

Практична робота № 2

Розрахунок другорядної сталеві балки перекриття

Мета: визначення несучої здатності і жорсткості сталеві балки перекриття будівлі

Хід виконання роботи:

1. Встановити вихідні дані для розрахунку: проліт головної L (м) і другорядної l (м) балок, крок другорядних балок a (м), клас міцності сталі (див. табл. 2.1).
2. Характеристичне і граничне розрахункове значення навантаження на перекриття будівлі прийняти за результатами практичної роботи №1.
3. Накреслити схему розташування головних і другорядних балок перекриття.
4. Визначити розрахунковий опір сталеві прокату (табл. 7.1 ДБН В.2.6-198 [3]):

- на стиск, розтяг, згин (за границею текучості) за такою формулою

$$R_y = R_{yn} / \gamma_m, \quad (2.1)$$

де R_{yn} – характеристичний опір прокату сталі, МПа;

$\gamma_m = 1,025$ – коефіцієнт надійності за матеріалом, див. табл. 7.2 ДБН В.2.6-198 [3];

- на зріз за такою формулою

$$R_s = 0.58 \times R_y. \quad (2.2)$$

5. Обчислити експлуатаційне і граничне розрахункове значення навантаження на 1 м.п. другорядної балки перекриття шляхом перемноження значення навантаження на перекриття на крок балок:

- експлуатаційне значення

$$q_e^b = q_{\text{хар}}^{\text{пер}} \times a; \quad (2.3)$$

- граничне розрахункове значення

$$q_{\text{гр.р}}^b = q_{\text{гр.р}}^{\text{пер}} \times a, \quad (2.4)$$

де a – крок другорядних балок перекриття, м.

6. Визначити розрахункові внутрішні зусилля у балці:

- згинальний момент (кН·м) за формулою

$$M_{зг} = (q_{гр.р}^6 \times l^2) / 8; \quad (2.5)$$

- поперечна сила (кН) за формулою

$$Q_{зг} = (q_{гр.р}^6 \times l) / 2. \quad (2.6)$$

Побудувати епюри внутрішніх зусиль M і Q .

7. Визначити момент опору перерізу з умови міцності балки на згин

- умова міцності на згин:

$$\frac{M_{зг} \times \gamma_n}{W_{n.min} \times R_y \times \gamma_c} \leq 1, \quad (2.7)$$

- момент опору перерізу:

$$W_{n.min} = \frac{M_{зг}}{R_y \times \gamma_c}, \quad \text{см}^3. \quad (2.8)$$

де $\gamma_c = 0,9$ – коефіцієнт умов роботи балки, див. табл. 5.1 ДБН В.2.6-198 [3];

γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю будівлі, див. табл. 5.1 ДБН В.1.2-14:2018 [2].

8. За обчисленим моментом опору перерізу прийняти двотавровий переріз балки за сортаментом **ГОСТ 26020-83** із такими геометричними характеристиками:

- момент опору перерізу, W_x , см^3 ; площа перерізу, A , см^2 ;
- момент інерції перерізу, I_x , см^4 ;
- статичний момент опору перерізу, S_x , см^3 ;
- товщина стінки перерізу, s , мм; маса 1 м, кг.

9. Уточнити навантаження з урахуванням власної ваги балки

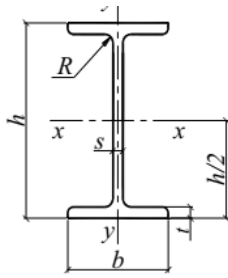
- експлуатаційне значення:

$$q_{e,1}^6 = q_e^6 + q_{в.в}; \quad (2.9)$$

- граничне розрахункове значення:

$$q_{гр.р,1}^6 = q_{гр.р}^6 + q_{в.в} \times \gamma_f \times \gamma_n, \quad (2.10)$$

де $q_{в.в}$ – власна вага балки, кг/м, прийнята за сортаментом.



