Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Кафедра промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд

03-01-158М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни
«Будівельні конструкції»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Охорона праці»
спеціальності 263 «Цивільна безпека»
всіх форм навчання

Рекомендовано науково-методичною радою з якості навчально-наукового інституту будівництва та архітектури
Протокол №4 від 31.01.2024 р.

Рівне − 2024

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Будівельні конструкції» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека» всіх форм навчання. [Електронне видання] / Корнійчук О. І. – Рівне : НУВГП, 2024. – 52 с.

Укладач: Корнійчук О. І., канд. техн. наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

Відповідальний за випуск – Є.М. Бабич, доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

Керівник групи забезпечення ОПП Шаталов О. С.

© О. І. Корнійчук, 2024
© НУВГП, 2024

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 11
2. Розрахунок згинальних металевих елементів 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 17
3. Розрахунок згинальних залізобетонних елементів 19
   3.1. Умова задачі №3 19
   3.2. Вихідні дані до задачі №3 19
   3.3. Послідовність виконання задачі №3 20
   3.4. Контрольні запитання до задачі №3 24
4. Приклади виконання завдань 25
   4.1. Приклад виконання задачі №1 25
   4.2. Приклад виконання задачі №2 31
   4.3. Приклад виконання задачі №3 35
Додаток 1 39
Додаток 2 40
Додаток 3 41
Додаток 4 42
Додаток 5 46
Додаток 6 47
Додаток 7 48
Додаток 8 49
Додаток 9 49
Додаток 10 50
Додаток 11 51
Рекомендовані джерела 52

ВСТУП

Методичні вказівки призначено для використання здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» освітньо-професійної програми «Охорона праці» всіх форм навчання під час виконання завдань на практичних заняттях при вивченні дисципліни «Будівельні конструкції». Цей матеріал необхідний для продуктивної роботи під час роботи на практичних заняттях.

Загалом здобувачі вищої освіти на практичних заняттях повинні виконати три задачі: дві з розділу «Металеві конструкції» (задачі №1 та 2) та одну з розділу «Залізобетонні конструкції» (задача №3).

Під час виконання даних завдань студенти мають закріпити теоретичні знання, отримані на лекціях, повинні навчитися користуватися довідковою нормативно-технічною літературою, набути практичних навичок проектування будівельних конструкцій.

Вихідні дані для виконання задач здобувачі вищої освіти всіх форм навчання приймають згідно свого шифру (ідентифікаційного коду платника податку або, в разі його відсутності, номера паспорта) по відповідним таблицям, які наведені у методичних вказівках. Приймати інші вихідні дані не дозволяється.

У четвертому пункті методичних вказівок наведені приклади виконання задач.

1. Розрахунок центрально стиснутих та центрально розтягнутих металевих елементів

1.1. Умова задачі №1

Підібрати перерізи елементів АВ і ВС стержневої системи за наступними даними:

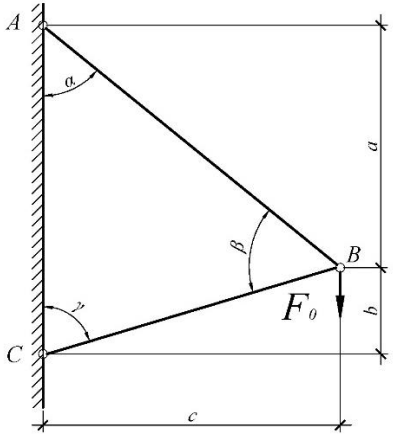


Рис. 1.1. Схема стержневої системи (до задачі №1)

Характеристичне значення зосередженого навантаження F_0 =… кН (див. табл. 1.1).

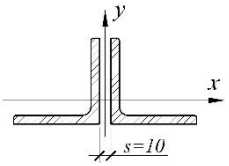
Геометричні параметри системи: a =…м (див. табл. 1.2); b =…м (див. табл. 1.3); c =…м (див. табл. 1.4).

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

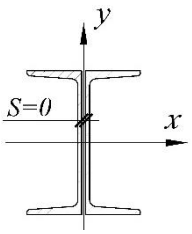
Коефіцієнт надійності за розрахунковим граничним навантаженням γ_{fm} = … (див. табл.1.6). Коефіцієнт умов роботи γ_c = 1.

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

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

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

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

Таблиця 1.4.

Значення геометричного параметру системи ***c***, м

Передостання цифра шифру	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2,0	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,05	2,40	2,45
1	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,55	2,90	2,95
2	3,30	3,05	3,10	3,15	3,20	3,25	3,30	3,05	3,40	3,45
3	2,25	2,0	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,0	2,35	2,40
4	2,75	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,50	2,85	2,90
5	3,25	3,0	3,05	3,10	3,15	3,20	3,25	3,0	3,35	3,40
6	3,45	3,50	2,0	2,0	2,05	2,10	2,15	2,05	2,25	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	255	245	255	235	255	245	235	285	235	245
ВС	285	255	245	235	285	235	245	275	255	245

Таблиця 1.6.

Значення коефіцієнту надійності за граничним розрахунковим навантаженням γ_{fm}

Передостання цифра шифру	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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	1,24	1,25	1,10	1,11	1,12	1,20	1,21	1,22	1,23
3	1,24	1,25	1,18	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17
4	1,18	1,19	1,12	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,11
5	1,12	1,13	1,22	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21
6	1,22	1,23	1,16	1,25	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15
7	1,16	1,17	1,10	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
8	1,10	1,11	1,20	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 значення гранично розрахункового зосередженого навантаження *F*:

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

2. Виконуємо статичний розрахунок, що включає визначення розрахункових поздовжніх зусиль в стержнях від дії зовнішнього навантаження в наступній послідовності:

- визначаємо геометричну схему стержневої системи,
- визначаємо геометричні характеристики: довжини елементів та значення кутів,

– визначаємо поздовжні зусилля в стержнях згідно правил будівельної механіки.

3. За додатком 1 знаходимо розрахункові опори сталі розтягу, стиску, згину за межею текучості R_y елемента АВ вважаючи, що товщина прокату складає 4…10 мм (попередньо).

4. Знаходимо необхідну площу перерізу «нетто» розтягнутого стержня АВ виходячи із умови міцності:

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

Враховуючи, що елемент АВ складається з двох кутиків, то необхідна площа перерізу одного кутика дорівнює:

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

5. Згідно сортаменту (додаток 4) підбираємо кутик з площею перерізу рівною або трохи більшою за необхідну. Знаходимо геометричні характеристики складеного перерізу відповідно до правил опору матеріалів.

6. Уточнюємо значення R_y згідно додатку 1 відповідно до фактичної товщини елемента АВ.

7. Виконуємо перевірку елемента АВ за умовою міцності центрально розтягнутого згідно формули:

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

Якщо нерівність не виконується, тоді необхідно прийняти більший переріз елемента та повторити пп. 5-7.

8. Визначаємо недонапруження розягнутого елемента АВ:

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

Якщо недонапруження перевищує встановлену межу у 5%, тоді переріз підібраний не економічно і необхідно прийняти менший переріз та перерахувати пп. 5-7.

9. За додатком 1 визначаємо розрахунковий опір R_y елемента ВС вважаючи, що товщина прокату складає 4…10 мм (попередньо).

10. Площу поперечного перерізу «брутто» центрально стиснутого стержня ВС визначаємо з умови стійкості:

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

де φ - коефіцієнт стійкості при центральному стиску або коефіцієнт поздовжнього згину, значення якого в тому числі залежить від геометричних характеристик перерізу, яких ми не знаємо.

Тому при першому наближені приймаємо попередньо з досвіду проектування, значення φ виходячи з гнучкості елемента рівною $\lambda^* = 70…100$, тоді умовна гнучкість дорівнює:

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

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

За значенням $\bar{\lambda}$ згідно додатку 2 (форма елемента і відповідний тип кривої стійкості «с») визначаємо коефіцієнт поздовжнього згину φ^* (згідно правил інтерполяції).

