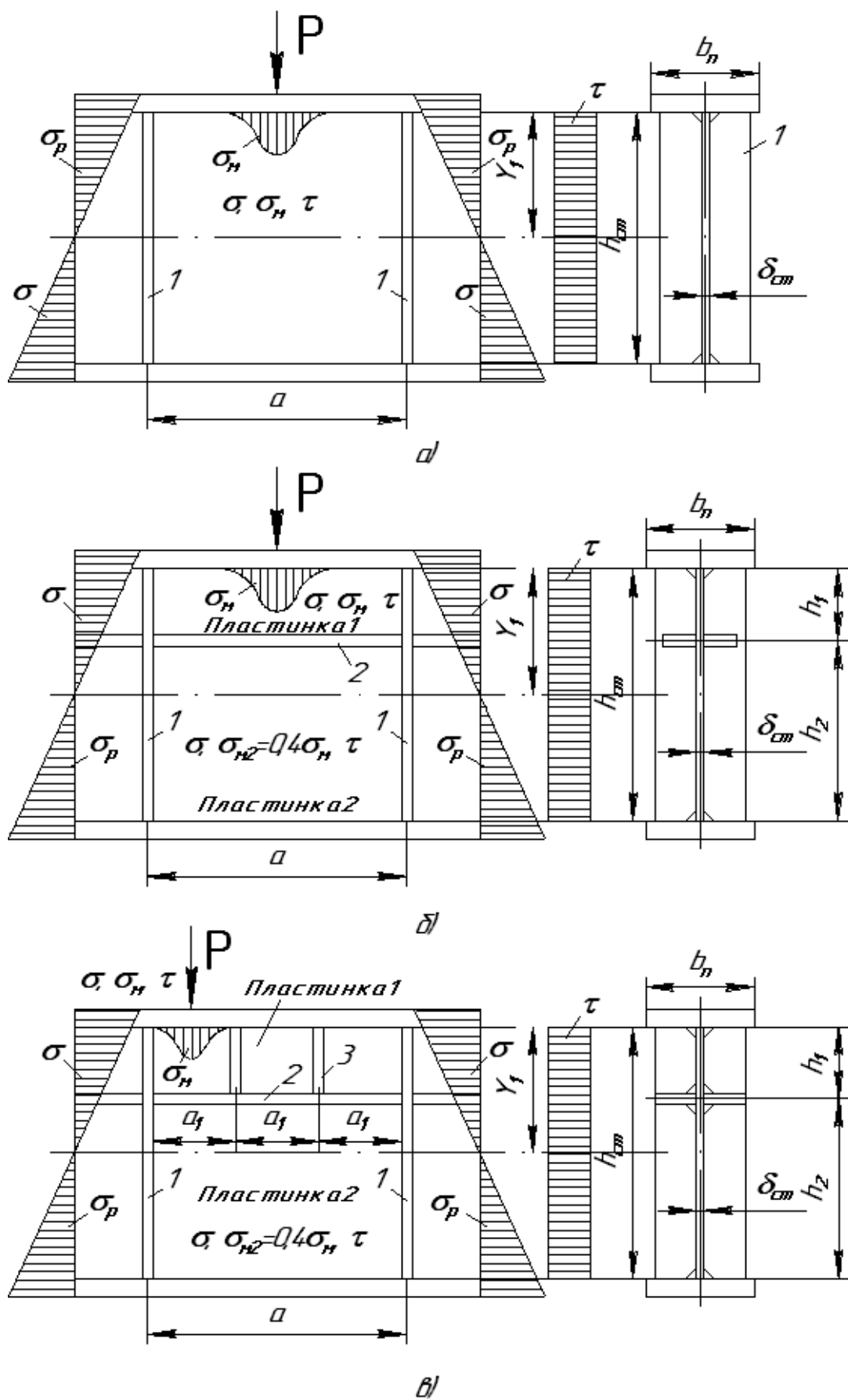


Рисунок 3.20 – Схеми напруженого стану в відсіках при різній розстановці ребер жорсткості

– балка симетричного перетину, укріплена поперечними основними ребрами жорсткості, поздовжнім ребром і стисла частина стінки укріплена короткими ребрами (рис. 3.20, в).

Намітивши попереднє розміщення ребер жорсткості з урахуванням рекомендацій п.п. 3.5.6, 3.5.7, перевіряють стійкість стінки при загальній дії нормальних і дотичних напружень. Перевірка проводиться в відсіку посередині довжини балки (діє максимальний згинальний момент M) і в відсіку на опорі (діє максимальна поперечна сила Q).

Максимальні силові фактори, що діють в відсіках, визначають з огинаючої епюри $M_{\max}$ і $Q_{\max}$ (рис. 3.21), використовуючи рекомендації [1, с. 77; 2, с. 190]:

$$M_1 = M_{p1} \beta_M, \quad (3.69)$$

$$Q_1 = Q_{p1} \beta_Q, \quad (3.70)$$

де

$$Q_{p1} = \frac{Q_{л1} + Q_{пр1}}{2}, \quad (3.71)$$

де β_M і β_Q - коефіцієнти, які враховують власну вагу конструкції і залежать від її довжини (табл. 3.3);

$Q_{л1}$, $Q_{пр1}$ - значення перерізуючої сили в лівій і правій частинах відсіку.

Розглянемо приклади застосування методики розрахунку для різних варіантів розстановки ребер жорсткості.

1 Балка симетричного перетину, укріплена поперечними основними ребрами жорсткості (1) (див. рис. 3.20, а)

Враховуються компоненти напруженого стану σ , σ_M і τ .

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_0} + \frac{\sigma_M}{\sigma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^2} \leq m, \quad (3.72)$$

де m – коефіцієнт умов роботи (для підкранових балок $m = 0,9$; для інших $m = 1,0$).

Крайові стискаючі напруження у розрахункових межах відсіку рівні:

$$\sigma = \frac{M_p}{I_x} Y_1; \quad Y_1 = \frac{h_{ст}}{2}, \quad (3.73)$$

де M_p – згинальний момент в розрахунковому перерізі;

Y_1 – відстань від нейтральної осі до розрахункової межі відсіку.

Дотичне напруження, обчислене за середнім значенням поперечної сили Q , так само

$$\tau = \frac{Q_p}{h_{\text{ст}} \delta_{\text{ст}}}, \quad (3.74)$$

де $h_{\text{ст}}$, $\delta_{\text{ст}}$ – висота і товщина стінки балки.

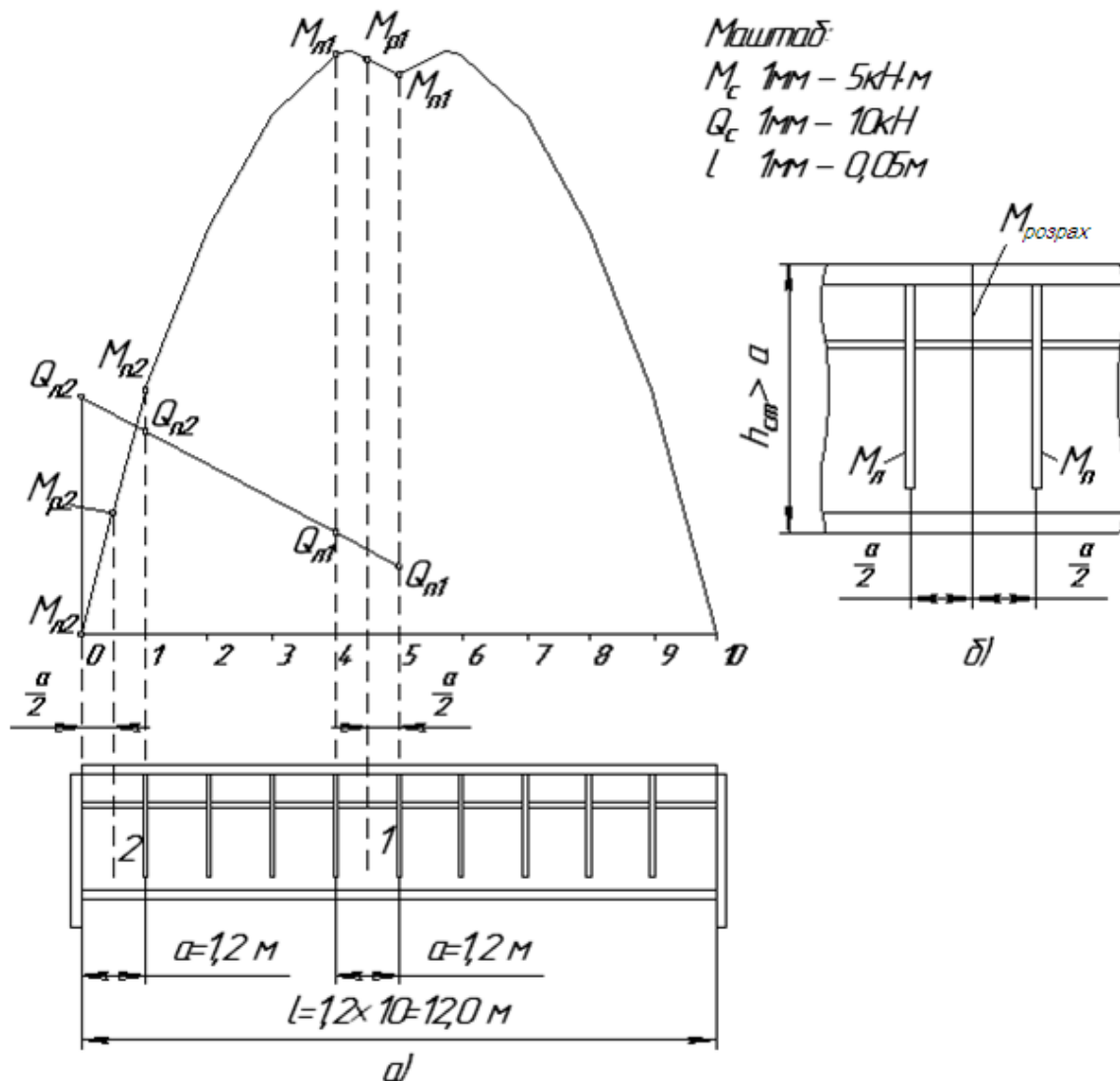


Рисунок 3.21 – Схема визначення M_p і Q_p для пластин 1 і 2 середнього і крайнього відсіків балки по епюрах $M_{\text{тах}}$ і $Q_{\text{тах}}$

Місцеві стискаючі напруження під зосередженим вантажем складає:

$$\sigma_{\text{м}} = \frac{n_1 P}{z \delta_{\text{ст}}}, \quad (3.75)$$

де n_1 – коефіцієнт перевантаження, (1,1 для підкранових балок; 1,0 для всіх інших балок);

z – довжина зони місцевого тиску (3.48).

Критичні нормальні напруження дорівнюють:

1 При $\sigma_M = 0$

$$\sigma_0 = k_0 \left(\frac{100\delta_{\text{ст}}}{h_{\text{ст}}} \right)^2, \quad (3.76)$$

2 При $\sigma_M \neq 0$ і $\frac{a}{h_{\text{ст}}} \leq 0,8\sigma_{M0}$ визначається за формулою

$$\sigma_{M0} = k_1 \left(\frac{100\delta_{\text{ст}}}{a} \right)^2, \quad (3.77)$$

а σ_0 – за формулою (3.75). Тут a – довжина відсіку.

3 При $\sigma_M \neq 0$ і $\frac{a}{h_{\text{ст}}} > 0,8$, і $\left(\frac{\sigma_M}{\sigma} \right)_{\text{действ}} > \left(\frac{\sigma_M}{\sigma} \right)_{\text{табл}}$ (див. табл. А.14)

$$\sigma_0 = k_2 \left(\frac{100\delta_{\text{ст}}}{h_{\text{ст}}} \right)^2, \quad (3.78)$$

а σ_{M0} – за формулою (3.76).

4 При $\sigma_M \neq 0$ і $\frac{a}{h_{\text{ст}}} > 0,8$, і $\left(\frac{\sigma_M}{\sigma} \right)_{\text{действ}} \leq \left(\frac{\sigma_M}{\sigma} \right)_{\text{табл}}$ σ_0 визначається за формулою (3.75), а σ_M – за формулою (3.76) з підстановкою замість (a) величини $(a/2)$, як в цю формулу, так і в табл. А.14 (додаток Б).

Критичні дотичні напруження в відсіку рівні:

$$\tau_0 = \left(1,25 + \frac{0,95}{\mu^2} \right) \left(\frac{100\delta_{\text{ст}}}{d} \right)^2, \quad (3.79)$$

де μ – відношення більшої сторони відсіку до меншої;

d – менша сторона відсіку.

2 Балка симетричного перетину, укріплена поперечними основними ребрами жорсткості (1) і поздовжнім ребром (2) (див. рис. 3.20, б)

Пластика 1. Враховуються компоненти напруженого стану σ , σ_M і τ .

$$\frac{\sigma}{\sigma_{01}} + \frac{\sigma_M}{\sigma_{M01}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{01}} \right)^2 \leq m. \quad (3.80)$$

При $\sigma_M = 0$ напруження визначаються за формулою σ_{01}

$$\sigma_{01} = \frac{1}{1 - \frac{h_1}{h_{\text{ст}}}} \left(\frac{100\delta_{\text{ст}}}{h_1} \right)^2. \quad (3.81)$$

При $\sigma_m \neq 0$ і $\mu_1 = \frac{a}{h_1} \leq 2\sigma_{0_1}$ критичні напруження σ_{m0_1} і визначаються за формулами:

$$\sigma_{0_1} = \frac{0,25}{1 - \frac{h_1}{h_{ст}}} \frac{(1 + \mu_1^2)^2}{\mu_1^2} \left(\frac{100\delta_{ст}}{h_1} \right)^2, \quad (3.82)$$

$$\sigma_{m0_1} = k' \frac{(1 + \mu_1^2)^2}{\mu_1^2} \left(\frac{100\delta_{ст}}{a} \right)^2. \quad (3.83)$$

Якщо $\mu_1 = \frac{a}{h_1} > 2$, в формули (3.80) і (3.81) підставляється $\mu_1 = 2$. Значення коефіцієнта k' визначається за табл. Б.15 (додаток Б).

Пластика 2. Враховуються компоненти напруженого стану σ , σ_{m_2} і τ .

$$\sqrt{\left[\frac{\sigma \left(1 - \frac{2h_1}{h_{ст}} \right)}{\sigma_{0_2}} + \frac{\sigma_{m_2}}{\sigma_{m0_2}} \right]^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{0_2}} \right)^2} \leq 1. \quad (3.84)$$

Компоненти напруженого стану визначаються:

- σ – за формулою (3.72);
- τ – за формулою (3.73);
- σ_m – за формулою (3.74);
- τ_{0_2} – за формулою (3.78) з підстановкою розмірів пластинки, що перевіряється.

$$\sigma_{m_2} = 0,4\sigma_m, \quad (3.85)$$

$$\sigma_{0_2} = \frac{1,14}{\left(0,5 - \frac{h_1}{h_{ст}} \right)^2} \left(\frac{100\delta_{ст}}{h_{ст}} \right)^2. \quad (3.86)$$

Критичне напруження σ_{m0_2} визначаємо за формулою (3.76) при $\gamma = 0,8$ і замінюємо $\frac{a}{h_{ст}}$ на $\frac{a}{h_{ст} - h_1}$

Критичне напруження τ_{0_2} визначаємо за формулою (3.78) з підстановкою в неї розмірів пластинки.

3 Балка симетричного перетину укріплена поперечними основними ребрами жорсткості (1), поздовжнім ребром (2) і пластинка 1, укріплена короткими ребрами (3) (див. рис. 3.20, в)

Додаткові короткі поперечні ребра (3) слід доводити до поздовжнього ребра.

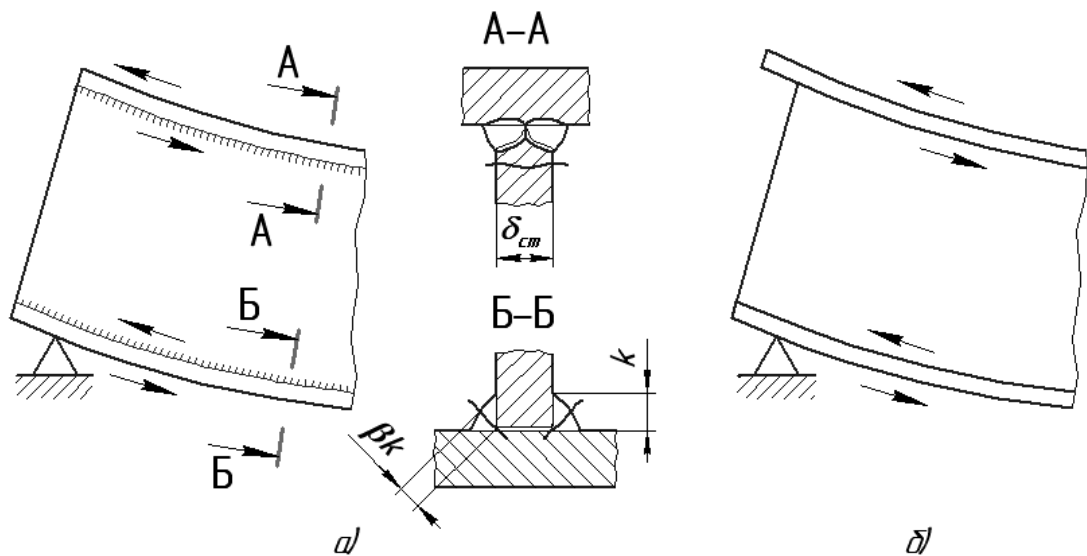
Перевірка місцевої стійкості ведеться за формулами (3.79) ... (3.82) при $a = a_1$ (a_1 - відстань між осями коротких ребер).

Перевірка пластинки залишається без змін.

3.6 Розрахунок зварних швів балки

3.6.1 Перевірка міцності верхнього шва /1, 6/

У зварних балках пояса зі стінкою з'єднуються безперервним зварним швом (рис. 3.22, а). Якби пояс і стінка не були поєднані один з одним, то при вигині вони зрушили б один відносно одного (рис. 3.22, б).



а – пояса приварені; б – пояса, що не приварені до стінки; А-А – лінія руйнування при повному проплавленні; Б-Б – лінія руйнування при зварюванні кутовими швами

Рисунок 3.22 – Деформація балки при вигині

Верхні поясні шви в підкранових балках, які сприймають рухомі навантаження, необхідно виконувати з повним проплавленням.

З'єднання пояса зі стінкою перешкоджає їх взаємному зсуву, внаслідок чого в швах виникають дотичні напруження, які при повному проплавленні визначаються за формулою

$$\tau = \frac{Q S_{\Pi}}{I_x \delta_{\text{ст}}}, \quad (3.87)$$

де S_{Π} – статичний момент пояса (частини перетину, що схильна до зсуву) відносно нейтральної осі балки

$$S_{\Pi} = F_{\Pi} \left(\frac{h_{\text{ст}}}{2} + \frac{\delta_{\Pi}}{2} \right). \quad (3.88)$$

Крім цього, необхідно враховувати також вплив місцевих напружень від тиску колеса крана. Тому остаточно напруження визначають як результуючі:

$$\tau_{\text{рез}} = \sqrt{\tau^2 + \sigma_{\text{м}}^2} \leq [\tau'], \quad (3.89)$$

З урахуванням формул (3.74 і 3.86) можна записати

$$\tau_{\text{рез}} = \frac{1}{\delta_{\text{ст}}} \sqrt{\left(\frac{QS_{\Pi}}{I_x} \right)^2 + \left(\frac{n_1 P}{z} \right)^2}. \quad (3.90)$$

3.6.2 Перевірка міцності нижнього шва

При зварюванні кутовими швами без повного провару статично навантаженої балки напруження визначають:

$$\tau_Q = \frac{Q_p S_{\Pi}}{I_6 2 \beta k}, \quad (3.91)$$

де S_{Π} – статичний момент пояса відносно нейтральної осі балки, см³;

I_6 – момент інерції балки, см⁴;

β – коефіцієнт, що залежить від способу зварювання;

k – катет шва, см.

Звідки можна визначити катет шва:

$$k = \frac{Q_p S_{\Pi}}{I_6 2 \beta [\tau']}, \quad (3.92)$$

де $[\tau']$ – допустиме напруження для металу кутового шва, приймаємо відповідно до рекомендацій [1, с. 39; 2, с. 120].

Мінімальний катет шва – 4 мм.

При рухомому навантаженні, що переміщається по верхньому поясу балки, в шві виникають додаткові напруження:

$$\tau_P = \frac{0,4P}{z 2 \beta k}, \quad (3.93)$$

де 0,4 – числовий коефіцієнт, що враховує частку (40%) рухомого навантаження, що передається на стінку через поясні шви;

P – величина вертикального розрахункового навантаження, кН;

z – умовна довжина місцевого тиску (формула (3.48)), см.

В цьому випадку результуючі напруження в поясному шві

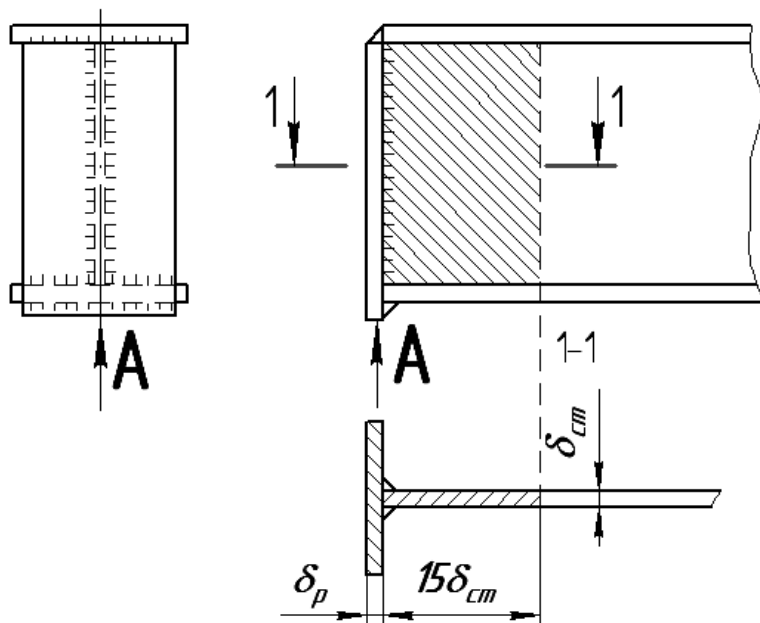
$$\tau_{\text{рез}} = \sqrt{(\tau_Q)^2 + (\tau_P)^2} \leq [\tau']. \quad (3.94)$$

У разі перевантаження більше ніж на 5% необхідно збільшити катет шва в межах до $1,2\delta_{\text{ст}}$.

Якщо навантаження переміщується по нижньому поясу, то у формулі (3.92) коефіцієнт 0,4 опускають.

3.7 Розрахунок і конструювання опорних ребер балки

Найбільш поширені одинарні опорні ребра, які встановлюють при малих товщинах стінки і середніх значеннях опорних реакцій (рис. 3.23)



A – опорна реакція; $15\delta_{\text{ст}}$ – ділянка стінки, що сприймає стискання від дії опорної реакції

Рисунок 3.23 – Ескіз опорного ребра балки

3.7.1 Визначення площі поперечного перерізу опорного ребра з умови міцності торця на зминання (рис. 3.23)

Опорні частини призначені для передачі навантаження на колону або фундамент. При невеликих навантаженнях опорні частини виконують у вигляді плоскої опорної плити, привареної до балки (рис.3.23). Виходячи з умови міцності торця ребра на зминання, визначають необхідну площу опору:

$$F_{3M}^H = \frac{A_{max}}{R_{3M}}, \quad (3.95)$$

де A_{max} – максимальна опорна реакція, $A = Q_{max}$, кН;

R_{3M} – розрахунковий опір матеріалу на зминання, кН/см² (МПа).

Задавшись конструктивно шириною торцевого ребра (менше за ширину поясу), наприклад $b_H \geq 180$ мм, знаходять його необхідну товщину $\delta_H = \frac{F_{3M}^H}{b_H} > 14$ мм, остаточні розміри визначають з урахуванням вимог місцевої стійкості і погоджують з ГОСТ 82-70 [5, с.39], при цьому дотримуючись умови $F_{3M} \geq F_H$.

Напруження зминання

$$\sigma_{3M} = \frac{A_{max}}{F_{3M}} \leq [\sigma], \quad (3.96)$$

де F_{3M} – фактична розрахункова площа, яка працює на зминання, см²:

$$F_{3M} = \delta_H b_H. \quad (3.97)$$

Нижній торець опорного ребра повинен бути механічно обробленим.

3.7.2 Визначення стійкості і міцності опорного ребра [2, с.83 - 853; 5, с.145]

Перевіряємо стійкість ребра при поздовжньому вигині із площини балки. При розрахунку враховується ділянка стінки балки шириною $15\delta_{ст}$, що примикає до ребра і утворює з ним стійку таврового перетину (рис. 3.23). Визначаємо:

– площа поперечного перерізу стійки

$$F_c = \delta_T b_T + 15\delta_{ст}\delta_{ст}; \quad (3.98)$$

– момент інерції

$$I_c = \frac{\delta_T b_T^3}{12}; \quad (3.99)$$

– радіус інерції

$$r_c = \sqrt{\frac{I_c}{F_c}}; \quad (3.100)$$

– гнучкість

$$\lambda_c = \frac{h_c}{r_c}. \quad (3.101)$$

За значенням гнучкості визначають коефіцієнт поздовжнього вигину [2, с. 160] в опорному ребрі від дії стискаючої сили, і визначаємо напруження:

$$\sigma_{3M} = \frac{A_{\max}}{F_c \varphi}, \quad (3.102)$$

де φ – коефіцієнт поздовжнього вигину.

При великих опорних реакціях ставлять подвійні або потрійні ребра (рис. 3.24).