Сортамент сталевих двутаврів

Двутаври сталеві гарячекатані з паралельними
гранями полиць за ГОСТ 26020-83

Приклад позначення:
І30Ш1 / ГОСТ 26020-83

№ профілю	Розміри					Маса 1 м, кг	Площа перерізу, см ²	Довідкові величини для осей										
	h	b	s	t	R			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				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
20Б1	200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,49	1943	194,3	8,26	110,3	142,3	28,5	2,23				
23Б1	230	110	5,6	9	12	25,8	32,91	2996	260,5	9,54	147,2	200,3	36,4	2,47				
26Б1	258	120	5,8	8,5	12	28,0	35,62	4024	312,0	10,63	176,6	245,6	40,9	2,63				
30Б1	296	140	5,8	8,5	15	32,9	41,92	6328	427,0	12,29	240,0	390,0	55,7	3,05				
35Б1	346	155	6,2	8,5	18	38,9	49,63	10060	581,7	14,25	328,6	529,6	68,3	3,27				
35Б2	349	155	6,5	10	18	43,3	55,17	11550	662,2	14,47	373,0	622,9	80,4	3,36				

Рисунок 2.1 – Сортамент двутаврів із паралельними гранями полиць

10. Уточнити розрахункові внутрішні зусилля

- згинальний момент, кН·м

$$M_{зг}^1 = (q_{гр,п,1}^6 \times l^2) / 8; \quad (2.11)$$

- поперечна сила, кН

$$Q^1 = (q_{гр,п,1}^6 \times l) / 2. \quad (2.12)$$

Побудувати епюри внутрішніх зусиль М і Q.

11. Перевірити умову міцності балки на згин:

$$\frac{M_{зг}^1}{W_x \times R_y \times \gamma_c \times c_x} \leq 1, \quad (2.13)$$

де c_x – коефіцієнт для розрахунку з урахуванням розвитку пластичних деформацій при згині, таблиця М.2 ДБН В.2.6-198 [3].

12. Перевірити умову міцності балки на зріз:

$$\frac{Q^1 \times S_x}{I_x \times t \times R_s \times \gamma_c} \leq 1, \quad (2.14)$$

де t – товщина стінки перерізу, см.

13. Перевірити умову жорсткості балки:

$$f = \frac{5 \times q_{e,1}^6 \times l^4}{384 \times E_s \times I_x} \leq f_u = \frac{l}{200}, \quad (2.15)$$

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

Приклад розрахунку балки наведено в додатку Г.2.

Таблиця 2.1

Вихідні дані для розрахунку другорядної сталеві балки перекриття

Початкові букви ПІБ	Проліт головної балки, м	Проліт другорядної балки, м	Крок другорядних балок, м	Клас міцності сталі
	1	2	3	4
А, У	9,0	6,0	1,1	C245
Й, К	9,5	5,6	1,25	C295
Б, Ф	9,6	4,8	1,1	C255
В, Х	10,2	5,1	1,2	C275
Л, М	12,6	5,9	2,1	C255
Г, Ц	10,8	5,4	1,3	C285
Д, Ч	11,0	5,5	1,4	C295
О, П	14,7	5,8	1,0	C245
Н, Р	9,8	4,8	1,2	C285
Е, Ш	11,8	4,2	1,5	C245
Є, Щ	12,0	5,0	1,6	C255
Ж, Ї	12,3	5,2	1,7	C295
С, Т	14,2	5,7	1,35	C255
З, Ю	13,0	5,3	1,8	C285
І, Я	15,0	4,9	2,0	C275
Примітка. Вихідні дані приймають за першими буквами ПІБ: Прізвище – з колонки «1» Ім'я – з колонок «2» і «4» По батькові – з колонки «3».				

Контрольні запитання:

- 1) Які коефіцієнти надійності були використані при розрахунку сталеві балки?
- 2) Які геометричні характеристики перерізу балки необхідні для розрахунку?
- 3) Які перевірки міцності виконують для балки?

Г.2 Приклад розрахунку другорядної сталеві балки перекриття

Вихідні дані розрахунку:

Проліт головної балки, м – $L = 10,8$

Проліт другорядної балки, м – $l = 5,4$

Крок другорядних балок, м – $a = 1,5$

Клас міцності сталі – C285

Характеристичне значення навантаження на 1 м^2 перекриття, кН/м^2 –

$q_{\text{хар}}^{\text{np}} = 6,49$ (див. табл. Г.2);

Граничне розрахункове значення навантаження на 1 м^2 перекриття, кН/м^2 –

$q_{\text{гр,р}}^{\text{np}} = 8,13$ (див. табл. Г.2).

Хід розрахунку:

1. Накреслимо план розташування конструкцій перекриття будівлі (рис. 2.1).