Необхідна площа перерізу стиснутого елемента ВС визначається за формулою:

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

Оскільки переріз ВС складений, необхідна площа одного швелера рівна:

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

11. Згідно сортаменту (додаток 5) вибираємо швелер з необхідною площею перерізу (площа перерізу має бути більша за необхідну).

Оскільки стиснутий елемента ВС має складений переріз, знаходимо геометричні характеристики складеного перерізу з двох швелерів (згідно правил опору матеріалів).

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

13. Визначаємо гнучкість елемента ВС:

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

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

Умовна гнучкість визначається за формулою:

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

За додатком 2 визначаємо коефіцієнт поздовжнього згину φ (згідно правил інтерполяції).

14. Перевіряємо максимальну гнучкість центрально стиснутого елемента ВС за формулою:

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

де λ_u – гранична гнучкість стиснутих елементів (згідно додатку 3).

Якщо умова не виконується, то необхідно прийняти більший переріз швелера і перерахувати пп. 11-14.

15. Виконуємо перевірку умови стійкості центрально стиснутого елемента ВС за формулою:

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

Якщо умова не виконується, то необхідно прийняти більший переріз швелера і перерахувати пп. 11-15.

Для правильного вибору перерізу центрально стиснутого елемента, як правило, потрібно виконати декілька наближень, проте при оформленні задачі можна наводити остаточний варіант.

16. Визначаємо недонапруження стиснутого елемента ВС за формулою:

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

Якщо недонапруження перевищує межу у 5%, значить переріз підібраний не економічно, а тому необхідно прийняти менший швелер та перерахувати пп. 11-16. Якщо цього досягти не вдається (наприклад, через обмеженість сортаменту), то необхідно навести обґрунтовані пояснення і залишити підібраний профіль.

1.4. Контрольні запитання до задачі №1

1. Що таке сталь?
2. Які сталі використовуються для виготовлення будівельних конструкцій?
3. Що таке характеристичне та розрахункове значення навантажень?
4. Що таке коефіцієнт надійності за розрахунковим граничним навантаженням γ_{fm}?
5. Що таке коефіцієнт умов роботи γ_c?
6. Що таке сортамент сталі?

7. Що таке площа нетто і площа брутто поперечного перерізу?
8. Від чого залежить розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, згину за межею текучості?
9. Що таке φ? Від чого він залежить?
10. Що таке λ? Від чого вона залежить?
11. Що таке λ_u? Від чого вона залежить?
12. Що таке $\bar{\lambda}$ і яким чином вона визначається?
13. Що таке μ? Від чого він залежить?
14. Яким чином розраховується центрально розтягнутий металевий елемент?
15. Яким чином розраховуються короткі центрально стиснуті металеві елементи?
16. Яким чином розраховуються довгі центрально стиснуті металеві елементи?
17. Що таке радіус інерції перерізу, від чого він залежить?
18. Що таке момент інерції перерізу, від чого він залежить?
19. Який елемент стержневої системи в задачі є центрально стиснутий, а який центрально розтягнутий?
20. Що таке статичний розрахунок конструкції?
21. Які етапи статичного розрахунку Ви знаєте?
22. Яка найбільш раціональна форма поперечного перерізу для стиснутих елементів?

2. Розрахунок згинальних металевих елементів

2.1. Умова задачі №2

Підібрати переріз прокатної балки (двотавр з нахилом внутрішніх граней полиць згідно ДСТУ 8239-89) робочої площадки нормального типу (див. рис. 2.1) згідно вихідних даних:

- проліт балки настилу l = … м (див. табл. 2.1);
- крок балок a = … м (див. табл. 2.2);
- характеристичне значення рівномірно розподіленого навантаження p_0 = … кН/м^2 (див. табл. 2.3);
- коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим навантаженням складає γ_{fm} = … (див. табл. 2.4);
- коефіцієнт надійності за граничним експлуатаційним навантаженням складає γ_{fe} = 1,0;
- матеріал балки – сталь класу С… (див. табл. 2.5);
- граничний відносний прогин балки складає

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

- коефіцієнт умов роботи складає γ_c = 1.

Розрахунок балки виконати в стадії пружної роботи матеріалу.

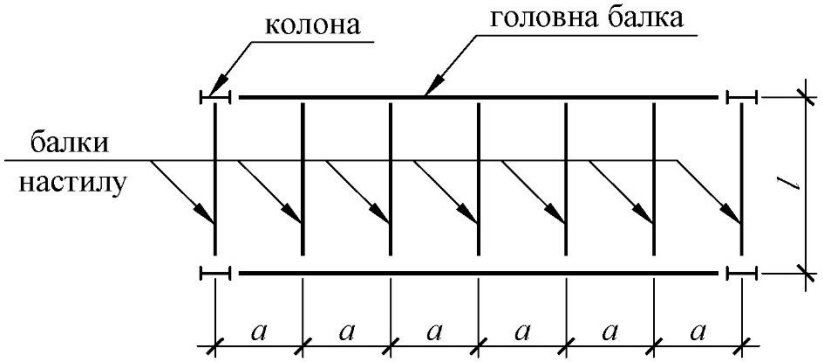


Рис. 2.1. Схема балкової клітки робочої площадки

2.2. Вихідні дані до задачі №2

Таблиця 2.1.

Значення прольоту балки ***l***, м

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

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

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

Передостання цифра шифру	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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	1,19	1,20	1,21	1,22	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	1,10	1,14	1,15	1,16	1,17
4	1,19	1,20	1,21	1,22	1,22	1,20	1,24	1,25	1,10	1,11
5	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,14	1,18	1,19	1,20	1,21
6	1,22	1,23	1,24	1,25	1,10	1,24	1,12	1,13	1,14	1,15
7	1,16	1,17	1,19	1,20	1,21	1,22	1,20	1,23	1,24	1,25
8	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,12	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 згинального елемента полягає у виборі необхідного двотавра згідно сортаменту, щоб виконались всі умови за І-ою та ІІ-ою групами граничних станів.

1. На балку діє рівномірно розподілене навантаження по площі p_0. Для визначення значення погонного навантаження (на 1 м довжини) необхідно перемножити p_0 на вантажну площу, тоді:

– розрахункове експлуатаційне значення погонного навантаження дорівнює

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

– розрахункове граничне значення погонного навантаження дорівнює

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

де a - крок балок.

2. В статичному відношенні балка являє собою однопролітну розрізну балку. Статичний розрахунок балки, полягає у визначенні максимальних значень згинаючого моменту M_{max} та поперечної сили Q_{max}.

3. Визначаємо за додатком 1 розрахунковий опір сталі за межею текучості R_y вважаючи, що товщина прокату складає 8…10 мм (попередньо), тоді розрахунковий опір сталі зсуву $R_s = 0{,}58 \cdot R_y$.

4. Виходячи з умови міцності за максимальними нормальними напруженнями визначаємо необхідний момент опору перерізу балки відносно осі х:

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

5. Згідно сортаменту (додаток 6) підбираємо двотавр з моментом опору рівний або трохи більший за необхідний.

6. Знаючи фактичну товщину прокату (товщину полиці підібраного двотавра) згідно додатку 1 уточнюємо значення R_y.

7. Перевіряємо міцність підібраного перерізу за максимальними нормальними напруженнями згідно формули:

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

8. Перевіряємо міцність підібраного перерізу за максимальними дотичними напруженнями згідно формули Журавського:

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

В разі якщо умови не виконуються, то необхідно прийняти більший переріз двотавр.

9. Визначаємо недонапруження елемента згідно формули:

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

Якщо недонапруження перевищує межу у 5%, значить переріз підібраний не економічно, а тому необхідно прийняти менший двотавр та перерахувати пп. 5-9. Якщо цього досягти не вдається (наприклад, через обмеженість сортаменту), то необхідно навести обґрунтовані пояснення і залишити підібраний профіль.

