

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

**03-01-131М**

**Методичні вказівки**  
до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни  
**«Металеві конструкції»**  
на тему  
**«Сталевий каркас одноповерхової промислової будівлі**  
**(розділ «Підкранові конструкції»)**  
для здобувачів вищої освіти першого  
(бакалаврського) рівня за спеціальністю  
192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
всіх форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою  
з якості ННІБА  
Протокол № 5 від 04.04.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Металеві конструкції» на тему «Сталевий каркас одноповерхової промислової будівлі (розділ «Підкранові конструкції») для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання [Електронне видання] / Романюк В. В., Супрунюк В. В., Безнюк Л. І. – Рівне : НУВГП, 2023. – 64 с.

Укладачі: Романюк В. В., кандидат технічних наук, професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд; Супрунюк В. В., кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів; Безнюк Л. І., магістр, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

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

© В. В. Романюк, В. В. Супрунюк,  
Л. І. Безнюк, 2023

© Національний університет водного  
господарства та  
природокористування, 2023

## Зміст

1.	Підкранові конструкції промислових будівель	5
1.1.	Загальна характеристика підкранових конструкцій	5
1.2.	Особливості дійсної роботи підкранових конструкцій	12
1.3.	Кранові рейки та їх кріплення до балок	22
1.4.	Визначення розрахункових зусиль у підкранових конструкціях	24
2.	Розрахунок підкранових балок	30
2.1.	Визначення розрахункових зусиль	30
2.2.	Підбір поперечного перерізу підкранової балки	33
2.3.	Перевірка міцності та жорсткості підкранової балки	37
2.4.	Розрахунок зварних з'єднань стінки з поясами	38
2.5.	Забезпечення місцевої стійкості стінки	39
2.6.	Розрахунок опорної частини балки	41
2.7.	Розрахунок підкранової балки на витривалість	43
3.	Приклад розрахунку підкранової балки	44
3.1.	Визначення розрахункових зусиль	45
3.2.	Підбір поперечного перерізу підкранової балки	49
3.3.	Перевірка міцності та жорсткості підкранової балки	55
3.4.	Розрахунок зварних з'єднань стінки з поясами	56

3.5. Забезпечення місцевої стійкості стінки	58
3.6. Розрахунок опорної частини балки	60
3.7. Розрахунок балки на витривалість	62
Література	64

# 1. Підкранові конструкції промислових будівель

## 1.1. Загальна характеристика підкранових конструкцій

Підкранові конструкції сприймають впливи від різного підйомно-транспортного обладнання, основним видом якого є мостові опорні та підвісні крани.

Підкранові конструкції для мостових опорних кранів складаються з підкранових балок або ферм, які сприймають вертикальне навантаження від кранів; гальмівних балок або ферм, які сприймають поперечні горизонтальні впливи; в'язей, які забезпечують жорсткість і незмінність підкранових конструкцій; вузлів кріплення підкранових конструкцій, які передають кранові впливи на колони; кранових рейок з деталями їх кріплень до підкранових балок; кранових упорів на кінцевих ділянках балок.

За конструктивною схемою підкранові конструкції поділяють на суцільні (балки) і наскрізні (ферми); за статичною схемою – на однопрольотні (розрізні) (рис. 1.1, а) та багатопрольотні (нерозрізні) (рис. 1.1, б). За способом виготовлення підкранові балки бувають зі з'єднаннями поясів зі стінкою за допомогою зварювання і зі з'єднаннями поясів зі стінкою за допомогою болтів, як правило, високоміцних.

Найбільш часто застосовуються суцільні розрізні та нерозрізні підкранові балки, які порівняно з наскрізними є менш трудомісткими під час виготовлення. Розрізні підкранові балки простіше монтувати, вони нечутливі до просідання опор, але мають підвищені витрати сталі. Нерозрізні підкранові балки на 10...15% економічніші за витратами сталі, але більш трудомісткі під час монтажу внаслідок необхідності влаштування монтажних стиків. Окрім того, у випадку просідання опор в них виникають додаткові напруження внаслідок перерозподілу зусиль по їх довжині.

Для кранів легкого режиму роботи (1К-3К) вантажопідйомністю  $m_q \leq 30$  т і великого кроку колон ( $l \geq 18$  м) доцільними є решітчасті підкранові балки (ферми) з жорстким верхнім поясом (рис. 1.1, в). Їх застосування дозволяє на 15...20% зменшити витрати сталі порівняно з розрізними суцільними балками.

Недоліками решітчастих балок є підвищена трудомісткість виготовлення та монтажу, а також менший термін експлуатації для кранів важкого режиму роботи (7К).

Висоту таких ферм приймають в межах  $h = (1/6...1/8)l_{пф}$ , а довжину панелі по верхньому поясу  $d \leq (0,8...1,3)h$ , але не більше за 3 м. Верхній пояс проектують двотаврового перерізу зварним з листів або з прокатного двотавра з підсиленням верхньої полиці кутиками або листом. Елементи решітки та нижній пояс ферми приймають з парних кутиків, а товщину фасону у вузлах призначають не менше за 10 мм.

Для великих прольотів (крок колон  $> 24$  м) і кранів великої вантажопідйомності режиму роботи 7К застосовують підкраново-підкроквяні ферми, які об'єднують в собі функції підкранових балок та підкроквяних ферм (рис. 1.1, г). Економічність таких конструкцій збільшується зі збільшенням кроку колон до 36 м. Але такі ферми досить складні під час виготовлення та монтажу. Висоту ферм в осях приймають в межах  $h = (1/6...1/8)l_{пф}$ , а висоту нижнього поясу коробчастого перерізу  $h_1 = (1/5...1/7)d$ , де  $l_{пф}$  – прольот підкраново-підкроквяної ферми;  $d$  – найбільша довжина панелі, яка призначається кратною розміру 6 м.

Для великого кроку колон можливо також застосування підкранових балок або ферм з проїздом по низу (рис. 1.1, д). Крутий момент, який виникає від позацентрової передачі навантаження, сприймається додатковими горизонтальними фермами.

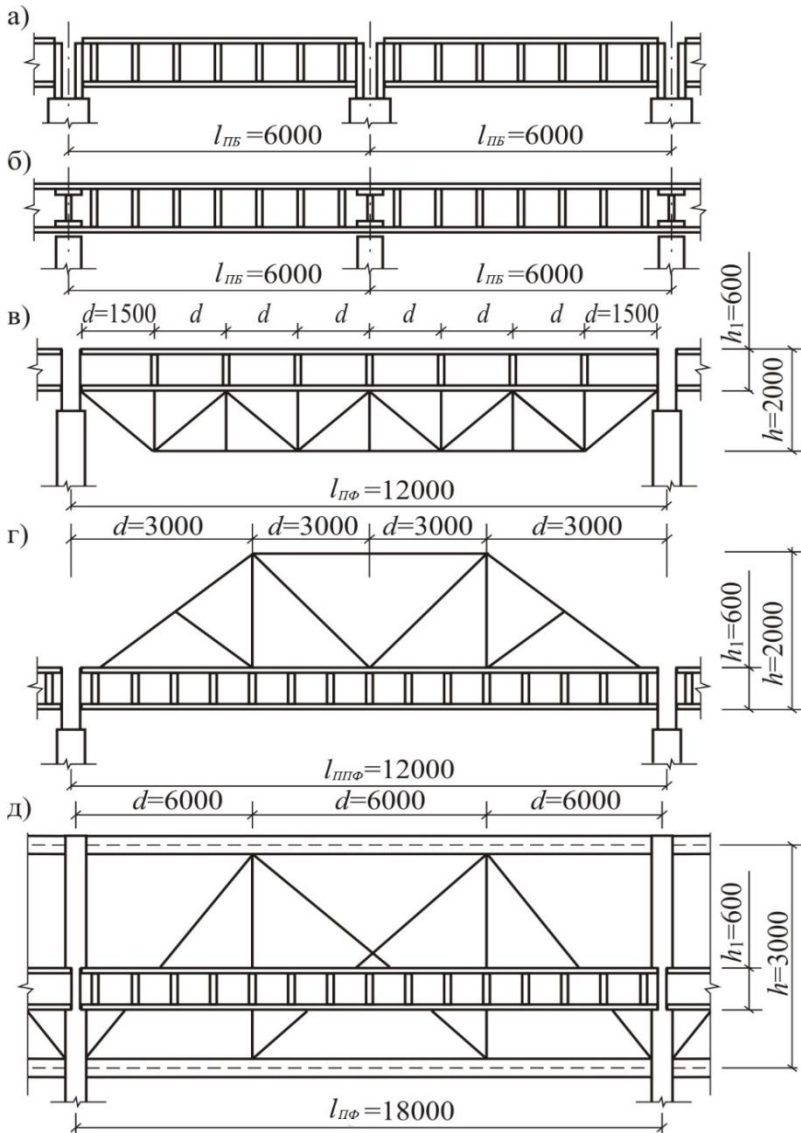


Рис. 1.1. Типи підкранових конструкцій:  
 а – розрізні балки; б – нерозрізні балки; в – підкранові ферми;  
 г – підкраново-підкроквяні ферми; д – кроквяні ферми з проїздом по низу

Як типові розроблені суцільні зварні підкранові балки двотаврового перерізу, які здатні сприймати навантаження від мостових кранів вантажопідйомністю від 5 т до 275 т (рис. 1.2, а, б, в).

Для кранів прольотом 6 м вантажопідйомністю  $m_q = 5 \dots 10$  т використовують прокатні двотаврові балки, верхній пояс яких підсилений листом, швелером або кутиками для сприйняття горизонтальних зусиль, які виникають під час гальмування візка крана (рис. 1.2, г, д, е).

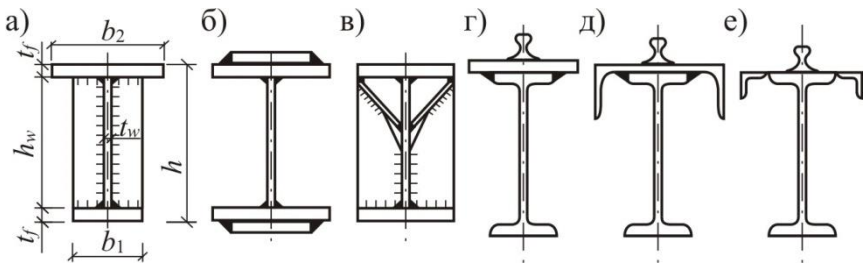


Рис. 1.2. Перерізи суцільних зварних двотаврових підкранових балок:

а, б, в – зварні з підсиленням сталевими листами; г, д, е – прокатні з підсиленням відповідно листом, швелером та кутиками

Підкранові балки для кранів важкого і вельми важкого режимів роботи (7К, 8К) великих прольотів за дії значного навантаження іноді проектують складеними двостінчастими зварними або зі з'єднаннями на болтах (рис. 1.3).

Балки зі з'єднаннями з використанням болтів важчі ніж зварні і більш трудомісткі під час виготовлення, але вони дозволяють достатньо просто конструювати більш потужний верхній пояс балки з кутиків та горизонтальних листів. За наявності нежорстких болтових з'єднань поясів зі стінкою такі балки в умовах експлуатації працюють краще ніж зварні, що має велике значення для будівель з кранами груп режимів роботи 7К і 8К.



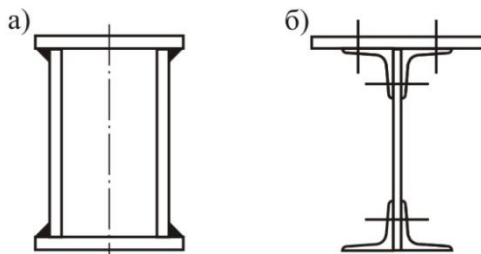


Рис. 1.3. Складені перерізи підкранових балок:  
 а – двостінчасті зварні; б – двотаврові зі з'єднаннями на болтах

Для сприйняття горизонтальних гальмівних зусиль в рівні верхнього поясу балки влаштовують гальмівні балки або гальмівні ферми, які одночасно виконують функції майданчиків для обслуговування підкранових конструкцій і кранів (рис. 1.4).

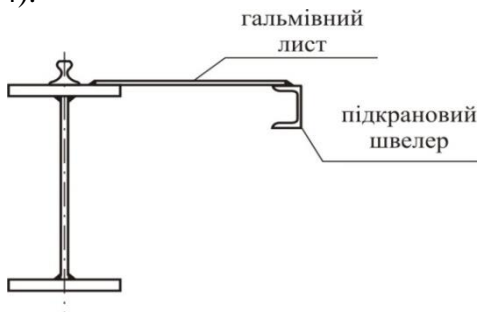


Рис. 1.4. Схема підкранової конструкції

Гальмівні балки проектують, якщо ширина нижньої частини колони становить  $h_H \leq 1,25 \dots 1,5 \text{ м}$ , а також незалежно від цього розміру:

- а) для кранів вантажопідйомністю  $m_q \geq 100 \text{ т}$ ;
- б) в будівлях з важким режимом роботи кранів (6К) незалежно від вантажопідйомності;
- в) в будівлях, що будуються в районах з розрахунковою температурою  $t \leq -40^\circ \text{ С}$ .

Гальмівні ферми застосовують, якщо ширина нижньої частини колони становить  $h_H > 1,5\text{ м}$ , а також для кранів вантажопідйомністю  $m_q \leq 80\text{ т}$  і прольоту підкранових конструкцій  $l \geq 12\text{ м}$ . Решітку ферм проектують трикутною з додатковими стояками. Кут нахилу розкосів до поясу приймають в межах  $35^\circ \dots 45^\circ$  (рис. 1.5, а, б).

При прольоті підкранових балок або підкранових ферм  $B \geq 12\text{ м}$  по їх нижніх поясах влаштовують горизонтальні в'язі (рис. 5.5, в).

