

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра промислового, цивільного будівництва ім. Є. М. Бабича

03-01-222М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять та самостійної роботи
з дисципліни**

«Будівельні конструкції»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
освітньо-професійної програми «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології» за спеціальністю
«Будівництво та цивільна інженерія»
всіх форм навчання.

Частина 1. Металеві конструкції

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІЕАВГ
Протокол №7
від 17.02.2026 р.

Рівне – 2026

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Будівельні конструкції» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» за спеціальністю «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання. Частина 1. Металеві конструкції [Електронне видання] / Корнійчук О. І., Макаренко Р. М. – Рівне : НУВГП, 2026. – 39 с.

Укладачі: Корнійчук О. І., канд. техн. наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва ім. Є. М. Бабича;
Макаренко Р. М., канд. техн. наук, професор кафедри промислового, цивільного будівництва ім. Є. М. Бабича.

Відповідальний за випуск – Філіпчук С. В., доктор техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри промислового, цивільного будівництва ім. Є. М. Бабича.

Керівник групи забезпечення ОПП

Клімов С. В.

© О. І. Корнійчук,
Р. М. Макаренко, 2026
© НУВГП, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. РОЗРАХУНОК ЦЕНТРАЛЬНО СТИСНУТИХ ТА ЦЕНТРАЛЬНО РОЗТЯГНУТИХ МЕТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	5
1.1. УМОВА ЗАДАЧІ №1.....	5
1.2. ВИХІДНІ ДАНІ ДО ЗАДАЧІ №1.....	6
1.3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАДАЧІ №1.....	8
1.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЗАДАЧІ №1.....	12
2. РОЗРАХУНОК ЗГІНАЛЬНИХ МЕТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ (РОЗРАХУНОК ПРОКАТНОЇ МЕТАЛЕВОЇ БАЛКИ).....	13
2.1. УМОВА ЗАДАЧІ №2.....	13
2.2. ВИХІДНІ ДАНІ ДО ЗАДАЧІ №2.....	14
2.3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАДАЧІ №2.....	16
2.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЗАДАЧІ №2.....	18
3. ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ.....	19
3.1. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ЗАДАЧІ №1.....	19
3.2. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ЗАДАЧІ №2.....	25
Додаток 1.....	29
Додаток 2.....	30
Додаток 3.....	31
Додаток 4.....	32
Додаток 5.....	33
Додаток 6.....	37
Додаток 7.....	38
РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА.....	39

ВСТУП

Методичні вказівки призначено для використання здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» за спеціальністю «Будівництво та цивільна інженерія» під час виконання завдань на практичних заняттях при вивченні дисципліни «Будівельні конструкції» розділу «Металеві конструкції». Вони містять матеріал, який необхідний для продуктивної роботи під час практичних занять та / або самостійного виконання задач, які здобувачі повинні виконати згідно силабусу навчальної дисципліни.

Загалом здобувачі вищої освіти на практичних заняттях з дисципліни «Будівельні конструкції» повинні виконати три задачі: дві з розділу «Металеві конструкції» (дані методичні вказівки) та одну з розділу «Залізобетонні конструкції» (методичні вказівки 03-01-223М).

Під час виконання практичних завдань студенти повинні закріпити знання теоретичного матеріалу, навчитися користуватись нормативною і технічною літературою, набути навички проєктування металевих будівельних конструкцій.

Вихідні дані для виконання завдань здобувачі вищої освіти приймають згідно свого коду (номер паспорту або шифр згідно списку групи, який розміщений у системі Moodle) за таблицями методичних вказівок. Приймати інші вихідні дані не дозволяється.

У пункті 3 методичних вказівок наведені приклади виконання завдань.

1. Розрахунок центрально стиснутих та центрально розтягнутих металевих елементів

1.1. Умова задачі №1

Підібрати перерізи елементів АВ і ВС стержневої конструкції за наступними вихідними даними:

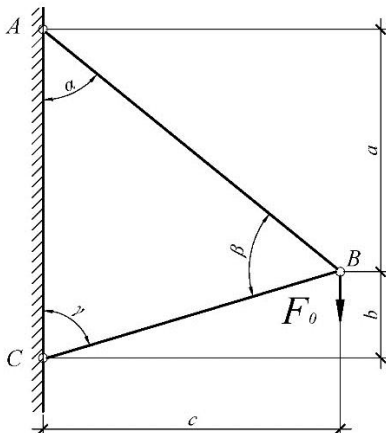


Рис. 1.1. Схема стержневої конструкції (до задачі №1)

Характеристичне значення зосередженої сили $F_0 = \dots$ кН (див. табл. 1.1).

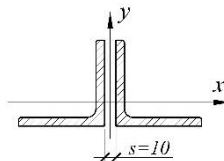
Геометричні параметри системи: $a = \dots$ м (див. табл. 1.2); $b = \dots$ м (див. табл. 1.3); $c = \dots$ м (див. табл. 1.4).

Матеріал елементів: АВ – сталь класу ..., ВС – сталь класу ... (див. табл. 1.5).

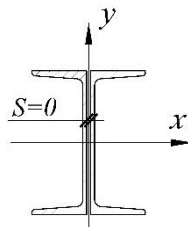
Коефіцієнт надійності за розрахунковим граничним навантаженням $\gamma_{fn} = \dots$ (див. табл. 1.6). Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1$.

Форма перерізів елементів:

- елемента АВ
(два рівнополицеві кутики)



- елемента ВС (два швелери з нахилом внутрішніх граней полиць)



1.2. Вихідні дані до задачі №1

Таблиця 1.1.

Характеристичне значення зосередженої сили F_0 , кН

		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передостання цифра шифру	0	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
	1	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
	2	400	410	420	430	440	450	500	510	520	530
	3	540	550	560	570	580	590	600	200	210	220
	4	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320
	5	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420
	6	430	440	450	500	510	520	530	540	550	560
	7	570	580	590	600	200	210	220	230	240	250
	8	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
	9	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450

Таблиця 1.2.

Значення геометричного параметру системи a , м

		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передостання цифра шифру	0	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95
	1	2,0	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45
	2	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90	2,95
	3	3,0	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90
	4	1,95	2,0	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40
	5	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90
	6	2,95	3,0	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	7	1,90	1,95	2,0	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35
	8	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85
	9	2,90	2,95	3,0	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80

Таблиця 1.3.

Значення геометричного параметру системи **b**, м

		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передостання цифра шифру	0	0,0	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
	1	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0
	2	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
	3	1,55	1,60	0,0	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
	4	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
	5	0,95	1,0	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40
	6	1,45	1,50	1,55	1,60	0,0	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
	7	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
	8	0,85	0,90	0,95	1,0	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30
	9	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	0,0	0,10	0,15	0,20

Таблиця 1.4.

Значення геометричного параметру системи **c**, м

		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передостання цифра шифру	0	2,0	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45
	1	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90	2,95
	2	3,0	3,05	3,10	3,15	3,20	3,25	3,30	3,35	3,40	3,45
	3	3,50	2,0	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40
	4	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90
	5	2,95	3,0	3,05	3,10	3,15	3,20	3,25	3,30	3,35	3,40
	6	3,45	3,50	2,0	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35
	7	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85
	8	2,90	2,95	3,0	3,05	3,10	3,15	3,20	3,25	3,30	3,35
	9	3,40	3,45	3,50	2,0	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30

Таблиця 1.5.

Матеріал елементів: сталь класу С...

Елемент	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
АВ	235	245	255	235	255	245	235	285	235	245
ВС	275	255	245	235	285	235	245	275	255	245

Таблиця 1.6.

Значення коефіцієнту надійності за граничним розрахунковим навантаженням γ_{fm}

		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передостання цифра шифру	0	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19
	1	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,11	1,12	1,13
	2	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23
	3	1,24	1,25	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17
	4	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,11
	5	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21
	6	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15
	7	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
	8	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19
	9	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,11	1,12	1,13

1.3. Послідовність виконання задачі №1

1. Визначаємо граничне розрахункове значення зосередженої сили F за формулою:

$$F = F_0 \cdot \gamma_{fm}.$$

2. Виконуємо статичний розрахунок системи, який полягає у визначенні розрахункових поздовжніх зусиль в стержнях АВ та ВС від дії зовнішніх навантажень. Для цього:

- викреслюємо геометричну схему конструкції,
- визначаємо геометричні довжини та знаходимо характеристики кутів,

- знаходимо зусилля в стержнях за правилами будівельної механіки.

