

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ФАКУЛЬТЕТ АРХІТЕКТУРИ, БУДІВНИЦТВА ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ  
Кафедра будівництва, геотехніки і геомеханіки

## **РОЗРОБКА СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ БАЛОЧНОЇ КЛІТКИ**

**Методичні рекомендації**  
до виконання курсового проєкту  
з дисципліни «**Металеві конструкції**»  
для підготовки бакалаврів спеціальності  
192 Будівництво та цивільна інженерія

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2024

Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту з дисципліни «Металеві конструкції» для підготовки бакалаврів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія / Г.П. Іванова, С.М. Гапєєв, Н.В. Хозяйкіна, В.В. Янко, О.В. Халимендик, С.О. Барсукова; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2024. – 38 с.

Автори:

Іванова Г.П., канд. техн. наук, доц.;  
Гапєєв С.М., д. техн. наук, зав. каф., проф.;  
Хозяйкіна Н.В., канд. техн. наук, доц.;  
Янко В.В., канд. техн. наук, доц.;  
Халимендик О.В., канд. техн. наук, доц.;  
Барсукова С.О., асп. каф. БГГМ.

Затверджено до видання редакційною радою університету (протокол № 2 від 10.02.2024) за поданням методичної комісії спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія (протокол № 14 від 24.12.2023).

Містять рекомендації до виконання курсового проєкту з розробки сталевих конструкцій балочної клітки – компонування конструктивної схеми робочого майданчика (балочної клітки), розрахунок прокатної балки настилу, головної складеної балки та колони з колонного прокатного профілю, а також та контрольні питання для перевірки знань студентів.

Передбачено виконання курсового проєкту як із викладачем, так і під час самостійної роботи.

Призначено для використання в навчальному процесі бакалаврами різних форм навчання.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки С.С. Гапєєв, д-р техн. наук, проф.

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Металеві конструкції» є базовою в підготовці студентів до самостійної роботи у сфері будівництва промислових (цивільних) об'єктів.

Металеві конструкції та їх елементи широко вживані в будівництві цивільних та промислових споруд. Якісні теоретичні знання та виконання курсового проєкту дозволять:

- компонувати конструктивну схему металевої балочної клітки;
- виконувати розрахунок елементів металевих конструкцій балочної клітки;
- проєктувати та розраховувати з'єднання елементів конструкцій балочної клітки;
- застосовувати методи оптимального проєктування.

Знання вище перелічених принципів дасть змогу фахівцям розробляти оптимальні проєкти металевих конструкцій цивільних та промислових будівель, як за показниками надійності, так і за показниками економічності.

Мета видання цих методичних рекомендацій – надати напрямок самостійної роботи студенту при вивченні курсу, допомогти виділити основні положення окремих його розділів.

У результаті виконання курсового проєкту з дисципліни «Металеві конструкції» студент повинен отримати необхідні уявлення про принципи розрахунку і навчитися користуватися нормативною та довідковою літературою. Робота над навчальним матеріалом включає:

- освоєння необхідних теоретичних відомостей за курсом в процесі занять;
- консультації та самостійну роботу відповідно до рекомендацій за розділами курсу і контрольними питаннями;
- практичне закріплення засвоєного матеріалу при виконанні та під час захисту курсового проєкту.

Засвоївши матеріал дисципліни, студент повинен уміти:

- компонувати конструктивну схему робочого майданчика (балочну клітку);
- розраховувати та підбирати переріз прокатної балки настилу, головної складеної балки колони з колонного прокатного профілю.

Рекомендації побудовано таким чином, що, користуючись ними, студент може виконувати завдання як під керівництвом викладача, так і самостійно. Вони встановлюють обсяг і рівень засвоєння знань з виконання курсового проєкту і сприяють поліпшенню якості самостійної роботи та підвищенню рівня підготовки фахівця.

Зміст методичних вказівок до виконання курсового проєкту відповідає робочій програмі дисципліни.

## 1. ВСТУП

Для виконання курсового проєкту необхідно засвоїти наступні розділи дисципліни «Металеві конструкції»:

- основи металевих конструкцій;
- елементи металевих конструкцій і конструкцій сталевих каркасів.

У кінці кожного розділу є контрольні питання для самостійної роботи, самоперевірки та підготовки до іспитів. Крім цього, рекомендується користуватися додатковою літературою для розширення обсягу досліджуваного матеріалу.

### 1.1. Основи металевих конструкцій

Цей розділ дисципліни дає уявлення про історію розвитку металевих конструкцій, їх особливості, організацію проєктування та сферу раціонального застосування.

Подаються відомості про матеріали для металевих конструкцій, їх класифікації, характеристики і робота при різних навантаженнях. Ці відомості необхідні для правильного вибору матеріалу конструкції, що проєктується. Знання сортаменту дозволяє вибрати ефективні профілі.

Проєктування конструкцій неможливо без оволодіння методикою розрахунку. У вітчизняній практиці прийнято метод розрахунку металевих конструкцій за граничними станами. Слід добре засвоїти положення цього методу, уміти оцінювати роботу елементів і конструкцій при різних навантаженнях, встановлювати їх можливий граничний стан – причину, у результаті якої конструкція перестане задовольняти пропонованим до неї вимогам.

Важливими є відомості про з'єднання металевих конструкцій: зварних і болтових. Слід засвоїти сферу доцільного застосування, принципи роботи, методи розрахунку і конструювання різних з'єднань.

Завершують цей розділ відомості про економіку металевих конструкцій.

#### Контрольні питання

1. Класифікація та сфера застосування металевих конструкцій; основні вимоги, що задаються при їх проєктуванні.
2. Переваги і недоліки сталевих і алюмінієвих конструкцій.
3. Корозія металу. Основні методи боротьби з корозією в різних видах конструкцій.
4. Класифікація сталей за міцністю. Механічні характеристики сталей. Марки сталей для металевих конструкцій.
5. Класифікація та основні характеристики алюмінієвих сплавів для металевих конструкцій.
6. Сортамент. Загальна характеристика профілів сортаменту і доцільні сфери їх застосування.

7. Робота сталі на розтягнення; діаграма розтягування сталі, характерні точки діаграми.
8. Основні положення методу розрахунку металевих конструкцій за граничними станами; групи граничних станів.
9. Навантаження і впливи; нормативні, і розрахункові навантаження поєднання навантажень. Нормативні та розрахункові опори сталі.
10. Характеристики граничних станів центрально-стиснутих і розтягнутих елементів.
11. Характеристики граничних станів елементів, що згинаються.
12. Характеристики граничних станів позацентрово-розтягнутих і позацентрово-стиснутих елементів.
13. Характеристика з'єднань металевих конструкцій.
14. Види зварювання, типи зварних швів і з'єднань, їх розрахунок.
15. Види і загальна характеристика болтових з'єднань. Розрахунок болтів. Особливості роботи і розрахунку з'єднань на високоміцних болтах.

## **1.2. Елементи металевих конструкцій і конструкцій сталевих кар- касу**

У другому розділі курсу вивчаються конструювання і розрахунок елементів металевих конструкцій, оскільки такі елементи, як балки різного призначення, центрально-стиснуті стійки і колони, а також ферми майже завжди знаходять застосування в складі конструкцій більшості споруд.

При вивченні балок і балкових конструкцій треба скласти чітке уявлення про їх конструктивні та компонувальні рішення. Слід пам'ятати, що балка – елемент, що згинається; треба навчитися бачити різницю між прокатними і складеними балками за їх призначенням, порядком розрахунку та конструюванням.

Центрально-стиснуті стрижні (стійки і колони) широко застосовуються для підтримки міжповерхових перекриттів, майданчиків, естакад, як складові елементи ферм та інших конструкцій. Необхідно усвідомити особливості розрахунку і конструювання стійок суцільного і наскрізного перерізу, порядок підбору перерізів і перевірки їх на стійкість, а також конструктивне рішення стрижнів колон, баз, оголовків.

### **Контрольні питання**

1. Характеристика балкових конструкцій. Типи балок, компонування балочних конструкцій (кліток).
2. Прокатні сталеві балки. Підбір і перевірка перерізу прокатних балок.
3. Балки складеного перерізу (складені балки).
4. Типи перерізів, визначення основних розмірів перерізу балки (висота балки і стінки, товщина стінки і поясів, ширина поясів), компонування складеного перерізу балки.
5. Перевірка міцності та прогинів складених зварних балок.
6. Перевірка і забезпечення загальної стійкості сталевих балок.
7. Перевірка і забезпечення місцевої стійкості елементів перерізу складених балок

(поясів і стінки).

8. Розрахунок з'єднання поясів складеної балки зі стінкою.

9. Стиги й опорні вузли балок складеного перерізу, їх конструктивне оформлення і розрахунок.

10. Типи центрально-стиснутих суцільних колон, їх конструювання і розрахунок.

11. Типи центрально-стиснутих наскрізних колон, їх конструювання і розрахунок стрижня.

12. Бази центрально-стиснутих колон, їх конструювання і розрахунок.

13. Типи позацентрово-стиснутих суцільних колон, їх конструювання і розрахунок.

14. Типи позацентрово-стиснутих наскрізних колон, їх конструювання і розрахунок.

15. Вузли та бази позацентрово-стиснутих колон, їх конструювання і розрахунок.

## 2. ЗАВДАННЯ І ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Курсовий проєкт виконується після засвоєння відповідного теоретичного матеріалу, який стосується основ металевих конструкцій (розділ 1.1, контрольні питання 1–15), конструкцій балочних кліток і центрально-стиснутих стрижнів (розділ 1.2, контрольні питання 1–15).

**Тема:** «Розробка сталевих конструкцій балочної клітки».

**Завдання:** скомпонувати конструктивну схему робочого майданчика (балочної клітки), прокатну балку настилу, головну складену балку і стійку-колону з колонного прокатного профілю.

**Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити:** титульний аркуш, вихідні дані, конструктивні розрахунки балки настилу, головної балки і колони. На аркуші формату А4 виконується конструктивна схема балочної клітки з необхідними розмірами і характерними вузлами сполучення конструктивних елементів.

**Графічна частина** курсового проєкту виконується на аркуші ватману формату А1, де повинні бути зображені: план робочого майданчика з необхідними видами та розрізами, на стадії КМД відправний елемент головної балки з необхідними перерізами, деталями і видами, специфікація на відправний елемент, примітки та умовні позначення.

### 2.1. Вихідні дані

Робота над курсовим проєктом починається із встановлення вихідних даних для проєктування, розрахункових опорів і навантажень, що діють на робочий майданчик.

Вихідними даними при проєктуванні є:

- проліт головної балки  $L$  (крок колони вздовж майданчика);
- відстань між головними балками  $B$  (крок колон поперек майданчика);
- відстань між балками настилу  $a$ ;

- сумарне нормативне розподілене навантаження на майданчик  $q_n$  (що включає постійні та тимчасові навантаження);
- матеріал (сталь) для конструкцій робочого майданчика;
- геометрична довжина колони  $l$ ;
- усереднений коефіцієнт надійності за навантаженням  $\gamma_f$ ;
- граничний прогин головної балки  $f_n$  (в частках від  $L$ ).

Вихідні дані визначаються відповідно до табл. 2.1 і 2.2 залежно від шифру залікової книжки (за передостанньою та останньою цифрами номеру залікової книжки).

