Міністерство освіти і науки України

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
18 грудня 2024 року, протокол № 6

Кропивницький 2025

Металеві конструкції. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів освіти спеціальності 192 – "Будівництво та цивільна інженерія" усіх форм навчання. / [Уклад.: В.А. Пашинський]. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. – 45 с.

Pashynskyi, V.A. Metal structures. Methodical recommendations for practical classes for students of specialty 192 - "Construction and civil engineering" of all forms of education. Kropyvnytskyi: Central Ukrainian National Technical University, 2025. 45 p.

Методичні рекомендації призначені для організації роботи на практичних заняттях та самостійної роботи здобувачів освіти. Наведені алгоритми вирішення типових розрахунково-конструкторських задач, які здобувачі освіти розв'язують на практичних заняттях та в процесі самостійного вивчення навчальної дисципліни. Перелік задач відповідає робочій програмі та силабусу дисципліни. Алгоритми супроводжуються посиланнями на нормативну та навчальну літературу, а також на додатки з необхідними довідковими даними.

Methodological recommendations are intended for the organization of work in practical classes and during independent work of students. Algorithms for solving typical design and calculation problems, which students solve in practical classes and in the process of independent study of the academic discipline, are given. The list of tasks corresponds to the work program and the syllabus of the discipline. Algorithms are accompanied by references to normative and educational literature, as well as to appendices with the necessary reference data.

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.

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

З М І С Т

ВСТУП 4

Практичне заняття № 1. Ознайомлення з нормами проектування металевих конструкцій, вибір сталі для металевих конструкцій і визначення її розрахункових характеристик за ДБН В.2.6-198:2014 5

Практичне заняття № 2. Розрахунок елементів та з'єднань сталевих конструкцій за ДБН В.2.6-198:2014 8

Практичне заняття № 3. Проєктування прокатних балок 18

Практичне заняття № 4. Проєктування бази центрально стиснутої колони 21

Практичне заняття № 5. Розроблення системи в'язей каркасу одноповерхової виробничої чи громадської будівлі 23

Практичне заняття № 6 Розрахунок і конструювання вузлів кроквяних ферм 25

Практичне заняття № 7. Ознайомлення з методами оцінювання технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що перебувають в експлуатації 36

Рекомендована література 38

Додаток А. Витяг з ДСТУ 8539:2015. Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови [3]

Додаток Б. Коефіцієнти стійкості для розрахунку центрально стиснутих стержнів 41

Додаток В. Довідкові дані для розрахунків: 44

таблиця В.1 – Риски прокатних кутиків

таблиця В.2 – Площі перерізу болтів

таблиця В.3 – Розрахункові опори бетону

таблиця В.4 – Місце під ключ при постановці болтів

В С Т У П

Навчальна дисципліна "Металеві конструкції" є однією з профілюючих дисциплін фахової підготовки бакалаврів будівництва, 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 позацентровому 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 [7, 8].

Загальні вказівки щодо розрахунку елементів сталевих конструкцій:

1. Усі розрахунки виконуються за вказівками ДБН В.2.6-198:2014 [2], 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^2 = 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	кН·м	1 кН·м = 100 кН·см
	при перевірках перерізів	кілоньютони і сантиметри	кН·см	
Характеристичні й розрахункові опори, напруження в конструкціях		кілоньютони і сантиметри	кН/см^2	1 кН/см^2 = 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 кілоньютонах, а в формули перевірок несучої здатності елементів та з'єднань усі величини підставляють у кілоньютонах і сантиметрах.

Практичне заняття № 1

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З НОРМАМИ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ, ВИБІР СТАЛІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗА ДБН В.2.6-198:2014

Мета заняття: засвоїти класифікацію металевих конструкцій за відповідальністю, призначенням і напруженим станом, навчитися вибирати сталь для несучих конструкцій з урахуванням умов роботи конструкцій, а також визначати характеристичні та розрахункові опори сталі. З метою роз'яснення порядку виконання завдання, вибору та перетворення розмірності розрахункових параметрів викладений нижче алгоритм супроводжується числовим прикладом, розв'язання якого виділене курсивом.

Вихідні дані: завдання на виконання курсової роботи, або видане викладачем індивідуальне завдання, яке містить призначення будівлі, вид конструкції та вид прокату для її елементів. В наведеному прикладі розглядається вибір розрахункових параметрів для кроквяної ферми одноповерхової складської будівлі, стержні якої виконуються з гнутих замкнутих зварних профілів (квадратних та прямокутних труб).

Перелік і порядок виконання завдань практичного заняття:

1. Ознайомитися з розділом 5 ДБН В.1.2-14-2018 [1], який регламентує класифікацію будівельних об'єктів і конструкцій за відповідальністю, а також порядок встановлення термінів їх експлуатації.
2. Ознайомитися із загальною структурою ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" [2], як з основним нормативним документом, що встановлює правила проектування несучих сталевих конструкцій для будівництва.
3. Вивчити пункти 5.3.5 та 5.3.6 ДБН [2], які встановлюють класифікацію сталевих конструкцій та їх елементів за відповідальністю, призначенням і параметрами напруженого стану.
4. Виконати класифікацію сталевих конструкцій (у прикладі – кроквяна ферма складського приміщення) за схемою таблиці 1.1 у такому порядку:
   - ✓ Клас відповідальності будівлі (СС1, СС2, СС3) визначається згідно з пунктом 5.1 ДБН [1]. *Оскільки в приміщенні складу постійно перебувають на більше 50 людей, за таблицею 1 ДБН [1] встановлено клас відповідальності СС1.*
   - ✓ Категорії конструкції за призначенням (А, Б, В) і за напруженим станом (I, II, III) встановлюються згідно з пунктами 5.2 ДБН [1], а також 5.3.5 і 5.3.6 ДБН [2]. Категорії сталевих конструкцій за призначенням і за напруженим станом конкретизовані в таблиці А.1 з додатку А ДБН [2], де наведено перелік конструкцій з позначеннями цих категорій. *За пунктом 5 таблиці А.1 з додатку А ДБН [2] встановлюємо, що ферми покриття при статичному навантаженні відносяться до категорії А за призначенням та до категорії II за напруженим станом.*

- ✓ Наявність напружень розтягу від розрахункового навантаження встановлюється за розрахунковою схемою конструкції. *У кроквяних фермах наявні розтягнуті стержні (нижній пояс та частина розкосів)*.
- ✓ Несприятливий вплив зварних з'єднань враховується, якщо вони розташовані у місцях дії значних розрахункових розтягувальних напружень, або в місцях, де міцність зварного з'єднання визначає придатність до експлуатації конструкції в цілому (примітка до таблиці А.2 ДБН [2]). *У зварних вузлах ферм з квадратних і прямокутних труб при безпосередньому примиканні розтягнутих розкосів до поясів та нижнього поясу до фланців укрупнювального вузла розтягувальні напруження можуть наближатися до розрахункового опору сталі, що обумовлює наявність несприятливого впливу зварних з'єднань*.

Результати класифікації для кожної з розглянутих конструкцій заносяться до таблиці 1.1. В останній колонці таблиці 1.1 проставляються відповідні бали згідно з таблицею А.2 ДБН [2].

Таблиця 1.1. Класифікаційні ознаки для встановлення групи конструкції

Чинники класифікації	Джерело класифікації	Позначення	Результат класифікації	Показник групи (бали)
Клас відповідальності будівлі	п. 5.1 ДБН [1]	$\mathbf{S_1}$	*СС1*	*0*
Категорія відповідальності конструкції за призначенням	п. 5.2 ДБН [1] п. 5.3.5 і додаток А ДБН [2]	$\mathbf{S_2}$	*А*	*11*
Категорія конструкції за напруженим станом	п. 5.3.6 і додаток А ДБН [2]	$\mathbf{S_3}$	*II*	*5*
Наявність напружень розтягу від розрах. навантаження	розрахункова схема конструкції	$\mathbf{S_4}$	*Є*	*7*
Несприятливий вплив зварних з'єднань	розміщення зварних швів у конструкції	$\mathbf{S_5}$	*Є*	*6*
Сума балів за пунктом А.1 ДБН [2]		*29*		
Група конструкцій за пунктом А.1 ДБН [2]		*Група 1*		
Клас міцності сталі за таблицею Г.1 ДБН [2]		С255		
Коефіцієнт умов роботи γ_c за таблицею 5.1 ДБН [2]		1,0		
Коефіцієнт відповідальності γ_n для розрахунків за першою групою граничних станів з таблиці 5 ДБН [1]		1,0		
Строк експлуатації T_{ef} (роки) за пунктом 5.3 ДБН [1]		60		

5. Обчислити суму балів, вказаних у таблиці 1.1, за вказівками пункту А.1 ДБН [2] встановити номер групи, до якої належить конструкція, та занести ці дані до таблиці 1.1. Згідно з вказівками пункту А.2 ДБН [2], група конструкцій може бути пізніше уточнена за результатами підбору перерізів. *При отриманій сумі балів $S_{tot} = 29 > 26$ кроквяну ферму складського приміщення слід віднести до конструкцій групи 1*.

6. За пунктами 6.1, 6.2.1 ДБН [2] вивчити вимоги до сталей і порядок вибору сталі для металевих конструкцій.
7. За таблицею Г.1 ДБН [2] вибрати клас міцності сталі для конструкції з урахуванням групи конструкцій та бажаних характеристик міцності і вказати його в таблиці 1.1. *З таблиці Г.1 ДБН [2] для виконання кроквяної ферми складського приміщення обираємо сталь класу міцності С255, яка має достатню міцність та придатна для конструкцій групи 1.*
8. За таблицею 5.1 ДБН [2] встановити коефіцієнти умов роботи усіх елементів конструкції та занести їх до таблиці 1.1. *Оскільки в переліку таблиці 5.1 ДБН [2] кроквяні ферми та їх елементи не вказані, згідно з приміткою 5 до цієї таблиці приймаємо коефіцієнт умов роботи* $\gamma_c = 1$.
9. За пунктами 7.6.4, 7.6.5 і таблицею 5 ДБН [1] визначити коефіцієнти надійності за відповідальністю для розрахунку конструкції за граничними станами першої та другої (за необхідністю) групи в усталеній розрахунковій ситуації та занести їх до таблиці 1.1. *За таблицею 5 ДБН [1] визначаємо, що для конструкцій класу відповідальності СС1 категорії відповідальності А коефіцієнт відповідальності для розрахунку за граничними станами першої групи в усталених розрахункових ситуаціях дорівнює* $\gamma_n = 1{,}00$. *При правильному виборі висоти кроквяної ферми її розрахунок за граничним станом другої групи не виконується.*
10. Згідно з пунктом 5.3 і таблицею 2 ДБН [1], визначити розрахунковий строк експлуатації конструкції T_{ef} та занести його до таблиці 1.1. *За таблицею 2 ДБН [1], приймаємо строк експлуатації складської будівлі* $T_{ef} = 60$ *років.*
11. Вивчити пункти 7.1…7.4 ДБН [2], які встановлюють порядок визначення характеристичних і розрахункових опорів сталей.
12. Характеристичні опори за межею текучості та межею міцності приймають рівними гарантованим значенням границі текучості й тимчасового опору, встановленим у нормативному документі на вибрану сталь. Механічні характеристики сталей масового використання можна встановити за ДСТУ 8539:2015 [3]. Механічні характеристики інших сталей визначають за відповідними стандартами чи іншими документами. *Характеристичні опори листового прокату, з якого виготовляються гнуті замкнуті зварні профілі, вибираємо з таблиці 4 ДСТУ [4], яка також наведена в додатку А. При найбільш імовірній товщині стінок гнутих профілів 4…10 мм характеристичне значення границі текучості сталі С255 дорівнює 245 МПа (Н/мм*^{2}*), а тимчасового опору –* $R_{un} = 380$ *МПа (Н/мм*^{2}*).*
13. Розрахункові опори листового чи фасонного прокату із заданої сталі визначають за формулами з таблиці 7.1 ДБН [2] з урахуванням коефіцієнтів надійності за матеріалом з таблиці 7.2 тих же ДБН. *Для розрахунків кроквяної ферми необхідно встановити розрахунковий опір розтягу, стиску та згину за межею текучості, рівний* $R_y = R_{yn} / \gamma_m = 245 / 1{,}025 = 239{,}0$ *МПа, та розрахунковий опір зминанню торцевої поверхні, рівний* $R_p = R_{un} / \gamma_m = 380 / 1{,}025 = 370{,}7$ *МПа. З округленням до 5 МПа приймаємо* $R_y = 240$ *МПа та* $R_p = 370$ *МПа.*