10. Перевіряємо відносний прогин балки (перевірка за другою групою граничних станів) згідно формули:

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

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=2,06·10^5 МПА – модуль пружності сталі.

Якщо умова не виконується, то необхідно прийняти більший переріз двотавра і повторити перевірку.

2.4. Контрольні запитання до задачі №2

1. Що таке клас і марка сталей? В чому відмінності цих двох понять?

2. Які елементи називаються згинальними? Наведіть приклади таких елементів.
3. Що таке статичний розрахунок балки настилу?
4. Які внутрішні зусилля виникають у балці настилу?
5. В яких точках по довжині балки настилу виникають максимальні внутрішні зусилля? Які їх значення?
6. Що таке групи граничних станів? Скільки їх є?
7. Що таке характеристичне та розрахункове значення навантажень?
8. Який фізичний зміст коефіцієнтів γ_{fm} та γ_{fe}?
9. Яким чином визначають значення тимчасових навантажень на балочну клітку?
10. Наведіть умову міцності згинальних металевих елементів за максимальними нормальними напруженнями.
11. Наведіть умову міцності згинальних металевих елементів за максимальними дотичними напруженнями.
12. Що таке прогин згинального елемента?
13. Що таке відносний прогин згинального елемента?
14. Яка умова перевірки балки настилу за 2-ю групою граничних станів?

3. Розрахунок згинальних залізобетонних елементів

3.1. Умова задачі №3

Залізобетонний прогін прямокутного поперечного перерізу перекриває проріз l = … м (див. табл. 3.1), довжина площадок опирання прогону на цегляні стіни з кожної сторони складає a = … м (див. табл. 3.2). Величина розрахункового граничного навантаження на прогін (з врахуванням власної ваги) становить q = … кН/м (див. табл. 3.2).

Необхідно визначити розміри перерізу та поздовжнє армування залізобетонного прогону.

Матеріали прогону прийняти згідно табл. 3.3.

3.2. Вихідні дані до задачі №3

Таблиця 3.1.

Проліт прогону ***l***, м

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

Таблиця 3.2.

Довжина площадок опирання прогону a, м та значення розрахункового граничного навантаження q, кН/м

Характеристики	Остання цифра шифру: 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a, м	0,2	0,24	0,4	0,24	0,3	0,2	0,24	0,3	0,18	0,2
q, кН/м	45	36	30	36	50	28	36	50	32	30

Таблиця 3.3.

Робоча арматура та клас бетону прогону

Характеристики	Передостання цифра шифру				
	0, 3	2, 4	6, 8	1, 7	5, 9
Поздовжня арматура	А240	А400	А240	А400	А500
Бетон важкий класу	С20/25	С16/20	С20/25	С25/30	С16/20

3.3. Послідовність виконання задачі №3

1. *Статичний розрахунок прогону*

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

Крайніми опорами для балки є цегляні стіни з довжиною опирання a (див. рис. 3.1). Прогін опирається на стіни шарнірно, а опорна реакція прикладена по центру довжини опирання.

Розрахунковий проліт прогону визначається згідно формули:

$$l_d = l + 2 \cdot \frac{a}{2}$$

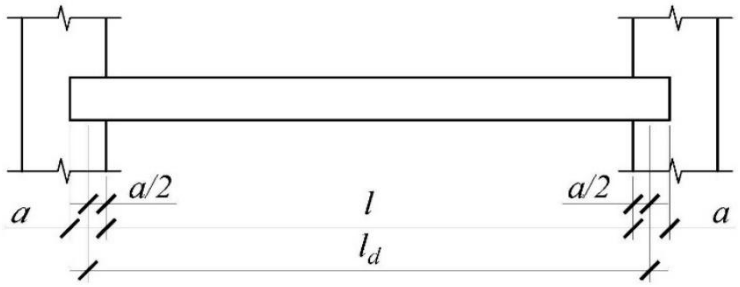


Рис. 3.1. Схема опирання залізобетонного прогону

Внутрішні зусилля, а саме: згинальний момент та поперечну силу, визначаємо згідно загальних правил будівельної механіки.

2. *Характеристика матеріалів*

Для вибраних матеріалів записуємо наступні характеристики:

– для бетону: розрахункове значення міцності бетону на стиск f_{cd}; середнє значення міцності бетону на розтяг f_{ctm} (згідно додатка 7);

– для поздовжньої арматури: розрахункове значення міцності арматури на границі текучості f_{yd}, характеристичне значення міцності арматури на межі текучості f_{yk} (згідно додатка 8);

Граничне значення відносної висоти стиснутої зони бетону ξ_R можна визначити за формулою:

$$\xi_R = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{s0}},$$

де $\varepsilon_{s0} = \frac{f_{yd}}{E_s}$, E_s – модуль пружності арматури,

або за додатком 9 для вибраних матеріалів прогону.

3. Визначення оптимальних розмірів поперечного перерізу прогону

Балку приймаємо прямокутного перерізу з одиночним армуванням, тоді відносна висота стиснутої зони бетону має бути рівною:

$$\xi = \frac{x}{d} \le \xi_R,$$

де x - висота стиснутої зони бетону,

d – робоча висота перерізу (відстань від краю стиснутого бетону до центру ваги перерізу розтягнутої арматури).

Надалі розрахунок згинального залізобетонного елемента будемо проводити використовуючи спрощену діаграму деформування бетону. У цьому випадку епюру напружень в стиснутій зоні бетону приймають прямокутною, але використовуються коефіцієнт зменшення висоти стиснутої зони бетону λ = 0,8 та коефіцієнт η = 1,0, що враховує вплив інших факторів (див. рис. 3.2).

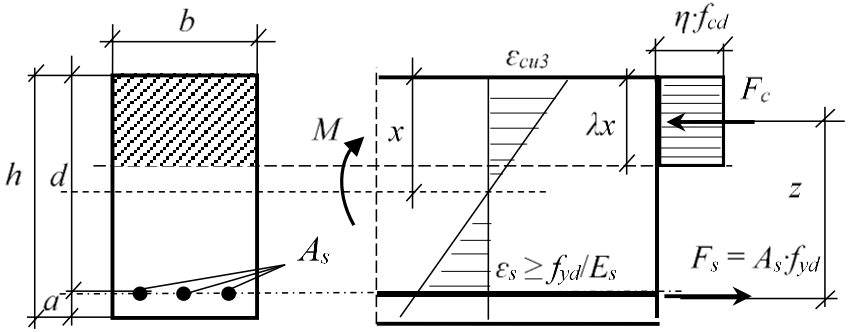


Рис. 3.2. Схема розподілу деформацій, напружень та зусиль в нормальному перерізі прогону при використанні спрощеної діаграми деформування бетону

Маємо три рівняння рівноваги внутрішніх зусиль:

- відносно центру ваги розтягнутою арматури:

$$M \le \alpha_m \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}, \quad (3.1)$$

- відносно точки прикладання рівнодіючої зусиль в стиснутому бетоні

$$M \le A_s \cdot f_{yd} \cdot \zeta \cdot d, \quad (3.2)$$

- сума проекцій внутрішніх зусиль на поздовжню вісь:

$$0{,}8 \cdot f_{cd} \cdot \xi \cdot b \cdot d = f_{yd} \cdot A_s. \quad (3.3)$$

де $\alpha_m = 0{,}8 \cdot \xi \cdot (1 - 0{,}4 \cdot \xi)$.

$\zeta = 1 - 0{,}4 \cdot \xi$.

Коефіцієнти α_m, ξ і ζ називають табличними, вони пов'язані між собою і знаючи значення одного можна визначати всі інші за допомогою формул або за спеціальними таблицями (див. додаток 10).

З формули (3.1) можна знайти мінімальну робочу висоту балки визначаємо:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{M_{Ed}}{\alpha_{m,R} \cdot f_{cd} \cdot b}},$$

де M_{ed} – момент від дії розрахункового граничного навантаження,

$\alpha_{m,R} = 0{,}8 \cdot \xi_R(1 - 0{,}4 \cdot \xi_R)$,

b = 20 см – ширина балки (приймається з досвіду проектування).