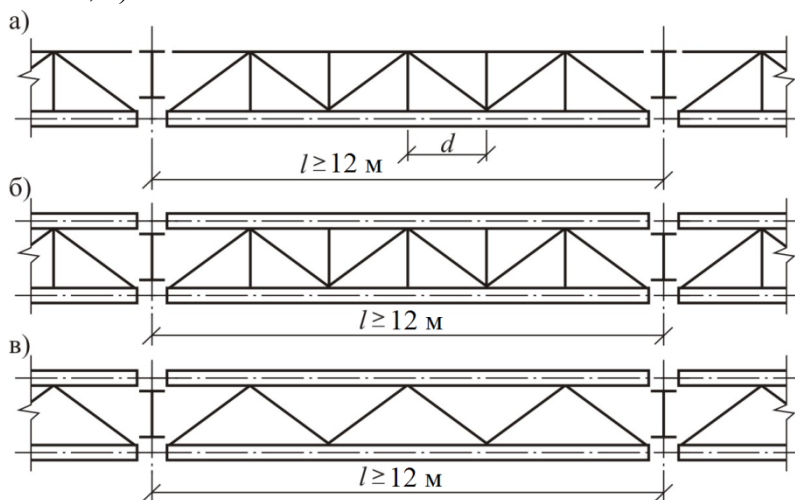


Рис. 1.5. Схеми гальмівних і в'язевих ферм:

- а – гальмівна ферма в крайньому ряді колон; б – гальмівна ферма в середньому ряді колон; в – в'язева ферма по нижніх поясах підкранових балок

Кріплення фасонки горизонтальних в'язей до нижніх поясів балок кранових колій під мостові опорні крани груп режимів роботи 7К і 8К виконують за допомогою високоміцних болтів.

Підвісні крани (кран-балки) мають, як правило, невелику вантажопідйомність ( $m_q \leq 10$  т) і переміщуються по коліях, які кріпляться до конструкцій покриття або перекриття. Застосовують тельфери, дво- та триопорні крани (рис. 1.6, а, б, в). Колеса кранів переміщуються безпосередньо по нижніх поясах балок колій (рис. 1.6, г). Основним видом колії є прокатні або складені балки, які можуть бути розрізними або нерозрізними. Для довжини колії до 12 м можливим є застосування перфорованих балок (рис. 1.7, а). З метою зменшення величини згинаючих моментів в балках можуть встановлюватись підвіски (рис. 1.7, б).

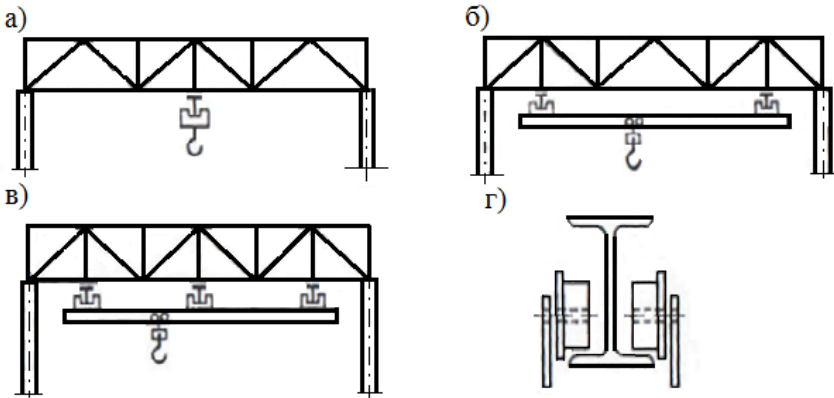


Рис. 1.6. Підвісні крани:

а – тельфери; б – двоопорні; в – триопорні; г – обпирання коліс на балку

Якщо є необхідність обслуговувати вузькі зони приміщень в будівлях вздовж колон встановлюють консольні крани. Для їх переміщення встановлюють три балки: одну для сприйняття вертикального навантаження  $V$  і дві балки для сприйняття горизонтальних навантажень  $H_1$  і  $H_2$  (рис. 1.8).

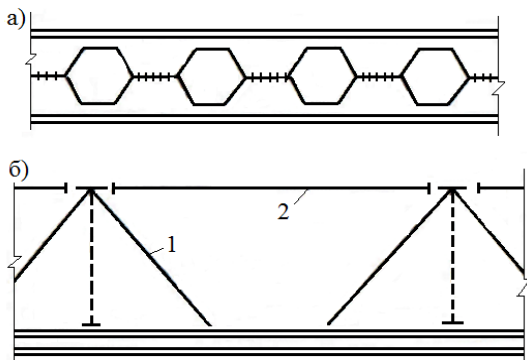


Рис. 1.7. Колії підвісних кранів:  
 а – перфорована балка; б – балка з підвісками  
 1 – підвіска; 2 – розпірка

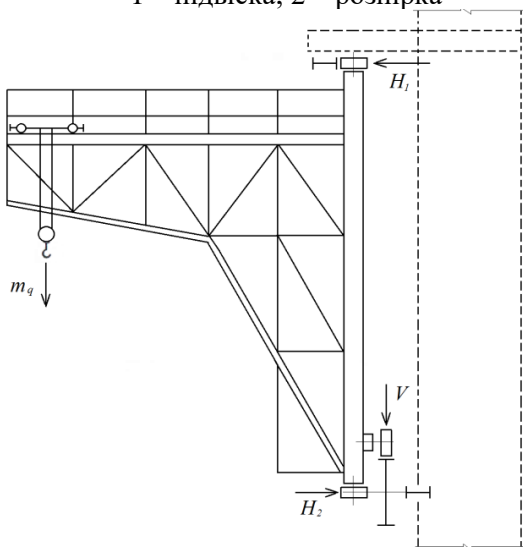


Рис. 1.8. Консольний кран

## 1.2. Особливості дійсної роботи підкранових конструкцій

Робота підкранових конструкцій в умовах експлуатації дуже складана і суттєво відрізняється від роботи звичайних балкових конструкцій, що обумовлено специфікою

навантаження, характером його прикладання і суттєвою різницею між реальною та розрахунковою схемами конструкції.

Кранове навантаження від мостових (опорних) і підвісних кранів є одним з найбільш суттєвих за величиною у каркасах промислових будівель. Воно складається з вертикальних навантажень від власної ваги самого крану з візком та ваги підвішеного вантажу, а також з горизонтальних навантажень, обумовлених інерційними силами гальмування кранів вздовж кранової колії та гальмування візка поперек кранової колії (рис. 1.9). Певна частка горизонтальних навантажень, окрім того, викликана дефектами підкранових конструкцій, що виникають у процесі експлуатації, а саме зміщенням кранових рейок з осей підкранових балок внаслідок послаблення відповідних кріплень, що обумовлює певну непаралельність несучих конструкцій колії.

Під крановою колією розуміють обидві балки, що несуть один мостовий кран, і всі балки, що несуть один підвісний кран (дві балки – для однопрольотного, три – для двопрольотного підвісного крану).

Відповідно до класифікації навантажень кранове навантаження є змінним у часі і вважається короткочасним.

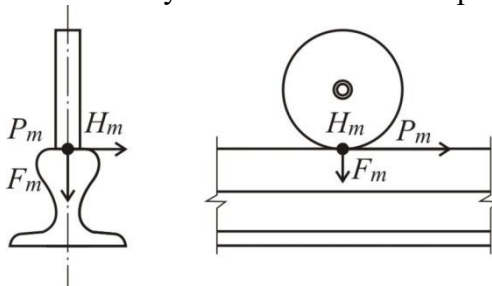


Рис. 1.9. Схема дії кранових навантажень

В розрахунках за граничними станами 1-ої групи враховують граничні розрахункові навантаження від двох наближених один до одного кранів найбільшої

вантажопідйомності, а в розрахунках за граничними станами 2-ої групи – експлуатаційні розрахункові навантаження від одного крану найбільшої вантажопідйомності.

За своїм характером навантаження від будь-яких кранів (мостових чи підвісних) є динамічним, оскільки підняття, опускання та переміщення вантажів мають ривкоподібний характер, і супроводжується ударами. Окрім того, завжди існують нерівності кранової колії та перепади висот у стиках рейок.

Найменша кількість коліс у мостовому крані становить 4 і тому обпирання крану на рейки є статично невизначним. Під час руху крана вертикальні сили, величина яких залежить від ваги крану, вантажу та положення візка на крановому мосту, перерозподіляються між колесами, що рухаються по рейці з одного боку крана. Динамічні впливи коліс крана, а також перерозподілення зусиль між колесами з одного боку крана враховується у розрахунку підкранових конструкцій, а у розрахунку рам промислових будівель вертикальна складова вважається квазістатичною і однаковою для всіх коліс з одного боку крана (невелика різниця може виникати за рахунок зміщення центру ваги механізмів пересування і кабіни крану).

Зосереджене вертикальне кранове навантаження, яке досягає великих значень (до 600...800 кН), може прикладатись у будь-якій точці по довжині балки і призводить до виникнення в стінці складного напружено-деформованого стану з високим рівнем напружень.

Горизонтальні навантаження від гальмування моста і візка крана і бічні сили вважаються прикладеними в місцях контакту коліс крана з рейкою (див. рис. 1.9).

Внаслідок позацентрового прикладання вертикального навантаження  $F_m$  у разі випадкових зміщень рейки з осі підкранової балки та дії поперечних горизонтальних сил  $H_m$ , які прикладаються в рівні верхньої частини рейки, на верхній

пояс балки діє додатковий крутний момент, який викликає згин стінки (рис. 1.10).

Значення крутного моменту визначають з виразу

$$M_{кр} = F_m e + 0,75 H_m h, \quad (1.1)$$

де  $e$  – умовний ексцентриситет зміщення рейки, який приймається рівним 15 мм;  $h$  – висота рейки; 0,75 – коефіцієнт, який враховує більшу довжину розподілу крутного моменту від горизонтальної сили  $H_m$  по довжині балки, ніж від вертикальної сили  $F_m$ .

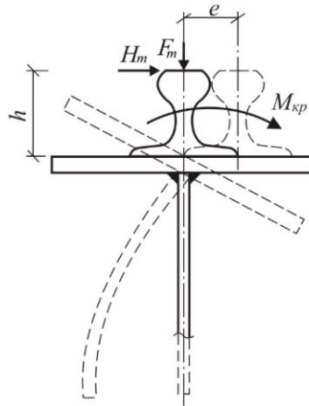


Рис. 1.10. Схема дії вертикального та горизонтального навантажень на підкранову балку

Складний характер прикладання навантаження призводить до виникнення в підкранових конструкціях пошкоджень у вигляді втомних тріщин, порушень з'єднань, послаблення вузлів, що порушує нормальну експлуатацію.

Шляхами підвищення довговічності підкранових конструкцій є:

- 1) розробка конструктивних рішень, які відповідають дійсним умовам роботи підкранових конструкцій;
- 2) максимальне зниження концентрації напружень;
- 3) використання сталей з підвищеною вібраційною міцністю;

4) підвищення якості виготовлення та монтажу;

5) забезпечення постійного нагляду за станом підкранових конструкцій та своєчасне усунення пошкоджень.

Навантаження від мостових і підвісних кранів визначають залежно від груп режимів їх роботи, що встановлюють за ДСТУ EN 13001–1:2018 (табл. 1.1), виду приводу та способу підвісу вантажу (гнучкого або жорсткого).

Нормами проектування [2] для кранових навантажень встановлено такі значення:

1) граничні розрахункові значення:

а) для вертикального навантаження мостових і підвісних кранів (враховується від двох кранів на колії)

$$F_m = \gamma_{fm} \psi F_o; \quad (1.2)$$

б) для горизонтального навантаження мостових і підвісних кранів, спрямованого вздовж кранової колії (від одного крана)

$$P_m = \gamma_{fm} P_{01}; \quad (1.3)$$

в) для горизонтального навантаження чотириколісних мостових кранів, спрямованого поперек кранової колії (від одного крана на одній колії або в одному створі)

$$H_m = \gamma_{fm} H_{01}; \quad (1.4)$$

г) для горизонтального навантаження інших мостових кранів, спрямованого поперек кранової колії (від двох кранів)

$$H_m = \gamma_{fm} H_0; \quad (1.5)$$

д) для горизонтального навантаження підвісних кранів, спрямованого поперек кранової колії (від двох кранів)

$$R_m = \gamma_{fm} R_0; \quad (1.6)$$

2) експлуатаційні розрахункові значення (враховуються від одного крана):

3) циклічні розрахункові значення:

$$F_{c_{max}} = \gamma_{f_{c_{max}}} F_{01}; \quad F_{c_{min}} = \gamma_{f_{c_{min}}} F_{01}; \quad (1.8)$$



Таблиця 1.1

## Характеристики мостових кранів середнього режиму роботи

Вантажо- підйом- ність крана $m_q$ , т	Прольот крана $L_k$ , м	Основні габаритні розміри крана, мм				Тиск колеса на підкранову рейку $F_{01}$ , кН	Маса, т		Тип крано- вої рейки
		шири- на $B$	база $K$	висота $H$	кон- соль $B_1$		візка $m_c$	крана з візком $m_c + m_b$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Крани з одним гаком									
5	10,5	5000	3500	1650	230	70	2,2	13,6	КР-70
	16,5	5000	3500	1650	230	82	2,2	18,1	
	22,5	6500	5000	1650	230	101	2,2	25	
	28,5	6500	5000	1650	230	115	2,2	31,2	
	31,5	6500	5000	1650	230	122	2,2	33,3	
10	10,5	6300	4400	1900	260	115	4,0	17,5	
	16,5	6300	4400	1900	260	125	4,0	21	
	22,5	6300	4400	1900	260	145	4,0	27	
	28,5	6300	5000	1900	260	170	4,0	34,8	
	31,5	6300	5000	1900	260	180	4,0	40	
15	10,5	6300	4400	2300	260	145	5,3	20	
	16,5	6300	4400	2300	260	165	5,3	25	
	22,5	6300	4400	2300	260	185	5,3	31	
	28,5	6300	5000	2300	260	210	5,3	41	
	31,5	6300	5000	2300	260	220	5,3	45	

Крани з двома гаками										
15/3	10,5	6300	4400	2300	260	155	7,0	22,5	КР-70	
	16,5	6300	4400	2300	260	175	7,0	26,5		
	22,5	6300	4400	2300	260	190	7,0	34		
	28,5	6300	5000	2300	260	220	7,0	43,5		
	31,5	6300	5000	2300	260	230	7,0	47,5		
20/5	10,5	6300	4400	2400	260	175	8,5	23,5		
	16,5	6300	4400	2400	260	195	8,5	28,5		
	22,5	6300	4400	2400	260	220	8,5	36		
	28,5	6300	5000	2400	260	255	8,5	46,5		
	31,5	6300	5000	2400	260	265	8,5	50		
30/5	10,5	6300	5000	2750	300	255	12	25		
	16,5	6300	5000	2750	300	280	12	42,5		
	22,5	6300	5100	2750	300	315	12	52		
	28,5	6300	5100	2750	300	345	12	62		
	31,5	6300	5100	2750	300	360	12	67,5		
	34,5	6860	5600	3000	300	380	12	74		
50/10	10,5	6760	5250	3150	300	365	18	47		КР-80
	16,5	6760	5250	3150	300	425	18	56,5		
	22,5	6760	5250	3150	300	465	18	66,5		
	28,5	6760	5250	3150	300	500	18	78		
	31,5	6760	5250	3150	300	515	18	84		
	34,5	6760	5250	3150	300	540	18	90		
						$F_{01}/F_{02}$				
80/20	22,5	9100	4350	3700	400	350/370	38	110	КР-100	
	28,5	9100	4350	4000	400	380/400	38	130		
	34,5	9100	4350	4000	400	410/430	38	150		
100/20	22,5	9350	4600	3700	400	410/450	41	125	КР-120	
	28,5	9350	4600	4000	400	450/480	41	145		
	34,5	9350	4600	4000	400	490/510	41	165		
125/20	22,5	9350	4600	4000	400	480/520	43	135		
	28,5	9350	4600	4000	400	520/550	43	155		
	34,5	9350	4600	4000	400	550/580	43	175		

$$F_e = \gamma_{fe} F_{01}; P_e = P_{01}; H_e = H_{01}; R_e = R_{01}; \quad (1.7)$$

