

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО РОЗРАХУНКУ ГОЛОВНОЇ БАЛКИ МОСТОВОГО КРАНА  
КОРОБЧАСТОГО ПЕРЕРІЗУ**

**З КУРСУ**

**«БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА»**

для студентів спеціальності 6.05050308

«Підйомно-транспортні, дорожні,  
будівельні, меліоративні машини та обладнання»

Затвержено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 2 від 12.12.13

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2014

Методичні вказівки до розрахунку головної балки мостового крана коробчастого перерізу з курсу «Будівельна механіка» для студентів спеціальності 6.05050308 «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини та обладнання» / уклад. Григоров О.В., Петренко Н.О. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – 28 с.

Укладачі: О.В. Григоров  
Н.О. Петренко

Рецензент *А.С. Рахманій*

Кафедра підйомно-транспортних машин і обладнання

## **Вступ**

Дані методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 6.05050308 «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини та обладнання». Вони допоможуть студентам оволодіти знаннями з курсу «Будівельна механіка». У цих вказівках надана методика розрахунків головної балки мостового крана коробчастого перерізу на міцність, жорсткість та стійкість, а також наведені рекомендації щодо конструювання головної балки. Дану методику студенти використовують при виконанні курсового проекту з курсу «Будівельна механіка» та бакалаврського проекту.

Метою вказівок є надання студентам знань щодо розрахунку металоконструкцій мостових кранів.

### **1. Вихідні дані**

Міст крана складається з двох головних балок *1* (рис. 1), двох кінцевих балок *5*, площадки *6* для обслуговування механізму пересування, площадки *3* для обслуговування струмопідводу до вантажного візка *4*. На головних балках укладаються підвізкові рейки *2* (див. табл. 1)

### **2. Навантаження і їх сполучення**

Розрахунок балки проводиться за методом допустимих напружень. Згідно з цим методом навантаження поділяються на основні і додаткові.

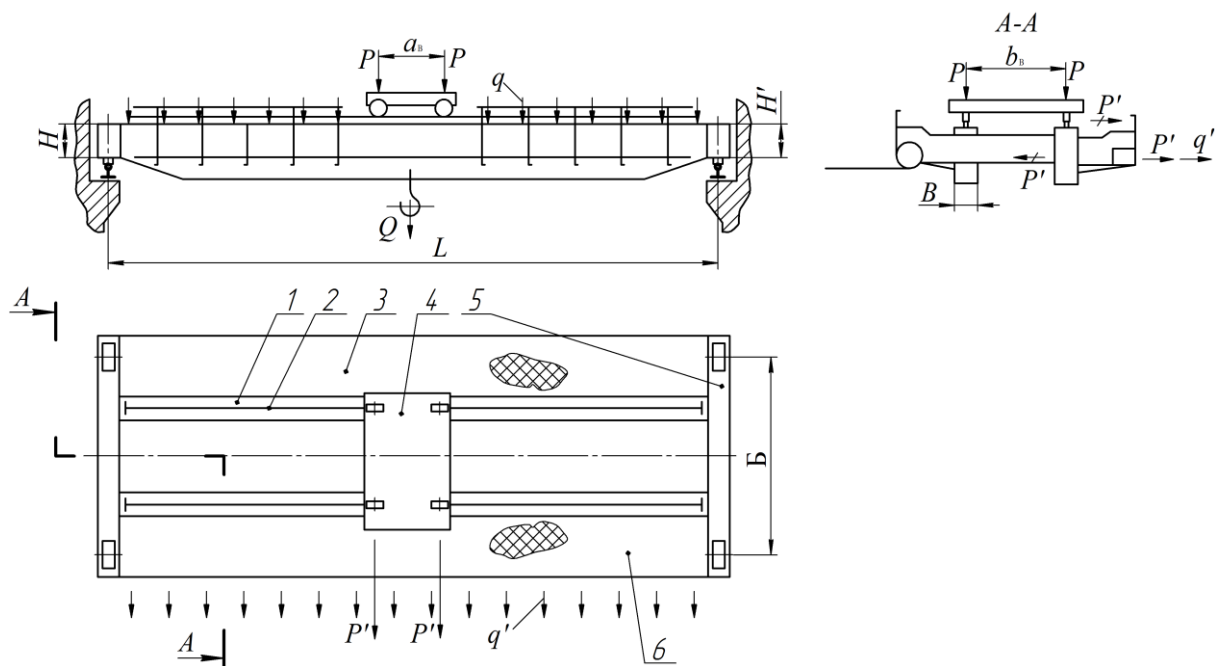


Рисунок 1 – Схема мостового крана

До основних навантажень відносять постійні (власна вага балки, вага площадки, механізму пересування, кабіни та ін.). Додаткові навантаження – це динамічні навантаження, що виникають при пуску гальмуванні моста.

Розрахунок балки проводиться для двох сполучень навантажень.

Сполучення I (кран нерухомий, різкий підйом вантажу) включає:

$$G_B + G_B + \psi \cdot Q,$$

Сполучення II (кран пересувається, різке гальмування):

$$K(G_B + G_B + Q) + 2(q' + P'),$$

$G_B$  – вага балки і площадки обслуговування;  $G_B$  – вага вантажного візка;  $\psi$  – коефіцієнт, який враховує поштовхи, що виникають через нерівність шляху при пересуванні крана;  $q'$ ,  $P'$  – відповідно динамічні навантаження від маси балки і маси візка з вантажем.