Практичне заняття № 2

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДБН В.2.6-198:2014

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, а також методики розрахунку та конструювання зварних і болтових з'єднань.

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

Перелік завдань практичного заняття. На занятті студенти розв'язують за індивідуальними завданнями згідно з вказівками викладача дві чи три з шести інженерних задач:

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.
4. Проектний розрахунок напускного з'єднання смуги з листом за допомогою лобових і флангових зварних кутових швів.
5. Визначення несучої здатності з'єднання смуг двохсторонніми накладками на болтах, що працюють на зріз.
6. 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. 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 γ_c=1; експлуатаційне й граничне розрахункове значення навантаження на перекриття p_e=3400 Па; p_m=4200 Па; коефіцієнт відповідальності γ_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:

$$q_e = B \times p_e = 2,4 \times 3400 / 1000 = 8,16 \; кн / м;$$

$$q_m = B \times p_m = 2,4 \times 4200 / 1000 = 10,08 \; кн / м.$$

2. Обчислюємо розрахункові значення моменту та поперечної сили

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

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

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

3. За сортаментом з [9] визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу: товщину полички t_f = 8,5 мм та стінки t_w = 5,8 мм, момент інерції I_x = 6320 см^4, момент опору W_x = 424 см^3, статичний момент половини перерізу S_x = 240 см^3 відносно осі більшої жорсткості.
4. За методикою, викладеною в алгоритмі до практичного заняття № 1, даними використанням ДСТУ [4] та формулами з таблиці 7.1 ДБН [2] визначаємо розрахункові опори сталі: R_y=240 МПа =24 кН/см^2 (залежно від класу сталі та товщини полички t_f=8,5 мм); R_s=*0,58* R_y = 0,58 24 = 13,9 кН/см^2.
5. За формулою (9.1) ДБН [2] 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 кН×м до кН×см.

6. За формулою (9.2) ДБН [2], 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:

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

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

Висновок. Результати виконаних розрахунків показали, що перевірена балка відповідає вимогам ДБН [2] 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 – кутик ∟100×8; матеріал – сталь С 255; граничне розрахункове значення поздовжньої сили N = 150 кН; коефіцієнт умов роботи γ_c=1; коефіцієнт відповідальності γ_n=1.

Алгоритм розрахунку:

1. За сортаментом прокатних рівнобічних кутиків з [9] визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу: площу A = 15,6 см^2 і радіус інерції відносно осі найменшої жорсткості i = 1,98 см.
2. За методикою, викладеною в практичному занятті № 1, з урахуванням товщини фасонного прокату t = 8 мм визначаємо розрахунковий опір сталі С 255: R_y=250 МПа = 25,0 кН/см^2.
3. Оскільки при шарнірному закріпленні кінців стержня коефіцієнт розрахункової довжини μ = 1, гнучкість та умовна гнучкість стержня для визначення коефіцієнта стійкості за пунктом 8.1.3 ДБН [2] дорівнюють:

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

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

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

6. Граничні несучі здатності стержня при розтягу N_t та при стиску N_c, згідно з формулами (8.1) і (8.3) ДБН [2], дорівнюють

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

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

Висновок. 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 позацентрово стиснутого стержня.

Виконати перевірку стійкості в площині дії згинального моменту позацентрово 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 гнутозамкнутий 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 [9] визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу: площу $A = 22{,}8$ см^2, момент опору $W = 65{,}6$ см^3 і радіус інерції відносно осі більшої жорсткості $i = 4{,}68$ см.
2. За методикою, викладеною в практичному занятті № 1, з урахуванням товщини листового прокату $t = 6$ мм визначаємо розрахунковий опір сталі С 235: $R_y = 230$ МПа = 23,0 кН/см^2.
3. Згідно з таблицею 13.7 ДБН [2] при жорстко закріпленому нижньому та вільному верхньому кінці стержня коефіцієнт розрахункової довжини $\mu = 2$. Гнучкість та умовна гнучкість стержня дорівнюють:

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

4. Відносний ексцентриситет навантаження за пунктом 10.2.2 ДБН [2]:

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

5. Відношення площ полички 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 рядка 5 таблиці Ж.2 ДБН [2], яка приблизно відповідає A_f / A_w=0,23≈0,25: 1,285:

$$\eta = (1{,}45 - 0{,}05\,m_x) - 0{,}01(5 - m_x)\,\bar{\lambda} = (1{,}45 - 0{,}05 \times 3{,}3) - 0{,}01(5 - 3{,}3) \times 4{,}0 = 1{,}214.$$

7. Приведений відносний ексцентриситет за формулою (10.7) ДБН [2] дорівнює $m_{ef} = \eta\, m_x = 1{,}214 \times 3{,}30 = 4{,}01.$
8. Коефіцієнт стійкості при позацентровому стиску стержня визначається залежно від умовної гнучкості $\bar{\lambda} = 4{,}00$ за пунктом 3 та приведеного відносного ексцентриситету $m_{ef} = 4{,}01$ за пунктом 7. За таблицею Ж.3 ДБН [2] отримуємо φ_e=0,181.
9. Перевірка стійкості виконується за формулою (10.6) ДБН [2]:

$$\frac{N\,\gamma_n}{\varphi_e\,A\,R_y\,\gamma_c} = \frac{150 \times 1}{0{,}181 \times 22{,}8 \times 23 \times 1} = 1{,}580 > 1.$$

Висновок: перевірка показала, що стійкість позацентрово стиснутого стержня в площині дії згинального моменту не забезпечена, що вимагає збільшення перерізу.

Задача 4. Розрахунок з'єднання кутовими зварними швами.

Визначити необхідну величину напуску смуги перерізом $b_c \times t_c$ = 120×16 мм на лист товщиною $t_л$ = 10 мм, необхідну для прикріплення смуги лобовими та фланговими зварними швами згідно з рисунком 2.1. З'єднання розрахувати на величину несучої здатності смуги при розтягу з урахуванням коефіцієнта умов роботи γ_c = 1 та коефіцієнта відповідальності γ_n = 1. Матеріал з'єднуваних елементів – сталь С 245, зварювання ручне електродами 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.

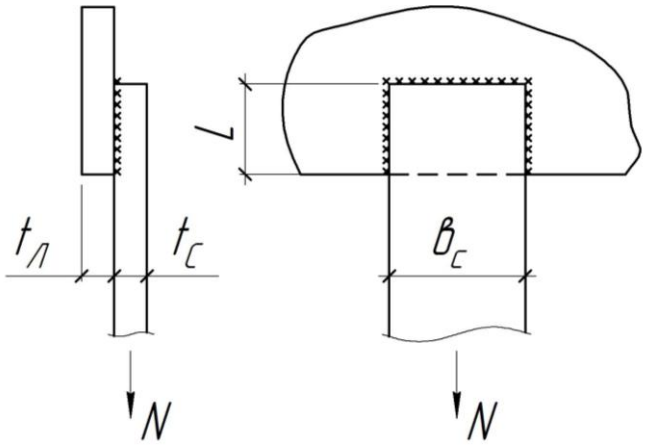

Рис. 2.1. Конструкція напускного з’єднання до задачі 4

Алгоритм розрахунку:

1. За методикою, викладеною в практичному занятті № 1, визначаємо характеристичний і розрахунковий опір листового прокату (більшої товщини) зі сталі С 245: R_{un}=37 кН/см^2, R_y= 24 кН/см^2.
2. Несучу здатність смуги при розтягу обчислюємо з формули (1.4.1) ДБН [2] з урахуванням розрахункового опору R_y = 24 кН/см^2 і площі поперечного перерізу смуги розмірами 12×1,6 см

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

3. За таблицею Д.2 ДБН [2] визначаємо розрахунковий опір кутових швів, якими з'єднуються елементи зі сталі класу міцності С315 і нижче, у площині наплавленого металу (за металом шва): R_{wf} = 18 кН/см^2. Розрахунковий опір У площині металу границі сплавлення (за металом границі сплавлення) визначається за формулою з таблиці 7.3 ДБН [2] через характеристичний опір листового прокату: R_{wz}=0,45×R_{un}=0,45×37=16,7 кН/см^2.
4. За вказівками пункту 16.1.5 ДБН [2] визначаємо максимально можливий катет кутового шва з округленням до найближчого меншого стандартного розміру: $k_f \le t_c$ = 16 мм, $k_f \le 1{,}2 \times t_л$ =12 мм. Прийнято $k_f \le$ =12 мм.
5. За таблицею 16.2 ДБН [2] залежно від виду зварювання (ручне) положення (нижнє) і катету зварних швів (k_f =12 мм) визначаємо коефіцієнти форми шва β_f=0,7 і β_z=1,0.
6. З формул (16.2) та (16.3) ДБН [2] визначаємо необхідні розрахункові довжини зварних швів з умов міцності у площині металу шва і в площині межі сплавлення:

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

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

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 2.1 непровари на обох кінцях шва знаходяться один напроти одного)

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

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

Висновок: прикріплення смуги перерізом 120×16 мм зі сталі С 245 слід здійснювати лобовими й фланговими кутовими швами катетом 12 мм при величині напуску 110 мм.

Задача 5. Розрахунок з'єднання на болтах, що працюють на зріз.

Визначити несучу здатність показаного на рисунку 2.2 з'єднання смуг із сталі С 255 перерізом 140×16 мм двохсторонніми наладками перерізом 140×12 мм. З'єднання виконане на болтах діаметра 16 мм класу точності В, класу міцності 5.6. Загальна кількість болтів у з'єднанні – 8. Коефіцієнти умов роботи болтового з'єднання прийняти рівними: 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 умов роботи конструкції $\gamma_c = 1$, а коефіцієнт відповідальності $\gamma_n = 1$.

