



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

---

Кафедра «Будівельне виробництво та геодезія»

До друку  
Перший проректор \_\_\_\_\_ Б. Є. БОДНАР  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2019

## ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МАШИН

### ПРОЕКТУВАННЯ МОСТОВОГО КРАНА

Методичні рекомендації до виконання курсової роботи

Дніпро – 2019

Укладач:

д-р техн. наук, проф. *Д. О. Банніков*

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. *С. В. Ракша* (ДНУЗТ),

канд. техн. наук, доц. *Л. М. Рабер* (НМАУ)

Рекомендовано до друку МКФ ПЦБ (протокол № 4 от 27.02.2017).

Зареєстровано НМВ ДНУЗТ (реєстр. № 298/17-1 от 28.02.2017)

**Проектування** металоконструкцій машин. Проектування мостового крана [Текст] : метод. рекомендації до виконання курсової роботи / уклад. : *Д. О. Банніков*; Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. *В. Лазаряна*. – Дніпро, 2019. – 46 с.

У методичних рекомендаціях викладено загальну послідовність та особливості проектування основних несучих балок електричного балкового мостового крана загального призначення.

Призначені для самостійної роботи студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання» під час виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування металоконструкцій машин», а також можуть бути корисними під час підготовки магістерських дипломних робіт..

Іл. 18. Табл. 11. Бібліогр.: 7 назв.

© Банніков Д. О., укладання, 2019

© Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. *В. Лазаряна*, редагування, оригінал-макет, 2019

## ЗМІСТ

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| СКЛАД І МЕТА ВИКОНАННЯ РОБОТИ .....              | 4  |
| ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ Й ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ .....   | 5  |
| ВИБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ.....                        | 6  |
| 1. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ .....     | 7  |
| 2. ЗБІР НАВАНТАЖЕНЬ.....                         | 9  |
| 2.1. Характеристичні значення .....              | 9  |
| 2.2. Розрахункові вертикальні навантаження ..... | 10 |
| 2.3. Розрахункові поздовжні навантаження .....   | 11 |
| 2.4. Розрахункові сполучення навантажень .....   | 12 |
| 3. РОЗРАХУНОК ГОЛОВНОЇ БАЛКИ.....                | 14 |
| 3.1. Визначення зусиль .....                     | 14 |
| 3.2. Компонування поперечного перерізу .....     | 17 |
| 3.3. Перевірка поперечного перерізу .....        | 19 |
| 3.4. Розрахунок поясного шва .....               | 24 |
| 4. РОЗРАХУНОК КІНЦЕВОЇ БАЛКИ .....               | 25 |
| 4.1. Визначення зусиль .....                     | 25 |
| 4.2. Компонування поперечного перерізу .....     | 28 |
| 4.3. Перевірка поперечного перерізу .....        | 29 |
| 5. КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ.....                  | 30 |
| БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....                      | 34 |
| Додаток А                                        |    |
| СОРТАМЕНТ ЛИСТОВОЇ ГАРЯЧЕКАТАНОЇ СТАЛІ .....     | 35 |
| Додаток Б                                        |    |
| РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛІ .....          | 36 |
| Додаток В                                        |    |
| ДОВІДКОВІ ДАНІ ПРО МОСТОВІ КРАНИ.....            | 40 |
| Додаток Г                                        |    |
| РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРНИХ ШВІВ .....   | 45 |

## СКЛАД І МЕТА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Курсова робота передбачає практичне ознайомлення з основними положеннями і особливостями розрахунку та конструювання основних несучих елементів електричного балкового мостового крана загального призначення разом з вузлами їх з'єднання. До таких елементів відносять головну та кінцеву балки. Кожен з цих конструктивних елементів має бути розрахований та сконструйований окремо, з урахуванням своїх специфічних особливостей. Проте, у цілому ці елементи є основою плоскої несучої рами мостового крана, яка працює як єдина система.

Представлений у методичних рекомендаціях матеріал дозволяє не тільки опанувати весь процес проектування несучих елементів машин на прикладі мостового крана, а й набути певних практичних навичок та усвідомити загальні принципи проектно-конструкторської діяльності.

На сьогодні в Україні проектування несучих металоконструкцій підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх та меліоративних машин виконується за трьома методами: методом допустимих напружень, методом граничних станів та імовірнісним методом.

Зважаючи на те, що метод допустимих напружень вже є морально застарілим, а імовірнісний метод ще недостатньо розроблений, то найбільш раціональним є використання методу граничних станів. Тому в даній курсовій роботі викладення ведеться на основі саме такого підходу з урахуванням нових національних нормативів – ДБН В.2.6-198:2014 [2]. Вони були введені в дію нещодавно і містять низку відмінностей у проектуванні сталевих конструкцій порівняно з попередніми відмінними нормами СНиП II-23-81\* [7].

**Методологічною метою курсової роботи є набуття студентами та закріплення ними навичок самостійного розрахунку і конструювання основних несучих конструктивних елементів та вузлів електричного балкового мостового крана загального призначення.**

## ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ Й ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

Курсова робота виконується кожним студентом самостійно відповідно до методичних рекомендацій. Вихідні дані обираються відповідно до затвердженого й підписаного викладачем бланка завдання за індивідуальним літерним шифром. Правила складання літерного шифру визначає викладач.

Якщо виникають будь-які непорозуміння або невідповідності під час вибору вихідних даних, слід звернутися до викладача для узгодження цього питання. **У випадку, якщо вихідні дані обрані студентом неправильно або з помилками, робота вважається недійсною та потребує переробки за правильними даними.**

Працюючи з текстом кожного розділу курсової роботи, необхідно спочатку уважно розібратись із наведеним прикладом виконання розрахунків, звертаючи увагу на незрозумілі місця, стосовно яких можна отримати роз'яснення у викладача. Далі за власними вихідними даними слід виконати аналогічні обчислення, чітко дотримуючись вказаної в методичних рекомендаціях послідовності. Під час використання нормативно-довідкової літератури слід звертатися до теоретичних відомостей, розглянутих на лекційних та практичних заняттях.

У випадку виникнення певних утруднень та невизначеностей слід припинити роботу й також звернутися до викладача для отримання відповідної консультації. У цьому разі не рекомендується продовжувати подальші обчислення, оскільки вони можуть виявитися неправильними та потребуватимуть у майбутньому коректування або спростовування.

Курсова робота складається з пояснювальної записки і графічної частини.

Пояснювальна записка оформлюється на стандартних аркушах білого паперу формату А4 з дотриманням до вимог чинних державних стандартів щодо оформлення проектної документації і має містити всі необхідні обчислення та ескізи, що ілюструють процес виконання курсової роботи.

Розрахунки слід записувати у вигляді повної формули, в яку підставлено відповідні числові значення з отриманим результатом і одиницями виміру:

$$F_{2m}^v = \gamma_{fm} G_0^{\text{каб}} (1 + \psi) = 1,05 \cdot 15 (1 + 0,1) = 17,33 \text{ кН.}$$

Точність обчислень має становити два знаки після коми. Округлення чисел виконується за математичними правилами.

Записка обов'язково повинна бути жорстко скріплена, мати титульний аркуш за прийнятим в університеті зразком, рамочки на кожному листі, сторінки мають бути пронумеровані. Не слід переписувати наведений у цих методичних вказівках загальний текстовий матеріал.

Графічна частина являє собою лист формату А2 в стадії КМ з дотриманням вимог чинних державних стандартів України.