3. Визначаємо за додатком 1 розрахункові опори сталі розтягу, стиску, згину за межею текучості R_y , приймаючи попередньо товщину прокату 4...10 мм (з досвіду проектування).

4. Визначаємо необхідну площу перерізу розтягнутого стержня АВ з умови міцності:

$$A_n = \frac{N_{AB}}{R_y \cdot \gamma_c}.$$

Оскільки переріз елемента АВ складається з двох кутиків, то необхідна площа поперечного перерізу одного кутика рівна:

$$A_{n1} = \frac{A_n}{2}.$$

5. За сортаментом (додаток 5) вибираємо кутик, площа перерізу якого рівна або трохи більша за необхідну. Випишуємо фактичні геометричні характеристики перерізу.

Оскільки переріз елемента АВ складається з двох рівнополицевих кутиків, потрібно знайти геометричні характеристики складеного перерізу відповідно до правил опору матеріалів.

6. За додатком 1 уточнюємо значення R_y для стержня АВ знаючи фактичну товщину прокату, оскільки в п. 3 товщину прокату прийняли попередньо.

7. Виконуємо перевірку умови міцності центрально розтягнутого елемента АВ за формулою:

$$\sigma = \frac{N_{AB}}{A_n} \leq R_y \cdot \gamma_c.$$

Якщо умова не виконується, то необхідно прийняти більший кутик і повторити пп. 5-7.

8. Перевіряємо гнучкість елемента АВ. Для цього обчислюємо гнучкість елемента в площині х-х та у-у відповідно:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{\mu_x \cdot l_{AB}}{i_x},$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{\mu_y \cdot l_{AB}}{i_y},$$

де $l_{ef,x}$, $l_{ef,y}$ – розрахункові довжини елемента відповідно в площині та з площини конструкції;

μ_x, μ_y – коефіцієнти приведення розрахункової довжини відповідно в площині x-x та y-y;

l_{AB} – геометрична довжина елемента АВ.

Перевіряємо умову:

$$\lambda_{max} \leq \lambda_u,$$

де λ_u – гранична гнучкість розтягнутих елементів, що визначається за додатком 2 при дії статичного навантаження.

Якщо умова не виконується, то необхідно прийняти більший кут і повторити пп. 5-8.

9. Визначаємо недонапруження елемента АВ:

$$\delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\% \leq 5\%.$$

Якщо недонапруження перевищує 5%, то це означає, що профіль підібраний не економічно, а тому необхідно прийняти менший кут та повторити пп. 5-9. Якщо не вдається досягти цієї умови, то необхідно навести обґрунтовані пояснення (наприклад, обмеженість сортаменту) і залишити підібраний профіль.

10. Визначається необхідна площа перерізу стиснутого елемента ВС з умови стійкості:

$$A = \frac{N_{BC}}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c},$$

де φ - коефіцієнт поздовжнього згину (коефіцієнт стійкості при центральному стиску).

Фактичне значення коефіцієнту φ на даному етапі розрахунку визначити неможливо, оскільки він залежить від геометричних характеристик перерізу елемента, який ще невідомий. А тому з досвіду проектування попередньо приймаємо гнучкість елемента рівною $\lambda^* = 70 \dots 100 < \lambda_u = 120$, тоді умовна гнучкість визначається за формулою:

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}},$$

де $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності сталі.

За значенням $\bar{\lambda}$ згідно додатку 3 визначаємо коефіцієнт поздовжнього згину φ^* , тоді необхідна площа перерізу рівна:

$$A = \frac{N_{BC}}{\varphi^* \cdot R_y \cdot \gamma_c}.$$

Оскільки переріз елемента ВС складається з двох швелерів, то необхідна площа одного швелера рівна:

$$A_1 = \frac{A}{2}.$$

11. За сортаментом (додаток 6) вибираємо швелер, площа перерізу якого більша за необхідну. Випишуємо фактичні геометричні характеристики перерізу.

Оскільки переріз елемента ВС складається з двох швелерів, потрібно знайти геометричні характеристики складеного перерізу відповідно до правил опору матеріалів.

12. За додатком 1 уточнюємо значення R_y для стержня ВС знаючи фактичну товщину прокату.

13. Визначаємо гнучкість елемента ВС:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{\mu_x \cdot l_{BC}}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{\mu_y \cdot l_{BC}}{i_y}.$$

Максимальна гнучкість елемента $\lambda_{max} = \dots$

Умовна гнучкість дорівнює:

$$\bar{\lambda} = \lambda_{max} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}.$$

За додатком 3 визначаємо коефіцієнт поздовжнього згину φ .

14. Перевіряємо максимальну гнучкість стиснутого елемента ВС:

$$\lambda_{max} \leq \lambda_u,$$

де λ_u – гранична гнучкість стиснутих елементів, що визначається за додатком 4.

Якщо умова не виконується, то необхідно прийняти більший швелер і повторити пп. 11-14.

15. Виконуємо перевірку умови стійкості центрально стиснутого елемента ВС:

$$\sigma = \frac{N_{BC}}{\varphi \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c.$$

Якщо умова не виконується, то необхідно прийняти більший швелер і повторити пп. 11-15.

Як правило, для виконання умов пп. 14 та 15 необхідно виконати декілька спроб підбору перерізу стиснутого елемента ВС, але в звіті наводиться лише остаточний варіант розрахунків.

16. Визначаємо недонапруження елемента ВС:

$$\delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100 \leq 5\%$$

Якщо недонапруження перевищує 5%, то це означає, що профіль підібраний не економічно, а тому необхідно прийняти менший швелер та повторити пп. 11-16. Якщо не вдається досягти цієї умови, то необхідно навести обґрунтовані пояснення (наприклад, обмеженість сортаменту) і залишити підібраний профіль.

1.4. Контрольні запитання до задачі №1

1. Що таке сталь? Які сталі використовуються в будівельних конструкціях?
2. Що таке характеристичне та розрахункове значення навантажень?
3. Що таке коефіцієнт надійності за розрахунковим граничним навантаженням γ_{fm} ?
4. Що таке коефіцієнт умов роботи γ_c ?
5. Що таке сортамент сталі?
6. Що таке площа нетто і площа бруutto поперечного перерізу?
7. Від чого залежить розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, згину за межею текучості?
8. Що таке φ ? Від чого він залежить?
9. Що таке λ ? Від чого вона залежить?
10. Що таке λ_y ? Від чого вона залежить?
11. Що таке $\bar{\lambda}$ і яким чином вона визначається?
12. Що таке μ ? Від чого він залежить?
13. Як розраховується центрально розтягнутий металевий елемент?
14. Як розраховуються короткі центрально стиснуті металеві елементи?
15. Як розраховуються довгі центрально стиснуті металеві елементи?
16. Що таке радіус інерції перерізу і як його визначають?
17. Що таке момент інерції перерізу і як його визначають?
18. Який елемент стержневої системи в задачі є центрально стиснутий, а який центрально розтягнутий?
19. Що таке статичний розрахунок конструкції?
20. Яка найбільш раціональна форма поперечного перерізу довгих стиснутих елементів?

2. Розрахунок згинальних металевих елементів (розрахунок прокатної металевої балки)

2.1. Умова задачі №2

Підібрати переріз прокатної балки настилу (двотавр з нахилом внутрішніх граней полиць) робочої площадки нормального типу (див. рис. 2.1) за наступними вихідними даними:

- проліт балки $l = \dots$ м (див. табл. 2.1);
- крок балок настилу $a = \dots$ м (див. табл. 2.2);
- характеристичне рівномірно розподілене навантаження на балкову клітку $p_0 = \dots$ кН/м² (див. табл. 2.3);
- коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим навантаженням $\gamma_{fm} = \dots$ (див. табл. 2.4);
- коефіцієнт надійності за граничним експлуатаційним навантаженням $\gamma_{fe} = 1,0$;
- матеріал балки – сталь класу С... (див. табл. 2.5);
- граничний відносний прогин балки

$$\frac{f_u}{l} = \frac{1}{300};$$

- коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1$.

Розрахунок балки виконати на стадії пружної роботи матеріалу.

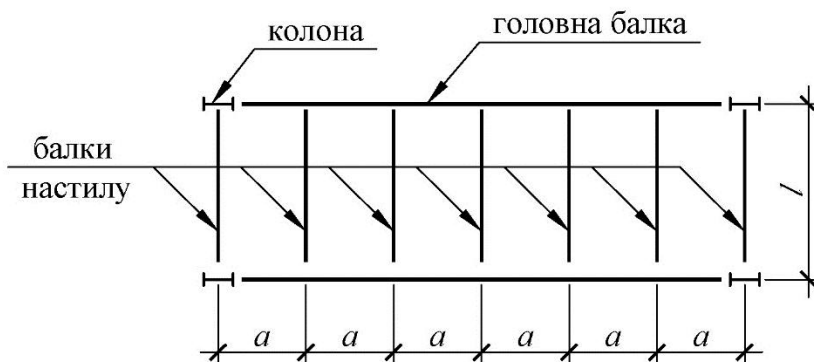


Рис. 2.1. Схема балкової клітки нормального типу

2.2. Вихідні дані до задачі №2

Таблиця 2.1.