Таблиця 2.1

Вихідні дані

| Передостання цифра залікової книжки | $L$ , м | $B$ , м | $a$ , м | $q_n$ , кПа (кН/м <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|----------------------------------|
| 1                                   | 15      | 7,5     | 0,6     | 18,0                             |
| 2                                   | 16      | 6       | 0,8     | 14,5                             |
| 3                                   | 16,5    | 7,5     | 0,75    | 12,5                             |
| 4                                   | 17      | 7,5     | 1,0     | 11,5                             |
| 5                                   | 18      | 6       | 1,2     | 13,5                             |
| 6                                   | 19      | 4,5     | 1,0     | 17,0                             |
| 7                                   | 19,5    | 4,5     | 0,75    | 18,0                             |
| 8                                   | 18      | 4,5     | 1,2     | 21,0                             |
| 9                                   | 17      | 6       | 1,0     | 16,5                             |
| 0                                   | 16,5    | 6       | 0,75    | 17,5                             |

Таблиця 2.2

Вихідні дані

| Остання цифра залікової книжки | Матеріал конструкцій (сталь) | $l$ , м | $\gamma_f$ | $f_u$ , см |
|--------------------------------|------------------------------|---------|------------|------------|
| 1                              | C235                         | 6,2     | 1,2        | L/350      |
| 2                              | C345                         | 5,8     | 1,25       | L/250      |
| 3                              | C255                         | 6,3     | 1,3        | L/350      |
| 4                              | C375                         | 6,0     | 1,23       | L/250      |
| 5                              | C255                         | 6,1     | 1,21       | L/350      |
| 6                              | C345                         | 6,0     | 1,28       | L/250      |
| 7                              | C375                         | 5,9     | 1,29       | L/250      |
| 8                              | C235                         | 5,7     | 1,24       | L/350      |
| 9                              | C255                         | 5,5     | 1,22       | L/350      |
| 0                              | C345                         | 5,8     | 1,26       | L/250      |

Залежно від заданого матеріалу конструкцій визначаються розрахункові опори сталі й зварних з'єднань. Розрахункові характеристики сталі для кон-

трольної роботи наведено у табл. 2.3, розрахункові характеристики зварних з'єднань з кутовими швами – у табл 2.4.

Таблиця 2.3

Розрахункові опори сталевого прокату, МПа

| Сталь | Вид прокату  | Товщина прокату, мм | Розрахунковий опір |       |       |
|-------|--------------|---------------------|--------------------|-------|-------|
|       |              |                     | $R_y$              | $R_s$ | $R_p$ |
| С235  | Фасон        | До 20 вкл.          | 230                | 135   | 350   |
|       | Лист         | До 20 вкл.          | 230                | 135   | 350   |
|       |              | від 20 до 40        | 220                | 125   | 350   |
| С255  | Фасон        | До 10 вкл.          | 250                | 145   | 370   |
|       |              | від 10 до 20        | 240                | 140   | 360   |
|       | Лист         | До 20 вкл.          | 240                | 140   | 360   |
|       |              | від 20 до 40        | 230                | 135   | 360   |
| С345  | Фасон і лист | До 10 вкл.          | 335                | 195   | 480   |
|       |              | від 10 до 20        | 315                | 180   | 460   |
|       |              | від 20 до 40        | 300                | 175   | 450   |
| С375  | Фасон і лист | До 10 вкл.          | 365                | 210   | 500   |
|       |              | від 10 до 20        | 345                | 200   | 480   |
|       |              | від 20 до 40        | 325                | 190   | 470   |

Примітки:

1. За товщину фасонного прокату слід приймати товщину полиці (розмір  $t$  в сортаменті).
2.  $R_y$  – при розтягуванні, стиску та вигині;  $R_s$  – при зсуві;  $R_p$  – при зминанні торцевої поверхні (за наявності пригінки).

Таблиця 2.4

Розрахункові опори зварних з'єднань з кутовими швами

| Сталь | Зварювальні матеріали |             | Напружений стан                   |                                           |
|-------|-----------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|
|       | Тип електро-ду        | Марка дроту | Зріз по металу шва $R_{wf}$ , МПа | Зріз по металу межі сплаву $R_{wz}$ , МПа |
| С235  | Э42, Э42А             | СВ-08       | 180                               | 160                                       |
| С255  |                       | СВ-08А      |                                   | 165                                       |
| С345  | Э50, Э50А             | СВ-10ГА     | 215                               | 205                                       |
| С37Г  |                       |             |                                   | 215                                       |

## 2.2. Компонування конструктивної схеми

Перш за все необхідно скомпонувати конструктивну схему робочого майданчика і дати її опис в розрахунково-пояснювальній записці.

Рекомендується застосовувати шарнірне обпирання колон (стійок) на фундаменти в обох напрямках і шарнірне сполучення колон з балками, при



цьому просторова незмінність каркасу забезпечується встановленням поздовжніх і поперечних зв'язків між колонами. Колони виконуються з прокатних широкополочних двотаврів колонного типу.

Розмір комірки (осередка) балочної клітки, тобто крок колон у поздовжньому і поперечному напрямках, зазначається у вихідних даних курсового проєкту. Головні балки рекомендується розташовувати вздовж довгої сторони майданчика і спирати її на полиці колон збоку. Головні балки виконуються із складених зварних двотаврів.

Крок балок настилу приймається таким, щоб він цілим числом укладався в прольоті допоміжної балки. Це враховано у вихідних даних до курсової роботи. Рекомендується поверхове обпирання балок настилу на головні балки. Власне настил виконується з листової сталі. Балки настилу виконуються з прокатних двотаврів, до верхніх поясів яких приварюється настил.

Заглиблення низу бази колони відносно рівня підлоги може прийматися в межах 0,3 – 0,4 м.

Загальну довжину робочого майданчика приймати рівною трьом поздовжнім крокам колон, а загальну ширину – трьом поперечним крокам колон. Орієнтовна схема робочого майданчика з необхідними розмірами і характерними вузлами сполучення конструктивних елементів представлені на рис. 2.1. Кінцеві розміри на схемі зазначають після завершення розрахунків.

### **2.3. Розрахунок балки настилу**

Розрахункова схема балки настилу – однопролітна шарнірно-обперта балка, проліт якої дорівнює поперечному кроку колон робочого майданчика  $B$ , навантажена рівномірно розподіленим навантаженням  $q_1$  (рис. 2.3).

Рішення вузла 1 зображено на рис. 2.2., рішення вузла 2 (обпирання складеної балки на колону) зображено на рис. 2.10.

## План робочого майданчика

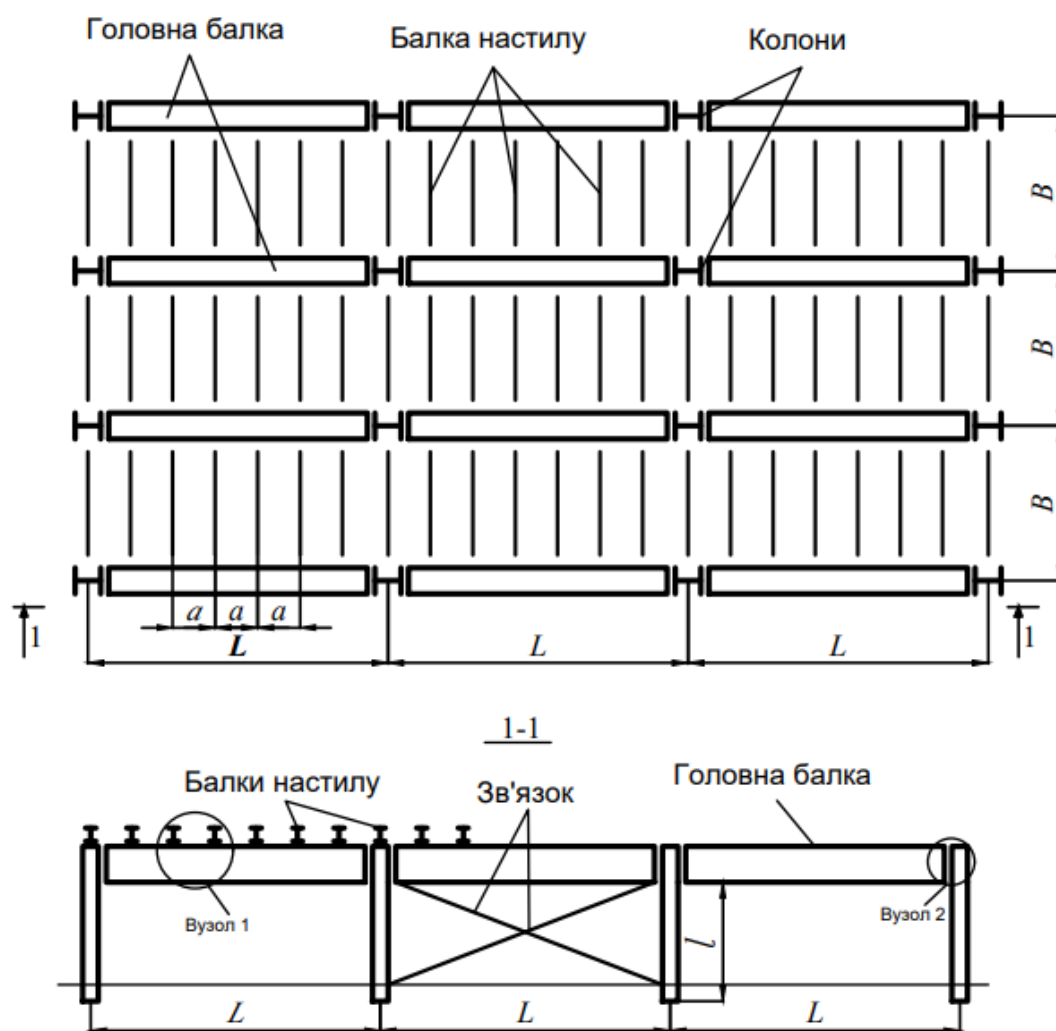


Рис. 2.1. Схема робочого майданчика

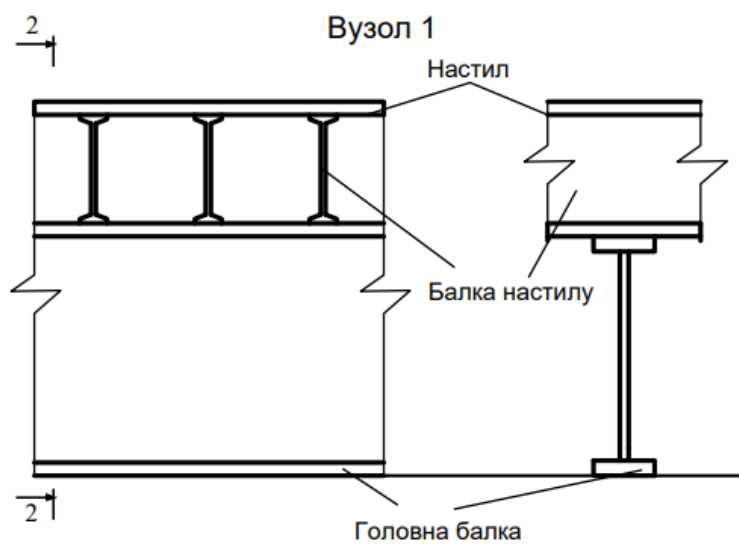


Рис. 2.2. Рішення вузла 1

Нормативне значення погонного навантаження на балку (кН/м) [1]:

$$q_{n_1} = q_n \cdot a,$$

де  $q_n$  – нормативне навантаження на робочий майданчик (вихідні дані);

$a$  – відстань між балками настилу (вихідні дані).

Розрахункове значення погонного навантаження на балку:

$$q_1 = q_{n_1} \cdot \gamma_f, \quad (2.1)$$

де  $\gamma_f$  – усереднений коефіцієнт надійності за навантаженням.

Розрахункові значення згинального моменту (кНм) і поперечної сили (кН) визначаються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} M_{max} &= \frac{q_1 \cdot B^2}{8}, \\ Q_{max} &= \frac{q_1 \cdot B}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Розрахункова схема балки та епюри згинальних моментів і поперечних сил зображено на рис. 2.3.

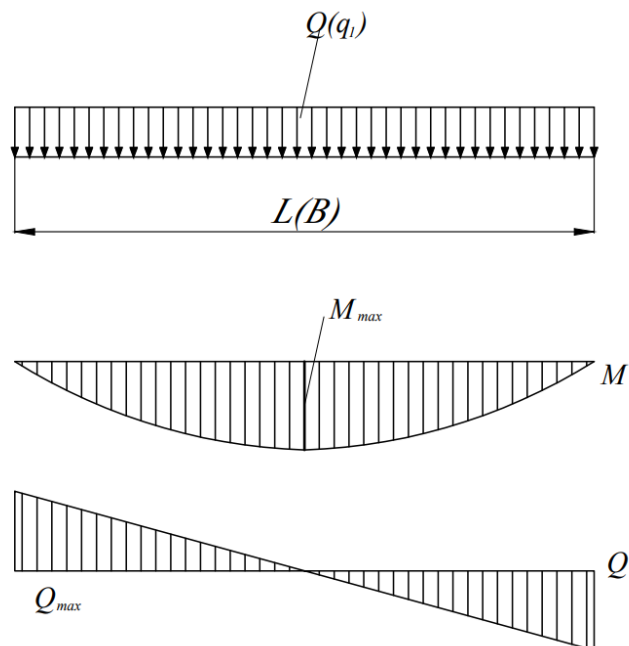


Рис. 2.3. Розрахункова схема балки та епюри зусиль (у дужках позначення для балок настилу)

Для підбору прокатного профілю для балки настилу треба знайти значення необхідного моменту опору перерізу двотаврової прокатної балки:

$$W_{x, cal} = \frac{M_{max} \cdot \gamma_n}{R_y \cdot \gamma_c}, \quad (2.3)$$

де  $M_{max}$  – максимальний згинальний момент, Нм;

$R_y$  – розрахунковий опір фасонної сталі, Па;

$\gamma_n = 1$  - коефіцієнт надійності за призначенням (для курсового проєкту);

$\gamma_c = 1$  - коефіцієнт умов роботи (для курсового проєкту).