**Неправильно або неохайно оформлена робота повертається студенту для доопрацювання.**

## ВИБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ

Виконання курсової роботи необхідно розпочинати з вибору вихідних даних відповідно до бланка завдання. Вихідні дані складаються з п'яти позицій та обираються за індивідуальним літерним шифром, визначеним викладачем. Кожна позиція вихідних даних має власний номер, на який є посилання у певних місцях методичних рекомендацій. Тому слід дуже уважно та ретельно виписати ці дані.

Виберемо вихідні дані відповідно до позицій за бланком завдання.

1. Сталь конструкцій. Як приклад прийmemo – С235.
2. Вантажопідйомність крана. Як приклад прийmemo  $Q = 16$  т.
3. Проліт крана. Як приклад прийmemo  $L = 10,5$  т.
4. Швидкість крана. Як приклад прийmemo  $V = 0,75$  м/с.
5. Режим роботи крана. Як приклад прийmemo 7К.

У практиці проектування сталь для металоконструкцій обирається інженером-конструктором залежно від рекомендацій ДБН [2] та наявного ринку металопрокату. Усі параметри мостового крана задаються інженером-технологом у технічному завданні та залежать від виробничого процесу, для якого передбачається кран.

Загальний вигляд електричного балкового мостового крана загального призначення, що проектується, наведено на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд мостового крана

## 1. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ

Перед початком розрахунку конструктивних елементів мостового крана необхідно визначити низку розрахункових параметрів, які будуть використовуватися надалі. До таких параметрів відносять розрахункові характеристики заданої сталі та характеристики самого крана.

**Розрахункові характеристики сталі.** До потрібних розрахункових характеристик сталі відносять розрахунковий опір і модуль пружності.

Розрахунковий опір сталі визначають за табл. Г.2 дод. Г ДБН [2], яка наведена в табл. Б.1 дод. Б до методичних рекомендацій, залежно від заданого за вихідними даними класу сталі С235 (позиція 1 вихідних даних). При цьому приймають значення для листового прокату товщиною в першому наближенні до 40 мм –  $R_y = 220 \text{ МПа} = 22 \text{ кН/см}^2$ .

Модуль пружності сталі визначають за табл. Б.1 дод. Б ДБН [2]. Він є однаковим для всіх сталей незалежно від їх класу:

$$E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 20\,600 \text{ кН/см}^2.$$

**Характеристики мостового крана.** Відповідно до заданих характеристик мостового крана визначимо його основні параметри. Для цього скористаємося стандартом [6]<sup>1</sup>, витяг з якого наведений в табл. В.1 дод. В до цих методичних рекомендацій.

Для крана вантажопідйомністю 16 т (позиція 2 вихідних даних) та прольотом 10,5 м (позиція 3 вихідних даних):

- ширина крана  $B = 5\,600 \text{ мм}$ ;
- база крана  $K = 4\,400 \text{ мм}$ ;
- мінімальне наближення гака  $a_{\min} = 1\,300 \text{ мм}$ ;
- ширина колії візка  $T = 2\,000 \text{ мм}$ ;
- база візка  $P = 2\,400 \text{ мм}$ ;
- вага візка  $G_0^{\text{віз}} = 3,7 \text{ т}$ .

Розташування кабіни кранівника приймають на відстані 2 000...3 000 мм від осі підкранової рейки. У нашому випадку приймемо  $l = 3\,000 \text{ мм}$ .

Далі відповідно до вихідних даних на міліметровці в масштабі слід зобразити схему мостового крана із визначеними розмірами, як наведено на рис. 2.

---

<sup>1</sup> Даний стандарт в теперішній час не діє на території України, тому наведені дані мають суто довідковий характер і можуть бути використані лише при навчальному проектуванні.

Рис. 2. Ескізне зображення мостового крана



## 2. ЗБІР НАВАНТАЖЕНЬ

Під час експлуатації мостовий кран піддається дії не тільки статичних навантажень, а й динамічних, що виникають внаслідок його руху та руху його складових елементів. Тому відповідно до класифікації [2] такі конструкції відносяться до 1-го класу і мають проектуватися тільки в пружній стадії роботи сталі.

### 2.1. Характеристичні значення

Характеристичні значення навантажень викликаються власною вагою елементів та обладнання крана у стані спокою і здебільшого приймаються за досвідом проектування.

1. Власна вага головної балки разом з обслуговуючою площадкою (половина моста крана)  $G_0^{г.б}$  визначається за графіком рис. В.1 дод. В до методичних рекомендацій. Значення наведені для режимів роботи 4К–6К.

**Для режимів роботи 1К–3К вагу необхідно зменшити на 10 %, а для режимів роботи 7К, 8К – збільшити її на 10 %.**

У нашому випадку для прольоту крана  $L = 10,5$  м (позиція 3 вихідних даних) і вантажопідйомності  $Q = 16$  т (позиція 2 вихідних даних) за графіком  $G_0^{г.б} = 25$  кН. Ураховуючи заданий режим роботи 7К (позиція 5 вихідних даних) збільшимо на 10 % це значення:  $G_0^{г.б} = 1,1 \cdot 25 = 27,5$  Н.

3. Ураховуванням довжини головної балки:  $q_0^{г.б} = \frac{G_0^{г.б}}{L} = \frac{27,5}{10,5} = 2,62$  кН/м.

2. Власна вага трансмісійного вала  $q_0^{т.в}$  визначається за табл. В.2 дод. В до методичних рекомендацій.

У нашому випадку для вантажопідйомності крана  $Q = 16$  т (позиція 2 вихідних даних) за таблицею приймемо  $q_0^{т.в} = 1,0$  кН/м.

3. Власна вага центрального вузла керування крана  $G_0^{ц.в}$  визначається за табл. В.2 дод. В до методичних рекомендацій.

У нашому випадку для вантажопідйомності крана  $Q = 16$  т (позиція 2 вихідних даних) за таблицею приймемо  $G_0^{ц.в} = 9$  кН.

4. Власна вага кабіни керування краном з урахуванням ваги електрообладнання  $G_0^{каб}$  приймається довільно в межах 15...20 кН.

У нашому випадку приймемо  $G_0^{каб} = 15$  кН, оскільки кран має невеликий проліт.

5. Власна вага візка  $G_0^{віз}$  приймається за табл. В.1 дод. В до методичних рекомендацій.

У нашому випадку для вантажопідйомності крана  $Q = 16$  т (позиція 2 вихідних даних) приймаємо  $G_0^{\text{виз}} = 3,7$  т.

6. Власна вага кінцевої балки  $G_0^{\text{к.б}}$  приймається в межах 10...20 кН.

У нашому випадку прийmemo  $G_0^{\text{к.б}} = 10$  кН, оскільки кран має невеликий проліт.

З урахуванням довжини кінцевої балки:  $q_0^{\text{к.б}} = \frac{G_0^{\text{к.б}}}{B} = \frac{10}{5,6} = 1,79$  кН/м.

