

**Центральноукраїнський національний технічний університет**

**Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва**

# **МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**

**Методичні рекомендації до практичних занять**

**для здобувачів освіти спеціальності 192**

**"Будівництво та цивільна інженерія"**

**усіх форм навчання**

**Кропивницький 2020**

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

## МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ

Методичні рекомендації до практичних занять

для здобувачів освіти спеціальності 192

"Будівництво та цивільна інженерія"

усіх форм навчання

Затверджено

на засіданні кафедри Будівельних,

дорожніх машин і будівництва

12 жовтня 2020 року, протокол № 3

Кропивницький 2020

Металеві конструкції. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів освіти спеціальності 192 – "Будівництво та цивільна інженерія" усіх форм навчання. Укладач – д.т.н., професор Пашинський В.А. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 29 с.

Укладач – д.т.н., професор Пашинський В.А.

Рецензент – к.т.н., доцент Портнов Г.Д.

Відповідальний за випуск – завідувач кафедри будівельних,  
дорожніх машин і будівництва,  
професор Настоящий В.А.

## З М І С Т

ВСТУП .....	4
Практичне заняття № 1. Вибір сталі для металевих конструкцій і визначення її розрахункових характеристик ..	5
Практичне заняття № 2. Розрахунок елементів металевих конструкцій при різних видах деформацій .....	8
Практичне заняття № 3. Розрахунок і конструювання з'єднань металевих конструкцій .....	12
Практичне заняття № 4. Визначення навантажень і зусиль в стержнях кроквяної ферми .....	17
Практичне заняття № 5. Підбір перерізів стержнів ферми .....	18
Практичне заняття № 6. Проектування вузлів кроквяних ферм .....	19
Практичне заняття № 7. Підбір перерізу позацентрово стиснутої колони .....	20
Практичне заняття № 8. Проектування прокатних балок .....	21
Рекомендована література .....	24
Додаток А. Коефіцієнти стійкості для розрахунку центрально стиснутих стержнів .....	25
Додаток Б. Риски прокатних кутників про однорядному розміщенні отворів .....	28

## ВСТУП

Навчальна дисципліна "Металеві конструкції" є однією з профільюючих дисциплін фахової підготовки інженерів-будівельників, яка вивчає види, галузі раціонального використання, конструктивні форми та методи проектування несучих металевих конструкцій будівель і споруд різного призначення.

Мета практичних занять полягає в набутті здобувачами освіти умінь розрахунку та конструювання елементів і з'єднань сталевих конструкцій згідно з чинними нормами проектування, навичок користування нормативною й довідковою літературою. Здобувачі освіти розв'язують типові задачі, які часто зустрічаються в проектній практиці: розрахунок і конструювання сталевих конструкцій та їх елементів при згині, центральному й позакентровому розтягу та стиску, зварних і болтових з'єднань. Для успішного розв'язання задач необхідно користуватися чинними нормативними документами та довідковою літературою, на які даються посилання в тексті методичних рекомендацій, а також вивчити відповідні розділи навчальних видань [4...7].

### Загальні вказівки щодо розрахунку елементів сталевих конструкцій:

1. Усі розрахунки виконуються за вказівками ДБН В.2.6-198:2014 [3], посилання на які наведені в алгоритмах розв'язання задач.
2. При виконанні розрахунків сталевих конструкцій доцільно користуватися системою одиниць вимірювання, які є похідними одиницями системи СІ:

Величини	Одиниці виміру	Позначення	Перетворення величин
Габаритні розміри конструкцій	метри	м	1 м = 100 см
Розміри і геометричні характеристики поперечних перерізів	сантиметри	см	1 см = 10 мм
Навантаження, рівномірно розподілені по площі	паскалі	Па	1 кН/м <sup>2</sup> = 1000 Па
Навантаження, рівномірно розподілені вздовж конструкції	кілоньютони і метри	кН/м	1 кН/м = 1000 Н/м
Зосереджені навантаження, поздовжні та поперечні сили	кілоньютони	кН	1 кН = 1000 Н
Згинаючі, крутні та інші моменти сил	в статичних розрахунках	кілоньютони і метри	1 кН·м = 100 кН·см
	при перевірках перерізів	кілоньютони і сантиметри	
Характеристичні й розрахункові опори, напруження в конструкціях	кілоньютони і сантиметри	кН/см <sup>2</sup>	1 кН/см <sup>2</sup> = 10 МПа

3. При виконанні розрахунків слід уважно відноситися до узгодження розмірності величин, що входять до розрахункових формул. Як правило, статичні розрахунки конструкцій виконують у метрах і кілоньютонках, а в формули перевірок несучої здатності елементів та з'єднань усі величини підставляють у кілоньютонках і сантиметрах.

## Практичне заняття № 1

### ВИБІР СТАЛІ ДЛЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ І ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Мета заняття:** засвоїти класифікацію металевих конструкцій за відповідальністю, призначенням і напруженим станом, навчитися вибирати сталь для несучих конструкцій з урахуванням умов роботи, а також визначати характеристичні та розрахункові опори сталі.

**Вихідні дані:** індивідуальне завдання на виконання курсової роботи, яке містить призначення будівлі та тип стержнів кроквяної ферми.

#### Перелік і порядок виконання завдань практичного заняття:

1. Ознайомитися із загальною структурою ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" [3], як з основним нормативним документом, що встановлює правила проектування несучих сталевих конструкцій для будівництва.
2. Ознайомитися з розділом 5 ДБН В.1.2-14-2014 [1], який регламентує класифікацію будівельних об'єктів і конструкцій за відповідальністю, а також порядок встановлення термінів їх експлуатації.
3. Вивчити пункти 5.3.5 та 5.3.6 ДБН [3], які встановлюють класифікацію сталевих конструкцій та їх елементів за відповідальністю, призначенням і напруженим станом.
4. Виконати класифікацію сталевих конструкцій (колони каркасу, стержнів та фасонок кроквяної ферми) за схемою таблиці 1.1 у такому порядку:
  - ✓ Клас відповідальності будівлі (СС1, СС2, СС3) визначається згідно з пунктом 5.1 та додатком А ДБН [1], де наведено орієнтовний перелік будівель і споруд за класами відповідальності.
  - ✓ Категорія відповідальності конструкції за призначенням (А, Б, В) встановлюється згідно з пунктом 5.1 ДБН [1], пунктом 5.3.5 і додатком А ДБН [3].
  - ✓ Категорія конструкції за напруженим станом (І, ІІ, ІІІ) визначається згідно з пунктом 5.3.6 ДБН [3]. Категорії металевих конструкцій за призначенням і за напруженим станом конкретизовані в додатку А ДБН [3], за яким і рекомендується їх визначати.
  - ✓ Наявність напружень розтягу від розрахункового навантаження встановлюється за розрахунковою схемою конструкції.
  - ✓ Несприятливий вплив зварних з'єднань враховується, якщо вони розташовані у місцях дії значних розрахункових розтягувальних напружень ( $\sigma > 0,3 \times R_y$ ;  $\sigma > 0,3 \times R_{wz}$ ), або в місцях, де міцність зварного з'єднання визначає придатність до експлуатації конструкції в цілому (примітка до таблиці А.2 ДБН [3]).

Результати класифікації оформити у вигляді таблиці за зразком 1.2.

Таблиця 1.1. Класифікаційні ознаки для встановлення групи конструкції

Чинники класифікації	Джерело класифікації	Позначення	Результат класифікації	Показник групи (бали)
Клас відповідальності будівлі	пункт 5.1 і додаток А [1]	$S_1$		
Категорія відповідальності конструкції за призначенням	пункт 5.2 [1] пункт 5.3.5 і додаток А [3]	$S_2$		
Категорія конструкції за напруженим станом	пункт 5.3.6 і додаток А [3]	$S_3$		
Наявність напружень розтягу від розрахунков. навантаження	розрахункова схема конструкції	$S_4$		
Несприятливий вплив зварних з'єднань	розміщення зварних швів у конструкції	$S_5$		

Таблиця 1.2. Результати класифікації несучих конструкцій каркасу

Чинники класифікації	Позначення	Колона каркасу		Стержні ферми		Фасонки ферми	
		знач.	бали	знач.	бали	знач.	бали
Клас відповідальності будівлі	$S_1$						
Категорія відповідальності конструкції за призначенням	$S_2$						
Категорія конструкції за напруженим станом	$S_3$						
Наявність напружень розтягу від розрахункового навантаження	$S_4$						
Несприятливий вплив зварних з'єднань	$S_5$						
<b>Сума балів</b>							
<b>Група конструкцій</b>							
<b><math>T_{ef}</math>, роки</b>							
<b>Коефіцієнт <math>\gamma_n</math></b>							
<b>Клас сталі</b>							
<b>Категорія сталі за ударною в'язкістю</b>							

- Ознайомитися з пунктом 5.3 ДБН В.1.2-14-2014 [1], визначити встановлений термін експлуатації  $T_{ef}$  для конструкцій каркасу і занести його до таблиці 1.2.
- За пунктами 7.6.4 і 7.6.5 ДБН [1] визначити коефіцієнти відповідальності  $\gamma_n$  для розрахунку колони та ферми за граничними станами першої групи в усталеній розрахунковій ситуації та занести його до таблиці 1.2.