Знаючи  $W_{x, cal}$  підбирається за сортаментом (додаток 2) необхідний номер прокатного двотавру (фактичне  $W_x > W_{x, cal}$ ) й виписуються геометричні характеристики його перерізу. Перевірка жорсткості балки виконується за формулою:

$$f = \frac{5q_{n1} \cdot B^4}{384 \cdot E \cdot I_x} \leq f_u, \quad (2.4)$$

де  $f$  - фактичний прогин балки, м;

$q_{n1}$  - нормативне значення погонного навантаження на балку, Н/м;

$B$  - проліт балки, м;

$E = 2,06 \cdot 10^4$  кН /см<sup>2</sup> =  $2,06 \cdot 10^{11}$  Па - модуль пружності сталі;

$I_x$  - момент інерції перерізу балки, м<sup>4</sup>;

$f_u = B/200$  - граничний прогин балки настилу, см (для усіх варіантів), отримане значення необхідно перевести в (м) і тільки після цього підставити у формулу 2.4.

Якщо виявляється, що  $f > f_u$ , то необхідно прийняти більший номер двотавра і повторити перевірку жорсткості.

Перевірка міцності балки по дотичним напруженням (проводиться в навчальних цілях, так як вона забезпечується за умовами прокату двотаврових балок):

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max} \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} \leq R_s \cdot \gamma_c, \quad (2.5)$$

де  $\tau_{max}$  - максимальне дотичне напруження, Па;

$S_x$  - статичний момент половини перерізу балки відносно нейтральної осі, м<sup>3</sup>;

$t_w$  - товщина стінки балки, м;

$R_s$  - розрахунковий опір фасонної сталі зсуву, Па.

Перевірка загальної стійкості балки настилу не потрібна, оскільки до її стиснутого поясу прикріплений сталевий настил.

Місцева стійкість стінки і полиць прокатних балок забезпечена за умовами їх прокатки.

## 2.4. Розрахунок головної складеної балки

Розрахункова схема головної складеної балки робочого майданчика - однопролітна балка прольотом  $L$  з шарнірним обпиранням, навантажена розрахунковим рівномірно розподіленим навантаженням  $q$ , до якої наводяться зосереджені сили в місцях обпирання балок настилу (рис.2.3).

Момент  $M_{max}$  (кНм) і поперечна сила  $Q_{max}$  (кН) дорівнюють:

$$\begin{aligned} M_{max} &= \frac{q \cdot L^2}{8}, \\ Q_{max} &= \frac{q \cdot L}{2}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

де  $q = q_n \cdot \gamma_f \cdot B$ , в кН/м ( $q_n$  у вихідних даних).

### 2.4.1. Призначення розмірів складеної балки

Основним розміром перерізу складеної балки (рис. 2.4) є її висота, яка призначається виходячи з економічних міркувань і максимально допустимого (граничного) прогину.

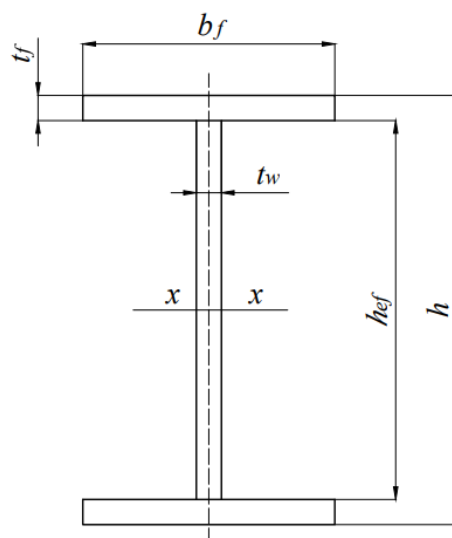


Рис. 2.4. - Переріз складеної балки

Для призначення висоти балки визначають дві величини - оптимальну ( $h_{opt}$ ) та мінімальну висоту балки ( $h_{min}$ ).

Оптимальна висота  $h_{opt}$  - висота, за якої витрата матеріалу найменша визначається за формулою:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{1,5 \cdot \lambda_w \cdot W_{cal}}, \quad (2.7)$$

де  $\lambda_w = \frac{h_{ef}}{t_w}$  - гнучкість стінки ( $h_{ef}$  и  $t_w$  - відповідно висота й товщина стінки балки);

$W_{cal} = \frac{M_{max}}{R_y}$  - необхідний момент опору ( $R_y$  - для листової сталі товщиною до 20 мм).

Попередньо задаємо гнучкість стінки, яку підставляємо до формули 2.7:

$$\lambda_w = 5 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}},$$

де  $E = 206\,000 \text{ МПа} = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}$  - модуль пружності сталі,

$R_y$  - для листової сталі товщиною до 20 мм, Па.

Попередньо задана гнучкість передбачає забезпечення місцевої стійкості стінки без встановлення поздовжніх ребер жорсткості;

Мінімальна висота балки  $h_{min}$ , яка забезпечує граничний прогин, для пружної роботи матеріалу дорівнює:

$$h_{min} = \frac{5 \cdot R_y \cdot L^2}{24 \cdot E \cdot \gamma_f \cdot f_u} \quad (2.8)$$

де  $f_u$  - граничний прогин головної балки (*вихідні дані*), м;

$\gamma_f$  - усереднений коефіцієнт надійності за навантаженням;

$R_y$  - розрахунковий опір листової сталі товщиною понад 20 мм, Па.

При виборі висоти балки  $h$  слід приймати її близькою до значення  $h_{opt}$ , визначеної з економічних міркувань, і не меншою  $h_{min}$ , встановленої з умови граничного прогину, тобто щоб виконувалась наступна умова:  $h_{min} \leq h \leq h_{opt}$

Відхилення цього значення від  $h_{opt}$  незначно впливає на витрату сталі. Так, відхилення дійсної висоти від оптимальної на 20% призводить до зміни маси балки приблизно на 4%.

У всіх випадках висоту складеної балки  $h$  з метою уніфікації необхідно

приймати кратною 100 мм.

Товщину стінки призначають з наступних умов:

а) забезпечення міцності стінки на зріз на опорі (при тому, що балка опирається на опорне ребро)

$$t_w = \frac{1,5 \cdot Q_{\max}}{h \cdot R_s \cdot \gamma_c},$$

де  $R_s$  - розрахунковий опір на зріз листової сталі товщиною до 20 мм, Па.

б) забезпечення місцевої стійкості стінки без додаткового зміцнення її поздовжнім ребром (через гнучкість стінки, з деяким запасом вважаючи  $h_{ef} \approx h$ ):

$$t_w \geq \frac{h}{\lambda_w}$$

в) конструктивна вимога:  $t_w > 8$  мм.

Товщина стінки повинна бути узгоджена з сортаментом на товстолистову сталь (додаток 1).

При призначенні розмірів пояса товщина поясних листів  $t_f$  попередньо призначається в межах 22 - 32 мм (відповідно до сортаменту на широкосмугову сталь - додаток 1).

З умови зварюваності поясів зі стінкою необхідно дотримуватися вимог, щоб  $t_w < t_f < 3t_w$ .

Тоді висота стінки дорівнює  $h_{ef} = h - 2 t_f$ .

Необхідну ширину поясного листа  $b_f$ , визначають з розрахунку геометричних характеристик перерізу, в такій послідовності:

- необхідний момент інерції перерізу визначається за формулою, см<sup>4</sup>:

$$I_{cal} = I_w + I_f = W_{cal} \cdot \frac{h}{2}$$

$$\text{- момент інерції стінки, см}^4: I_w = t_w \cdot \frac{h_{ef}^3}{12}, \quad (2.9)$$

$$\text{- необхідний момент інерції поясів, см}^4: I_f = I_{cal} - I_w,$$

$$\text{- необхідна площа одного пояса, см}^2: A_f = \frac{2I_f}{(h - t_f)^2},$$

- необхідна ширина пояса, см:  $b_f = \frac{A_f}{t_f}$ .

Ширину поясу призначають відповідно до сортамента на широкосмугову сталь (додаток 1). Для складених балок при виборі ширини поясних листів необхідно виконати ряд вимог:

- вимога загальної стійкості  $\frac{b_f}{h} = \frac{1}{3} \div \frac{1}{5}$ ,
- конструктивна вимога  $b_f \geq 180$  мм,  $b_f \geq h/10$ ,
- вимога щодо забезпечення місцевої стійкості

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq 0,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}},$$

де  $b_{ef}$  - вільний звис поясного листа,  $b_{ef} \approx b_f/2$  (рис. 2.5);

$R_y$  - розрахунковий опір листової сталі відповідно до прийнятої товщини  $t_f$ .

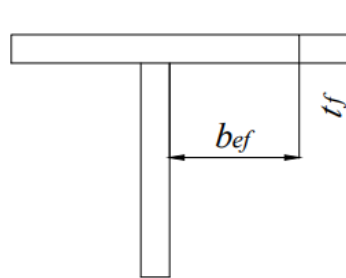


Рис. 2.5 - Вільний звис поясного листа

При невиконанні зазначених вимог змінюють в ту чи іншу сторону товщину поясного листа і визначають нову ширину пояса.

Після призначення розмірів балки визначають дійсні геометричні характеристики перерізу за формулами:

$$\left. \begin{aligned} I &= I_w + I_f = \frac{t_w \cdot h_{ef}^3}{12} + 2 \cdot b_f \cdot t_f \left( \frac{h - t_f}{2} \right)^2, \\ W &= \frac{2 \cdot I}{h}. \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Подібний переріз перевіряють на міцність за нормальним напруженням



$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (2.11)$$

Недонапруження не повинно перевищувати 5%.

#### 2.4.2. Зміна перерізу складеної балки за довжиною

Розміри перерізу, складеної балки, підібрані за максимальним моментом в середині прольоту, можна зменшити на приопорних ділянках. Цей прийом економічно доцільний при прольоті більше 12м. Переріз балки змінюють за рахунок зменшення висоти або розмірів перерізу поясів. Для покриттів змінюють переріз балки за рахунок зменшення ширини пояса (рис. 2.6), забезпечуючи постійну висоту балки.