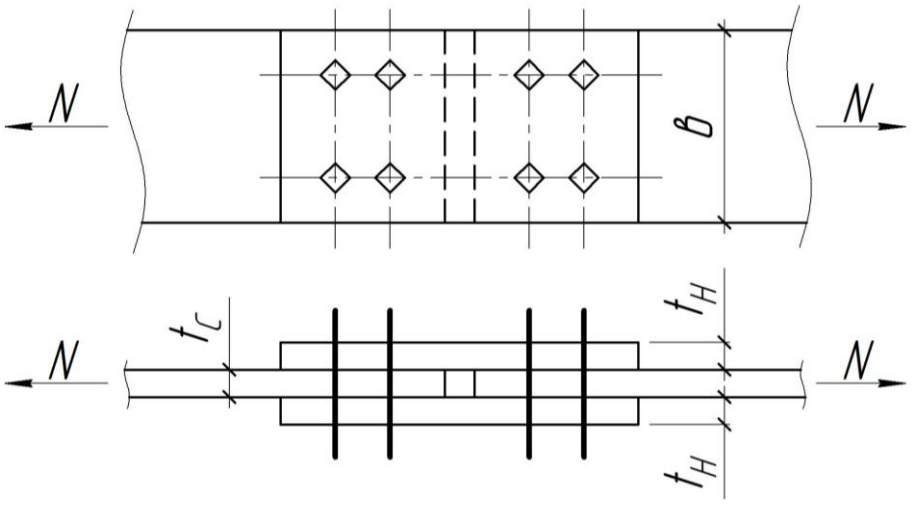

Рис. 2.2. Конструкція з'єднання з накладками до задачі 5

Алгоритм розрахунку:

1. За таблицею Д.4 ДБН [2] визначаємо розрахунковий опір зрізу болтів класу міцності 5.6 R_{bs} = 21 кН/см^2.
2. За ДСТУ [4], витяг з якого наведений в додатку А, визначаємо тимчасовий опір сталі з'єднуваних елементів С 255 товщиною 16 мм: R_{un} = 37 кН/см^2. Згідно з таблицею Д.5 ДБН [2], розрахунковий опір зминанню елементів під болтами класу точності В становить R_{bp} = 48,5 кН/см^2.
3. Площа перерізу болта обчислюється за його номінальним діаметром 16 мм за формулою з пункту 16.2.9.ДБН [2]: $A_b = 0{,}78 \cdot d_b^2 = 0{,}78 \cdot 1{,}6^2 = 2{,}00\ см^2$.
4. Менша сума товщин елементів, що зминаються в одному напрямку Σt = 16 мм, визначається за конструкцією з'єднання.
5. Коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання повинен визначатися за таблицею 16.4 ДБН [2] залежно від кількості, розміщення й класу точності болтів. Згідно з умовами задачі для багатоболтового з'єднання на болтах класу точності В приймаємо при зрізі γ_b = 1, а при зминанні γ_b = 0,9.
6. За формулами (16.12) і (16.13) ДБН [2] визначаємо несучу здатність одного болта при зрізі (2 площини зрізу) та зминанні:

   $N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c = 21{,}0 \times 2{,}00 \times 2 \times 1 \times 1 = 84{,}0\ кН$;

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

7. За меншою несучою здатністю одного болта (у нашому випадку – при зрізі) згідно з формулою (16.15) ДБН [2] визначаємо шукану несучу здатність з'єднання в цілому

   $N = n_b N_{b,min} / \gamma_n = 4 \times 84{,}0 / 1 = 336{,}0\ кН$,

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

Висновок: несуча здатність з'єднання визначається міцністю болтів при зрізі та становить 336 кН.

Задача 6. Розрахунок фрикційного з'єднання на високоміцних болтах.

Визначити кількість високоміцних болтів у зображеному на рисунку 2.3 фрикційному з'єднанні стержня з фасонкою ґратчастої конструкції та розробити схему вузла за умови однорядного розміщення болтів. Стержень виконаний з двох кутиків, зіставлених ширшими поличками разом. Переріз кутиків ∟100×63×6, 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, 30, 36 мм) при різниці діаметрів отвору й болта до 3 мм. Спосіб обробки поверхонь – газополум'яневий, контроль натягу болтів – за моментом закручування.

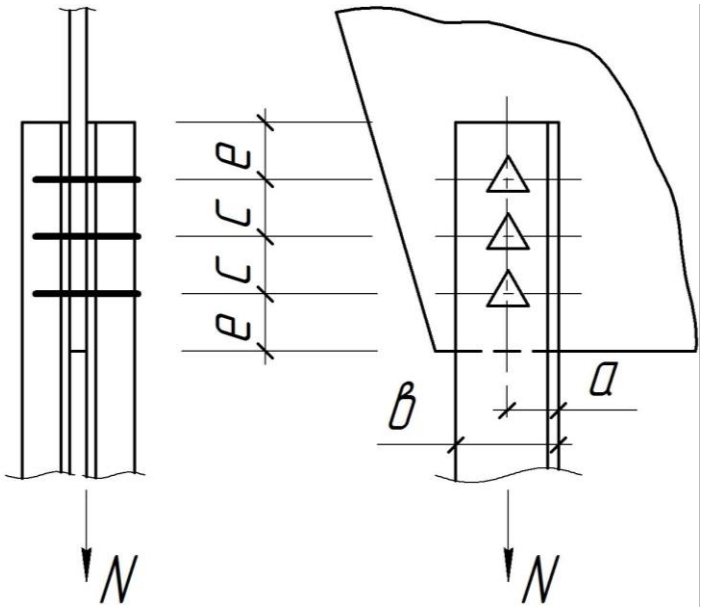

Рис. 2.3. Конструкція з'єднання на фрикційних болтах до задачі 6

Алгоритм розрахунку:

1. За таблицею рисок прокатних кутиків, наведеною в додатку В, для полички 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, 30, 36 мм), за таблицею Д.7 ДБН [2] визначаємо розрахунковий опір болта із сталі 40Х "селект" R_{bh} = 77 кН/см^2.
3. Площі "нетто" (по перерізу з різьбою) болтів рекомендованих діаметрів, згідно зі стандартом на болти, дорівнюють:

d_b = (мм)	16	20	24	30	36
A_{bn} = (см$_2$)	1,57	2,45	3,53	5,61	8,16

4. З таблиці 16.5 ДБН [2] вибираємо коефіцієнт тертя μ_s = 0,42 і коефіцієнт надійності фрикційного з'єднання γ_h=1,12, які відповідають дії статичного навантаження та газополум'яневому способу обробки двох поверхонь при різниці діаметрів отвору й болта 1…4 мм.

5. За формулою 16.17 ДБН [2] обчислюємо несучу здатність однієї площини тертя, затягнутої одним високоміцним болтом:

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

6. Необхідну кількість болтів у з'єднанні визначаємо за формулою 16.18 ДБН [2] з урахуванням наявності двох поверхонь тертя:

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

Коефіцієнт умов роботи фрикційного з'єднання $\gamma_b = 0,8$ попередньо прийнятий за пунктом 16.3.4 ДБН [2] для кількості болтів $n < 5$. Якщо обчислена кількість болтів не відповідає врахованій при визначенні коефіцієнта γ_b, її слід обчислити заново з уточненим значенням γ_b.

7. Остаточно приймаємо 4 болти діаметром 20 мм. Конструювання з'єднання полягає у розміщенні болтів на мінімальних відстанях відповідно до вимог таблиці 16.3 ДБН [2]. 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 кутиків на фасонку складає $3 \times 70 + 2 \times 60 = 330$ мм.

Висновок: Прикріплення стержня з парних кутиків ∟100×63×6 на зусилля 380 кН за умови газополум'яневої обробки контактних поверхонь слід здійснити чотирма високоміцними болтами діаметром 20 мм.

Практичне заняття № 3

ПРОЕКТУВАННЯ ПРОКАТНИХ БАЛОК

Мета заняття: вивчити методи розрахунків сталевих прокатних балок за ДБН В.2.6-198:2014 та навчальною літературою.

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 обпирається на сталеву колону збоку; другорядна балка обпирається на поперечні ребра жорсткості головної балки в одному рівні через фрикційні болти.

Порядок проектування балки:

1. Виходячи з призначення приміщення, за розділом 5.1 ДБН В.1.2-14-2018 [1], встановити клас відповідальності будівлі.
2. За додатком А ДБН В.2.6-198:2014 [2] встановити категорії конструкції за призначенням (А, Б, В) і за напруженим станом (I, II, III).
3. За таблицею А.2 ДБН [2] визначити суму балів, що враховують призначення та умови експлуатації, і за вказівками пункту А.1 ДБН [2] встановити номер групи, до якої належить балка перекриття.
4. За таблицею Г.1 ДБН [2] з урахуванням групи конструкцій за пунктом 3 вибрати сталь, придатну для виготовлення балки. Визначити розрахункові опори обраної сталі R_y та R_s за методикою практичного заняття № 1 з використанням ДСТУ [4] та пунктів 7.1 і 7.2 ДБН [2].
5. За пунктом 7.6.4 і таблицею 5 ДБН [1] визначити коефіцієнти надійності за відповідальністю для розрахунків балки за граничними станами першої γ_{n1} та другої групи γ_{n2} в усталеній розрахунковій ситуації.
6. За таблицею 5.1 ДБН [2] визначити коефіцієнт умов роботи балки γ_c.
7. За пунктом 5.1 ДСТУ Б В.1.2-3:2006 "Прогини і переміщення. Вимоги проектування" [5] визначити граничний прогин балки $[f / L]$.
8. Виходячи з призначення приміщення, за таблицею 6.2 ДБН В.1.2-2:2006 [3] визначити характеристичне та рівне йому експлуатаційне розрахункове значення корисного навантаження на перекриття g_e, а за пунктом 6.7 тих же норм – коефіцієнт надійності γ_{fm}.

9. Обчислити експлуатаційне та граничне розрахункові значення сумарного погонного навантаження на балку за формулами

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

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

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

11. З формули (9.1) ДБН [2] визначити необхідне значення моменту опору поперечного перерізу з умови міцності за нормальними напруженнями:

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

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

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

де $[L / f]$ – величини, обернена граничному прогину з пункту 7.

13. За сортаментом прокатних двотаврів [9] вибрати профіль з найближчими більшими значеннями моменту опору та моменту інерції і визначити геометричні характеристики поперечного перерізу: товщину полички t_f, товщину стінки t_w, момент інерції I_x, момент опору W_x, статичний момент половини перерізу S_x.
14. За ДСТУ [4] та пунктами 7.1 і 7.2 ДБН [2] уточнити розрахункові опори застосованої сталі при згині R_y та при зсуві $R_s = 0{,}58 \times R_y$ з урахуванням фактичної товщини полички вибраного двотавра.
15. Виконати перевірку міцності перерізу балки за нормальними напруженнями за формулою (9.1) ДБН [2] і перевірку міцності стінки за дотичними напруженнями за формулою (9.2) ДБН [2]:

$$\frac{M_m}{W_{n,min} R_y \gamma_c} \le 1; \qquad \frac{Q_m S_x}{I_x t_w R_s \gamma_c} \le \mathbf{1}.$$

Коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_n з формул пунктів 15 і 16 вилучений, оскільки він був врахований при визначенні розрахункового значення навантаження в пункті 9.