7. Вивчити пункти 6.1, 6.2.1 ДБН [3], які регламентують вимоги до сталей і порядок вибору сталі для металевих конструкцій.
8. Виходячи з результатів виконаної класифікації, в таблиці 1.2 проставити відповідні бали згідно з таблицею А.2 ДБН [3].
9. Обчислити суми балів у таблиці 1.2, за вказівками пункту А.1 ДБН [3] встановити номери груп, до яких належать колона, стержні та фасонки ферми, і вказати їх в таблиці 1.2.
10. За таблицею Г.1 ДБН [3] вибрати сталь для колони, стержнів і фасонки кроквяної ферми. На підставі аналізу таблиці Г.1 ДБН [3] вказати додаткові вимоги та необхідну категорію сталі за ударною в'язкістю.
11. Вивчити пункти 7.1...7.4 ДБН [3], які встановлюють порядок визначення розрахункових характеристик сталей.
12. За таблицями Г.2, Г.3 ДБН [3] визначити характеристичні та розрахункові опори листового чи фасонного прокату із заданої сталі (в  $\text{кН/см}^2$ ) і занести їх до таблиці, оформленої за зразком таблиці 1.3. До підбору перерізів товщину прокату прийняти орієнтовно (колона –  $8\div 20$  мм, стержні ферми –  $4\div 16$  мм, фасонки ферми –  $6\div 12$  мм). Розрахунковий опір зсуву визначається за формулою з таблиці 7.1 ДБН [3]:  $R_s=0,58 R_y$ , а розрахунковий опір зминанню торцевої поверхні  $R_p$  – за таблицею Г.4 ДБН [3] залежно від тимчасового опору  $R_{un}$ .

Таблиця 1.3. Розрахункові характеристики сталі

Характеристики		Конструкції		
		Колона	Стержні ферми	Фасонки ферми
Клас сталі				
Назва профілю				
Межі товщини, мм				
Характеристичні опори, МПа	$R_{yn}$			
	$R_{un}$			
Розрахункові опори, МПа	$R_y$			
	$R_u$			
	$R_s$			
	$R_p$			

Отримані результати оформлюються за зразком таблиць 1.2 та 1.3 та здаються на перевірку з метою оцінювання роботи на практичному занятті.

## Практичне заняття № 2

### РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ ДЕФОРМАЦІЙ

**Мета заняття:** вивчити методики розрахунків елементів сталевих конструкцій за ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" при згині, центральному та позацентровому стиску й розтягу.

**Вихідні дані:** індивідуальне завдання, яке містить характеристики конструктивних елементів, необхідні для перевірки та визначення їх несучої здатності при різних видах деформацій.

**Перелік завдань практичного заняття.** На занятті студенти розв'язують за індивідуальними завданнями три інженерні задачі:

1. Перевірка міцності та жорсткості елемента при згині, визначення його несучої здатності за критеріями міцності та жорсткості;
2. Перевірка стійкості та визначення несучої здатності центрально стиснутого і центрально розтягнутого стержня;
3. Перевірка міцності та стійкості позацентрово стиснутого стержня в площині дії згинального моменту.

Нижче викладені алгоритми розв'язання цих задач з посиланнями на нормативну та довідкову літературу, якою студенти повинні користуватися у процесі роботи. З метою роз'яснення порядку виконання розрахунків, встановлення та перетворення розмірностей розрахункових параметрів алгоритми супроводжуються числовими прикладами. Результати розрахунків заносяться до бланку індивідуального завдання й оцінюються викладачем.

#### Задача 1. Розрахунок елемента при згині.

Виконати перевірку міцності та жорсткості шарнірно обпертої балки при таких даних: проліт  $L=8,2$  м; крок  $B=2,4$  м; переріз – прокатний двотавр 30Б1; матеріал – сталь С 245; коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c=1$ ; експлуатаційне та граничне розрахункове значення навантаження на перекриття  $p_e=3400$  Па;  $p_m=4200$  Па; коефіцієнт відповідальності  $\gamma_n=1$ ; допустимий відносний прогин –  $[f / L]=1/250$ .

#### Алгоритм розрахунку:

1. Визначаємо експлуатаційне та граничне розрахункове значення погонного навантаження на балку за формулами, у яких ділення на 1000 забезпечує перехід від рівномірно розподіленого навантаження в паскалях до погонного навантаження на балку в кН/м:

$$q_e = B \times p_e = 2,4 \times 3400 / 1000 = 8,16 \text{ кН / м ;}$$

$$q_m = B \times p_m = 2,4 \times 4200 / 1000 = 10,08 \text{ кН / м .}$$

2. Обчислюємо розрахункові значення моменту та поперечної сили

$$M_e = \frac{q_e L^2}{8} = \frac{8,16 \times 8,2^2}{8} = 68,6 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_m = \frac{q_m L^2}{8} = \frac{10,08 \times 8,2^2}{8} = 84,7 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_m = \frac{q_m L}{2} = \frac{10,08 \times 8,2}{2} = 41,3 \text{ кН}.$$

3. За сортаментом визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу: товщину полицки  $t_f=8,5$  мм та стінки  $t_w=5,8$  мм, момент інерції  $I_x=6320 \text{ см}^4$ , момент опору  $W_x=424 \text{ см}^3$ , статичний момент половини перерізу  $S_x=240 \text{ см}^3$  відносно осі більшої жорсткості.

4. Визначаємо розрахункові опори сталі:  $R_y=240 \text{ МПа} = 24 \text{ кН/см}^2$  – за таблицею Г.2 ДБН [3] залежно від класу сталі та товщини полицки  $t_f=8,5$  мм;  $R_s=0,58 R_y=0,58 \cdot 24=13,9 \text{ кН/см}^2$ .

5. За формулою (9.1) ДБН [3] виконуємо перевірку міцності перерізу балки за нормальними напруженнями в пружній стадії роботи сталі

$$\frac{M_m \gamma_n}{W_{n,min} R_y \gamma_c} = \frac{100 \times 84,7 \times 1}{424 \times 24 \times 1} = 0,833;$$

Множення чисельника на 100 забезпечує перетворення величини згинального моменту з розмірності  $\text{кН} \cdot \text{м}$  до  $\text{кН} \cdot \text{см}$ .

6. За формулою (9.2) ДБН [3], у якій товщина стінки виражена в сантиметрах, виконуємо перевірку міцності стінки за дотичними напруженнями

$$\frac{Q_m S_x \gamma_n}{I_x t_w R_s \gamma_c} = \frac{41,3 \times 240 \times 1}{6320 \times 0,58 \times 13,9 \times 1} = 0,194.$$

7. Перевірку жорсткості можна виконувати за наближеною формулою, придатною для різних схем навантаження балок на двох шарнірних опорах:

$$\frac{f}{L} = \frac{M_e L \gamma_n}{10 E I_x} = \frac{6860 \times 820 \times 1}{10 \times 20600 \times 6320} = \frac{1}{231} > \left[ \frac{f}{L} \right] = \frac{1}{250}.$$

У цю формулу згинальний момент підставлений у  $\text{кН} \cdot \text{см}$ , а проліт балки – у сантиметрах. Величина модуля пружності за таблицею Б.1 ДБН [3] виражена в прийнятій нами розмірності напружень:  $E=20600 \text{ кН/см}^2$ . При виконанні обчислень рекомендується розділити знаменник формули на її чисельник і записати отриману величину до знаменника результату.