## 2.2. Розрахункові вертикальні навантаження

Вертикальні навантаження обумовлені дією власної ваги на елементи мостового крана. При його поздовжньому русі по підкранових коліях внаслідок ударів на стиках рейок виникають додаткові динамічні добавки. Їх розрахункові значення визначаються за виразами (1) і (2):

$$q_i^v = \gamma_f q_0^i k_{\text{д.в}}; \quad (1)$$

$$F_i^v = \gamma_f G_0^i k_{\text{д.в}}, \quad (2)$$

де  $\gamma_f$  – коефіцієнт надійності за граничним ( $\gamma_{fm}$ ) та експлуатаційним ( $\gamma_{fe}$ ) значеннями навантажень. Для навантажень від власної ваги елементів вони приймаються за ДБН [1] і дорівнюють  $\gamma_{fm} = 1,05$  і  $\gamma_{fe} = 1,0$ ;

$k_{\text{д.в}}$  – коефіцієнт вертикальної динаміки, який приймається за довідковими даними за табл. В.3 дод. В до методичних рекомендацій. У нашому випадку  $k_{\text{д.в}} = 1,1$  для швидкості пересування крана  $V = 0,75$  м/с (позиція 4 вихідних даних).

1. Навантаження від власної ваги головної балки дорівнює:

$$q_{1m}^v = \gamma_{fm} (q_0^{\text{р.б}} + q_0^{\text{т.б}}) k_{\text{д.в}} = 1,05 (2,62 + 1,0) 1,1 = 4,18 \text{ кН/м};$$

$$q_{1e}^v = \gamma_{fe} (q_0^{\text{р.б}} + q_0^{\text{т.б}}) k_{\text{д.в}} = 1,0 (2,62 + 1,0) 1,1 = 3,98 \text{ кН/м};$$

2. Навантаження від центрального вузла керування крана дорівнює:

$$F_{1m}^v = \gamma_{fm} G_0^{\text{ц.б}} k_{\text{д.в}} = 1,05 \cdot 9 \cdot 1,1 = 10,40 \text{ кН};$$

$$F_{1e}^v = \gamma_{fe} G_0^{н.в} k_{д.в} = 1,0 \cdot 9 \cdot 1,1 = 9,90 \text{ кН.}$$

3. Навантаження від кабіни керування краном дорівнює:

$$F_{2m}^v = \gamma_{fm} G_0^{каб} k_{д.в} = 1,05 \cdot 15 \cdot 1,1 = 17,33 \text{ кН;}$$

$$F_{2e}^v = \gamma_{fe} G_0^{каб} k_{д.в} = 1,0 \cdot 15 \cdot 1,1 = 16,50 \text{ кН.}$$

4. Навантаження на одно з чотирьох коліс візка від ваги візка з вантажем дорівнює:

$$F_{3m}^v = (\gamma_{fm} G_0^{віз} + K_Q Q) k_{д.в} \frac{1}{4} = (1,05 \cdot 3,7 + 1,40 \cdot 16) 1,1 \frac{1}{4} 9,81 = 70,91 \text{ кН;}$$

$$F_{3e}^v = (\gamma_{fe} G_0^{віз} + \gamma_{fe} Q) k_{д.в} \frac{1}{4} = (1,0 \cdot 3,7 + 1,0 \cdot 16) 1,1 \frac{1}{4} 9,81 = 53,15 \text{ кН,}$$

де  $K_Q$  – коефіцієнт перевантаження, який приймається за довідковими даними за табл. В.4 дод. В до методичних рекомендацій. У нашому випадку  $K_Q = 1,40$  для вантажопідйомності крана  $Q = 16$  т (позиція 2 вихідних даних) і режиму роботи крана 7К (позиція 5 вихідних даних).

5. Навантаження від власної ваги кінцевої балки дорівнює:

$$q_{2m}^v = \gamma_{fm} q_0^{к.б} k_{д.в} = 1,05 \cdot 1,79 \cdot 1,1 = 2,07 \text{ кН/м;}$$

$$q_{2e}^v = \gamma_{fe} q_0^{к.б} k_{д.в} = 1,0 \cdot 1,79 \cdot 1,1 = 1,97 \text{ кН/м.}$$

### 2.3. Розрахункові поздовжні навантаження

Поздовжні навантаження виникають під час пуску або гальмування мостового крана та діють уздовж кранових рейок. Їх розрахункові значення визначаються за виразами (3) і (4):

$$q_{im}^g = k q_{im}^v a, \quad (3)$$

$$F_{im}^g = k F_{im}^v a, \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт переходу від вертикальних до поздовжніх інерційних навантажень. Приймається для жорстко прикріплених мас  $k = 0,15$  і для мас на гнучкому підвісі  $k = 0,1$ .

$a$  – прискорення пуску та гальмування; приймається за довідковими даними та даними натурних експериментів у долях від прискорення вільного падіння  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ . У нашому випадку  $a = 0,1g$ .

Для подальших обчислень потрібні тільки розрахункові експлуатаційні значення поздовжніх навантажень.

1. Навантаження від власної ваги головної балки дорівнює:

$$q_{1m}^g = 0,15q_{1m}^v 0,1g = 0,15 \cdot 4,18 \cdot 0,1 \cdot 9,81 = 0,62 \text{ кН/м.}$$

2. Навантаження від центрального вузла керування крана дорівнює:

$$F_{1m}^g = 0,15F_{1m}^v 0,1g = 0,15 \cdot 10,40 \cdot 0,1 \cdot 9,81 = 1,53 \text{ кН.}$$

3. Навантаження від кабіни керування краном дорівнює:

$$F_{2m}^g = 0,15F_{2m}^v 0,1g = 0,15 \cdot 17,33 \cdot 0,1 \cdot 9,81 = 2,55 \text{ кН.}$$

4. Навантаження на одно з чотирьох коліс візка від ваги візка з вантажем дорівнює:

$$F_{3m}^g = 0,1F_{3m}^v 0,1g = 0,1 \cdot 70,91 \cdot 0,1 \cdot 9,81 = 6,96 \text{ кН.}$$

## 2.4. Розрахункові сполучення навантажень

Під час роботи мостового крана найгіршою робочою ситуацією є випадок, коли міст крана прискорюється або гальмується разом із вантажем на візку. При цьому одночасно діють як вертикальні навантаження (за п. 2.2), так і поздовжні горизонтальні (за п. 2.3). Проте, оскільки візок крана може вільно переміщуватися по головних балках, то необхідно розглядати його у двох найгірших можливих положеннях (розрахункових випадках):

1. Візок розташований близько до середині головної балки на відстані  $z$ . При цьому в балці буде виникати найбільший згинальний момент (рис. 3, а).

Відстань  $z$  визначається як менше з двох значень:

$$\begin{aligned} z_1 &= \frac{q_{1m}^v L^2 + F_{1m}^v L - 2F_{2m}^v l + 2F_{3m}^v (2L - P)}{2q_{1m}^v L + 8F_{3m}^v} = \\ &= \frac{4,18 \cdot 10,5^2 + 10,40 \cdot 10,5 - 2 \cdot 17,33 \cdot 3 + 2 \cdot 70,91 (2 \cdot 10,5 - 2,4)}{2 \cdot 4,18 \cdot 10,5 + 8 \cdot 70,91} = 4,74 \text{ м;} \end{aligned}$$

$$z_2 = 0,5L = 0,5 \cdot 10,5 = 5,25 \text{ м.}$$

Тому остаточно приймаємо  $z = 4,74 \text{ м.}$

2. Візок розташований близько до краю головної балки на відстані  $a_{\min} = 1,3$  м. При цьому в балці буде виникати найбільша поперечна сила (рис. 3, б).

Оскільки будь-який з цих випадків може виявитися найгіршим, то подальші розрахунки несучих елементів мостового крана необхідно виконувати для обох розрахункових випадків.