16. Виконати перевірку жорсткості за наближеною формулою прогину:

$$\frac{f}{L} = \frac{M_e L}{10 E I_x} \le \left[\frac{f}{L}\right].$$

17. У випадку невідповідності результатів виконаних перевірок, або наявності надмірних запасів слід 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. Головна балка перекриття зазвичай обпирається на сталеву колону через опорне ребро жорсткості, приварене до торця балки. Для проектування опорного вузла такого типу необхідно:
    - за пунктами 7.1 і 7.2 ДБН [2] визначити розрахунковий опір R_p зминанню торців листового прокату з прийнятої сталі;
    - з урахуванням вказівок пункту 9.5.13 ДБН [2] визначити товщину опорного ребра, необхідну для передачі поперечної сили Q_m:

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

      де b_r – ширина ребра, яка звичайно приймається рівною ширині полички запроектованої головної балки;
    - за вимогами пункту 16.1.16 ДБН [2] та вказівками до практичного заняття № 2 визначити катет зварних швів, якими опорне ребро прикріплюється до стінки балки (довжина двосторонніх швів приймається рівною висоті стінки).
19. Другорядна балка перекриття зазвичай обпирається на головні балки, прикріплюючись до поперечних ребер жорсткості за допомогою болтів класу точності В або високоміцних болтів, які утворюють фрикційне з'єднання. Розрахунок опорного вузла зводиться до вибору діаметра та обчислення кількості болтів, необхідної для передачі поперечної сили Q_m з пункту 10, а також до перевірки можливості розміщення отриманої кількості болтів в один ряд уздовж висоти стінки другорядної балки згідно з вимогами таблиці 16.3 ДБН [2]. Методика розрахунку з'єднань на болтах розглянута в ДБН [2], підручниках [7, 8] та в практичному занятті № 3.

Практичне заняття № 4

ПРОЄКТУВАННЯ БАЗИ ЦЕНТРАЛЬНО СТИСНУТОЇ КОЛОНИ

Мета заняття: вивчити поширені конструкції та порядок розрахунку баз центрально стиснутих колон.

Вихідні дані: переріз колони, діюче навантаження N (з урахуванням коефіцієнта відповідальності), коефіцієнт умов роботи колони γ_c, клас міцності бетону для фундаменту.

Алгоритм виконання завдання відповідає вимогам ДБН [2] та рекомендаціям підручників [7, 8]. Розрахунок і конструювання бази центрально стиснутої колони з траверсами та ребрами здійснюється в такому порядку:

1. За таблицею В.3, розробленою за даними ДБН В.2.6-98:2009 "Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі зміною № 1", визначаємо розрахунковий опір бетону заданого класу міцності при стиску R_b.
2. Визначаємо необхідну площу опорної плити з умови міцності бетону:

$$A_{пл} = \frac{N}{R_b \gamma_c},$$

3. Призначаємо розміри опорної плити в плані з урахуванням таких вимог:
   - форма плити наближається до квадрата, а добуток її довжини й ширини не менший від необхідної площі, тобто $L \times B \geq A_{пл}$;
   - консольні звіси плити від країв габариту перерізу колони зазвичай становлять 30…100 мм;
   - в межах опорної плити повинні розміститися отвори або вирізи діаметром 50…60 мм під анкерні болти діаметром 20…30 мм з урахуванням місця під ключ за таблицею В.4.
4. Керуючись прикладами з підручників [7, с. 312] та [8, с. 97], обираємо схему бази з траверсами та додатковими ребрами, яка задовольняє умови пункту 4. При відсутності місця для розміщення отворів під анкерні болти слід збільшити розміри плити в плані B×L. При цьому бажано понизити клас міцності бетону фундаменту з відповідним коригуванням площі плити згідно з пунктом 2.
5. З урахуванням прийнятих розмірів опорної плити визначаємо фактичне значення реактивного тиску фундаменту на плиту за формулою

$$q = \frac{N}{L \times B}.$$

6. На плані опорної плити виділяємо ділянки, обперті на одну, дві, три та чотири сторони, за ескізом бази з пункту 4 встановлюємо їх розміри та

обчислюємо згинальні моменти в плиті за формулами з додатку М.2 й коефіцієнтами з таблиці М.2 ДБН [2].

7. За найбільшим згинальним моментом обчислюємо необхідну товщину плити з умови згину за формулою (11.1) ДБН [2]. Розрахунковий опір сталі слід визначати за даними ДСТУ 8539:2015 [3] чи інших стандартів на листовий прокат та формулами з таблиці 7.1 ДБН [2] згідно з методикою, викладеною в практичному занятті № 1. При цьому можливе коригування розрахункового опору товстолистового прокату з урахуванням фактично отриманої товщини опорної плити.
8. Якщо товщина опорної плити отримана недопустимо великою внаслідок різкої відмінності найбільшого згинального моменту в плиті від моментів на інших ділянках, рекомендується на цій ділянці встановити додаткові ребра, які підкріпляють опорну плиту, та повторити розрахунки за пунктами 6 і 7. Остаточне значення товщини опорної плити призначається згідно з сортаментом листового прокату з [9].
9. Висота траверс $h_т$ приймається рівною 0,5…0,7 габариту перерізу колони, а товщина – (1/20…1/15)×$h_т$. За ескізом бази визначається кількість кутових швів (як правило – 4), якими траверси приварюються до стержня колони.
10. Катет швів, якими необхідно приварити траверси до стержні колони, обчислюється за формулами (16.2) та (16.3) ДБН [2] з умов міцності металу шва та межі сплавлення з основним металом:

$$k_f = \frac{N}{\beta_f R_{yf} \gamma_c \left(h_T - 2см\right)}, \qquad k_z = \frac{N}{\beta_z R_{yz} \gamma_c \left(h_T - 2см\right)}.$$

Усі величини, що входять до наведених формул, визначаються за ДБН [2] та вказівками до практичного заняття № 2. За більшим значенням приймаємо один зі стандартних катетів кутових швів та перевіряємо відповідність прийнятого катета шва до конструктивних вимог, викладених в пункті 16.1.5 ДБН [2].

11. Розміри додаткових ребер призначаються з конструктивних міркувань, а їх розрахунок зводиться до визначення катерів кутових швів, якими вони приварюються до стержня колони чи до траверс. Методика цих розрахунків наведена в підручниках [7, 8].
12. Діаметр анкерних болтів приймається рівним 20, 24 чи 30 мм залежно від профілю стержня колони. Положення колони в плані фіксується за допомогою шайб, які мають отвори на 2 мм більші від діаметру анкерних болтів і приварюються до опорної плити після правильного виставлення колони на фундаменті.

Практичне заняття № 5

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ В'ЯЗЕЙ КАРКАСУ ОДНОПОВЕРХОВОЇ ВИРОБНИЧОЇ ЧИ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ

Мета заняття: вивчити призначення й вимоги до в'язей каркасів одноповерхових виробничих і громадських будівель, розробити систему в'язей для будівлі з заданими параметрами згідно з вимогами ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції".

Вихідні дані: конструктивна схема каркасу, зокрема: кількість прольотів, проліт і крок поперечних рам, загальна довжина будівлі, наявність і вантажопідйомність мостових чи підвісних кранів, конструктивна схема й типи перерізів стержнів кроквяних ферм.

Завдання практичного заняття: розробити схеми в'язей по верхніх і нижніх поясах ферм, а також вертикальних в'язей по колонах та фермах.

Порядок виконання завдань:

1. За пунктами 7.2.1 і 7.2.2 ДБН В.2.6-198:2014 [2] встановити найбільші допустимі відстані між поперечними та поздовжніми температурними швами і в разі необхідності розділити будівлю на температурні блоки.
2. Виходячи з прийнятої довжини кожного температурного блоку, за пунктом 17.2.3 ДБН [2] встановити кількість і місця розміщення вертикальних в'язей по колонах. При цьому слід врахувати вимогу пункту 17.5.1 ДБН [2] щодо наявності самостійної системи в'язей в кожному температурному блоці.
3. Обрати схеми вертикальних в'язей по нижній (від фундаменту до підкранової балки) та по верхній (від підкранової балки до низу кроквяної ферми) частині колон. Кількість панелей хрестової решітки в'язей обирається таким чином, щоб кут нахилу розкосу був близьким до 45°.
4. Згідно з вказівками пункту 7.5.5 ДБН [2] встановити необхідність та розробити схему поздовжніх в'язей по нижніх поясах кроквяних ферм. При цьому слід урахувати: кількість прогонів будівлі, відмітку низу кроквяних конструкцій, вантажопідйомність та режим роботи мостових кранів.
5. Керуючись вказівками пункту 7.5.4 ДБН [2], розробити схеми поперечних та вертикальних в'язей по фермах. За наявності поздовжніх в'язей по нижніх поясах ферм поперечні в'язі також розміщують у рівні нижніх поясів, щоб у межах температурного блоку вони утворювали замкнутий контур в одній горизонтальній площині. При відсутності поздовжніх в'язей по нижніх поясах ферм поперечні в'язі можуть розміщуватися в рівні верхніх поясів. За наявності жорсткого диску покрівлі (залізобетонні плити чи прикріплений до прогонів покрівлі сталевий настил) на період монтажу встановлюються тимчасові збірно-розбірні в'язі.

6. При виконанні кроквяних ферм з круглих, квадратних чи прямокутних труб в'язі по фермах виконуються з аналогічних профілів і мають розкісну решітку. В'язі по фермах з кутиків і таврів зазвичай мають хрестову решітку з розкосами з одиночних кутиків та стійками хрестового перерізу з парних кутиків. В усіх випадках вузли в'язей повинні співпадати з вузлами ферм, а кут нахилу розкосу має бути близьким до 45°.
7. Перерізи елементів в'язей визначаються розрахунком на дію вітрового навантаження та поздовжнього гальмування кранів. При цьому, згідно з пунктом 13.4.1 ДБН [2], гнучкість стиснутих елементів в'язей не повинна перевищувати 200, а розтягнутих – 400.
8. Результатом роботи повинні бути такі схеми в'язей каркасу для найбільшого температурного блоку: горизонтальні в'язі по верхніх та нижніх поясах кроквяних ферм, вертикальні в'язі по коньку та на опорах ферм, вертикальні в'язі по колонах.

Практичне заняття № 6

РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ КРОКВЯНИХ ФЕРМ

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

Вихідні дані: отримані при виконанні курсової роботи чи вказані в індивідуальному завданні перерізи та зусилля в стержнях, які примикають до вузла, клас міцності сталі, товщина фасонки для ферм з поясами з парних курників, опорна реакція ферми для розрахунку опорного вузла. Викладач визначає для розв'язання на занятті 2–3 задачі з числа описаних нижче.