8. Результати виконаних розрахунків показали, що перевірена балка відповідає вимогам ДБН [3] щодо міцності за нормальними (запас міцності 16,7%) та дотичними напруженнями (запас міцності 80,6%), але має занадто великий прогин. Оскільки балка не відповідає вимогам другої групи граничних станів, її експлуатація неможлива.

## Задача 2. Розрахунок центрально навантаженого стержня.

Виконати перевірку стійкості та визначити несучу здатність стержня, шарнірно закріпленого на кінцях, при центральному стиску та розтягу при таких даних: довжина стержня  $L=2,4$  м; переріз – кутник  $\perp 100\times 8$ ; матеріал – сталь С 255; граничне розрахункове значення поздовжньої сили  $N=150$  кН; коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c=1$ ; коефіцієнт відповідальності  $\gamma_n=1$ .

### Алгоритм розрахунку:

1. За сортаментом прокатних рівнобічних кутників визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу: площу  $A=15,6$  см<sup>2</sup> і радіус інерції відносно осі найменшої жорсткості  $i=1,98$  см.
2. За таблицею Г.2 ДБН [3] з урахуванням товщини фасонного прокату  $t=8$  мм визначаємо розрахунковий опір сталі С 255:  $R_y=250$  МПа= $25,0$  кН/см<sup>2</sup>.
3. Оскільки при шарнірному закріпленні кінців стержня коефіцієнт розрахункової довжини  $\mu=1$ , гнучкість та умовна гнучкість стержня для визначення коефіцієнта стійкості за пунктом 8.1.3 ДБН [3] дорівнюють:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{240}{1,98} = 121; \quad \bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 121 \times \sqrt{\frac{25}{20600}} = 4,22.$$

4. Згідно з таблицею 8.1 ДБН [3], розрахунок слід вести за кривою стійкості типу  $b$ , для якої за таблицею А.2 отримуємо коефіцієнт стійкості  $\phi=0,419$ .
5. Виконуємо перевірку стійкості за формулою (8.3) ДБН [3]:

$$\frac{N \gamma_n}{\phi A R_y \gamma_c} = \frac{150 \times 1}{0,419 \times 15,6 \times 25 \times 1} = 0,92 < 1.$$

6. Граничні несучі здатності стержня при розтягу  $N_t$  та при стиску  $N_c$ , згідно з формулами (8.1) і (8.3) ДБН [3], дорівнюють

$$N_t = A R_y \gamma_c / \gamma_n = 15,6 \times 25 \times 1 / 1 = 390 \text{ кН.}$$

$$N_c = \phi A R_y \gamma_c / \gamma_n = 0,419 \times 15,6 \times 25 \times 1 / 1 = 163,4 \text{ кН.}$$

7. Порівняння значень  $N$ ,  $N_c$  і  $N_t$  показує, що стержень може витримати стискаюче навантаження на 13,4 кН більше від заданого, а його несуча здатність при розтягу в 2,4 рази більша, ніж при стиску.

## Задача 3. Розрахунок позацентровано стиснутого стержня.

Виконати перевірку стійкості в площині дії згинального моменту позацентровано стиснутого стержня з вільним верхнім кінцем та жорстким закріпленням у фундаменті при таких даних: довжина  $L=2,8$  м; граничні розрахункові значення поздовжньої сили  $N=120$  кН і згинального моменту  $M=11,4$  кН·м; переріз – прямокутний гнutoзамкнутий профіль Гн 140×60×6;

матеріал конструкції – сталь С 235; коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c=1$ ; коефіцієнт відповідальності  $\gamma_n=1$ .

**Алгоритм розрахунку:**

1. За сортаментом гнутих замкнутих профілів визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу: площу  $A=22,8 \text{ см}^2$ , момент опору  $W=65,6 \text{ см}^3$  і радіус інерції відносно осі більшої жорсткості  $i=4,68 \text{ см}$ .
2. За таблицею Г.2 ДБН [3] з урахуванням товщини листового прокату  $t=6 \text{ мм}$  визначаємо розрахунковий опір сталі С 235:  $R_y=230 \text{ МПа}=23,0 \text{ кН/см}^2$ .
3. Згідно з таблицею 13.7 ДБН [3] при жорстко закріпленому нижньому та вільному верхньому кінці стержня коефіцієнт розрахункової довжини  $\mu=2$ . Гнучкість та умовна гнучкість стержня дорівнюють:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{\mu \times L}{i} = \frac{2 \times 280}{4,68} = 120; \quad \bar{\lambda} = 120 \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 121 \times \sqrt{\frac{23}{20600}} = 4,00.$$

4. Відносний ексцентриситет навантаження за пунктом 10.2.2 ДБН [3]:

$$m_x = \frac{e A}{W_c} = \frac{M A}{N W_c} = \frac{1140 \times 22,8}{120 \times 65,6} = 3,30.$$

5. Відношення площ полицки й стінки профілю дорівнює

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{60 \times 6}{2 \times (140 - 12) \times 6} = 0,23$$

6. Коефіцієнт впливу форми перерізу визначаємо за формулою з таблиці Ж.2 ДБН [3] за формулою, яка приблизно відповідає  $A_f / A_w = 0,23 \approx 0,25$ :

$$\eta = (1,45 - 0,05 m_x) - 0,1 (5 - m_x) \bar{\lambda} = (1,45 - 0,05 \times 3,3) - 0,1 (5 - 3,3) \times 4,0 = 0,545.$$

7. Приведений відносний ексцентриситет за формулою (10.7) ДБН [3] дорівнює  $m_{ef} = \eta m_x = 0,545 \times 3,30 = 2,00$ .

8. Коефіцієнт стійкості при позацентровому стиску стержня визначається за таблицею Ж.3 ДБН [3] залежно від умовної гнучкості за пунктом 3 та приведенного відносного ексцентриситету за пунктом 7:  $\phi_e = 0,256$ .

9. Перевірка стійкості виконується за формулою (10.6) ДБН [3]

$$\frac{N \gamma_n}{\phi_a A R_y \gamma_c} = \frac{150 \times 1}{0,256 \times 22,8 \times 23 \times 1} = 0,894 < 1.$$

Перевірка показала, що стійкість позацентрово стиснутого стержня в площині дії згинального моменту забезпечена із запасом 11%.

### Практичне заняття № 3

## РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ З'ЄДНАНЬ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Мета заняття:** вивчити методики розрахунків зварних і болтових з'єднань сталевих конструкцій за ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції".

**Вихідні дані:** індивідуальне завдання, яке містить конструкції з'єднань та характеристики елементів, необхідні для розрахунку.

**Перелік завдань практичного заняття.** На занятті студенти розв'язують за індивідуальними завданнями три інженерні задачі:

1. Проектний розрахунок напускного з'єднання смуги з листом за допомогою лобових і флангових зварних кутових швів.
2. Визначення несучої здатності з'єднання смуг двохсторонніми накладками на болтах, що працюють на зріз.
3. Проектний розрахунок фрикційного з'єднання на високоміцних болтах.

Нижче викладені алгоритми розв'язання цих задач з посиланнями на нормативну та довідкову літературу, якою студенти повинні користуватися у процесі роботи. Результати розрахунків заносяться до бланку індивідуального завдання й оцінюються викладачем.

#### Задача 1. Розрахунок з'єднання кутовими зварними швами.

Визначити величину напуску смуги перерізом  $b_c \times t_c = 120 \times 16$  мм на лист товщиною  $t_l = 10$  мм, необхідну для прикріплення смуги лобовими та фланговими зварними швами згідно з рисунком 3.1. З'єднання розрахувати на величину несучої здатності смуги при розтягу з урахуванням коефіцієнта умов роботи  $\gamma_c = 1$  та коефіцієнта відповідальності  $\gamma_n = 1$ . Матеріал з'єднуваних елементів – сталь С 245, зварювання ручне електродоми Э-42А. Катети швів приймають максимально можливої величини з урахуванням стандартних розмірів  $k_f = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16$  мм.