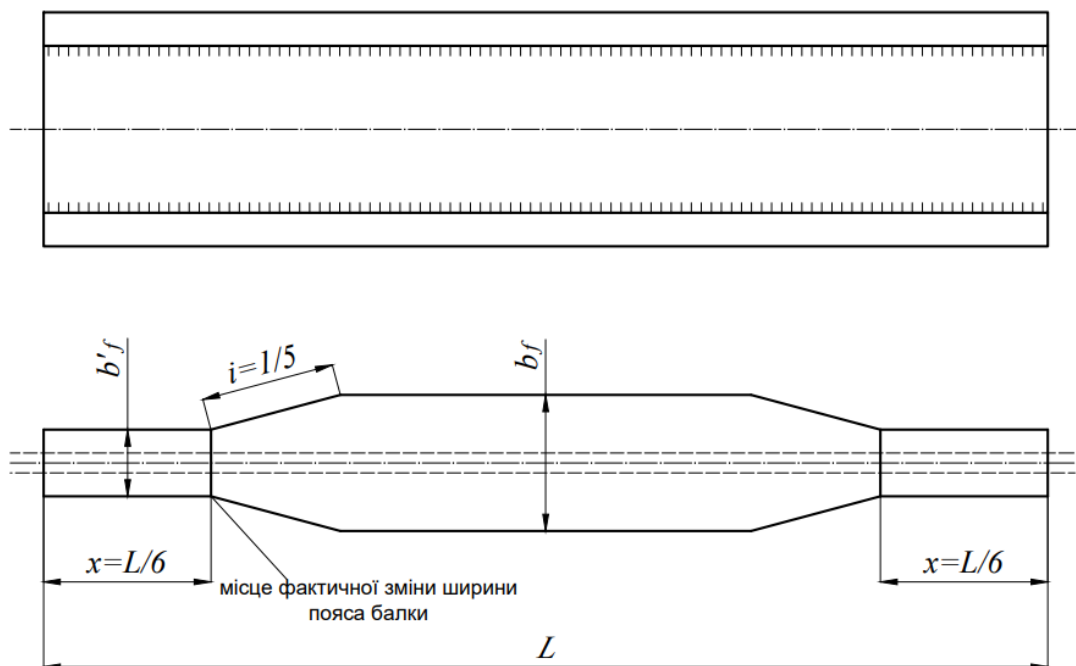


Рис. 2.6. - Зміна перерізу складеної балки за довжиною

При рівномірно розподіленому навантаженні найбільш вигідне по витраті сталі місце зміни перерізу однопролітної балки знаходиться на відстані  $x=L/6$  від опори.

Різні перерізи поясів з'єднують прямим або косим звареним стиковим швом. Розрахунковий опір стикового з'єднання, виконаного автоматичним, напівавтоматичним або ручним зварюванням приймаються:

- при стисканні з'єднання незалежно від виду контролю  $R_{wy} = R_y$ ;
- при розтягуванні з'єднання, перевірені фізичними методами контролю,  $R_{wy} = R_y$ , не перевірені фізичними методами контролю  $R_{wy} = 0,85 \cdot R_y$ .

Зменшену ширину пояса  $b'_f$ , визначають у наступній послідовності:

Відстань до місця зміни перетину, м

$$x = \frac{L}{6}$$

Згинальний момент в місці зміни перерізу, кН·м

$$M_x = \frac{q \cdot L \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

Поперечна сила в місці зміни перерізу, кН

$$Q_x = \frac{q \cdot L}{2} - q \cdot x$$

Необхідний момент опору на опорі, см<sup>3</sup>

$$W'_{cal} = \frac{M_x}{R_y}$$

Необхідний момент інерції перерізу на опорі, см<sup>4</sup>

$$I'_{cal} = W'_{cal} \cdot \frac{h}{2}$$

Необхідний момент інерції поясів, см<sup>4</sup> ( $I_w$  – з формули 2.9.)

$$I'_f = I'_{cal} - I_w$$

Необхідна площа пояса, см<sup>2</sup>

$$A'_f = \frac{2I'_f}{(h - t_f)^2}$$

Необхідна зменшена ширина пояса, см

$$b'_f = \frac{A'_f}{t_f}$$

Отриманий переріз називають опорним.

Зменшена ширина пояса приймається згідно з сортаментом на широкосмугову сталь. При цьому необхідно виконати наступні конструктивні вимоги:  $b'_f \geq 180$  мм;  $b'_f > h/10$ ;  $b'_f > b_f/2$ .

Після призначення розміру  $b'_f$  визначають дійсні геометричні характеристики зменшеного опорного перерізу за формулами:

$$\left. \begin{aligned} I' &= \frac{t_w \cdot h_{ef}^3}{12} + 2b'_f \cdot t_f \left( \frac{h - t_f}{2} \right)^2, \\ W' &= \frac{2I'}{h}, \\ S &= S_w + S_f = \frac{t_w \cdot h_{ef}^2}{8} + b'_f \cdot t_f \left( \frac{h - t_f}{2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Переріз на опорі перевіряють на міцність по дотичним напруженням:

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S}{I' \cdot t_w} \leq R_s \cdot \gamma_c, \quad (2.13)$$

Перевірку загальної стійкості складеної балки не роблять, оскільки на її стислий пояс через 0,6 - 1,2 м обпираються балки настилу, надійно прикріплені (приварені) до нього.

Не слід перевіряти і прогин, так як висота перерізу складеної балки більше мінімальної і регламентований прогин буде забезпечений.

### 2.4.3. Перевірка місцевих і приведених напружень

У місцях обпирання балок настилу на головну балку (рис. 2.7) визначають місцеві напруги по формулі

$$\sigma_{loc} = \frac{F_b}{t_w \cdot l_{ef}} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2.14)$$

де  $F_b = q \cdot a$  - розрахункове значення навантаження (зосередженої сили), що прикладається до складеної балки; навантаження  $q$  приймають із формули (2.6);

$a$  - відстань між балками настилу;

$l_{ef} = b + 2t_f$  - умовна довжина розподілу навантаження;

$b$  - ширина полиці балки настилу;

$t_f$  - товщина полиці складеної балки.

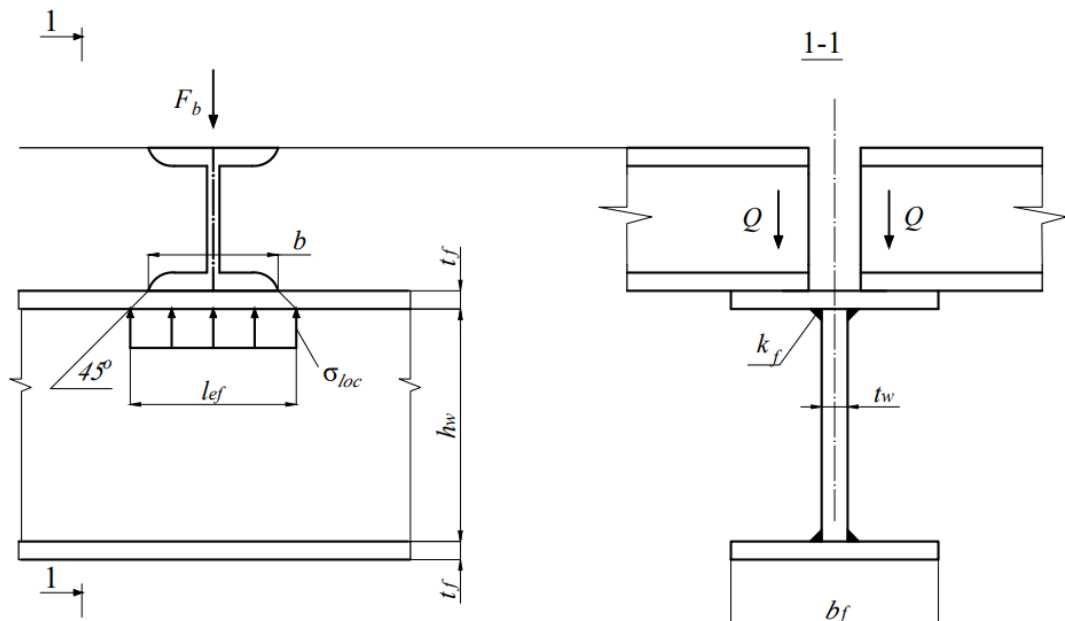


Рис. 2.7. - Схема розподілу зосередженого навантаження на стінку зварної балки при поверховому сполученні балок

Додатково до роздільних перевірок  $\sigma$ ,  $\tau$  і  $\sigma_{loc}$  необхідний розрахунок по приведеним напруженням. Дана перевірка виконується в місці фактичної

зміни перерізу складеної балки на рівні поясних швів (рис. 2.5).

Приведені напруження визначають за формулою:

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15 \cdot R_y \cdot \gamma_c, \quad (2.15)$$

де  $\sigma_x = \frac{M_x \cdot h_{ef}}{W' \cdot h}$  - нормальні напруження в стінці;

$M_x$  - приймають з послідовності визначення ширини пояса  $b'_f$ ;

$W'$  - за формулою (2.12);

$\sigma_y$  - напруження, перпендикулярне осі балки, для розглянутих балок

$\sigma_y = \sigma_{loc}$ , а  $\sigma_{loc}$  визначають за формулою (2.14);

$\tau_{xy} = \frac{Q_x}{t_w \cdot h_{ef}}$  - середнє дотичне напруження.

У тих випадках, коли балки настилу спираються на головну балку осторонь від місця фактичної зміни перетину пояса, приймають  $\sigma_{loc} = 0$ .

Коефіцієнт 1,15 у формулі (2.15) враховує можливість розвитку обмежених пластичних деформацій у стінці.

#### 2.4.4. Перевірка місцевої стійкості стінки

Місцеве випинання окремих елементів конструкцій під дією стискаючих нормальних і дотичних напружень називається втратою місцевої стійкості.

Місцеву стійкість стиснутого пояса забезпечують при призначенні розмірів складеної балки.

Місцеву стійкість стінки складеної банки необхідно перевіряти від впливу трьох видів напружень; нормальних ( $\sigma$ ), дотичних ( $\tau$ ) і місцевих ( $\sigma_{loc}$ ).

Підвищити місцеву стійкість можна встановленням поперечних ребер жорсткості, але не збільшенням її товщини (через великі розміри стінки цей шлях привів би до великої перевитрати матеріалу). Поперечні ребра жорсткості ділять стінку складеної балки на ряд відсіків.

Згідно ДБН [2] стінки балок слід укріплювати поперечними ребрами жорсткості, якщо значення умовної гнучкості стінки

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} \geq 3,2 \quad (2.16)$$

Відстань між поперечними ребрами жорсткості, що позначається через  $a_1$ , не повинно перевищувати  $a_1 \leq 2h_{ef}$  (рис. 2.8).

Ширину виступаючої частини ребра  $b_h$  для парних симетричних поперечних ребер жорсткості (рис. 2.8) визначають в міліметрах за формулою:

$$b_h = \frac{h_{ef}}{30} + 40 \text{ мм}, \quad (2.17)$$

тоді товщина ребра дорівнює:

$$t_s = 2b_h \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}. \quad (2.18)$$

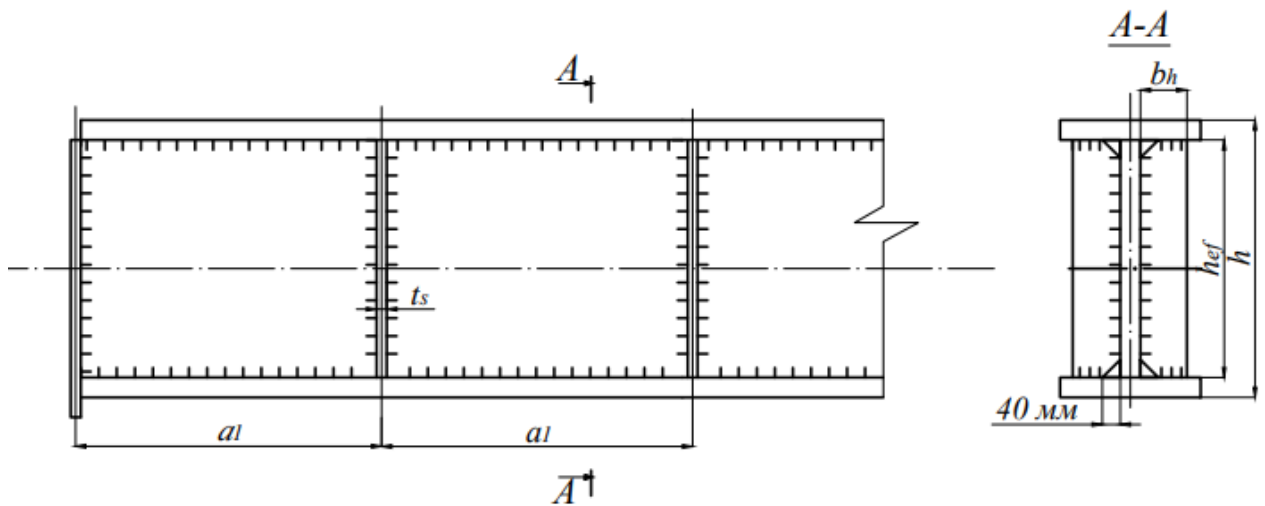


Рис. 2.8. - Перевірка місцевої стійкості стінки

Розміри ребра жорсткості повинні бути узгоджені з сортаментом на смугову сталь (додаток І).