Значення прольоту балки l , м

		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передостання цифра шифру	0	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9
	1	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9
	2	7,0	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8
	3	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8
	4	6,9	7,0	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7
	5	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7
	6	6,8	6,9	7,0	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6
	7	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6
	8	6,7	6,8	6,9	7,0	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5
	9	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5

Таблиця 2.2.

Значення кроку балок настилу a , м

		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передостання цифра шифру	0	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1,0	0,95
	1	0,90	0,85	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05
	2	1,0	0,95	0,90	0,85	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15
	3	1,10	1,05	1,0	0,95	0,90	0,85	1,40	1,35	1,30	1,25
	4	1,20	1,15	1,10	1,05	1,0	0,95	0,90	0,85	1,40	1,35
	5	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1,0	0,95	0,90	0,85
	6	0,80	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1,0
	7	0,95	0,90	0,85	0,80	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15
	8	1,10	1,05	1,0	0,95	0,90	0,85	0,80	1,40	1,35	1,30
	9	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1,0	0,95	0,90	0,85	0,80

Таблиця 2.3.

Значення характеристичного рівномірно розподіленого
навантаження на балкову клітку p_0 , кН/м²

		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передостання цифра шифру	0	35	34	33	32	30	29	28	27	26	25
	1	24	23	22	21	20	35	34	33	32	30
	2	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
	3	35	34	33	32	30	29	28	27	26	25
	4	24	23	22	21	20	35	34	33	32	30
	5	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
	6	35	34	33	32	30	29	28	27	26	25
	7	24	23	22	21	20	35	34	33	32	30
	8	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
	9	35	34	33	32	30	29	28	27	26	25

Таблиця 2.4.

Значення коефіцієнту надійності за граничним розрахунковим
навантаженням γ_{fm}

		Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передостання цифра шифру	0	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19
	1	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,11	1,12	1,13
	2	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23
	3	1,24	1,25	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17
	4	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,11
	5	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21
	6	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15
	7	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
	8	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19
	9	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,11	1,12	1,13

Таблиця 2.5.

Матеріал балки настилу: сталь класу С...

Остання цифра шифру									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
245	255	235	255	245	235	285	235	245	235

2.3. Послідовність виконання задачі №2

Підбір перерізу балки настилу полягає у виборі необхідного номера двотавра за сортаментом і виконанні необхідних перевірок за I-ою та II-ою групами граничних станів.

Розрахунок включає наступні етапи:

1. Якщо на настил балкової клітки діє рівномірно розподілене характеристичне навантаження p_0 , то для балки настилу визначаємо погонне навантаження (на 1 м довжини балки), яке збирається з вантажної площі (див. рис. 3.2.1):

- розрахункове експлуатаційне

$$q_e = p_0 \cdot \gamma_{fe} \cdot a;$$

- розрахункове граничне

$$q = p_0 \cdot \gamma_{fm} \cdot a,$$

де a - крок балок настилу.

2. В статичному відношенні балка являє собою однопролітну розрізну балку завантажену рівномірно розподіленим навантаженням. Виконуємо статичний розрахунок балки, який включає в себе:

- графічне зображення розрахункової схеми;
- визначення максимальних розрахункових значень згинаючого моменту M_{max} та поперечної сили Q_{max} від розрахункового граничного навантаження та максимального значення згинаючого моменту $M_{e,max}$ від розрахункового експлуатаційного навантаження за правилами будівельної механіки;
- побудову епюр внутрішніх зусиль.

3. Визначаємо за додатком 1 розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, згину за межею текучості R_y , приймаючи попередньо товщину прокату 4...10 мм (з досвіду проектування).

Розрахунковий опір сталі зсуву буде дорівнювати:

$$R_s = 0,58 \cdot R_y.$$

4. Визначаємо необхідний момент опору перерізу балки з умови міцності за максимальними нормальними напруженнями:

$$W_x^* = \frac{M_{max}}{R_y \cdot \gamma_c}.$$

5. За сортаментом (додаток 7) вибираємо двотавр, момент опору якого рівний або трохи більший за необхідний. Випишуємо фактичні геометричні характеристики поперечного перерізу.

6. За додатком 1 уточнюємо значення R_y для підбраного двотавра знаючи фактичну товщину прокату, оскільки в п. 3 товщину прокату прийняли попередньо.

7. Перевіряємо міцність підбраного перерізу за максимальними нормальними напруженнями:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_{n,min}} \leq R_y \cdot \gamma_c.$$

8. Перевіряємо міцність підбраного перерізу за максимальними дотичними напруженнями:

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max} \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} \leq R_s \cdot \gamma_c.$$

Якщо умови пп. 7 або 8 не виконуються, то необхідно прийняти більший двотавр і повторити пп. 5-8.

9. Визначаємо недонапруження елемента:

$$\delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\% \leq 5\%.$$

Якщо недонапруження перевищує 5%, то це означає, що профіль підбраний не економічно, а тому необхідно прийняти менший двотавр та повторити пп. 5-9. Якщо не вдасться досягти цієї умови, то необхідно навести обґрунтовані пояснення (наприклад, обмеженість сортаменту) і залишити підбраний профіль.

10. Перевіряємо балку за другою групою граничних станів за формулою:

$$\frac{f_{max}}{l} \leq \frac{f_u}{l},$$

де $\frac{f_{max}}{l}$ – максимальний відносний прогин, обчислений від дії розрахункових експлуатаційних навантажень;

$\frac{f_u}{l} = \frac{1}{300}$ – граничний відносний прогин, який заданий умовою задачі.

Відносний прогин балки можна визначити за формулою:

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{M_{e,\max} \cdot l}{10 \cdot E \cdot I_x},$$

де $E=2,06 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності сталі.

Якщо умова не виконується, то необхідно прийняти більший двотавр і повторити пп. 5-10.

2.4. Контрольні запитання до задачі №2

1. Що таке клас і марка сталей?
2. Які елементи називаються згинальними?
3. Які внутрішні зусилля виникають у згинальних елементах?
4. В яких точках по довжині згинального елемента виникають максимальні внутрішні зусилля?
5. Що таке групи граничних станів?
6. Які Ви знаєте групи граничних станів?
7. Що таке коефіцієнт надійності за розрахунковим граничним γ_{fm} та експлуатаційним γ_{fe} навантаженнями?
8. Умова міцності згинальних металевих елементів за максимальними нормальними напруженнями.
9. Умова міцності згинальних металевих елементів за максимальними дотичними напруженнями.
10. Що таке мінімальний момент опору перерізу?
11. Що таке осьовий момент інерції перерізу?
12. Що таке статичний розрахунок конструкції?
13. Що таке характеристичне та розрахункове значення навантажень?
14. Що таке прогин згинального елемента?
15. Що таке відносний прогин згинального елемента?

3. Приклади виконання завдань

3.1. Приклад виконання задачі №1

Завдання:

Підібрати перерізи елементів АВ і ВС стержневої конструкції (рис. 3.1.1) за наступними вихідними даними:

- характеристичне значення зосередженої сили $F_0 = 350$ кН;
- геометричні параметри системи: $a = 2,25$ м; $b = 0,8$ м; $c = 2,75$ м;
- матеріал елементів АВ, ВС – сталь класу С235.

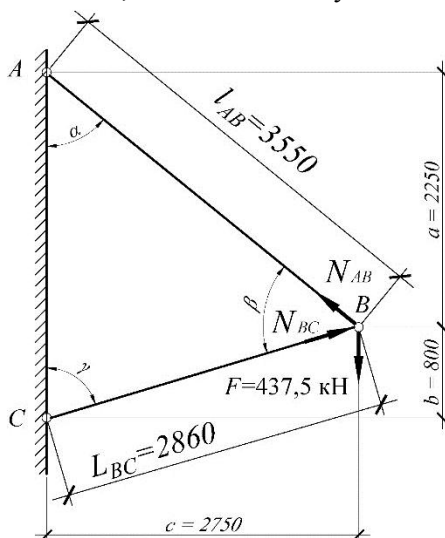


Рис. 3.1.1. Розрахункова схема конструкції

Коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим навантаженням $\gamma_{fm} = 1,25$. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1$.