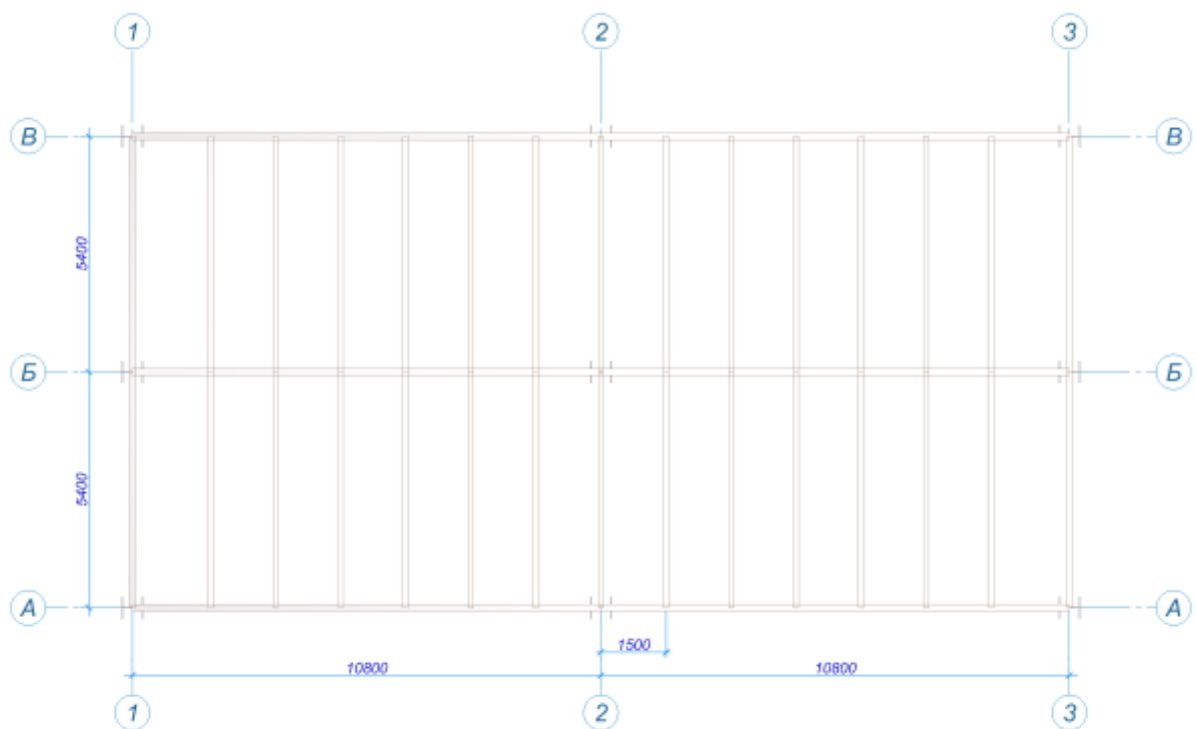


Рисунок 2.2 – План конструкцій перекриття будівлі

2. Визначаємо розрахунковий опір сталевого прокату

- на стиск, розтяг, згин (за границею текучості):

$$R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m} = \frac{285}{1,025} = 278,05 \text{ МПа}$$

- на зріз, зсув :

$$R_s = 0,58 \times R_y = 0,58 \times 278,05 = 161,27 \text{ МПа} .$$

3. Обчислюємо експлуатаційне і граничне розрахункове значення навантаження на 1 м.п. другорядної балки перекриття

- експлуатаційне значення:

$$q_e^6 = q_{\text{хар}}^{\text{пр}} \times a = 6,49 \times 1,5 = 9,735 \text{ кН/м},$$

- граничне розрахункове значення:

$$q_{\text{гр.р}}^6 = q_{\text{гр.р}}^{\text{пр}} \times a = 8,13 \times 1,5 = 12,2 \text{ кН/м}.$$

4. Визначаємо розрахункові внутрішні зусилля:

- згинальний момент

$$M_{3\Gamma} = \frac{q_{\text{гр.р}}^6 \times l^2}{8} = \frac{12,2 \times 29,16}{8} = 44,45 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

- поперечна сила

$$Q = \frac{q_{\text{гр.р}}^6 \times l}{2} = \frac{12,2 \times 5,4}{2} = 32,94 \text{ кН}.$$

Побудуємо епюри внутрішніх зусиль у балці: згинальних моментів M (рис. Г.1) і поперечних сил Q (рис. Г.2).