Оскільки армування одиночне, тоді мінімальна висота балки:

$$h_{min} = d_{min} + c + 0{,}5 \cdot \emptyset,$$

де c – товщина захисного шару бетону, приймаємо конструктивно c = 3 см;

$\emptyset$ – діаметр робочої поздовжньої арматури (приймаємо попередньо $\emptyset$ = 2 см).

Виходячи із розмірів стаціонарної опалубки висоту прогону h закругляємо до більшого цілого числа та приймаємо кратною 5 см, якщо h < 50 см, та кратною 10 см, якщо h ≥ 50 см.

Ширину балки приймаємо в межах b = (0,3…0,5)·h і рівною 15, 18, 20, 22, 25 і далі кратною 5 см.

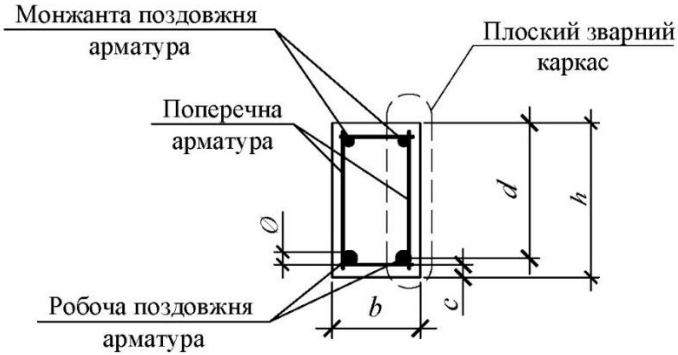


Рис. 3.3. Розрахунковий поперечний переріз прогону

4. *Розрахунок несучої здатності нормальних перерізів прогону*

Знаючи розміри поперечного перерізу балки, можемо знайти робочу висоту перерізу згідно формули:

$$d = h - (c + 0{,}5 \cdot \emptyset).$$

З рівняння (3.1) знаходимо значення коефіцієнта α_m:

$$\alpha_m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}.$$

За додатком 10 знаючи значення α_m знаходимо інші коефіцієнти $\xi \leq \xi_R$ та $\zeta \leq 0{,}95$.

Якщо дані умови не виконуються, то необхідно збільшити розміри поперечного перерізу прогону.

З рівняння (3.2) знаходимо необхідну площу поздовжньої арматури:

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot \zeta \cdot d}.$$

Згідно сортаменту арматури (додаток 11) приймаємо фактичну кількість та діаметр стержнів з площею рівною або трохи більшою за необхідну.

Перевіряємо відповідність підібраної арматури конструктивним вимогам. Для цього визначаємо коефіцієнт поздовжнього армування:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d},$$

що має бути в межах:

$$\rho_{min} = 0{,}0013 < \rho < \rho_{max} = 0{,}04.$$

Мінімальна кількість арматури в згинальних залізобетонних елементах:

$$A_{s,min} = 0{,}26\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d.$$

Армуємо наш переріз.

3.4. Контрольні запитання до задачі №3

1. В чому полягає сутність залізобетону?
2. Назвіть фактори, що забезпечують спільну роботу бетону і арматури в залізобетонних конструкціях.
3. Що таке поздовжня арматура? Де вона розміщується в однопролітній балці?
4. Що таке клас і марка бетону? В чому відмінності між цими поняттями?
5. Класифікація арматури в залізобетонних конструкціях. Позначення арматури для залізобетонних конструкцій.
6. Що таке робоча висота перерізу залізобетонного елементу?
7. Що таке захисний шар бетону і для чого він потрібен?
8. Стадії напружено-деформованого стану при роботі згинальних залізобетонних елементів.
9. Що таке одиночне та подвійне армування у згинальних залізобетонних елементах?
10. Що таке ξ?
11. Що таке ξ_R та від чого вона залежить?
12. Три рівняння рівноваги внутрішніх зусиль при розрахунку згинальних залізобетонних елементів прямокутного перерізу.
13. Що таке сортамент арматури?
14. Що таке коефіцієнт поздовжнього армування?
15. Що таке нормальні та похилі перерізи при розрахунку згинальних залізобетонних елементів?
16. В якому місці утворюються і який характер мають перші тріщини в однопролітній залізобетонній балці?

4. Приклади виконання завдань

4.1. Приклад виконання задачі №1

Завдання:

Підібрати перерізи елементів АВ і ВС стержневої системи (рис. 4.1.1) за наступними даними:

- характеристичне зосереджене навантаження F_0 = 350 кН;
- геометричні характеристики: a = 2,25 м; b = 0,8 м; c = 2,75 м;
- матеріал елементів АВ, ВС – сталь класу С235.

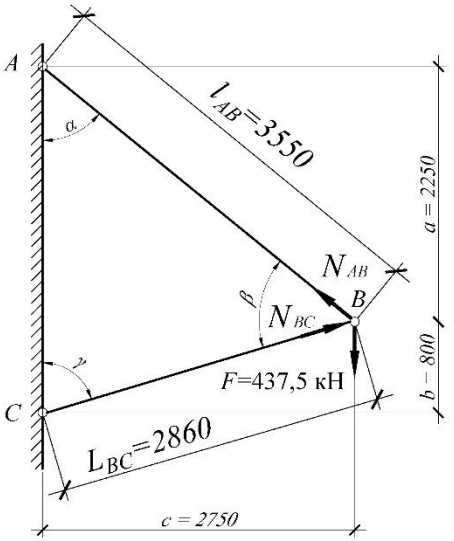


Рис. 4.1.1. Розрахункова схема стержневої системи

Коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим навантаженням γ_{fm} = 1,25. Коефіцієнт умов роботи γ_c = 1.

Елементи АВ та ВС складені: АВ – з двох кутиків (див. рис. 4.1.2.а), ВС – з двох швелерів (див. рис. 4.1.2.б).

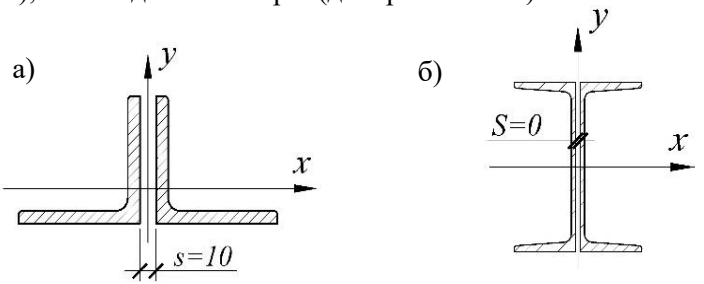


Рис. 4.1.2. Форми перерізів елементів АВ (а) та ВС (б).

Розв'язок

1. Визначаємо граничне розрахункове значення зосередженої сили:

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

2. Статичний розрахунок системи, визначення поздовжніх зусиль в елементах.

Обчислюємо геометричні довжини елементів:

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

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

Знаходимо значення геометричних 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 (вузол В).

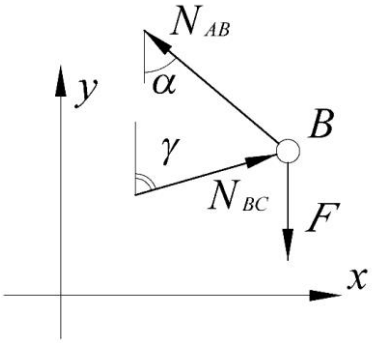


Рис. 4.1.3. Визначення зусиль в елементах АВ та ВС

$$\sum F_x = 0 \quad -N_{AB} \cdot sin\alpha + N_{BC} \cdot sin\gamma = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad N_{\text{AB}} \cdot cos\alpha + N_{BC} \cdot cos\gamma - F = 0$$

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

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

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

$N_{BC} = 410{,}35$ кН,

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

3. Згідно додатку 1 розрахункові опори для сталі класу С235 $R_y = 230$ МПа = 23 кН/см^2 [1] (товщина прокату t < 20 мм – попередньо).