Елемент АВ складається з двох рівнополицевих кутиків (див. рис. 3.1.2.а), ВС – зі двох швелерів з нахилом внутрішніх граней полиць (див. рис. 3.1.2.б).

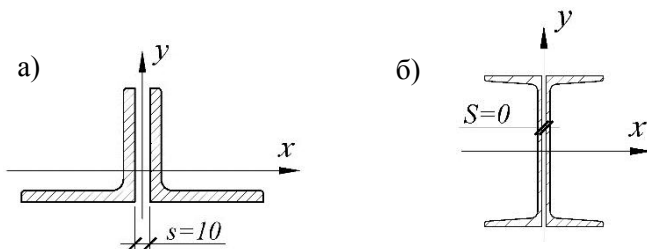


Рис. 3.1.2. Форми перерізів елементів АВ (а) та ВС (б).

Розв'язок

1. Визначаємо граничне розрахункове значення сили F :

$$F = F_0 \cdot \gamma_{fm} = 350 \cdot 1,25 = 437,5 \text{ кН.}$$

2. Виконуємо статичний розрахунок системи.

Обчислюємо геометричні довжини елементів AB і BC :

$$l_{AB} = \sqrt{a^2 + c^2} = \sqrt{2,25^2 + 2,75^2} = 3,55 \text{ м}$$

$$l_{BC} = \sqrt{b^2 + c^2} = \sqrt{0,8^2 + 2,75^2} = 2,86 \text{ м}$$

Знаходимо характеристики кутів:

$$\cos \alpha = \frac{a}{l_{AB}} = \frac{2,25}{3,55} = 0,634; \quad \sin \alpha = \frac{c}{l_{AB}} = \frac{2,75}{3,55} = 0,775;$$

$$\cos \gamma = \frac{b}{l_{BC}} = \frac{0,8}{2,86} = 0,280; \quad \sin \gamma = \frac{c}{l_{BC}} = \frac{2,75}{2,86} = 0,961.$$

Знаходимо зусилля в стержнях методом вирізання вузлів (вирізаємо вузол B).

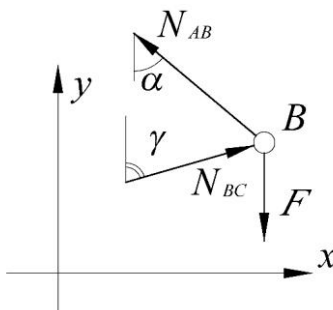


Рис. 3.1.3. До визначення зусиль в елементах АВ та ВС

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 & \quad -N_{AB} \cdot \sin \alpha + N_{BC} \cdot \sin \gamma = 0 \\ \sum F_y = 0 & \quad N_{AB} \cdot \cos \alpha + N_{BC} \cdot \cos \gamma - F = 0 \end{aligned}$$

$$N_{AB} = \frac{N_{BC} \cdot \sin \gamma}{\sin \alpha} = \frac{0,961}{0,775} \rightarrow N_{BC} = 1,24 \cdot N_{BC}$$

$$1,24 \cdot N_{BC} \cdot 0,634 + N_{BC} \cdot 0,28 - 437,5 = 0$$

$$1,067 \cdot N_{BC} = 437,5$$

$$N_{BC} = 410,35 \text{ кН},$$

$$N_{AB} = 1,24 \cdot N_{BC} = 1,24 \cdot 410,35 = 508,83 \text{ кН}.$$

3. Визначаємо за додатком 1 розрахункові опори сталі розтягу, стиску, згину за межею текучості R_y , приймаючи попередньо товщину прокату $t < 20 \text{ мм}$: $R_y = 230 \text{ МПа} = 23 \text{ кН/см}^2$ ¹.

4. Визначаємо необхідну площу перерізу розтягнутого стержня АВ з умови міцності:

$$A_n = \frac{N_{AB}}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{508,83}{23 \cdot 1,0} = 22,12 \text{ см}^2.$$

Оскільки переріз елемента АВ складається з двох кутиків, то необхідна площа поперечного перерізу одного кутика:

$$A_{n1} = \frac{A_n}{2} = \frac{22,12}{2} = 11,06 \text{ см}^2.$$

5. За сортаментом (додаток 5) вибираємо $\angle 75 \times 8$, для якого $A_1 = 11,5 \text{ см}^2$, $b = 7,5 \text{ см}$; $I_{x1} = I_{y1} = 59,84 \text{ см}^4$, $t = 8 \text{ мм}$; $i_{x1} = i_{y1} = 2,28 \text{ см}$; $x_0 = 2,15 \text{ см}$.

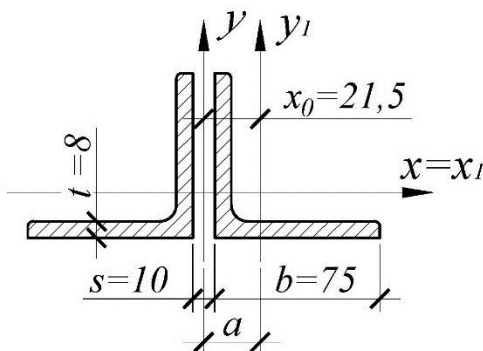


Рис. 4. До визначення геометричних характеристик елемента АВ
Площа поперечного перерізу елемента АВ:

$$A = 2 \cdot A_1 = 2 \cdot 11,5 = 23,0 \text{ см}^2.$$

¹ – надалі всі розрахунки будемо виконувати в наступних одиницях: кН, см, кНсм, кН/см² і т. д., при цьому необхідно пам'ятати, що 1 кН/см² = 10 МПа

Моменти інерцій:

$$\begin{aligned} I_x &= 2 \cdot I_{x1} = 2 \cdot 59,84 = 119,68 \text{ см}^4, \\ I_y &= 2 \cdot \left(I_{y1} + a^2 \cdot A_1 \right) = 2 \cdot \left(I_{y1} + \left(\frac{s}{2} + x_0 \right)^2 \cdot A_1 \right) = \\ &= 2 \cdot \left(59,84 + \left(\frac{1}{2} + 2,15 \right)^2 \cdot 11,5 \right) = 281,20 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Радіуси інерцій:

$$\begin{aligned} i_x &= i_{x1} = 2,28 \text{ см}, \\ i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{281,20}{23}} = 3,50 \text{ см}. \end{aligned}$$

6. Уточнюємо значення R_y для стержня АВ із сталі класу С235 при фактичній товщині прокату $t = 8$ мм, рівній товщині профілю:

$$R_y = 230 \text{ МПа} = 23 \text{ кН/см}^2.$$

7. Виконуємо перевірку умови міцності центрально розтягнутого елемента АВ:

$$\sigma = \frac{N_{AB}}{A} = \frac{508,83}{23} = 22,123 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 221,23 \text{ МПа} < R_y \cdot \gamma_c = 230 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

8. Перевіряємо гнучкість елемента АВ.

Для цього знаходимо гнучкості елемента в площині та з площини конструкції:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{\mu_x \cdot l_{AB}}{i_x} = \frac{1,0 \cdot 355}{2,28} = 155,70$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{\mu_y \cdot l_{AB}}{i_y} = \frac{1,0 \cdot 355}{3,5} = 101,43$$

$$\lambda_{max} = 155,7 < \lambda_u = 400,$$

де $\lambda_u = 400$ – гранична гнучкість розтягнутих елементів (згідно додатку 2 при дії статичного навантаження).

9. Визначається недонапруження елемента АВ:

$$\delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\% = \frac{230 \cdot 1 - 221,23}{230 \cdot 1} \cdot 100\% = 3,81\% < 5\%$$

10. Оскільки матеріал елементів АВ, ВС однаковий – сталь класу С235, то $R_y = 230 \text{ МПа} = 23 \text{ кН/см}^2$.

Визначаємо необхідну площу перерізу стиснутого стержня ВС, для цього попередньо приймаємо гнучкість елемента $\lambda^* = 80$, тоді умовна гнучкість дорівнює:

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 80 \sqrt{\frac{230}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,673.$$

За додатком 3 визначаємо коефіцієнт поздовжнього згину $\varphi^* = 0,708$, тоді необхідна площа перерізу рівна:

$$A = \frac{N_{BC}}{\varphi^* \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{410,35}{0,708 \cdot 23 \cdot 1,0} = 25,2 \text{ см}^2.$$

Оскільки переріз елемента ВС складається з двох швелерів, то необхідна площа поперечного перерізу одного швелера рівна:

$$A_1 = \frac{A}{2} = \frac{25,2}{2} = 12,6 \text{ см}^2.$$

11. За сортаментом (додаток 6) вибираємо [№16, для якого $A_1 = 18,1 \text{ см}^2$, $I_{x1} = 747 \text{ см}^4$, $I_{y1} = 63,3 \text{ см}^4$, $h = 160 \text{ мм}$; $t = 8,4 \text{ мм}$; $i_{x1} = 6,42 \text{ см}$, $i_{y1} = 1,87 \text{ см}$, $b = 64 \text{ мм}$; $x_0 = 1,8 \text{ см}$.