Таблиця 1 – Вихідні дані

Номер завдання	Вантажо-підйомність $Q$ , кН	Прогон $L$ , м	Швидкість пересування крана $v_1$ , м/хв	Час гальмування крана $t$ , с	База візка $a_T$ , м	Коля візка $b_T$ , м	Вага візка $G_T$ , кН	Режим роботи	Розрахункова температура $^{\circ}\text{C}$
1	50	25,5	50	1,5	1,0	1,4	16	3К	$\pm 30$
2	50	28,5	80	2,0	1,2	1,4	17	4К	$+20 \div -60$
3	50	31,5	110	2,5	1,4	1,8	23	6К	$\pm 40$
4	100	26,0	50	1,6	1,4	2,0	24	3К	$\pm 30$
5	100	32,0	80	2,2	1,4	2,0	24	5К	$+20;$ $-60$
6	100	29,0	120	2,8	1,8	2,0	41	7К	$\pm 40$
7	150	26,0	50	1,8	1,7	2,2	44	3К	$\pm 40$
8	150	32,0	70	2,3	1,7	2,2	46	4К	$\pm 20$
9	150	29,0	120	3,0	2,0	2,2	53	6К	$\pm 60$
10	200	28,5	80	2,4	2,0	2,3	76	4К	$\pm 30$
11	200	25,5	120	3,0	2,0	2,3	83	6К	$\pm 40$
12	300	28,5	80	2,5	2,2	2,5	100	5К	$\pm 30$
13	300	31,5	120	3,0	2,2	2,5	120	7К	$\pm 40$
14	50	22,5	60	2,0	1,4	1,6	16	5К	$\pm 40$
15	63	22,5	70	2,0	1,4	1,6	17	3К	$\pm 20$
16	63	25,5	70	2,5	1,4	1,6	19	4К	$\pm 40$
17	63	28,5	60	2,0	1,5	1,7	30	6К	$\pm 20$
18	63	31,5	90	2,5	1,5	1,7	30	7К	$\pm 20$
19	160	22,5	80	2,5	1,6	1,7	60	6К	$\pm 40$

Продовження таблиці 1

Номер завдання	Вантажо-підйомність $Q$ , кН	Прогон $L$ , м	Швидкість пересування крана $v_1$ , м/хв	Час гальмування крана $t$ , с	База візка $a_T$ , м	Коля візка $b_T$ , м	Вага візка $G_T$ , кН	Режим роботи	Розрахункова температура $^{\circ}C$
20	50	25,5	50	1,5	1,0	1,4	16	3К	$\pm 30$
21	50	28,5	80	2,0	1,2	1,4	17	4К	$+20 \div -60$
22	50	31,5	110	2,5	1,4	1,8	23	6К	$\pm 40$
23	100	26,0	50	1,6	1,4	2,0	24	3К	$\pm 30$
24	100	32,0	80	2,2	1,4	2,0	24	5К	$+20;$ $-60$
25	100	29,0	120	2,8	1,8	2,0	41	7К	$\pm 40$
26	150	26,0	50	1,8	1,7	2,2	44	3К	$\pm 40$
27	150	32,0	70	2,3	1,7	2,2	46	4К	$\pm 20$
28	150	29,0	120	3,0	2,0	2,2	53	6К	$\pm 60$
29	200	28,5	80	2,4	2,0	2,3	76	4К	$\pm 30$
30	200	25,5	120	3,0	2,0	2,3	83	6К	$\pm 40$
31	300	28,5	80	2,5	2,2	2,5	100	5К	$\pm 30$
32	300	31,5	120	3,0	2,2	2,5	120	7К	$\pm 40$
33	50	22,5	60	2,0	1,4	1,6	16	5К	$\pm 40$
34	63	22,5	70	2,0	1,4	1,6	17	3К	$\pm 20$
35	63	25,5	70	2,5	1,4	1,6	19	4К	$\pm 40$
36	63	28,5	60	2,0	1,5	1,7	30	6К	$\pm 20$
37	63	31,5	90	2,5	1,5	1,7	30	7К	$\pm 20$
38	160	22,5	80	2,5	1,6	1,7	60	6К	$\pm 40$
39	160	25,5	90	2,8	1,6	1,7	50	4К	$+20 \div -60$

Визначення коефіцієнта  $\psi$  пов'язано з параметрами механізму підйому. Орієнтовно значення  $\psi$  можна призначити залежно від режиму роботи: при легкому – 1,2; при середньому – 1,3; при важкому – 1,4.

Коефіцієнт  $K$  вибирається залежно від швидкості пересування крана  $v$ : при  $v$  до 60 м/хв  $K = 1$ ; при  $v = 60 \dots 90$  м/хв  $K = 1,1$ ; при  $v = 90 \dots 180$  м/хв  $K = 1,2$ .

### 3. Визначення навантажень і місць їх прикладання

Постійні навантаження від власної ваги балки і площадки обслуговування приймають рівномірно розподіленими по довжині балки:

$$q = \frac{G_B}{L}. \quad (1)$$

Значення  $G_B$  приймається за графіком (рис. 2) залежно від прогону і вантажопідйомності.

Рухоме навантаження  $P$  визначається з умови, що вага візка з вантажем рівномірно розподілена на всі чотири ходових колеса:

$$P = \frac{G_T + Q}{4}. \quad (2)$$

Динамічні горизонтальні навантаження від маси балки і площадки розподілені рівномірно по прогону і прикладені до центра ваги перетину балки:

$$q' = \frac{q \cdot v}{g \cdot 60r}, \quad (3)$$

де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення сили ваги.

Швидкість пересування  $v$  і час гальмування встановлено відповідно до завдання.

Динамічні горизонтальні навантаження  $P'$  від маси візка з вантажем передаються на головну балку в місці контакту ходового колеса з головкою рейки (рис. 1):