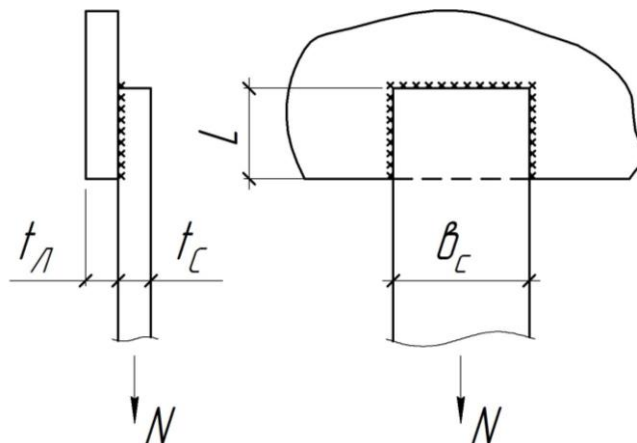


Рис. 3.1. Конструкція напускного з'єднання до задачі 1

### Алгоритм розрахунку:

1. За таблицею Е.2 ДБН [3] визначаємо характеристичний і розрахунковий опір листового прокату (більшої товщини) зі сталі С 245:  $R_{un}=37$  кН/см<sup>2</sup>,  $R_y=24$  кН/см<sup>2</sup>.
2. Несучу здатність смуги при розтягу обчислюємо з формули (1.4.1) ДБН [3] з урахуванням розрахункового опору  $R_y=24$  кН/см<sup>2</sup> і площі поперечного перерізу смуги розмірами 12×1,6 см

$$N = A_n R_y \gamma_c / \gamma_n = 12 \times 1,6 \times 24 \times 1 / 1 = 460,8 \text{ êÍ} .$$

3. Визначаємо розрахункові опори кутових швів, виконаних електродами Э-42А, за металом шва  $R_{wf}=18$  кН/см<sup>2</sup> (таблиця Д.2 ДБН [3]) і за металом межі сплавлення  $R_{wz}=0,45 \times R_{un}=0,45 \times 37=16,7$  кН/см<sup>2</sup> (формула з таблиці 7.3 ДБН [3]).
4. За вказівками пункту 16.1.5 ДБН [3] визначаємо максимально можливий катет кутового шва з округленням до найближчого меншого стандартного розміру:  $k_f \leq t_c = 16$  мм,  $k_f \leq 1,2 \times t_n = 12$  мм. Прийнято  $k_f = 12$  мм.
5. За таблицею 16.2 ДБН [3] залежно від виду зварювання (ручне) положення (нижнє) і катету зварних швів ( $k_f = 12$  мм) визначаємо коефіцієнти форми шва  $\beta_f=0,7$  і  $\beta_z=1,0$ .
6. З формул (16.2) та (16.3) ДБН [3] визначаємо розрахункові довжини зварних швів з умов міцності металу шва і металу межі сплавлення:

$$l_{wf} = \frac{N \gamma_n}{\beta_f k_f R_{yf} \gamma_c} = \frac{460,8 \times 1}{0,7 \times 1,2 \times 18 \times 1} = 30,5 \text{ ã} .$$

$$l_{wz} = \frac{N \gamma_n}{\beta_z k_f R_{yz} \gamma_c} = \frac{460,8 \times 1}{1,0 \times 1,2 \times 16,7 \times 1} = 23,0 \text{ ã} .$$

7. Необхідна довжина напуску визначається за більшою розрахунковою довжиною зварного шва з урахуванням довжини лобових швів, рівної ширині смуги  $b_c=12$  см, та непровару довжиною  $k_f$  (при конструкції з'єднання за рисунком 3.1 непровари на обох кінцях шва знаходяться один напроти одного)

$$L = (30,5 - 12) / 2 + 1,2 = 10,5 \text{ см} .$$

Перетворивши отриману величину в міліметри з округленням до 10 мм у більшу сторону, остаточно приймаємо напуск величиною  $L=110$  мм.

## Задача 2. Розрахунок з'єднання на болтах, що працюють на зріз.

Визначити несучу здатність з'єднання смуг із сталі С 255 перерізом  $140 \times 16$  мм двохсторонніми накладками перерізом  $140 \times 12$  мм на болтах, що працюють на зріз, за зразком рисунка 3.2. З'єднання виконане на болтах діаметра 16 мм класу точності В, класу міцності 5.6. Загальна кількість болтів у з'єднанні – 8. Коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання прийняти рівним: при зрізі –  $\gamma_b=1$ , при зминанні елементів під болтами класу точності А –  $\gamma_b=1$ , при зминанні елементів під болтами класів точності В, С в багатоболтовому з'єднанні –  $\gamma_b=0,9$ . Загальний коефіцієнт роботи конструкції  $\gamma_c=1$ , а коефіцієнт відповідальності  $\gamma_n=1$ .

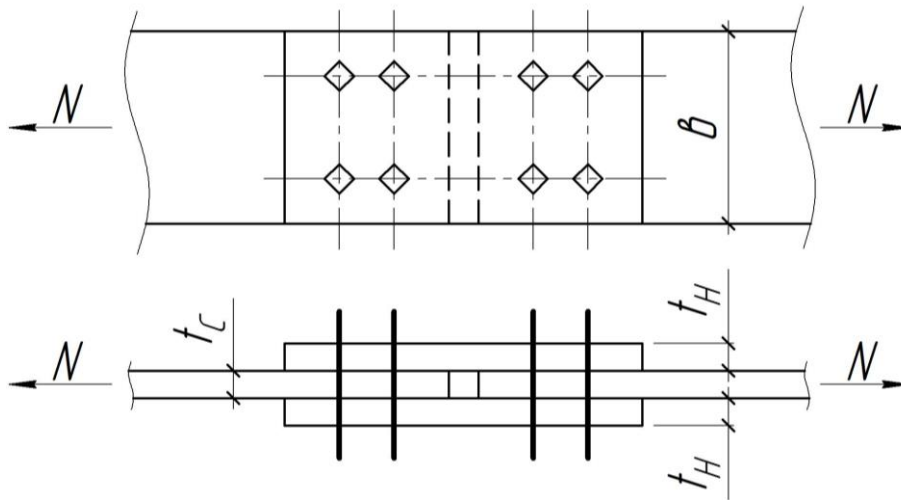


Рис. 3.2. Конструкція з'єднання з накладками до задачі 2

### Алгоритм розрахунку:

1. За таблицею Д.4 ДБН [3] визначаємо розрахунковий опір зрізу болтів класу міцності 5.6  $R_{bs}=21$  кН/см<sup>2</sup>.
2. За таблицею Д.5 ДБН [3] залежно від тимчасового опору сталі з'єднаних елементів з таблиці Г.2  $R_{un}=37$  кН/см<sup>2</sup> визначаємо розрахунковий опір зминанню елементів під болтами класу точності В  $R_{bp}=48,5$  кН/см<sup>2</sup>.
3. Площа перерізу болта  $A_b=2,01$  см<sup>2</sup> обчислюється за його номінальним діаметром, або визначається з таблиці Д.8 ДБН [3].
4. Менша сума товщин елементів, що зминаються в одному напрямку  $\Sigma t=16$  мм, визначається за конструкцією з'єднання.
5. Коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання повинен визначатися за таблицею 16.4 залежно від кількості, розміщення й класу точності болтів. Згідно з умовами задачі для багатоболтового з'єднання на болтах класу точності В приймаємо при зрізі –  $\gamma_b=1$ , при зминанні –  $\gamma_b=0,9$ .

6. За формулами (16.12) і (16.13) ДБН [3] визначаємо несучу здатність одного болта при зрізі (2 площини зрізу) та зминанні

$$N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c = 21,0 \times 2,01 \times 2 \times 1 \times 1 = 84,4 \text{ кН} ;$$

$$N_{bp} = R_{bp} d_b \Sigma t_{\min} \gamma_b \gamma_c = 48,5 \times 1,6 \times 1,4 \times 0,9 \times 1 = 97,8 \text{ кН} .$$

7. За меншою несучою здатністю одного болта (у нашому випадку – при зрізі) згідно з формулою (16.15) ДБН [3] визначаємо шукану несучу здатність з'єднання в цілому

$$N = n_b N_{b, \min} / \gamma_n = 4 \times 84,4 / 1 = 337,6 \text{ êÍ} ,$$

де  $n_b=4$  – кількість болтів з однієї сторони стика.