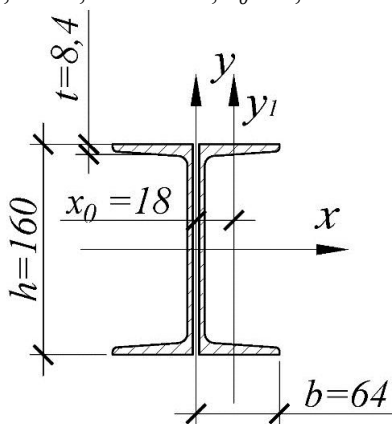


Рис. 3.1.5. До визначення геометричних характеристик елемента ВС
Площа поперечного перерізу елемента АВ:

$$A = 2 \cdot A_1 = 2 \cdot 18,1 = 36,2 \text{ см}^2$$

Моменти інерції:

$$I_x = 2 \cdot I_{x1} = 2 \cdot 747 = 1494 \text{ см}^4,$$

$$I_y = 2 \cdot (I_{y1} + x_0^2 \cdot A_1) = 2 \cdot (63,3 + 1,8^2 \cdot 18,1) = 243,89 \text{ см}^4.$$

Радіуси інерції:

$$i_x = i_{x1} = 6,42 \text{ см},$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{243,89}{36,2}} = 2,60 \text{ см.}$$

12. Уточнюємо значення R_y для стержня ВС із сталі класу С235 при фактичній товщині прокату $t = 8,4$ мм, рівній товщині профілю:

$$R_y = 230 \text{ МПа} = 23 \text{ кН/см}^2.$$

13. Визначаємо гнучкість елемента ВС в площині та з площини конструкції:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{\mu_x \cdot l_{BC}}{i_x} = \frac{1,0 \cdot 286}{6,42} = 44,55,$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{\mu_y \cdot l_{BC}}{i_y} = \frac{1,0 \cdot 286}{2,6} = 110,$$

Максимальна гнучкість:

$$\lambda_{max} = 110$$

Умовна гнучкість:

$$\bar{\lambda} = \lambda_{max} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 110 \sqrt{\frac{230}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,67.$$

За додатком 3 визначаємо коефіцієнт поздовжнього згину $\varphi = 0,511$.

14. Перевіряємо максимальну гнучкість стиснутого елемента ВС. Згідно додатку 4 гранична гнучкість елемента дорівнює:

$$\lambda_u = 180 - 60 \cdot \alpha = 180 - 60 \cdot 0,964 = 112,13,$$

$$\alpha = \frac{N_{BC}}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{410,35}{0,511 \cdot 36,2 \cdot 23 \cdot 1} = 0,964.$$

$$\lambda_{max} = 110 < \lambda_u = 112,13$$

Умова виконується.

15. Виконуємо перевірку умови стійкості центрально стиснутого елемента ВС:

$$\sigma = \frac{N_{BC}}{\varphi \cdot A} = \frac{410,35}{0,511 \cdot 36,2} = 22,183 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 221,83 \text{ МПа}$$

$$\sigma = 221,83 \text{ МПа} < R_y \cdot \gamma_c = 230 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

16. Визначаємо недонапруження елемента АВ:

$$\delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\% = \frac{230 \cdot 1 - 221,83}{230 \cdot 1} \cdot 100\% = 3,55\% < 5\%$$

Отже всі елементи підібрані вірно та раціонально.

3.2. Приклад виконання задачі №2

Завдання:

Підібрати переріз прокатної балки настилу (двотавр з нахилом внутрішніх граней полиць) робочої площадки (див. рис. 3.2.1) за наступними вихідними даними:

- проліт балки $l = 6,0$ м;
- крок балок настилу $a = 1,2$ м;
- характеристичне рівномірно розподілене навантаження на балкову клітку $p_0 = 30$ кН/м²;
- коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим навантаженням $\gamma_{fm} = 1,2$;
- коефіцієнт надійності за граничним експлуатаційним навантаженням $\gamma_{fe} = 1,0$;
- матеріал балки – сталь класу С245;
- граничний відносний прогин балки $f_u/l = 1/300$;
- коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1$.

Розрахунок балки виконати на стадії пружної роботи матеріалу. вантажна площа

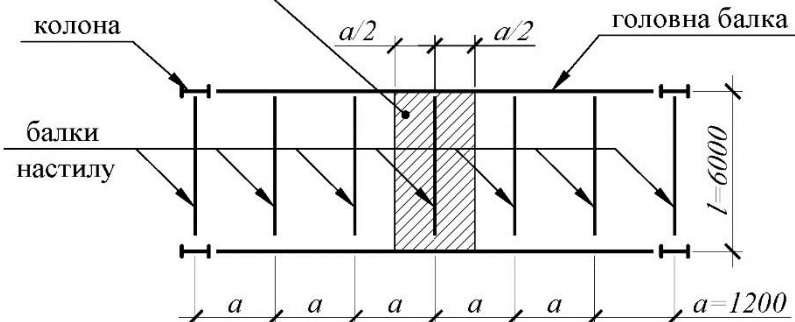


Рис. 3.2.1. Балкова клітка нормального типу

Розв'язок

1. Якщо на настил балкової клітки діє рівномірно розподілене характеристичне навантаження $p_0 = 30$ кН/м², то для неї визначаємо погонне навантаження (на 1 м довжини балки), яке збирається з вантажної площі (див. рис. 3.2.1):

- розрахункове експлуатаційне

$$q_e = p_0 \cdot \gamma_{fe} \cdot a = 30 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 36,0 \frac{\text{кН}}{\text{м}},$$

– розрахункове граничне

$$q = p_0 \cdot \gamma_{fm} \cdot a = 30 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 43,2 \frac{\text{кН}}{\text{м}},$$

де $a = 1,2$ м крок балок настилу.

2. Статичний розрахунок балки.

В статичному відношенні балка являє собою однопролітну розрізну балку завантажену рівномірно розподіленим навантаженням.

Максимальний згинальний момент в балці від розрахункового граничного навантаження становить:

$$M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{43,2 \cdot 6,0^2}{8} = 194,4 \text{ кНм} = 19440 \text{ кНсм.}$$

Максимальна поперечна сила від розрахункового граничного навантаження:

$$Q_{max} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{43,2 \cdot 6,0}{2} = 129,60 \text{ кН.}$$

Максимальний згинальний момент від розрахункового експлуатаційного навантаження:

$$M_{e,max} = \frac{q_e \cdot l^2}{8} = \frac{36 \cdot 6,0^2}{8} = 162 \text{ кНм} = 16200 \text{ кНсм.}$$

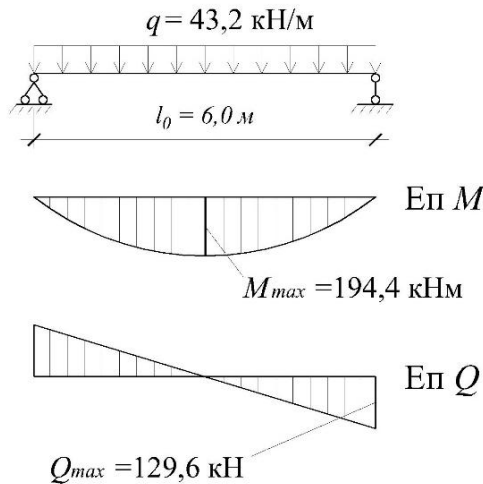


Рис. 3.2.2. Розрахункова схема балки настилу

3. За додатком 1 для сталі класу С245 визначаємо розрахункові опори сталі, попередньо приймаючи товщину прокату $2 \text{ мм} > t \leq 20 \text{ мм}$ (з досвіду проєктування):

- розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, згину за межею течучості

$$R_y = 240 \text{ МПа} = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

- розрахунковий опір сталі зсуву

$$R_s = 0,58 \cdot R_y = 0,58 \cdot 240 = 139,2 \text{ МПа} = 13,92 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