$$P' = \frac{P \cdot v}{60 \cdot g \cdot t} \quad (4)$$

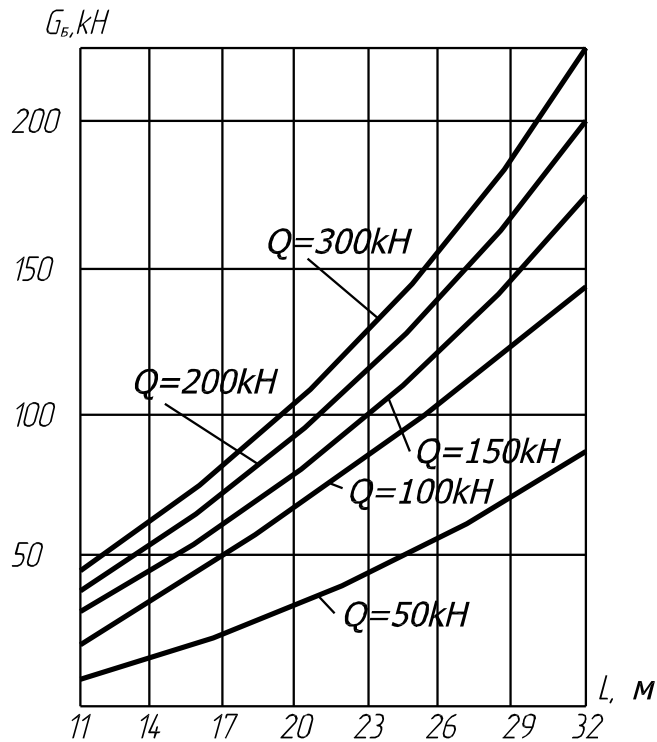


Рисунок 2 – Вага балки залежно від вантажопідійомності та прогону

Сили  $P'$  можна перенести до центра ваги перетину балки (рис. 1); тоді сили  $P'$ , перекреслені один раз, створюють додатковий обертовий момент, який необхідно враховувати при розрахунку балки.

#### 4. Вибір марки сталі і допустимих напружень

Для виготовлення головних балок застосовуються маловуглецеві сталі звичайної якості за ГОСТ 380–71 і низьколеговані сталі за ГОСТ 19281–73 і ГОСТ 19282–73.

Застосування тієї чи іншої марки сталі обумовлено головним чином температурою зовнішнього повітря, при якій експлуатується кран.



При температурі  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  або вище застосовуються сталі звичайної якості марок В Ст3 пс 6, В Ст3 сп 5 та ін.

При температурі  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  – низьколеговані сталі марок 09Г2, 14Г2, 10Г2С та ін.

При температурі  $-40$  до  $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$  – сталі марок 09Г2С, 10ХСНД та ін.

При виборі марки сталі варто пам'ятати, що низькі температури збільшують крихкість сталі. При температурах нижче  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  пластичність сталі починає помітно падати.

При температурі нижче  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для сталі 3) і  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для низьколегованої сталі) сталь стає крихкою.

Застосування низьколегованих сталей замість маловуглецевих звичайної якості повинно бути економічно виправданим, тому що вартість сталі, наприклад, марки 09Г2С більша вартості сталі марки Ст3, а вартість сталей марок 15ХСНД і 10ХСНД – ще вище.

Напруження, що допускаються, для першого і другого сполучень навантажень:

$$[\sigma_1] = \frac{\sigma_T}{n_1};$$

$$[\sigma_2] = \frac{\sigma_T}{n_2},$$

де  $\sigma_T$  – межа текучості, для деяких марок сталей наведена у табл. 2;  $n_1, n_2$  – коефіцієнти запасу міцності, вибираються залежно від режиму роботи: при легкому і середньому режимі (1К÷5К)  $n_1 = 1,5, n_2 = 1,33$ ; при важкому режимі (6К÷8К)  $n_1 = 1,7, n_2 = 1,4$ .

Таблиця 2 – Межа текучості для деяких марок сталей

Марка сталі	В Ст3 пс В Ст3 сп	09Г2	09Г2С	15ХСНД	10ХСНД
МПа	250	310	330	350	400
кН/см <sup>2</sup>	25	31	33	35	40

## 5. Вибір поперечного перерізу балки

Головна балка (рис. 3) містить у собі два вертикальних листи 1 (стінки), верхній поясний лист 2 і нижній поясний лист 6.

Для додання просторової жорсткості у середину балки вварюються великі діафрагми 5; для місцевої стійкості верхнього пояса приварюються малі діафрагми 4, а для стійкості стінок – поздовжні ребра жорсткості 3.

З умови міцності висота балки визначається за формулою

$$H = \sqrt{\frac{3W_x}{2\delta_c}}, \quad (5)$$

де  $W_x$  – момент опору перетину балки щодо нейтральної осі  $x-x$ ;  $\delta_c$  – товщина стінки.

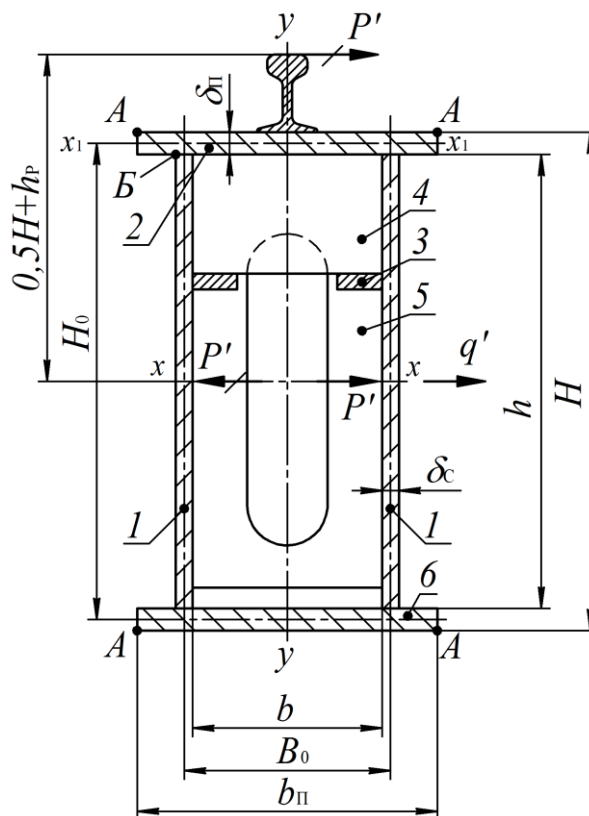


Рисунок 3 – Переріз головної балки

Товщину стінки балки невеликих прогонів (до 23...25 м) і вантажопідйомності 50...150 кН можна прийняти рівною 5 мм; при вантажопідйомності 200...300 кН і великих прогонів – 6...7 мм.

Осьовий момент опору знаходиться згідно з виразом

$$W_X = \frac{M_{q_{\max}} + M_{P_{\max}}}{[\sigma_1]}, \quad (6)$$

де  $M_{q_{\max}}$ ,  $M_{P_{\max}}$  – відповідно максимальні згинальні моменти від постійних і рухомих навантажень.