### Задача 3. Розрахунок фрикційного з'єднання на високоміцних болтах.

Визначити кількість високоміцних болтів у зображеному на рисунку 3.3 фрикційному з'єднанні стержня з фасонкою гратчастої конструкції та розробити схему вузла при умові однорядного розміщення болтів. Стержень виконаний з двох кутників, зіставлених ширшими полицками разом. Переріз кутників  $\perp 100 \times 63 \times 6$ , статичне навантаження на вузол (зусилля в стержні)  $N=380$  кН. Болти із сталі 40Х "селект" слід обирати максимально можливого діаметра з переліку рекомендованих (16, 20, 24 мм) при різниці діаметрів отвору й болта до 3 мм. Спосіб обробки поверхонь – газополум'яневий.

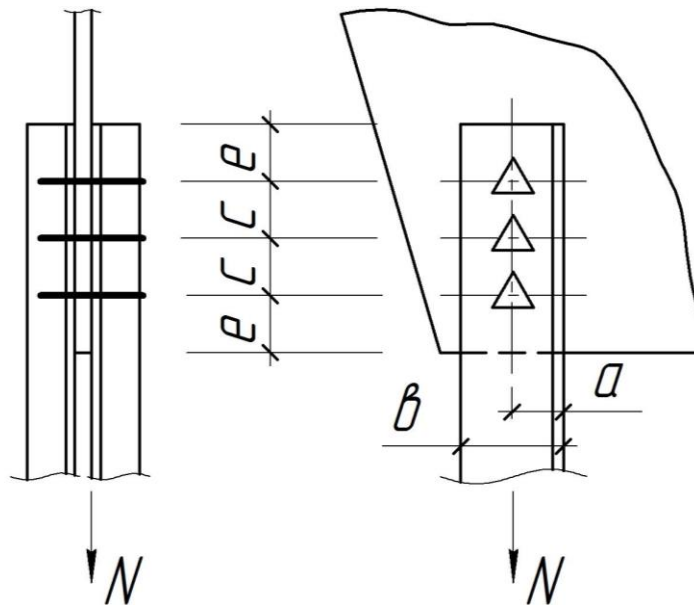


Рис. 3.3. Конструкція з'єднання на фрикційних болтах до задачі 3

#### Алгоритм розрахунку:

1. За таблицею рисок прокатних кутників, наведеною в додатку Б, для полицки шириною  $b=100$  мм визначаємо максимально можливий діаметр отвору  $d=23$  мм та значення риски  $a=55$  мм.

2. Вибираємо максимально можливий діаметр високоміцного болта  $d_b=20$  мм (рекомендовані діаметри – 16, 20, 24 мм), за таблицею Д.7 ДБН [3] визначаємо розрахунковий опір болта із сталі 40Х "селект"  $R_{bh}=77$  кН/см<sup>2</sup>, а з таблиці Д.8 ДБН [3] виписуємо площу болта "нетто"  $A_{bn}=2,45$  см<sup>2</sup>.
3. З таблиці 16.5 ДБН [3] вибираємо коефіцієнт тертя  $\mu_s=0,42$  і коефіцієнт надійності фрикційного з'єднання  $\gamma_h=1,12$ .
4. За формулою 16.17 ДБН [3] обчислюємо несучу здатність однієї площини тертя, затягнутої одним високоміцним болтом

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} A_{bn} \mu}{\gamma_h} = \frac{77 \times 2,45 \times 0,42}{1,12} = 70,7 \text{ кН}$$

5. Необхідну кількість болтів у з'єднанні визначаємо за формулою 16.18 ДБН [3] з урахуванням наявності двох поверхонь тертя

$$n = \frac{N \gamma_n}{Q_{bh} k \gamma_b \gamma_c} = \frac{380 \times 1}{70,7 \times 2 \times 0,8 \times 1} = 3,4 \hat{=} 4$$

Коефіцієнт умов роботи фрикційного з'єднання  $\gamma_b=0,8$  попередньо прийнятий за пунктом 16.3.4 ДБН [3] для кількості болтів  $n < 5$ . Якщо обчислена кількість болтів не відповідає врахованій при визначенні коефіцієнта  $\gamma_b$ , її слід обчислити заново з уточненим значенням  $\gamma_b$ .

6. Остаточню приймаємо 4 болти діаметром 20 мм. Конструювання з'єднання полягає у розміщенні болтів на мінімальних відстанях відповідно до вимог таблиці 16.3 ДБН [3]. В запас надійності вважаємо, що характеристичний опір сталі з'єднуваних елементів  $R_{yn} > 390$  МПа. Тоді відстань між центрами отворів приймаємо рівною  $3 \times d = 3 \times 23 = 69 \approx 70$  мм, а відстань від центру отвору до краю елемента  $2,5 \times d = 2,5 \times 23 = 57,5 \approx 60$  мм. Загальна довжина напуску кутників на фасонку складає  $3 \times 70 + 2 \times 60 = 330$  мм.

## Практичне заняття № 4

### ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ І ЗУСИЛЬ В СТЕРЖНЯХ КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ

**Мета заняття:** вивчити методику визначення постійного і снігового навантаження на ферму за ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" та способи визначення зусиль в стержнях ферми.

**Вихідні дані:** схема кроквяної ферми, тип покрівлі та район будівництва, вказані в завданні на виконання курсової роботи.

**Перелік і порядок виконання завдань практичного заняття** визначається методичними вказівками до виконання курсової роботи "Проектування каркасу одноповерхової будівлі" [7], якими слід керуватися у процесі роботи над завданням. На занятті необхідно:

1. Для заданої схеми кроквяної ферми визначити зусилля в стержнях від одиничного навантаження на вузли. Отримані зусилля для половини ферми (в силу симетрії конструкції і навантаження) заносять до таблиці зусиль у стержнях ферми, наведеної в підрозділі 3.1 методичних вказівок [7].
2. За заданим типом покрівлі розробити її конкретну конструкцію згідно з рекомендаціями [7] і визначити експлуатаційне та граничне розрахункове значення постійного навантаження від маси покрівлі (на квадратний метр горизонтальної проекції покрівлі). Розрахунок виконують у табличній формі, керуючись вказівками [7] і ДБН В.1.2-2:2006 [2].
3. За заданим районом будівництва, керуючись вказівками ДБН В.1.2-2:2006 [2] та рекомендаціями [7] щодо визначення снігового навантаження на раму, встановити експлуатаційне та граничне розрахункове значення снігового навантаження (на квадратний метр горизонтальної проекції покрівлі).
4. Визначити зосереджені навантаження у вузли ферми від маси покрівлі та снігу шляхом множення граничних розрахункових значень з пунктів 2, 3 на розмір вантажної площі (добуток кроку ферм на відстань між вузлами).
5. В таблиці зусиль у стержнях ферми обчислити поздовжні сили в стержнях від дії постійного та снігового навантаження, перемноживши відповідні зусилля від одиничного навантаження на значення постійного та снігового навантаження у вузли ферми з пункту 4. Згідно з пунктами 4.15...4.20 ДБН В.1.2-2:2006 [2], розрахункові зусилля в стержнях ферми визначаються як суми зусиль від дії постійного та снігового навантаження з коефіцієнтом сполучення  $\psi=1$ .

Результати виконаних розрахунків оформляються у вигляді відповідної частини пояснювальної записки до курсової роботи "Проектування каркасу одноповерхової будівлі".

## Практичне заняття № 5

### ПІДБІР ПЕРЕРІЗІВ СТЕРЖНІВ ФЕРМИ

**Мета заняття:** вивчити методику й набути вміння підбирати перерізи центрально стиснутих і розтягнутих стержнів ферм згідно з ДБН В.2.6-198:2014. "Сталеві конструкції".

**Вихідні дані:** схема ферми та зусилля в стержнях, тип перерізу стержнів, вказаний у завданні на виконання курсової роботи.