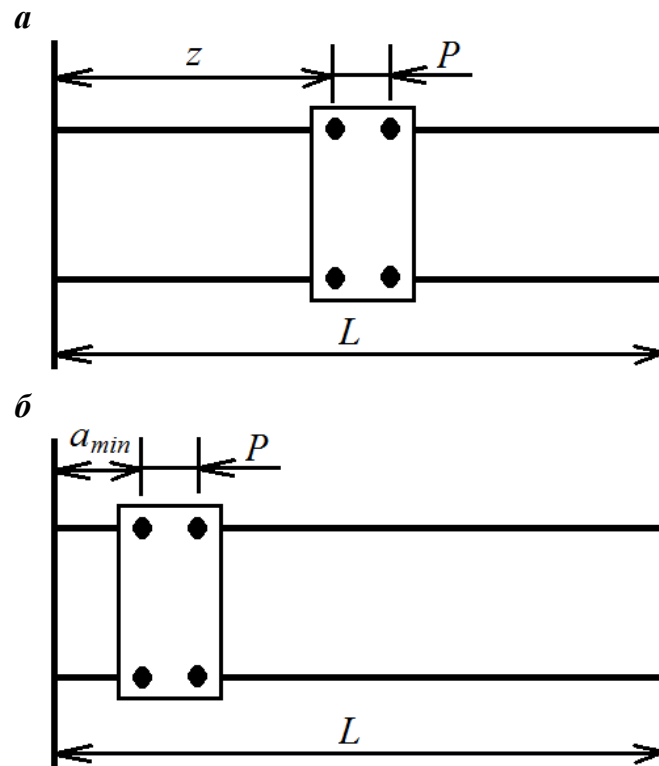


Рис. 3. Розрахункові випадки:

$a$  – візок посередині балки;  $b$  – візок у краю балки

Під час роботи мостового крана виникають й інші навантаження, які мають прийматися до уваги в реальному проектуванні. Проте в курсовій роботі з навчальною метою ці навантаження не враховуються. До них належать:

- навантаження під час транспортування, монтажу крана та розміщення його в робочому положенні;
- синоптичні навантаження (снігове, вітрове, ожеледне, температурне), якщо кран розташований на відкритому повітрі;
- горизонтальні поздовжні навантаження від удару о буферний пристрій, якщо не спрацьовує кінцевий вимикач;
- сейсмічні навантаження для кранів, що призначені для роботи в сейсмічно активних районах.

Ці навантаження виникають за нештатних умов експлуатації і належать до так званих аварійних навантажень. Їх урахування можливе лише за певного техніко-економічного обґрунтування.

### 3. РОЗРАХУНОК ГОЛОВНОЇ БАЛКИ

У цьому розділі курсової роботи розглядається головна балка мостового крана, на якій підвішується кабіна керування, оскільки така балка є найбільш навантаженою. Проте з умов уніфікації обидві головні балки будуть прийняті як однакові.

Оскільки така балка сприймає значне навантаження, що діє за різними напрямками, то її поперечний переріз приймається коробчастого типу з окремих сталевих листів.

Відповідно до ДБН [2] головна балка мостового крана має відповідати восьми основним вимогам:

- міцності за нормальними напруженнями;
- міцності за дотичними напруженнями;
- міцності за локальними напруженнями;
- місцевої стійкості поясу;
- місцевої стійкості стінки;
- жорсткості;
- власним коливанням;
- міцності рейки під візком.

У практиці проектування для кранів з режимами роботи 7К, 8К додатково перевіряється умова витривалості балки. Проте в курсовій роботі з навчальною метою це не виконується.

Розрахунок головної балки виконується наступним чином.

#### 3.1. Визначення зусиль

Визначимо зусилля, які виникають у головній балці. Оскільки крім нерухомих навантажень від власної ваги самої балки, центрального вузла керування та кабіни керування на балку діє рухоме навантаження від візка з вантажем, то будемо використовувати лінії впливу.

Розрахункова схема головної балки являє собою шарнірно оперту по кінцях балку, в якій від прикладеного навантаження виникають внутрішні зусилля – поперечна сила та згинальний момент. Як було зазначено в п. 2.5, розглядаємо два розрахункові випадки.

У *першому розрахунковому випадку* необхідно визначити згинальний момент від дії візка, розташованого на відстані  $z$  від лівої опори головної балки. Лінія впливу згинального моменту для цього випадку буде мати вигляд трикутника з вершиною на відстані  $z$  під лівим котком візка (рис. 4).

Найбільша ордината лінії впливу визначається за стандартним виразом:

$$y_3 = \frac{z(L-z)}{L} = \frac{4,74(10,5-4,74)}{10,5} = 2,60 \text{ м.}$$

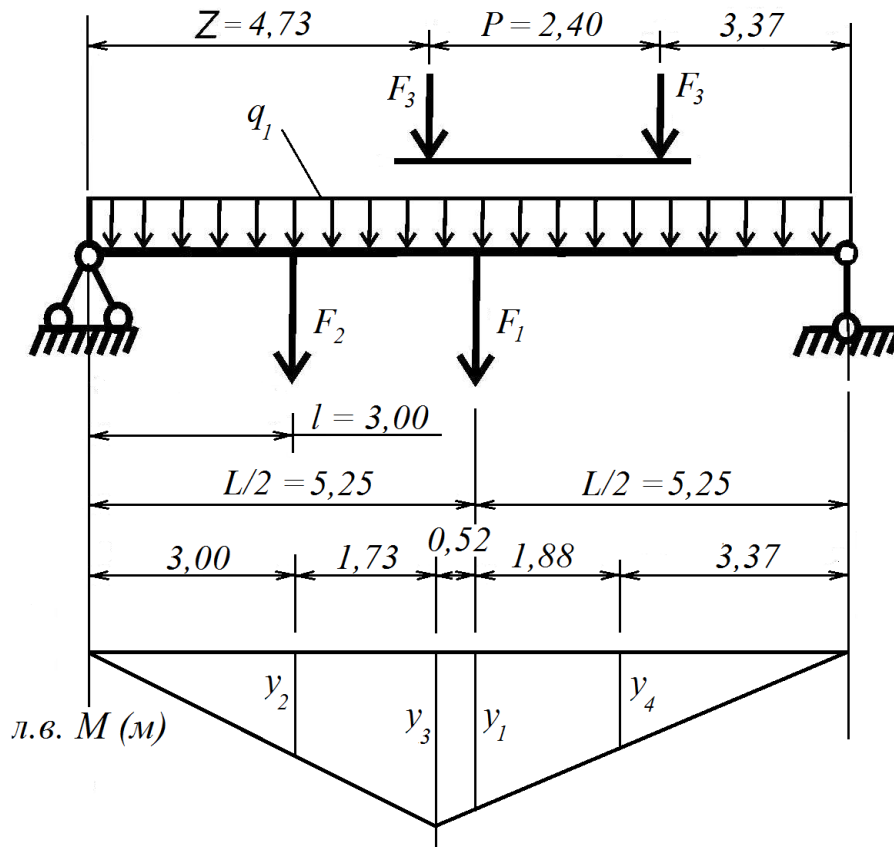


Рис. 4. Лінія впливу згинального моменту для головної балки

Інші ординати лінії впливу визначаємо з подоби відповідних трикутників за виразами:

$$y_1 = y_3 \frac{L}{2(L-z)} = 2,60 \frac{10,5}{2(10,5-4,74)} = 2,37 \text{ м};$$

$$y_2 = y_3 \frac{l}{z} = 2,60 \frac{3,00}{4,74} = 1,65 \text{ м};$$

$$y_4 = y_3 \frac{L-z-P}{L-z} = 2,60 \frac{10,5-4,74-2,4}{10,5-4,74} = 1,52 \text{ м}.$$