Значення  $M_{q_{\max}}$  визначається за формулою

$$M_{q_{\max}} = \frac{q \cdot L^2}{8}. \quad (7)$$

Рухоме навантаження визначається з урахуванням коефіцієнта  $\psi$ :

$$P_\psi = \frac{G_B}{4} + \frac{Q}{4} \cdot \psi. \quad (8)$$

Максимальний згинальний момент від цього навантаження буде під лівим колесом, що знаходиться від лівої опори на відстані  $0,5L - 0,25a_B$  (рис. 4.):

$$M_{P_{\max}} = \frac{P_\psi}{2L} (L - 0,5a_B)^2. \quad (9)$$

Ширина балки  $B_0$  може бути прийнята

$$B_0 \geq \left( \frac{1}{3} \div \frac{1}{3,5} \right) \cdot H. \quad (10)$$

Вона повинна бути не менше 300 мм (для зручності зварювання внутрішніх діафрагм).

Товщина поясних листів  $\delta_n$  вибирається з умови місцевої стійкості (більше значення застосовується для низьколегованої сталі, менше – для вуглецевої):

$$\delta_n \geq \left( \frac{1}{50} \div \frac{1}{60} \right) \cdot B_0. \quad (11)$$

Після вибору геометричних розмірів поперечного перерізу балки визначається фактичне значення  $W_x$ :

$$W_x = \frac{2 \cdot I_x}{H}, \quad (12)$$

де  $I_x$  – момент інерції поперечного перерізу балки відносно нейтральної осі  $x-x$ .

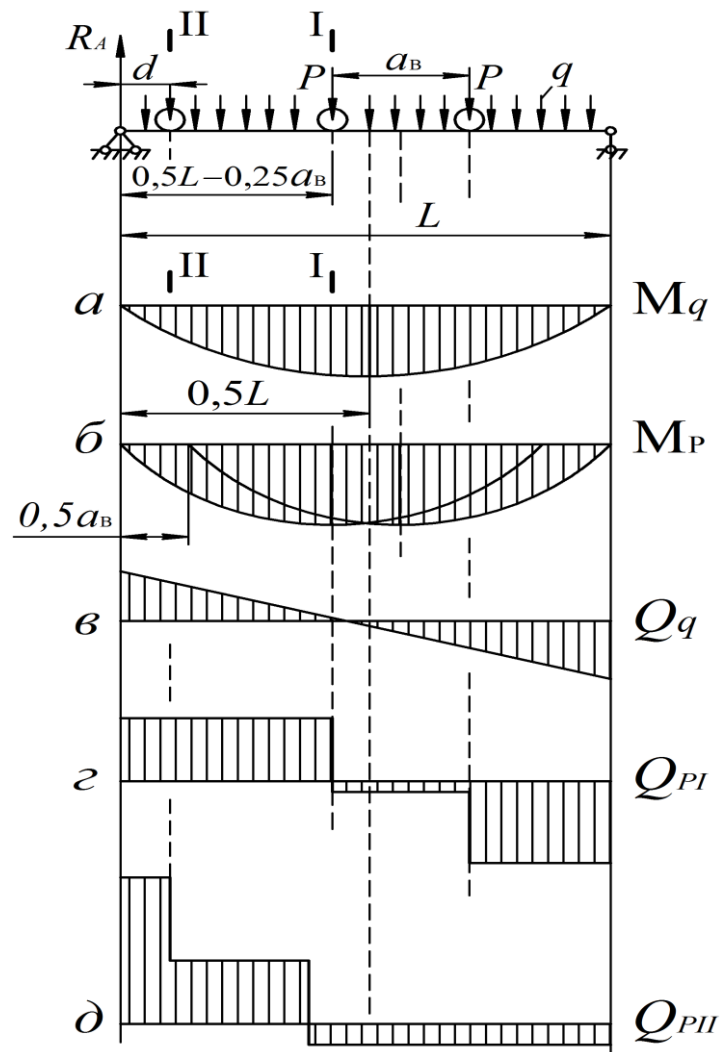


Рисунок 4 – Епюри згинального моменту й поперечних сил головної балки для першого та другого перетину

При симетричному перетині, коли товщина верхнього і нижнього поясу однакова,

$$I_x = 2I_{\Pi} + 2F_{\Pi} \left( \frac{h + \delta_{\Pi}}{2} \right)^2 + 2I_c, \quad (13)$$

де  $I_{\Pi}$  – момент інерції пояса відносно осі  $x_1-x_1$ :

$$I_{\Pi} = \frac{b_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi}^3}{12};$$

$F_{\Pi}$  – площа поясу:

$$F_{\Pi} = b_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi};$$

$I_c$  – момент інерції стінки відносно осі  $x-x$ :

$$I_c = \frac{\delta_c \cdot h^3}{12};$$

$h$  і  $b_{\Pi}$  визначаються за рис. 3:  $b_{\Pi} = B + 2 \cdot 15$ , де 15 – відстань, необхідна для зручності зварювання, мм.

Напруження в крайніх волокнах на рівні точки А (рис. 3) становитиме:

$$\sigma_1 = \frac{M_{q\max} + M_{P\max}}{W_x} \leq [\sigma_1]. \quad (14)$$

Перевірка перетину на дію основних і додаткових навантажень (друге сполучення навантажень) виконується за формулою

$$\sigma_2 = \frac{M_q + M_P}{W_x} + \frac{M'_q + M'_P}{W_y} \leq [\sigma_2], \quad (15)$$

де  $M_q$  – згинальний момент від дії постійних навантажень:

$$M_q = K \cdot q \cdot \frac{L^2}{8}.$$

$M_p$  – згинальний момент від рухомого навантаження:

$$M_p = K \cdot \frac{P}{2L} \cdot (L - 0,5a_B)^2,$$

де  $M'_q, M'_p$  – згинальні моменти від динамічних навантажень  $q'$  і  $p'$ , що діють на балку в горизонтальній площині:

$$W_y = \frac{2I_y}{b_{II}},$$

де  $W_y$  – момент опору перетину балки щодо осі  $y$ – $y$ ;  $I_y$  – момент інерції поперечного перерізу балки щодо нейтральної осі  $y$ – $y$ , визначається аналогічно  $I_x$ :

$$I_y = 2I_c + 2F_c \cdot \left(\frac{B_0}{2}\right)^2 + 2I_{II}; I_c = \frac{h \cdot \delta_c^3}{12}; I_{II} = \frac{b_{II}^3 \cdot \delta_{II}}{12}; F_c = \delta_c \cdot h.$$

У горизонтальній площині (рис. 1) міст являє собою статично невизначену раму. У практичних розрахунках вплив закладення головних балок у кінцевих можна врахувати зменшенням для них на 20 % згинального моменту, розглядаючи при цьому балку як шарнірно обперту на двох опорах.