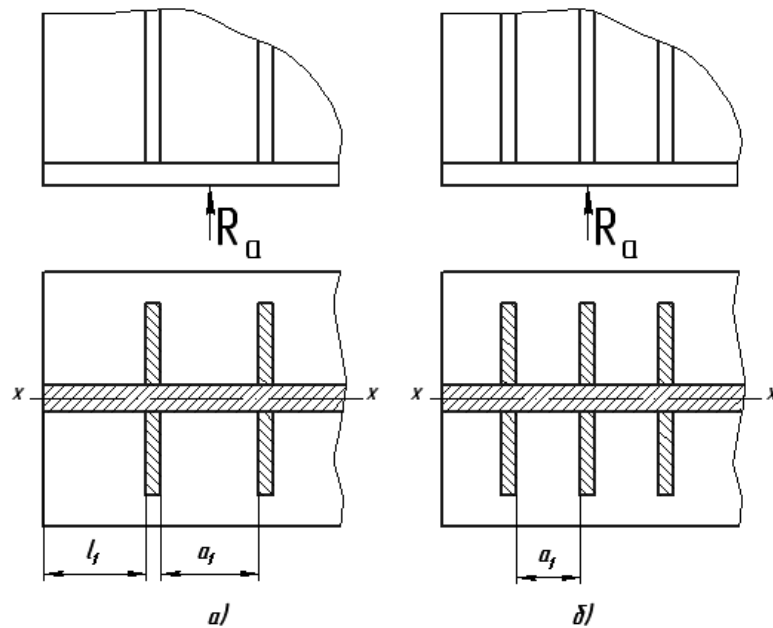


Рисунок 3.24 – Схема розташування опорних ребер

Відстань між ребрами $a_1 = b_H$, а від краю балки до ребра: $l_1 \leq 15\delta_{ст}$ для балок з низьковуглецевих сталей і $12\delta_{ст}$ для балок з низьколегованих сталей

3.7.3 Розрахунок зварних швів, що прикріплюють ребра жорсткості до стінки і полиці балки [2, с. 85]

Торцеве опорне ребро приварюється по висоті стінки і до поясів. За рекомендаціями [1, с. 39; 2, с. 120], приймаємо остаточне значення катета шва, попередньо розрахувавши з умов міцності:

$$k = \frac{A_{\max}}{(2b_n + 2h_{\text{ст}})\beta[\tau']}. \quad (3.103)$$

Шви, якими приварюють ребра жорсткості, на міцність не розраховуються, їх виконують кутовими з катетом $(0,3 \dots 0,6)\delta_{\text{ст}}$, але не менше 4 мм. Ребра жорсткості приварюють суцільними двосторонніми швами без повного проплавлення. До розтягнутого поясу і в розтягнутій зоні вертикального листа на довжині $e = (0,1 \dots 0,2)h$ ребра жорсткості рекомендується не приварювати.

3.7.4 Виконання стикових з'єднань в балках

Часто виникає необхідність стикування балок, або листів стінки, або поясів (полиць). Схеми розташування стиків показані на рис 3.25.

Розташування швів може бути універсальним (рис. 3.25, а) і різноспрямованим (рис. 3.25, б). Монтажні стики, як правило, виконують за схемою, коли шви розташовані на одній прямій (див. рис. 3.25, а).

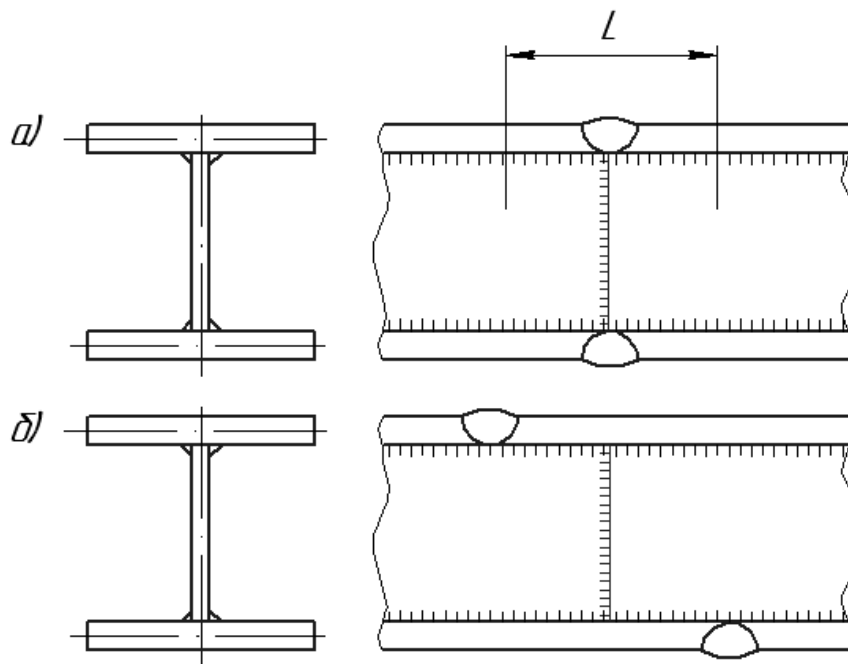


Рисунок 3.25 – З'єднання елементів балок встик

Призначаючи послідовність виконання швів поясів і стінки, необхідно мати на увазі наступне. Якщо в першу чергу зварити стики поясів, то стик стінки доведеться виконувати в умовах жорсткого закріплення, що може сприяти утворенню тріщин в процесі зварювання. Коли спочатку зварюють стик стінки, в стиках поясів виникає високий рівень залишкових напружень розтягу, що може знизити міцність від втоми при роботі на вигин. Для полегшення умов зварювання стику ділянки поясних швів балки довжиною L (див. рис. 3.25, а) іноді не доварюють, а виконують їх після зварювання стикових швів. Послідовність виконання технологічних швів показана на рис.3.26.

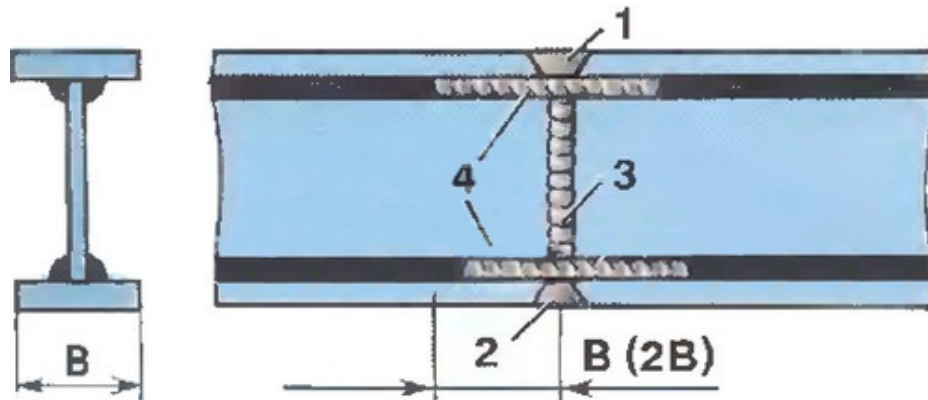


Рисунок 3.26 – Послідовність виконання технологічних швів

Стикові шви доцільно розміщувати в зоні, де згинальний момент не більше $0,85M_{\max}$. Необхідно також конструювати технологічні стики поясів і стінки рівномісними основному металу. Рівноміцність досягається двостороннім зварюванням під шаром флюсу із застосуванням технологічних планок.

Напруження в стиковому з'єднанні визначають, як

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma'], \quad (3.104)$$

де $[\sigma']$ – допустимі напруження для зварного шва, МПа;

W – момент опору перерізу балки, см^3 .

Косі стики, як правило, не рекомендують, так як вони не технологічні.

Якщо $\sigma > [\sigma']$, а стик повинен перебувати в зоні дії $M_{\max}$, то допускається виконати місцеве посилення балки, приваривши до поясів накладку. Але таке рішення приймають рідко, оскільки накладки підвищують концентрацію напружень при рухомому навантаженні.

4 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ЗВАРНОЇ ФЕРМИ

4.1 Загальні положення

Зварна ферма – це геометрично незмінна система стержнів, які утворюють між собою у вузлах нероз'ємні з'єднання.

Ферми із зварними з'єднаннями стержнів відрізняються від шарнірних. Однак встановлено, що розподіл зусиль в таких фермах незначно відрізняється від розподілу зусиль в фермах, де стержні з'єднані шарнірно [5].

Тому зварні ферми при розрахунках можна розглядати як шарнірні. Три стержня, з'єднані між собою шарнірно, є незмінною плоскою фермою. З головного трикутника можна отримати нові незмінні системи ферм, поступово додаючи два стержня.

Ферми, які отримані поступовим нарощуванням на головний трикутник двох стержнів, які утворюють вузол, називають простими (рис. 4.1).

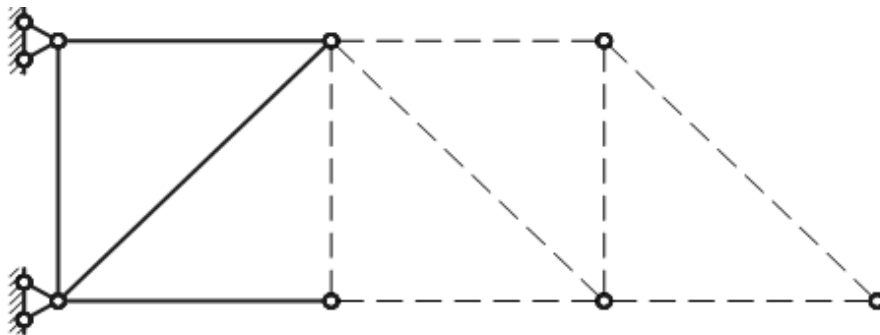


Рисунок 4.1 – Приклад нарощування ферми на головний трикутник

Ферми мають верхній і нижній пояси, які з'єднані між собою стержнями, що утворюють розкісну решітку (рис. 4.2).

Вертикальні елементи решіток називають стійками, а розташовані під деяким нахилом - розкосами. Відстань між опорними вузлами А і В називається прольотом ферми, який вибирають із стандартного ряду. Точки з'єднання стержнів називають вузлами ферми, а відстань між вузлами d - довжина панелі, яка може призначатися в межах (1,5 ... 3,0) м.

Зварні ферми класифікують за призначенням, наприклад підкранові, крокв'яні, мостові і т. п. Залежно від призначення вони мають різне співвідношення висоти і довжини прольоту. Наведені приклади ферм показані у вигляді плоских систем, але в дійсності конструкції складаються з двох або більшої кількості ферм, з'єднаних між собою елементами, які називають зв'язками або прогонами.

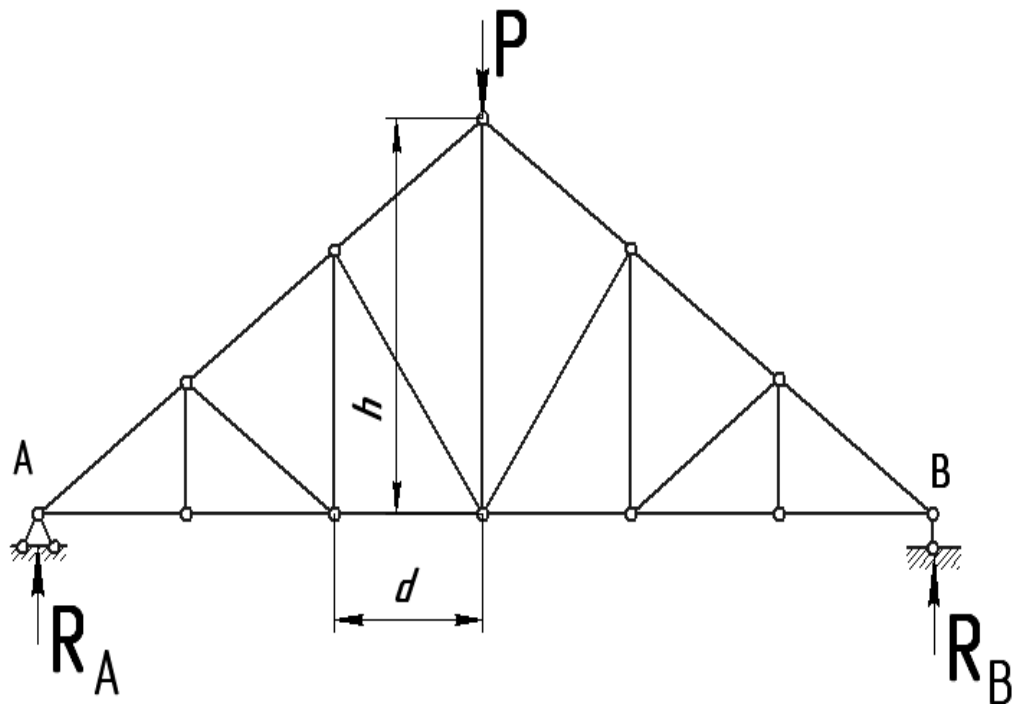


Рисунок 4.2 – Структура ферми

4.2 Вибір матеріалу елементів ферми, способу зварювання і зварювальних матеріалів

Застосування сталей підвищеної та високої міцності з $\sigma_T = 450 \dots 700$ МПа призводить до зниження маси конструкції, відповідно, на 15 ... 20% і 25 ... 50%. Однак ці сталі дорожче вуглецевих, тому вибір повинен бути обґрунтованим техніко-економічним аналізом з урахуванням умов експлуатації. Рекомендації щодо застосування марок сталей в залежності від умов експлуатації, а також за вибором способу зварювання і зварювальних матеріалів наведені в [2, с.29, 319; 5, с.11].

Зазвичай ферми працюють у важких умовах, тому рекомендується вибирати марки сталей першої групи [5, с.12].

Вибір способу зварювання і зварювальних матеріалів залежить від прийнятого матеріалу, умов забезпечення рівномірності зварного з'єднання з основним матеріалом і достатньої пластичності зварного шва.

Прийняті марки сталей повинні мати високі характеристики опору виникненню і поширенню крихких тріщин.

4.3 Перевірка геометричної незмінності і статичної визначеності ферми

Рухливість плоского кінематичного ланцюга знаходиться за формулою

$$W = 3n - 2p_2 - p_1, \quad (4.1)$$

де n – число ланок кінематичного ланцюга;

P_1, P_2 – кількість кінематичних пар 1 і 2-го класів.

Клас пари визначається кількістю зв'язків, які накладаються на відносний рух ланок, які нею з'єднуються.

Якщо $W > 0$, отримаємо механізм з однією і більше ступенями рухливості, тобто геометрично змінну конструкцію.

Якщо $W = 0$, маємо геометрично незмінну конструкцію.

Щоб конструкція (ферма) могла сприймати діючі на неї навантаження і зберігати при цьому свою форму, ступінь її рухливості $W \leq 0$, в цьому випадку ферма є геометрично незмінною.

Стосовно ферм формула (4.1) записується у вигляді [3, с. 173]

$$3C - 2ПШ + ОП = 0, \quad (4.2)$$

де C – кількість стержнів в фермі;

ПШ – кількість простих шарнірів;

ОП – кількість опорних стержнів.

Примітка. Кількість простих шарнірів в вузлі визначається за формулою

$$ПШ = K - 1, \quad (4.3)$$

де K – кількість стержнів, що входять у вузол, включаючи опорні.

Ферма може бути статично визначеною або статично невизначеною. Статична невизначеність може бути внутрішня і зовнішня.

Якщо ферма зовні і внутрішньо статично визначна, то опорні реакції можна знайти, використовуючи відомі рівняння статyki:

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \sum_{i=1}^n M_i = 0 \quad (4.4)$$

або

$$\sum_{i=1}^n M_A = 0; \sum_{i=1}^n M_B = 0 \quad (4.5)$$

У разі зовнішньої статичної невизначеності (число опорних стержнів більше трьох) або внутрішньої статичної невизначеності ($C > 2B - 3$) для знаходження невідомих опорних реакцій і зусиль у стержнях необхідно скласти додаткові рівняння, використовуючи метод сил, переміщень і т. д.

Для встановлення внутрішньої статичної визначеності ферми можна використовувати вираз

$$C + 3 = 2B, \quad (4.6)$$

де C – кількість стержнів ферми, крім опорних;

B – кількість вузлів;

3 – кількість опорних стержнів.

Приклад. Визначення геометричної незмінності і статичної визначеності ферми (рис. 4.3).

$$3C - 2\Pi\Pi + \text{ОП} = 3 \cdot 17 - 2 \cdot 27 + 3 = 0,$$

де $C = 17$; $\Pi\Pi = 27$; ОП = 3.

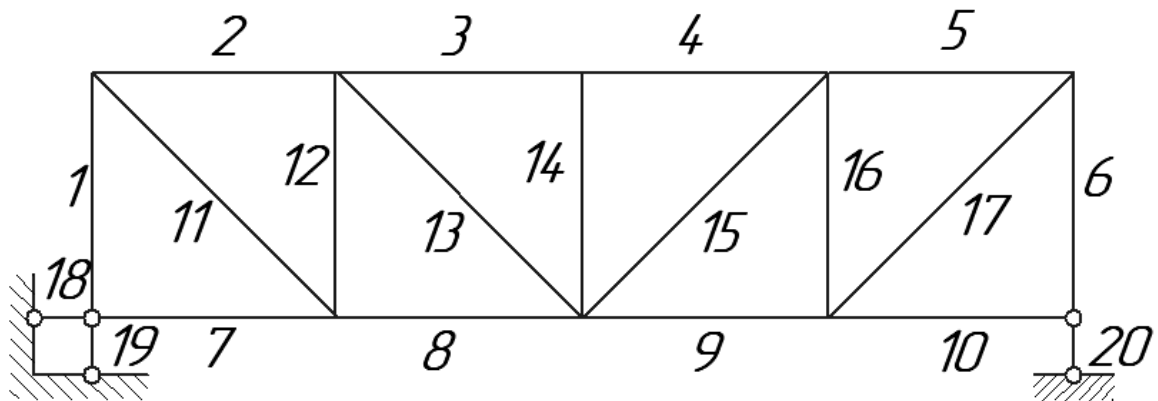


Рисунок 4.3 – Схема ферми для визначення геометричної незмінності і статичної визначеності

Рухливість ферми дорівнює нулю і ферма геометрично незмінна:

$$C + 3 - 2B = 17 + 3 - 2 \cdot 10 = 0,$$

де $C = 17$; $B = 10$.

Ферма внутрішньо і зовнішньо статично визначна.

4.4 Визначення зусиль в стержнях ферми

При розрахунках ферми завжди необхідно враховувати всі діючі на неї навантаження:

- постійні (власна вага конструкції, маса покриття і т. п.);
- тимчасові (вітрові, снігові і т. п.);
- рухомі, фіксовані.

Визначати зусилля в стержнях можна:

- побудовою діаграми Максвелла-Кремони;
- методом перетинів;
- методом вирізання вузлів.

4.4.1 Побудова діаграми Максвелла-Кремони

Визначення зусиль в стержнях виконують в такій послідовності:

- вибирають масштаб сил, наприклад, масштаб: 1 мм - 10 кН;
- викреслюють схему ферми в масштабі, наприклад, 1 мм - 0,1 м;
- прикладають до ферми зовнішні сили;
- визначають опорні реакції.

Проводять розбивку поля ферми на силові поля: зовнішні - ділянки креслення, розміщені між зовнішніми силами і зовнішнім контуром ферми, внутрішні - ділянки креслення, обмежені стержнями ферми. Позначають поля цифрами: спочатку обходять ферму по зовнішньому контуру (за годинниковою стрілкою), потім всередині контуру ферми (зліва направо) (рис. 4.4).

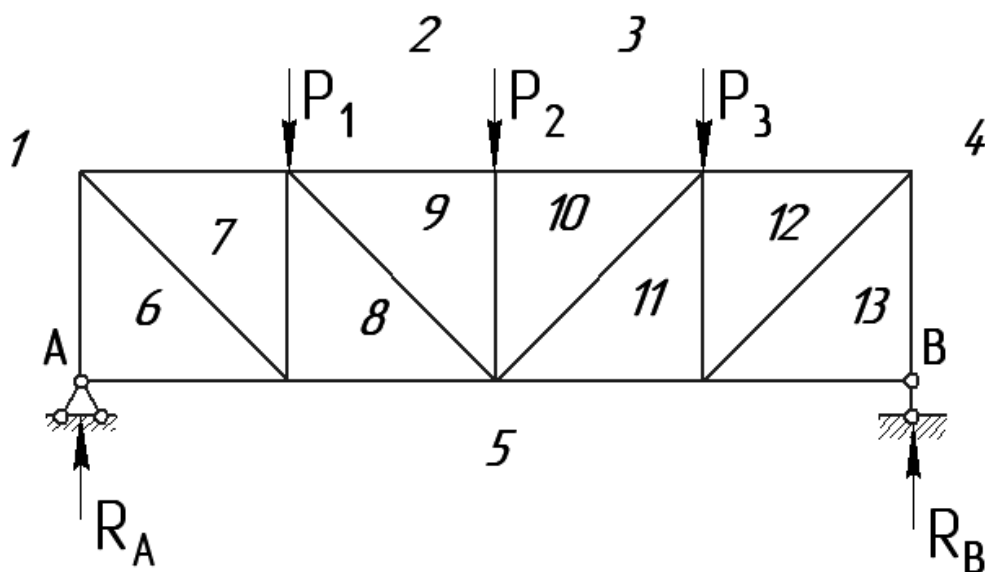


Рисунок 4.4 – Схеми ферми з розбивкою силових полів

Будують багатокутник зовнішніх сил в масштабі. Для наведеної схеми навантаження це буде пряма лінія. Після цього будують діаграму зусиль в стержнях ферми, починаючи з вузла, в якому сходиться не більше двох стержнів з невідомими зусиллями (рис. 4.5).

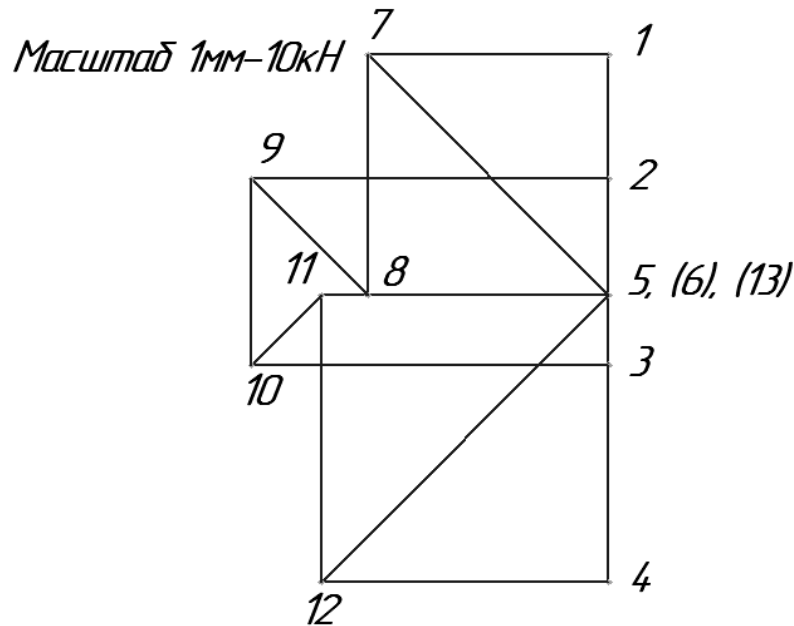


Рисунок 4.5 – Діаграма Максвелла-Кремони

Зусилля в кожному стержні позначається на діаграмі прямою з цифрами на кінцях. Цифри відповідають номерам полів, які розділяє стержень.

Побудова діаграми ведеться послідовно, переходячи від вузла до вузла, причому в кожному наступному вузлі має бути не більше двох стержнів з невідомими зусиллями.

Діаграма побудована правильно, якщо остання (замикаюча) лінія прийде точно в кінцеву точку (допускається відхилення від точки не більше 5 мм).

Приклад. Побудова діаграми Максвелла-Кремони для ферми (див. рис. 4.4, 4.5):

- 1 Визначають опорні реакції.
- 2 Будують діаграму (див. рис. 4.5), визначають величину і знак зусиль в стержнях ферми.

4.4.2 Визначення знака зусилля в стержні

Всі вузли на схемі ферми обходять за годинниковою стрілкою (рис. 4.6), а на діаграмі визначають напрямок зусиль в стержні (див. рис. 4.5). Наприклад: обхід з поля 3 в поле 10 (рис. 4.6) у вузлі ферми передбачає переміщення на діаграмі по відповідних точках (з точки 3 в 10),

що задає напрямок знака внутрішнього зусилля. В даному випадку зусилля в бік вузла, значить стержень стиснутий, якщо від вузла - розтягнутий (рис. 4.7).

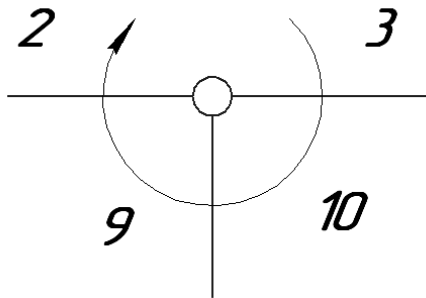


Рисунок 4.6 – Вибір напрямку обходу вузла при визначенні знака зусилля

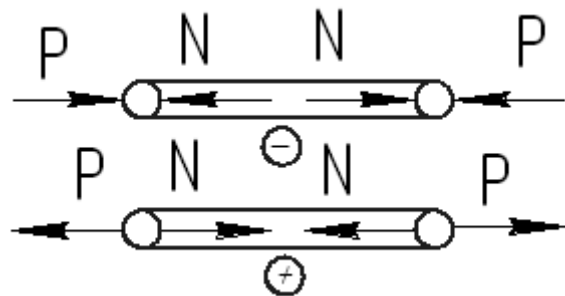


Рисунок 4.7 – Визначення знака зусилля в стержні

Часто в фермах є стержні, зусилля в яких можна визначити, знаючи такі правила:

а) якщо у вузлі ферми сходяться два стержні і зовнішня сила до вузла не прикладена, то обидва стержня непрацюють, тобто $N = 0$;

б) якщо у вузлі знаходиться два стержня і сила P , прикладена до вузла, діє в напрямку одного із стержнів, то зусилля в цьому стержні однакове за величиною і протилежне за напрямком прикладеної сили, а зусилля в другому стержні дорівнює нулю;

в) якщо в вузлі сходяться три стержні так, що два з них є продовженням один одного, а третій знаходиться під довільним кутом, і сила до вузла не прикладена, то стержні, які продовжують один одного, будуть мати різні за величиною і знаком зусилля, а в третьому зусилля буде дорівнювати нулю.

Розрахунок зусиль в стержнях ферми можна виконувати із застосуванням ПЕОМ.

Розрахункова програма працює за алгоритмом, який наведено на рис. 4.8.

Якщо ферма правильно спроектована, то всі її елементи будуть мати розтягуючі або стискаючі напруження. Т

акий характер навантаження дозволяє раціонально використовувати механічні властивості металу.

Для того щоб елементи конструкцій не мали згинальних моментів, необхідно дотримуватися наступних вимог [6]:

- осьові лінії елементів ферми у вузлах повинні перетинатися в одній точці, позацентрова передача зусиль не допускається;
- елементи ферми повинні бути прямолінійними;
- навантаження на ферму сприймається тільки вузлами.