Площа лінії впливу обчислюється за виразом:

$$w = y_3 \frac{L}{2} = 2,60 \frac{10,5}{2} = 13,65 \text{ м}^2.$$

Максимальні значення згинального моменту від розрахункових вертикальних навантажень за лінією впливу будуть дорівнювати:

$$\begin{aligned}
M_{1m \max}^v &= q_{1m}^v w + F_{1m}^v y_1 + F_{2m}^v y_2 + F_{3m}^v y_3 + F_{3m}^v y_4 = \\
&= 4,18 \cdot 13,65 + 10,40 \cdot 2,37 + 17,33 \cdot 1,65 + 70,91 \cdot 2,60 + 70,91 \cdot 1,52 = \\
&= 402,45 \text{ кН} \cdot \text{м} = 40\,245 \text{ кН} \cdot \text{см};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{1e \max}^v &= q_{1e}^v w + F_{1e}^v y_1 + F_{2e}^v y_2 + F_{3e}^v y_3 + F_{3e}^v y_4 = \\
&= 3,98 \cdot 13,65 + 9,90 \cdot 2,37 + 16,50 \cdot 1,65 + 53,15 \cdot 2,60 + 53,15 \cdot 1,52 = \\
&= 323,99 \text{ кН} \cdot \text{м} = 32\,399 \text{ кН} \cdot \text{см}.
\end{aligned}$$

Для розрахункових поздовжніх навантажень максимальне значення згинального моменту дорівнюватиме:

$$\begin{aligned}
M_{1m \max}^g &= q_{1m}^g w + F_{1m}^g y_1 + F_{2m}^g y_2 + F_{3m}^g y_3 + F_{3m}^g y_4 = \\
&= 0,62 \cdot 13,65 + 1,53 \cdot 2,37 + 2,55 \cdot 1,65 + 6,96 \cdot 2,60 + 6,96 \cdot 1,52 = \\
&= 44,97 \text{ кН} \cdot \text{м} = 4\,497 \text{ кН} \cdot \text{см}.
\end{aligned}$$

У другому розрахунковому випадку необхідно визначити поперечну силу від візка, розташованого на відстані  $a_{\min}$  від лівої опори головної балки. У цьому випадку лінія впливу не потрібна, проте достатньо скласти суму моментів для всіх розрахункових навантажень відносно правої опори головної балки. З цього рівняння отримаємо вираз для визначення лівої опорної реакції, що і буде максимальним значенням поперечної сили.

Для розрахункових вертикальних навантажень максимальне значення поперечної сили дорівнюватиме:

$$\begin{aligned}
Q_{1m \max}^v &= \frac{q_{1m}^v L}{2} + \frac{F_{1m}^v}{2} + \frac{F_{2m}^v (L-l)}{L} + \frac{F_{3m}^v (2L-2a_{\min}-P)}{L} = \\
&= \frac{4,18 \cdot 10,5}{2} + \frac{10,40}{2} + \frac{17,33(10,5-3,0)}{10,5} + \frac{70,91(2 \cdot 10,5 - 2 \cdot 1,3 - 2,4)}{10,5} = \\
&= 147,58 \text{ кН}.
\end{aligned}$$

Для розрахункових поздовжніх навантажень максимальне значення поперечної сили дорівнюватиме:

$$\begin{aligned}
Q_{1m \max}^g &= \frac{q_{1m}^g L}{2} + \frac{F_{1m}^g}{2} + \frac{F_{2m}^g (L-l)}{L} + \frac{F_{3m}^g (2L-2a_{\min}-P)}{L} = \\
&= \frac{0,62 \cdot 10,5}{2} + \frac{1,53}{2} + \frac{2,55(10,5-3,0)}{10,5} + \frac{6,96(2 \cdot 10,5 - 2 \cdot 1,3 - 2,4)}{10,5} = 16,45 \text{ кН}.
\end{aligned}$$



### 3.2. Компонування поперечного перерізу

Наступним етапом є компонування поперечного перерізу головної балки (рис. 5). Він має коробчасту форму і складається з двох горизонтальних полиць та двох вертикальних стінок, зварених між собою односторонніми зварними швами. Для їх розміщення передбачається зв'яз  $c = 15-20$  мм. Полиці та стінки виконані з листової сталі. Їх розміри й потрібно визначити:

- $h_w$  – висоту стінки;
- $t_w$  – товщину стінки;
- $b_f$  – ширину полиці;
- $t_f$  – товщину полиці.

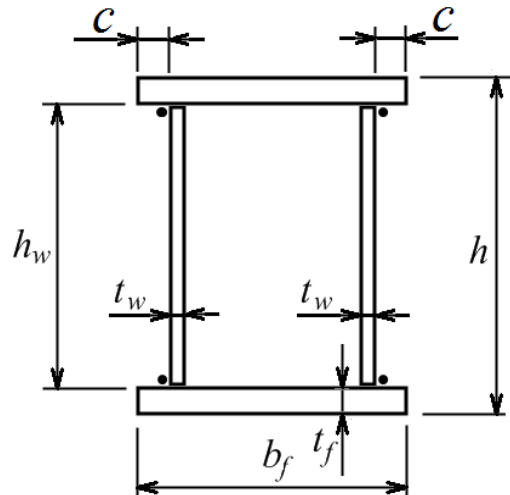


Рис. 5. Переріз головної балки

Визначення розмірів поперечного перерізу головної балки починають з призначення висоти стінки в прольоті з умови отримання балки мінімальної ваги:

$$h_w = \left( \frac{1}{14} \dots \frac{1}{18} \right) L = \left( \frac{1}{14} \dots \frac{1}{18} \right) 10,5 = 0,75 \dots 0,58 \text{ м.}$$

Остаточно висоту приймають з урахуванням стандартної ширини прокатної сталі за сортаментом ГОСТ 82-70\* [3] або ГОСТ 19903-74\* [5], які наведені в дод. А до даних методичних рекомендацій. У нашому випадку за сортаментом приймаємо висоту  $h_w = 650 \text{ мм} = 65 \text{ см}$  за ГОСТ 82-70\* [3].

Ширину верхнього і нижнього поясів приймають однаковими за досвідом проектування, оскільки випробовуваннями встановлено, що під дією горизонтальних сил, прикладених до рейки, у роботу включається весь переріз головної балки:  $b_f = (0,3 \dots 0,4) h_w = (0,3 \dots 0,4) 65 = 19,5 \dots 26 \text{ см}$ , і не менше

ніж  $\frac{L}{50} = \frac{10,5}{50} = 0,21 \text{ м} = 21 \text{ см}$  – для забезпечення жорсткості балки в горизонтальному напрямку.

За сортаментом прокатної сталі за ГОСТ 82-70\* [3] приймаємо ширину  $b_f = 240 \text{ мм} = 24 \text{ см}$ .

Для визначення товщини стінки обчислюють потрібний момент опору перерізу за виразом:

$$W_{cal} = \frac{M_{lm \max}^v}{R_y \gamma_c} \left( 1 + \frac{h_w M_{lm \max}^g}{b_f M_{lm \max}^v} \right) = \frac{40\,245}{22 \cdot 0,85} \left( 1 + \frac{65 \cdot 4\,497}{24 \cdot 40\,245} \right) = 2\,803 \text{ см}^3,$$

де коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c = 0,85$  у випадку розташування рейки для візка посередині головної балки.