Для другого сполучення навантажень гальмування приймається різким і значення прискорення вважаємо вдвічі більшим середнього. Коефіцієнт поштовхів для горизонтальних навантажень не враховується, тобто  $K = 1$ :

$$M'_q = 0,8 \cdot 2 \frac{q' \cdot L^2}{8} = 0,2 \cdot q' \cdot L^2, \quad (16)$$

$$M'_p = 0,8 \cdot 2 \cdot \frac{P' \cdot (L - 0,5a_B)^2}{2L} = 0,8 \cdot \frac{P'}{L} \cdot (L - 0,5a_B)^2. \quad (17)$$

Дотичні напруження в перетині I–I у місці переходу стінки в пояс (точка Б, рис. 3)

$$\tau = \tau_1 + \tau_2, \quad (18)$$

де  $\tau_1$  – дотичне напруження від поперечної сили  $Q_P$  (рис. 4, г);  $\tau_2$  – дотичне напруження від крутіння балки.

Напруження  $\tau_1$  визначається за формулою

$$\tau_1 = \frac{Q_P \cdot S_{\Pi}}{2I_x \cdot \delta_C}, \quad (19)$$

де  $Q_P$  – поперечна сила в перетині I–I балки від рухомого навантаження, коли ліве колесо візка стоїть над цим перетином:

$$Q_P = R_A = P \left( 1 - \frac{a_B}{2L} \right);$$

$S_{\Pi}$  – статичний момент поясу щодо осі  $x$ – $x$ :

$$S_{\Pi} = b_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi} \cdot \left( \frac{h + \delta_{\Pi}}{2} \right).$$

Напруження  $\tau_2$  визначається за формулою

$$\tau_2 = \frac{M_K}{2B_0 H_0 \delta_C}, \quad (20)$$

де  $M_K$  – крутний момент від сили  $P'$ :

$$M_K = P'(0,5H + h_p),$$

де  $h_p$  – висота підвізкової рейки;  $B_0$ ,  $H_0$  – ширина і висота балки по осях, що проходять через середини листів стінок і поясів (рис. 3).

Як підвізкова рейка до кранів невеликої вантажопідйомності застосовані рейки залізничні для доріг вузької колії, основні розміри яких наведені у табл. 3 та 4.

Для кранів вантажопідйомністю  $Q = 50$  кН застосовують рейки типу Р 8; для  $Q = 100$  кН – Р 11; для  $Q = 150$  кН – Р 15; для  $Q = 200$  кН – Р 18; для  $Q = 300$  кН – Р 24.

Таблиця 3 – Основні розміри рейок

Тип	Висота, мм	Ширина головки, мм	Ширина підошви, мм
Р 8	65	27	54
Р 11	80,5	32	66
Р 15	91,5	37	76
Р 18	90	40	80
Р 24	107	51	92
Р 38	135	68	114

Наведені напруження будуть визначені з формули

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma_2], \quad (21)$$

де  $\sigma$  – нормальне напруження в місці переходу стінки в пояс, визначається за формулою

$$\sigma = \frac{M_q + M_p}{W_x} + \frac{M'_q + M'_p}{W_y},$$

з підстановкою:

$$W_x = \frac{2I_x}{h}, \quad W_y = \frac{2I_y}{B_0 + \delta_c}.$$

Крім перетину I–I, балку необхідно перевірити на міцність в опорному перетині, де головна балка стикається з кінцевою; висота балки тут  $H'$ :

$$H' = 0,6H.$$



Ліве колесо візка знаходиться на відстані  $d = H$  від лівої опори (перетин II–II на рис. 4). Положення візка обрано не випадково. Далі при розгляді стійкості пластини опорного відсіку це положення нами буде використано.

Епюри поперечних сил від рухомого навантаження, коли ліве колесо візка знаходиться в перетині II–II, показані на рис. 4,  $\delta$ .

Опорний перетин перевіряється за найбільшими дотичними напруженнями, оскільки нормальне напруження тут близьке до нуля.

$$\tau = \frac{(Q_p + Q_q) \cdot S}{2I \cdot \delta_c} \leq [\tau], \quad (22)$$

де  $Q_p$  – поперечна сила в опорному перетині від рухомого навантаження:

$$Q_p = 2P_\psi \cdot \left(1 - \frac{H + a_B}{L}\right);$$

$Q_q$  – поперечна сила в опорному перетині від постійного навантаження:

$$Q_q = \frac{q \cdot L}{2} - q \cdot H;$$

$S$  – статичний момент опорного напівперетину щодо осі  $x-x$ :

$$S = b_{II} \cdot \delta_{II} \cdot \left(\frac{H' - \delta_{II}}{2}\right) + \delta_c \cdot \left(\frac{H'}{2} - \delta_{II}\right)^2;$$

$I$  – момент інерції опорного перетину щодо осі  $x-x$ :

$$I = 2b_{II} \cdot \delta_{II} \left(\frac{H' - \delta_{II}}{2}\right)^2 + \delta_c \frac{(H' - 2\delta_{II})^3}{6}.$$

Дотичне напруження, що допускається:  $[\tau] = 0,6 [\sigma_1]$ .