**Перелік і порядок виконання завдань практичного заняття** визначається чинними нормативними документами та методичними вказівками до виконання курсової роботи "Проектування каркасу одноповерхової будівлі" [7], якими слід керуватися у процесі роботи. На занятті необхідно:

1. Користуючись ДБН В.1.2-14-2014 [1] і ДБН В.2.6-198:2014 [3], за вказівками до практичного заняття № 1 класифікувати ферму та її елементи (стержні й фасонки) і визначити номери груп, до яких відносяться ці конструкції.
2. Керуючись вказівками до практичного заняття № 1, вибрати сталі для стержнів і фасонок ферми та визначити їх розрахункові характеристики за ДБН В.2.6-198:2014 [3].
3. За таблицею 5 ДБН В.1.2-14-2014 [1] визначити коефіцієнт відповідальності  $\gamma_n$  для проектування ферми.
4. За пунктом 5.4 ДБН В.2.6-198:2014 [3] визначити коефіцієнти умов роботи  $\gamma_c$ , необхідні для проектування ферми.
5. За рекомендаціями методичних вказівок до виконання курсової роботи [7] виконати підбір перерізів поясів, розкосів та стійок ферми з урахуванням даних, визначених у пунктах 2, 3, 4. При розрахунках стиснутих стержнів можна скористатися значеннями коефіцієнта стійкості, наведеними в додатку А. Результати розрахунків слід занести до таблиці підбору перерізів, форма якої наведена в [7].
6. По можливості уніфікувати підібрані перерізи, уникаючи при цьому істотного збільшення маси ферми.
7. Для стержнів ферм із парних кутників визначити кількості прокладок, необхідних для забезпечення спільної роботи кутників, за вказівками [7] та пункту 8.2.6 ДБН В.2.6-198:2014 [3].

Результати виконаних розрахунків оформляються у вигляді відповідної частини пояснювальної записки до курсової роботи "Проектування каркасу одноповерхової будівлі".

## Практичне заняття № 6

### ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ КРОКВЯНИХ ФЕРМ

**Мета заняття:** вивчити типові конструкції, особливості роботи та методику проектування проміжних, опорних і монтажних вузлів легких ферм.

**Вихідні дані:** конструктивна схема каркасу будівлі, зусилля та перерізи стержнів ферм, підібрані у процесі виконання курсової роботи.

#### Перелік і порядок виконання завдань практичного заняття:

1. Проаналізувавши перерізи стержнів, вибрати 2...3 катети зварних швів, якими може бути зварена уся ферма. При цьому слід керуватися вказівками пункту 16.1.5 ДБН В.2.6-198:2014 [3] та забезпечити, щоб обрані катети швів відрізнялися не менше, ніж на 2 мм.
2. За вказівками пункту 16.1.16 ДБН [3] визначити несучі здатності одного погонного сантиметра кожного з обраних швів.
3. За рекомендаціями [7] визначити катети й довжини зварних швів, необхідних для прикріплення кожного стержня решітки ферми в проміжних вузлах. При проектуванні ферм із прямокутних труб необхідно в крупному масштабі накреслити ескізи вузлів, за якими можна виміряти довжину швів. У випадку перетину швів кріплення суміжних стержнів слід проаналізувати можливість їх заміни на перерізи з меншими габаритними розмірами.
4. Керуючись рекомендаціями [7], виконати розрахунки опорного вузла ферми, які включають визначення розмірів опорного фланця, розрахунок швів його кріплення до фасонки опорного вузла чи до стержнів, які примикають до цього вузла. Довжина швів кріплення фланця вимірюється на ескізі вузла, накресленому в достатньо крупному масштабі.
5. Обрати конструкцію монтажного вузла ферми за підручниками [4...6] та методичними вказівками [7]. Укрупнювальні монтажні вузли ферм із парних кутників звичайно виконуються на накладках. При поясах із прокатних таврів та в фермах із прямокутних труб краще проектувати монтажні вузли на фланцевих з'єднаннях.
6. За рекомендаціями [7] виконати розрахунок більш навантаженого (як правило, нижнього) монтажного вузла ферми. Фланцеві з'єднання проектують з урахуванням вимог пункту 17.12 ДБН [3]. Розрахунок супроводжується ескізом вузла, виконаним у достатньо крупному масштабі.

Результати виконаних розрахунків з ескізами вузлів оформляються у вигляді відповідної частини пояснювальної записки до курсової роботи "Проектування каркасу одноповерхової будівлі".

## Практичне заняття № 7

### ПІДБІР ПЕРЕРІЗУ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТОЇ КОЛОНИ

**Мета заняття:** вивчити методику підбору перерізів позацентрово стиснутих колон згідно з ДБН В.2.6-198:2014. "Сталеві конструкції".

**Вихідні дані:** конструктивна схема каркасу, який проектується в курсовій роботі, та розрахункові зусилля в колоні.

#### Перелік і порядок виконання завдань практичного заняття:

1. Користуючись ДБН В.1.2-14-2014 [1] і ДБН В.2.6-198:2014 [3], за вказівками до практичного заняття № 1 класифікувати колону та визначити номер групи конструкцій, до якої вона відносяться.
2. Керуючись вказівками до практичного заняття № 1, вибрати сталь для колони і визначити її розрахункові характеристики за ДБН [3].
3. За таблицею 5 ДБН В.1.2-14-2014 [1] визначити коефіцієнт відповідальності  $\gamma_n$  для проектування колони.
4. За пунктом 5.4 ДБН [3] визначити коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c$  колони суцільного перерізу.
5. За схемою в'язей по колонах та вказівками пунктів 13.3.1...13.3.3, 13.3.10 ДБН [3] визначити розрахункові довжини колони у площині рами та з площини рами, вважаючи поперечну раму будівлі вільною.
6. За рекомендаціями методичних вказівок до виконання курсової роботи [7] підібрати переріз колони з прокатного двотавра з паралельними гранями полиць типу "Ш" або "К". При проектуванні легких будівель можна також використати прямокутний гнutoзамкнутий профіль.
7. За вказівками пунктів 10.1, 10.2 ДБН [3] виконати перевірки вибраного перерізу колони на:
  - міцність (за необхідністю згідно з пунктом 10.1.2 ДБН [3]);
  - стійкість у площині дії згинаючого моменту (у площині рами);
  - стійкість за згинально-крутильною формою втрати стійкості.
8. У випадку невідповідності підбраного перерізу вимогам ДБН [3] щодо міцності та стійкості його коригування та нові перевірки виконуються в години самостійної роботи.

Результати виконаних розрахунків оформляються у вигляді відповідної частини пояснювальної записки до курсової роботи "Проектування каркасу одноповерхової будівлі".

## Практичне заняття № 8

### ПРОЕКТУВАННЯ ПРОКАТНИХ БАЛОК

**Мета заняття:** вивчити методи розрахунків сталевих прокатних балок за ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції".

**Вихідні дані:** індивідуальне завдання, яке містить параметри перекриття, необхідні для проектування сталевих несучих балок.

**Завдання на проектування.** Підібрати переріз і розрахувати опорний вузол *головної (другорядної)* балки перекриття під *призначення приміщення*. Вихідні дані: проліт  $L$  та крок  $B$  балок; експлуатаційне  $p_e$  і граничне  $p_m$  розрахункові значення постійного навантаження від маси перекриття та конструкцій підлоги (на квадратний метр плану). Головна балка опирається на сталеву колону збоку; другорядна балка опирається на поперечні ребра жорсткості головної балки в одному рівні через фрикційні болти.

#### Порядок проектування балки:

1. Виходячи з призначення приміщення, за додатком А ДБН В.1.2-14-2014 [1], встановити клас відповідальності будівлі.
2. За додатком А ДБН В.2.6-198:2014 [3] встановити категорії конструкції за призначенням (А, Б, В) і за напруженим станом (I, II, III).
3. За таблицею А.2 ДБН [3] визначити суму балів, що враховують призначення та умови експлуатації, і за вказівками пункту А.1 ДБН [3] встановити номер групи, до якої належить балка перекриття.
4. За таблицею Г.1 ДБН [3] з урахуванням групи конструкцій за пунктом 3 вибрати сталь, придатну для виготовлення балки, і попередньо визначити її розрахунковий опір  $R_y$  за таблицею Г.2 ДБН [3].
5. За пунктом 7.6.4 ДБН [1] визначити коефіцієнти відповідальності для розрахунку балки за граничними станами першої  $\gamma_{n1}$  та другої групи  $\gamma_{n2}$  в усталеній розрахунковій ситуації.
6. За таблицею 5.1 ДБН [3] визначити коефіцієнт умов роботи балки  $\gamma_c$ .
7. За пунктом 5.1 ДСТУ Б В.1.2-3:2006 "Прогини і переміщення. Вимоги проектування" визначити граничний прогин балки  $[f/L]$ .
8. За таблицею 6.2 ДБН В.1.2-2:2006 [2] визначити характеристичне та рівне йому експлуатаційне розрахункове значення корисного навантаження на перекриття  $g_e$ , а за пунктом 6.7 тих же норм – коефіцієнт надійності  $\gamma_{fm}$ .
9. Обчислити експлуатаційне та граничне розрахункові значення сумарного погонного навантаження на балку за формулами

$$q_e = B \times (p_e + g_e) \times \gamma_{n2}; \quad q_m = B \times (p_m + \gamma_{fm} g_e) \times \gamma_{n1}.$$

10. Визначити розрахункові значення максимального згинального моменту та поперечної сили за схемою шарнірно обпертої балки з рівномірно розподіленим навантаженням:

$$M_e = \frac{q_e L^2}{8}; \quad M_m = \frac{q_m L^2}{8}; \quad Q_m = \frac{q_m L}{2}.$$

11. З формули (9.1) ДБН [3] визначити необхідне значення моменту опору поперечного перерізу з умови міцності за нормальними напруженнями:

$$W_f = \frac{M_m \gamma_n}{R_y \gamma_c}$$

Використання цієї формули означає, що в запас надійності переріз балки підбирається без урахування розвитку обмежених пластичних деформацій (у пружній стадії роботи сталі).