4. Визначаємо необхідну площу перерізу розтягнутого стержня АВ за формулою:

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

Переріз елемента АВ складений, тому необхідна площа поперечного перерізу одного кутика становить:

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

5. За сортаментом (додаток 4) вибираємо ∟75х8, для якого A_1 = 11,5 см^2, b = 7,5 см; I_{x1} = I_{y1} = 59,84 см^4, t = 8 мм; i_{x1} = i_{y1} = 2,28 см; x_0 = 2,15 см.

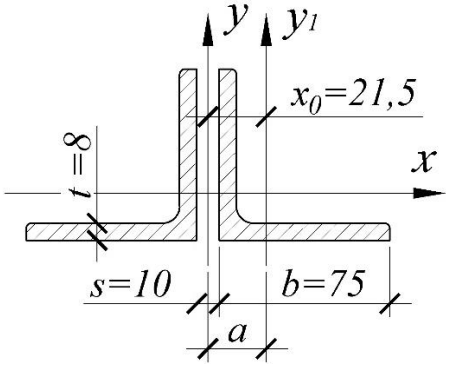


Рис. 4. Визначення геометричних характеристик розтягнутого елемента АВ

Площа поперечного перерізу розтягнутого елемента АВ:

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

Моменти інерцій перерізу:

$$I_x = 2 \cdot I_{x1} = 2 \cdot 59{,}84 = 119{,}68 \text{ см}^4,$$

$$I_y = 2 \cdot \left(I_{y1} + a^2 \cdot A_1\right) = 2 \cdot \left(I_{y1} + \left(\frac{s}{2} + x_0\right)^2 \cdot A_1\right) =$$

$$= 2 \cdot \left(59{,}84 + \left(\frac{1}{2} + 2{,}15\right)^2 \cdot 11{,}5\right) = 281{,}20 \text{ см}^4.$$

[1] – надалі всі розрахунки будемо виконувати в кН, см, кНсм, кН/см^2 і т. д., при цьому необхідно пам'ятати, що 1 кН/см^2 = 10 МПа

Радіуси інерцій відносно осей x та y:

$$i_x = i_{x1} = 2{,}28 \text{ см},$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{281{,}20}{23}} = 3{,}50 \text{ см}.$$

6. Уточнюємо значення R_y для елемента АВ із сталі класу С235 при фактичній товщині прокату t = 8 мм (товщина полиці кутика):

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

7. Виконуємо перевірку умови міцності елемента АВ:

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

Умова виконується.

8. Визначаємо недонапруження розтягнутого елемента АВ: за формулою

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

9. Для визначення площі перерізу стиснутого елемента ВС попередньо приймаємо гнучкість елемента $\lambda^* = 80$, при цьому умовна гнучкість рівна:

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

Згідно додатку 2 коефіцієнт поздовжнього згину $\varphi^* = 0{,}708$, тому необхідна площу складеного перерізу:

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

Необхідна площа поперечного перерізу одного швелера:

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

10. За сортаментом (додаток 5) приймаємо [№16, з наступними характеристиками A_1 = 18,1 см^2, I_{x1} = 747 см^4, I_{y1} = 63,3 см^4, h = 160 мм; t = 8,4 мм; i_{x1} = 6,42 см, i_{y1} = 1,87 см, b = 64 мм; x_0 = 1,8 см.

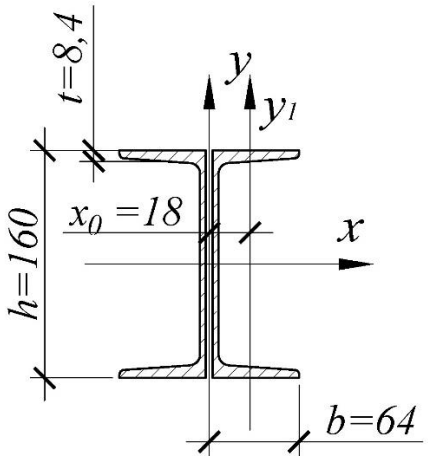


Рис. 4.1.5. Визначення геометричних характеристик стиснутого елемента ВС

Площа поперечного перерізу елемента АВ:

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

Моменти інерцій перерізу:

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

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

Радіуси інерцій відносно осей x та y:

$$i_x = i_{x1} = 6{,}42 \text{ см},$$

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

11. Уточнюємо значення R_y для стержня ВС із сталі класу С235 при фактичній товщині прокату t = 8,4 мм(товщина полиці швелера):

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

12. Визначаємо гнучкість стиснутого елемента ВС:

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

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

Максимальна гнучкість елемента:

$$\lambda_{max} = 110$$

Умовну гнучкість визначаємо за формулою:

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

Згідно додатку 2 коефіцієнт поздовжнього згину $\varphi = 0{,}511$.

13. Перевіряємо максимальну гнучкість стиснутого елемента ВС. Згідно додатку 3 гранична гнучкість елемента визначається за формулою:

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

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

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

Умова виконується.

14. Виконуємо перевірку умови стійкості центрально стиснутого елемента ВС за формулою:

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

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

Умова виконується.

15. Визначаємо недонапруження стиснутого 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.

4.2. Приклад виконання задачі №2

Завдання:

Підібрати переріз прокатної балки настилу (двотавр з нахилом внутрішніх граней полиць) робочої площадки нормального типу (див. рис. 4.2.1) за наступними даними:

- проліт l = 6,0 м;
- крок балок a = 1,2 м;
- характеристичне значення рівномірно розподіленого навантаження p_0 = 30 кН/м^2;
- коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим навантаженням γ_{fm} = 1,2;
- коефіцієнт надійності за граничним експлуатаційним навантаженням γ_{fe} = 1,0
- матеріал балки – сталь класу С245;
- граничний відносний прогин балки f_u / l = 1/300;
- коефіцієнт умов роботи γ_c = 1.

Розрахунок балки виконати в стадії пружної роботи матеріалу.

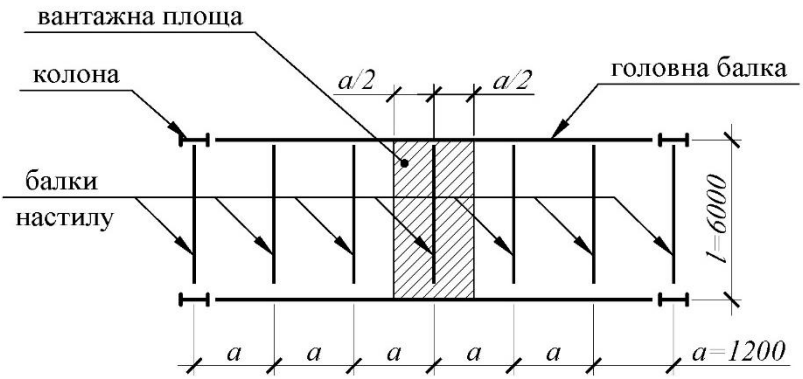


Рис. 4.2.1. Балкова клітка нормального типу

Розв'язок

1. Якщо на балку діє рівномірно розподілене характеристичне навантаження по площі значенням p_0 = 30 кН/м^2, то для визначення погонного навантаження (на 1 м довжини балки) необхідно перемножити p_0 на вантажну площу (див. рис. 4.2.1), тоді:

– розрахункове експлуатаційне значення погонного навантаження дорівнює

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

– розрахункове граничне значення

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

де a =1,2 м крок балок настилу.

2. Статичний розрахунок балки.

Балка являє собою однопролітну розрізну балку завантажену рівномірно розподіленим навантаженням q.