Балки прольотом більше 9 м за умовами транспортування розбиваються на відправні марки, які потім стикуються при монтажі. Тому при розстановці поперечних ребер жорсткості необхідно стежити, щоб найближче від монтажного стику ребро знаходилося на відстані не менше 500 мм.

Ребра встановлюють на рівній відстані один від одного, але через виконання вище вказаної умови часто доводиться приопорні відсіки призначати довжиною меншою, ніж  $2h_{ef}$ .

Якщо умовна гнучкість стінки  $\bar{\lambda}_w \geq 2,5$ , то необхідно крім встановлення поперечних ребер жорсткості виконати перевірку місцевої стійкості за формулою:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq 1 \quad (2.19)$$

де  $\sigma = \frac{M_{cp} \cdot h_{ef}}{W_x \cdot h}$  - нормальне напруження в небезпечному перерізі;

$\tau = \frac{Q_{cp}}{t_w \cdot h_{ef}}$  - середнє дотичне напруження в відсіку;

$M_{cp} = \frac{q \cdot x_{cp} \cdot (L - x_{cp})}{2}$  - розрахунковий згинальний момент в "небезпечному"

перерізі;

$Q_{cp} = q \cdot \left( \frac{L}{2} - x_{cp} \right)$  - розрахункова поперечна сила в відсіку;

$q$  - розрахункове (еквівалентне) погонне навантаження;

$L$  - проліт головної балки;

$x_{cp}$  - відстань від лівої опори до небезпечного перерізу.

Перевірку місцевої стійкості стінки виконують у зменшеному перерізі балки у відсіку, де знаходиться місце фактичної зміни перерізу пояса, в приопорних відсіках або в відсіку посередині прольоту балки (рис. 2.9).

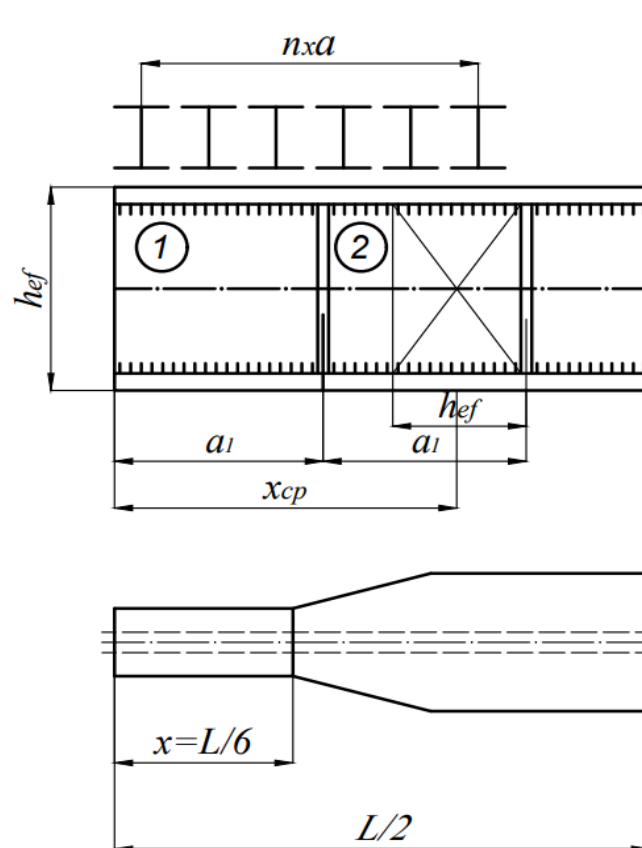


Рис 2.9. - Схема визначення відстані до найбільш небезпечного перерізу

Перевірка місцевої стійкості виконується, як правило, для відсіку, розташованого в середній частині балки.

Для обраного відсіку визначається місце розташування "небезпечного"

перерізу. Виконується це в такий спосіб. Від правого ребра жорсткості вліво відкладається відрізок, рівний  $h_w = h_{ef}$  або  $h_w = \frac{a_1}{2}$ . Будується умовний квадрат зі сторонами  $h_w$ . Перетин діагоналей цього квадрата і визначає положення "небезпечного" перерізу для відсіку, що перевіряється (рис. 2.9). Потім встановлюється відстань від лівої опори до "небезпечного" перерізу.

Нормальні і дотичні напруження в формулі (2.19) визначають за поясненнями до формули (2.15). Момент і поперечну силу визначають під балкою настилу в перерізі, що відповідає місцю фактичної зміни перерізу пояса (якщо вони збігаються), або найближчому до місця зміни перерізу з боку зменшеної ширини пояса.

Місцеві напруження приймають за формулою (2.14).

Значення критичних напружень  $\sigma_{cr}$  й  $\sigma_{loc,cr}$  у формулі (2.19) слід визначати:

а) при  $a_1/h_{ef} \leq 0,8$  за формулою

$$\sigma_{cr} = \frac{C_{cr} \cdot R_y}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (2.20)$$

де  $C_{cr}$  визначають за табл. 2.7 в залежності від значень коефіцієнта  $\delta$ :

$$\delta = 0,8 \frac{b'_f}{h_{ef}} \left( \frac{t_f}{t_w} \right)^3,$$

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{C_1 \cdot R_y}{\bar{\lambda}_a^2} \quad (2.21)$$

$$\text{де } \bar{\lambda}_a = \frac{a_1}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}};$$

$C_1$  – коефіцієнт, що приймається за табл. 2.8 в залежності від відношення  $a_1/h_{ef}$  і значень  $\delta$ ;

б) при  $a_1/h_{ef} > 0,8$  й відношенні  $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$  більше значень, вказаних в табл. 2.9

$$\sigma_{cr} = \frac{C_2 \cdot R_y}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (2.22)$$

де  $C_2$  приймають по табл. 2.10;  $\sigma_{loc,cr}$  за формулою (2.21);

в) при  $a_1/h_{ef} > 0.8$  й відношенні  $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$  не більше значень, зазначених в табл. 2.9, приймати  $\sigma_{cr}$  - за формулою (2.19);  $\sigma_{loc,cr}$  - за формулою (2.21), але з підстановкою  $a_1/2$  замість  $a_1$  у формулу для  $\bar{\lambda}_a$  й в табл.2.8.

Критичне дотичне напруження визначають за формулою:

$$\tau_{cr} = 10,3 \left( 1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \cdot \frac{R_s}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (2.23)$$

де  $\mu$ - відношення більшої сторони відсіку до меншої (практично відношення  $a_1/h_{ef}$ ).

Таблиця 2.7

|          |            |      |      |      |      |      |      |
|----------|------------|------|------|------|------|------|------|
| $\delta$ | $\leq 0,8$ | 1,0  | 2,0  | 4,0  | 6,0  | 10,0 | 30   |
| $C_{cr}$ | 30,0       | 31,5 | 33,3 | 34,6 | 34,8 | 35,1 | 35,5 |

Таблиця 2.8

| $\delta$ | Значення С, для зварних балок при $a_1/h_{ef}$ , рівному |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | $\leq 0,5$                                               | 0,6  | 0,8  | 1,0  | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  | 2,0  |
| 1        | 11,5                                                     | 12,4 | 14,8 | 18,0 | 22,1 | 27,1 | 32,6 | 38,9 | 45,6 |
| 2        | 12,0                                                     | 13,0 | 16,1 | 20,4 | 25,7 | 32,1 | 39,2 | 46,5 | 55,7 |
| 4        | 12,3                                                     | 13,3 | 16,6 | 21,6 | 28,1 | 36,3 | 45,2 | 54,9 | 65,1 |
| 6        | 12,4                                                     | 13,5 | 16,8 | 22,1 | 29,1 | 38,3 | 48,7 | 59,4 | 70,4 |
| 10       | 12,4                                                     | 13,6 | 16,9 | 22,5 | 30,0 | 39,7 | 51,0 | 63,3 | 76,5 |
| 30       | 12,5                                                     | 13,7 | 17,0 | 22,9 | 31,0 | 41,6 | 53,8 | 68,2 | 83,6 |

Таблиця 2.9

| $\delta$ | Граничні значення $\sigma_{loc}/\sigma$ при $a_1/h_{ef}$ , рівному |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|--------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | 0,8                                                                | 0,9   | 1,0   | 1,2   | 1,4   | 1,6   | 1,8   | 2,0   |
| 1        | 0                                                                  | 0,146 | 0,183 | 0,267 | 0,356 | 0,445 | 0,540 | 0,618 |
| 2        | 0                                                                  | 0,109 | 0,169 | 0,277 | 0,406 | 0,543 | 0,652 | 0,799 |
| 4        | 0                                                                  | 0,072 | 0,129 | 0,281 | 0,479 | 0,711 | 0,930 | 1,132 |
| 6        | 0                                                                  | 0,066 | 0,127 | 0,288 | 0,536 | 0,874 | 1,192 | 1,468 |
| 10       | 0                                                                  | 0,059 | 0,122 | 0,296 | 0,574 | 1,002 | 1,539 | 2,154 |
| 30       | 0                                                                  | 0,047 | 0,112 | 0,300 | 0,633 | 1,283 | 2,249 | 3,939 |

Таблиця 2.10

|              |                                     |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $a_1/h_{ef}$ | $\leq 0,8$                          | 0,9  | 1,0  | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  | 2,0  |
| $C_2$        | По табл 2.7, т.е.<br>$C_2 = C_{cr}$ | 37,0 | 39,2 | 45,2 | 52,8 | 62,0 | 72,6 | 84,7 |



### 2.4.5. Розрахунок поясних швів

З'єднання поясів складеної балки зі стінкою здійснюють поясними швами. Це з'єднання запобігає при вигині балки зрушення поясів відносно стінки балки, перетворюючи весь переріз в монолітно працюючий.

При розрахунку поясних швів визначають силу зсуву  $T$ , що припадає на 1 см довжини балки на опорі за наступною формулою:

$$T = \frac{Q_{max} \cdot S_f}{I'} \quad (2.24)$$

де  $Q_{max}$  - розрахункова поперечна сила (рівна опорній реакції балки);

$S_f$  - статичний момент пояса, який приймається за формулою (2.12).

$I'$  - момент інерції перерізу на опорі, що приймається за формулою (2.12).

Сила зсуву прагне зрізати два кутових шва. Завдання зводиться до визначення катету шва, причому розрахунок виконують по одному з двох перерізів: по металу шва і металу межі сплаву.

Якщо добуток  $\beta_f \cdot R_{wf} < \beta_z \cdot R_{wz}$ , то розрахунковим буде переріз по металу шва, якщо навпаки, то розрахунковим буде переріз по металу межі сплаву. Менше значення підставляють до формули (2.25).

Коефіцієнти  $\beta_f$  й  $\beta_z$  враховують вид зварювання; при автоматичному зварюванні  $\beta_f = 1,1$  й  $\beta_z = 1,15$ ; при ручному зварюванні  $\beta_f = 0,7$  й  $\beta_z = 1$ .

Розрахункові опори кутового шва зрізу  $R_{wf}$  (по металу шва) й  $R_{wz}$  (по металу межі сплаву) приймають за табл. 2.4. Необхідний катет шва дорівнює:

$$k_f = \frac{T}{2\beta \cdot R_w \cdot \gamma_c \cdot \gamma_w} \quad (2.25)$$

де  $\gamma_w = 1$  - коефіцієнт умов роботи зварного з'єднання.

Зважаючи на значні усадкові напруження при зварюванні поясів зі стінкою, поясні шви слід робити суцільними, з однаковим катетом по всій довжині балки. Мінімальні значення катетів поясних швів залежать від товщини найбільш товстого із зварюваних елементів і приймаються за таблицею 2.11.

Таблиця 2.11 - Мінімальні значення катетів поясних швів

| Вид зварювання                 | Мінімальні катети швів $k_f$ (в мм) при товщині більш товстого із зварюваних елементів (в мм) |      |       |       |       |       |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
|                                | 4-5                                                                                           | 6-10 | 11-16 | 17-22 | 23-32 | 33-40 |
| Ручна                          | 4                                                                                             | 5    | 6     | 7     | 8     | 9     |
| Напівавтоматична і автоматична | 3                                                                                             | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     |

#### 2.4.6. Розрахунок опорного кінця балки

Складені балки спираються на колони збоку. Кінець балки зміцнюють спеціальним опорним ребром (рис. 2.10), вважаючи при цьому, що вся опорна реакція передається з балки на опорний столик колони через це ребро. Опорне ребро прикріплюють до стінки двома зварними кутовими швами (переріз А-А на рис. 2.10), а торець опорного ребра зазвичай зрізають для щільного дотикання цього ребра з опірною поверхнею колони, в результаті розрахунок його виконують, виходячи з роботи на зминання при щільному дотиканні.