12. Визначити необхідне значення моменту інерції поперечного перерізу з умови жорсткості балки

$$I_f = \frac{\gamma_n M_e L}{10E} \left[ \frac{L}{f} \right],$$

де  $[L/f]$  – величини, обернена граничному прогину за пунктом 7.

13. За сортаментом прокатних двотаврів [8] вибрати профіль з найближчими більшими значеннями моменту опору та моменту інерції і визначити геометричні характеристики поперечного перерізу: товщину полицки  $t_f$ , товщину стінки  $t_w$ , момент інерції  $I_x$ , момент опору  $W_x$ , статичний момент половини перерізу  $S_x$ .

14. За таблицею Г.2 ДБН [3] уточнити розрахункові опори застосованої сталі  $R_y$  та  $R_s = 0,58 R_y$  з урахуванням фактичної товщини полицки.

15. Виконати перевірку міцності перерізу балки за нормальними напруженнями за формулою (9.1) ДБН [3] і перевірку міцності стінки за дотичними напруженнями за формулою (9.2) ДБН [3]:

$$\frac{M_m \gamma_n}{W_{n,min} R_y \gamma_c} \leq 1; \quad \frac{Q_m S_x \gamma_n}{I_x t_w R_s \gamma_c} \leq 1.$$

16. Виконати перевірку жорсткості за наближеною формулою прогину:

$$\frac{f}{L} = \frac{M_e L \gamma_n}{10EI_x} \leq \left[ \frac{f}{L} \right].$$

17. У випадку невідповідності результатів виконаних перевірок, або наявності надмірних запасів відкоригувати переріз балки і повторити розрахунки за пунктами 13...16. Переріз повинен бути підібраний таким чином, щоб у межах наявного сортаменту його не можна було зменшити.

18. Згідно з умовами завдання, головна балка перекриття опирається на сталеву колону збоку. Опорна реакція передається через опорне ребро, приварене до торця балки. Для проектування опорного вузла необхідно:

- за таблицями Г.2 і Г.4 ДБН [3] визначити розрахунковий опір зминанню торців  $R_p$  листового прокату з прийнятої сталі;
- з урахуванням вказівок пункту 9.5.13 ДБН [3] визначити товщину опорного ребра, необхідну для передачі поперечної сили  $Q_m$  з пункту 10

$$t_r = \frac{Q_m \gamma_n}{b_r R_p \gamma_c} \geq 1,5 b_r \sqrt{\frac{R_y}{E}},$$

де  $b_r$  – ширина ребра, яка звичайно приймається рівною ширині полицки запроєктованої головної балки;

- за вимогами пункту 16.1.16 ДБН [3] та рекомендаціями методичних вказівок до практичного заняття № 3 визначити катет зварних швів, якими опорне ребро прикріплюється до стінки балки (довжина двохсторонніх швів приймається рівною висоті стінки).

19. Згідно з умовами завдання, другорядна балка перекриття опирається на головні балки, прикріплюючись до поперечних ребер жорсткості за допомогою фрикційних болтів. Розрахунок опорного вузла зводиться до:

- вибору діаметра болтів (16, 20, 24 мм залежно від опорної реакції та розмірів другорядної балки);
- підрахунку кількості фрикційних болтів, необхідної для передачі поперечної сили з пункту 10, за формулами (16.17) і (16.18) ДБН [3] та рекомендаціями до практичного заняття № 3;
- перевірки можливості розміщення отриманої кількості болтів в один ряд уздовж висоти стінки другорядної балки згідно з вимогами таблиці 16.3 ДБН [3] щодо відстаней між болтами та до краю елемента.

Основні результати розрахунків заносяться до бланку індивідуального завдання, який подається на перевірку з метою оцінювання роботи на практичному занятті.

## Рекомендована література

1. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіон України, 2018.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2007.
3. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. К.: Мінрегіон України, 2014.
4. Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції: / За ред. Ф.Є Клименка : Підручник. – 2-ге видання, випр. і доп. – Львів: Світ, 2002. – 312 с.
5. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Веденников и др. – М.: Стройиздат, 1985. – 560 с.
6. Лихтарников Я.М., Ладыженский Д.В., Клыков В.М. Расчет стальных конструкций. – К.: Будівельник, 1984. – 366 с.
7. Металеві конструкції. Методичні вказівки до виконання курсової роботи "Проектування сталевого каркасу одноповерхової будівлі" для студентів усіх форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. - 62 с.
8. Металеві конструкції. Методичні вказівки та інформаційні матеріали для курсового та дипломного проектування за напрямом підготовки "Будівництво", спеціальністю "Промислове та цивільне будівництво". – Кіровоград: КНТУ, 2012. - 39 с.

## Додаток А

**Коефіцієнти стійкості для розрахунку центрально стиснутих стержнів**  
(коефіцієнти  $\phi$  за пунктом 1.4.1.3 ДБН В.2.6-198:2014, збільшені у 1000 разів)

Таблиця А.1. Крива стійкості типу **а**

$\bar{\lambda}$	0	0,02	0,04	0,06	0,08
0,3	1000	1000	1000	1000	1000
0,4	999	999	998	998	997
0,5	997	996	996	995	995
0,6	994	993	991	990	989
0,7	988	986	985	984	982
0,8	981	980	979	977	976
0,9	975	973	972	971	969
1,0	968	966	965	964	962
1,1	961	959	958	956	955
1,2	953	952	950	949	947
1,3	946	944	943	941	939
1,4	938	936	934	933	931
1,5	929	927	926	924	922
1,6	920	918	916	915	913
1,7	911	909	907	905	902
1,8	900	898	896	894	892
1,9	889	887	885	882	880
2,0	877	875	872	870	867
2,1	865	862	859	857	854
2,2	851	848	845	842	839
2,3	836	833	830	827	824
2,4	821	817	814	811	807
2,5	804	800	797	793	789
2,6	786	782	778	774	771
2,7	767	763	759	755	751
2,8	747	743	739	734	730
2,9	726	722	717	713	709
3,0	704	700	696	691	687
3,1	683	678	674	669	665
3,2	660	656	651	647	642
3,3	638	634	629	625	620
3,4	616	611	607	603	598
3,5	594	589	585	581	576
3,6	572	568	564	559	555
3,7	551	547	543	538	532
3,8	526	521	515	510	505
3,9	500	495	490	485	480
4,0	475	470	466	461	457
4,1	452	448	443	439	435
4,2	431	427	423	419	415
4,3	411	407	403	400	396
4,4	393	389	386	382	379
4,5	375	372	369	365	362
4,6	359	356	353	350	347