4) квазіпостійні розрахункові значення:

$$F_p = \gamma_{fp} F_{01}; \quad H_p = \gamma_{fp} H_{01}, \quad (1.9)$$

де  $F_{01}$ ,  $F_0$  – характеристичні значення вертикального навантаження відповідно від одного або двох найбільш несприятливих за впливом кранів;  $P_{01}$  – характеристичне значення горизонтального навантаження від одного крана, спрямованого вздовж кранової колії;  $H_{01}$  – характеристичне значення бічної сили від одного крана, найбільш несприятливого за впливом з кранів, розташованих на одній крановій колії або в одному створі;  $H_0$  – характеристичне значення бічної сили від двох найбільш несприятливих за впливом кранів, розташованих на одній крановій колії або на різних коліях в одному створі;  $R_{01}$ ,  $R_0$  – характеристичні значення поперечних горизонтальних навантажень відповідно від одного або двох найбільш несприятливих за впливом підвісних кранів;  $\psi$  – коефіцієнт сполучень кранових навантажень;  $\gamma_{fm}$  – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням кранового навантаження, який приймають за табл. 1. шляхом лінійної інтерполяції залежно від заданого середнього періоду повторюваності  $T$  (для об'єктів масового будівництва допускається середній період повторюваності  $T$  приймати рівним встановленому строку експлуатації конструкції  $T_{ef}$ );  $\gamma_{fe}$  – коефіцієнт надійності за експлуатаційним розрахунковим значенням кранового навантаження, який приймають  $\gamma_{fe} = 1$ ;  $\gamma_{fc}$  – коефіцієнт надійності за циклічним розрахунковим значенням кранового навантаження, який визначають залежно від вантажної характеристики  $g = m_q / (m_c + m_b)$ , ( $m_q$  – вантажопідйомність крана,  $m_c$  і  $m_b$  – вага відповідно візка і моста крана):

$$\gamma_{fc_{max}} = 0,75 - 0,24g ; \quad \gamma_{fc_{min}} = 0,34 - 0,24g ; \quad (1.10)$$

$\gamma_{fp}$  – коефіцієнт надійності для квазіпостійного розрахункового значення кранового навантаження

$$\gamma_{fp} = F_{01}^{II} / F_{01} , \quad (1.11)$$

тут  $F_{01}^{II}$  – характеристичне значення вертикального навантаження від одного крана без вантажу.

Таблиця 1.2

Коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням кранового навантаження  $\gamma_{fm}$

$T$ , років	50	10	1	0,1
$\gamma_{fm}$	1,1	1,07	1,02	0,97

Характеристичні значення вертикальних навантажень  $F_{01}$  та  $F_0$ , що передаються колесами кранів на балки кранової колії, та інші необхідні для розрахунку дані приймають відповідно до вимог державних стандартів на крани (див. табл. 1.1), а для нестандартних кранів – відповідно до даних, наведених у паспортах заводів – виробників.

Горизонтальні навантаження від гальмування моста і візка крана і бічні сили вважаються прикладеними у місцях контакту коліс крана з рейкою.

Характеристичне значення горизонтального навантаження від одного крана, спрямованого вздовж кранової колії, що спричиняється гальмуванням моста електричного крана, приймають  $P_{01} = 0,1 F_0$  на кожне гальмівне колесосторони крана, що розглядається.

Характеристичне значення бічної сили від двох найбільш несприятливих за впливом кранів

$$H_0 = 0,1 F_0 . \quad (1.12)$$

Характеристичне значення горизонтального навантаження чотириколісних мостових кранів, спрямованого

поперек кранового шляху, яке викликане перекосами мостових електричних кранів і непаралельністю кранових колій (бічну силу) для колеса крана визначають за формулою

$$H_k^n = 0,1 F_{max}^n + \frac{\alpha (F_{max}^n - F_{min}^n) L}{B}, \quad (1.13)$$

де  $F_{max}^n$  і  $F_{min}^n$  – характеристичні значення вертикального тиску на колесо, відповідно на більш і менш навантажених стороні крана.

Найбільше вертикальне характеристичне навантаження визначають для крайнього можливого положення візка крана на мосту з вантажем на гаці, вага якого дорівнює вантажопідйомності крана.

$$\left. \begin{aligned} F_{max}^n &= \frac{F_{01} + F_{02}}{2} - \text{для кранів з } m_q \geq 80 \text{ т;} \\ F_{max}^n &= F_{01} - \text{для кранів з } m_q \leq 50 \text{ т;} \\ F_{min}^n &= \frac{m_q + m_c + m_b}{n_0} - F_{max}^n \end{aligned} \right\}, \quad (1.14)$$

де  $n_0$  – кількість коліс з одного боку крана (якщо  $m_q \leq 50$  т,  $n_0 = 2$ ; якщо  $m_q = 80 \dots 160$  т,  $n_0 = 4$ ; якщо  $m_q > 160$  т,  $n_0 = 8$ );  $L$  – прольот крана;  $B$  – база крана;  $\alpha$  – коефіцієнт, який приймається рівним 0,03 у разі центрального приводу механізму пересування моста і 0,01 – у разі роздільного приводу.

Для 8-и та більше колісних кранів:

1)  $H_0 = H_k^n = 0,1 m_q / n$  – характеристичне значення бічної сили для гнучкого кріплення вантажу, розміщеного посередині кранового моста, тут  $m_q$  – вантажопідйомність крана;  $n$  – загальна кількість коліс мостового крана;

2)  $H_0 = H_k^n = 0,1 F_{max}^n$  – для жорсткого кріплення вантажу.

Сумісна дія кранів враховується відповідними коефіцієнтами сполучення навантажень  $\psi$ , значення яких залежать від груп режимів роботи крану та розрахункової кількості кранів:

1) для одного крана будь-якого режиму роботи  $\psi = 1$ ;

2) для двох кранів:  $\psi = 0,85$  – для груп режимів роботи 1К–6К;  $\psi = 0,95$  – для груп режимів роботи 7К, 8К;

3) для чотирьох кранів:  $\psi = 0,7$  – для груп режимів роботи 1К–6К;  $\psi = 0,8$  – для груп режимів роботи 7К, 8К;

Характеристичне значення горизонтального навантаження, що спричиняється гальмуванням візка підвісних кранів, спрямованого поперек кранової колії, приймають таким, що дорівнює половині суми вантажопідйомності крана і ваги візка. У разі визначення характеристичних значень навантажень  $H_{01}$  і  $H_0$  вважається, що гальмівна сила передається на одну сторону (балку) кранової колії, розподіляється порівну між усіма колесами підвісного крана, що спираються на неї, і може бути спрямована як усередину, так і назовні прольоту, що розглядається.

Навантаження від кранів сприймаються підкрановими та гальмівними конструкціями, на які діють відповідно вертикальний опорний тиск  $V_{max}$  або  $V_{min}$  і горизонтальна сила від гальмування візка крана  $H$  і які у свою чергу передають ці зосереджені навантаження на поперечну раму.

### 1.3. Кранові рейки та їх кріплення до балок

Для мостових кранів переважно застосовують спеціальні кранові рейки типу КР з підсиленою шийкою і розвинутою підшовою (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

## Рейки кранові за ДСТУ 2484- 94

Ескіз рейки типу КР	Тип рейки	Основні розміри, мм			Площа поперечного перерізу, $A$ , $\text{см}^2$	Відстань до центру ваги $y_1$ , см	Моменти інерції, $\text{см}^4$		Маса 1 п.м., кг
		$h$	$b_2$	$b$			$I_x$	$I_y$	
	КР-70	120	120	70	58,72	5,77	1040,2	281,7	46,10
	КР-80	130	130	80	76,19	6,42	1504,6	439,0	59,81
	КР-100	150	150	100	105,85	7,55	2768,4	859,0	83,09
	КР-120	170	170	120	144,54	8,65	4754,8	1596,1	113,47
	КР-140	170	170	140	180,51	8,70	5486,2	2484,7	141,70

Необхідний тип кранової рейки вказується в стандартах або каталогах на крани. Для кранів загального призначення вантажопідйомністю до 20 т включно дозволяється застосовувати залізничні рейки Р-38 і Р-43. Іноді замість рейок застосовується квадратна сталь.

Конструктивне рішення кріплення рейок до підкранових балок залежить від їх типу (рис. 1.11...1.13). Воно повинно забезпечувати рихтовку рейки в межах 20...30 мм, оскільки в процесі експлуатації відбувається її зміщення. Тому приварювати рейку до поясу підкранової балки не рекомендується.

В будівлях з кранами режимів роботи 7К і 8К рекомендують застосовувати лише спеціальні кранові рейки типу КР.

Діаметри отворів для болтів приймають  $d_o = 21...23$  мм; діаметри болтів  $d_b = 20...22$  мм; крок розміщення болтів по довжині балки становить 600...750 мм.

Між рейкою і поясом балки доцільно встановлювати пружні прокладки з низькомодульного матеріалу, які покращують умови контакту рейки з поясом, зменшують місцеві напруження під колесом крана, запобігають виникненню місцевих напружень біля контактуючих поверхонь рейки і поясу та зменшують динамічний вплив крану. Якщо вантажопідйомність  $m_q \leq 20$  т, прокладки виконують із прогумованої стрічки; якщо  $m_q \geq 20$  т – металогумовими (рис. 1.13).

#### **1.4. Визначення розрахункових зусиль у підкранових конструкціях**

Навантаження від крана передається на підкранову конструкцію через колеса, які розташовані на кінцевій балці кранового моста. Залежно від вантажопідйомності крана з



кожного боку моста може бути два (для кранів з  $m_q = 5...50\text{т}$ ), чотири (для кранів з  $m_q = 80...125\text{т}$ ) або вісім (для кранів з  $m_q = 16...320\text{т}$ ) коліс.

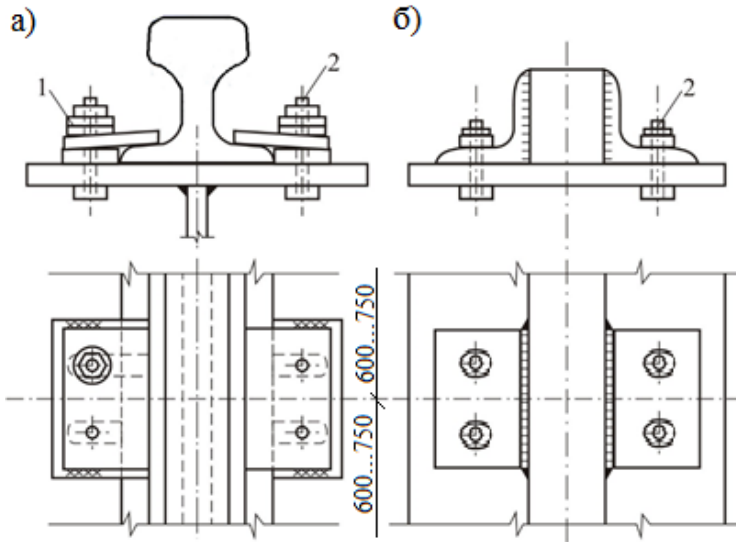


Рис. 1.11. Кріплення рейки до підкранової балки:  
а – типу КР; б – квадратної; 1 – пружинна шайба; 2 – болт

Розрахунок підкранових конструкцій виконують, як правило, на навантаження від двох наближених один до одного кранів найбільшої вантажопідйомності з візками, наближеними до одного з рядів колон, тобто в положенні, за якого на підкранові конструкції діють найбільші вертикальні навантаження у вигляді зосереджених сил. Одночасно до підкранової конструкції прикладаються і максимальні поперечні горизонтальні навантаження також у вигляді зосереджених сил. Оскільки вірогідність виникнення одночасно найбільших навантажень на двох кранах дуже мала, то під час обчислення зусиль вводиться понижуючий коефіцієнт сполучення навантажень  $\psi$ .

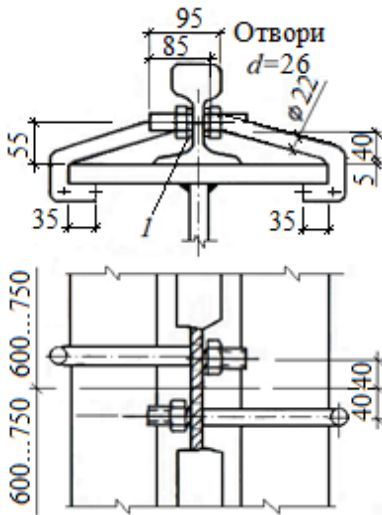


Рис. 1.12. Кріплення рейки типу залізничної

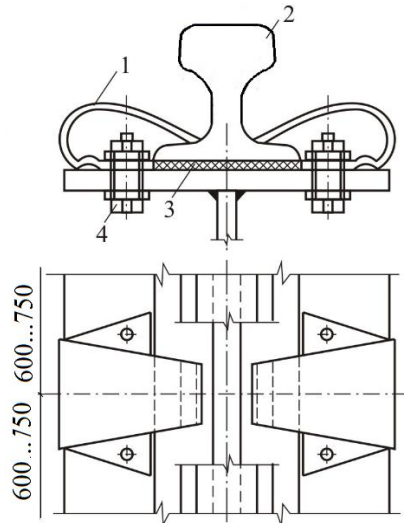


Рис. 1.13. Кріплення рейки, встановленої на пружну прокладку:

1 – пружина, 2 – рейка;  
3 – пружна прокладка; 4 – болт

Згідно з нормами [2]:  $\psi = 0,85$  – для груп режимів роботи кранів 1К–6К;  $\psi = 0,95$  – для груп режимів роботи кранів 7К і 8К. Для врахування чотирьох кранів навантаження від них необхідно помножити на коефіцієнт сполучень:  $\psi = 0,7$  – для груп режимів роботи кранів 1К–6К;  $\psi = 0,8\psi$  – для груп режимів роботи кранів 7К і 8К. У випадку врахування навантаження тільки від одного крана  $\psi = 1$ .