Площу опорного ребра визначають за формулою:

$$A_r = \frac{F}{R_p \cdot \gamma_c}, \quad (2.26)$$

де  $F = Q_{max}$  - опорна реакція (формула 2.6 и рис. 2.3);

$R_p$  - розрахунковий опір зминання торцевої поверхні (табл. 2.3).

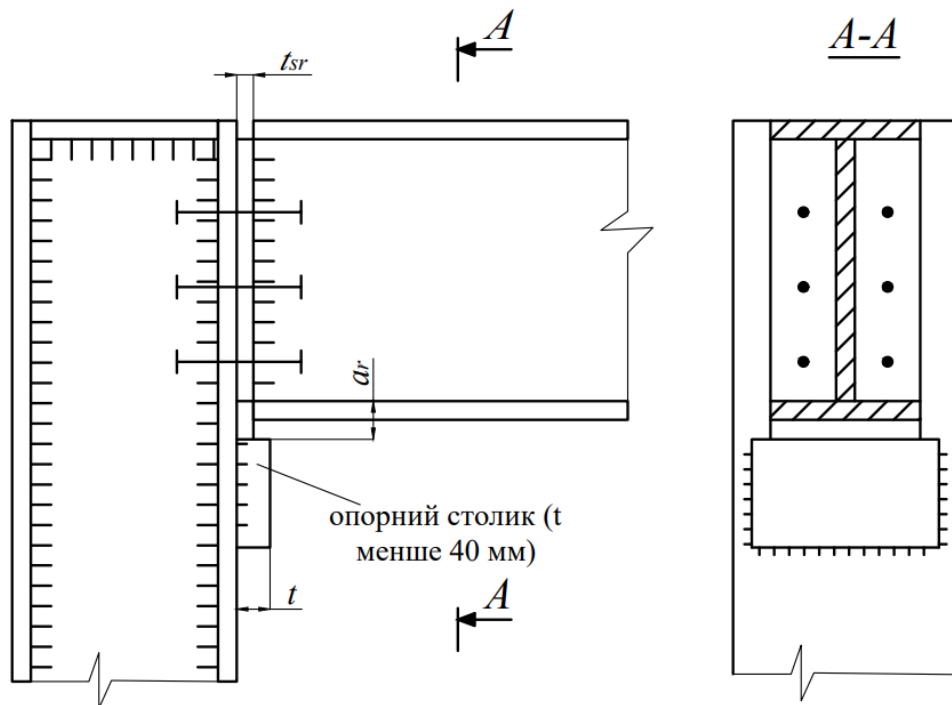


Рис. 2.10. – Рішення вузла 2 (обпирання складеної балки на колону)

Потім, задаючись шириною опорного ребра  $b_r$  (зазвичай  $b_r = b'_f$ ), визначають його товщину за формулою:

$$t_{sr} = \frac{A_r}{b_f} \quad (2.27)$$

При розрахунках за формулами (2.26) і (2.27) необхідно виконати умову  $a_r < 1,5t_{sr}$  (рис. 2.10). Зазвичай  $a_r = 16 - 20$  мм. Товщина ребра повинна відповідати сортаменту на смугову або широкосмугову сталь.

При розрахунку швів, що з'єднують опорне ребро зі стінкою, визначають необхідний катет шва, причому досить виконати розрахунок тільки по металу шва, так як тут застосовують ручне зварювання, а при ньому розрахунок по металу шва є вирішальним ( $\beta_f = 0,7$ ):

$$k_f = \frac{1}{\beta_f} \sqrt{\frac{F}{170 \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_{wf}}}. \quad (2.28)$$

Болти, що прикріплюють складену балку до колони, встановлюють конструктивно.

## 2.5 Розрахунок центрально-стиснутої колони

Розрахунку підлягає найбільш завантажена колона в середній частині робочого майданчика.

Розрахункова схема колони - шарнірно опертий по кінцях стрижень (рис. 2.11). Геометрична довжина колони  $l$  (див. вихідні дані) приймається від підосви бази колони (заглибленої на 0,3 - 0,4 м) до точки обпирання опорного кінця головної балки на столик колони (рис. 2.2 и 2.10). При шарнірному обпиранні колони в двох напрямках коефіцієнт приведення довжини  $\mu_x = \mu_y = 1$  й відповідно розрахункові довжини  $l_x = l_y = l$ .



Рис. 2.11 - Розрахункова схема колони

Розрахункове значення нормальної стискаючої сили (кН):

$$N = q \cdot L + N_{\text{кол}} \quad (2.29)$$

де  $q$  - навантаження від балочної клітки в кН/м (дивись формулу 2.6);

$L$  - крок колон уздовж балочної клітки в м;

$N_{\text{кол}}$  - власна вага колони, орієнтовно приймається рівною  $N_{\text{кол}} = l$  (кН).

Підбір перерізу колони з прокатного колонного профілю виконують щодо осі "у-у" (додаток 3) з умови стійкості. Для цього задаються гнучкістю колони  $\lambda_y = 90 - 100$  та згідно з *додатком 6* знаходять значення коефіцієнта позовжнього згину  $\varphi$  в залежності від величини розрахункового опору  $R_y$ .

Далі визначаються:

- необхідна площа поперечного перерізу колони за формулою:

$$A_{\text{cal}} = \frac{N}{R_y \cdot \varphi \cdot \gamma_c} \quad (2.30)$$

де  $R_y$  – розрахунковий опір (приймати для фасонної сталі товщиною до 20 мм).

Необхідний радіус інерції поперечного перерізу колони визначаємо за формулою:

$$i_{y,\text{cal}} = \frac{l_y}{\lambda_y} \quad (2.31)$$

Знаючи  $A_{\text{cal}}$  й  $i_{y,\text{cal}}$  за сортаментом (*додаток 3*) підбирається двотавровий профіль колонного типу (К) і виписуються фактичні геометричні характеристики його перерізу.

Для перевірки стійкості визначають фактичну гнучкість колони:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_i} \quad (2.32)$$

Далі знаходиться коефіцієнт  $\varphi_y$  й перевіряється стійкість:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_y \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2.33)$$

де  $A$  и  $i_y$  - фактичні площа і радіус інерції підбраного перерізу колони.

При необхідності (перенапруження або значне недонапруження конструкції) підбирається інший відповідний профіль і повторюється перевірка стійкості.

На закінчення перевіряється, чи не перевищує гнучкість колони допустиму величину  $\lambda_{np}$ :

$$\lambda_y \leq \lambda_{np} = 180 - 60 \cdot \alpha \quad (2.34)$$

де коефіцієнт  $\alpha$  визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot \phi_{min} \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (2.35)$$

причому якщо  $\alpha < 0,5$ , то приймається  $\alpha = 0,5$ .

У формулах (2.30), (2.33) і (2.35) приймаємо  $R_y$  для фасонної сталі з відповідною товщиною полиці.

## ВИБІРКА ІЗ СОРТАМЕНТУ

**1. Сталь широкосмугова (універсальна) ГОСТ 82-70**

|                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |
|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| Ширина листів:  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 200 | 210 | 220 | 240 | 250 | 260 | 280 | 300 | 320 |    |    |    |
|                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 340 | 360 | 380 | 400 | 420 | 450 | 480 | 500 | 530 |    |    |    |
|                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 560 | 600 | 630 | 650 | 670 | 700 | 750 | 800 | 850 |    |    |    |
| Товщина листів: |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 14  | 16  | 18 | 20 | 22 |
|                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 25  | 28  | 30  | 32  | 36  | 40  | мм  |     |     |    |    |    |

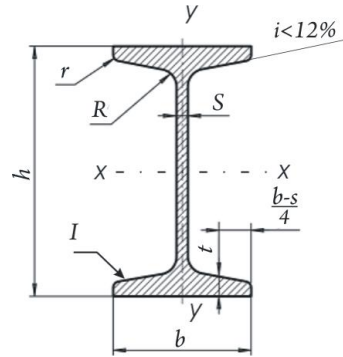
**2. Сталь товстолистова (ГОСТ 19903-74)**

|                 |      |      |      |      |     |                            |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|------|------|------|------|-----|----------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Ширина листів:  | 1000 | 1250 | 1400 | 1500 | ... | і так далі<br>через 100 мм |    |    |    |    |    |    |
| Товщина листів: | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11                         | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
|                 | 24   | 26   | 28   | 30   |     | ...                        | мм |    |    |    |    |    |

**3. Сталь смугова (ГОСТ 103-76)**

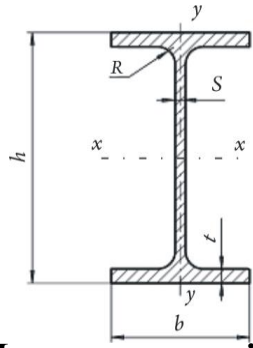
|                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ширина листів:  | 60  | 63  | 65  | 70  | 80  | 85  | 90  | 95  | 100 | 105 | 110 |     |
|                 | 120 | 125 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | мм  |     |
| Товщина листів: | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | ... |
|                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | мм  |

**Позначення:*****h** – висота балки;****b** – ширина полиці;****d** – товщина стінки;****t** – середня товщина полиці;****R** – радіус внутрішнього закруглення;****i** – радіус інерції;****I** – момент інерції;****W** – момент опору;****S** – статичний момент напівперерізу.*



### Сталь гарячекатана, балки двотаврові (ГОСТ 8239 – 89)

| Номер<br>балки | Розміри, мм |     |     |      |      |     | Лінійна<br>щільність,<br>кг/м | Площа<br>перерізу<br>см <sup>2</sup> | Довідкові дані для осей |                    |                  |                    |                    |                    |                  |
|----------------|-------------|-----|-----|------|------|-----|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
|                |             |     |     |      |      |     |                               |                                      | x-x                     |                    |                  |                    | y-y                |                    |                  |
|                |             |     |     |      |      |     |                               |                                      | $I_x, \text{см}^4$      | $W_x, \text{см}^3$ | $i_x, \text{см}$ | $S_x, \text{см}^3$ | $I_y, \text{см}^4$ | $W_y, \text{см}^3$ | $i_y, \text{см}$ |
| 10             | 100         | 55  | 4,5 | 7,2  | 7    | 2,5 | 9,48                          | 12                                   | 198                     | 39,7               | 4,06             | 23,0               | 17,9               | 6,49               | 1,22             |
| 12             | 120         | 64  | 4,8 | 7,3  | 7,5  | 3   | 11,5                          | 14,7                                 | 350                     | 58,4               | 4,88             | 33,7               | 27,9               | 8,72               | 1,38             |
| 14             | 140         | 73  | 4,9 | 7,5  | 8,0  | 3   | 13,7                          | 17,4                                 | 572                     | 61,7               | 5,73             | 46,8               | 41,9               | 11,50              | 1,55             |
| 16             | 160         | 81  | 5   | 7,8  | 6,5  | 3,5 | 15,9                          | 20,2                                 | 873                     | 109                | 6,57             | 62,3               | 58,6               | 14,50              | 1,70             |
| 18             | 180         | 90  | 5,1 | 8,1  | 9    | 3,5 | 18,4                          | 23,4                                 | 1290                    | 143                | 7,42             | 83,4               | 82,6               | 18,40              | 1,88             |
| 20             | 200         | 100 | 5,2 | 8,4  | 9,5  | 4   | 21                            | 26,8                                 | 1840                    | 184                | 8,28             | 104                | 115                | 23,10              | 2,07             |
| 22             | 220         | 110 | 5,4 | 8,7  | 10   | 4   | 24                            | 30,6                                 | 2550                    | 232                | 9,13             | 131                | 157                | 28,60              | 2,27             |
| 24             | 240         | 115 | 5,6 | 9,5  | 10,5 | 4   | 27,3                          | 34,8                                 | 3460                    | 289                | 9,97             | 163                | 198                | 34,50              | 2,37             |
| 27             | 270         | 125 | 6   | 9,8  | 11   | 4,5 | 31,5                          | 40,2                                 | 5010                    | 371                | 11,2             | 210                | 260                | 41,50              | 2,54             |
| 30             | 300         | 135 | 6,5 | 10,2 | 12   | 5   | 36,5                          | 46,5                                 | 7080                    | 472                | 12,3             | 268                | 337                | 49,90              | 2,69             |
| 33             | 330         | 140 | 7   | 11,2 | 13   | 5   | 42,2                          | 53,8                                 | 9840                    | 597                | 13,5             | 339                | 419                | 59,90              | 2,79             |
| 36             | 360         | 145 | 7,5 | 12,3 | 14   | 6   | 48,6                          | 61,9                                 | 13 380                  | 743                | 14,7             | 423                | 516                | 71,10              | 2,89             |
| 40             | 400         | 155 | 8,3 | 13   | 15   | 6   | 57                            | 72,6                                 | 19062                   | 953                | 16,2             | 545                | 667                | 86,10              | 3,03             |
| 45             | 450         | 160 | 9   | 14,2 | 16   | 7   | 66,5                          | 84,7                                 | 27 696                  | 1231               | 18,1             | 708                | 808                | 101                | 3,09             |
| 50             | 500         | 170 | 10  | 15,2 | 17   | 7   | 78,5                          | 100                                  | 39 727                  | 1589               | 19,9             | 919                | 1043               | 123                | 3,23             |
| 55             | 550         | 180 | 11  | 16,5 | 18   | 7   | 92,6                          | 118                                  | 55 962                  | 2035               | 21,8             | 1181               | 1356               | 151                | 3,39             |
| 60             | 600         | 190 | 12  | 17,8 | 20   | 8   | 108                           | 138                                  | 78 806                  | 2560               | 23,6             | 1491               | 1725               | 182                | 3,54             |