Тоді товщину стінки необхідно приймати більшою за значення

$$t_w = \frac{3W_{cal}}{4h_w^2} = \frac{3 \cdot 2803}{4 \cdot 65^2} = 0,50 \text{ см} = 5,0 \text{ мм}.$$

За сортаментом прокатної сталі за ГОСТ 82-70\* [3] приймаємо найближчу більшу товщину:  $t_w = 6 \text{ мм} = 0,6 \text{ см}$ .

Для визначення товщини поясу обчислюють його потрібну площу за виразом:

$$A_{fcal} = \frac{W_{cal}}{h_w} - \frac{h_w t_w}{3} = \frac{2803}{65} - \frac{65 \cdot 0,6}{3} = 30,12 \text{ см}^2.$$

Тоді товщину поясу необхідно приймати більшою за значення

$$t_f = \frac{A_{fcal}}{b_f} = \frac{30,12}{24} = 1,26 \text{ см} = 12,6 \text{ мм}.$$

За сортаментом прокатної сталі за ГОСТ 82-70\* [3] приймаємо найближче більше значення:  $t_f = 14 \text{ мм} = 1,4 \text{ см}$ .

**У випадку якщо товщина поясу перевищує товщину стінки більше ніж в 3 рази, треба збільшити товщину стінки і повторити розрахунки.**

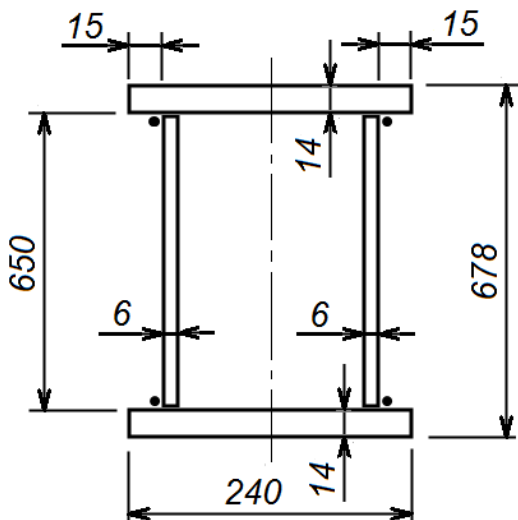


Рис. 6. Скомпонований переріз головної балки в прольоті

Скомпонований поперечний переріз головної балки в прольоті з усіма прийнятими розмірами зображено на рис. 6.

З метою зручності приєднання до кінцевої балки по кінцях головної виконують скоси, при цьому висота балки на опорі буде меншою, ніж в середині прольоту.

Висоту стінки на опорі призначають за досвідом проектування за виразом:

$$h_{w0} = (0,45 \dots 0,55) h_w = (0,45 \dots 0,55) 65 = 29,25 \dots 35,75 \text{ см}.$$

Орієнтуючись на цей діапазон, остаточно висоту стінки на опорі приймають з урахуванням стандартної ширини прокатної сталі за сортаментом ГОСТ 82-70\* [3] або ГОСТ 19903-74\* [5], які наведені в дод. А до даних методичних рекомендацій.

У нашому випадку приймаємо  $h_{w0} = 340 \text{ мм} = 34 \text{ см}$  (ГОСТ 82-70\*).

Інші геометричні розміри поперечного перерізу головної балки на опорі приймають аналогічно за прольотом. Отриманий таким чином поперечний переріз головної балки на опорі з усіма прийнятими розмірами зображено на рис. 7.

### 3.3. Перевірка поперечного перерізу

Перевіримо скомпонований поперечний переріз головної балки на відповідність восьми основним вимогам ДБН [2].

1. Міцність за нормальними напруженнями у випадку косого згину перевіряється в прольоті балки за виразом:

$$\frac{M_{lm \max}^v}{W^v R_y \gamma_c} + \frac{M_{lm \max}^g}{W^g R_y \gamma_c} = \frac{40\,245}{2\,995 \cdot 22 \cdot 0,85} + \frac{4\,497}{945 \cdot 22 \cdot 0,85} = 0,97 < 1,$$

де моменти інерції та опору в двох площинах для скомпенованого поперечного перерізу головної балки в прольоті дорівнюють:

$$I^v = 2 \left[ \frac{t_w h_w^3}{12} + \frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left( \frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right] =$$

$$= 2 \left[ \frac{0,6 \cdot 65^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,4^3}{12} + 24 \cdot 1,4 \left( \frac{65 + 1,4}{2} \right)^2 \right] = 101\,544 \text{ см}^4;$$

$$W^v = \frac{2I^v}{h} = \frac{2 \cdot 101\,544}{67,8} = 2\,995 \text{ см}^3;$$

$$I^g = 2 \left[ \frac{t_f b_f^3}{12} + \frac{h_w t_w^3}{12} + h_w t_w \left( \frac{b_f - t_w}{2} - c \right)^2 \right] =$$

$$= 2 \left[ \frac{1,4 \cdot 24^3}{12} + \frac{65 \cdot 0,6^3}{12} + 65 \cdot 0,6 \left( \frac{24 - 0,6}{2} - 1,5 \right)^2 \right] = 11\,343 \text{ см}^4;$$

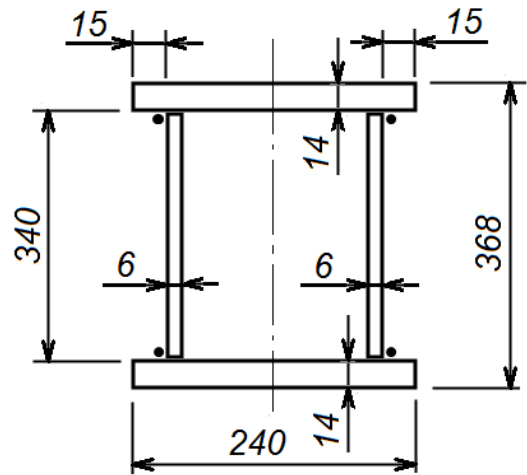


Рис. 7. Скомпонований переріз головної балки на опорі

$$W^g = \frac{2I^g}{b_f} = \frac{2 \cdot 11343}{24} = 945 \text{ см}^3.$$

Таким чином, дана умова виконана.

Невиконання цієї перевірки означає необхідність збільшення або зменшення розмірів поперечного перерізу балки відповідно.

2. Міцність за дотичними напруженнями у випадку косого згину перевіряється на опорі балки за виразом:

$$\frac{Q_{lm \max}^v S_0^v}{I_0^v t_w R_s \gamma_c} + \frac{Q_{lm \max}^g S_0^g}{I_0^g t_f R_s \gamma_c} = \frac{147,58 \cdot 768}{24994 \cdot 0,6 \cdot 12,76 \cdot 0,85} + \frac{16,45 \cdot 410}{7472 \cdot 1,4 \cdot 12,76 \cdot 0,85} =$$

$$= 0,76 < 1,$$

де моменти інерції у двох площинах для скомпонованого поперечного перерізу головної балки на опорі дорівнюють:

$$I_0^v = 2 \left[ \frac{t_w h_{w0}^3}{12} + \frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left( \frac{h_{w0} + t_f}{2} \right)^2 \right] =$$

$$= 2 \left[ \frac{0,6 \cdot 34^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,4^3}{12} + 24 \cdot 1,4 \left( \frac{34 + 1,4}{2} \right)^2 \right] = 24994 \text{ см}^4;$$

$$I_0^g = 2 \left[ \frac{t_f b_f^3}{12} + \frac{h_{w0} t_w^3}{12} + h_{w0} t_w \left( \frac{b_f - t_w}{2} - c \right)^2 \right] =$$

$$= 2 \left[ \frac{1,4 \cdot 24^3}{12} + \frac{34 \cdot 0,6^3}{12} + 34 \cdot 0,6 \left( \frac{24 - 0,6}{2} - 1,5 \right)^2 \right] = 7472 \text{ см}^4,$$