У разі врахування місцевого та динамічного впливу зосередженого вертикального навантаження від одного колеса крану під час розрахунку міцності балок кранових колій характеристичне значення цього навантаження необхідно помножити на додатковий коефіцієнт  $\gamma_{f1}$ , величина якого становить: 1,6 – для групи режиму роботи кранів 8К з жорстким

підвісом вантажу; 1,4 – для 8К з гнучким підвісом вантажу; 1,3 – для груп режимів роботи кранів 7К; 1,1 – для інших груп режимів роботи кранів. Для перевірки місцевої стійкості стінок балок приймають  $\gamma_{f_1} = 1,1$ .

Під час розрахунку міцності та стійкості балок кранової колії та їхніх кріплень до несучих конструкцій граничні розрахункові значення вертикальних кранових навантажень необхідно множити на коефіцієнт динамічності  $k_{d1}$ , величина якого становить:

а) для кроку колон до 12 м включно: 1,2 – для групи режиму роботи мостових кранів 8К; 1,1 – для 6К і 7К; 1,1 – для усіх груп режимів роботи підвісних кранів;

б) для кроку колон понад 12 м  $\gamma_{f_1} = 1,1$  для групи режиму роботи мостових кранів 8К.

Граничні розрахункові значення горизонтальних навантажень від мостових кранів групи режиму роботи 8К враховують з коефіцієнтом динамічності  $k_{d2} = 1,1$ .

Для розрахунку конструкцій на витривалість, перевірки прогинів балок кранових колій і зміщень колон, а також під час врахування місцевої дії зосередженого вертикального навантаження від одного колеса крана коефіцієнт динамічності не враховують.

Характеристичне значення бічної сили, прикладеної до колеса багатоколісних (вісім коліс і більше) кранів з гнучким підвісом вантажу  $H_k^n$  приймають таким, що дорівнює 0,1 від вертикального навантаження на колесо, обчисленого для розташування візка з вантажем, величина якого дорівнює паспортній вантажопідйомності крана, посередині моста. Характеристичне значення  $H_k^n$  для багатоколісних (вісім коліс і більше) кранів з жорстким підвісом приймається таким, що дорівнює 0,1 від максимального вертикального навантаження на колесо.

Отже, оскільки вертикальні та горизонтальні навантаження від коліс крана, що прикладені до підкранової балки у вигляді зосереджених сил, мають динамічний характер і діють у певному збігу, то їх розрахункові значення, які передаються на одне колесо крана:

$$F_m = k_{d1} \gamma_{f1} \psi \gamma_{fm} F_{max}^n \gamma_n ; \quad (1.15)$$

$$H_m = k_{d2} \psi \gamma_{fm} H_0 \text{ (або } H_{01}) \gamma_n / n_0 , \quad (1.16)$$

де  $k_{d1}$ ,  $k_{d2}$  – коефіцієнти динамічності;  $\gamma_{f1}$  – додатковий коефіцієнт, що враховує місцевий та динамічний впливи зосередженого вертикального навантаження;  $\psi$  – коефіцієнт сполучення навантажень;  $\gamma_{fm}$  – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням кранового навантаження (див. табл. 1.2);  $\gamma_n$  – коефіцієнт надійності за відповідальністю, який враховує ступінь відповідальності будівель і споруд (табл. 1.4);  $n_0$  – кількість коліс з одного боку крана (для  $m_q \leq 50$  т,  $n_0 = 2$  ; для  $m_q = 80 \dots 160$  т,  $n_0 = 4$  ; для  $m_q > 160$  т,  $n_0 = 8$ );  $F_{max}^n$  – характеристичне значення вертикального навантаження відповідно до формули (1.14);  $H_0$  – характеристичне значення бічної сили від двох найбільш несприятливих за впливом кранів з кількістю коліс понад 4, розташованих на одній крановій колії або на різних коліях в одному створі;  $H_{01}$  – характеристичне значення бічної сили від одного чотириколісного мостового крану, найбільш несприятливого за впливом з кранів, розташованих на одній крановій колії або в одному створі.

Таблиця 1.4

Коефіцієнти надійності за відповідальністю  $\gamma_n$ 

Клас наслідків (відповідальності) будівлі або споруди	Категорія відповідальності конструкції	Значення $\gamma_n$ , які використовують в розрахункових ситуаціях				
		усталених		перехідних		аварійних
		граничні стани груп				
		1	2	1	2	1
СС3 (значні наслідки)	А	1,250	1,000	1,050	0,975	1,050
	Б	1,200		1,000		
	В	1,150		0,950		
СС2 (середні наслідки)	А	1,100	0,975	0,975	0,950	0,975
	Б	1,050		0,950		
	В	1,000		0,925		
СС1 (незначні наслідки)	А	1,000	0,950	0,950	0,925	0,950
	Б	0,975		0,925		
	В	0,950		0,900		

**Примітки:**

1. Якщо у нормах проектування певних типів будівель або споруд не наведено конкретних рекомендацій щодо розподілу конструкцій за категоріями відповідальності відповідно до класів наслідків (відповідальності), то дозволяється їх відносити до категорії Б.

2. Для тимчасових будівель і споруд зі встановленим терміном експлуатації до трьох років значення приймаються як для об'єктів класу В незалежно від класу наслідків (відповідальності) конструкції.

## 2. Розрахунок підкранових балок

### 2.1. Визначення розрахункових зусиль

Розрахунок підкранових балок багато в чому аналогічний розрахунку звичайних балок. Але визначення розрахункових зусиль за наявності рухомого навантаження, яке викликає значні місцеві напруження під колесами крана від дії не лише вертикальних, а і горизонтальних бічних сил, має певні особливості.

Розрахункові зусилля, тобто найбільші згинаючі моменти і поперечні сили, в підкранових балках визначають від навантаження двох наближених один до одного кранів найбільшої вантажопідйомності.

Найбільший згинаючий момент  $M_{max}$  в розрізній балці від заданої системи сил виникає тоді, коли рівнодіюча всіх сил, які знаходяться на балці, і найближча до неї сила рівновіддалені від середини прольоту балки (рис. 2.1). При цьому  $M_{max}$  буде знаходитись під силою, найближчою до середини прольоту балки (правило Вінклера). Ця сила називається критичною.

Найбільша поперечна сила  $Q_{max}$  в розрізній балці виникає за такого положення навантаження, коли одна із сил знаходиться безпосередньо над опорою, а решта розташовані як можна ближче до цієї ж опори (рис. 2.2).

Розрахункові значення згинаючого моменту і поперечної сили від вертикального навантаження з урахуванням власної ваги підкранових конструкцій і можливого тимчасового навантаження на гальмівній балці:

$$\left. \begin{aligned} M &= \alpha M_{max}; \\ Q &= \alpha Q_{max} \end{aligned} \right\}, \quad (2.1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, який враховує вплив власної ваги балки ( $\alpha = 1,03$  – якщо прольот балки  $l = 6\text{м}$ ;  $\alpha = 1,05$  –  $l = 12\text{м}$ ;  $\alpha = 1,08$  –  $l = 18\text{м}$ ).

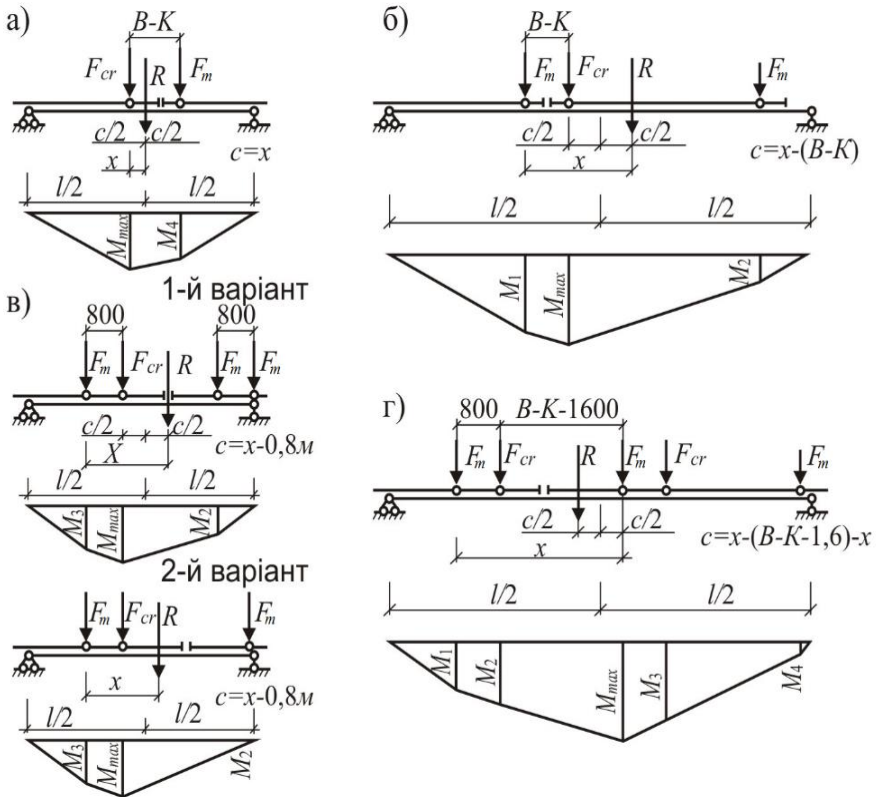


Рис. 2.1. До визначення максимального згинаючого моменту в різних підкранових балках:

а –  $l_{ПБ} = 6\text{ м}$  і  $m_q \leq 50\text{ Т}$ ; б –  $l_{ПБ} = 12\text{ м}$  і  $m_q \leq 50\text{ Т}$ ;

в –  $l_{ПБ} = 6\text{ м}$  і  $m_q \leq 125\text{ Т}$ ; г –  $l_{ПБ} = 12\text{ м}$  і  $m_q \leq 125\text{ Т}$

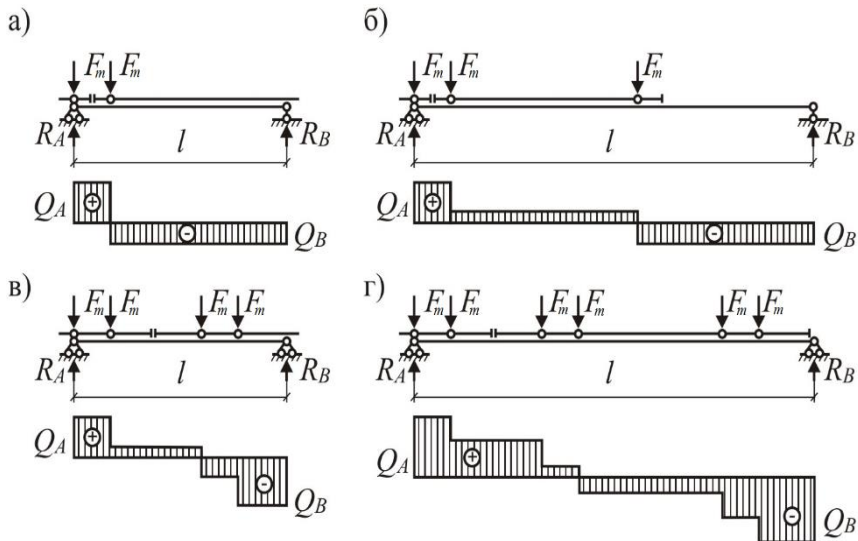


Рис. 2.2. До визначення максимальної поперечної сили в розрізних підкранових балках:

а –  $l_{\text{пб}} = 6 \text{ м}$  і  $m_q \leq 50 \text{ т}$ ; б –  $l_{\text{пб}} = 12 \text{ м}$  і  $m_q \leq 50 \text{ т}$ ;

в –  $l_{\text{пб}} = 6 \text{ м}$  і  $m_q \leq 125 \text{ т}$ ; г –  $l_{\text{пб}} = 12 \text{ м}$  і  $m_q \leq 125 \text{ т}$

Розрахункове значення згинаючого моменту  $M_{H_m}$  і поперечної сили  $Q_{H_m}$  від дії горизонтального поперечного навантаження  $H_m$  обчислюють за того ж самого розташування кранів, що і відповідно для  $M_{\text{max}}$  і  $Q_{\text{max}}$ . Тому

$$\left. M_{H_m} = M_{\text{max}} \frac{H_0}{F_{\text{max}}^n}; \quad Q_{H_m} = Q_{\text{max}} \frac{H_0}{F_{\text{max}}^n} \right\}, \quad (2.2)$$

де  $H_0$  – характеристичне значення горизонтального навантаження від мостових кранів, спрямованого поперек кранової колії;  $F_{\text{max}}^n$  – найбільше вертикальне



характеристичне навантаження, яке визначають для крайнього можливого положення візка крана на мосту з вантажем на гаці, вага якого дорівнює вантажопідйомності крана (див. п. 1.4).

За розрахунковими значеннями  $M$ ,  $Q$ ,  $M_{Hm}$ ,  $Q_{Hm}$  балку розраховують на міцність; перевіряють загальну та місцеву стійкість, а у необхідних випадках також витривалість; виконують розрахунок опорного ребра і з'єднань поясів зі стінкою.

У разі розрахунку підкранових конструкцій на витривалість розрахункове вертикальне навантаження визначається множенням характеристичного навантаження  $F_{max}$  на коефіцієнти: 0,6 – для груп режимів роботи кранів 1К–4К; 0,6 – для груп режимів роботи кранів 5К–8К. Розрахунок виконують на навантаження від одного крана.

Перевірку жорсткості підкранових балок виконують на експлуатаційне розрахункове навантаження від одного крана і без урахування коефіцієнта динамічності.

Гальмівні балки, що використовуються як майданчики для обслуговування і ремонту кранової колії, розраховують на тимчасове навантаження, яке приймається згідно з технічним завданням, але не менше за значення  $g_o = 1,5$  кН/м<sup>2</sup> з коефіцієнтом надійності за навантаженням  $\gamma_{fm} = 1,4$ .

## 2.2. Підбір поперечного перерізу підкранової балки

Розрахунок суцільних підкранових конструкцій (підкранових балок) виконують у такій послідовності.

1. Наближено найменша висота поперечного перерізу балки із умови забезпечення необхідної жорсткості за граничного відносного прогину  $f_u/l$  і середнього значення

коефіцієнта надійності за навантаженням  
 $\gamma_{fm} = M / M_e = 1,15$

$$h_{min} = [l(l/f_u) / 4800] (1/\gamma_{fm}) \quad (2.3)$$

Обчислене значення  $h_{min}$  заокруглюють у більшу сторону до величини, яка кратна розміру 100 мм.