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:

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

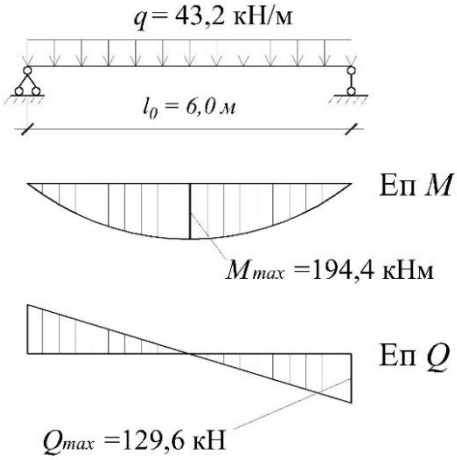


Рис. 4.2.2. Розрахункова схема балки настилу

3. Згідно додатку 1 для сталі класу С245 розрахункові опори сталі:

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

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

- розрахунковий опір сталі зсуву

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

(з досвіду проектування попередньо приймаємо товщину прокату 2 мм > $t \leq 20$ мм)

4. Виходячи з умови міцності за максимальними нормальними напруженнями необхідний момент опору перерізу балки визначаємо за формулою:

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

5. Згідно сортаменту (додаток 6) вибираємо двотавр **I** № 40 з наступними характеристиками:

A = 72,6 см$_2$; W_x = 953 см^3;
I_x = 19062 см^4; t = 13 мм;
S_x = 545 см^3; b= 155 мм;
h = 400 мм; s = 8,3 мм.

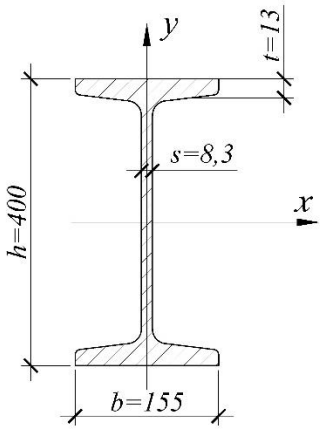


Рис. 3.2.3. Поперечний переріз балки настилу

6. Уточнюється згідно додатку 1 значення R_y при фактичній товщині полиці двотавра t = 13 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 поперечного перерізу за максимальними нормальними напруженнями згідно формули:

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

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

Умова виконується.

8. Перевіряємо умову міцності поперечного перерізу балки настилу за максимальними дотичними напруженнями згідно формули:

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

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

Умова виконується.

9. Визначаємо величину недонапруження балки настилу:

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

Недонапруження перевищує 5%, але враховуючи обмеженість сортаменту (менший двотавр I № 36 з W_x = 743 см^3 < W^*_x = 810 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 I № 40.

4.3. Приклад виконання задачі №3

Завдання:

Залізобетонний прогін перекриває проріз шириною l = 5,0 м, довжина площадок опирання прогону на цегляні стіни з кожної сторони складає a = 0,3 м. Величина розрахунково граничного навантаження на прогін (з врахуванням власної ваги) складає q = 40 кН/м.

Необхідно визначити розміри поперечного перерізу та призначити потрібну поздовжню арматуру. Прогін виготовлений з важкого бетону класу С12/15 та арматури класів А400.

Розв'язок:

1. *Статичний розрахунок балки*

Крайніми опорами для балки є цегляні стіни з довжиною площі опирання рівною a = 30 см (див. рис. 4.3.1). Балка опирається на стіни шарнірно, а опорна реакція прикладена по центру довжини опирання.

Розрахунковий проліт прогону складає:

$$l_d = l + 2 \cdot \frac{a}{2} = 5{,}0 + 2 \cdot \frac{0{,}3}{2} = 5{,}3 \text{ м}.$$

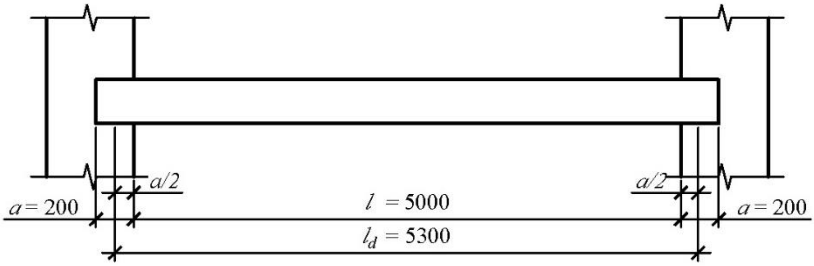


Рис. 4.3.1. Схема опирання залізобетонного прогону

Визначаємо величини згинальних моментів і поперечних сил від дії розрахункового граничного навантаження:

$$M_{Ed} = M_{max} = \frac{q \cdot l_d^2}{8} = \frac{40 \cdot 5{,}3^2}{8} = 140{,}45 \text{ кНм}^1 = 14045 \text{ кНсм}.$$

[1] – надалі всі розрахунки будемо виконувати в наступних одиницях: кН, см, кНсм, кН/см^2 і т. д., при цьому необхідно пам'ятати, що 1 кН/см^2 = 10 МПа

$$V_{max} = \frac{q \cdot l_d}{2} = \frac{40 \cdot 5{,}3}{2} = 106 \text{ кН}.$$

На рис. 4.3.2 наведена розрахункова схема та епюри внутрішніх зусиль в балці.

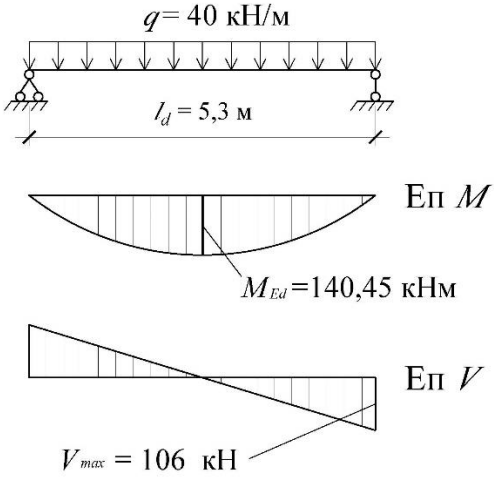


Рис. 4.3.2. Розрахункова схема прогону та епюри внутрішніх зусиль

2. *Характеристики матеріалів*

Згідно додатка 7 для важкого бетону класу С12/15: розрахункове значення міцності бетону на стиск f_{cd} = 8,5 МПа =0,85 кН/см^2; середнє значення міцності бетону на розтяг f_{ctm} = 1,6 МПа.

Згідно додатка 8 для робочої поздовжньої арматура класу А400С: розрахункове значення міцності арматури на границі текучості f_{yd}= 360 МПа = 36 кН/см^2; характеристичне значення міцності арматури на межі текучості f_{yk}= 400 МПа.

Згідно додатка 9 граничне значення відносної висоти стиснутої зони бетону для вибраних матеріалів ξ_R=0,657.

3. *Визначення оптимальних розмірів поперечного перерізу балки*

Виходячи із умови міцності нормального перерізу, мінімальна робоча висота балки дорівнює:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{M_{Ed}}{\alpha_{m,R} \cdot f_{cd} \cdot b}} = \sqrt{\frac{14045}{0{,}387 \cdot 0{,}85 \cdot 20}} = 46{,}20 \text{ см},$$

де $\alpha_{m,R} = 0{,}8\xi_R(1 - 0{,}4\xi_R) = 0{,}8 \cdot 0{,}657 \cdot (1 - 0{,}4 \cdot 0{,}657) = 0{,}387$,

b = 20 см – ширина балки (приймаємо з досвіду проектування).

Оскільки переріз має одиночне армування, то мінімальна висота прогону визначається за формулою:

$h_{min} = d_{min} + c + 0{,}5 \cdot \emptyset = 46{,}20 + 3 + 0{,}5 \cdot 2 = 50{,}2$ см,

де c – товщина захисного шару бетону, приймаємо c = 3 см;

$\emptyset$ – діаметр робочої поздовжньої арматури (з досвіду проектування приймаємо $\emptyset$ = 2 см).