### Двотавр сталеві гарячекатані з паралельними гранями полиць (ГОСТ 26020-83)

| Номер<br>профілю | Лінійна<br>щільність,<br><i>кг/м</i> | Розміри, мм |          |          |          |          | Площа<br>перерізу,<br><i>см<sup>2</sup></i> | Довідкові дані для осей              |                                      |                          |                                      |                                      |                                      |                          |
|------------------|--------------------------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|---------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
|                  |                                      | <i>h</i>    | <i>b</i> | <i>d</i> | <i>t</i> | <i>R</i> |                                             | <i>x-x</i>                           |                                      |                          |                                      | <i>y-y</i>                           |                                      |                          |
|                  |                                      |             |          |          |          |          |                                             | <i>I<sub>x</sub>, см<sup>4</sup></i> | <i>W<sub>x</sub>, см<sup>3</sup></i> | <i>i<sub>x</sub>, см</i> | <i>S<sub>x</sub>, см<sup>2</sup></i> | <i>I<sub>y</sub>, см<sup>4</sup></i> | <i>W<sub>y</sub>, см<sup>3</sup></i> | <i>i<sub>y</sub>, см</i> |
| колонні двотаври |                                      |             |          |          |          |          |                                             |                                      |                                      |                          |                                      |                                      |                                      |                          |
| 20K1             | 41,5                                 | 195         | 200      | 6,5      | 10       | 13       | 52,82                                       | 3820                                 | 392                                  | 216                      | 8,50                                 | 1334                                 | 133                                  | 5,03                     |
| 20K2             | 46,9                                 | 198         | 200      | 7        | 11,5     | 13       | 59,70                                       | 4422                                 | 447                                  | 247                      | 8,61                                 | 1534                                 | 153                                  | 5,07                     |
| 23K1             | 52,2                                 | 227         | 240      | 7        | 10,5     | 14       | 66,51                                       | 6589                                 | 580                                  | 318                      | 9,95                                 | 2421                                 | 202                                  | 6,03                     |
| 23K2             | 59,5                                 | 230         | 240      | 8        | 12       | 14       | 75,77                                       | 7601                                 | 661                                  | 365                      | 10,02                                | 2766                                 | 231                                  | 6,04                     |
| 26K1             | 65,2                                 | 255         | 260      | 8        | 12       | 16       | 83,08                                       | 10 300                               | 809                                  | 445                      | 11,14                                | 3517                                 | 271                                  | 6,51                     |
| 26K2             | 73,2                                 | 258         | 260      | 9        | 13,5     | 16       | 93,19                                       | 11 700                               | 907                                  | 501                      | 11,21                                | 3957                                 | 304                                  | 6,52                     |
| 26K3             | 83,1                                 | 262         | 260      | 10       | 15,5     | 16       | 105,90                                      | 13 360                               | 1035                                 | 576                      | 11,32                                | 4544                                 | 349                                  | 6,55                     |
| 30K1             | 84,8                                 | 296         | 300      | 9        | 13,5     | 18       | 108,00                                      | 18 110                               | 1223                                 | 672                      | 12,95                                | 6079                                 | 405                                  | 7,50                     |
| 30K2             | 96,3                                 | 300         | 300      | 10       | 15,5     | 18       | 122,70                                      | 20 930                               | 1395                                 | 771                      | 13,06                                | 6980                                 | 465                                  | 7,54                     |
| 30K3             | 108,9                                | 304         | 300      | 11,5     | 17,5     | 18       | 138,72                                      | 23 910                               | 1573                                 | 874                      | 13,12                                | 7881                                 | 525                                  | 7,54                     |
| 35K1             | 109,7                                | 343         | 350      | 10       | 15,0     | 20       | 139,70                                      | 31 610                               | 1843                                 | 1010                     | 15,04                                | 10 720                               | 613                                  | 8,76                     |
| 35K2             | 125,9                                | 348         | 350      | 11       | 17,5     | 20       | 160,40                                      | 37 090                               | 2132                                 | 1173                     | 15,21                                | 12 510                               | 715                                  | 8,83                     |
| 35K3             | 144,5                                | 353         | 350      | 13       | 20,0     | 20       | 184,10                                      | 42 970                               | 2435                                 | 1351                     | 15,28                                | 14 300                               | 817                                  | 8,81                     |
| 40K1             | 138,0                                | 393         | 400      | 11       | 16,5     | 22       | 175,80                                      | 52 400                               | 2664                                 | 1457                     | 17,26                                | 17610                                | 880                                  | 10                       |
| 40K2             | 165,6                                | 400         | 400      | 13       | 20,0     | 22       | 210,96                                      | 64 140                               | 3207                                 | 1767                     | 17,44                                | 21 350                               | 1067                                 | 10,06                    |
| 40K3             | 202,3                                | 409         | 400      | 16       | 24,5     | 22       | 257,80                                      | 80 040                               | 3914                                 | 2180                     | 17,62                                | 26 150                               | 1307                                 | 10,07                    |
| 40K4             | 242,2                                | 419         | 400      | 19       | 29,5     | 22       | 308,60                                      | 98 340                               | 4694                                 | 2642                     | 17,85                                | 31 500                               | 1575                                 | 10,10                    |
| 40K5             | 291,2                                | 431         | 400      | 23       | 35,5     | 22       | 371,00                                      | 121 570                              | 5642                                 | 3217                     | 18,10                                | 37 910                               | 1896                                 | 10,11                    |



**Коефіцієнти  $\phi$  поздовжнього згину центрально-стиснутих елементів при  
розрахунковому опорі сталі**

**$R_y = 20 \text{ кН/см}^2$**

| Гнучкість | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 30        | 939 | 936 | 932 | 929 | 926 | 923 | 919 | 916 | 913 | 909 |
| 40        | 906 | 903 | 899 | 896 | 893 | 889 | 885 | 881 | 877 | 873 |
| 50        | 869 | 865 | 861 | 856 | 852 | 848 | 844 | 840 | 835 | 831 |
| 60        | 827 | 823 | 818 | 814 | 809 | 805 | 800 | 796 | 791 | 787 |
| 70        | 782 | 777 | 772 | 768 | 763 | 758 | 753 | 748 | 744 | 739 |
| 80        | 734 | 727 | 720 | 713 | 706 | 700 | 693 | 686 | 679 | 672 |
| 90        | 665 | 658 | 652 | 645 | 639 | 632 | 625 | 619 | 612 | 606 |
| 100       | 599 | 593 | 587 | 580 | 574 | 568 | 526 | 556 | 459 | 543 |
| 110       | 537 | 531 | 525 | 520 | 514 | 508 | 502 | 496 | 491 | 485 |
| 120       | 479 | 474 | 468 | 463 | 457 | 452 | 477 | 441 | 436 | 430 |
| 130       | 425 | 420 | 415 | 410 | 405 | 401 | 396 | 391 | 386 | 381 |
| 140       | 376 | 371 | 366 | 362 | 327 | 352 | 347 | 342 | 338 | 333 |
| 150       | 328 | 324 | 320 | 317 | 313 | 309 | 305 | 301 | 298 | 294 |

**$R_y = 24 \text{ кН/см}^2$**

| Гнучкість | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 30        | 931 | 928 | 924 | 920 | 916 | 913 | 909 | 905 | 901 | 898 |
| 40        | 894 | 890 | 886 | 882 | 878 | 874 | 870 | 865 | 861 | 857 |
| 50        | 852 | 847 | 843 | 838 | 833 | 829 | 824 | 819 | 814 | 810 |
| 60        | 805 | 800 | 796 | 790 | 785 | 780 | 774 | 769 | 764 | 759 |
| 70        | 754 | 747 | 740 | 734 | 727 | 720 | 713 | 706 | 700 | 693 |
| 80        | 686 | 679 | 671 | 664 | 656 | 649 | 642 | 634 | 627 | 619 |
| 90        | 612 | 605 | 598 | 591 | 584 | 577 | 570 | 563 | 556 | 549 |
| 100       | 542 | 536 | 529 | 523 | 516 | 510 | 504 | 497 | 491 | 484 |
| 110       | 478 | 472 | 466 | 460 | 454 | 449 | 443 | 437 | 431 | 425 |
| 120       | 419 | 414 | 408 | 403 | 397 | 392 | 386 | 381 | 375 | 370 |
| 130       | 364 | 359 | 354 | 349 | 344 | 340 | 335 | 330 | 325 | 320 |
| 140       | 315 | 311 | 307 | 303 | 299 | 296 | 292 | 288 | 284 | 280 |
| 150       | 276 | 273 | 270 | 266 | 263 | 260 | 257 | 254 | 250 | 247 |

**$R_y = 28 \text{ кН/см}^2$**

| Гнучкість | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 30        | 924 | 920 | 916 | 911 | 907 | 903 | 899 | 895 | 891 | 887 |
| 40        | 883 | 877 | 873 | 869 | 864 | 860 | 856 | 850 | 845 | 840 |
| 50        | 836 | 831 | 826 | 821 | 816 | 811 | 805 | 800 | 795 | 790 |
| 60        | 785 | 779 | 773 | 767 | 762 | 755 | 748 | 743 | 736 | 730 |
| 70        | 724 | 716 | 707 | 699 | 691 | 683 | 674 | 666 | 658 | 649 |
| 80        | 641 | 633 | 626 | 618 | 611 | 603 | 595 | 588 | 580 | 573 |
| 90        | 565 | 558 | 551 | 543 | 536 | 529 | 522 | 518 | 507 | 500 |
| 100       | 493 | 486 | 480 | 473 | 467 | 460 | 453 | 447 | 440 | 434 |
| 110       | 427 | 421 | 415 | 409 | 403 | 397 | 390 | 384 | 378 | 379 |
| 120       | 366 | 361 | 355 | 350 | 345 | 340 | 334 | 329 | 324 | 318 |
| 130       | 313 | 309 | 305 | 301 | 297 | 293 | 288 | 284 | 280 | 276 |