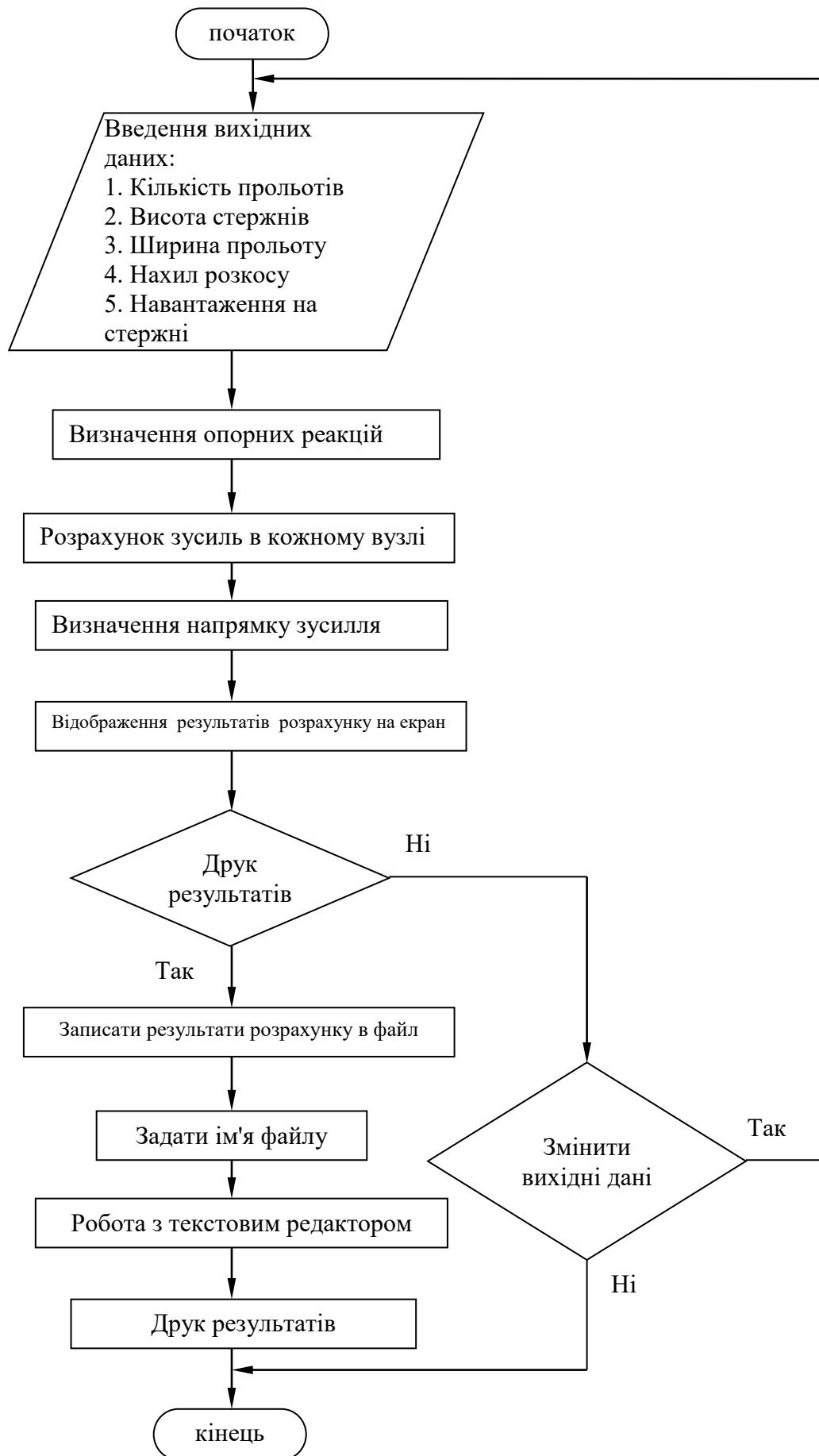


Рисунок 4.8 – Блок-схема алгоритму розрахунку зусиль в стержнях ферми

4.4.3 Вказівки до роботи з програмою з розрахунку зусиль в стержнях

Після запуску програми, зазначеної викладачем, на екрані здійснюється налаштування параметрів ферми.

Кількість секцій ферми, довжина, висота стержнів, величина зусиль, а також нахил внутрішніх стержнів ферми задається шляхом вказівки необхідних величин у відповідних полях. Всі зміни, зроблені користувачем, автоматично відображаються на екрані.

Натискання правої кнопки мишки призводить до появи додаткового меню, за допомогою якого можна привести до єдиного значення довжину або ширину секції ферми, величину діючої сили.

Після налаштування всіх параметрів і натискання кнопки «Розрахунок» з'явиться вікно з результатами розрахунків (рис. 4.9), які можна записати в файл, для подальшого їх виведення на принтер.

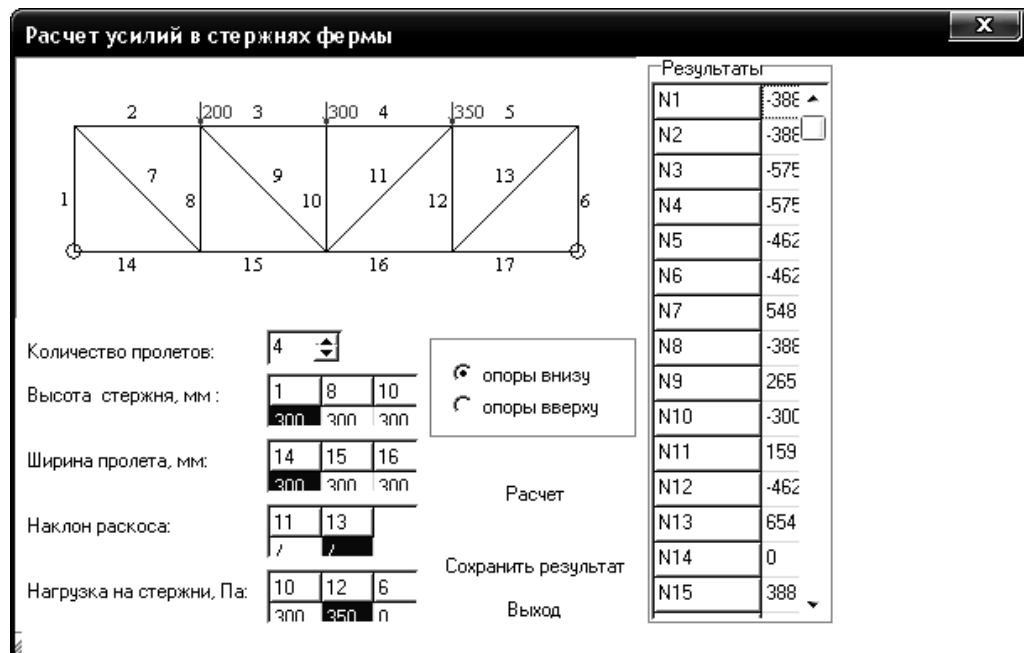


Рисунок 4.9 – Вікно з результатами розрахунків

4.5 Визначення розрахункової довжини стержнів «в площині» і «з площини» ферми

Для визначення розрахункових довжин стержнів ферми необхідно знати їх геометричну довжину, яка визначається безпосередньо з креслення (рис. 4.10).

Розрахункова довжина стержня визначається за формулою

$$l_p = \mu l, \quad (4.7)$$

де l – геометрична довжина стержня, тобто відстань між точками закріплення його кінців, см;

μ – коефіцієнт, що залежить від способу закріплення кінців стержня і умов навантаження, вибирається за таблицями [2, с.137; 5, с.186].

У фермах розрізняють довжину стержнів «в площині» і «з площини» [2, с.193].

Розрахункова довжина стержня «в площині» ферми дорівнює відстані між вузлами (рис. 4.10), помноженому на коефіцієнт μ_0

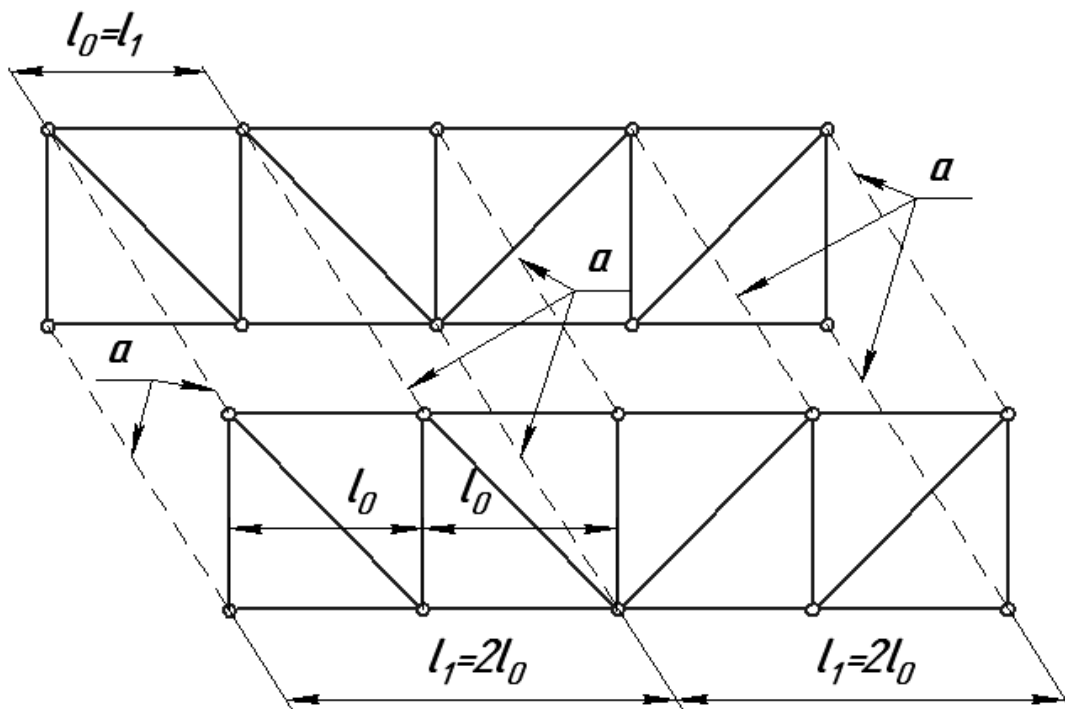
$$l_0 = \mu_0 l, \quad (4.8)$$

де l_0 – розрахункова довжина «в площині» ферми, см;

μ_0 – коефіцієнт, що визначає жорсткість закріплення кінців стержня «в площині» ферми;

l – геометрична довжина стержня, що дорівнює відстані між вузлами, см.

Для поясів, опорних розкосів і опорних стійок $\mu_0 = 1,0$; для інших елементів ферми $\mu_0 = 0,8$



a – прогони

Рисунок 4.10 – Розрахункові довжини стержнів

Розрахункова довжина стержня «з площини» ферми дорівнює відстані між прогонами (a), тобто закріпленнями, в напрямку, перпендикулярному площині ферми (рис. 4.10). Прогони зазвичай ставлять через один вузол по верхньому і нижньому поясах ферм. Вони служать для

з'єднання поясів сусідніх ферм між собою з метою укладання покрівлі, стелі і т. п. Довжина стержня «з площини» ферми залежить від геометричної довжини і визначається

$$l_1 = \mu_1 l, \quad (4.9)$$

де l_1 – розрахункова довжина «з площини» ферми, см;

μ_1 – коефіцієнт, що визначає жорсткість закріплення кінців стержня «з площини» ферми;

l – геометрична довжина стержня, рівна для поясів відстані між прогонами, що зв'язують сусідні ферми; для розкосів і стійок – відстані між вузлами, см.

Для всіх стержнів ферми $\mu_1 = 1,0$

4.5.1 Визначення товщини фасонки

Фасонки призначені для з'єднання стержнів у вузлах за допомогою зварювання або іншими способами.

Товщина фасонки (S_f) визначається за максимальним зусиллям, яке діє в стержнях ферми (табл. 4.1) і приймається однаковою для всієї ферми [2, с.196; 5, с.148]. Виготовляють фасонки із смугового або листового прокату.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані товщини фасонки [2, 5]

Максимальне зусилля в стержнях ферми, кН	< 150	160 ... 250	260 ... 400	410 ... 600	610 ... 1000	1010 ... 1400	1410 ... 1800	> 1800
Товщина фасонки, мм	6	8	10	12	14	16	18	20

Для сталі підвищеної міцності товщину фасонки можна зменшити, якщо отримане значення помножити на коефіцієнт $210/R$, де R – розрахунковий опір матеріалу фасонки, МПа.

4.6 Перетин стержнів

Перетин стержнів ферми може мати вигляд, наведений на рис. 4.11.

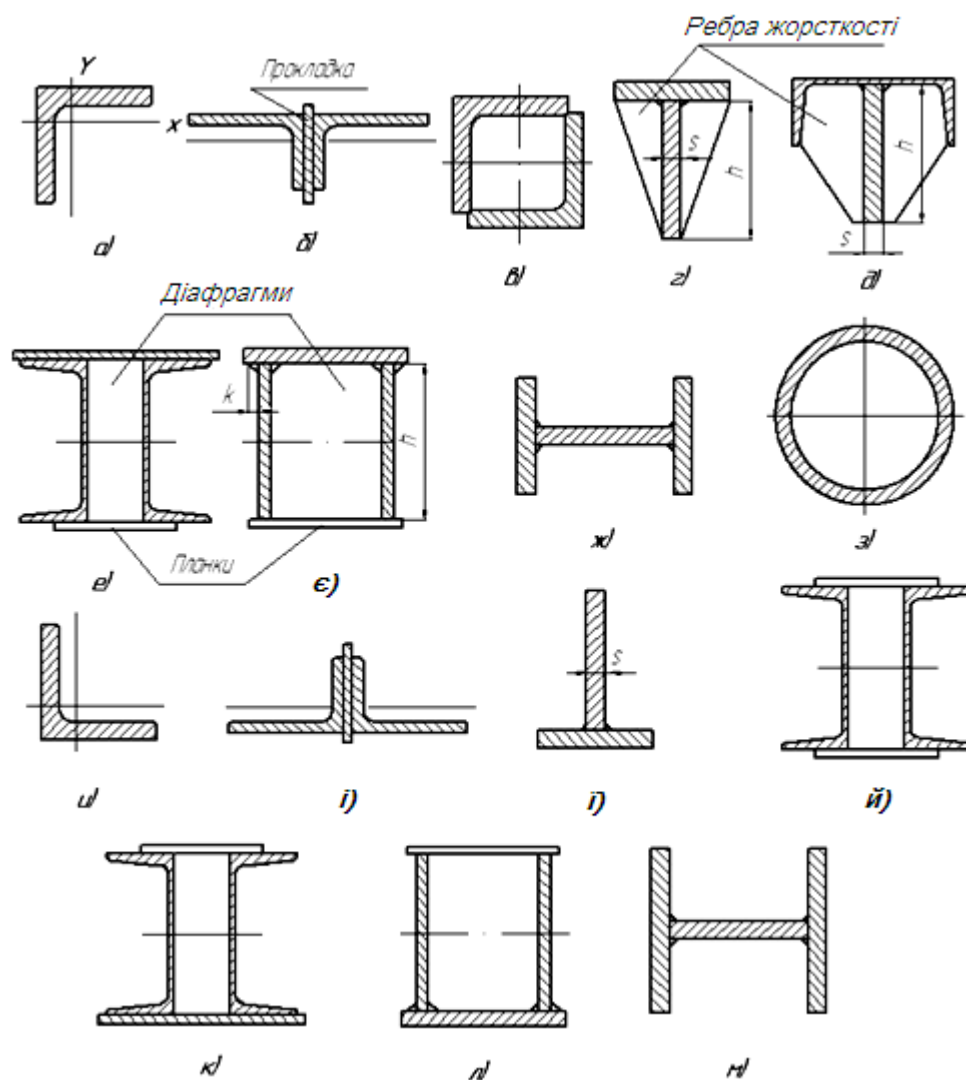
Найбільш часто для виготовлення ферм різного призначення приймають перетин з двох куточків (рис. 4.11, б, л). Такий перетин має високу жорсткість і невелику товщину.

Стержні повинні бути досить міцними і жорсткими, розрахункові напруження - близькими до значень розрахункового опору (граничних напружень) металу. У той же час, необхідно оцінювати жорсткість стержня щодо граничної гнучкості (λ). Розрахункові значення гнучкості не повинні перевищувати граничних, наведених в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Граничні гнучкості елементів ферм при їх статичному навантаженні [2, 5, 7]

Найменування елементів конструкції	Значення граничної гнучкості	
	стиснуті стержні	розтягнуті стержні
Пояси, опорні розкоси	120	400
Інші елементи ферм	150	400

У фермах гнучкість обмежують, як для стиснених, так і для розтягнутих елементів, щоб уникнути їх провисання і вібрації.



а ... з – стиснуті елементи; и ... м – розтягнуті

Рисунок 4.11 – Перетин стержнів ферми

Складові перетину з куточків, швелерів та інших профілів, з'єднані в стик або через сполучні планки, розраховуються, як суцільний перетин, за умови, що відстань між цими планками не перевищує для стиснутих елементів $40r$ і $80r$ – для розтягнутих (r – радіус інерції перерізу відносно осі Х-Х розміщення сполучної планки). При виборі перетинів стержнів ферми необхідно керуватися вимогами технологічності:

а) з метою уніфікації металопрокату, для комплектування стержнів ферм кількість профілів не повинно перевищувати 5 – для ферм прольотом до 36 м і 7 – з великим прольотом;

б) доцільно найбільш навантажені елементи ферм виготовляти зі сталі підвищеної міцності, а інші – зі звичайної (С38/23);

в) не слід призначати в одній фермі елементи з різних типів профілів (куточок, труба, швелер, тавр і т. п.).

4.6.1 Підбір перерізу стержнів стисненого (верхнього) пояса

Починаємо розрахунок з найбільш навантаженого стиснутого елемента. Визначаємо необхідну площу поперечного перерізу методом «проб і помилок» [1, с.192; 2, с.147, 4, 7] за формулою

$$F_H = \frac{N_{\max}}{\varphi R}, \quad (4.10)$$

де $N_{\max}$ – зусилля в найбільш навантаженому стержні пояса, кН;

R – розрахунковий опір сталі, кН/см²;

φ – коефіцієнт поздовжнього вигину (при підборі перетину стиснутого пояса, для попереднього розрахунку приймають $\varphi = 0,7 \dots 0,9$).

Приймаємо поперечний переріз стержнів верхнього пояса, що складається з двох нерівнобічних куточків (рис. 4.12).

Підбір профілю здійснюють за таблицями [2, с.325; 5, с.46 - 56] або за додатком Б (с. 145-150). Вибираємо куточки, близькі за площею до $0,5F_H$

Випишуємо з таблиць необхідні геометричні характеристики куточка (рис. 4.13).

Визначаємо геометричні характеристики перерізу стержня (рис. 4.13) «в площині» і «з площини» ферми:

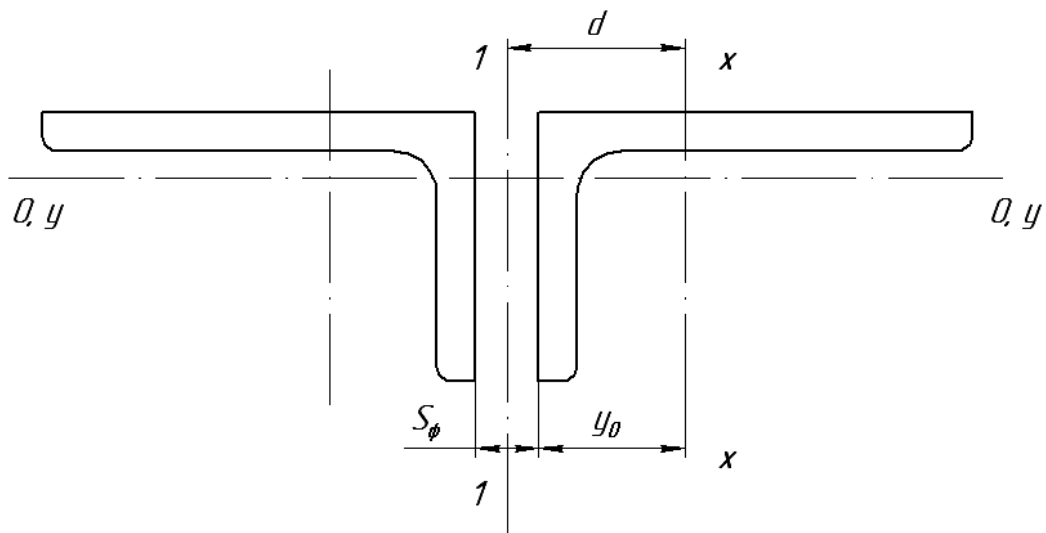
а) радіус інерції:

– «в площині»

$$r_0 = r_Y; \quad (4.11)$$

– «з площини»

$$r_1 = \sqrt{\frac{I_1}{2F_{\text{кут}}}}; \quad (4.12)$$



1-1 – вісь перетину «з площини» ферми; 0-0 – вісь перетину «в площині» ферми; X-X – вісь центру ваги куточка

Рисунок 4.12 – Ескіз для розрахунку поперечного перерізу верхнього пояса на міцність

б) момент інерції

$$I_1 = 2(I_x + F_{\text{кут}} d^2). \quad (4.13)$$

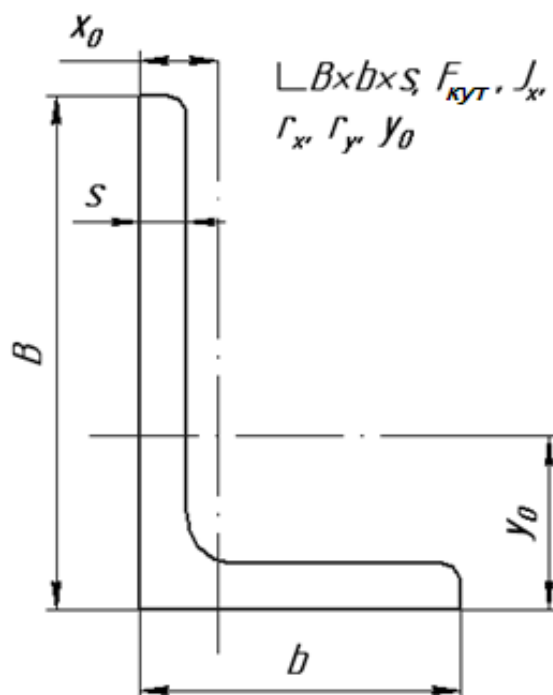


Рисунок 4.13 - Ескіз поперечного перерізу куточка

Відстань між осями центрів тяжіння куточків і всього складеного перерізу стержня:

$$d = 0,5S_{\phi} + Y_0, \quad (4.14)$$

де S_{ϕ} – товщина фасонки, см;

Y_0 – відстань від центра ваги куточка до полиці, см.

Визначаємо несучу здатність стержнів, для чого необхідно розрахувати гнучкість стержнів ферми:

$$\begin{aligned} \text{– «в площині»} \quad \lambda_0 &= \frac{l_0}{r_0}; \\ \text{– «з площини»} \quad \lambda_1 &= \frac{l_1}{r_1}. \end{aligned} \quad (4.15)$$

Порівнюємо отримані значення з регламентованими табл. 4.2.

За величиною гнучкості λ_0 і λ_1 знаходимо значення коефіцієнта поздовжнього вигину φ_0 і φ_1 (див. додаток Б, табл. Б.4, Б.5).

Визначаємо напруження, що діють в стержні, враховуючи фактичні значення коефіцієнтів поздовжнього вигину в двох площинах:

$$\sigma_0 = \frac{N}{\varphi_0 2F_{\text{кут}}} \leq R, \quad \sigma_1 = \frac{N}{\varphi_1 2F_{\text{кут}}} \leq R. \quad (4.16)$$

Якщо умови гнучкості або міцності не виконуються, необхідно призначити більший типорозмір куточка і повторити розрахунок.

При запасах несучої здатності більше 5% використання металу вважають неефективним і тому необхідно прийняти куточок меншого типорозміру і повторювати розрахунок до тих пір, поки $|\sigma - R| = \pm 0,05R$

Підбір перетину стержнів «в площині» ферми можна виконувати за величиною граничної гнучкості [2, с.195; 5, с.159, табл. 28]:

$$r_0 = \frac{l_0}{\lambda},$$

де λ – значення гранично допустимої гнучкості для стержня даного типу по табл. 4.2.

За знайденим значенням радіуса інерції за сортаментом [5, с.50; додаток Б табл. Б.4, Б.5] вибирають нерівнополичні куточки, після чого виконують перевірку їх міцності за виразом (4.16). Дані розрахунків для зручності аналізу заносять в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Перетин стержнів ферми

Елемент ферми	Номер стержня	Зусилля в стержні	Склад перетину В×b×S	Параметри стержнів								Радіуси інерції		Гнучкість стержня		φ ₀	φ ₁	Напруження, кН/см ²		
				2F _{кут} , см ²	S _ф , см	«у площині» ферми			«з площини» ферми											
						l, см	μ _o	l ₀ , см	l, см	μ ₁	l ₁ , см	r ₀ , см	r ₁ , см	λ ₀	λ ₁			σ ₀	σ ₁	σ
верхній пояс																				
нижній пояс																				
розкоси																				
стіжки																				

4.6.2 Підбір перетину стержнів розтягнутого (нижнього) пояса

Для уніфікації сортаменту ферми доцільно нижній пояс виготовляти аналогічним верхньому. Перевірка міцності проводиться за формулою

$$\sigma = \frac{N_{\max}}{2F_{\text{кут}}}. \quad (4.17)$$

Якщо знайдене значення $\sigma > R$, то виконують підбір перетину методом послідовних наближень за формулою

$$F_{\text{н}} = \frac{N_{\max}}{R} \quad (4.18)$$

і далі згідно п. 4.6.1 підбирають профіль за довідковими даними.

Потім визначають геометричні характеристики, перевіряють за табл. 4.2 на відповідність нормам отримані значення λ_0 і λ_1 ; обчислюють величину σ при розтягуванні і порівнюють з граничним значенням розрахункового опору матеріалу R .

4.6.3 Підбір перерізу стержнів розкосів і стійок

Форма поперечного перетину стержнів даного типу - два нерівнобічні (як і в попередніх випадках) або два рівнобічні куточка, останньому варіанту віддають більшу перевагу.

Для уніфікації сортаменту всі розкоси і стійки повинні виготовлятися не більше ніж з двох типорозмірів куточків [5, с.147].

Всі зусилля, які діють в розкосах і стійках, поділяють на дві групи: від $N_{\max}$ до $0,5N_{\max}$ і від $0,5N_{\max}$ до 0. Для кожної з груп, за найбільшим зусиллям, підбирають типорозмір куточка і приймають для всіх стержнів цієї групи однаковим.

При визначенні необхідної площі $F_{\text{н}}$ задаються значенням коефіцієнта поздовжнього вигину $\varphi = 0,6 \dots 0,8$. Підбір перерізу виконують згідно підрозділам:

п.п. 4.6.1 - для стиснутих елементів решітки;

п.п. 4.6.2 - для розтягнутих елементів решітки.

При невеликих зусиллях в стиснутих і розтягнутих стержнях підбір перетинів зазвичай виконується за нормативною граничною гнучкістю [2, с.195; 5, с.159] в послідовності, розглянутій вище.

4.7 Визначення довжини і катетів зварних швів, що прикріплюють елементи ферми до фасонки

4.7.1 Призначення мінімального і максимального катетів зварних швів

Мінімальний катет $h_{\min}$ призначається з умови достатньої пластичності шва і вибирається за рекомендаціями [2, с.39; 5, с.120].

Слід пам'ятати, що $h_{\min}$ обмежений мінімальним діаметром електрода, який застосовують при зварюванні ($d_{\text{ел}} = 4 \text{ мм}$), крім деталей тонше 4 мм.

Максимальний катет шва $h_{\max}$ призначається залежно від товщини більш тонкого листа: при зварюванні листів в тавр, відповідно до рис. 4.13, $h_{\max} \leq 1,2S_1$, при приварюванні куточка до фасонки – згідно рис. 4.14.