## 6. Перевірка балки на статичну і динамічну жорсткість

Перевірка балки на статичну жорсткість полягає у визначенні прогину балки від статично прикладеного рухомого навантаження. Максимальний прогин балки при однакових тисках визначається за формулою

$$f_{\max} = \frac{2P \cdot L^3}{48E \cdot I_x} \left( 1 - \frac{a_T^2}{2L^2} \cdot \left( 3 - \frac{a_T}{L} \right) \right) \leq [f], \quad (23)$$

де  $E = 2,1 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  – модуль пружності при розтяганні сталі;  $[f]$  – допустимий прогин балки:

$$[f] = \frac{1}{700} \cdot L.$$

Якщо перетин балки задовольняє умову (23), то на цьому закінчується перевірка балки на статичну жорсткість, а в протилежному випадку необхідно змінювати геометричні розміри балки.

Перевірка на динамічну жорсткість полягає у визначенні часу загасання поперечних коливань балки, що виникають при підйомі чи опусканні вантажу. Час загасання коливань балки визначається з умови, що наприкінці її амплітуда складе близько 5 % від початкового значення:

$$t_3 = 540 \cdot T^3, \quad (24)$$

де  $T$  – період власних коливань балки:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{M}{C}}, \quad (25)$$

де  $M$  – приведена до середини балки її маса і маса візка без вантажу:

$$M = \frac{17}{35} \cdot M_B + 0,5M_B;$$

$C$  – коефіцієнт жорсткості балки у вертикальній площині:

$$C = \frac{48E \cdot I_x}{L^3}.$$

Отриманий час загасання коливань не повинен перевищувати допустимого  $[t_3] = 12 \dots 15$  с.

## 7. Перевірка балки на стійкість

Елементи балки коробчастого перетину (поясу, стінки) необхідно перевіряти на загальну стійкість. Товщина поясу вже обрана з умови місцевої стійкості. У цьому розділі перевіряються на стійкість тільки стінки балки. Вони можуть зміцнюватися лише основними поперечними ребрами жорсткості (діафрагмами) 3 (рис. 3) при відношенні  $80 \leq h/\delta_C \leq 160$  для балок зі сталі Ст3 і  $65 \leq h/\delta_C \leq 130$  для балок з низьколегованих сталей.

Стінки повинні зміцнюватися одночасно поперечними й одним поздовжнім ребром жорсткості 5 при відношенні  $160 \leq h/\delta_C \leq 265$  для балок зі сталі Ст3 і  $130 \leq h/\delta_C \leq 225$  – для балок з низьколегованих сталей.

Поздовжні ребра жорсткості ставляться на відстані від крайньої стиснутої крайки поясу: при одному ребрі –  $(0,2 \dots 0,25)h$ ; при двох ребрах перше ребро –  $(0,15 \dots 0,2)h$ , друге ребро –  $(0,32 \dots 0,4)h$ .

Відстань  $a_1$  між короткими діафрагмами 4 вибирається так, щоб рейка цілком сприймала тиск ходових коліс:

$$a_1 \leq \frac{6W_p \cdot [\sigma_p]}{P}, \quad (26)$$

де  $W_p$  – момент опору рейки;  $[\sigma_p]$  – напруження, що допускається, для рейки;  $[\sigma_p] = 17 \text{ кН/см}^2 = 170 \text{ МПа}$ .

Для відсіків, що примикають до кінцевих балок, відстань  $a$  між основними діафрагмами приймається рівною  $H$ .

У наступних відсіках ця відстань збільшується й у середині прогону може призначатися до  $2H$ , але не більше 3 м.

Таблиця 4 – Основні характеристики рейок

Тип	Площа перетину, $\text{см}^2$	Вісь $x-x$			Маса, $\text{кг/м}$
		Відстань до центра тяжіння від головки рейки, $\text{см}$	Момент інерції, $\text{см}^4$	Момент опору для верхнього волокна, $\text{см}^3$	
Р 8	10,76	3,61	59	16,4	8,42
Р 11	14,31	4,09	125	30,5	11,20
Р 15	19,16	4,65	222	47,7	15,00
Р 18	23,07	4,71	240	51,0	18,06
Р 24	32,70	5,34	468	87,6	25,60
Р 38	49,063	6,719	1223	181,95	38,42

Стійкість стінок перевіряється у двох перетинах балки. Перший перетин знаходиться над лівим колесом візка, що знаходиться від лівої опори на відстані  $0,5L - 0,25a_b$  (рис. 4); другий – в опорному відсіку, під лівим колесом, що знаходиться від опори на відстані  $d = H$ .

Перетин I–I. Розглянемо відсік балки (рис. 5, *a*), де стінка підкріплена тільки основними діафрагмами (малі діафрагми при розрахунку на стійкість не враховуються). У цьому відсіку стінка являє пластинку довжиною  $a$ , висотою  $h$  і товщиною  $\delta_c$ , що затиснена між поясами і вільно обперта на діафрагмах. У цьому перетині вплив дотичних напружень невеликий; стінка тут піддається головним чином впливу нормальних напружень, закон розподілу яких показаний на рис. 5, *a*. Під дією поздовжніх сил пластинка випинається і при визначених (критичних) напругах може втратити стійкість, що спричиняє втрату несучої здатності всієї балки.

Для балок коробчастого перетину з рейкою, покладеною посередині поясу, місцеве напруження стиснення у відсіку приймається  $\sigma_M = 0$ . Для розглянутої пластинки критичне нормальне напруження,  $\text{кН/см}^2$ :

$$\sigma_{\text{кр}} = K_0 \cdot \left( \frac{100\delta_c}{h} \right)^2, \quad (27)$$

де  $K_0$  – коефіцієнт, що залежить від ступеня затискування пластини в стиснутому поясі.

$$\gamma = c \cdot \frac{b_{\text{II}}}{h} \cdot \left( \frac{\delta_{\text{II}}}{\delta_c} \right)^3, \quad (28)$$

де  $c = 2$  у випадку, коли рейка не приварена до поясу балки.