*Продовження додатку 4*  
 **$R_y = 32 \text{ кН/см}^2$**

| <i>Гнучкість</i> | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 30               | 917 | 912 | 908 | 903 | 899 | 894 | 890 | 886 | 881 | 878 |
| 40               | 873 | 868 | 863 | 858 | 853 | 848 | 842 | 837 | 832 | 827 |
| 50               | 822 | 816 | 811 | 805 | 800 | 794 | 788 | 783 | 777 | 772 |
| 60               | 766 | 758 | 750 | 742 | 734 | 727 | 729 | 711 | 703 | 695 |
| 70               | 687 | 679 | 670 | 662 | 653 | 645 | 636 | 628 | 619 | 611 |
| 80               | 602 | 594 | 586 | 578 | 570 | 562 | 554 | 546 | 538 | 530 |
| 90               | 522 | 514 | 507 | 499 | 492 | 485 | 478 | 470 | 463 | 455 |
| 100              | 448 | 441 | 435 | 428 | 421 | 415 | 408 | 401 | 394 | 388 |
| 110              | 381 | 375 | 369 | 363 | 357 | 351 | 345 | 339 | 333 | 327 |
| 120              | 321 | 317 | 312 | 308 | 303 | 299 | 294 | 290 | 285 | 281 |
| 130              | 276 | 272 | 269 | 265 | 262 | 258 | 254 | 251 | 247 | 244 |
| 140              | 240 | 237 | 234 | 231 | 228 | 226 | 223 | 220 | 217 | 214 |
| 150              | 211 | 209 | 207 | 204 | 202 | 199 | 197 | 194 | 192 | 189 |

**$R_y = 36 \text{ кН/см}^2$**

| <i>Гнучкість</i> | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 30               | 911 | 906 | 901 | 897 | 892 | 887 | 882 | 877 | 873 | 868 |
| 40               | 863 | 858 | 852 | 847 | 841 | 836 | 831 | 825 | 820 | 814 |
| 50               | 809 | 803 | 798 | 791 | 785 | 779 | 773 | 767 | 761 | 755 |
| 60               | 749 | 740 | 730 | 721 | 711 | 702 | 692 | 683 | 673 | 664 |
| 70               | 654 | 645 | 636 | 628 | 619 | 610 | 601 | 592 | 584 | 575 |
| 80               | 566 | 558 | 549 | 541 | 533 | 525 | 516 | 508 | 500 | 491 |
| 90               | 483 | 476 | 468 | 461 | 453 | 446 | 438 | 431 | 423 | 416 |
| 100              | 408 | 401 | 394 | 387 | 380 | 373 | 366 | 359 | 352 | 345 |
| 110              | 338 | 333 | 328 | 323 | 318 | 313 | 307 | 302 | 297 | 292 |
| 120              | 287 | 283 | 279 | 275 | 271 | 267 | 263 | 259 | 255 | 251 |
| 130              | 247 | 244 | 241 | 237 | 234 | 231 | 228 | 225 | 221 | 218 |
| 140              | 215 | 212 | 210 | 207 | 205 | 202 | 199 | 197 | 194 | 192 |
| 150              | 189 | 187 | 185 | 182 | 180 | 178 | 176 | 174 | 171 | 169 |

**$R_y = 40 \text{ кН/см}^2$**

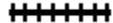
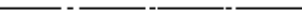
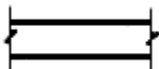
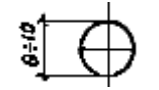
| <i>Гнучкість</i> | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 30               | 905 | 900 | 895 | 890 | 885 | 880 | 874 | 869 | 864 | 859 |
| 40               | 854 | 848 | 842 | 837 | 831 | 825 | 819 | 813 | 808 | 802 |
| 50               | 796 | 789 | 781 | 774 | 766 | 759 | 751 | 744 | 736 | 729 |
| 60               | 721 | 711 | 701 | 692 | 682 | 672 | 662 | 652 | 643 | 633 |
| 70               | 623 | 614 | 605 | 596 | 687 | 578 | 568 | 559 | 550 | 541 |
| 80               | 532 | 524 | 515 | 507 | 498 | 490 | 481 | 473 | 464 | 456 |
| 90               | 447 | 439 | 431 | 424 | 416 | 408 | 400 | 392 | 385 | 377 |
| 100              | 369 | 363 | 356 | 350 | 344 | 338 | 331 | 325 | 319 | 312 |
| 110              | 306 | 301 | 297 | 292 | 288 | 283 | 278 | 274 | 269 | 265 |
| 120              | 260 | 256 | 253 | 249 | 245 | 241 | 238 | 234 | 230 | 227 |
| 130              | 213 | 220 | 217 | 215 | 212 | 209 | 206 | 203 | 201 | 198 |
| 140              | 195 | 193 | 190 | 188 | 185 | 183 | 181 | 178 | 176 | 173 |
| 150              | 171 | 169 | 167 | 165 | 163 | 162 | 160 | 158 | 156 | 154 |

*Примітка: Значення коефіцієнтів  $\phi$  в таблицях збільшено в 1000 раз.*

## Масштаби

| Найменування                                                     | Масштаби                                                                  |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1. Несучі сталеві конструкції:                                   |                                                                           |
| а) монтажні плани й схеми                                        | 1:100, 1:200, 1:400                                                       |
| б) перерізи суцільностінчатих і гратчастих елементів конструкцій | 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 (масштаб 1:10 застосовується для дрібних профілів) |
| в) схеми гратчастих конструкцій                                  | 1:15, 1:20, 1:25                                                          |
| 2. Огороджувальні конструкції зі сталі й легких сплавів:         |                                                                           |
| а) монтажні схеми                                                | 1:100, 1:200                                                              |
| б) перерізи елементів                                            | 1:1, 1:10                                                                 |

## Умовні позначення в тексті й на кресленнях

| Найменування                                                                                                             | Приклади позначення                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Прокатні профілі</i>                                                                                                  |                                                                                                                                                                             |
| Балка двотаврова                                                                                                         | I 36                                                                                                                                                                        |
| Двотаври й таври з паралельними гранями полиць:                                                                          |                                                                                                                                                                             |
| нормальні                                                                                                                | I 40Б I 20БТ                                                                                                                                                                |
| широкополичні                                                                                                            | I 40Ш I 20ШТ                                                                                                                                                                |
| колонні                                                                                                                  | I 40К I 20КТ                                                                                                                                                                |
| Сталь листова, смугова й широкосмугова (позначення перерізу)                                                             | - 200x8                                                                                                                                                                     |
| Сталь листова (позначення товщини)                                                                                       | δ 12                                                                                                                                                                        |
| <i>Болти</i>                                                                                                             |                                                                                                                                                                             |
| Болт постійний                                                                                                           |                                                                                        |
| Болт тимчасовий                                                                                                          |                                                                                        |
| Болт постійний високоміцний                                                                                              |                                                                                        |
| <i>Шви зварних з'єднань</i>                                                                                              |                                                                                                                                                                             |
| Шов стиковий з ближньої (видимої) сторони                                                                                | Заводський   Монтажний                                                                                                                                                      |
|                                                                                                                          |   |
| <i>Інші позначення</i>                                                                                                   |                                                                                                                                                                             |
| Позначення розрізу                                                                                                       |   |
| Проекція площини зв'язків на схематичних кресленнях (наприклад, вертикальних зв'язків в плані); огорожі в плані.         |                                                                                        |
| Лінія обриву конструкції                                                                                                 |                                                                                        |
| Маркування вузлів у місця маркування. у чисельнику вказують номер вузла, в знаменнику - номер листа, де зображений вузол |                                                                                        |

## Оформлення креслення

Відправні елементи потрібно зображати так, щоб основна проекція відповідала їх робочому положенню і давала найбільш повне уявлення про їх форму і розміри, а саме: горизонтальні елементи - в горизонтальному положенні, вертикальні - в вертикальному, похилі - в похилому. Вертикальні елементи великої довжини (колони, стійки і т.д.) дозволяється зображати в горизонтальному положенні. При цьому низ елементу слід розташовувати в лівій частині листа.

## Специфікація

| Специфікація      |             |              |     |         |                |                          |           |               |                |          |
|-------------------|-------------|--------------|-----|---------|----------------|--------------------------|-----------|---------------|----------------|----------|
| Марка<br>елементу | N<br>деталі | К-сть<br>шт. |     | Переріз | Довжина,<br>мм | Вага, кг                 |           |               | Марка<br>сталі | Примітка |
|                   |             | т            | н   |         |                | однієї<br>деталі,<br>шт. | всіх, шт. | еле-<br>менту |                |          |
|                   |             |              |     | 10      |                |                          |           |               |                |          |
|                   |             |              |     | 25      |                |                          |           |               |                |          |
|                   |             |              |     | 8       |                |                          |           |               |                |          |
|                   |             |              |     | 8       |                |                          |           |               |                |          |
|                   |             |              |     | 8       |                |                          |           |               |                |          |
| 15                | 10          | 7,5          | 7,5 | 35      | 20             | 15                       | 15        | 12            | 18             | 30       |
| 185               |             |              |     |         |                |                          |           |               |                |          |

## Проставлення розмірів

Всі розміри на деталеровочних кресленнях металевих конструкцій вказуються в міліметрах.

Розмірні числа наносять над розмірною лінією якомога ближче до її середини.

|          |          |          |        |      |                                                      |                      |      |           |
|----------|----------|----------|--------|------|------------------------------------------------------|----------------------|------|-----------|
|          |          |          |        |      | КУРСОВИЙ ПРОЕКТ                                      |                      |      |           |
|          |          |          |        |      | Розробка сталевих конструкцій<br>робочого майданчика | Літ.                 | Маса | Масштаб   |
| Зм.      | Літ.     | № докум. | Підпис | Дата |                                                      |                      |      |           |
| Розроб.  | Петренко |          |        |      |                                                      |                      |      |           |
| Перевір. | Іванов   |          |        |      |                                                      |                      |      |           |
| Т.контр. |          |          |        |      |                                                      | Аркуш 1              |      | Аркушів 1 |
| Н.контр. | Петров   |          |        |      | Кафедра будівництва, геотехніки<br>та геомеханіки    | НТУ "ДП" зр. Б-ГБ-08 |      |           |
| Затвер.  | Сидоров  |          |        |      |                                                      |                      |      |           |

## ЛІТЕРАТУРА

### Базова

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
2. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 248 с.
3. ДБН В.1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ» - Введ. 2009-12-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 28с.
4. ДСТУ 8540:2015. Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент. – Чинний від 2016-07-01 – К.: Державне підприємство «Український науково-технічний центр металургійної про-мисловості «Енергосталь» (ДП «УкрНТЦ «Енергосталь»), Технічний комітет стандартизації «Прокат сортовий, фасонний та спеціальні профілі» (ТК 2), Київ – 2016. – 14 с.
5. ГОСТ 26020-83. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок [Текст]. – Введ. – 1986-01-01. – Госстрой Украины, 1986. – 14 с.
6. Металеві конструкції: Підручник / Клименко Ф.Є., Барабаш В. М., Стороженко Л. І. - Львів: Світ, 2002 — 312 с.
7. Нілов О.О., Лавріненко Л.І. Металеві конструкції. Одноповерхові виробничі будівлі. Позацентрово-стиснуті колони. - К.: КНУБА, 2004 – 210 с.
8. Металеві конструкції: Підручник/ Під загальною редакцією В.О. Пермякова та О.В. Шимановського. – К.: Видавництво «Сталь», 2008.–812 с.
9. Металлические конструкции/ Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 688с.

### Додаткова

1. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов/ Е.И.Беленя, В.А.Балдин, Г.С.Ведеников и др.; Под общей ред. Е.И.Беленя.- 6-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1985.-560 с.
2. Металлические конструкции. В 3-х т. Т.1. Элементы стальных конструкций: Учеб. для строит. вузов/В.В.Горев, Б.Ю.Уваров, В.В.Филиппов и др.; Под ред. В.В.Горева.- М: Высш. шк., 1997.-527 с.
3. Металлические конструкции. В 3-х т. Т.1. «Общая часть». Справочник проектировщика. Под общей редакцией В.В. Кузнецова – М.: Издательство АСВ, 1998. -576 с.

Навчальне видання

**Іванова Ганна Павлівна**  
**Гапєєв Сергій Миколайович**  
**Хозяйкіна Наталія Володимирівна**  
**Янко Валентин Вікторович**  
**Халимендик Олексій Володимирович**  
**Барсукова Софія Олегівна**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

з дисципліни «Металеві конструкції» для підготовки бакалаврів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія

Підписано до виходу в світ **10.02.2024.**  
Електронний ресурс.

Видано  
у Національному технічному університеті  
«Дніпровська політехніка».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від  
11.06.2004.  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.