2. Необхідний момент опору перерізу балки

$$W_{nec} = \frac{M \gamma_n}{\gamma_c (R_y - 2)}, \quad (2.4)$$

де  $R_y - 2$  – розрахунковий опір сталі, кН/см<sup>2</sup>, зменшений на 2 кН/см<sup>2</sup> для урахування дії горизонтальних сил гальмування.

3. Попередньо товщина стінки

$$t_w = 7 + 3 h_{min} / 1000. \quad (2.5)$$

Остаточно  $t_w$  приймають з урахуванням сортаменту, але не менше за 8 мм.

4. Оптимальна висота балки

$$h_{opt} = 1,15 \sqrt{W_{nec} / t_w}. \quad (2.6)$$

5. Остаточно висоту перерізу балки приймають близькою до  $h_{opt}$  і не меншою за  $h_{min}$ . Висоту стінки підкранової балки  $h_w$  найчастіше приймають на 40...60 мм меншою за висоту перерізу балки і вона повинна відповідати стандартній ширині листів прокатної сталі за ГОСТ 82-70\*, якщо висота до 1050 мм, і за ГОСТ 19903-74\*, якщо висота стінки більша за 1050 мм. Висоту стінки балки приймають кратною 100 або 50 мм.

6. Міцність стінки балки на зріз

$$\tau = \frac{1,5 Q}{t_w h_w} \leq R_s \gamma_c / \gamma_n. \quad (2.7)$$

7. Мінімальна товщина стінки балки з умови її міцності за дії місцевого тиску колеса крана

$$t_{wmin} = \frac{\gamma_{f1} F_1 \gamma_n}{3,25 R_y \gamma_c} \sqrt{\frac{\gamma_{f1} F_1 \gamma_n}{3,25 R_y \gamma_c I_r}}, \quad (2.8)$$

де  $\gamma_{f1} = 1,1$  – коефіцієнт, який приймають для кранів середнього режиму роботи (1К–3К) з гнучким кріпленням вантажів;  $F_1 = F_{max} \gamma_{fm}$  – розрахункове значення тиску від одного колеса крана;  $I_r$  – момент інерції підкранової рейки, позначений в сортаменті як  $I_x$ ; 3,25 – коефіцієнт податливості з'єднання поясу зі стінкою для зварних балок.

8. Площа перерізу поясів балки

$$2A_f = \frac{2}{3} \frac{W_{nec}}{h_w}. \quad (2.9)$$

9. Товщину поясу приймають в межах  $t_f = (2...3)t_w$ .

10. Ширина поясних листів повинна бути:

а) з умови забезпечення загальної стійкості балки

$$b_f = (1/3...1/5)h; \quad (2.10)$$

б) з умови забезпечення місцевої стійкості стиснутого поясу

$$b_f \leq t_f \sqrt{E/R_y}; \quad (2.11)$$

в) з умови забезпечення необхідної площі перерізу поясу

$$b_f \geq A_f / t_f; \quad (2.12)$$

г) з умови кріплення кранової рейки

$$b_f \geq 360\text{мм}. \quad (2.13)$$

11. Переріз підкранової балки найчастіше приймають симетричним (рис. 2.3, а), хоча ширина перерізу нижнього поясу може бути і меншою.

Склад перерізу гальмівної балки (рис. 2.3, б): верхній пояс підкранової балки; горизонтальний лист з рифленої сталі за ДСТУ 8783:2018 товщиною 4, 6 або 8 мм; швелер

№18...№24 за ДСТУ 3436-96, який в прольоті необхідно обпирає на стояки фахверка або на підкоси, які кріпляться до ребер балки. Якщо це не передбачено, то переріз швелера призначають з розрахунку на згин, приймаючи характеристичне навантаження на майданчик не меншим за  $g_o = 1,5 \text{ кН/м}^2$  з коефіцієнтом надійності за навантаженням  $\gamma_{fm} = 1,4$  і граничним прогином  $f_u/l = 1/250$ .

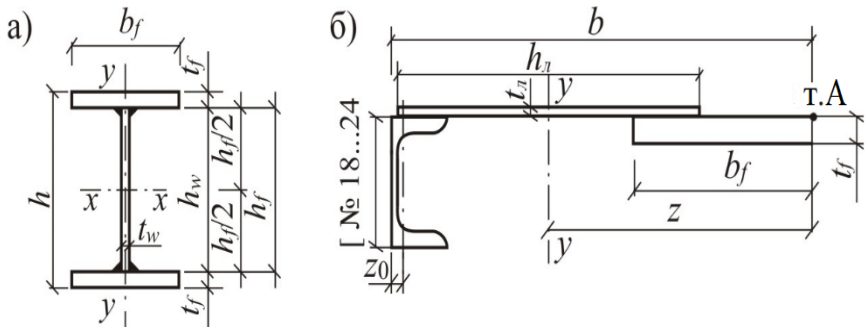


Рис. 2.3. Поперечний переріз:

а – підкранової балки; б – гальмівної балки

1 – верхній пояс підкранової балки; 2 – горизонтальний лист;

3 – опорний швелер

12. Геометричні характеристики поперечного перерізу підкранової балки:

$$\left. \begin{aligned} I_x &= \frac{2 b_f t_f^3}{12} + 2 b_f t_f \frac{h_f^2}{4} + \frac{t_w h_w^3}{12}; \\ W_x &= \frac{2 I_x}{h}; S_x = b_f t_f \frac{h_f}{2} + \frac{1}{8} t_w h_w^2. \end{aligned} \right\} (2.14)$$

13. Геометричні характеристики поперечного перерізу гальмівної балки:

$$I_y = I_{uu} + A_{uu} (b - z_0)^2 + t_{\lambda} h_{\lambda}^3 / 12 + t_{\lambda} h_{\lambda} \times \left( b - \frac{h_{\lambda}}{2} - z_0 - z \right)^2 + \left. \begin{aligned} & + t_f b_f^3 / 12 + t_f b_f \left( z - \frac{b_f}{2} \right)^2; \quad W_y = I_y / z \\ & \text{де } z = \frac{t_f b_f b_f / 2 + t_{\lambda} h_{\lambda} (b - z_0 - h_{\lambda} / 2) + A_{uu} (b - z_0)}{t_f b_f + t_{\lambda} h_{\lambda} + A_{uu}}. \end{aligned} \right\}, \quad (2.15)$$

### 2.3. Перевірка міцності та жорсткості підкранової балки

Міцність підбраного перерізу балки:

а) нормальні напруження у верхньому поясі (рис. 2.4)

$$\sigma = \frac{M}{W_x} + \frac{M_{Hm}}{W_y} \leq R_y \gamma_c / \gamma_n; \quad (2.16)$$

б) дотичні напруження в опорному перерізі балки з урахуванням роботи поясів

$$\tau = \frac{Q S_x}{I_x t_w} \leq R_s \gamma_c / \gamma_n; \quad (2.17)$$

в) дотичні напруження в опорному перерізі балки без урахування роботи поясів

$$\tau = \frac{1,5 Q}{t_w h_w} \leq R_s \gamma_c / \gamma_n. \quad (2.18)$$

Наближено обчислюють відносний прогин балки за дії вертикального експлуатаційного розрахункового навантаження за формулою

$$\frac{f}{l} = \frac{M_e l}{10 E I_x} \leq \frac{f_u}{l}, \quad (2.19)$$

де  $M_e$  – максимальний згинаючий момент за дії експлуатаційного розрахункового навантаження у разі розташування на підкрановій балці одного крана.

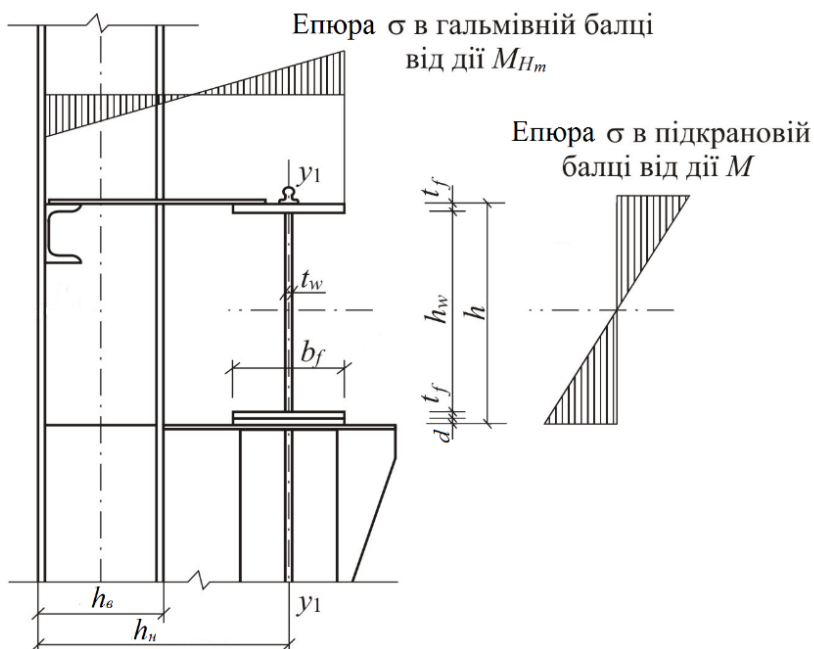


Рис. 2.4. Розподілення напружень у підкрановій балці

## 2.4. Розрахунок зварних з'єднань стінки з поясами

Верхні поясні шви підкранових балок з умови рівномірності з основним металом виконують з проварюванням на всю товщину стінки і тоді їх розрахунок не потрібний. У загальному випадку визначають катет шва

$$k_f = \frac{\sqrt{\left(Q S_f / I_x\right)^2 + \left(\gamma_{f_1} F_1 / z\right)^2} \gamma_n}{2 \beta_f R_{wf} \gamma_c}, \quad (2.20)$$

де  $S_f = b_f t_f h_f / 2$  – статичний момент верхнього поясу підкранової балки відносно осі  $x-x$  (див. рис. 2.3, а).

Катет шва  $k_f$  остаточно приймають з урахуванням вимог табл. 16.1[3].

## 2.5. Забезпечення місцевої стійкості стінки

Місцева стійкість стінки забезпечується системою поперечних ребер жорсткості, встановлених з однаковим кроком  $a$  по довжині балки. Поперечні ребра можуть бути двосторонніми або односторонніми.

Ширина виступаючої частини ребра згідно з п. 9.5.9[3] повинна бути не меншою за  $b_r = h_{ef} / 30 + 25$  мм для двостороннього ребра і не меншою за  $b_r = h_{ef} / 24 + 40$  мм для одностороннього ребра (тут  $h_{ef} = h_w$  – висота стінки балки). Мінімальна ширина ребра 90 мм.

Торці ребер жорсткості необхідно щільно підігнати до верхнього поясу, а у підкранових балках для кранів груп режимів роботи 7К і 8К необхідно стругати торці ребер, що примикають до верхнього поясу. У підкранових балках для мостових опорних кранів груп режимів роботи 1К–5К можна застосовувати односторонні поперечні ребра жорсткості, що виконані зі штабової сталі або кутиків, з приварюванням їх до стінки та верхнього поясу.

Товщину ребра обчислюють за виразом  $t_r \geq 2b_r \sqrt{R_y / E}$ , а остаточно приймають з урахуванням сортаменту.

Умовна гнучкість стінки балки  $\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \sqrt{R_y/E}$ .

Якщо  $\bar{\lambda}_w > 2,2$ , то необхідно встановлювати поперечні ребра жорсткості: якщо  $\bar{\lambda}_w > 3,2$ , то відстань між основними поперечними ребрами  $a \leq 2h_{ef}$ ; якщо  $2,2 < \bar{\lambda}_w \leq 3,2$ , то  $a \leq 2,5h_{ef}$ .

Місцеву стійкість стінки балки перевіряють на двох ділянках між ребрами жорсткості: біля опори, де  $\tau = \tau_{max}$ , і посередині прольоту балки, де  $\sigma = \sigma_{max}$ .

Стискаюче нормальне напруження в стінці на рівні поясних швів

$$\sigma = \frac{M h_w}{2 I_x}. \quad (2.21)$$

Дотичне напруження

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_w}. \quad (2.22)$$

Коефіцієнт

$$\delta = \beta_{r2} \frac{b_f}{h_{ef}} \left( \frac{t_f}{t_w} \right)^3, \quad (2.23)$$

де  $\beta_{r2} = 2,0$  – для балок кранових колій з непривареними рейками згідно з табл. 9.3 [3].

Залежно від величини коефіцієнта  $\delta$  з табл. 9.2 [3] для балки зі зварними поясними з'єднаннями коефіцієнт  $c_{cr} = 35,5$ .

З двох розмірів розрахункової ділянки менша сторона становить  $d_g = h_{ef}$  або  $d_g = a$ .

Умовна гнучкість стінки



$$\bar{\lambda}_d = \frac{d_g}{t_w} \sqrt{R_y/E}. \quad (2.24)$$

Відношення більшої сторони ділянки стінки до меншої  $\mu_w = a/d_g$  або  $\mu_w = h_{ef}/d_g$ .

Критичні напруження:

– нормальні

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} R_y}{\bar{\lambda}_d^2}; \quad (2.25)$$

– дотичні

$$\tau_{cr} = 10,3 \left( 1 + \frac{0,76}{\mu_w^2} \right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_d^2}. \quad (2.26)$$

Місцеву стійкість стінки балки перевіряють за формулою

$$\sqrt{\left( \frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left( \frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} \leq \gamma_c / \gamma_n. \quad (2.27)$$

## 2.6. Розрахунок опорної частини балки

Підкранова балка обпирається на уступ колони зверху через торцеве опорне ребро (рис. 2.5).

Необхідну площу перерізу опорного ребра за дії зосередженого навантаження визначають з умови його розрахунку на зминання

$$A_r = \frac{F \gamma_n}{R_p \gamma_c}. \quad (2.28)$$

Ширину опорного ребра  $b_r$  приймають відповідно до сортаменту. Товщина ребра  $t_r = A_r / b_r$ . Загалом товщину ребра приймають не меншою за розрахункове значення з

урахуванням розмірів, наведених у сортаменті, і не меншою за товщину  $t = 20$  мм.

Стійкість опорної частини балки перевіряють як для умовного стояка таврового перерізу довжиною  $l_{ef} = h_w$ , навантаженого опорною реакцією  $F$  (див. рис. 2.5).