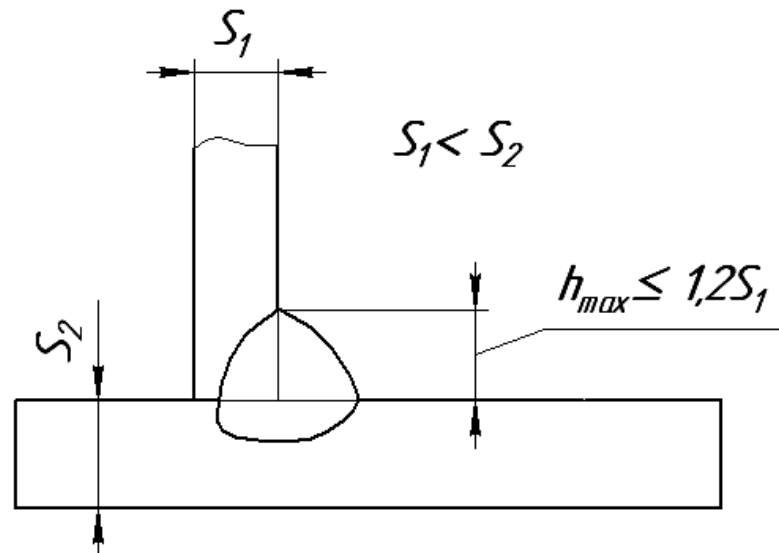
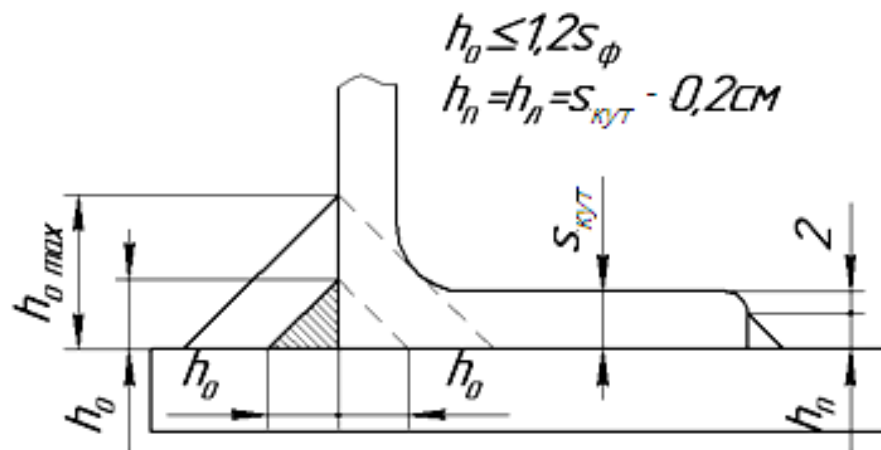


Рисунок 4.13 – Призначення максимального катета шва при зварюванні листів в тавр

Максимальний катет шва по обушку $h_o \leq 1,2S_{\text{кут}}$, за умови, що $S_{\text{кут}} < S_{\text{ф}}$. Як правило, приймають $h_o \leq h_{\max}$. Максимальну величину катета можна прийняти, якщо дзеркальне відображення катета не виходить за межі тіла куточка (див. рис. 4.14).



S_{ϕ} – товщина фасонки; $S_{\text{кут}}$ – товщина полиці куточка; $h_{0 \max}$ – найбільший катет для даної товщини куточка; $h_{\Pi} = h_{\text{пл}}$ – катети швів по перу і лобового, $h_{\Pi} = S_{\text{кут}} - 2 \text{ мм}$

Рисунок 4.14 – Призначення максимального катета шва, що з'єднує куточок з фасонкою

4.7.2 Кріплення куточка у вузлах

Прикріплювати куточки до фасонки рекомендується двома фланговими швами і одним лобовим (рис. 4.15) або тільки фланговими. Частку зусилля S_0 і S_{Π} , що припадає на флангові шви обушка і пера, потрібно приймати в залежності від типу куточка і умови його приварювання за табл. 4.4. [2, с.196; 5, с.121; 6, с.42].

При кріпленні куточка діюче в ньому зусилля розподіляється між фланговими швами пропорційно відстані від осі куточка до осі кожного із зварних швів.

Зварний шов, який прикріплює куточок до фасонки, повинен бути рівномісним металу куточка:

$$F_{\text{зв.ш}} = 1,4 F_{\text{кут}}, \quad (4.19)$$

в свою чергу

$$F_{\text{зв.ш}} = F_0 + F_{\Pi} + F_{\text{л}}, \quad (4.20)$$

де $F_{\text{зв.ш}}$ – площа зрізу зварного шва, см^2 ;

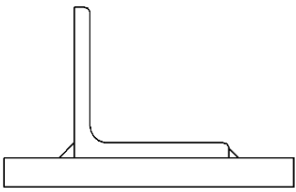
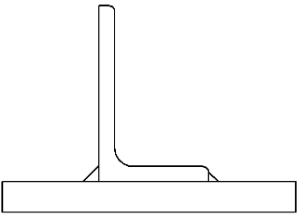
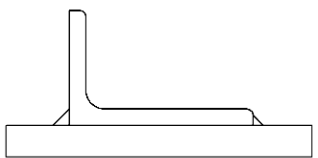
$F_{\text{кут}}$ – площа поперечного перерізу куточка, см^2 ;

F_0 – площа зрізу зварного шва по обушку, см^2 ;

F_{Π} – площа зрізу зварного шва по перу, см^2 ;

$F_{\text{л}}$ – площа зрізу зварного лобового шва, см^2 .

Таблиця 4.4 – Коефіцієнти, що враховують розподіл зусилля у флангових швах між обушком (C_o) і пером (C_p)

Куточок і схема його кріплення до листа (фасонки)	Частка зусилля, що припадає на	
	обушок (C_o)	перо (C_p)
	0,70	0,30
	0,75	0,25
	0,65	0,35

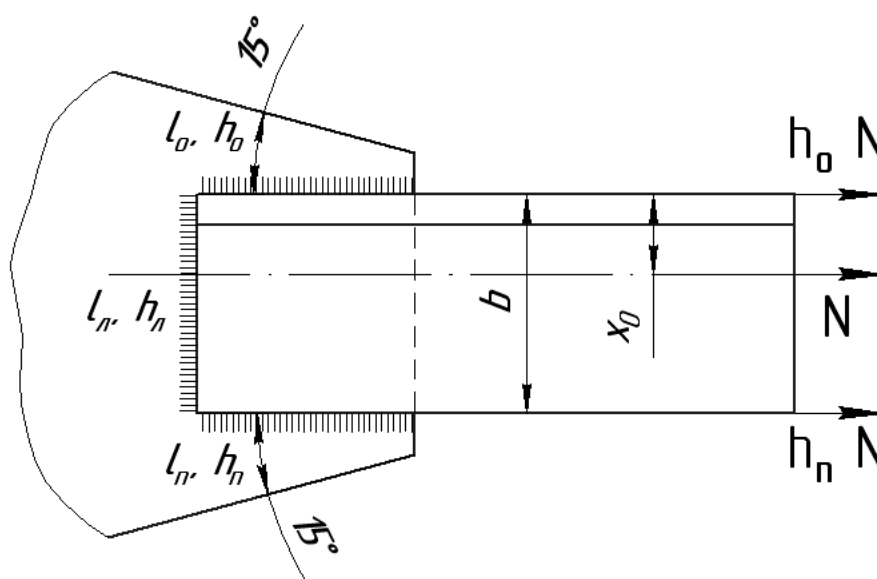


Рисунок 4.15 – Ескіз для розрахунку довжини і катета зварних швів, що з'єднують куточок з фасонкою

4.7.3 Визначення площі зрізу лобового шва ($F_{\text{л}}$)

$$F_{\text{л}} = l_{\text{л}} h_{\text{л}} \beta, \quad (4.21)$$

де $l_{\text{л}}$ – довжина лобового шва, см, $l_{\text{л}} = b$;

b – ширина полиці куточка, якою він приварюється, см;

$h_{\text{л}}$ – катет лобового шва, см, $h_{\text{л}} = S_{\text{уг}} - 0,2$ см;

β – коефіцієнт, що залежить від способу зварювання (приймають 1,0 – для однопрохідного автоматичного зварювання; 0,8 – для однопрохідного напівавтоматичного зварювання; 0,7 – для ручного зварювання, а також багатопрохідного автоматичного і напівавтоматичного зварювання).

4.7.4 Визначення довжини і катета шва по обушку

Площа перетину флангових швів

$$F_{\phi} = F_o + F_{\pi} = F_{\text{зв.ш}} - F_{\text{л}}. \quad (4.22)$$

Знаючи це, можна визначити площу шва по обушку:

$$F_o = C_o F_{\phi}, \quad (4.23)$$

в свою чергу відомо, що

$$F_o = l_o h_o \beta - 1 \text{ см}, \quad (4.24)$$

де C_o – коефіцієнт, що враховує частку зусилля, що сприймається швом по обушку (табл. 4.4).

Тоді довжина шва по обушку визначається:

$$l_o = \frac{C_o F_{\phi}}{h_o \beta} + 1 \text{ см}. \quad (4.25)$$

Перевірити міцність шва можна за дотичними напруженнями

$$\tau_o = \frac{C_o N}{l_o h_o \beta} \leq R'_{\text{зр}},$$

де $R'_{\text{зр}}$ – розрахунковий опір металу зварного шва, МПа (кН/см²);

N – величина зусилля в стержні, кН.

4.7.5 Визначення довжини і катета шва по перу

Площа шва по перу:

$$F_{\pi} = C_{\pi} F_{\phi}, \quad (4.26)$$

в свою чергу відомо, що

$$F_{\pi} = l_{\pi} h_{\pi} \beta - 1 \text{ см}, \quad (4.27)$$

де C_{π} – коефіцієнт, що враховує частку зусилля, що сприймається швом по перу (табл. 4.4);

h_{π} – катет шва по перу, $h_{\pi} = S_{\text{кут}} - 0,2 \text{ см}$

Тоді довжина шва по перу визначається:

$$l_{\pi} = \frac{C_{\pi} F_{\phi}}{h_{\pi} \beta} + 1 \text{ см}. \quad (4.28)$$

Остаточний розмір катета уточнюється за додатком Б.6 і довідниками [1, с. 39; 2, с. 120], довжина шва округляється так, щоб остання цифра дорівнювала 0 або 5 мм.

Умова міцності для шва по перу:

$$\tau_{\pi} = \frac{C_{\pi} N}{l_{\pi} h_{\pi} \beta} \leq R'_{\text{ср}},$$

де $R'_{\text{ср}}$ – розрахунковий опір металу зварного шва, МПа (кН/см²);

N – величина зусилля в стержні, кН.

Для зручності аналізу розміри катетів швів записують в табл. 4.5.

При кріпленні куточків тільки фланговими швами (по обушку і перу) їх кінці виводять на торець елементів на довжину (15 ... 20) мм. Не бажано використовувати переривчасті шви довжиною менше 60 мм.

4.8 Конструювання і розрахунок опорних вузлів ферми, перевірка міцності фасонки

Торцевий лист вузла розраховують, виходячи з умови наявності сил, які забезпечують зминання і стиснення металу.

4.8.1 Розрахунок опори з торцевим листом (рис. 4.16, а)

Розраховують необхідну площу торця опорного листа з умови міцності на зминання:

$$F_{\text{зм}} \geq \frac{A}{R_{\text{зм}}}, \quad (4.29)$$

де A – найбільша опорна реакція ферми, кН;

$R_{\text{зм}}$ – розрахунковий опір сталі на зминання, МПа (кН/см²).

З іншого боку площа зминання:

$$F_{зм} \leq BS, \quad (4.30)$$

де B – ширина торцевого листа, см;

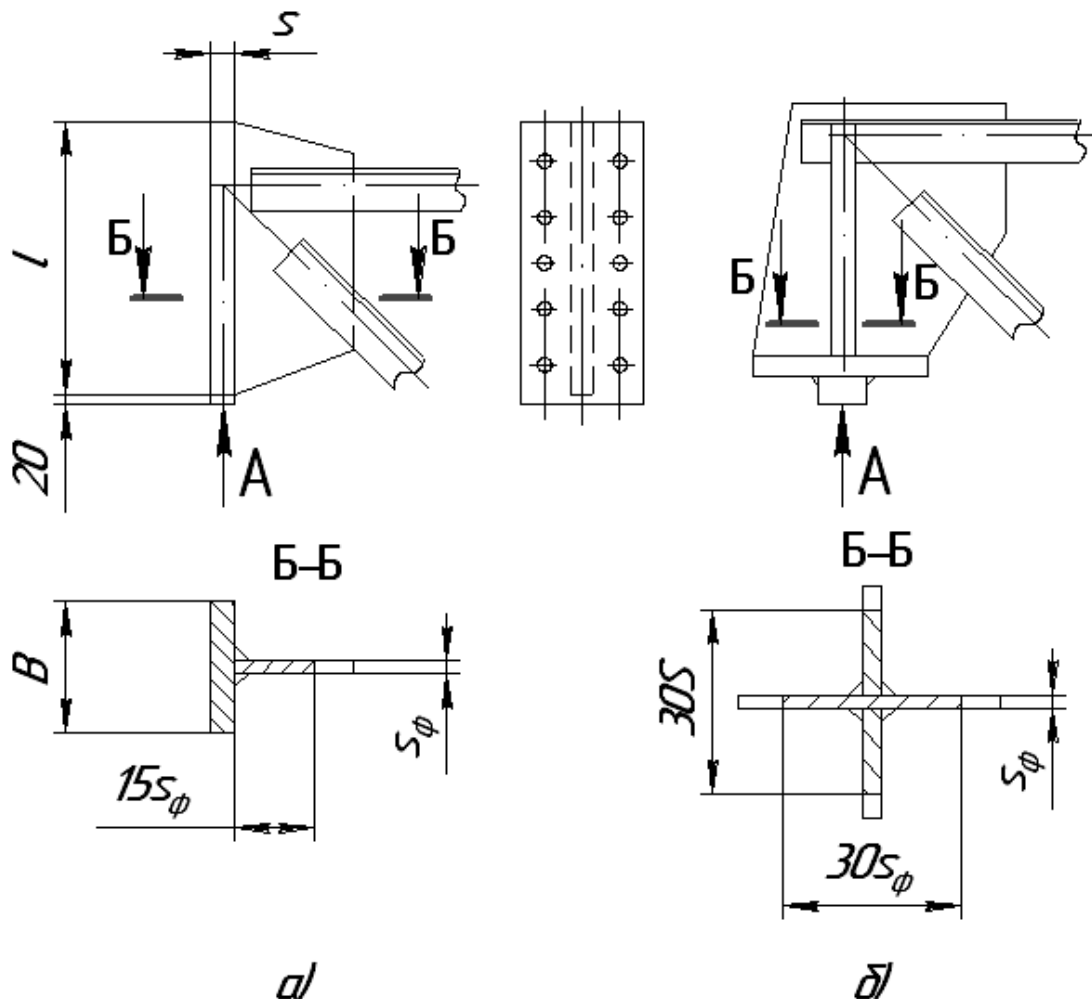
S – товщина торцевого листа, см.

Виходячи з умови $S_{\phi} \leq S$, призначаємо товщину листа. З виразу (4.30) можна визначити його ширину B , дотримуючись умови $B \leq 30S$.

Вважають, що дія стискаючої сили сприймається Т-подібним перетином опорного вузла, що утворюється торцевим листом і фасонкою. Необхідна площа перерізу, яка сприймає стиснення ($F_{ст.}$, рис 4.16а):

$$F_{ст} \geq \frac{A}{R_{ст}}, \quad (4.31)$$

де $R_{ст}$ – розрахунковий опір сталі стисканню, МПа (кН/см²).



а – з обпиранням на торцевий лист; б – з обпиранням на стійку

Рисунок 4.16 – Конструкція опорних вузлів ферми

Таблиця 4.5 - Параметри зварних швів, що прикріплюють куточки до фасонки

Тип куточка $B \times b \times s$	Клас міцності сталі	$F_{\text{кут}},$ см^2	$1,4F_{\text{кут}},$ см^2	Розташування									електроди або дріт	
				лобовий			по обушку			по перу			Марка	Тип
				$F_{\text{л}},$ см^2	$h_{\text{л}},$ см	$l_{\text{л}},$ см	$F_{\text{о}},$ см^2	$h_{\text{о}},$ см	$l_{\text{о}},$ см	$F_{\text{п}},$ см^2	$h_{\text{п}},$ см	$l_{\text{п}},$ см		

Величину цієї площі можна записати:

$$F_{зм} \leq BS + 15S_{\phi}^2. \quad (4.32)$$

Причому $B \leq 30S$, $S_{\phi} \leq S$

Якщо торцевий лист з фасонкою з'єднуються зварним швом з повним проплавленням, то довжина зварного шва:

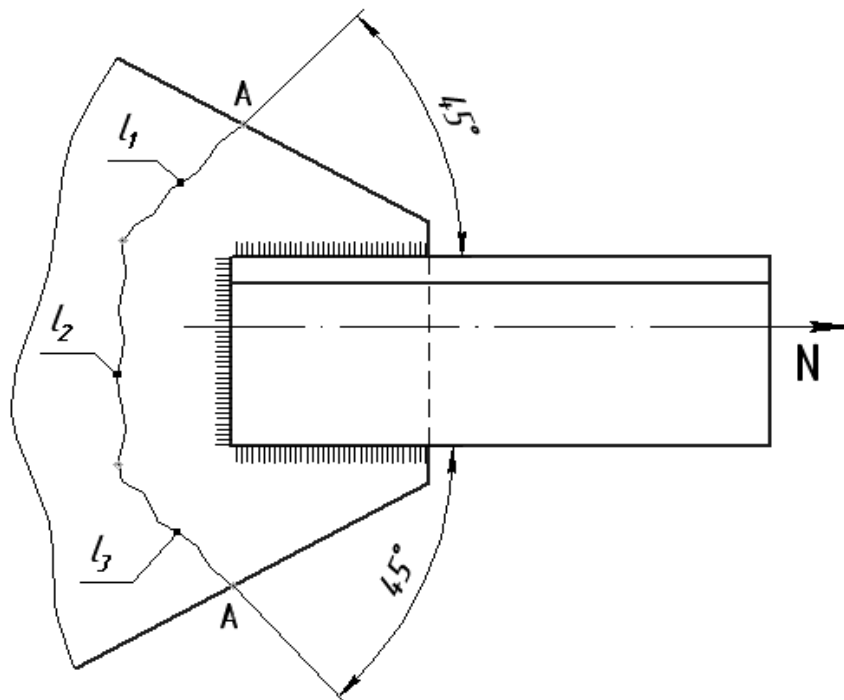
$$l_{зв.ш} \geq \frac{A}{S_{\phi} R'_{зп}}, \quad (4.33)$$

де $R'_{зп}$ – розрахунковий опір металу шва зрізу, МПа (кН/см²).

Аналогічно розмірковуючи, можна визначити параметри деталей опорного вузла зі стійкою (рис. 4.16, б).

4.8.2 Перевірка міцності фасонки «на викол»

У місцях кріплення куточків до фасонки площа перетину фасонки по перетину А-А (рис. 4.17) повинна бути не менше розрахункової площі елемента, що прикріплюється.



A-A – лінія руйнування (викол) фасонки

Рисунок 4.17 – Небезпечний перетин фасонки

Міцність фасонки «на викол» в місцях кріплення елементів грат, що працюють на розтягнення, перевіряється за формулою [5, с.149]

$$S_{\phi}(l_1 + l_2 + l_3) \geq 1,4 \cdot 2F_{\text{кут}}, \quad (4.34)$$

де $l_1 + l_2 + l_3$ – лінія розриву фасонки.

Вважають, що руйнування фасонки в такому випадку буде відбуватися по лінії А-А, тобто лінія розриву буде проходити під кутом 45° до флангових швів і паралельно лобовому. Для зниження концентрації напружень кут між краями куточка і фасонки повинен бути не менше 15° .

4.9 Конструювання і розрахунок вузлів ферми

Методику конструювання вузла ферми зручно розглянути на прикладі. Сконструювати вузол ферми в масштабі М1:10 (1:5); розрахувати на міцність зварні шви, що прикріплюють фасонки до куточка, призначити катет шва; перевірити міцність фасонки «на викол»; нанести на ескіз розміри фасонки, необхідні для складання вузла; позначити зварні шви, які прикріплюють куточки до фасонки; нанести на ескіз обмежувальні лінії куточків.

На креслення (рис. 4.18) осьові лінії наносять згідно геометричній схемі для одного з вузлів ферми [5, с.148]. Вісі стержнів у вузлі повинні сходитися в одній точці. Наносять «тіло» куточка нижнього поясу на вісь так, щоб нейтральна вісь куточка збігалася з геометричною. Відстань від обушка до нейтральної осі приймають за даними сортаменту, округляючи його до 5 мм в більшу сторону. Масштаб для «тіла» куточка приймають великим, наприклад М 1:5. Наносять обмежувальну лінію на відстані 50 мм від верхньої кромки куточка нижнього поясу з метою зниження концентрації напружень та термічного впливу одного шва на інший. Наносимо на вісь стійки «тіло» куточка, відступивши по 50 мм від його обушка і пера, проводимо дві обмежувальні лінії. Наносять на вісь «тіло» куточка розкосу так, щоб обушок був вгорі, контур куточка доводять до обмежувальних ліній поясу і стійки.

Проводять лінії торців стійки і розкосів так, щоб вони не перетинали обмежувальних ліній. Від торців пера і обушка куточків відкладаємо довжини флангових швів. Для більшої компактності вузла і зменшення розмірів фасонки в куточках з шириною полиці більше 90 мм допускають косі зрізи торців.

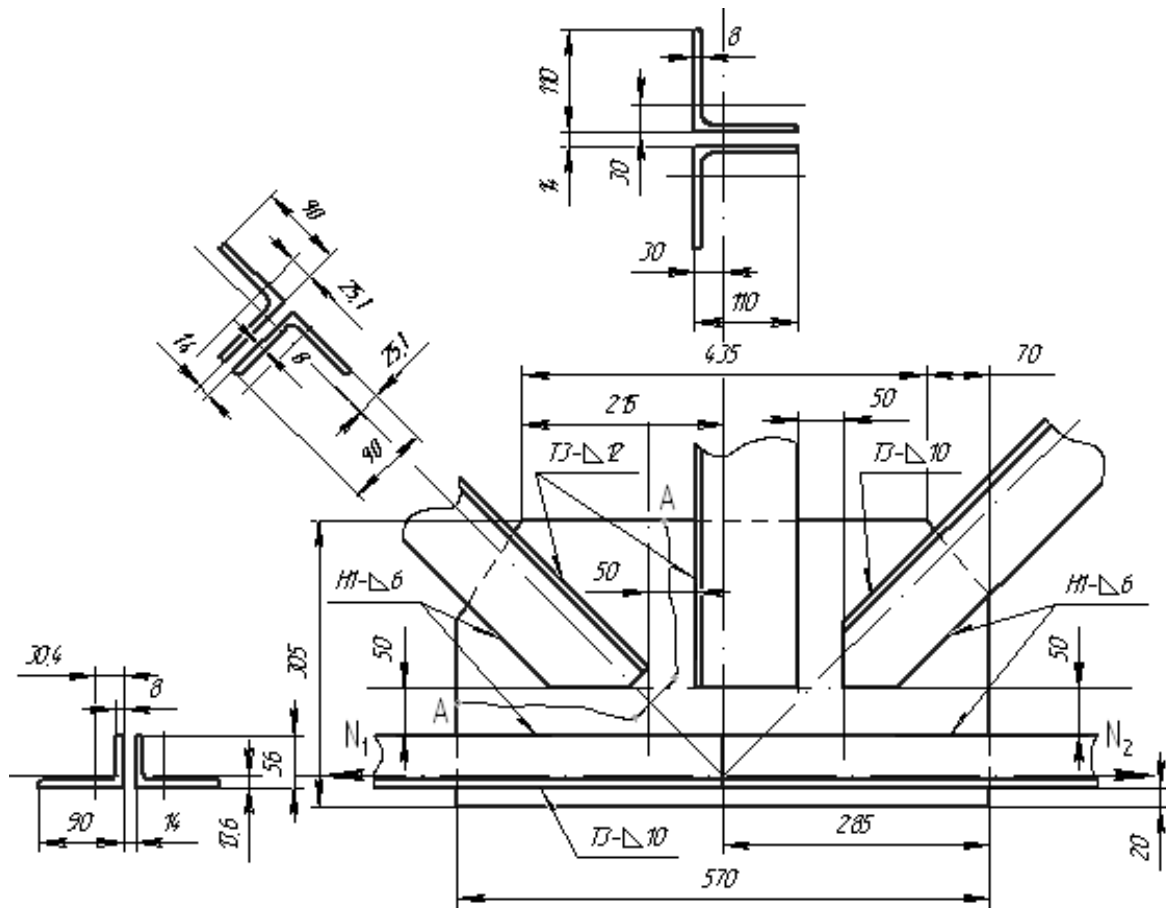


Рисунок 4.18 – Конструювання вузла ферми

Через отримані побудовою кінці швів по обушку стійок і розкосів проводять лінію верхньої кромки фасонки. Від кінця шва по перу розкоса проводять лінію правої кромки фасонки так, щоб кут між нею і куточками $\alpha \geq 15^\circ$, аналогічно і для лівої. Нижня кромка фасонки проводиться паралельно обушці нижнього пояса на відстані (10...20) мм, в залежності від величини катета шва, який прикріплює фасонку до обушки.

Зварні шви, що прикріплюють фасонки до поясу, виконують суцільними і перевіряють на міцність, визначивши різницю зусиль у суміжних панелях:

$$h_{\text{ш}} = \frac{N_2 - N_1}{4\beta l_{\text{ш}} R'_{\text{зр}}}, \quad (4.35)$$

де $N_2 - N_1$ – різниця зусиль в суміжних панелях, кН;

$l_{\text{ш}}$ – довжина швів, рівна ширині фасонки, см;

$R'_{\text{зр}}$ – розрахунковий опір кутових швів на зріз, МПа (кН/см²).

Отриманий розмір катета шва уточнюється за довідниками [2, с.392; 5 с.120]. Розрахована довжина шва може бути менше, ніж конструктивно необхідна, тому шов виконують по всій довжині фасонки. Розрахунок фасонки «на викол» по лінії А-А проводять відповідно до п. 4.8.2. Фасонки

повинні мати якомога більш просту форму. Виготовляють їх прямими різаними на ножицях, забезпечуючи мінімальні відходи.

За базу постановки розмірів береться прямокутник, сторони якого дорівнюють габаритним розмірам фасонки. Інші розміри проставляються як «відрахування» з габаритних (рис. 4.19).