Задача 1. Розрахувати шви прикріплення елементів решітки з парних кутиків до поясу ферми, виконаного з парних кутиків чи прокатних таврів.

Алгоритм розрахунку. Розрахунок проміжних вузлів ферм з решітками з парних кутиків полягає у визначенні довжини швів, якими елементи решітки приварюються до вузлової фасонки. Якщо пояси виконуються з прокатних таврів, роль фасонки частково відіграє стінка тавра, яка у вузлі може бути розширена додатковою фасонкою. Кріплення кожного кутика здійснюється фланговими швами вздовж обушка та вздовж пера, як це показано на рисунку 6.1. Оскільки на обушок передається більша частина зусилля в стержні, шов біля обушка проварюють приблизно удвічі більшим катетом, ніж шов біля пера.

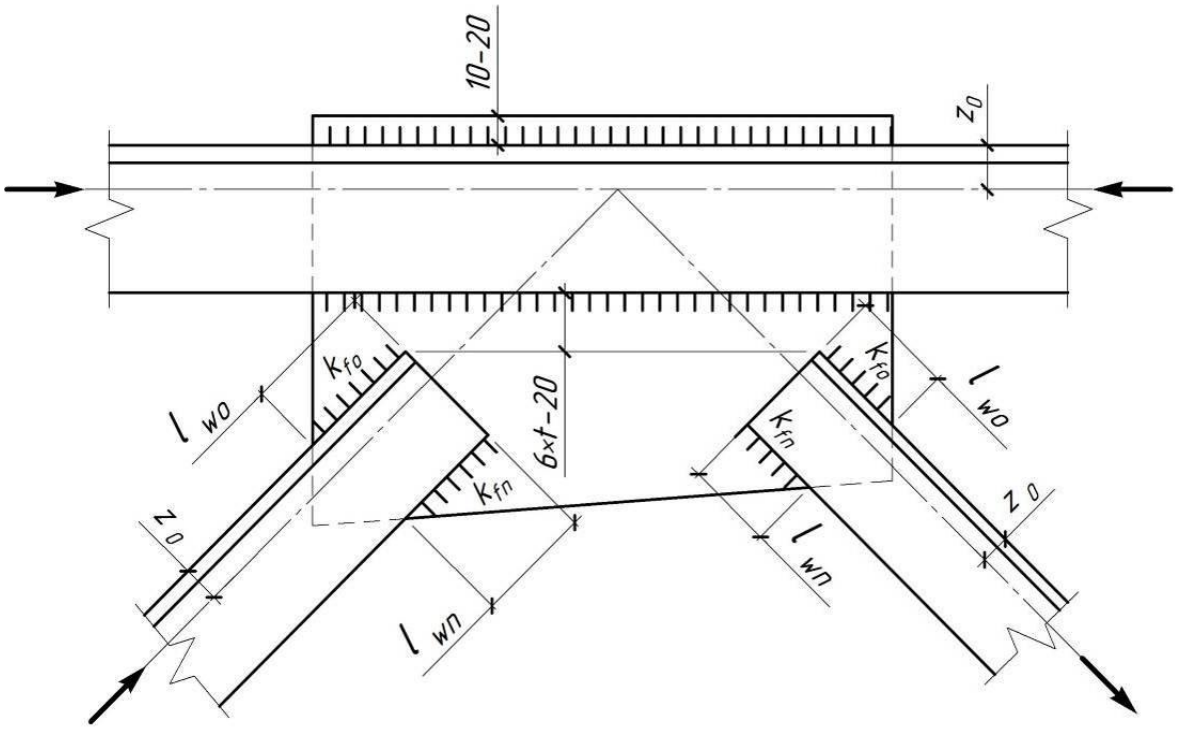

Рис. 6.1 Розрахункова схема проміжного вузла ферми з парних кутиків

Для розрахунку швів кріплення елементів решітки необхідно:

1. Проаналізувати перерізи стержнів та вибрати 2…3 катети зварних швів, якими може бути зварена ферма. При цьому слід керуватися вказівками пункту 16.1.5 ДБН В.2.6-198:2014 [2] та забезпечити, щоб обрані катети швів відрізнялися не менше, ніж на 2 мм.
2. За вказівками пункту 16.1.16 ДБН [3] та алгоритму розв'язку задачі 4 з практичного заняття № 2 визначити несучі здатності одного погонного сантиметра кожного з обраних швів за металом шва і за металом межі сплавлення при l_w = 1 см

$$N_{wf} = k_f \beta_f l_w R_{wf} \gamma_c \qquad N_{wz} = k_f \beta_f l_w R_{wf} \gamma_c$$

   та в якості розрахункової несучої здатності кожного шва N_w обрати менше значення з N_{wf} та N_{wz}
3. Для кожного стержня решітки вибрати шви максимально можливого катета для приварки обушка k_{fo} і пера k_{fn}, виходячи з товщини фасонки $t_ф$ і кутика $t_к$ та керуючись конструктивними обмеженнями, вказаними в пункті 16.1.5 і на рисунку 1.16 ДБН [2]: $k_{fo} \le 1{,}2 \times t_ф$; $k_{fo} \le 1{,}2 \times t_к$; $k_{fn} \le 0{,}9 \times t_к$; $k_{fn} \le 1{,}2 \times t_ф$.
4. Визначити необхідну довжину шва біля обушка та біля пера кожного елемента решітки за формулами:

$$l_{wo} = \frac{\alpha_o N}{2\, N_{wo}} + k_{fo}; \qquad l_{wn} = \frac{\alpha_n N}{2\, N_{wn}} + k_{fn},$$

   де N – розрахункове зусилля в стержні;

   k_{fo} і k_{fn} – катети швів, прийнятих для приварювання обушка пера кутиків;

   N_{wo} і N_{wn} – несучі здатності 1 см швів з катетами k_{fo} і k_{fn}, з пункту 2;

   α_o і α_n – коефіцієнти розподілу зусилля між пером і обушком кутика з наступної таблиці:

Тип перерізу			
Шов біля обушка α_o=	0,65	0,7	0,75
Шов біля пера α_n=	0,35	0,3	0,25

5. Довжину швів, обчислену в пункті 4, приймають не меншою за 4×k_f і не меншою за 50 мм (відповідно до пункту 16.1.5 ДБН [2]) з округленням до 5 мм у більшу сторону. Виходячи з цієї вимоги, стержні з невеликими зусиллями можна приварювати вздовж пера та вздовж обушка швами найменшого катету, якщо їх довжина відповідає необхідній за пунктом 4.
6. Конструювання вузла здійснюється за зразком рисунка 6.1 і зводиться до визначення розмірів фасонок з умови розміщення розрахованих вище зварних швів. При розробленні конструкції вузла враховують конструктивні вимоги, які в основному викладені в пунктах 17.3.1, 17.3.3, 17.3.4 ДБН [2]:

- усі стержні центруються у вузлах ферми за центрами ваги перерізів з округленням до 5 мм;
- у фермах з поясами із кутиків елементи решітки прикріпляють до вузлових фасонок;
- у фермах з поясами із прокатних таврів елементи решітки приварюють безпосередньо до стінки тавра, а якщо ширини стінки не вистачає для розміщення розрахованих зварних швів, до неї приварюють додаткові фасонки встик з проваром на всю товщину;
- відстані між краями елементів решітки і пояса у фермах з поясами з парних кутиків та відстані між сусідніми зварними швами повинні бути не меншими за $6\times t_{Ф}$–20 мм і не більшими за 80 мм;
- відстань від торця розкосу чи стійки до полички таврового пояса ферми приймається на 10 мм більшою від радіуса закруглення полички тавра;
- розраховані флангові шви кріплення стержнів решітки проварюють до краю фасонки і виводять на торець стержня на 20 мм;
- для забезпечення технологічності виготовлення, фасонки, як правило, повинні мати форму прямокутника або прямокутної трапеції.

7. З метою виконання вимог розрахунку та перелічених конструктивних вимог конструювання вузлів ферми здійснюють у такому порядку:
   - наносять осі стержнів, що примикають до вузла;
   - паралельно осям проводять лінії граней стержнів по ширині (обушок і перо) з урахуванням їх центрування за центрами ваги перерізів;
   - визначають положення торців розкосів і стійок згідно із наведеними вище конструктивними вимогами (зазвичай ближче до пояса доводять більш навантажений розкіс, який треба приварити довшими швами);
   - від торців стержнів ґратки відкладають довжини флангових швів, якими прикріплюються обушки і пера кутиків;
   - за кінцями зварних швів визначають форму і розміри фасонки, яка повинна відходити від стержня під кутом, не меншим за 15^{o};
   - зварні шви проварюють на всю ширину фасонки, а на кресленні вузла вказують їх фактичну довжину, яка може бути більша за розраховану в пункті 4. Вимушене збільшення довжини швів дозволяє зменшити їх катети з перерахунком за пунктами 2…4;
   - на кресленні вузла маркують зварні шви, проставляють розміри фасонок та їх прив’язку до центру вузла, а також відстані від центра вузла до торців елементів решітки.

Приклади конструктивних рішень проміжних вузлів ферм з парних кутиків і прокатних таврів наведені в підручниках [7, 8].

Задача 2. Розрахувати шви прикріплення елементів решітки до поясу ферми, виконаної з гнутих замкнутих профілів (прямокутних і квадратних труб) у проміжному вузлі верхнього чи нижнього поясу.

Алгоритм розрахунку. Проміжні вузли ферм із прямокутних та квадратних труб виконують шляхом безпосереднього приварювання елементів ґраток до поясів, як це показано в підручниках [7, 8]. Стержні приварюють кутовими зварними швами, або стиковими швами з повним проваром товщини стінки (технологічно складніший варіант, який вимагає обробки кромок). Розрахунок проміжних вузлів рекомендується проводити у такій послідовності:

1. Накреслити ескізи вузлів у досить крупному масштабі (1:10 чи 1:5). Якщо шви кріплення суміжних стержнів перетинаються, слід проаналізувати можливість зменшення габаритних розмірів поперечних перерізів елементів решітки, або збільшення габаритних розмірів поперечних перерізів поясу (з повторенням відповідних перевірок міцності чи стійкості цих стержнів). Допускається також зміщення точки перетину стержнів решітки з осі пояса (розцентровка вузла) в межах 25% висоти перерізу пояса.
2. За ескізами вузлів виміряти довжину швів прикріплення стержнів решітки до пояса (по контуру примикання стержнів) та обчислити катети зварних швів, необхідних для їх приварювання. Розрахунок виконується згідно з формулами (16.2) і (16.3) ДБН [2] у площині наплавленого металу чи в площині металу межі сплавлення:

$$k_f = \frac{N\gamma_n}{\beta_f l_w R_{wf} \gamma_c} \quad \text{при} \quad \left(\beta_f R_{wf}\right) \Big/ \left(0{,}45\beta_z R_{un}\right) \le 1 ;$$

$$k_f = \frac{N\gamma_n}{\beta_z l_w R_{wz} \gamma_c} \quad \text{при} \quad \left(\beta_f R_{wf}\right) \Big/ \left(0{,}45\beta_z R_{un}\right) > 1 ,$$

де N – розрахункове зусилля в стержні;

l_w – виміряна на ескізі вузла довжина шва по контуру примикання стержня;

інші величини визначаються за ДБН [2] у порядку, відображеному в задачі 4 практичного заняття № 2.