Приймаємо висоту прогону h = 60 см, тоді ширина буде рівною $b = (0{,}3…0{,}5) \cdot h = (0{,}3…0{,}5) \cdot 60 = 18…30$ см (див. п.3.3).

Остаточно приймаємо розміри поперечного перерізу прогону b x h = 25 x 60 см.

4. *Розрахунок несучої здатності нормальних перерізів балки*

Згідно попередніх розрахунків робоча висота перерізу прогону становить:

$$d = h - (c + 0{,}5 \cdot \emptyset) = 60 - (3 + 0{,}5 \cdot 2) = 56 \text{ см}.$$

Знаходимо значення коефіцієнта α_m за формулою:

$$\alpha_m = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14045}{25 \cdot 56^2 \cdot 0{,}85} = 0{,}211.$$

За значенням α_m = 0,211 за допомогою інтерполяції згідно додатку 10: $\xi = 0{,}3 < \xi_R = 0{,}657$; $\zeta = 0{,}88 < 0{,}95$.

Необхідна площа поздовжньої арматури дорівнює:

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot \zeta \cdot d} = \frac{14045}{36 \cdot 0{,}88 \cdot 56} = 7{,}92 \text{ см}^2.$$

Армування балки приймаємо одинарним, а саме: **4 Ø16 А400С** з площею A_s = 8,04 см^2 (див. сортамент арматури – додаток 11).

Коефіцієнт поздовжнього армування дорівнює:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{8{,}04}{25 \cdot 56} = 0{,}006$$

$$\rho_{min} = 0{,}0013 < \rho = 0{,}006 < \rho_{max} = 0{,}04.$$

Мінімальна площа поздовжньої арматури:

$$A_{s,min} = 0{,}26\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d = 0{,}26 \cdot \frac{1{,}6}{400} \cdot 25 \cdot 56 = 1{,}46 \text{ см}^2.$$

Отже призначена площа поперечного перерізу поздовжньої арматури відповідає конструктивним вимогам.

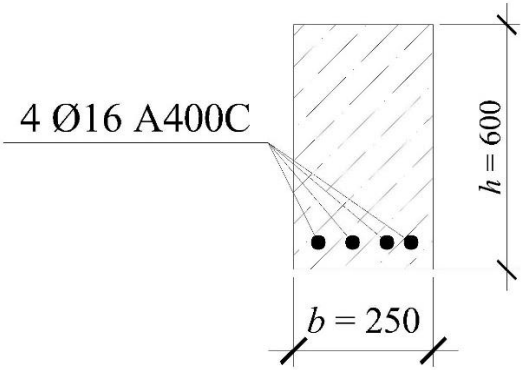


Рис. 4.3.3. Схема армування прогону

Додаток 1

Характеристичні і розрахункові опори при розтягу, стиску і згині для листового, широкосмугового універсального і фасонного прокату відповідно до класів міцності прокату сталі (частковий витяг з табл. Г.2 [6])

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
С235	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	–	–
С245	від 2 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 30	–	–	235	370	–	–	230	360
С255	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
С275	від 2 до 10	275	380	275	390	270	370	270	380
	понад 10 до 20	265	370	275	380	260	360	270	370
С285	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
С295	до 100	295	430	295	430	285	420	285	420
С325	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 50 до 100	265	430	–	–	260	420	–	–
С345	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.

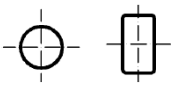
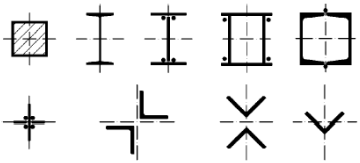
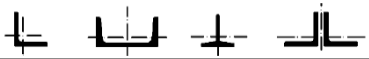
[3] Значення розрахункових опорів одержані діленням характеристичних опорів на коефіцієнти надійності за матеріалом γ_m із заокругленням до 5 Н/мм^2. Для класів міцності прокату сталі С235-С500; С620 враховано γ_m = 1,025, а для класів С590; С590К враховано γ_m = 1,1.

Додаток 2

Коефіцієнти стійкості при центральному стиску
(частковий витяг з табл. Ж.1 та табл. 8.1 [6])

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*

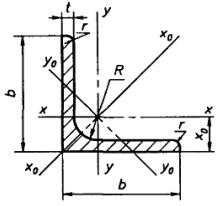
Додаток З

Граничні гнучкості елементів при стиску
(витяг з табл. 13.9 [6])

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;	$180 - 60\alpha$
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;	$210 - 60\alpha$
б) просторових і структурних конструкцій із одиночних кутиків з болтовими з'єднаннями	$220 - 40\alpha$
3 Верхні пояси ферм, не закріплені у процесі монтажу (граничну гнучкість після завершення монтажу слід приймати за позицією 1)	220
4 Основні колони	$180 - 60\alpha$
5 Другорядні колони (стояки фахверку, ліхтарів тощо), елементи решітки колон, елементи вертикальних в'язей між колонами (нижче балок кранових колій)	$210 - 60\alpha$
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. $\alpha = \dfrac{N}{\varphi A R_y \gamma_c}$ – коефіцієнт, який приймається не меншим 0,5 (у необхідних випадках замість φ слід застосувати φ_e).	

Додаток 4

Кутики рівнополицеві за ДСТУ 8509-93



№ кутика	b	t	R	r	A, см²	Довідкові значення величин для осей										Маса 1 м, кг
						x - x			x₀ - x₀		y₀ - y₀			Ixy, см⁴	x₀, см	
	мм					Ix, см⁴	Wx, см³	ix, см	Ix0, см⁴	ix0, см	Iy0, см⁴	Wy0, см³	iy0, 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

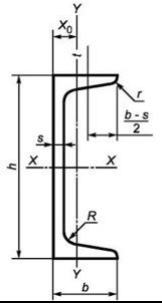
№ ку-гика	b	t	R	r	A, см^2	Довідкові значення величин для осей											Маса 1 м, кг
						x - x			x_0 - x_0		y_0 - y_0			I_{xy}, см^4	x_0, см		
	мм					Ix, см^4	Wx, см^3	i_x, см	I_{x0}, см^4	i_{x0}, см	I_{y0}, см^4	W_{y0}, см^3	i_{y0}, см				
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	7,69	1,52	3,44	
		5	6,0	2,0	5,41	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,10	9,41	1,57	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	

№ ку-гика	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	
	мм					Ix, см^4	Wx, 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

№ ку-гика	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	
	мм					Ix, см^4	Wx, см^3	i_x, см	I_{x0}, см^4	i_{x0}, см	I_{y0}, см^4	W_{y0}, см^3	i_{y0}, см			
		18	16,0	5,3	54,79	1290,24	114,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	771,00	4,63	43,01
		20	16,0	5,3	60,40	1418,85	125,60	4,85	2248,26	6,10	589,43	90,02	3,12	830,00	4,70	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 5

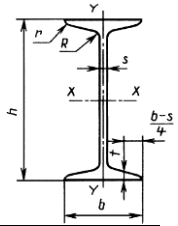
Швелери з нахилом внутрішніх граней полиць за ДСТУ 8240-89



№ швелера	h	b	s	t	R	r	А, см^2	Масса 1 м, кг	Довідкові значення величин для осей							x_o, см
					не більше				X - X				Y - Y			
	мм								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
16а	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
18а	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 6

Двотаври з нахилом внутрішніх граней полиць за ДСТУ 8239-89



№ дво-тавра	Розміри						А, см^2	Масса 1 м, кг	Довідкові значення величин для осей						
									$x-x$				$y-y$		
	h	b	s	t	R	r			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				не более										
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

Додаток 7

Характеристики міцності і деформативності бетону

(частковий витяг з табл. 3.1 [7])