4. Визначаємо необхідний момент опору перерізу балки з умови міцності за максимальними нормальними напруженнями:

$$W_x^* = \frac{M_{max}}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{19440}{24 \cdot 1} = 810 \text{ см}^3.$$

5. За сортаментом (додаток 7) вибираємо двотавр І № 40 з наступними параметрами (рис. 3.2.3):

$$A = 72,6 \text{ см}^2;$$

$$W_x = 953 \text{ см}^3;$$

$$I_x = 19062 \text{ см}^4;$$

$$t = 13 \text{ мм};$$

$$S_x = 545 \text{ см}^3;$$

$$b = 155 \text{ мм};$$

$$h = 400 \text{ мм};$$

$$s = 8,3 \text{ мм}.$$

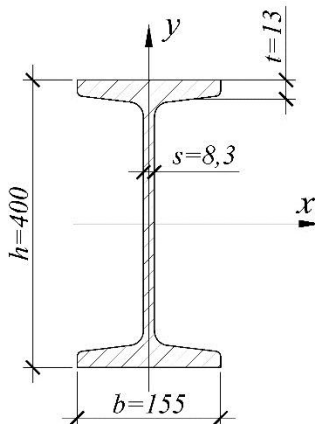


Рис. 3.2.3. Переріз балки настилу

6. Уточнюється за додатком 1 значення R_y при фактичній товщині полиці двотавра $t = 13 \text{ мм}$:

$$R_y = 240 \text{ МПа} = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

$$R_s = 0,58 \cdot R_y = 0,58 \cdot 240 = 139,2 \text{ МПа} = 13,92 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

7. Перевіряємо умову міцності підбраного перерізу за максимальними нормальними напруженнями:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{19440}{953} = 20,40 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 204,0 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\max} = 204,0 \text{ МПа} < R_y \cdot \gamma_c = 240 \cdot 1 = 240 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

8. Перевіряємо умову міцності підбраного перерізу за максимальними дотичними напруженнями:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot s} = \frac{129,6 \cdot 545}{19062 \cdot 0,83} = 4,46 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 44,6 \text{ МПа}$$

$$\tau_{\max} = 44,6 \text{ МПа} < R_s \cdot \gamma_c = 139,2 \cdot 1 = 139,2 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

9. Визначаємо величину недонапруження:

$$\delta = \frac{R_y \cdot \gamma_c - \sigma_{\max}}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\% = \frac{240 - 204}{240} \cdot 100\% = 15\% > 5\%$$

Недонапруження перевищує 5%, але враховуючи обмеженість сортаменту (менший двотавр І № 36 з $W_x = 743 \text{ см}^3 < W_x^* = 810 \text{ см}^3$) залишаємо прийнятий переріз.

10. Перевіряємо балку за другою групою граничних станів.

Відносний прогин балки рівний:

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{M_{e,\max} \cdot l}{10 \cdot E \cdot I_x} = \frac{16200 \cdot 600}{10 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 19062} = \frac{972 \cdot 10^4}{39268 \cdot 10^5} = \frac{1}{404}$$

Перевіряємо умову:

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{404} < \frac{f_u}{l} = \frac{1}{300}$$

Умова виконується, тому остаточно приймаємо двотавр І № 40.

Додаток 1

Характеристичні і розрахункові опори при розтягу, стиску і згині
для листового, широкосмугового універсального і фасонного про-
кату відповідно до класів міцності прокату сталі
(частковий витяг з табл. Г.2 [5])

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , Н/мм ² , прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , Н/мм ² , прокату			
		листового, широкосмугового універсального		фасонного		листового, широкосмугового універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
C235	від 2 до 20	235	360	235	360	230	350	230	350
	понад 20 до 40	225	360	225	360	220	350	220	350
	понад 40 до 100	215	360	—	—	210	350	—	—
	понад 100	195	360	—	—	190	350	—	—
C245	від 2 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 30	—	—	235	370	—	—	230	360
C255	від 2 до 3,9	255	380	—	—	250	370	—	—
	від 4 до 10	245	370	255	380	240	360	250	370
	понад 10 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 40	235	370	235	370	230	360	230	360
C275	від 2 до 10	275	380	275	390	270	370	270	380
	понад 10 до 20	265	370	275	380	260	360	270	370
C285	від 2 до 3,9	285	390	—	—	280	380	—	—
	від 4 до 10	275	390	285	400	270	380	280	390
	понад 10 до 20	265	380	275	390	260	370	270	380
C295	до 100	295	430	295	430	285	420	285	420
C325	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
	понад 40 до 60	285	450	—	—	280	440	—	—
	понад 60 до 80	275	440	—	—	270	430	—	—
	понад 80 до 100	265	430	—	—	260	420	—	—
C345	від 2 до 10	345	490	345	490	335	480	335	480
	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450

¹⁾ За товщину фасонного прокату приймається товщина полиці.

²⁾ За характеристичні опори прийняті гарантовані значення границі текучості і тимчасового опору.

³⁾ Значення розрахункових опорів одержані діленням характеристичних опорів на коефіцієнти надійності за матеріалом γ_m із заокругленням до 5 Н/мм². Для класів міцності прокату сталі C235–C500; C620 враховано $\gamma_m = 1,025$, а для класів C590; C590K враховано $\gamma_m = 1,1$.

Додаток 2

Граничні гнучкості елементів при розтягу (витяг з табл. 13.10 [5])

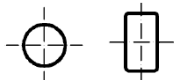
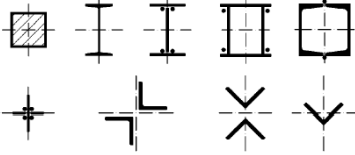
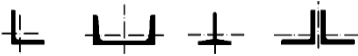
Елементи конструкцій	Гранична гнучкість розтягнутих елементів λ_{cr} при дії на конструкцію навантажень		
	динамічних, прикладених безпосередньо до конструкції	статичних	від кранів (див. прим. 5) і залізничних поїздів
1 Пояси і опорні розкоси плоских ферм (включаючи гальмові ферми) і структурних конструкцій	250	400	250
2 Елементи ферм і структурних конструкцій, окрім зазначених у позиції 1	350	400	300
3 Нижні пояси балок і ферм кранових колій	—	—	150
4 Елементи вертикальних в'язей між колонами (нижче кранової колії)	300	300	200
5 Інші елементи в'язей	400	400	300
6 Пояси і опорні розкоси стояків і траверс, тяги траверс опор повітряних ліній електропередавання, відкритих розподільних пристроїв і контактних мереж транспорту	250	—	—
7 Елементи опор повітряних ліній електропередавання, відкритих розподільних пристроїв і контактних мереж транспорту, окрім зазначених у позиціях 6 і 8	350	—	—
8 Елементи просторових конструкцій таврового і хрестового перерізів (а в тягах траверс опор повітряних ліній електропередавання — з одиночних кутиків), що підлягають впливу вітрових навантажень, при перевірці гнучкості у вертикальній площині	150	—	—
Примітка 1. У конструкціях, що не підлягають динамічним впливам, гнучкість розтягнутих елементів слід перевіряти лише у вертикальних площинах.			
Примітка 2. Для елементів в'язей, у яких прогин під дією власної ваги не перевищує $l/150$, при дії на конструкцію статичних навантажень допускається приймати $\lambda_{cr} = 500$.			
Примітка 3. Гнучкість розтягнутих попередньо напружених елементів не обмежується.			
Примітка 4. Для розтягнутих елементів, в яких може змінюватись знак зусилля, гранична гнучкість приймається як для стиснутих елементів, при цьому з'єднувальні прокладки в елементах складеного перерізу необхідно встановлювати з кроком, що не перевищує 40і.			
Примітка 5. За наявності мостових опорних кранів груп режимів роботи 7К (у цехах металургійних виробництва) і 8К значення граничної гнучкості приймається відповідно до ГОСТ 25546.			
Примітка 6. Для нижніх поясів балок ферм кранових колій при кранах груп режимів роботи 1К — 6К допускається приймати $\lambda_{cr} = 200$.			
Примітка 7. До динамічних навантажень, прикладених безпосередньо до конструкції, належать навантаження, які приймаються в розрахунках на витривалість або з урахуванням коефіцієнтів динамічності.			