3. Якщо обчислений за формулами пункту 2 та округлений до найближчого більшого стандартного розміру (від 3 мм до 10 мм з інтервалом 1 мм) катет шва не перевищує $1{,}2\times t_{min}$ (меншої товщини стінок поясу чи стержня решітки, що з'єднуються), стержень приварюється кутовими швами. Якщо $k_f > 1{,}2\times t_{min}$, слід перевірити можливість приварювання стержня стиковим швом з повним проваром стінки. Як виняток, можна також збільшити товщину стінки стержня, яка обмежує катет шва.

4. Розрахунок стикового шва виконується за формулою (16.1) ДБН [2], у якій товщина шва t дорівнює товщині стержня решітки, а його довжина l_w приймається за пунктом 2. Розрахунковий опір зварного шва при відсутності контролю фізичними методами визначається згідно з таблицею 7.3 ДБН [2], а саме: $R_{wy}=R_y$ при кріпленні стиснутого елемента решітки та $R_{wy}=0,85\times R_y$ при кріпленні розтягнутого елемента решітки.
5. Конструювання проміжних вузлів ферм із гнутих замкнутих профілів виконується паралельно з їх розрахунком. Порядок конструювання загалом такий же, як і при конструюванні проміжних вузлів ферм із парних кутиків і прокатних таврів. Специфічні конструктивні вимоги, які необхідно виконати при розрахунку та конструюванні, викладені в підручниках [7, 8]. З метою забезпечення корозійної стійкості зварні шви повинні забезпечувати герметизацію внутрішніх порожнин усіх профілів. Приклади рішень проміжних вузлів ферм із гнутих замкнутих профілів наведені в підручниках [7, 8].

Задача 3. Розрахувати та законструювати нижній опорний вузол ферми, виконаної з парних кутиків, при відомій опорній реакції ферми, а також зусиллях і перерізах нижнього поясу та опорного розкосу.

Алгоритм розв'язання задачі. У вузлах обпирання кроквяних ферм на сталеві колони опорна реакція передається через опорний фланець, пристругаий нижній торець якого працює на зминання. При значній висоті ферми на опорі для кріплення стінового огородження влаштовують надопорну стійку із зварного двотавра, яка кріпиться збоку до торця ферми. Зовнішня грань надопорної стійки повинна бути в одній площині із зовнішньою гранню колони. Конструктивна схема вузла зображена на рисунку 6.2, а інші приклади конструктивних рішень опорних вузлів ферм наведені в підручниках [7, 8].

При проектуванні опорного вузла необхідно:

1. За методикою, викладеною в задачі 1, розрахувати зварні шви кріплення нижнього поясу та опорного розкосу до фасонки опорного вузла.
2. Виходячи з отриманих у пункті 1 довжин швів прикріплення нижнього поясу та опорного розкосу, накреслити ескіз вузла, за яким встановити розміри фасонки, висоту опорного фланця ферми $h_ф$ та довжину швів його прикріплення до опорного вузла $l_{wф}$. При розробленні ескізу слід урахувати, що фасонка відходить від стержня під кутом не меншим за 15º. Надопорна стійка кріпиться болтами класу точності С найменшого класу міцності 5.6 діаметром 16 – 20 мм. Положення отворів під ці конструктивні болти визначають з урахуванням місця під ключ з таблиці В.4.

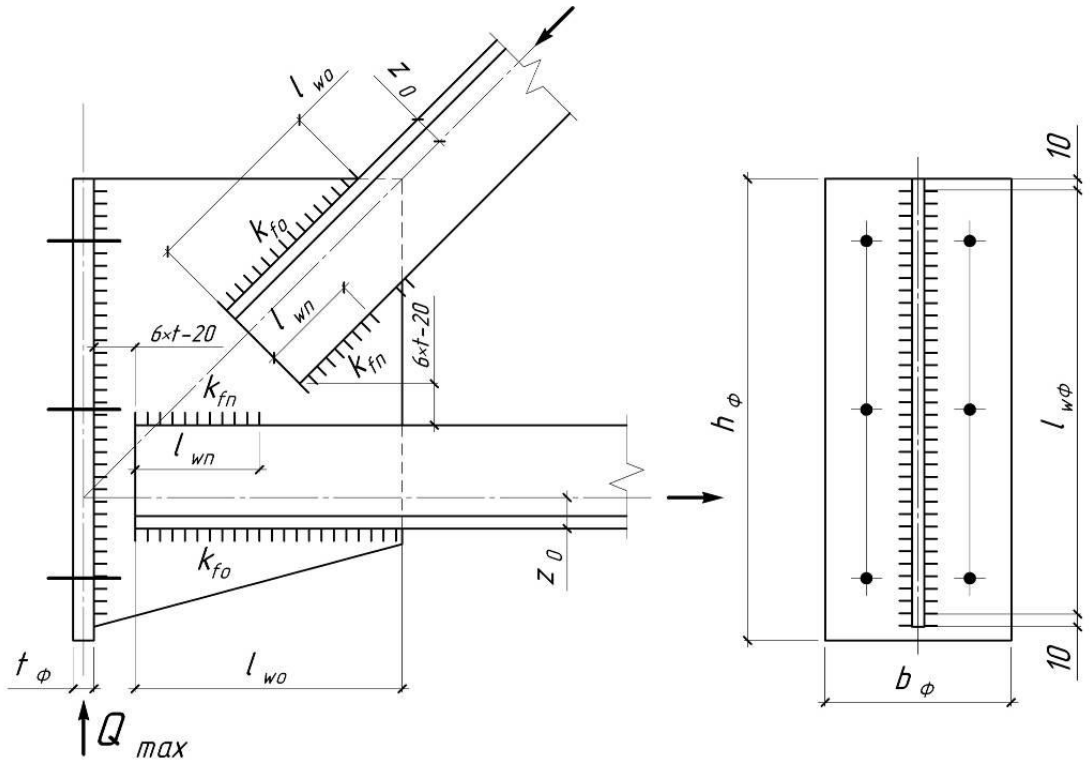

Рис. 6.2. Розрахункова схема опорного вузли ферми з парних кутиків

3. За виміряною довжиною зварних швів $l_{wф}$, якими опорний фланець кріпиться до фасонки ферми, визначити необхідний катет двох швів з формул (16.2) та (16.3) ДБН [2]. Сумарна розрахункова довжина швів приймається рівною $2\times l_{wф}$. Методика визначення інших величин, що входять до цих формул, наведена в практичному занятті № 2. Отриманий катет шва бажано уніфікувати з іншими швами, якими зварюється ферма.
4. Із конструктивних міркувань встановити ширину опорного фланця $b_Ф$, врахувавши: габарити перерізів нижнього поясу та опорного розкосу, місця установки болтів для кріплення надопорної стійки та кріплення ферми до оголовка колони, ширину оголовка колони.
5. З умов роботи на стиск під дією опорної реакції ферми Q_{max} визначити необхідну товщину опорного фланця

$$t_Ф = \frac{k\,\gamma_n\,Q_{max}}{b_Ф\,R_y\,\gamma_c}$$

Коефіцієнт k враховує нерівномірність розподілу тиску під опорним фланцем унаслідок можливої неточності його встановлення (перекосу). Для ферм з парних кутиків і таврів приймають k=1,2, а для ферм із більш жорстких на скручування гнутозварних замкнутих профілів $\boldsymbol{k}$ =1,5. Товщину опорного фланця приймають не меншою за товщину фасонки ферми.

Задача 4. Розрахувати та законструювати монтажний стик ферми на накладках. Решітка ферми виконана з парних кутиків, а пояси – з парних кутиків або прокатних таврів; задані класи міцності сталі, зусилля й перерізи поясу та суміжних з вузлом елементів решітки.

Алгоритм розв'язання задачі. Укрупнювальний монтажний стик проектується з метою розділення ферми на відправні марки для полегшення транспортування. Перед установкою ферми в проектне положення на будівельному майданчику відправні марки об’єднуються в завершену конструкцію ферми. Виходячи з такої технології виготовлення й монтажу, конструкція укрупнювального стика повинна забезпечувати ідентичність обох відправних марок, достатню міцність і можливість якісного збирання вузлів в умовах будівельного майданчика.

Монтажні стики ферм з парних кутиків зазвичай виконуються на вертикальних і горизонтальних накладках, які з’єднують фасонки та пояси ферми. Ці накладки можуть кріпитися за допомогою монтажного зварювання, або утворювати фрикційне з’єднання на високоміцних болтах. Конструктивна схема монтажного стика ферми з парних кутиків на приварених накладках зображена на рисунку 6.3. Приклади інших конструктивних рішень укрупнювальних монтажних вузлів ферм наведені в підручниках [7, 8].

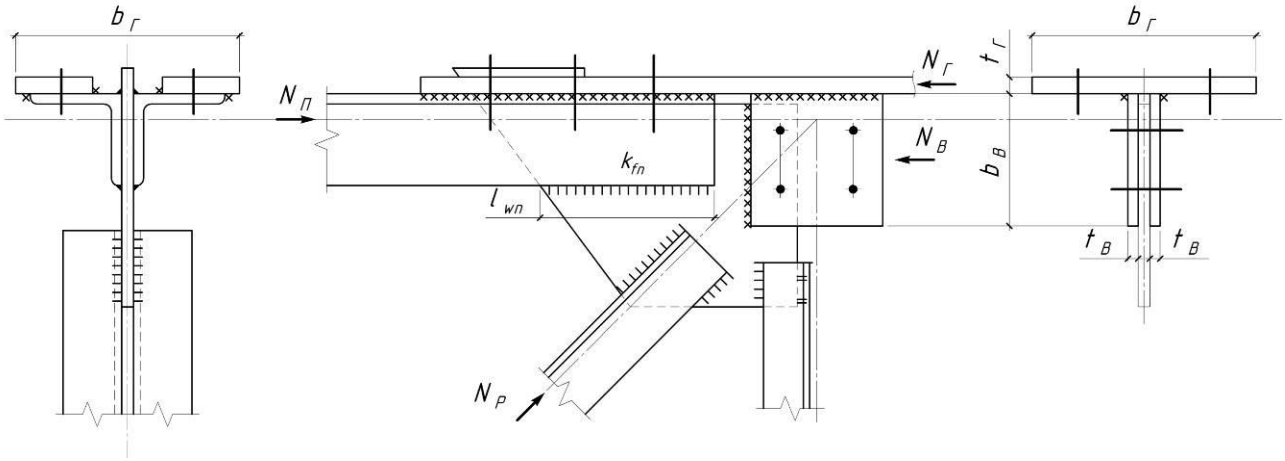

Рис. 6.3. Розрахункова схема монтажного стика на приварених накладках

Монтажний стик на приварених накладках у фермах з парних кутиків та в фермах з поясами із прокатних таврів проектують у такому порядку:

1. За відомими зусиллями в стержнях визначають розрахункове зусилля N, яке передається через стик, як геометричну суму проекцій на горизонтальну ось зусиль у поясі $N_П$ та в розкосі N_P, що примикає до укрупнювального вузла.
2. Зусилля N, що передається через стик, розподіляють між горизонтальними та вертикальними накладками із 10% запасом:

$$N_Г = 0{,}75\,N\gamma_n; \qquad N_B = 0{,}35\,N\gamma_n.$$

3. За методикою практичного заняття № 1 з використанням нормативних документів [2, 4] вибирають клас міцності сталі для накладок та визначають розрахунковий опір листового прокату цієї сталі.
4. Загальну ширину горизонтальних накладок (однієї чи двох роздільних для кожного кутика пояса) $b_Г$ визначають конструктивно за шириною пояса, а їх товщину обчислюють з умови міцності

$$t_Г = \frac{N_Г}{b_Г R_y \gamma_c}$$

та приймають на меншою від товщини фасонок ферми
5. Сумарну довжину швів, необхідних для приварювання горизонтальних накладок до однієї відправної марки ферми визначають з формул (16.2) та (16.3) ДБН [2], керуючись рекомендаціями практичного заняття № 2 щодо визначення розрахункових величин. Отримані шви розподіляють по накладках з урахуванням контурів накладок, визначених у процесі конструювання вузла.
6. Висоту вертикальних накладок b_B, які ставляться з обох боків фасонки, визначають конструктивно з урахуванням загальної компоновки вузла, розміщення стержнів та монтажних болтів на вертикальних накладках для тимчасового кріплення при складання вузла. Товщину вертикальних накладок обчислюють з умови міцності

$$t_B = \frac{N_B}{2\, b_B\, R_y \gamma_c}$$

і також приймають не меншою за товщину фасонок.
7. Катет зварних швів, якими вертикальні накладки приварюються до фасонок ферми, визначають з формул (16.2) та (16.3) ДБН [2], керуючись рекомендаціями практичного заняття № 2 щодо визначення розрахункових величин. При цьому враховують зусилля N_B і наявність двох швів, довжина яких дорівнює висоті накладок b_B.
8. Тимчасові болти, призначені для складання вузла перед зварюванням, встановлюють діаметром 16 мм чи 20 мм (у легких конструкціях можна ставити болти діаметром 10 мм чи 12 мм), класу точності С та мінімального класу міцності 5.6. Ці болти ставлять на максимальних відстанях за таблицею 16.3 ДБН [2] з урахуванням рисок кутиків з таблиці В.1 та місця під ключ з таблиці В.4 додатка В.

Фрикційний монтажний стик на накладках і високоміцних болтах проектують таким же чином, як і попередній варіант стика на зварюванні, але замість розрахунку монтажного зварювання в пунктах 5 і 7 виконують розрахунок фрикційних з'єднань на високоміцних болтах згідно з вимогами

пункту 16.3 ДБН [3] та рекомендаціями до практичного заняття № 2. Кріплення вертикальних накладок має дві площини тертя, а кріплення горизонтальної накладки – одну площину тертя. При встановленні горизонтальних накладок не лише зверху, але й знизу горизонтальної полички пояса утворюються дві площини тертя, що удвічі зменшує необхідну кількість високоміцних болтів. Оскільки укрупнювальні вузли складаються в умовах будівельного майданчика, коефіцієнт тертя у фрикційному з'єднанні вибирають за таблицею 16.5 ДБН [2] для одного з технологічно доступних способів обробки поверхонь (можливо, навіть без обробки). Високоміцні болти ставлять на мінімальних відстанях за таблицею 16.3 ДБН [2] з урахуванням загальних габаритів вузла, рисок кутиків за таблицею В.1 та місця під ключ за таблицею В.4 додатка В.

Задача 5. Розрахувати та законструювати монтажний стик ферми на фланцях і високоміцних болтах. Решітка ферми виконана з парних кутиків, а пояси – з прокатних таврів; відомі класи міцності сталі, зусилля й перерізи поясу та суміжних з вузлом елементів решітки.

Алгоритм розв'язання задачі. Укрупнювальний монтажний стик проектується з метою розділення ферми на відправні марки для полегшення

Монтажні стики ферм на фланцях доцільно використовувати у фермах з поясами з прокатних таврів, або у фермах з гнутих замкнутих профілів (прямокутних та квадратних труб). У фланцевому з'єднанні нижнього поясу зусилля передається високоміцними болтами, що працюють на розтяг. З'єднання верхнього пояса також виконується на високоміцних болтах, які призначаються конструктивно та забезпечують обтиск стика з метою захисту від щілинної корозії. Стискаюче зусилля у монтажному вузлі верхнього поясу передається за рахунок безпосереднього контакту фланців.

Фланцевий монтажний стик проектують з урахуванням вимог пункту 17.12 ДБН [2] у такому порядку:

1. Розрахункове зусилля N, що передається через вузол з'єднання розтягнутого нижнього поясу, визначають за відомими зусиллями в стержнях як геометричну суму проекцій на горизонтальну ось зусиль у поясі $N_П$ та в розкосі $N_Р$, який примикає до укрупнювального вузла. Стик верхнього пояса працює за рахунок безпосереднього контакту фланців, а тому виконується конструктивно. У ньому зазвичай використовують фланці тієї ж товщини та мінімально можливу кількість високоміцних болтів того ж діаметра, що й у нижньому укрупнювальному вузлі.

2. За таблицею Д.7 ДБН [2] вибирають діаметр високоміцних болтів та визначають їх розрахунковий опір при розтягу R_{bt}. У випадку використання в легких конструкціях звичайних болтів високого класу міцності їх розрахунковий опір при розтягу визначають за таблицею Д.4 ДБН [2]. Площу болта нетто A_{bn} (по різьбі) визначають за стандартом на болти або за таблицею В.2 з додатка В.
3. Згідно з формулами пункту 16.14 і 16.15 ДБН [2] обчислюють необхідну кількість болтів для сприйняття зусилля в стику N при розтягу:

$$n_b = \frac{N\gamma_n}{A_{bn}R_{bt}\gamma_c},$$

у якій коефіцієнт γс визначається за таблицею 5.1 ДБН [2].
4. Креслять ескіз вузла в крупному масштабі, за яким можна визначити форму та розміри вузлових фасонок і розмістити високоміцні болти. Схема фланцевого монтажного стика ферми із поясами з прокатних таврів (зображена лише ліва половина вузла) наведена на рисунку 6.4. Можливі конструкції фланцевих укрупнювальних вузлів ферм з гнутих замкнутих профілів наведені в підручниках [7, 8].

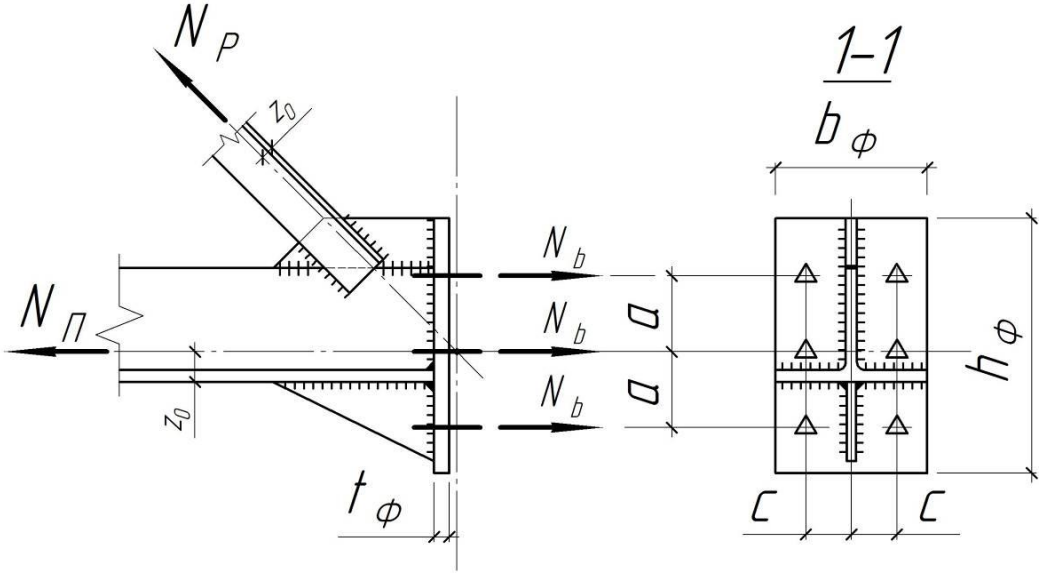

Рис. 6.4. Розрахункова схема фланцевого монтажного вузла ферми

5. Болти на ескізі вузла розміщуютьв таким чином, щоб відстані між ними відповідали вимогам таблиці 16.3 ДБН [2] та розмірам місця під ключ з таблиці В.4. Для рівномірного навантаження болтів їх необхідно розмістити симетрично відносно осі пояса, що на рисунку 6.4 забезпечується розвинутою нижньою частиною фланця. У процесі розміщення болтів встановлюються розміри фланця $b_ф$ та $h_ф$. При неможливості правильного розміщення болтів слід змінити діаметр болта й повторити розрахунки за пунктами 2…4.

6. За формулами (16.2) і (16.3) ДБН [2] і методикою, викладеною в практичному занятті № 2, розраховують зварні шви прикріплення фланця на зусилля N з пункту 1. Сумарна довжина швів обчислюється за формулою $l_w = 2 \times (h_Ф + b_Ф)$, або вимірюється на кресленні вузла по контуру прикріплення фланця. Недостача несучої здатності цих швів компенсується додатковими ребрами жорсткості, які підсилюють фланець при роботі на згин, передають на нього частину діючого зусилля N та збільшують сумарну довжину швів приварки фланця до поясу ферми.
7. Товщина фланця визначається з умов роботи на згин. У запас міцності товщину фланця можна розрахувати за схемою консольної балки при дії зусилля в одному болті $N_b = N / n_b$:

$$t_Ф = \sqrt{\frac{6\, c\, N_b}{a\, R_y \gamma_c}}$$

у якій R_y – розрахунковий опір сталі, визначений за нормами [2, 4] та методикою практичного заняття № 1 з урахуванням товщини фланця; розміри a і c позначені на рисунку 6.4. Згідно з вимогами пункту 17.12.1 ДБН [2], листову сталь для фланців слід обирати з урахуванням гарантії властивостей у напрямку поперек прокату.

Практичне заняття № 7

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З МЕТОДАМИ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ПЕРЕБУВАЮТЬ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета заняття: ознайомитися з методами оцінювання технічного стану сталевих конструкцій, що перебувають в експлуатації, за такими документами та джерелами:

ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" [2];

ДСТУ Б В.2.6-210:2016 "Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються" [6];

підручники [7], [8].