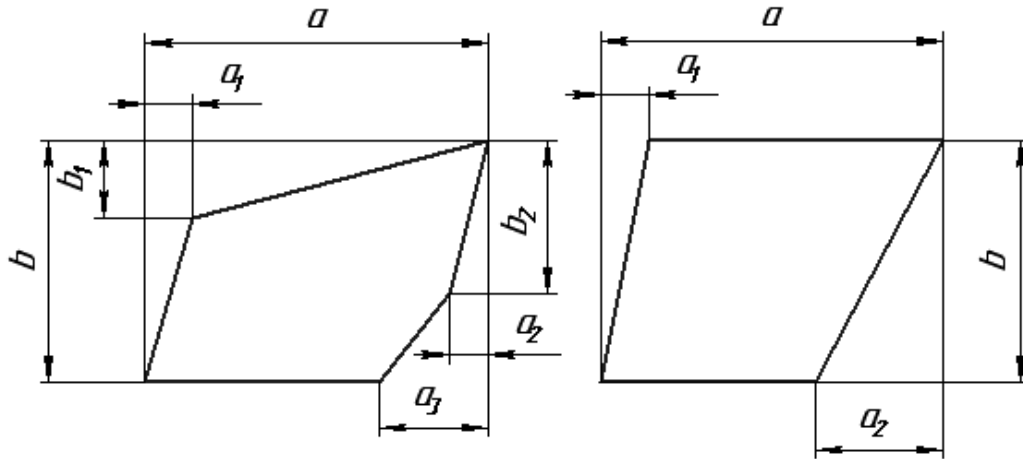


Рисунок 4.19 – Нанесення розмірів фасонки на кресленні

У кожному вузлі повинні бути проставлені розміри в такій кількості, щоб, використовуючи тільки їх, можна було виготовити деталь.

Обов'язково проставляються розміри вузла ферми:

- відстані від центру вузла до торців (обрізів) елементів решітки;
- розміри з'єднувальних швів, округляючи довжину до 10 мм;
- на кресленнях не вказують відстань між сполучними планками,

показують тільки те, що елемент (стержень) має на всій довжині 2, 3, 4 і т. д. планок, розташованих на однакових відстанях.

4.10 Розміщення з'єднуючих планок (сухарів) в стержнях ферми

Для забезпечення спільної роботи спарених куточків між вузлами в розтягнутих і стиснутих стержнях ферми встановлюють сполучні планки – «сухарики» (рис. 4.20) шириною (40 ... 60) мм з інтервалом не більше $40r$ – для стиснутих елементів, $80r$ – для розтягнутих елементів (r – мінімальний радіус інерції окремого куточка щодо власної осі, паралельній площині планки).

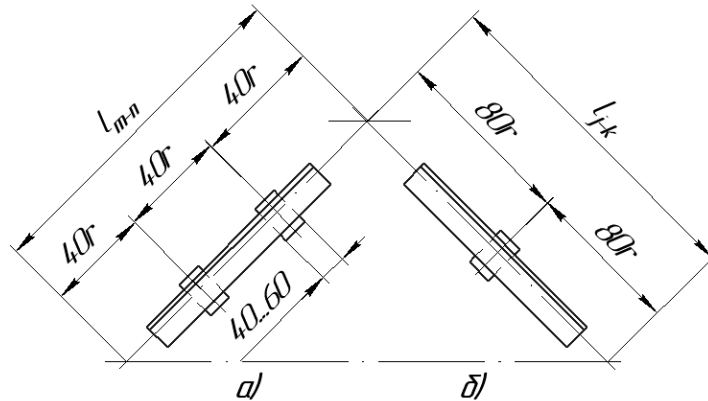
У всіх випадках в стиснутих елементах ставлять не менше двох планок, а в розтягнутих – одну планку між вузлами [5, с.150].

Для розкосів і стійок з рівними геометричними довжинами і величинами радіуса інерції визначають n - число гілок (ділянок), на які

розкоси поділяються планками. Якщо n – дробове, наприклад, $n = 3,25$, то округляємо його в більшу сторону до цілого значення, тобто приймаємо $n = 4$. За результатами обчислень складають ескіз.

$$n = \frac{l_{m-n}}{40r} \text{ і } \frac{l_{j-k}}{80r},$$

де l_{m-n} ; l_{j-k} – розміри стержнів mn і jk , см.



a – на стислих стержнях; *б* – на розтягнутих стержнях

Рисунок 4.20 – Розміщення з'єднувальних планок на стержнях ферми

Якщо у вузлах ферм містяться стики поясів, то їх перекривають накладками, які переважно виконують з листового металу (рис. 4.21).

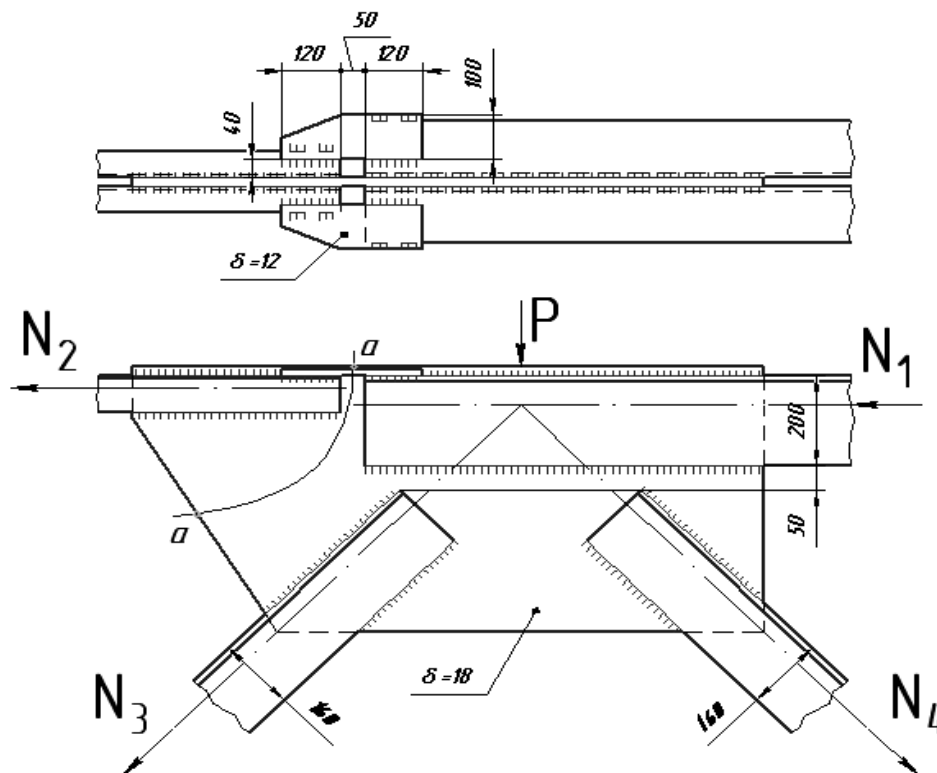


Рисунок 4.21 – Вузол з накладками

При такій конструкції вузла куточок з великим зусиллям заводиться за центр вузла не менше ніж на 250 мм, а між куточками залишають зазор 50 мм. При цьому необхідно перевірити міцність ослабленого перерізу по лінії *a-a*.

$$\sigma = \frac{N_p}{F_{ум}} \leq R, \quad (4.36)$$

де $F_{ум}$ – умовна розрахункова площа, см²;

$$F_{ум} = \Sigma(F_{нк} + S_{ф}2B), \quad (4.37)$$

$F_{нк}$ – площа накладки, см²;

$S_{ф}$ – товщина фасонки, см;

B – ширина полки куточка, см;

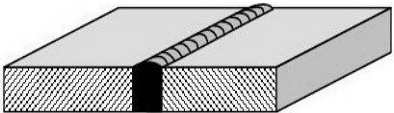
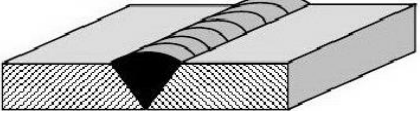
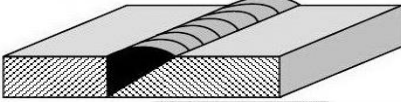
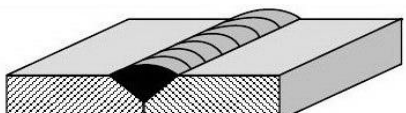
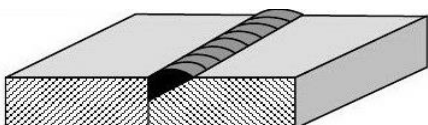
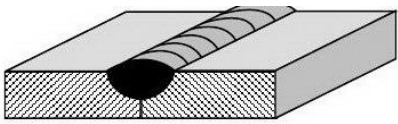
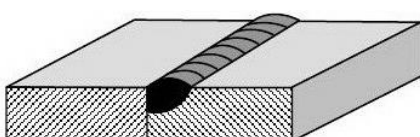
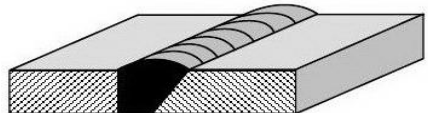
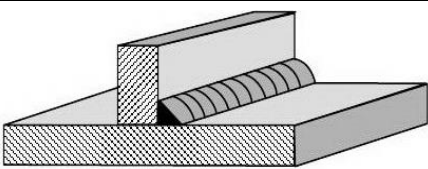
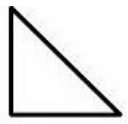
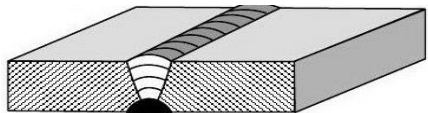
N_p – розрахункове зусилля в куточку, збільшене на 20% від дійсного ($N_p = 1,2N$).

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

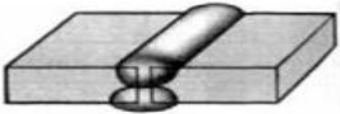
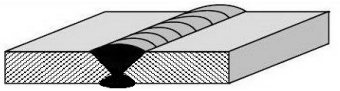
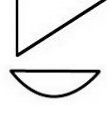
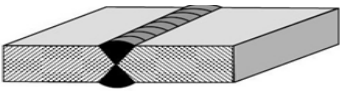
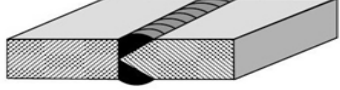
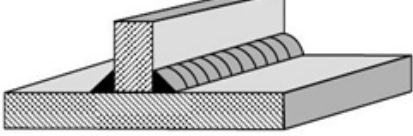
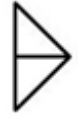
1. Квасницький В. В. Міцність зварних та паяних з'єднань: підручник / В. В. Квасницький, Г. В. Єгоров, Г. В. Єрмолаєв, М. В. Матвієнко; за заг.ред. Л.М. Лобанова.—Миколаїв : НУК, 2019. – 294 с.
2. Лихтарников Я. М. Расчет стальных конструкций / Я. М. Лихтарников, В. М. Клыков, Д. В. Ладыженский. – Киев : Будівельник, 1976. – 349 с.
3. Лобанова Л. М. Напруження та деформації при зварюванні і паянні : підручник / Л. М. Лобанова [и др.], за заг.ред. Л. М. Лобанова. – Миколаїв : НУК, 2016. – 246 с.
4. Николаев Г. А. Сварные конструкции. Расчёт и проектирование / Г. А. Николаев, В. А. Винокуров ; под ред. Г. А. Николаева. – М. : Высшая школа, 1990. – 446 с.
5. Сахновский М. М. Справочник конструктора строительных сварных конструкций / М. М. Сахновский. – Днепропетровск : Промінь, 1975.— 237 с.
6. Серенко А. Н., Расчет сварных соединений и конструкций: Примеры и задачи / А. Н. Серенко, М. Н. Крумбольдт, К. В. Багрянский. – Киев : Вища школа, 1977. – 335 с.
7. Чертов І. М. Зварні конструкції: підручник / І.М.Чертов. – К. :Арістей, 2006. – 376 с. – ISBN 966-8458-88-5.

ДОДАТОК А
Таблиці стандартних позначень швів, способів зварювання
загальноприйнятих термінів

Таблиця А.1 – Символьні позначення типів зварних з'єднань за EN 22553 та ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 (основні символи)

Тип з'єднання	Ескіз з'єднання	Символьне позначення
Стикове без скосу крайок		
Стикове зі скосом двох крайок		
Стикове зі скосом однієї крайки		
Стикове зі скосом двох крайок на частину товщини		
Стикове зі скосом однієї крайки на частину товщини		
Стикове з криволінійним скосом крайок		
Стикове з криволінійним скосом однієї крайки		
Стикове з'єднання зі збільшеною щільною на підкладці		
Кутовий шов таврового з'єднання або з'єднання внапуск		
Підварний шов		

Таблиця А.2 – Символьні позначення типів зварних з'єднань за EN 22553 та ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 (комбіновані символи)

Тип з'єднання	Ескіз з'єднання	Символьне позначення
Двостороннє стикове без скосу крайок		
Двостороннє стикове зі скосом крайок		
Двостороннє стикове зі скосом однієї крайки		
Двостороннє стикове з двома симетричними скосами крайок		X
Двостороннє стикове з двома симетричними скосами однієї крайки		K
Двостороннє таврове без скосу крайки		

Таблиця А.3 – Міжнародні позначення способів і методів зварювання

Міжнародна абревіатура	Назва способу (методу)	Відповідне визначення
1	2	3
MMA або MMAW	Manual Metal Arc або Manual Metal Arc Welding	Ручне дугове зварювання штучними покритими електродами
TIG	Tungsten Inert Gas	Дугове зварювання неплавким електродом в середовищі інертного захисного газу (найчастіше вольфрамовим електродом); використовується для вказівки на ручне дугове зварювання
GTA	Gas Tungsten Arc	Вказує на утворення дуги за допомогою вольфрамового електрода
WIG	Wolfram Inert Gas	Позначення методу TIG, що використовується в німецькомовній літературі
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding	Позначення, що використовується для вказівки на застосування методу TIG при автоматичному (роботизованому) зварюванні

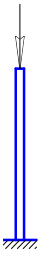
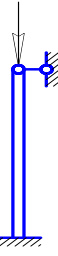
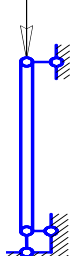
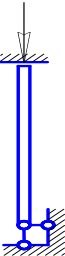
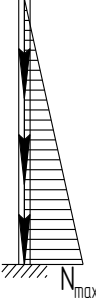
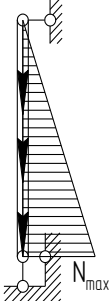
Продовження таблиці А.3

1	2	3
TIG-CW	Cold Wire	Позначення, що використовується для вказівки на застосування методу з подачею нейтрального (холодного) присадного дроту
TIG-HW	Hot Wire	Позначення, що використовується для вказівки на застосування методу TIG з подачею електропровідного (підігрітого) присадного дроту
TIG-DC	Direct Current	Позначення, що використовується для вказівки на застосування методу TIG на постійному струмі
TIG-AC	Alternating Current	Позначення, що використовується для вказівки на застосування методу TIG на змінному струмі
MIG або MIGW	Metal Inert Gas або Metal Inert Gas Welding	Дугове зварювання плавким металевим електродом (дротом) в середовищі інертного захисного газу з автоматичною подачею присадного дроту
MAG	Metal Active Gas або MAGW -Metal Active Gas Welding	Дугове зварювання плавким металевим електродом (дротом) в середовищі активного захисного газу з автоматичною подачею присадного дроту
GMA	Gas Metal Arc	Вказує на утворення дуги з іонів металу присадного дроту
GMAW	Gas Metal Arc Welding	Позначення, що використовується для вказівки на застосування методу MIG / MAG при автоматичному (роботизованому) зварюванні
FCAW	Flux Core Arc Welding	Дугове зварювання плавким порошковим дротом з автоматичною подачею присадного дроту; дріт самозахисний або для зварювання в середовищі захисного газу
SAW	Submerged Arc Welding або SMAW - Submerged Metal Arc Welding	Зварювання «зануреною дугою»; автоматичне дугове зварювання металевим електродом (дротом) під шаром флюсу
PAW-HW	Hot Wire	Плазмове зварювання з подачею електропровідного (підігрітого) присадного дроту
PAW-DC	Direct Current	Плазмове зварювання на постійному струмі
PAW-AC	Alternating Current	Плазмове зварювання на змінному струмі

ДОДАТОК Б

Таблиці даних, необхідних для розрахунків металевих конструкцій

Таблиця Б.1 – Коефіцієнти μ для визначення розрахункових довжин сталевих колон і стійок постійного перетину

схема закріплення								
μ	2,0	1,0	0,7	1,0	2,0	0,5	1,12	0,73

Таблиця Б.2 – Граничні гнучкості $[\lambda]$ стиснутих елементів крокви

№	Елементи конструкцій	λ
1	Пояси, опорні розкоси і стійки ферм, які передають опорні реакції	120
2	Інші елементи ферм	150
3	Верхні пояси стропильних ферм, які залишаються незакріпленими в процесі монтажу (гранична гнучкість після монтажу повинна задовольняти п. 1)	220
4	Основні колони	120
5	Другорядні колони (стійки фахверка, ліхтарів і т. п.), елементи решітки колон, елементи вертикальних зв'язків між колонами (нижче підкранових балок)	150
6	Елементи зв'язків (за винятком зв'язків, зазначених в п. 5)	200
7	Стержні, які служать для зменшення розрахункової довжини стиснутих стержнів і інші непрацюючі елементи	200

П р и м і т к а. Гранична гнучкість стиснутих розкосів (крім опорних) просторових гратчастих конструкцій з одиночних куточків приймається: при використанні несучої здатності розкосу до 50% - 180; при використанні несучої здатності від 50 до 100% - по інтерполяції між величинами 180 і 150.

Таблиця Б.3 – Граничні гнучкості $[\lambda]$ розтягнутих елементів крокви

№	Елементи конструкцій	При дії		
		динамічних навантажень	статичних навантажень	кранів надважкого режиму і залізничних складів
1	Пояси і опорні розкоси ферм (включаючи гальмівні ферми)	250	400	250
2	Інші елементи ферм	350	400	300
3	Нижні пояси підкранових балок і ферм	150	-	150
4	Елементи вертикальних зв'язків між колонами	300	300	200
5	Інші елементи зв'язків	400	400	300

Примітка:

1. У спорудах, які не піддаються динамічному впливу, гнучкість розтягнутих елементів перевіряється лише в вертикальних площинах.

2. Гнучкість розтягнутих елементів зв'язків, які піддавалися попередньому навантаженню, не обмежується.

3. При перевірці гнучкості розтягнутих стержнів перехресних решіток з одиночних куточків радіус інерції перерізу куточка приймається щодо осі, паралельній полиці куточка.

4. Для розтягнутих розкосів кроквяних ферм з незначними зусиллями, в яких при несприятливому сполученні навантажень може змінюватися знак зусилля, гранична гнучкість приймається як для стиснутих елементів, при цьому з'єднувальні планки необхідно встановлювати не рідше ніж через $40r_1$.

Таблиця Б.4 – Коефіцієнти φ поздовжнього вигину центрально-стиснутих елементів із сталей Ст2, Ст3, Ст4

λ	φ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991
10	0,990	0,988	0,986	0,984	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972
20	0,970	0,968	0,966	0,964	0,962	0,960	0,958	0,956	0,954	0,952
30	0,950	0,947	0,944	0,941	0,933	0,935	0,932	0,929	0,926	0,923
40	0,920	0,917	0,914	0,911	0,908	0,905	0,902	0,899	0,896	0,893
50	0,890	0,887	0,884	0,881	0,878	0,875	0,872	0,869	0,866	0,863
60	0,860	0,855	0,850	0,845	0,840	0,835	0,830	0,825	0,820	0,815
70	0,810	0,804	0,800	0,792	0,786	0,780	0,774	0,768	0,762	0,756

Продовження таблиці Б.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80	0,750	0,744	0,738	0,732	0,726	0,720	0,714	0,708	0,702	0,696
90	0,690	0,681	0,672	0,663	0,654	0,645	0,636	0,627	0,618	0,609
100	0,600	0,592	0,584	0,576	0,568	0,560	0,552	0,544	0,536	0,528
110	0,520	0,513	0,506	0,499	0,492	0,485	0,478	0,471	0,464	0,457
120	0,450	0,445	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405
130	0,400	0,396	0,392	0,388	0,384	0,380	0,376	0,372	0,368	0,364
140	0,360	0,366	0,352	0,348	0,344	0,340	0,336	0,332	0,328	0,324
150	0,320	0,317	0,314	0,311	0,308	0,305	0,302	0,299	0,296	0,293
160	0,290	0,287	0,284	0,281	0,278	0,275	0,272	0,269	0,266	0,263
170	0,260	0,257	0,254	0,251	0,248	0,245	0,242	0,239	0,236	0,233
180	0,230	0,228	0,226	0,224	0,222	0,220	0,218	0,216	0,214	0,212
190	0,210	0,208	0,206	0,204	0,202	0,200	0,198	0,196	0,194	0,192
200	0,190	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця Б.5 – Коефіцієнти φ поздовжнього вигину центрально-стиснутих елементів із сталей і легких сплавів

λ	φ					
	сталі				алюмінієві сплави	
	Ст5	10ХСНД	С60/45	С85/75	АМг6М	Д16Т
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00	0,99
20	0,96	0,95	0,95	0,93	0,99	0,98
30	0,93	0,92	0,91	0,87	0,94	0,84
40	0,89	0,89	0,84	0,76	0,83	0,70
50	0,85	0,84	0,75	0,66	0,73	0,57
60	0,80	0,78	0,67	0,56	0,63	0,46
70	0,74	0,71	0,60	0,46	0,54	0,35
80	0,67	0,63	0,51	0,36	0,46	0,29
90	0,59	0,54	0,44	0,29	0,39	0,23
100	0,50	0,46	0,38	0,23	0,33	0,19
110	0,43	0,39	0,32	0,19	0,28	0,15
120	0,37	0,33	0,27	0,16	0,24	0,13
130	0,32	0,29	0,23	0,14	0,21	0,11
140	0,28	0,25	0,20	0,12	0,18	0,10
150	0,26	0,23	0,17	0,10	0,16	0,08
160	0,24	0,21	0,15	0,09	-	-
170	0,21	0,19	0,13	0,08	-	-
180	0,19	0,17	0,12	0,07	-	-
190	0,17	0,15	0,11	0,06	-	-
200	0,15	0,13	0,10	-	-	-

Таблиця Б.6 – Мінімально можливі катети швів

Товщина більш товстого із елементів, що зварюються, мм	<10	11 ... 20	21 ... 30	31 ... 50	>50
Катет шва для вуглецевих сталей, мм	4	6	8	10	12
Катет шва для низьколегованих сталей, мм	6	8	10	12	-

Таблиця Б.7 – Рекомендовані співвідношення висоти балки і товщини стінки

h, мм	1	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
$\delta_{ст}$, мм	8 ... 10	10 ... 12	12 ... 14	16 ... 18	20 ... 22	22 ... 24
$h/\delta_{ст}$	100 ... 125	125 ... 150	145 ... 165	165 ... 185	185 ... 200	210 ... 230

Таблиця Б.8 – Допустимі напруження основного металу, МПа

Рід зусиль	Умовне позначення	Значення для матеріалу			
		Ст2	Ст3	15ХСНД	АМг6
розтягування стиснення вигин	$[\sigma]$	140	160	225	140
зріз	$[\tau]$	84	96	135	84

Таблиця Б.9 – Розрахункові опори сталей, МПа

Рід зусиль	Умовне позначення	Значення для сталі, МПа					
		вуглецеві ¹		низьколеговані ²			
		Ст3, Ст4	Ст5	14Г2, 15ГС при товщині металу, мм		10Г2С, 10Г2СД, 15ХСНД	10ХСНД
				$\delta < 20$	$\delta > 20$		
Розтягування Стиснення Вигин	R	210	230	290	280	290	340
Зріз	R _{зр}	130	140	170	170	170	200
Зминання торцевої поверхні	R _{зм}	320	340	430	430	430	500

П р и м і т к а:

¹ Для куточків, двотаврової і швелерної сталі при товщині вертикальних стінок $\delta < 20$ мм.² При товщині 34...40 мм цифри, зазначені в таблиці, для сталі 15ГС знижують на 10%, для сталі 10ХСНД - на 8%. При великих товщинах значення R береться рівним $0,85\sigma_T$

Таблиця Б.10 – Найбільші значення, при яких не потрібна перевірка стійкості балок зі сталі класу С38/23 l/b

тип балки	h/b	Найбільші значення для балок із співвідношенням розмірів l/b					
		$h/\delta_1 = 100$			$h/\delta_1 = 50$		
		при навантаженні, яке прикладається до поясу		при проміжних закріпленнях верхнього пояса, незалежно від місця докладання навантаження	при навантаженні, яке прикладається до поясу		при проміжних закріпленнях верхнього пояса, незалежно від місця докладання навантаження
		верхнього	нижнього		верхнього	нижнього	
зварна	2	16	25	19	17	26	20
	4	15	23	17	16	24	18
	6	13	21	16	15	22	17
клепати	2	21	30	22	30	42	33
	4	18	28	19	25	35	27
	6	16	25	18	21	32	24

П р и м і т к а:

l - довжина верхнього пояса між зв'язками, які перешкоджають зсуву пояса; при відсутності зв'язків: l - проліт балки; h - висота балки;

b, δ_1 - ширина і товщина стиснутого пояса.

Для балок з інших класів сталей значення l/b помножити на коефіцієнт $\sqrt{\frac{210}{R}}$

Таблиця Б.11 – Коефіцієнти φ_{BH} для перевірки стійкості позацентрово стиснуто-зігнутих суцільних стрижнів в площині дії моменту, що збігається з площиною симетрії

Умовна гнучкість $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R}{E}}$	Коефіцієнти при наведеному ексцентриситеті $m_1\varphi_{BH}$																											
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	17,0	20,0		
0,5	967	922	850	782	722	669	620	577	538	469	417	370	337	307	280	260	237	222	210	183	164	150	125	110	090	072		
1,0	925	854	778	711	653	600	563	520	484	427	382	341	307	283	259	240	225	209	196	175	157	142	122	105	088	068		
1,5	875	804	716	647	593	548	507	470	439	388	347	312	283	262	240	223	207	195	182	163	148	134	114	099	084	067		
2,0	813	742	653	587	536	496	457	425	397	352	315	286	260	240	222	206	193	182	170	153	138	125	107	094	079	065		
2,5	742	672	587	526	480	442	410	383	357	317	287	262	238	220	204	190	178	168	158	144	130	118	101	089	075	063		
3,0	667	597	520	465	425	395	365	342	320	287	260	238	217	202	187	175	166	156	147	135	123	112	096	086	072	060		
3,5	587	522	455	408	375	350	325	303	287	258	233	216	198	183	172	162	153	145	137	125	115	106	091	082	068	058		
4,0	505	447	394	356	330	309	289	270	256	232	212	197	181	168	158	149	140	135	127	118	108	098	087	078	065	056		
4,5	418	382	342	310	288	272	257	242	229	208	192	178	165	155	146	137	130	125	118	110	101	093	082	073	062	054		
5,0	354	326	295	273	253	239	225	215	205	188	175	162	150	143	135	126	120	117	111	108	095	088	077	070	060	052		
5,5	302	280	256	240	224	212	200	192	184	170	158	148	138	132	124	117	112	108	104	095	089	084	073	067	057	050		
6,0	258	244	223	210	198	190	178	172	166	153	145	137	128	120	115	109	104	100	096	089	084	079	069	064	055	048		
6,5	223	213	196	185	176	170	160	155	149	140	132	125	117	112	106	101	097	094	089	083	080	074	066	061	052	045		
7,0	194	186	173	163	157	152	145	141	136	127	121	115	108	102	098	094	091	087	083	078	074	070	063	058	050	043		
8,0	152	146	138	133	128	121	117	115	113	106	100	095	091	087	083	081	078	076	074	068	065	062	056	052	045	039		
9,0	122	117	112	107	103	100	098	096	093	088	085	082	079	075	072	069	066	065	064	061	058	055	051	046	042	036		
10,0	100	097	093	091	090	085	081	080	079	075	072	070	069	065	062	060	059	058	057	055	052	049	045	041	038	034		
11,0	083	079	077	076	075	073	071	069	068	063	062	061	060	057	055	053	052	051	050	048	046	044	041	036	034	032		
12,0	069	067	064	063	062	060	059	059	058	055	054	053	052	051	050	049	048	047	046	044	042	040	038	034	032	029		
13,0	062	061	054	053	052	051	051	050	050	049	048	048	047	045	044	043	042	041	041	039	038	037	035	033	030	027		
14,0	052	049	049	048	048	047	047	046	045	044	043	043	042	041	040	040	039	039	038	037	036	036	033	032	028	026		

П р и м і т к а:

1 Значення коефіцієнтів φ_{BH} в таблиці збільшені в 1000 разів.