а статичні моменти у двох площинах дорівнюють:

$$S_0^v = h_{w0} t_w \frac{h_{w0}}{4} + b_f t_f \frac{h_{w0} + t_f}{2} = 34 \cdot 0,6 \cdot \frac{34}{4} + 24 \cdot 1,4 \cdot \frac{34 + 1,4}{2} = 768 \text{ см}^3;$$

$$S_0^g = h_{w0} t_w \left( \frac{b_f - t_w}{2} - c \right) + b_f t_f \frac{b_f}{4} = 34 \cdot 0,6 \left( \frac{24 - 0,6}{2} - 1,5 \right) + 24 \cdot 1,4 \cdot \frac{24}{4} = 410 \text{ см}^3.$$

Розрахунковий опір сталі на зсув за табл. 7.1 ДБН [2] визначається як

$$R_s = 0,58R_y = 0,58 \cdot 220 = 127,6 \text{ МПа} = 12,76 \text{ кН/см}^2.$$

Таким чином, дана умова виконана.

Невиконання цієї перевірки означає необхідність збільшення розмірів поперечного перерізу балки.

3. Міцність за локальними напруженнями від дії зосередженого вертикального навантаження від візка з вантажем перевіряється для стінки балки за виразом:

$$\frac{\sigma_{loc}}{R_y \gamma_c} = \frac{10,94}{22 \cdot 0,85} = 0,59 < 1,$$

де локальне напруження дорівнює:

$$\sigma_{loc} = \frac{F_{3m}^v}{2l_{ef1}t_w} = \frac{70,91}{2 \cdot 5,40 \cdot 0,6} = 10,94 \text{ кН/см}^2.$$

Розрахункова довжина умовної площадки, через яку передається зосереджене навантаження (рис. 8), визначається так:

$$l_{ef1} = \psi \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{1f}}{2t_w}} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{5,49}{2 \cdot 0,6}} = 5,40 \text{ см},$$

в якому коефіцієнт  $\psi = 3,25$  – для зварних балок за п. 9.2.2 ДБН [2], а момент інерції верхнього поясу балки дорівнює:

$$I_{1f} = \frac{b_f t_f^3}{12} = \frac{24 \cdot 1,4^3}{12} = 5,49 \text{ см}^4.$$

У випадку невиконання цієї перевірки необхідно збільшити товщини стінок або поясів балки.

4. Місцева стійкість поясу балки перевіряється за величиною умовної гнучкості поясу:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{19,8}{1,4} \sqrt{\frac{22}{20\,600}} = 0,46 < 1,5,$$

де відстань між внутрішніми гранями стінок перерізу дорівнює:

$$b_{ef} = b_f - 2 \cdot c - 2 \cdot t_w = 24 - 2 \cdot 1,5 - 2 \cdot 0,6 = 19,8 \text{ см}.$$

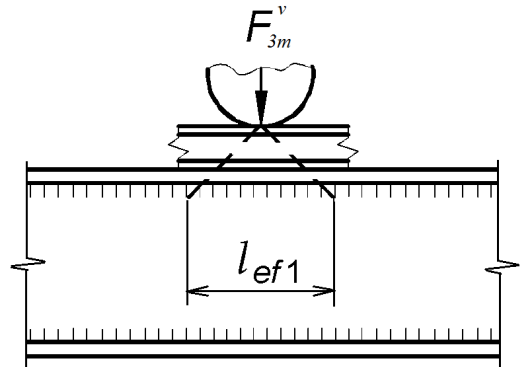


Рис. 8. Схема передачі зосередженого навантаження на стінку головної балки

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину поясів балки.

5. Місцева стійкість стінки балки перевіряється за величиною умовної гнучкості стінки:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{65}{0,6} \sqrt{\frac{22}{20\,600}} = 3,54 > 2,2.$$

Таким чином, дана умова не виконана, і необхідно збільшити товщину стінки балки.

За сортаментом прокатної сталі за ГОСТ 82-70\* [3] приймемо нову товщину  $t_w = 10$  мм = 1,0 см. Тоді умова буде виконана:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{65}{1,0} \sqrt{\frac{22}{20\,600}} = 2,12 < 2,2.$$

Перерахуємо моменти інерції перерізу в прольоті і на опори:

$$\begin{aligned} I^{v1} &= 2 \left[ \frac{t_w h_w^3}{12} + \frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left( \frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right] = \\ &= 2 \left[ \frac{1,0 \cdot 65^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,4^3}{12} + 24 \cdot 1,4 \left( \frac{65 + 1,4}{2} \right)^2 \right] = 119\,852 \text{ см}^4, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_0^{v1} &= 2 \left[ \frac{t_w h_{w0}^3}{12} + \frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left( \frac{h_{w0} + t_f}{2} \right)^2 \right] = \\ &= 2 \left[ \frac{1,0 \cdot 34^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,4^3}{12} + 24 \cdot 1,4 \left( \frac{34 + 1,4}{2} \right)^2 \right] = 27\,690 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

6. Жорсткість (максимальний вертикальний прогин) перевіряється за наближеним виразом

$$f_{\max} = \frac{5}{48} \frac{M_{\text{le max}}^v L^2}{EI^{v1}} = \frac{5}{48} \frac{32\,399 \cdot 1050^2}{20\,600 \cdot 119\,852} = 1,51 \text{ см} < f_u = \frac{L}{500} = \frac{1050}{500} = 2,10 \text{ см},$$

де  $f_u$  – граничний прогин, який приймається в залежності від режиму роботи крана: 1К–4К –  $f_u = L/400$ ; 5К–8К –  $f_u = L/500$ .

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщини стінок або поясів балки.

7. Для перевірки вимоги щодо власних коливань головної балки розрахуємо додаткові величини.

Згинальна жорсткість балки дорівнює:

$$c = \frac{48EI^{v1}}{L^3} = \frac{48 \cdot 20\,600 \cdot 119\,852}{1\,050^3} = 102,37 \text{ кН/см} = 10\,237 \text{ кН/м.}$$

Приведена маса конструкції крана з вантажем дорівнює:

$$m = \frac{17G_0^{г.б}}{35} + \frac{G_0^{тел} + Q}{2} = \frac{17 \cdot 27,5}{35 \cdot 9,81} + \frac{3,7 + 16}{2} = 11,21 \text{ т.}$$

Частота власних коливань головної балки дорівнює:

$$p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{10\,237}{11,21}} = 4,81 \text{ Гц.}$$

Логарифмічний декремент коливань головної балки:

$$\lambda = 5,510^{-3} p^2 = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4,81^2 = 0,13.$$

Тоді час згасання власних коливань головної балки дорівнюватиме:

$$t = \frac{\ln(2f_{\max})}{p\lambda} = \frac{\ln(2 \cdot 1,51)}{4,81 \cdot 0,13} = 1,77 \text{ с} < 15 \text{ с.}$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщини стінок або поясів балки.

8. Для забезпечення міцності рейки під візком з вантажем розташовують вертикальні діафрагми жорсткості. Їх максимальний крок становить:

$$s_{\max} = \frac{5W_p R_y \gamma_c}{F_{3m}^v} = \frac{5 \cdot 208 \cdot 22 \cdot 0,85}{70,91} = 274,26 \text{ см} = 2\,743 \text{ мм,}$$

де  $W_p$  – момент опору рейки (орієнтовно типу Р43).