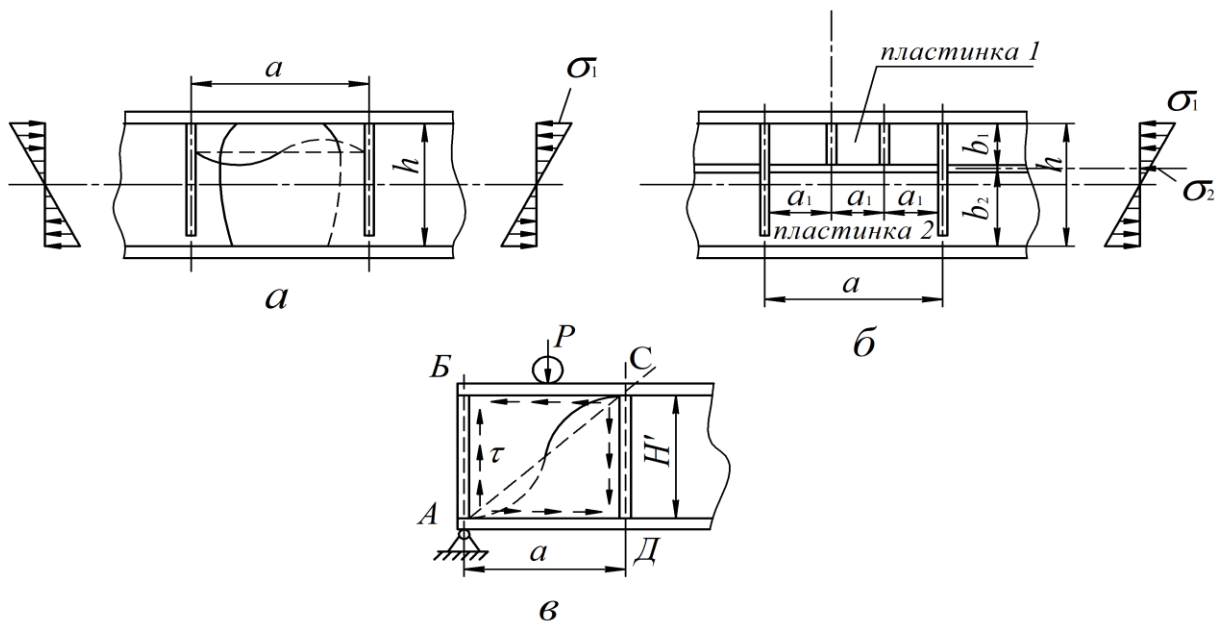


Рисунок 5 – Фрагмент головної балки

Значення  $K_0$  залежно від  $\gamma$  наведені в табл. 5.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта  $K_0$

$\gamma$	0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	30,0
$K_0$	63	66,2	70	72,7	73,2	73,7	74,6

Критичні напруження (27) порівнюємо з граничним стискувальним напруженням:

$$\sigma_1 = \frac{M_{P_{\max}} + M_{q_{\max}}}{2I_x} \cdot h . \quad (29)$$

Пластинка буде стійка, якщо запас місцевої стійкості

$$n_0 = \frac{\sigma_{\text{кр}}}{\sigma_1} \geq 0,85n_1 , \quad (30)$$

де  $n_1$  – запас за міцністю.

У стінці балки симетричного перетину, укріпленої, крім поперечних діафрагм, одним поздовжнім ребром жорсткості, розташованим на відстані  $b_1$  від розрахункової (стиснутої) границі відсіку (рис. 5, б), обидві пластинки, на яких це ребро розділяє відсік, перевіряються окремо.

Критичні напруження в  $\text{кН/см}^2$  для першої пластинки перевіряють за формулою

$$\sigma_{\text{кр1}} = \frac{10}{1 - \frac{b_1}{h}} \cdot \left( \frac{100\delta_c}{b_1} \right)^2 . \quad (31)$$

Друга пластинка, розташована між поздовжнім ребром і розтягнутим поясом, перевіряється за формулою

$$\sigma_{\text{кр2}} = \frac{11,4}{\left(0,5 - \frac{b_1}{h}\right)^2} \left( \frac{100\delta_c}{h} \right)^2 . \quad (32)$$

Критичні напруження  $\sigma_{\text{кр1}}$  і  $\sigma_{\text{кр2}}$  порівнюємо відповідно з  $\sigma_1$  (29) і  $\sigma_2$  за умовою стійкості (30):

$$\sigma_2 = \sigma_1 \cdot \left( 1 - 2 \frac{b_1}{h} \right) .$$

Перетин II–II. У цьому перетині на втрату стійкості стінки переважно впливають дотичні напруження, оскільки нормальні напруження тут будуть невеликі і їх можна не враховувати.

Опорний відсік укріплений тільки основними поперечними ребрами жорсткості (рис. 5, в). Прямокутна пластинка довжиною  $a$ , висотою  $H'$  і товщиною  $\delta_c$ , затиснена в поясах і вільно обперта на діафрагмах, знаходиться під дією рівномірно розподілених між краями дотичних сил  $\tau \cdot \delta_c$ .

Під впливом цих сил пластинка розтягується в напрямку діагоналі БД і стискується в напрямку діагоналі АС. Внаслідок цього можливе випинання в напрямку діагоналі АС.

Критичне дотичне напруження в стінці (кН/см<sup>2</sup>) визначається за формулою

$$\tau_{кр} = \left( 12,5 + \frac{9,5}{\mu^2} \right) \left( \frac{100\delta_c}{d} \right)^2, \quad (33)$$

де  $d$  – менша сторона пластинки;  $\mu$  – відношення більшої сторони пластинки до меншої.

Напруження порівнюються із середніми дотичними напруженнями, діючими в перетині II–II (рис. 4):

$$\tau = \frac{Q_p + Q_q}{2H' \cdot \delta_c}. \quad (34)$$

Значення  $Q_p$  і  $Q_q$  беруть з формули (22).

Пластинка буде стійка, якщо

$$\frac{\tau_{кр}}{\tau} \geq 1,2. \quad (35)$$

При підкріпленні пластинки поперечними і поздовжніми ребрами жорсткості, як це показано на рис. 5, б, критичні дотичні напруження визначаються за формулою (33) для кожної пластинки окремо.

Сторонами для першої пластинки є  $a_1$  і  $b_1$ , для другої –  $a$  і  $b_2$ . Умови стійкості залишаються попередніми (35).