2 Значення φ_{BH} беруться не вище значень, наведених в табл. Б.4, Б.5.

Таблиця Б.12 – Коефіцієнти $\varphi_{\text{вн}}$ для перевірки стійкості позацентрово (стиснуто-зігнутих) наскрізних стержнів в площині дії моменту, що збігається з площиною симетрії

наведена умовна гнучкість $\bar{\lambda}_n =$ $\lambda_n \sqrt{R/E}$	Коефіцієнти $\varphi_{\text{вн}}$ при відносному ексцентриситеті m																											
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	1,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20		
0,5	908	800	666	571	500	444	400	364	333	286	250	222	200	182	167	154	143	133	125	111	100	091	077	067	056	048		
1,0	872	762	640	553	483	431	387	351	328	280	243	218	197	180	165	151	142	131	121	109	098	090	077	066	055	046		
1,5	830	727	600	517	454	407	367	336	311	271	240	211	190	178	163	149	137	128	119	108	096	088	077	065	053	045		
2,0	774	673	556	479	423	381	346	318	293	255	228	202	183	170	156	143	132	125	117	106	095	086	076	064	052	045		
2,5	708	608	507	439	391	354	322	297	274	238	215,	192	175	162	148	136	127	120	113	103	093	083	074	062	051	044		
3,0	637	545	455	399	356	32.4	296	275	255	222	201	182	165	153	138	130	121	116	110	100	091	081	071	061	051	043		
3,5	562	480	402	355	320	294	2.70	251	235	206	187	170	155	143	130	123	115	110	106	096	088	078	069	059	050	042		
4,0	484	422	357	317	288	264	246	228	215	191	173	160	145	133	124	118	110	105	100	093	084	076	067	057	049	041		
4,5	415	365	315	281	258	237	223	207	196	176	160	149	136	124	116	110	105	100	096	089	079	073	065	055	048	040		
5,0	350	315	277	250	230	212	201	188	178	161	149	138	127	117	108	104	100	095	092	086	076	071	062	054	047	039		
5,5	300	273	245	223	203	192	182	172	163	147	137	128	118	ПО	102	098	095	091	087	081	074	068	059	052	046	039		
6,0	255	237	216	198	183	174	165	156	149	135	126	119	109	103	097	093	090	085	083	077	070	065	056	051	045	038		
6,5	221	208	190	178	165	157	149	142	137	124	117	109	102	097	092	088	085	080	077	072	066	061	054	050	044	037		
7,0	192	184	168	160	150	141	135	130	125	114	108	101	095	091	087	083	079	076	074	068	063	058	051	047	043	036		
8,0	148	142	136	130	123	118	3	108	105	097	091	085	082	079	077	073	070	067	065	060	055	052	048	044	041	035		
9,0	117	114	ПО	107	102	098	094	090	087	082	079	075	072	069	067	064	062	059	056	053	050	048	045	042	039	035		
10,0	097	094	091	090	087	084	080	076	073	070	067	064	062	060	058	056	054	052	050	047	045	043	041	038	036	033		
11,0	082	078	077	076	073	071	068	066	064	060	058	056	054	053	052	050	048	046	044	043	042	041	038	035	032	030		
12,0	068	066	064	063	061	060	058	057	056	054	052	050	049	048	047	045	043	042	040	039	038	037	034	032	030	028		
13,0	060	059	054	053	052	051	050	049	049	048	047	046	045	044	044	042	041	040	038	037	036	035	032	030	028	026		
14,0	050	049	048	047	046	046	045	044	043	043	042	042	041	041	040	039	039	038	037	036	035	034	031	029	027	025		

П р и м і т к а:

1. Значення коефіцієнтів $\varphi_{\text{вн}}$ в таблиці збільшені в 1000 разів.
2. Значення $\varphi_{\text{вн}}$ беруться не вище значень, наведених в табл. Б.4, Б.5.

Таблиця Б.13 – Розрахункові опори зварних з'єднань за СНиП II-B.3-92

Вид зварного з'єднання	Напружений стан	Позначення	Розрахункові опори зварних з'єднань в конструкціях із сталі, МПа						
			C38/23	C44/29	C46/33	C52/40	C60/45	C70/60	C85/75
			тип електродів						
			E42, E42A	E46, E46A	E50, E50A	E55	E60, E60A	E70	E85
стикові шви	стиснення	$R'_{ст}$	210	260	290	340	380	440	530
	розтягування: а) автоматичне зварювання, а також напівавтоматичне і ручне зварювання з фізичним контролем якості швів;	R'_p	210 (260)	260 (300)	290 (310)	340	380	440	530
	б) напівавтоматичне і ручне зварювання (візуальний контроль)	R'_p	180	220	250	-	-	-	-
	зріз	$R'_{зр}$	130	150	170	200	230	260	310
кутові шви	зріз	$R'_{зр}$	150	180	200	220	240	280	340

П р и м і т к а:

1. В дужках вказані розрахункові опори розтягування зварних з'єднань в стик, експлуатація яких можлива і після досягнення металом границі текучості.
2. Для елементів з сталей різних класів розрахунковий опір зварного з'єднання в стик береться рівним розрахунковому опору з'єднання в стик з менш міцної сталі.
3. Розрахункові опори зварних з'єднань в стик визначені для швів, виконаних двостороннім зварюванням або одностороннім з підваркою кореня шва.

Таблиця Б.14 – Коефіцієнти k_0 , k_1 , k_2 і граничні значення $\frac{\sigma_m}{\sigma}$

γ	k_0 для зварних балок	k_1, k_2 при $\frac{a}{h_{ст}}$									Граничні значення $\frac{\sigma_m}{\sigma}$ при $\frac{a}{h_{ст}}$							
		0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	$\geq 2,0$	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	$\geq 2,0$
		k_1 для зварних балок									для зварних балок							
$\leq 0,8$	6,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
1	6,62	2,42	2,61	3,10	3,78	4,65	5,69	6,86	8,17	9,57	0	0,146	0,183	0,267	0,359	0,445	0,540	0,618
2	7,00	2,52	2,74	3,38	4,28	5,39	6,75	8,23	9,77	11,70	0	0,109	0,169	0,277	0,406	0,543	0,652	0,799
4	7,27	2,59	2,80	3,48	4,53	5,91	7,62	9,50	11,53	13,67	0	0,072	0,129	0,281	0,479	0,711	0,930	0,132
6	7,32	2,60	2,84	3,52	4,64	6,11	8,04	10,23	12,48	14,80	0	0,066	0,127	0,288	0,536	0,874	1,192	1,468
10	7,37	2,61	2,86	3,55	4,72	6,30	8,34	10,71	13,30	16,08	0	0,059	0,122	0,296	0,574	1,002	1,539	2,154
≥ 30	7,46	2,62	2,87	3,58	4,81	6,50	8,75	11,30	14,33	17,57	0	0,047	0,112	0,300	0,633	1,283	2,249	3,939
		k_2 для зварних балок									для клепаних балок							
		0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	$\geq 2,0$	-	0	0,121	0,184	0,378	0,643	1,131	1,614	2,347
		6,3	7,78	8,23	9,50	11,1	13,02	15,25	17,79									

Примітки: 1. Для клепаних балок $k_0=7$, а k_1 визначається при $\gamma=10$.

2. Коефіцієнт $\gamma = c \frac{b_n}{h_{ст}} \left(\frac{\delta_n}{\delta_{ст}} \right)^3$ де b_n і δ_n - ширина і товщина стиснутого пояса; $h_{ст}$ і $\delta_{ст}$ - висота і товщина стінки балки.

3. Коефіцієнт $c=\infty$ для підкранових балок при приварених рейках і для інших балок при безперервному обпиранні жорстких плит на стиснений пояс; $c=2$ при не приварених рейках; $c=0,8$ для відсіків з навантаженням на розтягнутому поясі і у всіх інших випадках.

Таблиця Б.15 – Значення коефіцієнта k'

$\mu_1 = \frac{a}{h_1}$	1,0	1,5	2,0
k'	0,36	0,42	0,45

Таблиця Б.16 – Матеріали для зварних металоконструкцій

Клас сталі і ГОСТ 27772-88	Марка сталі	Розрахункова температура експлуатації t, ° C	Товщина прокату, мм	Нормативний опір прокату, МПа			
				листового універсального		фасонного	
				Ryn	Run	Ryn	Run
ГРУПА 1	зварні конструкції або їх елементи, які працюють в особливо важких умовах або піддаються безпосередньому впливу динамічних, вібраційних або рухомих навантажень (підкранові балки, фасонки ферм, елементи естакад)						
C255	ВСт3сп5, ВСт3Гпс5, ВСт3пс6, ВСт3сп5-1, ВСт3Гпс5-1, 18Сп, 18Гпс, 18Гсп	t≥ -40	від 2 до 3,9	255	380	-	-
			від 14 до 10	245	380	255	380
			від 11 до 20	245	370	245	370
			від 21 до 40	235	370	235	370
C285	ВСт3сп5-2, ВСт3Гпс5-2	t≥ -40	від 2 до 3,9	285	380	-	-
			від 4 до 10	275	390	285	400
			від 11 до 20	265	380	275	390
C345	09Г2, 09Г2С, 14Г2, 15ХСНД, 12Г2С, 14Г2	t≥ -65	від 2 до 10	345	490	345	490
			від 11 до 20	325	470	325	470
			від 20 до 40	305	460	305	460
			від 40до 160	265	430	-	-
C375	09Г2С, 12ГС2, 14Г2, 10Г2С1, 15ХСНД, 10ХСНД	t≥ -65	від 2 до 10	375	510	375	510
			від 11 до 20	355	490	355	490
			від 20 до 40	355	480	355	480
C390	14Г2АФ, 10Г2С1, 10ХСНД	t≥ -65	від 4 до 50	390	540	-	-
C440	16Г2АФ, 18Г2АФпс, 15Г2СФ	t≥ -65	від 4 до 30	440	590	-	-
			від 31 до 50	410	570	-	-

ДОДАТОК В

Сортамент прокатної сталі

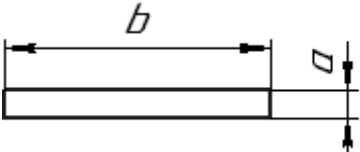
Таблиця В.1 – Сталь прокатна широкосмугова, універсальна за ГОСТ 82-70

Ширина, мм	Маса 1 м смуги, кг											
	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22
	товщина 1 м смуги, мм											
200	9,42	10,99	12,56	14,13	15,70	17,27	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40	34,54
210	9,89	11,54	13,19	14,84	16,49	18,13	19,78	23,08	26,38	29,67	32,97	36,27
220	10,36	12,09	13,82	15,54	17,27	19,00	20,72	24,18	27,63	31,09	34,54	37,99
240	11,30	13,19	15,07	16,96	18,84	20,72	22,61	26,28	30,14	33,91	37,68	41,45
250	11,78	13,74	15,70	17,66	19,63	21,59	23,55	27,48	31,40	35,33	39,25	43,18
260	12,25	14,29	16,33	18,37	20,41	22,45	24,49	28,57	32,66	36,74	40,82	44,90
280	13,19	15,39	17,58	19,78	21,98	24,18	26,38	30,77	35,17	39,56	43,96	48,36
300	14,13	16,49	18,84	21,20	23,55	25,91	28,26	32,97	37,68	42,39	47,10	51,81
320	15,07	17,58	20,10	22,61	25,12	27,63	30,14	35,17	40,19	45,22	50,24	55,26
340	16,01	18,68	21,35	24,02	26,69	29,36	32,03	37,37	42,70	48,04	53,38	58,72
360	16,96	19,78	22,61	25,43	28,26	31,09	33,91	39,56	45,22	50,87	56,52	62,17
380	17,90	20,88	23,86	26,85	29,83	32,81	35,80	41,76	47,73	53,69	59,66	65,63
400	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40	34,54	37,68	43,96	50,24	56,52	62,80	69,08
420	19,78	23,08	26,38	29,67	32,97	36,27	39,56	46,16	52,75	59,35	65,94	72,53
450	21,20	24,73	28,26	31,79	35,33	38,86	42,39	49,46	56,52	63,59	70,65	77,72
480	22,61	26,37	30,14	33,91	37,68	41,44	45,21	52,75	60,29	67,82	75,36	82,89
500	23,55	27,48	31,40	35,33	39,25	43,18	47,10	54,95	62,80	70,65	78,50	86,35
530	24,96	29,12	33,28	37,44	41,61	45,77	49,93	58,25	66,57	74,89	83,21	91,53
560	26,37	30,77	35,17	39,56	43,96	48,35	52,75	61,54	70,33	79,12	87,92	96,71
600	28,26	32,97	36,68	42,39	47,10	51,81	56,52	65,94	75,36	84,78	94,20	103,6
630	29,67	34,62	39,56	44,51	49,46	54,40	59,35	69,24	79,13	89,02	98,91	108,8
650	30,62	35,72	40,82	45,92	51,03	56,13	61,23	71,44	81,64	91,85	102,0	112,2
670	31,53	36,80	42,15	47,30	52,59	57,80	63,10	73,60	84,10	94,60	105,1	115,6
700	32,97	38,46	43,96	49,46	54,95	60,44	65,94	76,93	87,92	98,91	109,9	120,8
750	35,33	41,21	47,10	52,99	58,88	64,76	70,65	82,43	94,20	105,9	117,7	129,5
800	37,68	43,96	50,24	56,52	62,80	69,08	75,36	87,92	100,4	113,0	125,6	138,1
850	40,04	46,71	53,38	60,05	66,73	73,40	80,07	93,42	106,7	120,1	133,4	146,8
900	42,39	49,46	56,52	63,59	70,65	77,72	84,78	98,91	113,0	127,1	141,3	155,4
950	44,75	52,20	59,66	67,12	74,58	82,03	89,49	104,4	119,3	134,2	149,1	164,0
1000	47,10	54,95	62,80	70,65	78,50	86,35	94,20	109,9	125,6	141,3	157,0	172,7
1050	49,46	57,70	65,94	74,18	82,43	90,67	98,91	115,4	131,8	148,3	164,8	181,3

Продовження таблиці В.1

Ширина, мм	Маса 1 м смуги, кг									
	25	28	30	32	36	40	45	50	56	60
	товщина 1 м смуги, мм									
200	39,25	43,96	47,10	50,24	56,52	62,80	70,65	78,50	86,35	94,20
210	41,21	46,16	49,46	52,75	59,35	65,94	74,18	82,43	90,67	98,91
220	43,18	48,36	51,81	55,26	62,17	69,08	77,72	86,35	94,98	103,62
240	47,10	52,75	56,52	60,29	67,82	75,36	84,78	94,20	103,62	113,04
250	49,06	54,95	58,88	62,80	70,65	78,50	88,31	98,13	106,94	117,75
260	51,03	57,15	61,23	65,31	73,48	81,64	91,85	102,05	112,55	122,46
280	54,95	61,54	65,94	70,34	79,13	87,92	98,91	109,90	120,89	131,88
300	58,88	65,94	70,65	75,36	84,78	94,20	105,98	117,75	129,52	141,30
320	62,80	70,34	75,36	80,38	90,43	100,48	113,04	125,60	138,16	150,72
340	66,73	74,73	80,07	85,41	96,08	106,76	120,11	133,45	146,80	160,14
360	70,65	79,13	84,78	90,43	101,74	113,04	127,17	141,30	155,43	169,56
380	74,58	83,52	89,49	95,46	107,39	119,32	134,24	149,15	164,06	178,98
400	78,50	87,92	94,20	100,48	113,04	125,60	141,30	157,00	172,70	188,40
420	82,43	92,32	98,9 Γ	105,50	118,69	131,88	148,37	164,85	181,34	197,82
450	88,31	98,91	105,98	113,04	127,17	141,30	158,96	176,63	194,29	211,95
480	94,20	105,50	113,04	120,55	135,65	150,72	169,56	188,40	207,24	226,18
500	98,13	109,90	117,75	125,60	141,30	157,00	176,63	196,25	215,88	235,50
530	104,01	116,49	124,82	133,14	149,78	166,42	187,22	208,03	228,83	249,63
560	109,90	123,08	131,88	140,67	158,25	175,84	197,82	219,80	241,78	263,76
600	117,75	131,88	141,30	150,72	169,56	188,40	211,95	235,50	259,05	282,60
630	123,64	138,47	148,37	158,26	178,04	197,82	222,55	247,28	272,00	296,73
650	127,56	142,87	153,08	163,28	183,69	204,10	229,61	255,13	281,64	306,15
670	131,50	147,40	157,78	168,40	189,40	210,36	236,70	263,00	289,27	315,60
700	137,38	153,86	164,85	175,84	197,82	219,80	247,28	274,75	302,22	329,70
750	147,19	164,85	176,63	188,40	211,95	235,50	264,94	294,38	323,81	353,25
800	157,00	175,84	188,40	200,96	226,08	251,20	282,60	314,00	345,40	376,80
850	166,81	186,83	200,18	213,52	240,21	266,90	300,26	333,63	366,99	400,35
900	176,63	197,82	211,95	226,08	254,34	282,60	317,93	353,25	388,58	423,90
950	186,44	208,81	223,73	238,64	268,47	298,30	335,59	372,88	410,16	447,45
1000	196,25	219,80	235,50	251,20	282,60	314,00	353,25	392,50	431,75	471,00
1050	206,06	230,79	247,28	263,76	296,73	329,70	370,91	412,13	453,34	494,55

Таблиця В.2 – Смуга сталевая горячекатаная за ГОСТ 103-76

Ширина смуги, b, мм	 маса 1 м смуги, кг, при товщині а, мм																							
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	36	40	45	50	56	60
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
11	-	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,38	0,47	0,56	0,66	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0,44	0,55	0,66	0,77	0,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,26	-	1,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0,56	0,71	0,85	0,99	1,13	1,27	1,41	-	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,63	0,78	0,94	1,10	1,26	1,41	1,57	1,73	1,88	2,20	2,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0,69	0,86	1,04	1,21	1,38	1,55	1,73	1,90	2,07	2,42	2,76	3,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	2,16	2,36	2,75	3,14	3,53	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	0,88	1,10	1,32	1,54	1,76	1,98	2,20	2,42	2,64	3,08	3,52	3,96	4,40	4,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0,94	1,18	1,41	1,65	1,88	2,12	2,36	2,59	2,83	3,30	3,77	4,24	4,71	5,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	1,00	1,26	1,51	1,76	2,01	2,26	2,51	2,76	3,01	3,52	4,02	4,52	5,02	5,53	6,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83	3,11	3,39	3,96	4,52	5,09	5,65	6,22	7,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	1,26	1,57	1,88	2,20	2,51	2,83	3,14	3,45	3,77	4,40	5,02	5,65	6,28	6,91	7,85	8,79	9,42	10,05	—	—	—	—	—	—
45	1,41	1,77	2,12	2,47	2,83	3,18	3,53	3,89	4,24	4,96	5,65	6,36	7,06	7,77	8,83	9,89	10,60	11,30	12,72	—	—	—	—	—
50	1,51	1,96	2,36	2,75	3,14	3,53	3,92	4,32	4,71	5,50	6,28	7,06	7,85	8,64	9,81	10,99	11,78	12,56	14,13	15,70	—	—	—	—
55	1,73	2,16	2,59	3,02	3,45	3,89	4,32	4,75	5,18	6,04	6,91	7,77	8,64	9,50	10,79	12,09	12,95	13,82	15,54	17,27	—	—	—	—
60	1,88	2,36	2,83	3,30	3,77	4,24	4,71	5,18	5,65	6,59	7,54	8,48	9,42	10,36	11,78	13,19	14,13	15,07	16,96	18,84	21,20	—	—	—
63	1,98	2,47	2,97	3,46	3,96	4,45	4,95	5,44	5,93	6,92	7,91	8,90	9,89	10,88	12,36	13,85	14,84	15,83	17,80	19,78	22,25	24,73	—	—
65	2,04	2,55	3,06	3,57	4,08	4,59	5,10	5,61	6,12	7,14	8,16	9,18	10,20	11,23	12,76	14,29	15,31	16,33	18,37	20,41	22,96	25,51	—	—
70	2,20	2,75	3,30	3,85	4,40	4,95	5,50	6,04	6,59	7,60	8,79	9,89	10,99	12,09	13,74	15,39	16,48	17,58	19,78	21,98	24,73	—	—	—
75	2,36	2,94	3,53	4,12	4,71	5,30	5,89	6,48	7,06	8,24	9,42	10,60	11,78	12,95	14,72	16,48	17,66	18,84	21,20	23,55	26,49	—	—	—
80	2,51	3,14	3,77	4,40	5,02	5,65	6,28	6,91	7,54	8,79	10,05	11,30	12,56	13,82	15,70	17,58	18,84	20,10	22,61	25,12	28,26	31,40	35,17	—

Продовження таблиці В.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
85	2,67	3,34	4,00	4,67	5,34	6,00	6,67	7,34	8,01	9,34	10,68	12,01	13,34	14,68	16,68	18,68	20,02	21,35	24,02	26,69	30,03	33,36	37,36	40,04
90	2,83	3,53	4,24	4,95	5,65	6,36	7,06	7,77	8,48	9,89	11,30	12,72	14,13	15,54	17,66	19,78	21,20	22,61	25,43	28,26	31,79	35,32	39,56	42,39
95	2,98	3,73	4,47	5,22	5,97	6,71	7,46	8,20	8,95	10,44	11,93	13,42	14,92	16,41	18,64	20,88	22,37	23,86	26,85	29,83	33,56	37,29	41,76	44,74
100	3,14	3,92	4,71	5,50	6,28	7,06	7,85	8,64	9,42	10,99	12,56	14,13	15,70	17,27	19,62	21,98	23,55	25,12	28,26	31,40	35,32	39,25	43,96	47,10
105	3,30	4,12	4,95	5,77	6,59	7,42	8,24	9,07	9,89	11,54	13,19	14,84	16,48	18,13	20,61	23,08	24,73	26,38	29,67	32,97	37,09	41,21	46,16	49,46
110	3,45	4,32	5,18	6,04	6,91	7,77	8,64	9,50	10,36	12,09	13,82	15,54	17,27	19,00	21,59	24,18	25,90	27,63	31,09	34,54	38,86	43,18	48,35	51,81
120	3,77	4,71	5,65	6,59	7,54	8,48	9,42	10,36	11,30	13,19	15,07	16,96	18,84	20,72	23,55	26,38	28,26	30,14	33,91	37,68	42,39	47,10	52,75	56,52
125	3,92	4,91	5,89	6,87	7,85	8,83	9,81	10,79	11,78	13,74	15,70	17,66	19,62	21,59	24,53	27,48	29,44	31,40	35,32	39,25	44,16	49,06	54,95	58,88
130	4,08	5,10	6,12	7,14	8,16	9,18	10,20	11,23	12,25	14,29	16,33	18,37	20,41	22,45	25,51	28,57	30,62	32,66	36,74	40,82	45,92	51,02	57,14	61,23
140	4,40	5,50	6,59	7,69	8,79	9,89	10,99	12,09	13,19	15,39	17,58	19,78	21,98	24,18	27,48	30,77	32,97	35,17	39,56	43,96	49,46	54,95	61,54	65,94
150	4,71	5,89	7,06	8,24	9,42	10,60	11,78	12,95	14,13	16,48	18,84	21,20	23,55	25,90	29,44	32,97	35,32	37,68	42,39	47,10	52,99	58,88	65,94	70,65
160	5,02	6,28	7,54	8,79	10,05	11,30	12,56	13,82	15,07	17,58	20,10	22,61	25,12	27,63	31,40	35,17	37,68	40,19	45,22	50,24	56,52	62,80	70,33	75,36
170	5,34	6,67	8,01	9,34	10,68	12,01	13,34	14,68	16,01	18,68	21,35	24,02	26,69	29,36	33,36	37,37	40,04	42,70	48,04	53,38	60,05	66,72	74,73	80,07
180	5,65	7,06	8,48	9,89	11,30	12,72	14,13	15,54	16,96	19,78	22,61	25,43	28,26	31,09	35,32	39,56	42,39	45,22	50,87	56,52	63,58	70,65	79,12	84,78
190	5,97	7,46	8,95	10,44	11,93	13,42	14,92	16,41	17,90	20,88	23,86	26,85	29,83	32,81	37,29	41,76	44,74	47,73	53,69	59,66	67,12	74,58	83,52	89,49
200	6,28	7,85	9,42	10,99	12,56	14,13	15,70	17,27	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40	34,54	39,25	43,96	47,10	50,24	56,52	62,80	70,65	78,50	87,92	94,20

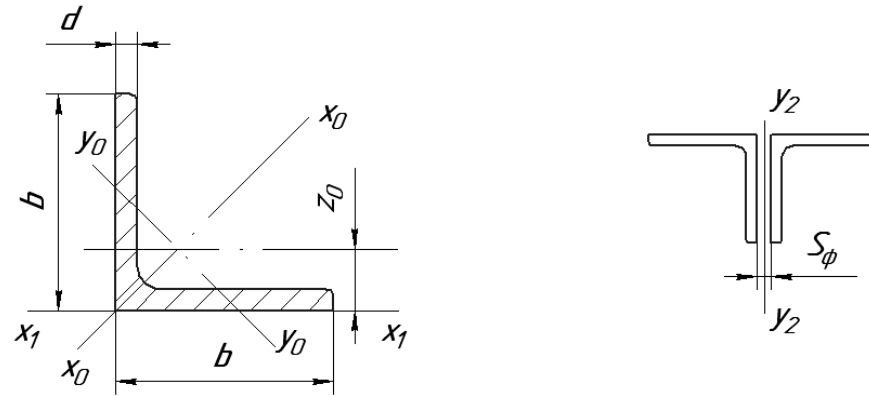
Таблиця В.3 – Сталь листова гарячекатана за ГОСТ 19903-74