Епора M_y
Одиниці виміру - $\text{кН}\cdot\text{м}$



Рисунок 2.3 – Епюра згинальних моментів $M_{3\Gamma}$, $\text{кН}\cdot\text{м}$, у балці

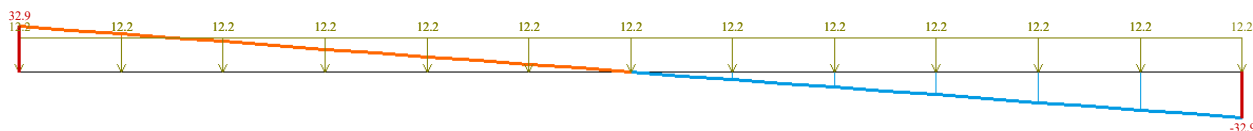


Рисунок 2.4 – Епюра поперечних сил Q , кН, у балці

5. Визначаємо момент опору перерізу з умови міцності балки на згин:

$$W_{n.min} = \frac{M_{зг} \times \gamma_n}{R_y \times \gamma_c} = \frac{44,45 \times 10^6}{278,05 \times 0,9} = 186137,58 \text{ мм}^3 = 186,14 \text{ см}^3;$$

Приймаємо за сортаментом двотавровий переріз балки №20Б1 (рис. Г.3)

із такими характеристиками:

$$W_x = 194,3 \text{ см}^3;$$

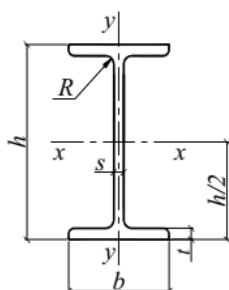
$$A = 28,49 \text{ см}^2;$$

$$I_x = 1943 \text{ см}^4;$$

$$s = 5,6 \text{ мм};$$

$$S_x = 110,3 \text{ см}^3;$$

$$\text{Маса 1 м, кг} - 22,4.$$



Сортамент сталевих двотаврів

Двотаври сталеві гарячекатані з паралельними
гранями полиць за ГОСТ 26020-83

Приклад позначення:
І30Ш1 / ГОСТ 26020-83

№ профілю	Розміри					Маса 1 м, кг	Площа перерізу, см ²	Довідкові величини для осей						
	h	b	s	t	R			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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20Б1	200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,49	1943	194,3	8,26	110,3	142,3	28,5	2,23
23Б1	230	110	5,6	9	12	25,8	32,91	2996	260,5	9,54	147,2	200,3	36,4	2,47
26Б1	258	120	5,8	8,5	12	28,0	35,62	4024	312,0	10,63	176,6	245,6	40,9	2,63
30Б1	296	140	5,8	8,5	15	32,9	41,92	6328	427,0	12,29	240,0	390,0	55,7	3,05
35Б1	346	155	6,2	8,5	18	38,9	49,63	10060	581,7	14,25	328,6	529,6	68,3	3,27
35Б2	349	155	6,5	10	18	43,3	55,17	11550	662,2	14,47	373,0	622,9	80,4	3,36

Рисунок 2.5 – Сортамент двотаврів із паралельними гранями полиць

6. Уточнюємо навантаження із урахуванням ваги балки

- експлуатаційне значення:

$$q_{e,1}^6 = q_e^6 + q_{в.в} = 9,735 + 0,0224 \times 9,81 = 9,95 \text{ кН/м};$$

- граничне розрахункове значення:

$$q_{гр.р,1}^6 = q_{гр.р}^6 + q_{в.в} \times \gamma_f \times \gamma_n = 12,2 + 0,0224 \cdot 9,81 \cdot 1,05 \cdot 1,05 = 12,44 \text{ кН/м}.$$

7. Уточнюємо розрахункові внутрішні зусилля:

- згинальний момент

$$M_{зг}^1 = \frac{q_{гр.р,1}^6 \times l^2}{8} = \frac{12,44 \times 5,4^2}{8} = 45,34 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

- поперечна сила

$$Q^1 = \frac{q_{гр.р,1}^6 \times l}{2} = \frac{12,44 \times 5,4}{2} = 33,59 \text{ кН}.$$

8. Перевіряємо міцність балки на згин:

$$\frac{M_{зг}^1 \times 10^3}{W_x \times R_y \times \gamma_c \times c_x} = \frac{45,34 \times 10^3}{194,3 \times 278,05 \times 0,9 \times 1,087} = 0,86 < 1.$$

Міцність балки на згин забезпечена.