Геометричні характеристики таврового перерізу умовного стояка:

а) площа перерізу  $A = b_r t_r + S t_w$ ;

б) момент інерції  $I_x = \frac{t_r b_r^3}{12} + \frac{S t_w^3}{12}$ ;

де  $S = 0,65 t_w \sqrt{E/R_y}$ ;

в) радіус інерції  $i_x = \sqrt{I_x/A}$ .

Коефіцієнт стійкості  $\varphi$  залежить від умовної гнучкості стержня  $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y/E}$  та типу кривої стійкості (табл. Ж.1 [3]), яка, у свою чергу, залежить від типу перерізу і визначається з табл. 8.1 [3].

Умовна гнучкість стояка  $\bar{\lambda} = \lambda_x \sqrt{R_y/E}$ , де  $\lambda_x = l_{ef}/i_x = h_w/i_x$ .

Стійкість умовного стояка таврового поперечного перерізу

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c / \gamma_n. \quad (2.29)$$

Виступаючу донизу частину опорного ребра приймають висотою  $d \leq 1,5 t_r$ , і зазвичай вона становить 15...20 мм (див. рис. 2.5).

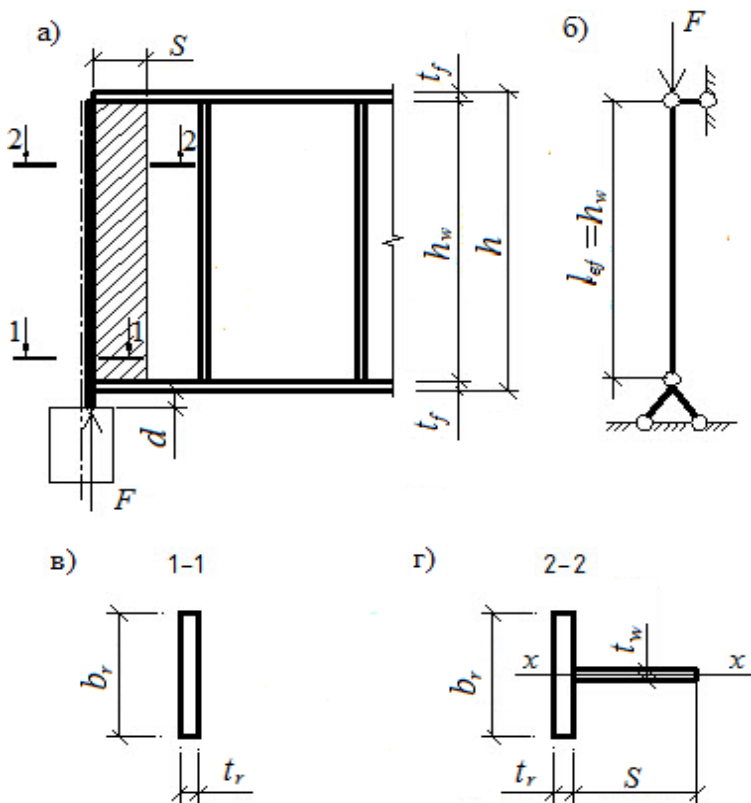


Рис. 2.5. Опорна частина підкранової балки:  
 а – загальний вигляд; б – розрахункова схема;  
 в – переріз опорного ребра; г – переріз умовного стояка

## 2.7. Розрахунок підкранової балки на витривалість

Розрахунок на витривалість виконують згідно з п. 15 та таблицями додатку Т норм проектування [3].

У випадку відсутності даних з проектної історії навантаження значення напруження визначають за формулою

$$\sigma = K\sigma_{cm} \leq R_v \gamma_c \gamma_n, \quad (2.30)$$

де  $K$  – параметр, що приймають з табл. Т.1 [3];  $\sigma_{cm}$  – найбільше за абсолютним значенням напруження у розрахунковому перерізі, обчислене у перерізі нетто безурахування коефіцієнтів динамічності і коефіцієнтів, які використовуються у розрахунках на стійкість.

Значення межі витривалості

$$R_v = \frac{2\sigma_{-1}}{2 - d_n(1 + \rho)} \left( 1 - 1,63 \frac{S_{\sigma_{-1}}}{\sigma_{-1}} \right). \quad (2.31)$$

### 3. Приклад розрахунку підкранової балки

#### Вихідні дані.

Підкранова балка прольотом  $l_{пб} = 12$  м розміщена по крайньому ряду колон під крани вантажопідйомністю  $m_q = 80/20$  т режимів роботи 4К–6К. Балка призначена для експлуатації в цеху машинобудівного заводу. Підвіс вантажу – гнучкий. Прольот будівлі  $L = 24$  м, прольот крана  $L_k = 22,5$  м, матеріал балки – сталь класу С295.

Розрахункові значення вертикальних і горизонтальних сил, які передаються на одне колесо крана:

$$F_m = k_{d1} \gamma_{f1} \psi \gamma_{fm} F_{max}^n \gamma_n = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 1,1 \cdot 360 \cdot 0,95 = 386,9 \text{ кН};$$

$$H_m = k_{d2} \psi \gamma_{fm} H_0 \gamma_n = 1,1 \cdot 0,85 \cdot 1,1 \cdot 10 \cdot 0,95 = 9,8 \text{ кН},$$

де  $k_{d1} = 1,1$ ,  $k_{d2} = 1,1$  – коефіцієнти динамічності;  $\gamma_{f1} = 1,1$  – додатковий коефіцієнт, що враховує місцевий та динамічний впливи зосередженого вертикального навантаження;  $\psi = 0,85$  – коефіцієнт сполучення навантажень;  $\gamma_{fm} = 1,1$  – коефіцієнт надійності за

граничним розрахунковим значенням кранового навантаження для терміну експлуатації 50 років (див. табл. 1.2);  $\gamma_n = 0,95$  – коефіцієнт надійності за відповідальністю для класу наслідків СС1, категорії відповідальності конструкції В, для усталеної розрахункової ситуації, для граничних станів першої групи (див. табл. 1.4);  $F_{max}^n = (F_{01} + F_{02})/2 = (350 + 370)/2 = 360$  кН – характеристичне значення вертикального навантаження відповідно до формули (1.17);  $H_0 = H_k^n = 0,1 m_q / n = 0,1 \cdot 800/8 = 10$  кН – характеристичне значення бічної сили, тут  $m_q = 80$  т = 800 кН – вантажопідйомність крана;  $n = 8$  – загальна кількість коліс мостового крана вантажопідйомністю  $m_q = 80/20$  т.

### 3.1. Визначення розрахункових зусиль

Рівнодіюча  $R$  всіх сил, які розміщені на балці для визначення  $M_{max}$ , знаходяться на відстані  $X$  від крайньої зліва сили (рис. 3.1)

$$X = \frac{\sum F_i X_i}{\sum F_i} = \frac{F(0,8 + 3,95 + 4,75 + 9,1)}{5F} = 3,72 \text{ м.}$$

Найближчий до рівнодіючої всіх сил вантаж і є критичним.

$$\text{Відстань від критичної сили до рівнодіючої } R \\ c = 0,8 + (B - K - 1,6) - X = 0,8 + (9,1 - 4,35 - 1,6) - 3,72 = 23 \text{ см.}$$

Поділив відстань  $c$  навпіл, суміщують її середину з серединою прольоту балки, а потім отримують решту розмірів, що визначають положення вантажів на балці.

Таким чином, критична сила знаходиться на відстані  $c/2 = 23/2 = 11,5$  см від середини прольоту балки.

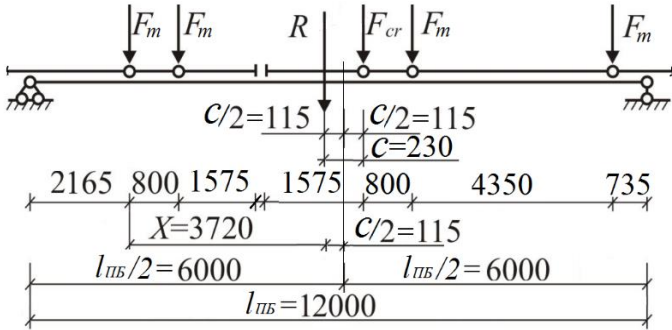


Рис. 3.1. Схема розміщення сил для визначення  $M_{max}$

Встановлення коліс крана в найбільш несприятливе положення перевіряється за двома критеріями:

$$R_0 + F_{cr} \geq \frac{a}{l} \sum F_i; \quad R_0 \leq \frac{a}{l} \sum F_i;$$

$$386,9 \cdot 2 + 386,9 = 1160,7 \text{ кН} > \frac{6,115}{12,0} \cdot 386,9 \cdot 5 = 985,8 \text{ кН};$$

$$386,9 \cdot 2 = 673,2 \text{ кН} < \frac{6,115}{12} \cdot 386,9 \cdot 5 = 985,8 \text{ кН},$$

де  $a = l_{пб}/2 + c/2 = 12/2 + 0,23/2 = 6,115$  м – відстань від лівої опори до критичного вантажу (див. рис. 3.1);  $l_{пб} = 12$  м – прольот підкранової балки;  $R_0 = 386,9 \cdot 2 = 673,2$  кН – рівнодіюча всіх сил (вантажів), розташованих зліва від  $F_{cr}$ ;  $F_{cr} = 386,9$  кН – величина критичної сили;  $\sum F_i = 386,9 \cdot 5 = 1934,5$  кН – сума тисків всіх рухомих вантажів, розміщених на балці.

Всі критерії виконуються.

Величину  $M_{max}$  від дії вертикальних навантажень визначають за лінією впливу згинаючого моменту (рис. 3.2)

$$M_{max} = F \sum y_{M_i} = 386,9 \cdot 8,481 = 3281,3 \text{ кНм},$$

де  $\sum y_{M_i} = y_{M_{max}} + y_{M_1} + y_{M_2} + y_{M_3} + y_{M_4} = 2,999 + 1,062 + 1,454 + 2,591 + 0,375 = 8,481,$

тут  $y_{M_{max}} = \frac{a(l-a)}{l} = \frac{6,115 \cdot (12 - 6,115)}{12} = 2,999;$

$$y_{M_1} = y_{M_{max}} \frac{2,165}{6,115} = 2,999 \cdot \frac{2,165}{6,115} = 1,062;$$

$$y_{M_2} = y_{M_{max}} \frac{2,965}{6,115} = 2,999 \cdot \frac{2,965}{6,115} = 1,454;$$

$$y_{M_3} = y_{M_{max}} \frac{5,085}{5,885} = 2,999 \cdot \frac{5,085}{5,885} = 2,591;$$

$$y_{M_4} = y_{M_{max}} \frac{0,735}{5,885} = 2,999 \cdot \frac{0,735}{5,885} = 0,375.$$

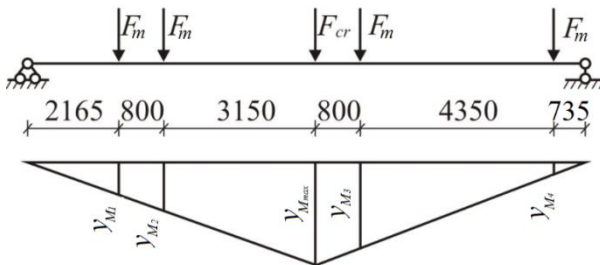


Рис. 3.2. До визначення  $M_{max}$  за лінією впливу

При визначенні  $Q_{max}$  крани розміщуються відповідно до рис. 3.3.

$$Q_{max} = F \sum y_{Q_i} = 386,9 \cdot 3,625 = 1402,51 \text{ кН},$$

де  $y_{Q_i} = y_{Q_{max}} + y_{Q_1} + y_{Q_2} + y_{Q_3} + y_{Q_4} + y_{Q_5} = 1 + 0,933 + 0,671 + 0,604 + 0,242 + 0,175 = 3,625$ ,

тут  $y_{Q_{max}} = 1$ ;  $y_{Q_1} = \frac{11,2}{12} = 0,933$ ;  $y_{Q_2} = \frac{8,05}{12} = 0,671$ ;

$y_{Q_3} = \frac{7,25}{12} = 0,604$ ;  $y_{Q_4} = \frac{2,9}{12} = 0,242$ ;  $y_{Q_5} = \frac{2,1}{12} = 0,175$ .

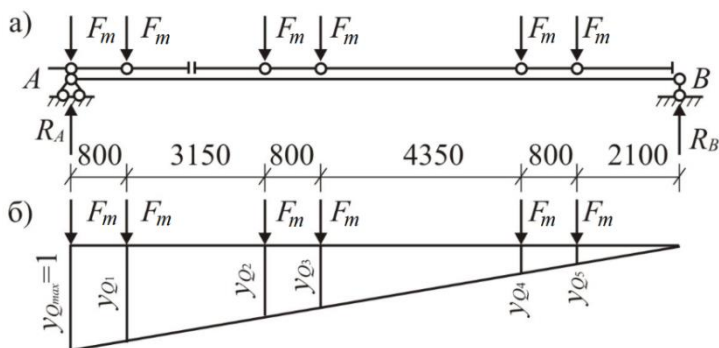


Рис. 3.3. Схема розміщення сил для визначення  $Q_{max}$ :  
а – розрахункова схема; б – лінія впливу опорної реакції

Найбільший згинаючий момент від сил поперечного гальмування у тому самому перерізі, що і за дієвертикального навантаження

$$M_{Hm} = M_{max} \frac{H_0}{F_{max}^n} = 3281,3 \cdot \frac{10,0}{360} = 91,15 \text{ кНм}.$$

Величина найбільшої поперечної сили від горизонтального гальмування кранів

$$Q_{Hm} = Q_{max} \frac{H_0}{F_{max}^n} = 1402,51 \cdot \frac{10}{360} = 38,96 \text{ кН}.$$

Розрахункові значення:

$$M = \alpha M_{max} = 1,05 \cdot 3281,3 = 3445,37 \text{ кН};$$



$$Q = \alpha Q_{max} = 1,05 \cdot 1402,51 = 1472,64 \text{ кН},$$

де  $\alpha = 1,05$  – коефіцієнт, який враховує власну вагу підкранової балки прольотом  $l_{пб} = 12 \text{ м}$ .

Таким чином:

$$M = 3445,37 \text{ кНм}; Q = 1472,64 \text{ кН};$$

$$M_{Hm} = 91,15 \text{ кНм}; Q_{Hm} = 38,96 \text{ кН}.$$

### 3.2. Підбір поперечного перерізу підкранової балки

Підкранову балку проектують у вигляді складеного симетричного двотаврового перерізу (рис. 3.4).