Додаток 3

Коефіцієнти стійкості при центральному стиску (частковий витяг з табл. Ж.1 та табл. 8.1 [5])

Умовна гнучкість $\bar{\lambda}$	Коефіцієнт ϕ для типів кривих стійкості			Умовна гнучкість $\bar{\lambda}$	Коефіцієнт ϕ для типів кривих стійкості		
	a	b	c		a	b	c
0,4	999	998	992	5,4	261	261	255
0,6	994	986	950	5,6	242	242	240
0,8	981	967	929	5,8	226	226	226
1,0	968	948	901	6,0	211		
1,2	954	927	878	6,2	198		
1,4	938	905	842	6,4	186		
1,6	920	881	811	6,6	174		
1,8	900	855	778	6,8	164		
2,0	877	826	744	7,0	155		
2,2	851	794	709	7,2	147		
2,4	820	760	672	7,4	139		
2,6	785	722	635	7,6	132		
2,8	747	683	598	7,8	125		
3,0	704	643	562	8,0	119		
3,2	660	602	526	8,5	105		
3,4	615	562	492	9,0	094		
3,6	572	524	460	9,5	084		
3,8	530	487	430	10,0	076		
4,0	475	453	401	10,5	069		
4,2	431	421	375	11,0	063		
4,4	393	392	351	11,5	057		
4,6	359	359	328	12,0	053		
4,8	330	330	308	12,5	049		
5,0	304	304	289	13,0	045		
5,2	281	281	271	14,0	039		

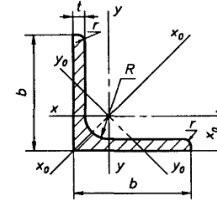
Примітка. Наведені у таблиці значення коефіцієнта ϕ збільшені в 1000 разів.

Тип поперечного перерізу	Тип кривої стійкості
	a
	b
	c

Додаток 4
Граничні гнучкості елементів при стиску
(витяг з табл. 13.9 [5])

Елементи конструкцій	Гранична гнучкість стиснутих елементів λ_u
1 Пояси, опорні розкоси і стояки, що передають опорні реакції: а) плоских ферм, структурних конструкцій і просторових конструкцій із труб або парних кутиків заввишки до 50 м;	180 – 60 α
б) просторових конструкцій з одиночних кутиків, а також просторових конструкцій із труб і парних кутиків заввишки понад 50 м	120
2 Елементи, окрім зазначених у позиції 1 і 7: а) плоских ферм, зварних просторових і структурних конструкцій із одиночних кутиків, просторових і структурних конструкцій із труб і парних кутиків;	210 – 60 α
б) просторових і структурних конструкцій із одиночних кутиків з болтовими з'єднаннями	220 – 40 α
3 Верхні пояси ферм, не закріплені у процесі монтажу (граничну гнучкість після завершення монтажу слід приймати за позицією 1)	220
4 Основні колони	180 – 60 α
5 Другорядні колони (стояки фахверку, літтарів тощо), елементи решітки колон, елементи вертикальних в'язей між колонами (нижче балок кранових колій)	210 – 60 α
6 Елементи в'язей, окрім зазначених у позиції 5, а також стрижні, призначені для зменшення розрахункової довжини стиснутих елементів, та інші ненавантажені елементи, окрім зазначених у позиції 7	200
7 Стиснуті і ненавантажені елементи просторових конструкцій таврового і хрестового перерізу, що підлягають дії вітрових навантажень, при перевірці гнучкості у вертикальній площині	150
Примітка. $\alpha = \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c}$ – коефіцієнт, який приймається не меншим 0,5 (у необхідних випадках замість φ слід застосувати φ_e).	

Додаток 5
Кутики рівнополицеві за ДСТУ 2251:2018



№ кутика	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	<i>A</i> , см ²	Довідкові значення величин для осей											Маса 1 м, кг
						<i>x</i> - <i>x</i>			<i>x</i> ₀ - <i>x</i> ₀		<i>y</i> ₀ - <i>y</i> ₀			<i>I</i> _{xy} , см ⁴	<i>x</i> ₀ , см		
						<i>I</i> _x , см ⁴	<i>W</i> _x , см ³	<i>i</i> _x , см	<i>I</i> _{x0} , см ⁴	<i>i</i> _{x0} , см	<i>I</i> _{y0} , см ⁴	<i>W</i> _{y0} , см ³	<i>i</i> _{y0} , см				
3	30	3	4,0	1,3	1,74	1,45	0,67	0,91	2,30	1,15	0,60	0,53	0,59	0,85	0,85	1,36	
		4	4,0	1,3	2,27	1,84	0,87	0,90	2,92	1,13	0,77	0,61	0,58	1,08	0,89	1,78	
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86	1,77	0,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,59	0,63	1,03	0,89	1,46	
		4	4,5	1,5	2,43	2,26	1,00	0,96	3,58	1,21	0,94	0,71	0,62	1,32	0,94	1,91	
3,5	35	3	4,5	1,5	2,04	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	0,69	1,37	0,97	1,60	
		4	4,5	1,5	2,67	3,01	1,21	1,06	4,76	1,33	1,25	0,88	0,68	1,75	1,01	2,10	
		5	4,5	1,5	3,28	3,61	1,47	1,05	5,71	1,32	1,52	1,02	0,68	2,10	1,05	2,58	
4	40	3	5,0	1,7	2,35	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,95	0,79	2,08	1,09	1,85	
		4	5,0	1,7	3,08	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	0,78	2,68	1,13	2,42	
		5	5,0	1,7	3,79	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	0,78	3,22	1,17	2,98	
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	0,89	3,00	1,21	2,08	
		4	5,0	1,7	3,48	6,63	2,04	1,38	10,52	1,74	2,74	1,54	0,89	3,89	1,26	2,73	
		5	5,0	1,7	4,29	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	0,88	4,71	1,30	3,37	
5	50	3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	1,00	4,16	1,33	2,32	
		4	5,5	1,8	3,89	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	5,42	1,38	3,05	
		5	5,5	1,8	4,80	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	6,57	1,42	3,77	
		6	5,5	1,8	5,69	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	7,65	1,46	4,47	

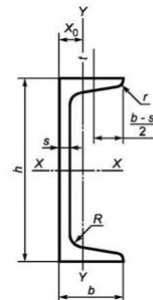
№ кугика	b	t	R	r	A, см ²	Довідкові значення величин для осей											Маса 1 м, кг
						x - x			x ₀ - x ₀		y ₀ - y ₀			I _{xy} , см ⁴	x ₀ , см		
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0} , см ⁴	i _{x0} , см	I _{y0} , см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0} , см				
5,6	56	4 5	6,0 6,0	2,0 2,0	4,38 5,41	13,10 15,97	3,21 3,96	1,73 1,72	20,79 25,36	2,18 2,16	5,41 6,59	2,52 2,97	1,11 1,10	7,69 9,41	1,52 1,57	3,44 4,25	
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	18,86	4,09	1,95	29,90	2,45	7,81	3,26	1,25	11,00	1,69	3,90	
		5	7,0	2,3	6,13	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87	1,25	13,70	1,74	4,81	
		6	7,0	2,3	7,28	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	15,90	1,78	5,72	
7	70	4,5	8,0	2,7	6,20	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53	1,39	17,00	1,88	4,87	
		5	8,0	2,7	6,86	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	18,70	1,90	5,38	
		6	8,0	2,7	8,15	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	22,10	1,94	6,39	
		7	8,0	2,7	9,42	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	25,20	1,99	7,39	
		8	8,0	2,7	10,67	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99	1,37	28,20	2,02	8,37	
7,5	75	5	9,0	3,0	7,39	39,53	7,21	2,31	62,65	7,91	16,41	5,74	1,49	23,10	2,02	5,80	
		6	9,0	3,0	8,78	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62	1,48	27,30	2,06	6,89	
		7	9,0	3,0	10,15	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	31,20	2,10	7,96	
		8	9,0	3,0	11,50	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16	1,47	35,00	2,15	9,02	
		9	9,0	3,0	12,83	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	38,60	2,18	10,07	
8	80	5,5	9,0	3,0	8,63	52,68	9,03	2,47	83,56	3,11	21,80	7,10	1,59	30,90	2,17	6,78	
		6	9,0	3,0	9,38	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60	1,58	33,40	2,19	7,36	
		7	9,0	3,0	10,85	65,31	11,32	2,45	103,60	3,09	26,97	8,55	1,58	38,30	2,23	8,51	
		8	9,0	3,0	12,30	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	43,00	2,27	9,65	
9	90	6	10,0	3,3	10,61	82,10	12,49	2,78	130,00	3,50	33,97	9,88	1,79	48,10	2,43	8,33	
		7	10,0	3,3	12,28	94,30	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	55,40	2,47	9,64	
		8	10,0	3,3	13,93	106,11	16,36	2,76	168,42	3,48	43,80	12,34	1,77	62,30	2,51	10,93	
		9	10,0	3,3	15,60	118,00	18,29	2,75	186,00	3,46	48,60	13,48	1,77	68,00	2,55	12,20	