$\bar{\lambda}$	0	0,02	0,04	0,06	0,08
4,7	344	341	338	335	333
4,8	330	327	324	322	319
4,9	317	314	311	309	306
5,0	304	302	299	297	295
5,1	292	290	288	285	283
5,2	281	279	277	275	273
5,3	271	269	267	265	263
5,4	261	259	257	255	253
5,5	251	249	248	246	244
5,6	242	241	239	237	236
5,7	234	232	231	229	227
5,8	226	224	223	221	220
5,9	218	217	215	214	213
6,0	211	210	208	207	206
6,1	204	203	202	200	199
6,2	198	196	195	194	193
6,3	191	190	189	188	187
6,4	186	184	183	182	181
6,5	180	179	178	177	176
6,6	174	173	172	171	170
6,7	169	168	167	166	165
6,8	164	163	162	161	161
6,9	160	159	158	157	156
7,0	155	154	153	152	152
7,1	151	150	149	148	147
7,2	147	146	145	144	143
7,3	143	142	141	140	140
7,4	139	138	137	137	136
7,5	135	134	134	133	132
7,6	132	131	130	130	129
7,7	128	128	127	126	126
7,8	125	124	124	123	122
7,9	122	121	121	120	119
8,0	119	118	118	117	116
8,1	116	115	115	114	114
8,2	113	112	112	111	111
8,3	110	110	109	109	108
8,4	108	107	107	106	106
8,5	105	105	104	104	103
8,6	103	102	102	101	101
8,7	100	100	99	99	99
8,8	98	98	97	97	96
8,9	96	96	95	95	94
9,0	94	93	93	93	92

Таблиця А.2. Крива стійкості типу **в**

$\bar{\lambda}$	0	0,02	0,04	0,06	0,08
0,3	1000	1000	1000	1000	1000
0,4	999	998	997	996	995
0,5	994	993	991	989	988
0,6	986	984	982	980	978
0,7	976	975	973	971	969
0,8	967	965	963	961	959
0,9	957	955	954	952	950
1,0	948	946	944	942	940
1,1	938	935	933	931	929
1,2	927	925	923	921	919
1,3	916	914	912	910	907
1,4	905	903	900	898	896
1,5	893	891	889	886	884
1,6	881	879	876	874	871
1,7	868	866	863	860	858
1,8	855	852	849	847	844
1,9	841	838	835	832	829
2,0	826	823	820	817	814
2,1	811	807	804	801	798
2,2	794	791	788	784	781
2,3	777	774	770	767	763
2,4	760	756	753	749	745
2,5	741	738	734	730	726
2,6	723	719	715	711	707
2,7	703	699	695	691	687
2,8	683	679	675	671	667
2,9	663	659	655	651	647
3,0	643	639	635	631	626
3,1	622	618	614	610	606
3,2	602	598	594	590	586
3,3	582	578	574	570	566
3,4	562	558	554	550	547
3,5	543	539	535	531	527
3,6	524	520	516	513	509
3,7	505	502	498	494	491
3,8	487	484	480	477	473
3,9	470	467	463	460	457
4,0	453	450	447	443	440
4,1	437	434	431	428	425
4,2	422	419	416	413	410
4,3	407	404	401	398	395
4,4	393	389	386	382	379
4,5	375	372	369	365	362
4,6	359	356	353	350	347

$\bar{\lambda}$	0	0,02	0,04	0,06	0,08
4,7	344	341	338	335	333
4,8	330	327	324	322	319
4,9	317	314	311	309	306
5,0	304	302	299	297	295
5,1	292	290	288	285	283
5,2	281	279	277	275	273
5,3	271	269	267	265	263
5,4	261	259	257	255	253
5,5	251	249	248	246	244
5,6	242	241	239	237	236
5,7	234	232	231	229	227
5,8	226	224	223	221	220
5,9	218	217	215	214	213
6,0	211	210	208	207	206
6,1	204	203	202	200	199
6,2	198	196	195	194	193
6,3	191	190	189	188	187
6,4	186	184	183	182	181
6,5	180	179	178	177	176
6,6	174	173	172	171	170
6,7	169	168	167	166	165
6,8	164	163	162	161	161
6,9	160	159	158	157	156
7,0	155	154	153	152	152
7,1	151	150	149	148	147
7,2	147	146	145	144	143
7,3	143	142	141	140	140
7,4	139	138	137	137	136
7,5	135	134	134	133	132
7,6	132	131	130	130	129
7,7	128	128	127	126	126
7,8	125	124	124	123	122
7,9	122	121	121	120	119
8,0	119	118	118	117	116
8,1	116	115	115	114	114
8,2	113	112	112	111	111
8,3	110	110	109	109	108
8,4	108	107	107	106	106
8,5	105	105	104	104	103
8,6	103	102	102	101	101
8,7	100	100	99	99	99
8,8	98	98	97	97	96
8,9	96	96	95	95	94
9,0	94	93	93	93	92

Таблиця А.3. Крива стійкості типу с

$\bar{\lambda}$	0	0,02	0,04	0,06	0,08
0,3	1000	1000	1000	1000	1000
0,4	996	992	988	984	980
0,5	976	972	968	964	960
0,6	956	954	951	948	945
0,7	943	940	937	934	932
0,8	929	926	923	921	918
0,9	915	912	909	907	904
1,0	901	898	895	892	889
1,1	887	884	881	878	875
1,2	872	869	866	863	860
1,3	857	854	851	848	845
1,4	842	839	836	833	830
1,5	827	824	821	817	814
1,6	811	808	805	801	798
1,7	795	792	788	785	782
1,8	778	775	772	768	765
1,9	761	758	755	751	748
2,0	744	741	737	734	730
2,1	727	723	720	716	712
2,2	709	705	702	698	694
2,3	691	687	683	680	676
2,4	672	669	665	661	658
2,5	654	650	647	643	639
2,6	635	632	628	624	621
2,7	617	613	610	606	602
2,8	598	595	591	587	584
2,9	580	576	573	569	566
3,0	562	558	555	551	548
3,1	544	541	537	534	530
3,2	527	523	520	516	513
3,3	509	506	503	499	496
3,4	493	489	486	483	479
3,5	476	473	470	467	463
3,6	460	457	454	451	448
3,7	445	442	439	436	433
3,8	430	427	424	421	418
3,9	416	413	410	407	404
4,0	402	399	396	393	391
4,1	388	386	383	380	378
4,2	375	373	370	368	365
4,3	363	360	358	356	353
4,4	351	349	346	344	342
4,5	340	337	335	333	331
4,6	329	326	324	322	320

$\bar{\lambda}$	0	0,02	0,04	0,06	0,08
4,7	318	316	314	312	310
4,8	308	306	304	302	300
4,9	298	296	294	293	291
5,0	289	287	285	284	282
5,1	280	278	277	275	273
5,2	271	270	268	266	265
5,3	263	262	260	258	257
5,4	255	254	252	251	249
5,5	248	246	245	243	242
5,6	241	239	238	236	235
5,7	234	232	231	229	227
5,8	226	224	223	221	220
5,9	218	217	215	214	213
6,0	211	210	208	207	206
6,1	204	203	202	200	199
6,2	198	196	195	194	193
6,3	191	190	189	188	187
6,4	186	184	183	182	181
6,5	180	179	178	177	176
6,6	174	173	172	171	170
6,7	169	168	167	166	165
6,8	164	163	162	161	161
6,9	160	159	158	157	156
7,0	155	154	153	152	152
7,1	151	150	149	148	147
7,2	147	146	145	144	143
7,3	143	142	141	140	140
7,4	139	138	137	137	136
7,5	135	134	134	133	132
7,6	132	131	130	130	129
7,7	128	128	127	126	126
7,8	125	124	124	123	122
7,9	122	121	121	120	119
8,0	119	118	118	117	116
8,1	116	115	115	114	114
8,2	113	112	112	111	111
8,3	110	110	109	109	108
8,4	108	107	107	106	106
8,5	105	105	104	104	103
8,6	103	102	102	101	101
8,7	100	100	99	99	99
8,8	98	98	97	97	96
8,9	96	96	95	95	94
9,0	94	93	93	93	92

## Додаток Б

### Риски прокатних кутників про однорядному розміщенні отворів

Наведені в таблиці риси дорівнюють відстані від обушка до осі отворів під болти чи заклепки при умові їх однорядного розміщення

Ширина полички кутника, <b>b</b> , мм	Риска <b>a</b> , мм	Максимальний діаметр отвору <b>d</b> , мм
45	25	11
50	30	13
56	30	13
63	35	17
70	40	19
75	45	21

Ширина полички кутника, <b>b</b> , мм	Риска <b>a</b> , мм	Максимальний діаметр отвору <b>d</b> , мм
80	45	21
90	50	23
100	55	23
110	60	25
125	70	25
140	75	25

Навчально-методичне видання

## МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ

Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів освіти спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання

Електронне видання

Укладач – д.т.н., професор Пашинський В.А.

© ЦНТУ, Кропивницький, пр. Університетський, 8  
© Пашинський В.А.