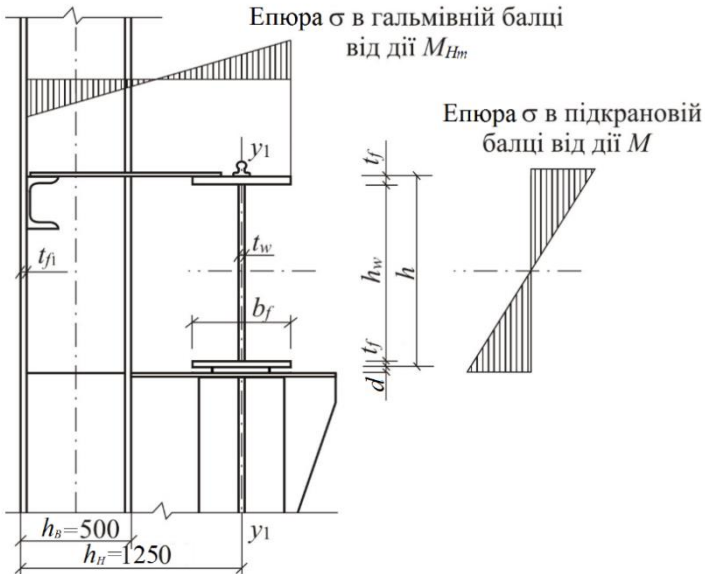


Рис. 3.4. Переріз підкранової конструкції

1. Наближено найменша висота перерізу балки з умови забезпечення жорсткості за граничного відносного

прогину  $f_u / l_{ПБ} = 1/500$  і середнього значення коефіцієнта надійності за навантаженням  $\gamma_{fn} = 1,15$

$$h_{min} = [l(l/f_u) / 4800] (1/\gamma_{fn}) = 1200 \cdot 500 / 4800 \cdot 1/1,15 = 108,7 \text{ см.}$$

Прийнято  $h_{min} = 110 \text{ см.}$

2. Необхідний момент опору перерізу балки

$$W_{nec} = \frac{M \gamma_n}{\gamma_c (R_y - 2)} = \frac{3445,37 \cdot 10^2 \cdot 0,95}{1 \cdot (28,5 - 2)} = 12351,3 \text{ см}^3,$$

де  $\gamma_c = 1$  – коефіцієнт умов роботи (див. табл. 5 дод. А);  
 $R_y = 28,5 \text{ кН/см}^2$  – розрахунковий опір сталі С295 для товщини прокату до  $t = 100 \text{ мм}$ ;  $(R_y - 2)$  – розрахунковий опір сталі, зменшений на  $2 \text{ кН/см}^2$  для урахування дії горизонтальних сил гальмування.

3. Попередньо товщина стінки

$$t_w = 7 + 3h_{min} / 1000 = 7 + 3 \cdot 1100 / 1000 = 10,3 \text{ мм.}$$

З урахуванням сортаменту прийнято  $t_w = 12 \text{ мм.}$

4. Оптимальна висота балки

$$h_{opt} = 1,15 \sqrt{\frac{W_{nec}}{t_w}} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{12351,3}{1,2}} = 116,67 \text{ см.}$$

5. Отаточно висоту балки прийнято  $h = 130 \text{ см.}$

Таким чином, з урахуванням сортаменту сталі за ДСТУ 8540:2015 висота стінки  $h_w = 1250 \text{ мм}$ , а товщини поясів  $t_f = 25 \text{ мм.}$

6. Міцність стінки балки за зрізу

$$t_w \geq \frac{1,5 Q \gamma_n}{R_s \gamma_c h_w} = \frac{1,5 \cdot 1472,64 \cdot 0,95}{15,08 \cdot 1 \cdot 125} = 1,11 \text{ см} = 11,1 \text{ мм} < 12 \text{ мм},$$

де  $R_s = 0,58 \text{ Р}_y = 0,58 \cdot 285 = 165,3 \text{ МПа} = 16,53 \text{ кН/см}^2$ .

7. Мінімальна товщина стінки балки з умови її міцності за дії місцевого тиску колеса крана

$$t_{wmin} = \frac{\gamma_{f1} F_1 \gamma_n}{3,25 R_y \gamma_c} \sqrt{\frac{\gamma_{f1} F_1 \gamma_n}{3,25 R_y \gamma_c I_r}} =$$

$$= \frac{1,1 \cdot 396 \cdot 0,95}{3,25 \cdot 28,5 \cdot 1,0} \sqrt{\frac{1,1 \cdot 396 \cdot 0,95}{3,25 \cdot 1 \cdot 28,5 \cdot 1,0 \cdot 2768,4}} = 0,179 \text{ см} < 1,2 \text{ см},$$

де  $\gamma_{f1} = 1,1$  – коефіцієнт, який приймають для кранів середнього режиму роботи (1К–3К) з гнучким кріпленням вантажів;  $F_1 = F_{max} \gamma_{fml} = 360 \cdot 1,1 = 396 \text{ кН}$  – розрахункове значення тиску від одного колеса крана;  $\gamma_{fml} = 1,1$  – коефіцієнт надійності за навантаженням для кранового навантаження;  $I_r = I_x = 2768,4 \text{ см}^4$  – момент інерції підкранової рейки КР–100 з табл. 1.3; 3,25 – коефіцієнт податливості з'єднання поясу зі стінкою для зварних балок.

8. Площа перерізу поясів балки

$$2A_f = \frac{3W_{nec}}{2h_w} = \frac{3 \cdot 14355,7}{2 \cdot 125} = 172,27 \text{ см}^2; A_f = \frac{172,27}{2} = 86,14 \text{ см}^2.$$

10. Ширина поясних листів повинна бути:

а) з умови забезпечення загальної стійкості балки

$$b_f = (1/3 \dots 1/5)h = (1/3 \dots 1/5) 130 = 43 \dots 26 \text{ см};$$

б) з умови забезпечення місцевої стійкості стиснутого поясу

$$b_f \leq t_f \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{285}} = 67,21 \text{ см};$$

в) з умови забезпечення необхідної площі перерізу поясу

$$b_f = \frac{A_f}{t_f} = \frac{86,14}{2,5} = 34,46 \text{ см};$$

г) з умови кріплення кранової рейки до верхнього поясу балки його ширина повинна бути не меншою за 360 мм.

11. Остаточний поперечний переріз балки прийнято складеним симетричним з листів: стінка –  $h_w \times t_w = 1250 \times 12$  мм; пояс –  $b_f \times t_f = 400 \times 25$  мм (рис. 3.5).

Склад перерізу гальмівної балки: швелер  $\square 18У/ДСТУ 3436-96$  з площею поперечного перерізу  $A_{ш} = 20,7$  см<sup>2</sup>, моментом інерції  $I_{y_{ш}} = 86$  см<sup>4</sup> і  $z_0 = 19,4$  мм; горизонтальний лист з рифленої сталі за ДСТУ 8783:2018 зі сталі марки ВСтЗкп2 за ДСТУ 2651:2005 товщиною  $t = 8$  мм.

Швелер  $\square 18У$  у прольоті необхідно обпірати на стояк фахверка або на підкоси, які кріпляться до ребер балки.

12. Геометричні характеристики перерізу балки відносно осі  $x-x$ :

$$I_x = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2t_f b_f \left( \frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2 = \frac{1,2 \cdot 125^3}{12} + 2 \cdot 2,5 \cdot 40 \cdot \left( \frac{125}{2} + \frac{2,5}{2} \right)^2 =$$

$$= 1008125 \text{ см}^4; \quad W = \frac{2 I_x}{h} = \frac{2 \cdot 1008125}{130} = 15509,6 \text{ см}^3;$$

$$S_x = t_f b_f \left( \frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right) + \frac{h_w}{2} t_w \frac{h_w}{4} = 2,5 \cdot 40 \cdot \left( \frac{125}{2} + \frac{2,5}{2} \right) +$$

$$+ \frac{125}{2} \cdot 1,2 \cdot \frac{125}{4} = 8718,75 \text{ см}^3.$$

13. Гальмівний лист заводять на верхній пояс підкранової балки на величину не меншу за розмір  $c_1 \geq 5t_n = 5 \cdot 8 = 40$  мм і на підтримуючий швелер на відстань не меншу за розмір

$$c_2 = b_{fI} - (15 \dots 20) \text{ мм} = 70 - (15 \dots 20) = 55 \text{ мм}.$$



Відстань від осі підкранової балки до центру ваги поперечного перерізу гальмівної балки

$$z_y = \frac{S_{y1}}{\sum A} = \frac{8337,94}{207,1} = 40,26 \text{ см},$$

де  $S_{y1} = A_2 z_2 + A_3 z_3 = 108 \cdot 0,8 \cdot 67,5 + 20,7 \cdot 121,06 = 8337,94 \text{ см}^3$   
 – статичний момент площі перерізу гальмівної балки відносно осі  $y_1-y_1$ ;  
 $\sum A = A_f + B_n t_n + A_{uu} = 2,5 \cdot 40 + 108 \cdot 0,8 + 20,7 = 207,1 \text{ см}^2$  – сума площ поперечних перерізів верхнього поясу підкранової балки, гальмівного листа і підтримуючого швеллера.

Відстані  $z_2$  і  $z_3$  від осі підкранової балки до центрів ваги відповідно гальмівного листа і підтримуючого швеллера:

$$z_2 = B_n/2 + b_f/2 - c_1 = 108/2 + 40/2 - 6,5 = 67,5 \text{ см};$$

$$z_3 = h_1 - t_{f1} - z_0 = 125 - 2,0 - 1,94 = 121,06 \text{ см}.$$

Ширина листа

$$b_n = (h_1 - t_{f1}) - (0,5b_f + b_{f_{uu}}) + (c_1 + c_2) = (125 - 2) - (0,5 \cdot 40 + 7) + (6,5 + 5,5) = 108 \text{ см},$$

де  $t_{f1} = 20 \text{ мм}$  – орієнтовно прийнята товщина поясу поперечного перерізу верхньої частини колони у вигляді складеного двотавра.

Геометричні характеристики гальмівної балки відносно вертикальної осі  $y-y$  (див. рис. 3.6):

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{t_f b_f^3}{12} + b_f t_f z_y^2 + \frac{t_n b_n^3}{12} + b_n t_n (z_2 - z_y)^2 + I_{y_{uu}} + A_3 (z_2 - z_y)^2 = \\ &= \frac{2,5 \cdot 40^3}{12} + 40 \cdot 2,5 \cdot 40,26^2 + \frac{0,8 \cdot 108^3}{12} + 108 \cdot 0,8 \cdot (67,5 - 40,26)^2 + \\ &\quad + 86 + 20,7 \times (121,06 - 40,26)^2 = 458740,1 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Момент опору поперечного перерізу гальмівної балки у т. А

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{458740,1}{60,26} = 7612,68 \text{ см}^3,$$

де  $z = z_y + 0,5b_f = 40,26 + 0,5 \cdot 40 = 60,26 \text{ см}$ .

### 3.3. Перевірка міцності та жорсткості підкранової балки

Міцність підбраного перерізу балки:

а) нормальні напруження у верхньому поясі (див. рис. 3.4)

$$\sigma = \frac{M}{W_x} + \frac{M_{Hm}}{W_y} = \frac{3445,37 \cdot 10^3}{15509,6} + \frac{91,15 \cdot 10^3}{7612,68} = 234,0 \text{ МПа} < < R_y \gamma_c / \gamma_n = 285 \cdot 1/0,95 = 300,0 \text{ МПа};$$

б) дотичні напруження в опорному перерізі балки з урахуванням роботи поясів

$$\tau = \frac{Q S_x}{I_x t_w} = \frac{1472,64 \cdot 8718,75 \cdot 10}{1008125 \cdot 1,2} = 106,13 \text{ МПа} < < R_s \gamma_c / \gamma_n = 165,3 \cdot 1/0,95 = 174,0 \text{ МПа};$$

в) дотичні напруження в опорному перерізі балки без урахування роботи поясів

$$\tau = \frac{1,5 Q}{t_w h_w} = \frac{1,5 \cdot 1472,64 \cdot 10}{1,2 \cdot 125} = 147,26 \text{ МПа} < < R_s \gamma_c / \gamma_n = 174,0 \text{ МПа}.$$

Наближено відносний прогин балки за дії вертикального експлуатаційного розрахункового навантаження

$$\frac{f}{l} = \frac{M_e l}{10 E I_x} = \frac{2169 \cdot 10^2 \cdot 1200}{10 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 1008125} = \frac{1}{798} < \frac{f_u}{l} = \frac{1}{500},$$

де  $M_e = V_A l_{ПБ} / 2 = 361,5 \cdot 12 / 2 = 2169$  кНм – максимальний згинаючий момент від дії експлуатаційного розрахункового навантаження у разі розташування на підкрановій балці одного крана (рис. 3.7). Підібраний переріз балки задовольняє вимогам міцності та жорсткості.

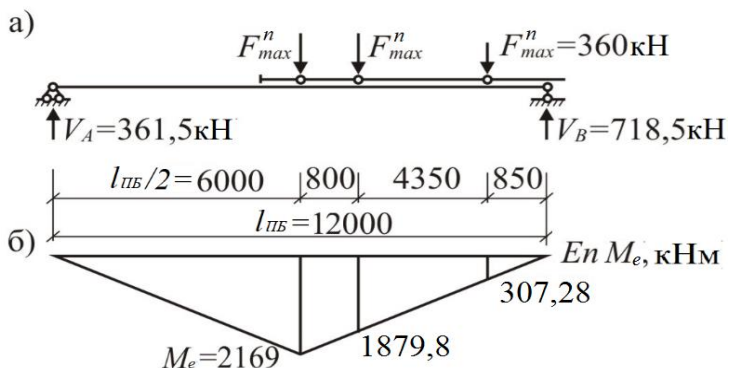


Рис. 3.7. Схема розміщення сил для визначення  $M_e$

а – схема розміщення коліс одного крана на підкрановій балці;  
б – епюра згинаючих моментів

### 3.4. Розрахунок зварних з'єднань стінки з поясами

Верхні пояси шви підкранових балок з умови рівномірності з основним металом виконують з проварюванням на всю товщину стінки і тоді їх розрахунок не потрібний.