Товщина мм	Максимальна и мінімальна довжина листів при ширині, мм																				
	500	510	600	650	670	700	710	750	800	850	900	950	1000	1100	1250	1400	1420	1500	1600	1700	1800
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6	1200	710- 1420	1200- 2000	1400	1420	1420	1200- 2000	1500- 2000	–	–	–	–	2000	–	–	–	–	–	–	–	–
0,63; 0,65; 0,7;0,75	1200	710- 1420	1420- 2000	2000	1420	1420	1200- 2000	1500- 2000	–	–	–	–	2000- 2500	–	–	–	–	–	–	–	–
0,8; 0,9	1200	710- 1420	1420- 2000	2000	1420	1420	1200- 2000	1500- 2000	1500	–	–	–	2000- 2500	–	2500	–	–	–	–	–	–
1,0	–	–	1420- 2000	2000	1420	1420- 2000	1420- 2000	1600- 2000	1600- 2500	1700	1800- 2000	1900	1800- 2500	–	2500	–	–	–	–	–	–
1,2; 1,3; 1,4	–	–	1420- 2000	2000	1420- 2000	1420- 2000	1420- 2000	1500- 2000	1600- 2500	1800	1800- 2500	2000	1800- 2500	2000- 2500	2500- 3000	–	–	–	–	–	–
1,5; 1,6; 1,8	–	–	1420- 2000	1420- 2000	1420- 2000	1420- 2000	1420- 6000	1500- 6000	1600- 6000	1800- 6000	1500- 6000	2000- 6000	1500- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	–	–	–
2,0; 2,2	–	–	1420- 2000	1420- 2000	1420- 2000	1420- 2000	1420- 6000	1500- 6000	1600- 6000	2000- 6000	1800- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	–	–
2,5; 2,8	–	–	2000	2000	2000	2000- 6000	1420- 6000	1600- 6000	1600- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	–	–
3; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9	–	–	2000	2000	2000	2000- 6000	1420- 6000	1600- 6000	1600- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000
4; 4,5; 5; 5,6	–	–	2000	2000	2000	2000- 6000	1420- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000	2000- 6000
6; 7	–	–	–	–	–	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000	2000- 7000
8; 9; 10	–	–	–	–	–	2000- 8000	2000- 8000	2000- 8000	2000- 8000	2000- 8000	2000- 8000	2000- 8000	2000- 8000	2000- 8000	2000- 8000	20008 000	20008 000	2000 12000	3000- 12000	30001 2000	3000- 12000
11; 12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2000- 6000	2000- 6000	2000- 8000	20008 000	20008 000	2000 12000	3000- 12000	30001 2000	3000- 12000

Продовження таблиці В.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
13; 14; 15;16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2500 6500	2500 6500	2500 12000	2500 12000	2500 12000	3000 12000	3000 11000	3200 11000	3200 10000
26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2500- 12000	2500- 12000	2500- 12000	3000- 12000	3000- 12000	3200- 12000	3200- 12000
42; 45; 48; 50; 52; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95;100; 105; 110;120;125;130;140;150;160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2500- 9000	2500- 9000	3000- 9000	3000- 9000	3000- 9000	3500- 9000	3500- 9000

Таблиця В.4 – Сталь прокатна кутова рівнополічна за ГОСТ 8509-72



Розміри кутика, мм		Маса 1 пог. м, кг	Площа перетину $F_{\text{кут}}$, см^2	Відстань до центра ваги z_0 , см	Довідкові величини для осей							r_y^2 перетину з двох кутиків, см, при $S\phi$, мм		
					x – x		$x_1 - x_1$	$x_0 - x_0$		$y_0 - y_0$				
b	d				$I_x, \text{см}^4$	$r_x, \text{см}$	$I_{x_1}, \text{см}^4$	$I_{x_0}, \text{см}^4$	$r_{x0}, \text{см}$	$I_{y0}, \text{см}^4$	$r_{y0}, \text{см}$	8	10	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
50	5	3,77	4,80	1,42	11,2	1,53	20,9	17,8	1,92	4,63	0,98	2,38	2,45	2,53
56	5	4,25	5,41	1,57	16,0	1,72	29,2	25,4	2,16	6,59	1,10	2,62	2,69	2,77
63	5	4,81	6,13	1,74	23,1	1,94	41,5	36,6	2,44	9,52	1,25	2,89	2,96	3,04
	6	5,72	7,28	1,78	27,1	1,93	50,0	42,9	2,43	11,2	1,24	2,91	2,99	3,06
70	6	6,39	8,15	1,94	37,6	2,15	68,4	59,6	2,71	15,5	1,38	3,18	3,25	3,33
	8	8,37	10,7	2,02	48,2	2,13	91,9	76,4	2,68	20,0	1,37	3,22	3,29	3,37

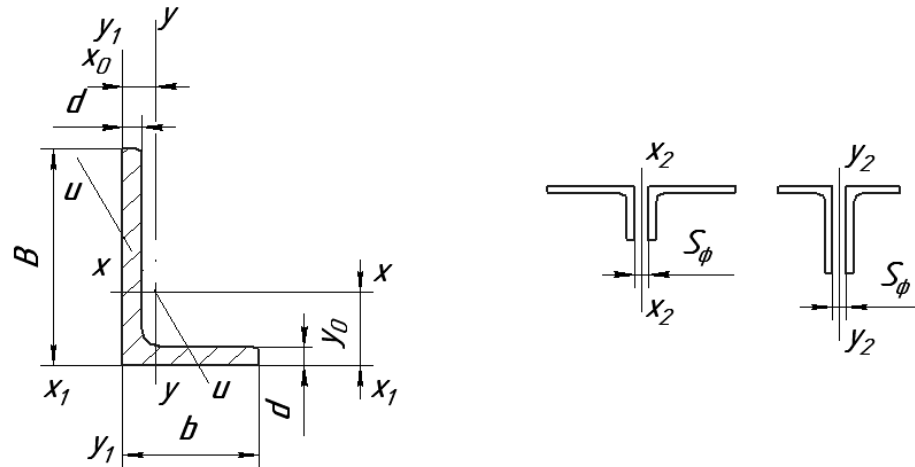
Продовження таблиці В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
75	6	6,89	8,78	2,06	46,6	2,30	83,9	73,9	2,90	19,3	1,48	3,37	3,44	3,52
	8	9,02	11,5	2,15	59,8	2,28	113	94,9	2,87	24,8	1,47	3,42	3,50	3,57
80	6	7,36	9,38	2,19	57,0	2,47	102	90,4	3,11	23,5	1,58	3,58	3,65	3,72
	8	9,65	12,3	2,27	73,4	2,44	137	116	3,08	30,3	1,57	3,62	3,69	3,77
90	6	8,33	10,6	2,43	82,1	2,78	145	130	3,50	34,0	1,79	3,97	4,04	4,11
	8	10,9	13,9	2,51	106	2,76	194	168	3,48	43,8	1,77	4,01	4,08	4,16
100	8	12,2	15,6	2,75	147	3,07	265	233	3,87	60,9	1,98	4,40	4,47	4,54
	10	15,1	19,2	2,83	179	3,05	333	284	3,84	74,1	1,96	4,44	4,52	4,59
	12	17,9	22,8	2,91	209	2,03	402	331	3,81	86,9	1,95	4,49	4,56	4,64
110	8	13,5	17,2	3,00	198	3,39	353	315	4,28	81,8	2,18	4,80	4,87	4,95
125	8	15,5	19,7	3,36	294	3,87	516	467	4,87	122	2,49	5,39	5,46	5,53
	10	19,1	24,3	3,5	360	3,85	619	571	4,84	149	2,47	5,44	5,52	5,59
	12	22,7	28,9	3,53	422	3,82	782	670	4,82	174	2,46	5,48	5,55	5,63
140	10	21,5	27,3	3,82	512	4,33	911	814	5,46	211	2,78	6,05	6,12	6,19
	12	25,5	32,5	3,90	602	4,31	1097	957	5,43	248	2,76	6,08	6,15	6,23
160	10	24,7	31,4	4,30	774	4,96	1356	1229	6,25	319	3,19	6,84	6,91	6,98
	12	29,4	37,4	4,39	913	4,94	1633	1450	6,23	376	3,17	6,88	6,95	7,02
	14	34,0	43,3	4,47	1046	4,92	1911	1662	6,20	431	3,16	6,92	6,99	7,06
	16	38,5	49,1	4,55	1175	4,89	2191	1866	6,17	485	3,14	6,96	7,03	7,10
180	12	33,1	42,2	4,89	1317	5,59	2324	2093	7,04	540	3,58	7,69	7,76	7,83

Продовження таблиці В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
200	12	37,0	47,1	5,37	1823	6,22	3182	2896	7,84	749	3,99	8,49	8,55	8,62
	14	42,8	54,6	5,46	2097	6,20	3722	3333	7,81	861	3,97	8,53	8,60	8,67
	16	48,7	62,0	5,54	2363	6,17	4264	3755	7,78	970	3,96	8,57	8,64	8,71
	20	60,1	76,5	5,70	2871	6,12	5355	4560	7,72	1182	3,93	8,65	8,72	8,79
	25	74,0	94,3	5,89	3466	6,06	6733	5494	7,63	1438	3,91	8,74	8,81	8,88
	30	87,6	111,5	6,07	4020	6,00	8130	6351	7,55	1688	3,89	8,83	8,90	8,97
220	14	47,4	60,4	5,93	2814	6,83	4941	4470	8,60	1159	4,38	9,31	9,38	9,45
	16	53,8	68,6	6,02	3175	6,81	5661	5045	8,58	1306	4,36	9,35	9,42	9,49
250	16	61,5	78,4	6,75	4717	7,76	8286	7492	9,78	1942	4,98	10,5	10,6	10,7
	20	76,1	97,0	6,91	5765	7,71	10401	9160	9,72	2370	4,94	10,6	10,7	10,8
	25	94,0	119,7	7,11	7006	7,65	13064	11125	9,64	2887	4,91	10,7	10,8	10,9
	28	104,5	133,1	7,23	7717	7,61	14674	12244	9,59	3190	4,89	10,8	10,8	10,9
	30	111,4	142,0	7,31	8177	7,59	15753	12965	9,56	3389	4,89	10,8	10,9	11,0

Таблиця В.5 – Сталь прокатна кутова нерівнополічна за ГОСТ 8510-92



Розміри кутика, мм			Маса 1 пог. м, кг	Площа перетину $F_{\text{кут}}$ см ²	Відстань до центра ваги, см		Довідкові величини для осей								Для двох кутиків при товщині фасонки S_{ϕ} , мм					
							x – x		y – y		x ₁ – x ₁	y ₁ – y ₁	u – u		8	10	12	8	10	12
B	b	d			x ₀	y ₀	I _x , см ⁴	r _x , см	I _y , см ⁴	r _y , см	I _{x1} , см ⁴	I _{y1} , см ⁴	I _u , см ⁴	r _u , см	r _x ² , см			r _y ² , см		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
63	40	4	3,17	4,04	0,91	2,03	16,3	2,01	5,16	1,13	33	8,51	3,07	0,87	3,15	3,23	3,31	1,73	1,81	1,89
		6	4,63	5,90	0,99	2,12	23,3	1,99	7,28	1,11	49,9	13,1	4,36	0,86	3,21	3,29	3,37	1,78	1,86	1,94
		8	6,03	7,68	1,07	2,20	29,6	1,96	9,15	1,09	66,9	17,9	5,58	0,85	3,26	3,34	3,42	1,83	1,91	2,00
70	45	5	4,39	5,59	1,05	2,28	27,8	2,23	9,05	1,27	56,7	15,2	5,34	0,98	3,49	3,56	3,64	1,93	2,01	2,08
75	50	5	4,79	6,11	1,17	2,39	34,8	2,39	12,5	1,43	69,7	20,8	7,24	1,09	3,67	3,75	3,83	2,12	2,20	2,28
		6	5,69	7,25	1,21	2,44	40,9	2,38	14,6	1,42	83,9	25,2	8,48	1,08	3,70	3,78	3,86	2,15	2,22	2,30
		8	7,43	9,47	1,29	2,52	52,4	2,35	18,5	1,40	112	34,2	10,9	1,07	3,75	3,83	3,91	2,19	2,27	2,35

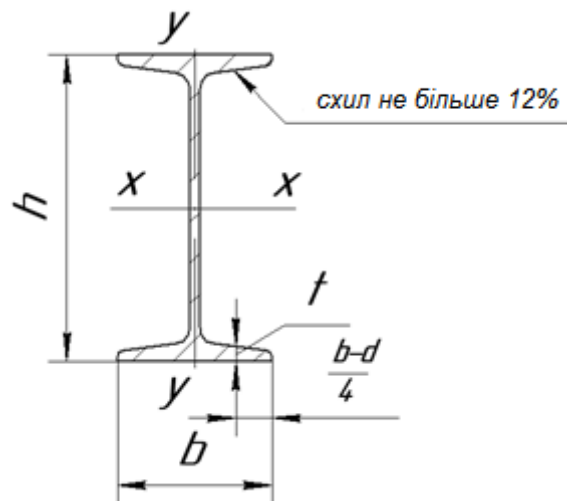
Продовження таблиці В.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
80	50	5	4,99	6,36	1,13	2,60	41,6	2,56	12,7	1,41	84,6	20,8	7,58	1,09	3,94	4,02	4,10	2,08	2,16	2,23
		6	5,92	7,55	1,17	2,65	49,0	2,55	14,8	1,40	102	25,2	8,88	1,08	3,97	4,05	4,13	2,10	2,18	2,26
90	56	6	6,70	8,54	1,28	2,95	70,6	2,88	21,2	1,58	145	35,2	12,7	1,22	4,41	4,49	4,57	2,30	2,38	2,45
		8	8,77	11,18	1,36	3,04	90,9	2,85	27,1	1,56	194	47,8	16,3	1,21	4,47	4,55	4,62	2,35	2,43	2,50
100	63	6	7,53	9,59	1,42	3,23	98,3	3,20	30,6	1,79	198	49,9	18,2	1,38	4,84	4,92	4,99	2,55	2,62	2,70
		8	9,87	12,6	1,50	3,32	127	3,18	39,2	1,77	266	67,6	23,4	1,36	4,89	4,97	5,04	2,59	2,67	2,74
		10	12,1	15,5	1,58	3,40	154	3,15	47,1	1,75	333	85,8	28,3	1,35	4,94	5,01	5,09	2,64	2,71	2,79
110	70	6,5	8,98	11,4	1,58	3,55	142	3,53	45,6	2,00	286	74,3	26,9	1,53	5,30	5,37	5,45	2,81	2,89	2,96
		7	9,64	12,3	1,60	3,57	152	3,52	48,7	1,99	309	80,3	28,8	1,53	5,30	5,38	5,45	2,82	2,89	2,97
		8	10,9	13,9	1,64	3,61	172	3,51	54,6	1,98	353	92,3	32,3	1,52	5,33	5,41	5,49	2,84	2,92	2,99
125	80	7	11,0	14,1	1,80	4,01	227	4,01	73,7	2,29	452	119	43,4	1,76	5,96	6,04	6,11	3,17	3,24	3,31
		8	12,5	16,0	1,84	4,05	256	4,00	83,0	2,28	518	137	48,8	1,75	5,98	6,06	6,13	3,19	3,27	3,34
		10	15,5	19,7	1,92	4,14	312	3,98	100	2,26	649	173	59,3	1,74	6,04	6,11	6,19	3,23	3,31	3,38
		12	18,3	23,4	2,00	4,22	365	3,95	117	2,24	781	210	69,5	1,72	6,08	6,15	6,23	3,28	3,35	3,43
140	90	8	14,1	18,0	2,03	4,49	364	4,49	120	2,58	727	194	70,3	1,98	6,64	6,72	6,79	3,55	3,61	3,69
		10	17,5	22,2	2,12	4,58	444	4,47	146	2,56	911	245	85,5	1,96	6,69	6,77	6,84	3,60	3,67	3,74
160	100	9	18,0	22,9	2,23	5,19	606	5,15	186	2,85	1221	300	110	2,20	7,60	7,67	7,75	3,88	3,95	4,02
		10	19,8	25,3	2,28	5,23	667	5,13	204	2,84	1359	335	121	2,19	7,62	7,69	7,77	3,90	3,97	4,04
		12	23,6	30,0	2,36	5,32	784	5,11	239	2,82	1634	405	142	2,18	7,67	7,73	7,82	3,95	4,02	4,09
		14	27,3	34,7	2,43	5,40	897	5,08	272	2,80	1910	477	162	2,16	7,71	7,79	7,86	3,98	4,06	4,13
180	110	10	22,2	28,3	2,44	5,88	952	5,80	276	3,12	1933	444	165	2,42	8,55	8,62	8,70	4,22	4,29	4,36
		12	26,4	33,7	2,52	5,97	1123	5,77	324	3,10	2324	537	194	2,40	8,60	8,67	8,75	4,26	4,33	4,40

Продовження таблиці В.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
200	125	11	27,4	34,9	2,79	6,50	1449	6,45	446	3,58	2920	718	264	2,75	9,44	9,51	9,59	4,79	4,86	4,93
		12	29,7	37,9	2,83	6,54	1568	6,43	482	3,57	3189	786	285	2,74	9,48	9,54	9,61	4,81	4,88	4,95
		14	34,4	43,9	2,91	6,62	1801	6,41	551	3,54	3726	922	327	2,73	9,50	9,58	9,65	4,85	4,92	4,99
		16	39,1	49,8	2,99	6,71	2026	6,38	617	3,52	4264	1061	367	2,72	9,55	9,63	9,70	4,89	4,96	5,03
250	160	12	37,9	48,3	3,53	7,97	3147	8,07	1032	4,62	6212	1634	604	3,54	11,6	11,7	11,8	6,07	6,13	6,20
		16	49,9	63,6	3,69	8,14	4091	8,02	1333	4,58	8308	2200	781	3,50	11,7	11,8	11,9	6,14	6,21	6,27
		18	55,8	71,1	3,77	8,23	4545	7,99	1475	4,56	9358	2487	866	3,49	11,8	11,8	11,9	6,18	6,24	6,31
		20	61,7	78,5	3,85	8,31	4987	7,97	1613	4,53	10410	2776	949	3,48	11,8	11,9	12,0	6,21	6,28	6,35

Таблиця В.6 – Балки двотаврові за ГОСТ 8239-72

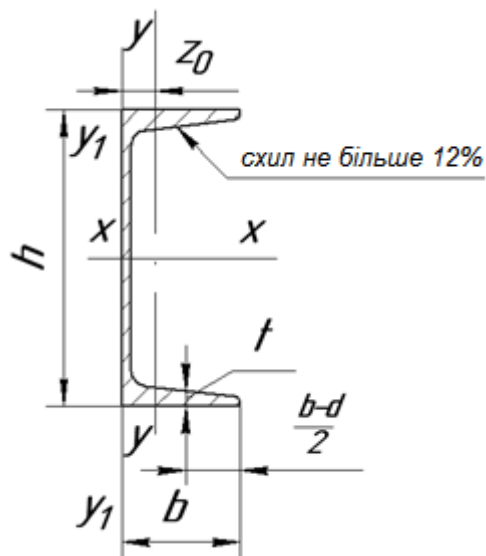


Номер профілю	Вага 1 пог. м, кг	Розміри, мм				Площа перетину F, см ²	Довідкові величини для осей						
		h	b	d	t		x – x				y – y		
							I _x , см ⁴	W _x , см ³	r _x , см	S _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³	r _y , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	9,46	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	18,4	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	19,9	180	100	5,1	8,3	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12
20	21,0	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07

Продовження таблиці В.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
20a	22,7	200	110	5,2	8,6	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32
22	24,0	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
22a	25,8	220	120	5,4	8,9	32,8	2790	254	9,22	143	206	34,3	2,50
24	27,3	240	115	5,6	9,5	34,8	8460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
24a	29,4	240	125	5,6	9,8	37,5	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,63
27	31,5	270	125	6,0	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
27a	33,9	270	135	6,0	10,2	43,2	5500	407	11,3	229	337	50,0	2,80
30	36,5	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
30a	39,2	300	145	6,5	10,7	49,9	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95
33	42,2	330	140	7,0	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	56,1	400	155	8,0	13,0	71,4	18930	947	16,3	540	666	85,9	3,05
45	65,2	450	160	8,6	14,2	83,0	27450	1220	18,2	669	807	101	3,12
50	76,8	500	170	9,5	15,2	97,8	39290	1570	20,0	905	1040	122	3,26
55	89,8	550	180	10,3	16,5	144	55150	2000	22,0	1150	1350	150	3,44
60	104	600	190	11,1	17,8	132	75450	2510	23,9	1450	1720	181	3,60
65	120	650	200	12,0	19,2	153	101400	3120	25,8	1800	2170	217	3,77
70	138	700	210	13,0	20,8	176	134600	3840	27,7	2230	2730	260	3,94
70a	158	700	210	15,0	24,0	202	152700	4360	27,5	2550	3240	309	4,01
706	184	700	210	17,5	28,2	234	175370	5010	27,4	2940	3910	373	4,09

Таблиця В.7 – Швелери за ГОСТ 8240-72



Номер профілю	Вага 1 пог. м, кг	Розміри, мм				Площа перетину F, см ²	Відстань до центра ваги z ₀ , см	Довідкові величини для осей						
		h	b	d	t			x – x				y – y		
								I _x ,см ⁴	W _x , см ³	rx, см	S _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³	ry, см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	4,84	50	32	4,4	7,0	6,16	1.16	22,8	9,10	1,92	5,59	6,61	2,75	0,954
6,5	5,90	65	36	4,4	7,2	7,51	1,24	48,6	15,0	2,54	9.00	8,70	3,68	1,08
8	7,05	80	40	4,5	7,4	8,98	1.31	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19
10	8,59	100	46	4,5	7,6	10,9	1,44	174	34,8	3.99	20,4	20,4	6,46	1,37
12	10,4	120	52	4,8	7,8	13,3	1,54	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53
14	12,3	140	58	4,9	8,1	15,6	1,67	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70
14a	13,3	140	62	4,9	8,7	17,0	1,87	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84

Продовження таблиці В.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	14,2	160	64	5,0	8,4	18,1	1,80	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87
16a	15,3	160	68	5,0	9,0	19,5	2,00	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01
18	16,3	180	70	5,1	8,7	20,7	1,94	1090	121	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04
18a	17,4	180	74	5,1	9,3	22,2	2,13	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18
20	18,4	200	76	5,2	9,0	23,4	2,07	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20
20a	19,8	200	80	5,2	9,7	25,2	2,28	1670	167	8,15	95,9	139	24,2	2,35
22	21,0	220	82	5,4	9,5	26,7	2,21	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37
22a	22,6	220	87	5,4	10,2	28,8	2,46	2330	212	8,99	121	187	30,0	2,55
24	24,0	240	90	5,6	10,0	30,6	2,42	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60
24a	25,8	240	95	5,6	10,7	32,9	2,67	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,78
27	27,7	270	95	6,0	10,5	35,2	2,47	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73
30	31,8	300	100	6,5	11,0	40,5	2,52	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84
33	36,5	330	105	7,0	11,7	46,5	2,59	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97
36	41,9	360	110	7,5	12,6	53,4	2,68	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10
40	48,3	400	115	8,0	13,5	61,5	2,75	15220	761	15,7	441	642	73,4	3,23

ДОДАТОК Д

Методика використання програми «Балка»

1 ВИХІДНІ ДАНІ ПРОГРАМИ

1. Нормативний тиск коліс крана R_H , кН.
2. Довжина балки L , м.
3. Відстань a , м.
4. Відстань b , м.

Вихідні дані вводяться в перший рядок програми (рис. Д.1). За цими даними програма будує графіки розподілу моментів M і перерізуючих сил Q в перерізі балки, а також позначає значення цих величин в характерних точках перетину.

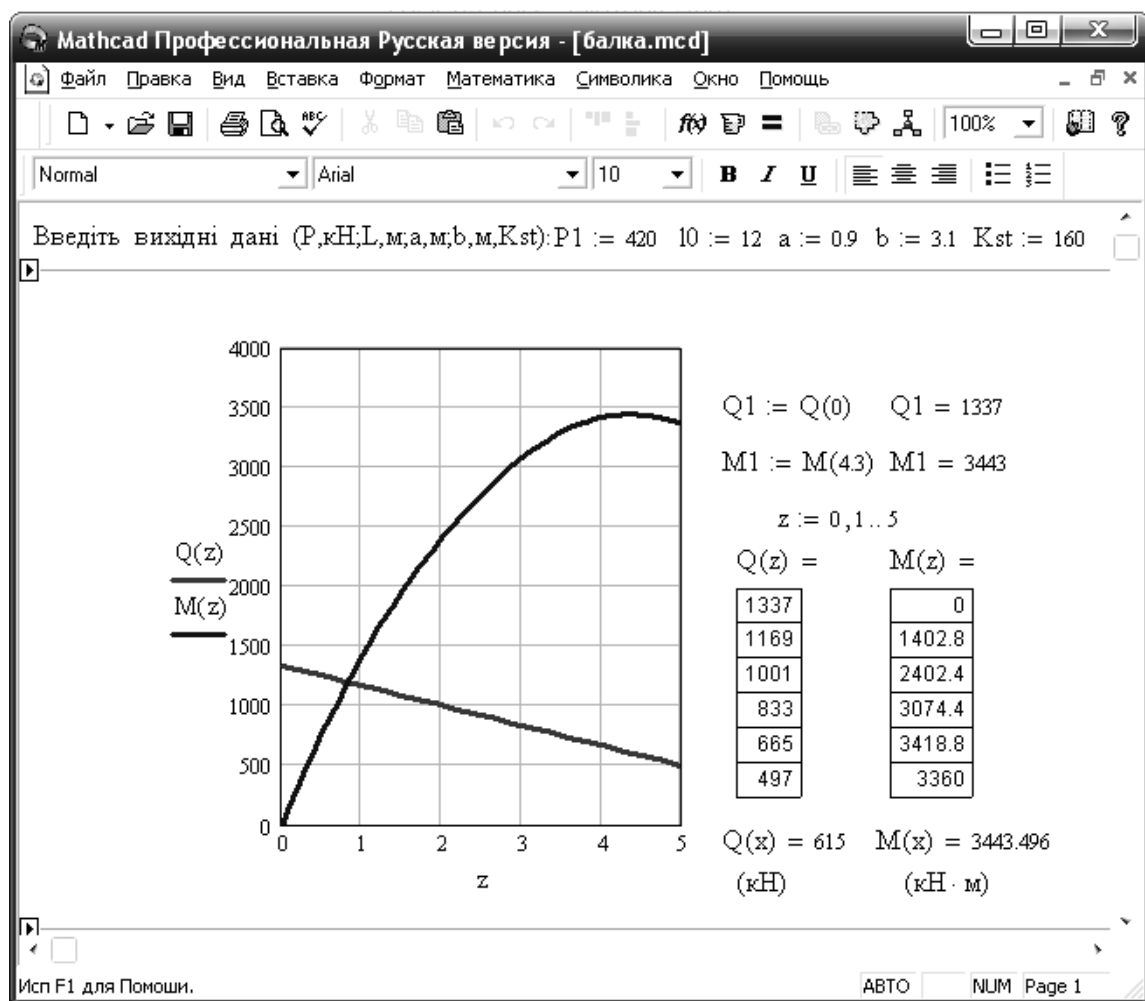


Рисунок Д.1– Робоче вікно програми

Програма попередньо розраховує максимальну відстань між поперечними ребрами жорсткості a та виводить його на екран. Користувач, згідно з рекомендаціями, вводить своє значення цієї величини. Це дозволяє встановити зворотний зв'язок під час перевірки.