Перелік і порядок виконання завдань практичного заняття. На занятті необхідно ознайомитися з рекомендованими джерелами, звернувши увагу на такі поняття й методи:

- категорії технічного стану конструкцій: нормальний, задовільний, непридатний до нормальної експлуатації", аварійний та обмеження щодо подальшої експлуатації конструкцій – [6], п. 5.3; [7], с. 712
- загальні принципи та методи оцінювання технічного стану конструкцій: аналіз досвіду експлуатації, перевірні розрахунки, експериментальна перевірка пробним навантаженням – [6], п. 5.4, 5.5; [7], с. 712
- мета, необхідність виконання та планування поточного нагляду й спеціальних обстежень сталевих конструкцій – [6], п. 6.1; [2], п. 18.1.1; [7], с. 712…713; [8], с. 257
- програма обстеження та підготовчі роботи – [6], п. 6.2
- завдання та результати візуального обстеження конструкцій – [6], п. 6.3
- необхідність і завдання детального обстеження: вимірювальні роботи, виявлення та фіксація й класифікація дефектів і пошкоджень сталевих конструкцій – [6], п. 6.4, 6.5; [7], с. 713
- характерні дефекти й пошкодження сталевих конструкцій, їх гранично допустимі значення та класифікація за категоріями – [6], додаток В; [7], с. 713; [8], с. 257
- уточнення властивостей і визначення розрахункового опору сталі та з'єднань – [6], п. 6.6; [2], п. 18.2; [7], с. 713…715
- методи уточнення навантажень і впливів на конструкції – [6], п. 6.7; [7], с. 715…717; [8], с. 257
- зміст звіту про результати обстежень – [6], п. 6.8; [8], с. 258
- перевірні розрахунки несучих конструкцій з урахуванням дефектів і пошкоджень – [6], розділ 7; [7], с.717...725

- методика оцінювання загального фізичного зносу сталевих конструкцій за результатами обстежень і перевірних розрахунків – [6], додаток Д
- методи і результати оцінювання технічного стану сталевих конструкцій та розроблення рекомендацій щодо їх подальшої експлуатації – [6], розділ 8, таблиця Д.1; [7], с.725…726

Результати вивчення вказаних джерел оформлюються у вигляді короткого конспекту, у якому повинні бути формулювання основних понять та перелік методик, які використовуються при оцінюванні технічного стану сталевих конструкцій, з посиланнями на відповідні джерела.

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 із Зміною №1. − К., 2022. – 35 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199634775304307868?doc_type=2
2. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі зміною № 1. – К., 2022. – 220 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/32008698405123542 18?doc_type=2
3. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі зміною №1 і №2. К.: Мінбуд України, 2020. – 68 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199621970136139233?doc_type=2
4. ДСТУ 8539:2015. Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови. К., 2066 – 20 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTU2/dstu_8539-2015.pdf
5. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. К., 2006 – 15 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY4/dsty_b_v.1.2-3-2006.pdf
6. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. Київ : Мінрегіон України, 2016 – 53 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=474
7. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В. та ін. Металеві конструкції: Загальнийкурс: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання 2-е, перероблене ідоповнене. – К.: Видавництво "Сталь", 2010. – 869 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=474
8. 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. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=474
9. Металеві конструкції. Методичні рекомендації та інформаційні матеріали для курсового проектування та виконання кваліфікаційних робіт здобувачами вищої освіти усіх форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / [Уклад.: В.А. Пашинський]. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. - 38 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=474

Додаток А

Витяг з ДСТУ 8539:2015. Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови [3]

Таблиця 4 — Механічні властивості листового і широкоштабового універсального прокату та заготовок для гнутих профілів

Назва сталі	Товщина, мм	Механічні властивості									
		Границя плинності $\sigma_т$, Н/мм²	Тимчасовий опір $\sigma_в$, Н/мм²	Відносне видовження δ_5, %	Ударна в'язкість, Дж/см², не менше ніж							
					KCU			KCV				KCU після механічного старіння
		не менше ніж			за температури, °С							
					−20	−40	−70	0	−20	−40	−60	+20
С235	Від 2,0 до 3,9 включ.	235	360	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4,0	235	360	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С245	Від 2,0 до 3,9 включ.	245	370	20	—	—	—	—	—	—	—	—
	» 4,0 » 30 »	235	370	24	29	—	—	34	—	—	—	29
С255	Від 2,0 до 3,9 включ.	255	380	20	—	—	—	—	—	—	—	—
	» 4,0 » 10 »	245	380	25	29	29	—	34	34	—	—	29
	Понад 10 » 20 »	245	370	25	29	29	—	34	34	—	—	29
	» 20 » 40 »	235	370	25	29	29	—	34	34	—	—	29
С345	Від 2,0 до 3,9 включ.	345	490	21	—	—	—	—	—	—	—	—
	» 4,0 » 10,0 »	345	490	21	—	39	34	—	34	34	—	29
	» 10 » 20,0 »	325	470	21	—	34	29	—	34	34	—	29
	» 20,0 » 40,0 »	305	460	21	—	34	29	—	34	34	—	29
	» 40,0 » 60,0 »	285	450	21	—	34	29	—	34	34	—	29
	» 60 » 80 »	275	440	21	—	34	29	—	34	34	—	29
	» 80 » 160 »	265	430	21	—	34	29	—	34	34	—	29
С345К	Від 4,0 до 10 включ.	345	470	20	—	39	—	—	—	—	—	—
С355	Від 8,0 до 16 включ.	355	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
	Понад 16 » 40 »	345	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
	» 40 » 60 »	335	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
	» 60 » 80 »	325	460	21	—	—	—	—	34	34	—	—
	» 80 » 100 »	315	460	21	—	—	—	—	34	34	—	—
	» 100 » 160 »	295	460	21	—	—	—	—	34	34	—	—
С355-1	Від 8 до 16 включ.	355	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
	Понад 16 » 40 »	345	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
	» 40 » 50 »	335	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
С355К	Від 8,0 до 16 включ.	355	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
	Понад 16 » 40 »	345	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
	» 40 » 50 »	335	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
С355П	Від 8,0 до 16 включ.	355	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
	Понад 16 » 40 »	345	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—

Кінець таблиці 4

Назва сталі	Товщина, мм	Механічні властивості									
		Границя плинності $\sigma_т$, Н/мм²	Тимчасовий опір $\sigma_в$, Н/мм²	Відносне видовження δ_5, %	Ударна в'язкість, Дж/см², не менше ніж							
					KCU			KCV				KCU після механічного старіння
		не менше ніж			за температури, °С							
					−20	−40	−70	0	−20	−40	−60	+20
С390-1	Від 8,0 до 50 включ.	390	520	20	—	—	—	—	—	34	34	—
С390	» 8,0 » 50 »	390	520	20	—	—	—	—	—	34	29	—
С440	» 8,0 » 50 »	440	540	20	—	—	—	—	—	66	66	—
С550	» 8,0 » 50 »	540	640	17	—	—	—	—	—	66	66	—
С590	» 8,0 » 40 »	590	685	14	—	—	—	—	—	66	66	—

Примітка 1. Максимальне значення тимчасового опору $\sigma_в$ для прокату зі сталі С390, С390-1, С440, С550, С590 не повинно перевищувати встановлених норм більше ніж на 160 Н/мм².

Примітка 2. Знак «—» означає, що показник не нормують.

Примітка 3. Відносне видовження (δ_{50}) листового прокату завтовшки від 2,0 мм до 2,8 мм включно зі сталі С235 повинно бути не менше ніж 28 %, С245 — не менше ніж 26 %, С255 — не менше ніж 25 %.

Примітка 4. Для сталі С355П границя плинності $\sigma_т$ за температури 600 °С повинна бути не менше ніж 200 Н/мм², тимчасовий опір $\sigma_в$ — не менше ніж 240 Н/мм².

Таблиця 5 — Механічні властивості фасонного прокату

Назва сталі	Товщина, мм	Механічні властивості									
		Границя плинності $\sigma_т$, Н/мм^2	Тимчасовий опір $\sigma_в$, Н/мм^2	Відносне видовження δ_5, %	Ударна в'язкість, Дж/см^2, не менше ніж						
					KCU			KCV			KCU після механічного старіння
		не менше ніж			за температури, °С						
						–40	–70	0	–20	–40	+20
С245	Від 4 до 20 включ.	245	370	25	29	—	—	34	—	—	29
	» 20 » 40 »	235	370	24	29	—	—	34	—	—	29
С255	Від 4 до 10 включ.	255	380	25	29	29	—	34	34	—	29
	Понад 10 до 20 включ.	245	370	25	29	29	—	34	34	—	29
	» 20 » 40 »	235	370	24	29	29	—	34	34	—	29
С345	Від 4 до 10 включ.	345	480	21	—	39	34	—	34	—	—
	Понад 10 » 20 »	325	470	21	—	34	29	—	34	—	—
	» 20 » 40 »	305	460	21	—	34		—	34	—	—
С345К	Від 4 до 10 включ.	345	470	20	—	39	—	—	—	—	—
С 355	Від 8 до 16 включ.	355	470	21	—	34	34	—	34	—	—
	Понад 16 » 40 »	345	470	21	—	34	34	—	34	—	—
С355-1	Від 8 до 16 включ.	355	480	21	—	34	34	—	34	—	—
	Понад 16 » 40 »	345	480	21	—	34	34	—	34	—	—
С390	Від 8 до 10 включ.	390	520	20	—	34	34	—	34	34	—
	Понад 10 » 20 »	380	500	20	—	34	34	—	34	34	—
	» 20 » 40 »	370	490	20	—	34	34	—	34	34	—

Примітка 1. Для прокату зі сталі С345, С355, С355-1 визначення ударної в'язкості KCU за температури мінус 70 °С проводять на профілях завтовшки до 11 мм включно, за узгодженням виробника зі споживачем — завтовшки до 40 мм включно.

Примітка 2. Знак «—» означає, що показник не нормують.

Додаток Б

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

Таблиця Б.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 Б.2. Крива стійкості типу **b**

$\bar{\lambda}$	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 Б.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 В
ДОВІДКОВІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ

Таблиця В.1. Риски прокатних кутиків про однорядному розміщенні отворів

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

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

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

Таблиця В.2. Площі перерізу болтів

d_b = (мм)	16	20	24	30	36
A_b = ($см^2$)	2,01	3,14	4,52	7,06	10,17
A_{bn} = ($см^2$)	1,57	2,45	3,53	5,61	8,16

Таблиця В.3. Розрахункові опори бетону за ДБН В.2.6-98:2009 "Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі зміною № 1". – К., 2020

Клас міцності бетону	С 8/10	С 12/15	С 16/20	С 20/25	С 25/30
Розрахунковий опір стиску, МПа	6,0	8,5	11,5	14,5	17,0

Таблиця В.4. Місце під ключ при постановці болтів
(мінімальна відстань від центру отвору до деталей, що обмежують рух ключа)

Діаметр болта, мм	12	16	20	24	30	36	42	48
Відстань до отвору, мм	30	35	40	45	55	68	80	95

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.