У загальному випадку визначають катет безперервного по всій довжині контакту поясу зі стінкою кутового шва (рис. 3.8).



$$k_f = \frac{\sqrt{\left(Q S_f / I_x\right)^2 + \left(\gamma_{f1} F_1 / z\right)^2} \gamma_n}{2 \beta_f R_{wf} \gamma_c} =$$

$$= \frac{\sqrt{\left(1472,64 \cdot 3187,5 / 1008125\right)^2 + \left(1,1 \cdot 396 / 60,26\right)^2} \cdot 0,95}{2 \cdot 1,1 \cdot 18 \cdot 1} = 0,206 \text{ см,}$$

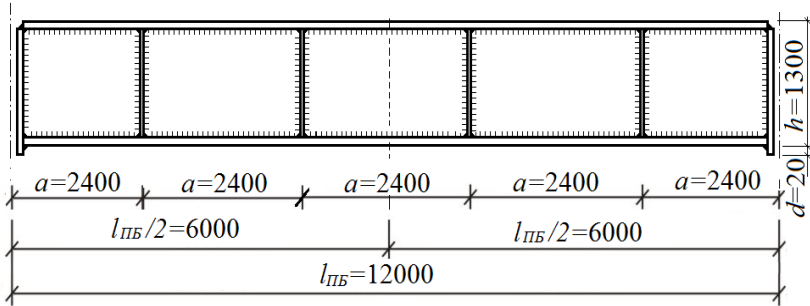


Рис. 3.8. Загальний вигляд підкранової балки

де  $S_f = b_f t_f h_f / 2 = 40 \cdot 2,5 \cdot 63,75 / 2 = 3187,5 \text{ см}^3$  – статичний момент верхнього поясу підкранової балки відносно осі  $x-x$  (див. рис. 3.5);  $\gamma_{f1} = 1,1$  – додатковий коефіцієнт;  $\beta_f = 1,1$  – коефіцієнт для зварювання автоматичним дротом  $d = 3 \dots 5 \text{ мм}$  (табл. 16.2 [3]);  $R_{wf} = 180 \text{ МПа} = 18 \text{ кН/см}^2$  – розрахунковий опір кутового зварного шва зрізу по металу шва;  $\gamma_c = 1$ ;  $\gamma_n = 0,95$ .

Виходячи з отриманого значення  $k_f$  і вимог табл. 16.1 [3], прийнято катет шва  $k_f = 7 \text{ мм}$ .

### 3.5. Забезпечення місцевої стійкості стінки

Для забезпечення місцевої стійкості стінки прийнято двосторонні поперечні ребра жорсткості, що встановлені з однаковим кроком  $a$  по довжині балки (див. рис. 3.8).

Ширина виступаючої частини ребра згідно з п. 9.5.9[3]

$$b_r = h_{ef} / 30 + 25 \text{ мм} = 1250 / 30 + 25 = 66,67 \text{ мм},$$

де  $h_{ef} = h_w = 1250$  мм – висота стінки балки.

Товщина ребра

$$t_r \geq 2b_r \sqrt{R_y / E} = 2 \cdot 100 \cdot \sqrt{285 / 2,06 \cdot 10^5} = 7,44 \text{ мм}.$$

Згідно з сортаментом прийнято  $b_r = 100$  мм і  $t_r = 8$  мм.

Умовна гнучкість стінки балки

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \sqrt{R_y / E} = \frac{1250}{12} \sqrt{285 / 2,06 \cdot 10^5} = 3,87.$$

Оскільки  $\bar{\lambda}_w = 3,87 > 3,2$ , то відстань між поперечними ребрами жорсткості повинна бути  $a \leq 2h_{ef} = 2 \cdot 1250 = 2500$  мм. Прийнято  $a = 2400$  мм (див. рис. 3.8).

Місцеву стійкість стінки балки перевіряють на двох ділянках між ребрами жорсткості: біля опори, де  $\tau = \tau_{max}$ , і посередині прольоту балки, де  $\sigma = \sigma_{max}$ .

Стискаюче нормальне напруження в стінці на рівні поясних швів

$$\sigma = \frac{M h_w}{2 I_x} = \frac{3281,3 \cdot 125 \cdot 10^3}{2 \cdot 1008125} = 203,4 \text{ МПа}.$$

Дотичне напруження

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_w} = \frac{1402,51 \cdot 10}{1,2 \cdot 125} = 93,5 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт

$$\delta = \beta_{r_2} \frac{b_f}{h_{ef}} \left( \frac{t_f}{t_w} \right)^3 = 2,0 \frac{40}{125} \left( \frac{2,5}{1,2} \right)^3 = 5,78,$$

де  $\beta_{r_2} = 2,0$  – для балок кранових колій з непривареними рейками згідно з табл. 9.3 [3].

Залежно від величини коефіцієнта  $\delta = 5,78 \approx 6,0$  з табл. 9.2 [3] для балки зі зварними поясними з'єднаннями коефіцієнт  $c_{cr} = 34,8$ .

З двох розмірів розрахункової ділянки (ділянка розмірами 1250x2400 мм) менша сторона становить  $d_g = h_{ef} = 1250$  мм.

Умовна гнучкість стінки

$$\bar{\lambda}_d = \frac{d_g}{t_w} \sqrt{R_y/E} = \frac{1250}{12} \sqrt{285/2,06 \cdot 10^5} = 3,87.$$

Відношення більшої сторони ділянки стінки до меншої  $\mu_w = a/d_g = 2400/1250 = 1,92$ .

Критичні напруження:

а) нормальні

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} R_y}{\bar{\lambda}_d^2} = \frac{34,8 \cdot 285}{3,7^2} = 724,47 \text{ МПа};$$

б) дотичні

$$\tau_{cr} = 10,3 \left( 1 + \frac{0,76}{\mu_w^2} \right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_d^2} = 10,3 \left( 1 + \frac{0,76}{1,92^2} \right) \cdot \frac{165,3}{3,7^2} = 150,01 \text{ МПа}.$$

Місцеву стійкість стінки балки перевіряють за формулою

$$\sqrt{\left( \frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left( \frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{203,4}{724,47} \right)^2 + \left( \frac{93,5}{150,01} \right)^2} = 0,684 < \gamma_c / \gamma_n = 1/0,95 = 1,05.$$

Місцева стійкість стінки балки забезпечена.

### 3.6. Розрахунок опорної частини балки

Підкранова балка обпирається на уступ колони зверху через торцеве опорне ребро (рис. 3.9).

Опорна реакція балки становить  $F = Q = 1472,64$  кН (див. п. 3.1). Розрахунковий опір зім'яттю торцевої поверхні опорного ребра, виконаного зі сталі класу С295,  $R_p = 391$  МПа для  $R_{ин} = 430$  МПа і товщини листового прокату  $t = 10...20$  мм.

Необхідна площа поперечного перерізу опорного ребра за дії зосередженого навантаження з умови його розрахунку на зім'яття

$$A_r = \frac{F \gamma_n}{R_p \gamma_c} = \frac{1472,64 \cdot 0,95 \cdot 10}{391 \cdot 1} = 35,78 \text{ см.}$$

Товщину опорного ребра прийнято  $t_r = 20$  мм.

Ширина опорного ребра

$$b_r = A_r / t_r = 35,78 / 2 = 17,89 \text{ см.}$$

Остаточно ширина ребра  $b_r = 20$  см.

Стійкість опорної частини балки перевіряють як для умовного стояка таврового перерізу довжиною  $l_{ef} = h_w = 1250$  мм, навантаженого опорною реакцією  $F = Q = 1472,64$  кН (див. рис. 3.9).

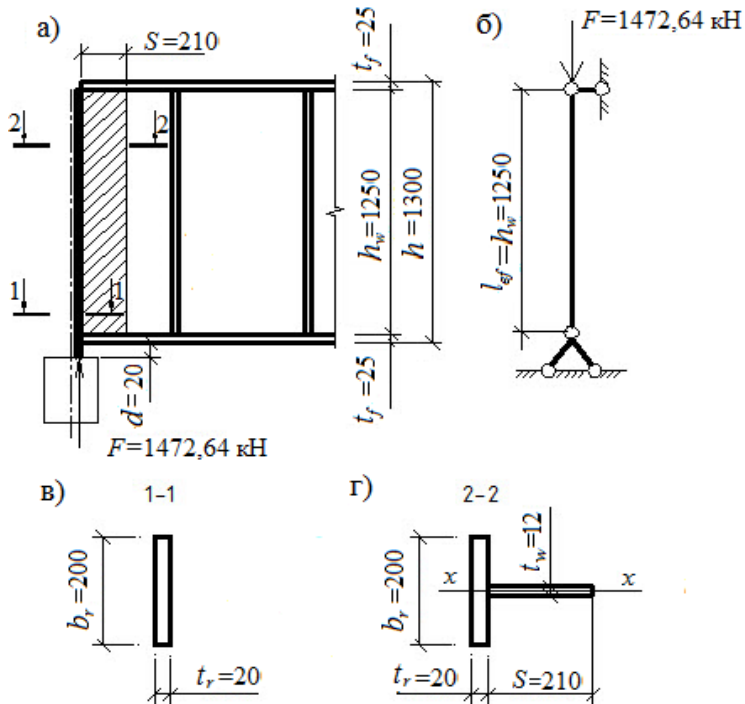


Рис. 3.9. Опорна частина підкранової балки  
 а – загальний вигляд; б – розрахункова схема;  
 в – переріз опорного ребра; г – переріз умовного стояка

Геометричні характеристики таврового перерізу умовного стояка:

а) площа перерізу

$$A = b_r t_r + S t_w = 20 \cdot 2 + 21 \cdot 1,2 = 65,2 \text{ см}^2;$$

б) момент інерції

$$I_x = \frac{t_r b_r^3}{12} + \frac{S t_w^3}{12} = \frac{1,2 \cdot 20^3}{12} + \frac{21 \cdot 1,2^3}{12} = 803 \text{ см}^2,$$

$$\text{де } S = 0,65 t_w \cdot \sqrt{E/R_y} = 0,65 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{2,06 \cdot 10^5 / 285} = 21 \text{ см};$$

в) радіус інерції  $i_x = \sqrt{I_x/A} = \sqrt{803/65,2} = 3,51$  см.

Умовна гнучкість стояка

$$\bar{\lambda} = \lambda_x \sqrt{R_y/E} = 35,61 \cdot \sqrt{285/2,06 \cdot 10^5} = 1,325,$$

де  $\lambda_x = l_{ef}/i_x = h_w/i_x = 125/3,51 = 35,61$ .

Коефіцієнт стійкості з табл. Ж.1 [3]  $\varphi = 0,942$ .

Стійкість умовного стояка таврового поперечного перерізу

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} = \frac{1472,64 \cdot 10}{0,942 \cdot 65,2} = 239,8 \text{ МПа} < R_y \gamma_c / \gamma_n = 300 \text{ МПа.}$$

Виступаючу донизу частину опорного ребра прийнято висотою  $d = 20$  мм (див. рис. 3.9).

### 3.7. Розрахунок балки на витривалість

Розрахунок на витривалість виконують згідно з п. 15 та таблицями додатку Т норм проектування [3] за формулою

$$\sigma = K \sigma_{cm} \leq R_y \gamma_c / \gamma_n.$$

Для визначення напружень  $\sigma_{cm}$  необхідно спочатку обчислити навантаження  $F_m$  і  $H_m$  без урахування коефіцієнтів динамічності:

$$F_m = \psi \gamma_{fm} F_{max}^n \gamma_n = 0,85 \cdot 1,1 \cdot 360 \cdot 0,95 = 319,77 \text{ кН};$$

$$H_m = \psi \gamma_{fm} H_0 \gamma_n = 0,85 \cdot 1,1 \cdot 10 \cdot 0,95 = 8,88 \text{ кН.}$$

Значення згинаючих моментів від дії цих навантажень:

$$M_{max} = F \sum y_{M_i} = 319,77 \cdot 8,481 = 2712 \text{ кНм};$$

$$M_{H_m} = M_{max} \frac{H_0}{F_{max}^n} = 2712 \cdot \frac{10,0}{360} = 75,3 \text{ кНм};$$

$$M = \alpha M_{max} = 1,05 \cdot 2712 = 2847,6 \text{ кН.}$$

Напруження:

$$\sigma_{cm} = \frac{M}{W_x} + \frac{M_{Hm}}{W_y} = \frac{2847,6 \cdot 10^3}{15509,6} + \frac{75,3 \cdot 10^3}{7612,68} = 193,49 \text{ МПа} <$$

$$< R_y \gamma_c / \gamma_n = 285 \cdot 1 / 0,95 = 300,0 \text{ МПа};$$

Згідно з табл. Т.1 [3] для балок підкранових колій машинобудівних заводів (див. завдання) прийнято такі параметри типових режимів навантаження:  $\rho = 0$ ;  $K = 0,2$ . Конструкція підкранової балки згідно з табл. Т.3 [3] належить до групи елементів 2. Для неї згідно з табл. Т.4[3] значення параметрів для визначення межі витривалості:  $\sigma_{-1} = 110$  МПа;  $d_n = 0,95$ . Згідно з табл. Т.5 [3] незалежно від величини залишкових напружень  $\sigma_{зали}$  середнє квадратичне відхилення межі витривалості для групи елементів 2  $S_{\sigma_{-1}} = 28$ .

Значення межі витривалості

$$R_v = \frac{2\sigma_{-1}}{2 - d_n(1 + \rho)} \left( 1 - 1,63 \frac{S_{\sigma_{-1}}}{\sigma_{-1}} \right) =$$

$$= \frac{2 \cdot 110}{2 - 0,95(1 + 0)} \left( 1 - 1,63 \frac{28}{110} \right) = 122,57 \text{ МПа.}$$

Напруження в перерізі балки

$$\sigma = K \sigma_{cm} = 0,2 \cdot 193,49 = 38,7 \text{ МПа} <$$

$$< R_y \gamma_c / \gamma_n = 122,57 \cdot 1 / 0,95 = 129 \text{ МПа.}$$

Умова витривалості виконується.

## Література

1. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд [На заміну ДБН В. В.1.2-14-2009; чинний від 2019-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 29 с. (Державні будівельні норми України).
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [На заміну СНиП 2.01.07-85; чинний від 2007-10-01]. Київ : Мінрегіон України, 2006. 75 с. (Державні будівельні норми України).
3. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [Чинний від 2015-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 198 с. (Державні будівельні норми України).
4. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування [На заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85; чинний від 2007-01-01]. Київ : Мінбуд України, 2006. 10 с. (Національний стандарт України).
5. Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л. І. Металеві конструкції : підручник. 2-е вид., випр. і доп. Львів : Світ, 2002. 312 с.
6. Металеві конструкції. Загальний курс : підручник / О. О. Нілов та ін. 2-е вид., перероб. і доп. Київ : Сталь, 2010. 869 с.
7. Романюк В. В. Металеві конструкції. Розрахунок елементів і з'єднань : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2014. 449 с.
8. Романюк В. В., Супрунюк В. В. Металеві конструкції. Каркаси одноповерхових промислових будівель : навч. посіб. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2021. 501 с.
9. Романюк В. В. Робочі майданчики виробничих будівель : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2007. 281 с.