Характеристики	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/35	C32/40	C35/45	C40/45	C45/55
$f_{ck,cube}$ (МПа)	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$f_{cm,cube}$ (МПа)	19	25	32	38	45	51	58	64	71
$f_{ck,prism}$ (МПа)	11	15	18,5	22	25,5	29	32	36	39,5
$f_{cd,prism}$(МПа)	8,5	11,5	14,5	17	19,5	22	25	27,5	30
f_{ctm}(МПа)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,8	3,0	3,2	3,5	3,8
$f_{ctk,0,05}$ (МПа)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,1	2,2	2,5	2,7
$f_{ctk,0,95}$(МПа)	2,0	2,5	2,9	3,4	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9
E_{cm} (ГПа)	23	27	30	32,5	34,5	36	37,5	39	39,5
E_{ck} (ГПа)	20	23	26	29	31	32	34	35	36
E_{cd}(ГПа)	16,3	20	23	25	27	28,5	30,5	32	33
$\varepsilon_{c1,ck}$ (‰)	1,61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,86	1,90	1,94	1,98
$\varepsilon_{c1,cd}$ (‰)	1,58	1,62	1,65	1,69	1,72	1,76	1,80	1,84	1,87
$\varepsilon_{cu1,ck}$ (‰)	4,40	4,15	3,85	3,55	3,25	3,00	2,83	2,63	2,50
$\varepsilon_{cu1,cd}$ (‰)	3,70	3,59	3,44	3,28	3,10	2,93	2,72	2,57	2,43
$\varepsilon_{c3,ck}$ (‰)	0,55	0,65	0,71	0,76	0,82	0,91	0,94	1,03	1,10
$\varepsilon_{c3,cd}$ (‰)	0,52	0,58	0,63	0,68	0,72	0,77	0,83	0,86	0,91
$\varepsilon_{cu3,ck}$ (‰)	3,96	3,73	3,46	3,20	2,93	2,70	2,55	2,37	2,25
$\varepsilon_{cu3,cd}$ (‰)	3,33	3,23	3,10	3,00	2,80	2,64	2,45	2,31	2,19

Додаток 8

Міцнісні та деформаційні характеристики арматури
(частковий витяг з табл. 3.4 [8])

Характеристики арматури	Клас арматури				
	A240C	A400C	A500C		B500
			Ø8 - 22	Ø25 - 40	
f_{yk}, МПа	240	400	500		500
f_{yd}, МПа	228	360	435	420	420
f_{ywd}, МПа	170	285	300		300
E_s, МПа	$2{,}1 \cdot 10^5$	$2{,}1 \cdot 10^5$	$2{,}1 \cdot 10^5$		$1{,}9 \cdot 10^5$
ε_{ud}	0,025	0,025	0,020		0,012

Додаток 9

Граничні значення відносної висоти
стиснутої зони бетону $\boldsymbol{\xi_R}$

Бетон		Арматура		
Клас	$\varepsilon_{cu,3} \cdot 10^{-3}$	A240C	A400C	A500C
C12/15	3,33	0,758	0,657	0,613
C16/20	3,23	0,751	0,650	0,606
C20/25	3,10	0,743	0,649	0,596
C25/30	3,00	0,737	0,633	0,588
C30/35	2,80	0,729	0,618	0,571
C32/40	2,64	0,711	0,603	0,557
C35/45	2,45	0,696	0,585	0,544
C40/50	2,31	0,683	0,570	0,524

Додаток 10

Значення коефіцієнтів α_m, ξ, ζ

ξ	ζ	α_m	ξ	ζ	α_m	ξ	ζ	α_m
0,01	0,966	0,008	0,26	0,896	0,186	0,51	0,796	0,325
0,02	0,992	0,016	0,27	0,892	0,193	0,52	0,792	0,329
0,03	0,988	0,024	0,28	0,888	0,199	0,53	0,788	0,331
0,04	0,984	0,031	0,29	0,884	0,205	0,54	0,784	0,339
0,05	0,980	0,039	0,3	0,880	0,211	0,55	0,780	0,343
0,06	0,976	0,047	0,31	0,876	0,217	0,56	0,776	0,348
0,07	0,972	0,054	0,32	0,872	0,223	0,57	0,772	0,352
0,08	0,968	0,062	0,33	0,868	0,229	0,58	0,768	0,356
0,09	0,964	0,069	0,34	0,864	0,235	0,59	0,764	0,361
0,10	0,960	0,077	0,35	0,860	0,241	0,6	0,760	0,365
0,11	0,956	0,084	0,36	0,856	0,247	0,62	0,752	0,373
0,12	0,952	0,091	0,37	0,852	0,252	0,64	0,744	0,381
0,13	0,948	0,099	0,38	0,848	0,258	0,66	0,736	0,389
0,14	0,944	0,106	0,39	0,844	0,263	0,68	0,728	0,396
0,15	0,94	0,113	0,4	0,840	0,269	0,7	0,720	0,403
0,16	0,936	0,120	0,41	0,836	0,274	0,72	0,712	0,410
0,17	0,932	0,127	0,41	0,832	0,280	0,74	0,704	0,417
0,18	0,928	0,134	0,43	0,828	0,285	0,76	0,696	0,423
0,19	0,924	0,140	0,44	0,824	0,290	0,78	0,688	0,429
0,20	0,920	0,147	0,45	0,820	0,295	0,8	0,680	0,435
0,21	0,916	0,154	0,46	0,816	0,300	0,85	0,660	0,449
0,22	0,912	0,161	0,47	0,812	0,305	0,9	0,640	0,461
0,23	0,908	0,167	0,48	0,808	0,310	0,95	0,620	0,471
0,24	0,904	0,174	0,49	0,804	0,315	1	0,600	0,480
0,25	0,900	0,180	0,5	0,800	0,320			

Додаток 11

Площа поперечних перерізів, маса і сортамент арматури

Діаметр, мм	Розрахункові площі поперечних перерізів, см^2, при кількості стержнів										Маса, кг	Арматура класів		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		А240	А400, А500	Вр-1
3	0,071	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,57	0,64	0,71	0,052	-	-	+
4	0,126	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	1,26	0,092	-	-	+
5	0,196	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	0,144	-	-	+
6	0,283	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	2,83	0,222	+	+	-
8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,54	3,02	3,52	4,02	4,53	5,03	0,395	+	+	-
10	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	9,28	7,07	7,85	0,617	+	+	-
12	1,131	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31	0,888	+	+	-
14	1,539	3,08	4,62	6,16	7,69	9,23	10,77	12,32	13,85	15,39	1,208	+	+	-
16	2,011	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11	1,578	+	+	-
18	2,545	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45	1,998	+	+	-
20	3,142	6,28	9,41	12,56	15,71	18,85	21,99	25,14	28,28	31,42	2,466	+	+	-
22	3,801	7,60	11,40	15,20	19,00	22,81	26,61	30,40	34,21	38,01	2,984	+	+	-
25	4,909	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,37	44,13	49,09	3,853	+	+	-
28	6,158	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,58	4,834	+	+	-
32	8,042	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42	6,313	+	+	-
36	10,18	20,36	30,54	40,72	50,90	61,08	71,26	81,44	91,62	101,8	7,990	+	+	-
40	12,56	25,12	37,68	50,24	52,80	75,36	87,92	100,5	113,0	125,6	9,87	+	+	-

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Бабич Є. М., Бабич В. Є. Розрахунок і конструювання залізобетонних балок : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2017. 191 с.
2. Барашиков А. Я., Колякова В. М. Будівельні конструкції : підручник. К. : Видавничий дім «Слово», 2011. 256 с.
3. Будівельні конструкції : навчальний посібник / за заг. ред. Є. В. Клименка. К. : Центр учбової літератури, 2012. 426 с.
4. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинні від 2022-09-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 30 с.
5. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Навантаження і впливи: Норми проектування. [Чинні від 2007-01-01]. К. : Мінбуд України, 2006. 75 с.
6. ДБН В.2.6–198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. [Чинні від 2015-01-01]. К. : Мінрегіон України, 2014. 199 с.
7. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинні від 2011-07-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.
8. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинні від 2011-06-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с.