Ребра жорсткості. Товщина ребер жорсткості 3 і 4 вибирається з умови місцевого стиснення за формулою

$$\sigma = 1,15 \cdot \frac{P_{\psi}}{S \cdot \delta} \cdot \sin \frac{\pi \cdot S}{2Z} \leq [\sigma_1], \quad (36)$$

де  $S$  – ширина підшви рейки (табл. 3);  $\delta$  – товщина ребра;  $Z$  – умовна довжина розподілу тиску (рис. 3).

Значення  $Z$  розраховується за формулою

$$Z = 8,45 \cdot \sqrt[3]{\frac{I}{\delta}}, \quad (37)$$

де  $I = I_P + I_{\Pi}$  – сума моментів інерції рейки і поясу відносно їх власних осей, а у випадку приварювання рейки до поясу – щодо загальної осі рейки і поясу.

Момент інерції рейки визначається за табл. 4. Момент інерції поясу

$$I_{\Pi} = \frac{b \cdot \delta_{\Pi}^3}{12}, \quad (38)$$

де  $b = 10\delta_{\Pi}$  – ширина ділянки поясу уздовж діафрагми.

Для полегшення великих діафрагм робиться овальний виріз.

При розгляді стійкості стінки приймалося, що її ділянки між поздовжніми ребрами і поясами випинаються незалежно одна від одної, тобто вони опираються на твердий контур, для чого ребра жорсткості повинні мати достатню вигибну жорсткість.

Необхідний момент інерції поздовжнього ребра  $I_1$  визначається залежно від величини  $b_1/h$  (рис. 5):

$$\begin{aligned} \text{при } b_1/h = 0,2 \quad I_1 &= (1,5 \dots 7) \cdot h \cdot \delta_c^3; \\ \text{при } b_1/h = 0,25 \quad I_1 &= (1,5 \dots 3,5) \cdot h \cdot \delta_c^3; \\ \text{при } b_1/h = 0,3 \quad I_1 &= 1,5 \cdot h \cdot \delta_c^3. \end{aligned}$$

Величина  $I_1$  обчислюється щодо осі, що збігає з найближчої до ребра грані стінки. Як ребро використовують смугу, кутник, швелер, а також гнуті профілі. У випадку смуги момент інерції дорівнює

$$I_1 = \frac{\delta_p \cdot c^3}{12} + \delta_p \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2}\right)^2, \quad (39)$$

де  $\delta_p$  – товщина ребра;  $c$  – ширина ребра.



Задавши товщину  $\delta_p \approx \delta_c$  з формули (39), легко знайти ширину ребра:

$$c = \sqrt[3]{I_1 \cdot \frac{3}{\delta_p}}$$

Після визначення ширини ребра необхідно перевірити умову:  $c \leq B/4$ .

## 8. Розрахунок звареного з'єднання поясу зі стінкою

Пояс зі стінками з'єднують звареним безупинним швом автоматичним зварюванням. Шви накладають на зовнішніх сторонах стінок.

Зварні шви сприймають зсувні зусилля, що виникають при вигині балки. У двостінчатих балках тиск від ходових коліс сприймається стінкою через поперечні діафрагми, тому це навантаження при розрахунку поясних швів не враховують.

Найбільші зсувні зусилля будуть виникати поблизу опорного перетину, коли вантажний візок знаходиться в крайньому лівому положенні. Поясний шов розраховується на зріз за формулою

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{II}}{2\beta \cdot K \cdot I} \leq [\tau_{зр}],$$

де  $Q, I$  – поперечна сила і момент інерції в опорному перетині (див. формулу (22),

$$Q = Q_p + Q_q ;$$

$S_{II}$  – статичний момент поясу щодо нейтральної осі опорного перетину,

$$S_{II} = b_{II} \cdot \delta_{II} \cdot \left( \frac{H' - \delta_{II}}{2} \right);$$

$K$  – катет шва;  $\beta$  – коефіцієнт, який залежить від виду зварювання: для автоматичного –  $\beta = 1$ ; для ручного –  $\beta = 0,7$ .

Найменший катет шва можна приймати рівним  $0,5$  товщини стінки.  $[\tau_{зр}] = 0,65 \cdot [\sigma_1]$  – допустиме напруження для зварних швів, що працюють на зріз.

## Список літератури

1. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів: Київ «Основа», 2007. – 264 с.
2. Вешинский А.В. Строительная механика и металлоконструкции./ А.В. Вешинский, М.М. Гохберг, В.П. Семенов – Л. : Машиностроение, 1984. – 230 с.
3. Григоров О.В. Металеві конструкції підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних машин / О.В. Григоров, Г.О. Аніщенко, Н.О. Петренко – Х. : НТУ «ХПІ», 2011. – 516 с.
4. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. – Л. : Машиностроение, 1976. – 453 с.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Вихідні дані.....	3
2. Навантаження і їх сполучення.....	3
3. Визначення навантажень і місць їх прикладання.....	7
4. Вибір марки сталі і допустимих напружень.....	8
5. Вибір поперечного перерізу балки.....	11
6. Перевірка балки на статичну і динамічну жорсткість.....	18
7. Перевірка балки на стійкість.....	19
8. Розрахунок звареного з'єднання пояса зі стінкою.....	25
9. Список літератури.....	26

Навчальне видання  
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до розрахунку головної балки мостового крана  
коробчастого перерізу  
з курсу  
«Будівельна механіка»  
для студентів спеціальності 6.05050308  
«Підйомно-транспортні, дорожні,  
будівельні, меліоративні  
машини та обладнання»

Укладачі: ГРИГОРОВ Отто Володимирович  
ПЕТРЕНКО Надія Олександрівна

Відповідальний за випуск О.В. Григоров

Роботу до видання рекомендував В.Г. Дьяченко

Редактор Ю.І. Гуренко

План 2014 р., поз. 76

Підп. до друку \_\_\_\_\_ Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.

Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 0,9

Наклад 150 прим. Зам. № \_\_. Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 24.12.2009 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе , 21

---

Друкарня НТУ «ХП», 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21