9. Перевіряємо міцність балки на зріз:

$$\frac{Q^1 \times S_x}{I_x \times t \times R_s \times \gamma_c} = \frac{33,59 \times 110,3 \times 10}{1943 \times 0,56 \times 161,27 \times 0,9} = 0,23 < 1.$$

Міцність балки на зріз забезпечена.

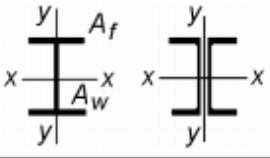
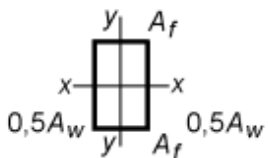
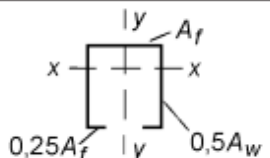
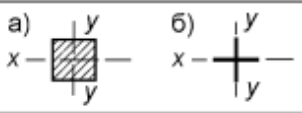
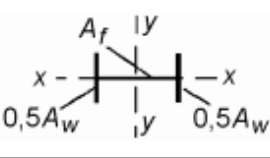
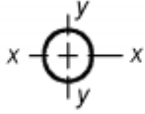
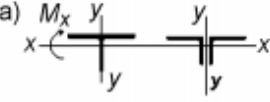
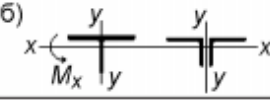
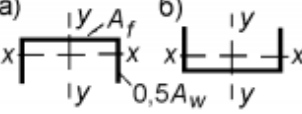
10. Перевіряємо жорсткість балки:

$$f = \frac{5 \times q_{e,1}^6 \times l^4 \times 10^8}{384 \times E_s \times I_x} = \frac{5 \cdot 9,95 \cdot 5,4^4 \cdot 10^8}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 1943} = 27,52 \text{ мм} \approx \frac{l}{200} = \frac{5400}{200} = 27 \text{ мм}.$$

Жорсткість балки забезпечена.

Висновок: За результатами розрахунку було виконано підбір перерізу другорядної сталевий балки перекриття; міцність на згин і зріз, а також жорсткість балки забезпечені.

**Значення коефіцієнтів для розрахунку елементів з урахуванням розвитку
пластичних деформацій за ДБН В.2.6-198:2014, Додаток М**

Тип перерізу	Схема перерізу	A_f/A_w	Найбільше значення коефіцієнтів		
			c_x	c_y	n при $M_y = 0^*)$
1-й		0,25	1,19	1,47	1,5
		0,50	1,12		
		1,00	1,07		
		2,00	1,04		
2-й		0,5	1,40	1,47	2,0
		1,0	1,28		
		2,0	1,18		
3-й		0,25	1,19	1,07	1,5
		0,50	1,12	1,12	
		1,00	1,07	1,20	
		2,00	1,04	1,26	
4-й		0,50	1,40	1,12	2,0
		1,00	1,28	1,20	
		2,00	1,18	1,31	
5-й		—	1,47	1,47	а) 2,0 б) 3,0
6-й		0,25	1,47	1,04	3,0
		0,50		1,07	
		1,00		1,12	
		2,00		1,19	
7-й		—	1,26	1,26	1,5
8-й	а) 	—	1,60	1,47	а) 3,0 б) 1,0
	б) 				
9-й		0,5	1,6	1,07	а) 3,0 б) 1,0
		1,0		1,1	
		2,0		1,19	

^{*)} При $M_y \neq 0$ приймається $n = 1,5$, за винятком перерізів типу 5, а), для якого $n = 2$, і типу 5, б), для якого $n = 3$.

Примітка 1. При визначенні коефіцієнтів для проміжних значень A_f/A_w допускається лінійна інтерполяція.

Примітка 2. Значення коефіцієнтів c_x і c_y приймаються не більшими за $1,15 \gamma_f$, де γ_f — коефіцієнт надійності за навантаженням, обчислений як відношення розрахункового значення еквівалентного (за значенням згинального моменту) навантаження до характеристичного.