№ кугика	b	t	R	r	A, см ²	Довідкові значення величин для осей										Маса 1 м, кг
						x - x			x ₀ - x ₀		y ₀ - y ₀			I _{xy} , см ⁴	x ₀ , см	
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0} , см ⁴	i _{x0} , см	I _{y0} , см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0} , см			
10	100	6,5	12,0	4,0	12,82	122,10	16,69	3,09	193,46	3,89	50,73	13,38	1,99	71,40	2,68	10,06
		7	12,0	4,0	13,75	130,59	17,90	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	76,40	2,71	10,79
		8	12,0	4,0	15,60	147,19	20,30	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	86,30	2,75	12,25
		10	12,0	4,0	19,24	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	110,00	2,83	15,10
		12	12,0	4,0	22,80	208,90	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,10	1,95	122,00	2,91	17,90
		14	12,0	4,0	26,28	237,15	33,83	3,00	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	138,00	2,99	20,63
		16	12,0	4,0	29,68	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	152,00	3,06	23,30
11	110	7	12,0	4,0	15,15	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,96	11,89
		8	12,0	4,0	17,20	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,00	13,50
12,5	125	8	14,0	4,6	19,69	294,36	32,20	3,87	466,76	4,87	121,98	25,67	2,49	172,00	3,36	15,46
		9	14,0	4,6	22,00	327,48	36,00	3,86	520,00	4,86	135,88	28,26	2,48	192,00	3,40	17,30
		10	14,0	4,6	24,33	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	211,00	3,45	19,10
		12	14,0	4,6	28,89	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	248,00	3,53	22,68
		14	14,0	4,6	33,37	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10	2,45	282,00	3,61	26,20
		16	14,0	4,6	37,77	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10	2,44	315,00	3,68	29,65
14	140	9	14,0	4,6	24,72	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	274,00	3,76	19,41
		10	14,0	4,6	27,33	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	301,00	3,82	21,45
		12	14,0	4,6	32,49	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	354,00	3,90	25,50
16	160	10	16,0	5,3	31,43	774,24	66,19	4,96	1229,10	6,25	319,33	52,52	3,19	455,00	4,30	24,67
		11	16,0	5,3	34,42	844,21	72,44	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	496,00	4,35	27,02
		12	16,0	5,3	37,39	912,89	78,62	4,94	1450,00	6,23	375,78	60,53	3,17	537,00	4,39	29,35
		14	16,0	5,3	43,57	1046,47	90,77	4,92	1662,13	6,20	430,81	68,15	3,16	615,00	4,47	34,20
		16	16,0	5,3	49,07	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	690,00	4,55	38,52

№ кугика	b	t	R	r	$A, \text{см}^2$	Довідкові значення величин для осей										Маса 1 м, кг
	мм					$x - x$			$x_0 - x_0$		$y_0 - y_0$			$I_{xy}, \text{см}^4$	$x_0, \text{см}$	
						$I_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$i_x, \text{см}$	$I_{x0}, \text{см}^4$	$i_{x0}, \text{см}$	$I_{y0}, \text{см}^4$	$W_{y0}, \text{см}^3$	$i_{y0}, \text{см}$			
		18 20	16,0 16,0	5,3 5,3	54,79 60,40	1290,24 1418,85	114,24 125,60	4,87 4,85	2061,03 2248,26	6,13 6,10	537,46 589,43	82,08 90,02	3,13 3,12	771,00 830,00	4,63 4,70	43,01 47,41
18	180	11	16,0	5,3	38,80	1216,44	92,47	5,60	1933,10	7,06	499,78	72,86	3,59	716,00	4,85	30,47
		12	16,0	5,3	42,19	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	776,00	4,89	33,12
20	200	12	18,0	6,0	47,10	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,40	98,68	3,99	1073,00	5,37	36,97
		13	18,0	6,0	50,85	1960,77	134,44	6,21	3116,18	7,83	805,35	105,07	3,98	1156,00	5,42	39,92
		14	18,0	6,0	54,60	2097,00	144,17	6,20	3333,00	7,81	861,00	111,50	3,97	1236,00	5,46	42,80
		16	18,0	6,0	61,98	2362,57	163,37	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,77	3,96	1393,00	5,54	48,65
		20	18,0	6,0	76,54	2871,47	200,37	6,12	4860,42	7,72	1181,92	146,62	3,93	1689,00	5,70	60,08
		25	18,0	6,0	94,29	3466,21	245,59	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,68	3,91	2028,00	5,89	74,02
		30	18,0	6,0	111,54	4019,60	288,57	6,00	6351,05	7,55	1698,16	193,06	3,89	2332,00	6,07	87,56
22	220	14	21,0	7,0	60,38	2814,36	175,18	6,83	4470,15	8,60	1158,56	138,62	4,38	1655,00	5,91	47,40
		16	21,0	7,0	68,58	3175,44	198,71	6,80	5045,37	8,58	1305,52	153,34	4,36	1869,00	6,02	53,83
25	250	16	24,0	8,0	78,40	4717,10	258,43	7,76	7492,10	9,78	1942,09	203,45	4,98	2775,00	6,75	61,55
		18	24,0	8,0	87,72	5247,24	288,82	7,73	8336,69	9,75	2157,78	223,39	4,96	3089,00	6,83	68,86
		20	24,0	8,0	96,96	5764,87	318,76	7,71	9159,73	9,72	2370,01	242,52	4,94	3395,00	6,91	76,11
		22	24,0	8,0	106,12	6270,32	348,26	7,69	9961,30	9,69	2579,04	260,52	4,93	3691,00	7,00	83,31
		25	24,0	8,0	119,71	7006,39	391,72	7,65	11125,52	9,64	2887,26	287,14	4,91	4119,00	7,11	93,97
		28	24,0	8,0	133,12	7716,86	434,25	7,61	12243,84	9,59	3189,89	311,98	4,90	4527,00	7,23	104,50
		30	24,0	8,0	141,96	8176,82	462,11	7,59	12964,66	9,56	3388,98	327,82	4,89	4788,00	7,31	111,44
		35	24,0	8,0	163,71	9281,05	530,11	7,53	14682,73	9,47	3879,37	366,13	4,87	5401,68	7,53	128,51

Додаток 6

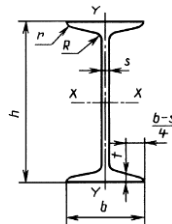
Швелери з нахилом внутрішніх граней полиць за ДСТУ 8240-89



№ швелера	h	b	s	t	R	r	A, см ²	Масса l м, кг	Довідкові значення величин для осей							x ₀ , см
					не більше	X - X				Y - Y						
						I _x , см ⁴			W _x , см ³	i _x , см	S _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см		
5	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	6,0	2,5	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	23,30	12,80	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	7,0	3,0	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,40	20,40	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	29,60	31,20	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,80	45,40	11,00	1,70	1,67
16	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	54,10	63,30	13,80	1,87	1,80
16a	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	59,40	78,80	16,40	2,01	2,00
18	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	69,80	86,00	17,00	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	76,10	105,00	20,00	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	87,80	113,00	20,50	2,20	2,07
22	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	110,00	151,00	25,10	2,37	2,21
24	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	139,00	208,00	31,60	2,60	2,42
27	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	178,00	262,00	37,30	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	224,00	327,00	43,60	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	13,0	5,0	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	281,00	410,00	51,80	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	350,00	513,00	61,70	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	61,50	48,30	15220,0	761,0	15,70	444,00	642,00	73,40	3,23	2,75

Додаток 7

Двотаври з нахилом внутрішніх граней полиць за ДСТУ 8239-89



№ дво- тавра	Розміри						A, см ²	Масса l м, кг	Довідкові значення величин для осей								
	h	b	s	t	R	r			x – x				y – y				
					не более				I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	S _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см		
мм																	
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22		
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38		
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55		
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70		
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88		
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07		
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27		
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37		
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54		
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69		
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79		
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89		
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03		
45	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09		
50	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23		
55	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39		
60	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54		

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Барашиков А. Я., Колякова В. М. Будівельні конструкції : підручник. Київ : Видавничий дім «Слово», 2011. 256 с.
2. Будівельні конструкції : навч. посіб. / за заг. ред. Є. В. Клименка. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 426 с.
3. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 30 с.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи: Норми проєктування. Київ: Мінбуд України, 2006. 75 с.
5. ДБН В.2.6–198:2014. Сталеві конструкції. Норми проєктування. Київ : Мінрегіон України, 2014. 199 с.