Кінцеві дані розрахунків виводять значення розмірів перетину балки (**h**, **δ**, **bn**, **δn**), розміри поздовжніх ребер (**bnp**, **δnp**), розміри поперечних ребер (**bp**, **δp**). Крім того, перевірка правильності розрахунків проводиться операторами серії **prov**; якщо значення будь-якого з операторів більше 1, необхідно зменшити відстань *a*.

Щоб уникнути зайвого переписування результатів всі розрахунки розташовані в прихованих областях програми. Це дозволяє роздрукувати результати безпосередньо з програми.

2 ОПИС ПРОГРАМИ

2.1 Мова програмування програми «Балка»

Програмування розрахунку підкранової балки проводилося з використанням математичного пакета «MathCAD». Використання цього пакета дозволяє максимально спростити математичні розрахунки. Системи MathCAD традиційно займають особливе місце серед інших подібних систем (Eurika, Mercury, MathLAB, Maple і т. п.) і справді можуть називатися найбільш сучасними, універсальними і масовими математичними системами. Вони дозволяють виконувати як числові, так і аналітичні (символьні) обчислення, мають надзвичайно зручний математично орієнтований інтерфейс і прекрасні засоби графіки. Системи класу MathCAD надають уже звичайні, потужні, зручні і наочні засоби опису алгоритмів вирішення математичних задач. Вище наведені переваги системи MathCAD дозволяють виконати розрахунки підкранової балки в даній програмі.

2.1.1 Оператори

Оператори представляють собою елементи мови, за допомогою яких можна створювати математичні вирази. До них, наприклад, відносяться символи арифметичних операцій, знаки обчислення сум, добутків, похідної, інтеграла і т. д. Після вказівки операндів (параметрів оператора) оператори стають блоками, які виконуються за програмою. MathCAD дозволяє ставити і свої нові оператори.

2.1.2 Вбудовані і призначені для користувача функції

MathCAD має безліч вбудованих функцій, які мають особливі властивості: у відповідь на звернення до них по імені із зазначенням аргументу (або списку аргументів) вони повертають деяке значення - символічне, числове або вектор матриці. У систему вбудований ряд

функцій, наприклад, функція обчислення синуса $\sin(x)$ аргументу x , логарифма $\ln(x)$ і т. п. Поряд із вбудованими функціями можуть задаватися і призначені для користувача функції, відсутні в MathCAD раніше. Завдяки вбудованим функціям забезпечується розширення вхідної мови системи та її адаптація до завдань користувача.

Присвоєння значень змінним

Звичайні змінні відрізняються від системних тим, що вони повинні бути попередньо визначені користувачем, тобто їм необхідно хоча б один раз присвоїти значення. Як оператор присвоювання використовується знак: $=$, тоді як знак $=$ відведений для виводу значення чи константи змінної. Спроба використовувати невизначену змінну веде до виводу повідомлення про помилку - змінна забарвлюється в яскраво-червоний колір. Існує також жирний знак рівності, який використовується або як ознака нерівності в операціях порівняння, або як оператор наближеної рівності (у попередніх версіях цей знак мав вигляд $\approx$).

У версії MathCAD 7.0 допускалося при першому присвоєнні вводити знак $=$ (наприклад, $x = 123$). Система сама замінить його на знак: $=$. Ця можливість швидше виняток, ніж правило; знаком присвоювання, все-таки, є знак: $=$.

Якщо змінній присвоюється початкове значення за допомогою оператора: $=$, таке присвоєння називається локальним. До цього привласнена змінна не визначена і її не можна використовувати. Однак за допомогою знака $\equiv$ (три горизонтальні риски) можна забезпечити глобальне присвоєння, тобто воно може виконуватися в будь-якому місці документа. Наприклад, якщо змінній присвоєно таким способом значення в самому кінці документа, то воно матиме це ж значення і на початку документа. Зрозуміло, в подальшому значення можна змінити і за допомогою операції локального присвоювання.

Змінні можуть використовуватися в математичних виразах, бути аргументами функцій або операндом операторів. Далі ми розглянемо особливі види змінних, зокрема індексовані (елементи векторів і матриць), а також змінні із заданими межами їх зміни (ранжирування змінних).

Статус присвоювання не слід плутати зі статусом самих змінних. Всі змінні, описані вище, є глобальними, оскільки можна визначати їх в будь-якому місці документа і також в будь-якому місці змінювати їх значення. Локальні змінні в системі MathCAD містяться в тілах функцій користувача. Ці функції будуть розглянуті нижче.

Використання незадової змінної є помилкою. Така змінна відзначається червоним кольором. Використання неіснуючих змінних в математичних виразах може призвести до різноманітних помилок. Всі вони діагностуються і вимагають виправлення для продовження обчислень.

2.1.3 Ранжирувані змінні і таблиці виводу

Завдання ранжируваних змінних

Ранжирувані змінні - особливий клас змінних, який в системі MathCAD найчастіше заміняє керуючі структури, які називаються циклами (однак повноцінною така заміна не є). Ці змінні мають ряд фіксованих значень, який змінюється з певним кроком від початкового значення до кінцевого.

Ранжирувані змінні характеризуються ім'ям і індексом кожного свого елемента. Для створення ранжируваної змінної цільового типу використовується вираз

$$\mathbf{Name} = Nbegin \dots Nend,$$

де Name – ім'я змінної;

Nbegin – її початкове значення;

Nend – кінцеве значення;

.. – символ, який вказує на зміну змінної в заданих межах (він вводиться знаком крапки з комою).

Якщо $Nbegin < Nend$, то крок зміни змінної дорівнюватиме +1, в іншому випадку - (-1).

Для створення ранжируваної змінної загального вигляду використовується вираз

$$\mathbf{Name} = Nbegin, (Nbegin + Step) \dots Nend,$$

де Step – заданий крок зміни змінної (він може бути позитивним, якщо $Nbegin < Nend$, або негативним в іншому випадку).

Таблиці виведення

Ранжирувані змінні широко застосовуються для представлення числових значень функцій у вигляді таблиць, а також для побудови їх графіків. Будь-яке вираження з ранжируемими змінними після знаку рівності ініціює таблицю виводу.

Корисно враховувати деякі властивості таблиць виводу:

- число рядків в них не може бути більше 50 (великі таблиці доведеться складати з кількох менших);
- числа в таблицях можна задавати в необхідному форматі за допомогою операцій завдання формату чисел;
- при використанні в таблиці одиниць розмірності всі дані таблиці будуть містити одиниці розмірності.

У таблиці виводу можна вставляти і числові значення, а також коригувати їх. Природно, це змінює значення елементів відповідного вектора.

Важливо відзначити, що, по суті, завдання ранжирування змінних еквівалентно задачі кінцевих циклів.

Ранжирувані змінні широко застосовуються при побудові графіків. Наприклад, для побудови графіка деякої функції $f(x)$ перш за все треба подбати про створення низки значень змінної x , для цього вона повинна бути ранжируваною.

2.1.4 Програмні оператори

Аж до появи останніх версій системи MathCAD можливості програмування в них були вкрай обмеженими. Фактично MathCAD дозволяла реалізувати лише лінійні програми, в основі яких лежить поняття функції. Функція *if* і ранжирувані змінні в окремих випадках могли замінити умовні вирази і цикли, але з серйозними обмеженнями. Була відсутня можливість завдання завершених програмних модулів. Ці можливості, в кінці кінців, з'явилися у версії MathCAD PLUS PRO і в розширеному варіанті в останній версії MathCAD. Вони зосереджені в складовій панелі програмних елементів. Програмний модуль в системі MathCAD перетворився в самостійний модуль, який виділяється в тексті документа жирною вертикальною рисою. Він може вести себе як безіменна функція, яка не має параметрів. Програмний модуль може виконувати і роль тіла функції користувача з ім'ям і параметрами. Неважко помітити, що набір програмних елементів для створення програмних модулів дуже обмежений. Нижче наводяться деякі з них:

- Add Line** – створює і при необхідності розширює жирну вертикальну лінію, по праву сторону від якої в шаблонах задається запис програмного блоку;
- ←** – символ локального привласнення (в тілі модуля);
- if** – оператор умовного вираження;
- for** – оператор завдання циклу з фіксованим числом повторень;
- while** – оператор завдання циклу типу «поки» (цикл виконується, поки виконується деяка умова);
- otherwise** – оператор іншого вибору (зазвичай застосовується з *if*).

Оператор Add Line

Оператор Add Line виконує функції розширення програмного блоку. Розширення фіксується подовженням вертикальної риси програмних блоків їх деревовидним розширенням. Завдяки цьому, в принципі, можна створювати які завгодно великі програми (рис. Д.2).

оператор ←

оператор $\leftarrow$ виконує функції внутрішнього локального присвоювання. Наприклад, вираз $x \leftarrow 123$ привласнює змінної x значення 123. Локальний характер привласнення означає, що таке значення x зберігає тільки в тілі програми. За межами тіла програми значення змінної x може бути невизначеним або рівним значенню, яке задається операторами локального: $=$ і глобального $=$ присвоювання поза програмного блоку (рис. Д.3).

оператор if

Оператор if є оператором умовного виразу. Він задається в вигляді:
Вираз if Умова.

Якщо умова виконується, то повертається значення Виразу. Разом з цим оператором часто використовуються оператор іншого вибору otherwise (див. рис. В.2).

оператор for

Оператор for служить для організації циклів з заданим числом повторень. Він записується у вигляді:

for Var e Nmin .. Nmax,

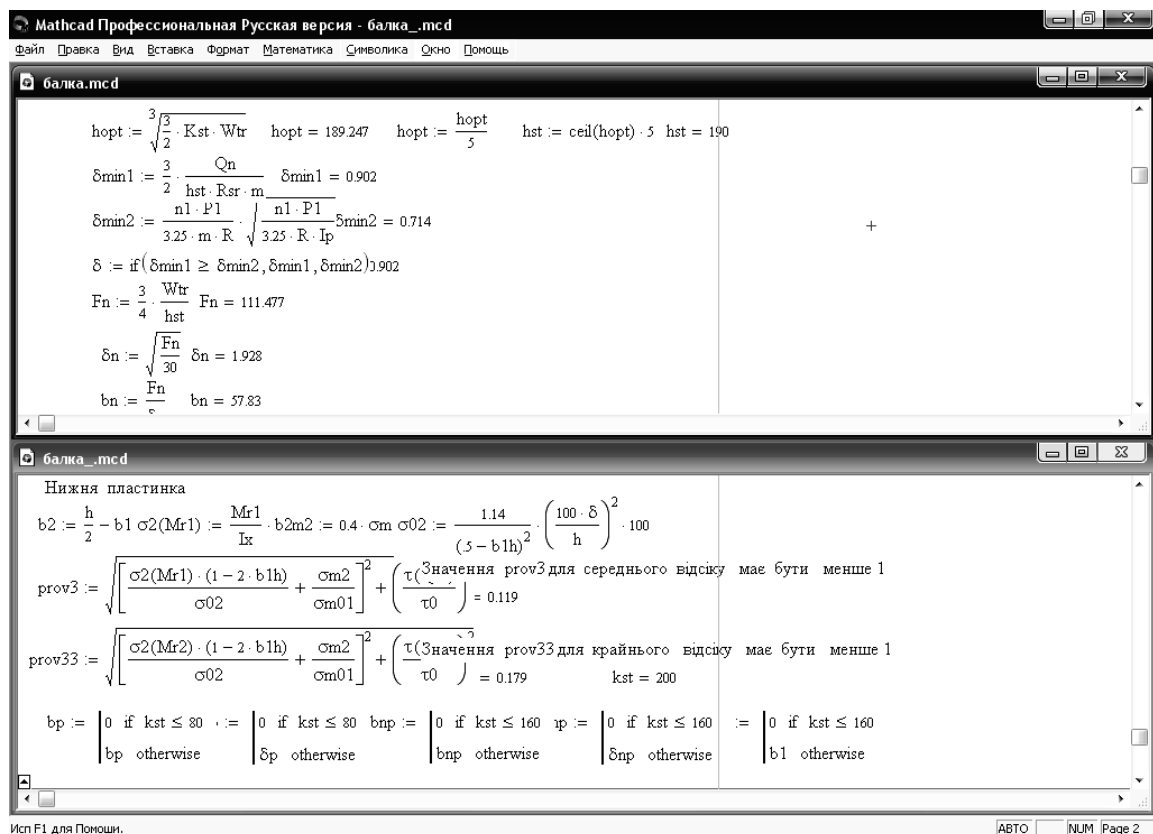


Рисунок Д.2 – Використання операторів if, Add Line і otherwise

Цей запис означає, що якщо змінна Var змінюється з кроком +1 від значення Nmin до значення Nmax, то вираз, який розташований в шаблоні, буде виконуватися. Змінну оператора Var можна використовувати у виразах програми.

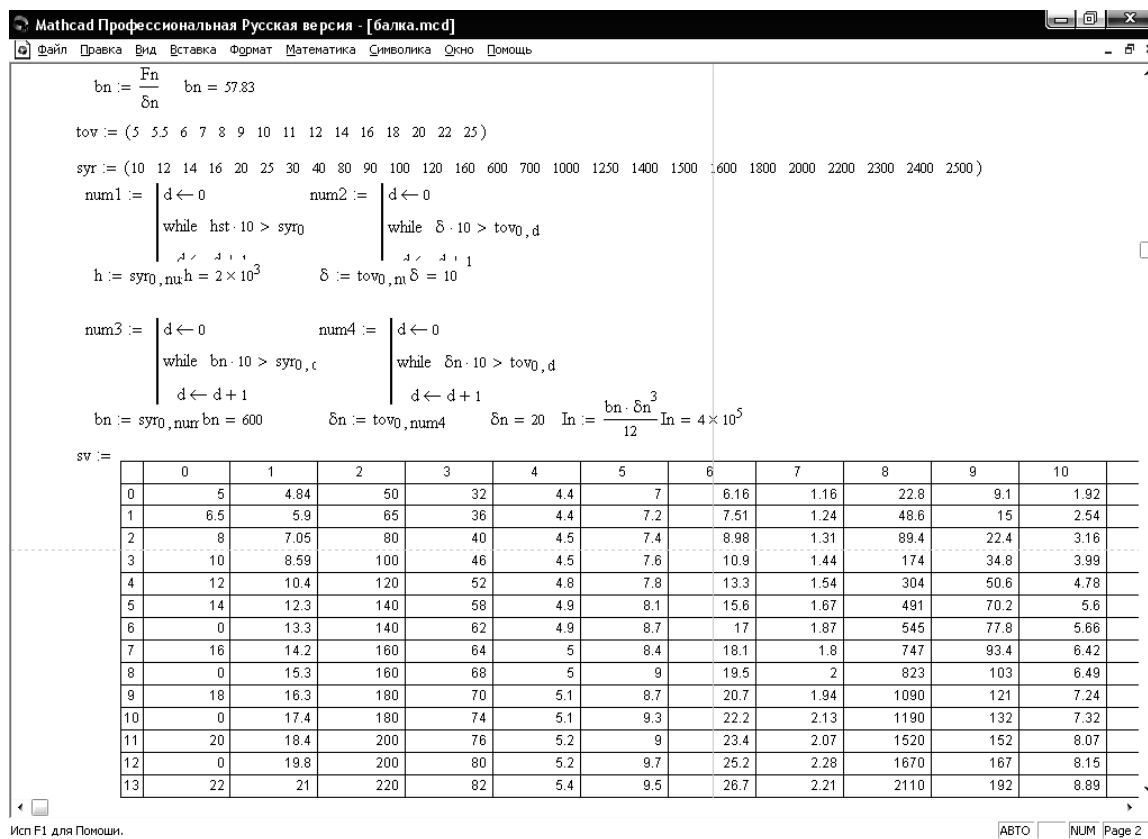


Рисунок Д.3 – Використання операторів while і ←

оператор while

Оператор while служить для організації циклів, які діють до тих пір, поки виконується деяка умова (див. рис. В.3). Цей оператор записується у вигляді:

while Умова.

оператор otherwise

Оператор іншого вибору otherwise зазвичай використовується разом з оператором if (див. рис. Д.2). Це пояснює наступна програмна конструкція:

$f(x) := 1$ if $x > 0$
-1 otherwise

повертає 1, якщо $x > 0$
повертає -1 у всіх інших випадках

Незважаючи на дещо скромний набір програмних засобів, вони дають системі MathCAD саме ті можливості, які раніше просто були відсутні: задавання функцій з апаратом локальних змінних, задавання

різних видів циклів (в тому числі вкладених), спрощення алгоритмів за допомогою операцій присвоювання і реалізація за класичними алгоритмами ітераційних і рекурсивних процедур.

Програмний модуль, по суті, є функцією, але описаною із застосуванням згаданих суто програмних засобів. Ця функція може повертати значення, обумовлене останніми оператором. Це означає, що після такого модуля, виділеного як цілий блок, можна поставити знак рівності для виведення значення функції. У блоці можуть міститися будь-які оператори і функції вхідної мови системи. Для передачі в блок значень змінних можна використовувати змінні документа, які поводяться в блоці як глобальні змінні.

Зазвичай модулю присвоюється ім'я зі списком змінних, після якого йде знак присвоювання: $=$. Змінні в списку є локальними.

2.2 Робота програми

Як вже зазначалося вище, вихідними даними для роботи програми є довжина балки (L , м), нормативний тиск коліс крана (P_n , кН) і габаритні розміри візка крана (a і b , м) (рис. В.4). Так як більшість розрахунків проводиться в ньютонках, переводимо значення нормативного тиску коліс з кілоньютон (кН) в ньютони (Н) (P_0).

Для обчислення значень моментів M і перерізуючої сили Q вводимо проміжні змінні au (обчислення кроку зміни значень моментів M і перерізуючої сили Q), tab (розмір одиничного відрізка при обчисленні значень перерізуючої сили Q), T (тангенс кута між прямими (аб) і (ав) при обчисленні значень (Q), T_1 (тангенс кута між прямими (аб) і (ав) при обчисленні моментів M) і змінна z (обчислення інтервалу зміни значень M і Q).

Методика розрахунку M і Q приведена в літературних джерелах [1]. Для обчислення Q використовуємо формулу $Q(z)$. При розрахунку моментів M змінюється критична сила P_k , тому використовуємо оператор if (см.п.п. 2.1.4 додатку Д) для зміни формули при зміні критичної сили. Використання ПЕОМ дозволяє зменшити крок зміни значень моментів M і перерізуючої сили Q , а це збільшує точність побудови епюр M і Q . Крім епюр, програма виводить значення M і Q в характерних точках перетину.

Обчислення вертикального навантаження від колеса крана, а також горизонтального навантаження проводиться за формулами, наведеними в даному навчальному посібнику. Значення коефіцієнта α в залежності від ваги вантажу вибирається за допомогою оператора if . При обчисленні розрахункових зусиль необхідно мати значення коефіцієнтів β_M і β_Q . Ці коефіцієнти визначаються оператором if в залежності від довжини балки (див. рис. Д.4).

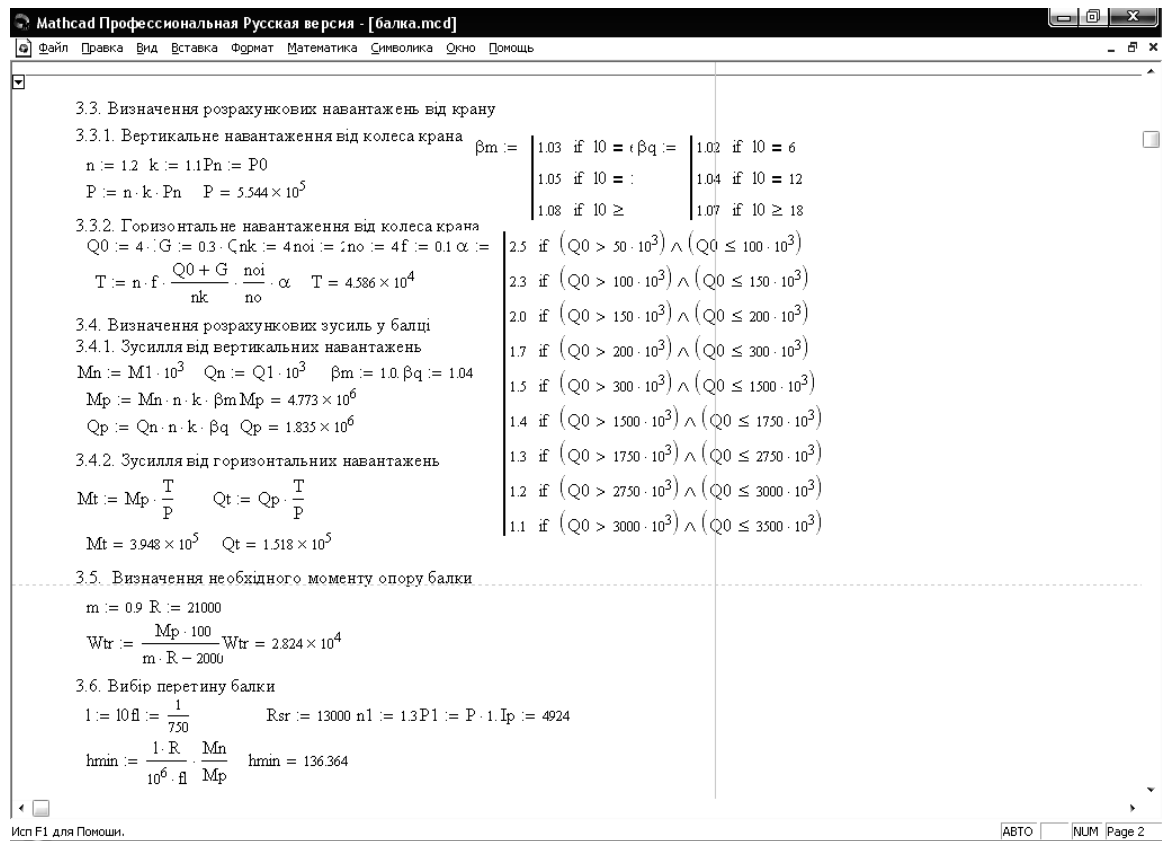


Рисунок Д.4 – Вибір значень α , β_M , β_Q

При визначенні стандартних розмірів листового прокату, який використовується при виготовленні балки, використовуємо дві матриці tov і sur , які містять, відповідно, стандартні значення товщини і ширини листа. Вибір найближчого більшого значення проводиться в циклі серії `num` (рис. Д.5) оператора `while` (див. п.п. 2.1.4).

При розрахунку гальмівної балки необхідний номер швелера вибирається за висотою балки. Сортамент на швелер наведено у вигляді матриці `sv`. Обчислюється попередня площа швелера, вибирається номер в циклі `nom1` (працює аналогічно серії `num`), і в подальших розрахунках використовуються дані з сортаменту.

Для спрощення розрахунків були введені додаткові змінні: hb , lb , $h\delta$, ah , які замінили відповідні співвідношення. Для обчислення значень моментів і перерізуючої сили введені змінні: nr - кількість ділянок, утворених поперечними ребрами; $srl0$ - номер середнього відсіку; srl - ліва межа середнього відсіку; srp - права межа середнього відсіку; krp - права межа крайньої відсіку; gas - знаходження розрахункового перетину.

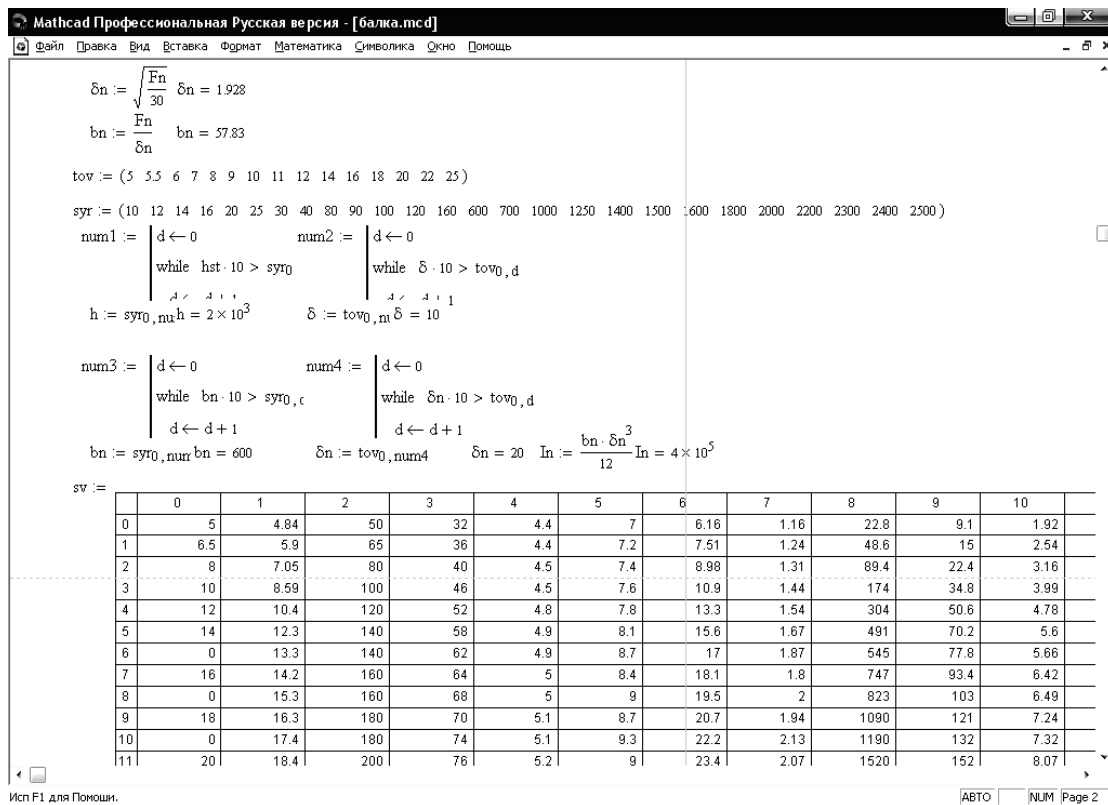


Рисунок Д.5 – Циклы серии *num*

Перевірка виконується за значеннями операторів prov: prov1, prov12 - для балки з поперечними ребрами жорсткості, prov2, prov22 - верхньої пластинки відсіку балки з поперечними і поздовжніми ребрами жорсткості, prov3, prov33 - нижньої пластинки відсіку балки з поперечними і поздовжніми ребрами жорсткості. Якщо будь-який з операторів серії prov дає значення більше 1, необхідно зменшити відстань між поперечними ребрами жорсткості *a*. Заданий значення *a* округляється до найближчого більшого.

Навчальне видання

**ГРИНЬ Олександр Григорович
КУЩІЙ Ганна Михайлівна
ВОЛКОВ Дмитро Анатолійович**

ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Навчальний посібник

Редактор

Комп'ютерна верстка

142/2010 підп. до друку. Формат 60x84 / 16.
Папір офсетний. Розум. друк. арк. . Обл.-вид. арк. .
Тираж прим. Зам. №

Донбаська державна Машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру
серія ДК №1633 від 24.12.03.