**Крок діафрагм має бути менший за розрахований максимальний  $s_{\max}$  і кратний 100 мм.** Також діафрагми розташовують симетрично, а крайні діафрагми розміщують у місцях скосів головної балки. Прийнята схема розташування вертикальних діафрагм жорсткості наведена на рис. 9.

Після всіх виконаних перевірок остаточно прийняті поперечні перерізи головної балки в прольоті та на опорах зображують на рис. 10.

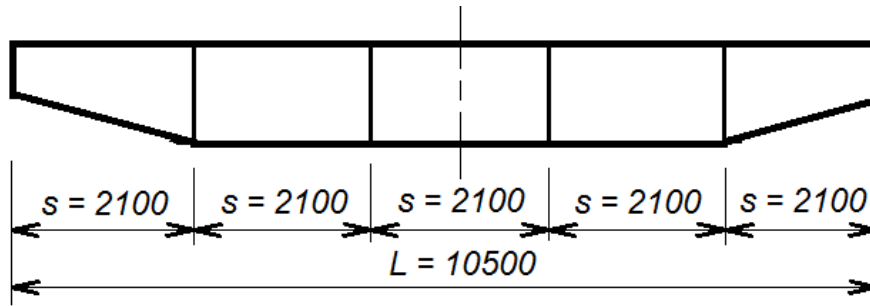


Рис. 9. Схема розміщення основних вертикальних діафрагм у головній балці

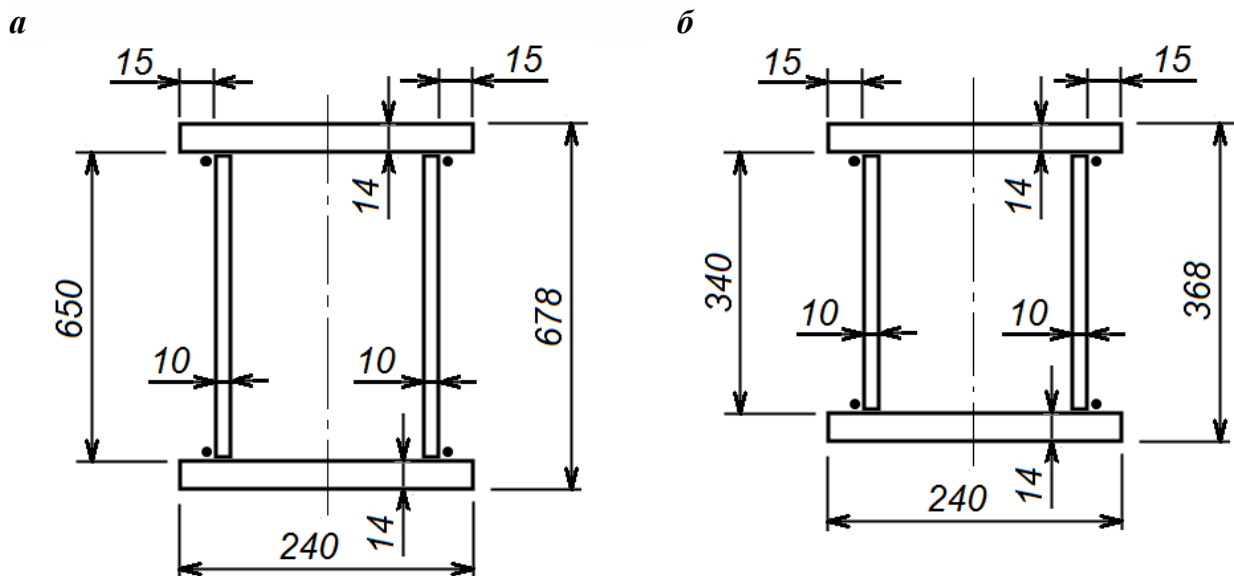


Рис. 10. Остаточно прийняті перерізи головної балки у прольоті (а) і на опорах (б)

### 3.4. Розрахунок поясного шва

Розрахунок поясного шва, за допомогою якого пояси головної балки приєднуються до її стінки, виконують у перерізі з максимальною поперечною силою – в перерізі опори.

Для визначення розрахункової площини зварного шва обчислимо додаткову величину за виразом:

$$\frac{\beta_f R_{wf}}{0,45 \beta_z R_{un}} = \frac{0,7 \cdot 18}{0,45 \cdot 1,0 \cdot 36} = 0,78 < 1,$$



де  $\beta_f, \beta_z$  – для випадку механізованого зварювання коефіцієнти  $\beta_f = 0,7$  і  $\beta_z = 1,0$ ; визначають за табл. 16.2 ДБН [2];

$R_{wf}$  – розрахунковий опір кутового зварного шва; для сталі класу С235  $R_{wf} = 180 \text{ МПа} = 18 \text{ кН/см}^2$  – табл. Д.2 ДБН [2]; наведена в табл. Г.1 дод. Г до методичних рекомендацій;

$R_{un}$  – характеристичний опір; для листового прокату сталі класу С235 товщиною до 20 мм  $R_{un} = 360 \text{ МПа} = 36 \text{ кН/см}^2$  – табл. Г.2 ДБН [2]; наведена в табл. Б.1 дод. Б до методичних рекомендацій.

Оскільки отримана величина менше 1, то необхідний катет зварного шва слід визначати у площині наплавленого металу за виразом:

$$k_f = \frac{Q_{lm\max}^v b_f t_f \frac{h_{w0} + t_f}{2}}{n \beta_f I_0^{v1} R_{wf} \gamma_c} = \frac{147,58 \cdot 24 \cdot 1,4 \frac{34 + 1,4}{2}}{2 \cdot 0,7 \cdot 27\,690 \cdot 18 \cdot 0,85} = 0,15 \text{ см} = 1,5 \text{ мм},$$

де кількість кутових поясних швів  $n = 2$ .

У випадку коли отримана величина більше 1, необхідний катет зварного шва слід визначати, підставивши в попередній вираз замість  $\beta_f$  значення  $\beta_z$  і замість  $R_{wf}$  значення  $0,45 R_{un}$ .

Остаточно приймається катет зварного шва більший за розрахований за табл. 16.1 ДБН [7] (табл. Г.2 дод. Г до методичних рекомендацій). Крім цього, прийнятий катет зварного шва має бути не більше за  $1,2 \cdot t_w$ .

У нашому випадку за цією таблицею для автоматичного зварювання остаточно приймемо катет поясного шва для головної балки  $k_f = 6 \text{ мм}$  (менше, за  $1,2 \cdot t_w = 1,2 \cdot 10 = 12,0 \text{ мм}$ ).

## 4. РОЗРАХУНОК КІНЦЕВОЇ БАЛКИ

У цьому розділі розглядається кінцева балка мостового крана. Як і головна балка, кінцева балка проектується складеного зварного поперечного перерізу з окремих сталевих листів.

### 4.1. Визначення зусиль

Визначимо зусилля, які виникають у кінцевій балці. Основними навантаженнями, що діють на неї, є власна вага самої кінцевої балки та вертикальні опорні реакції від двох головних балок (у другому розрахунковому випадку).

Оскільки ці навантаження є нерухомими, то зусилля будемо визначати за епюрами. Розрахункова схема кінцевої балки являє собою шарнірно опертую балку (рис. 11).

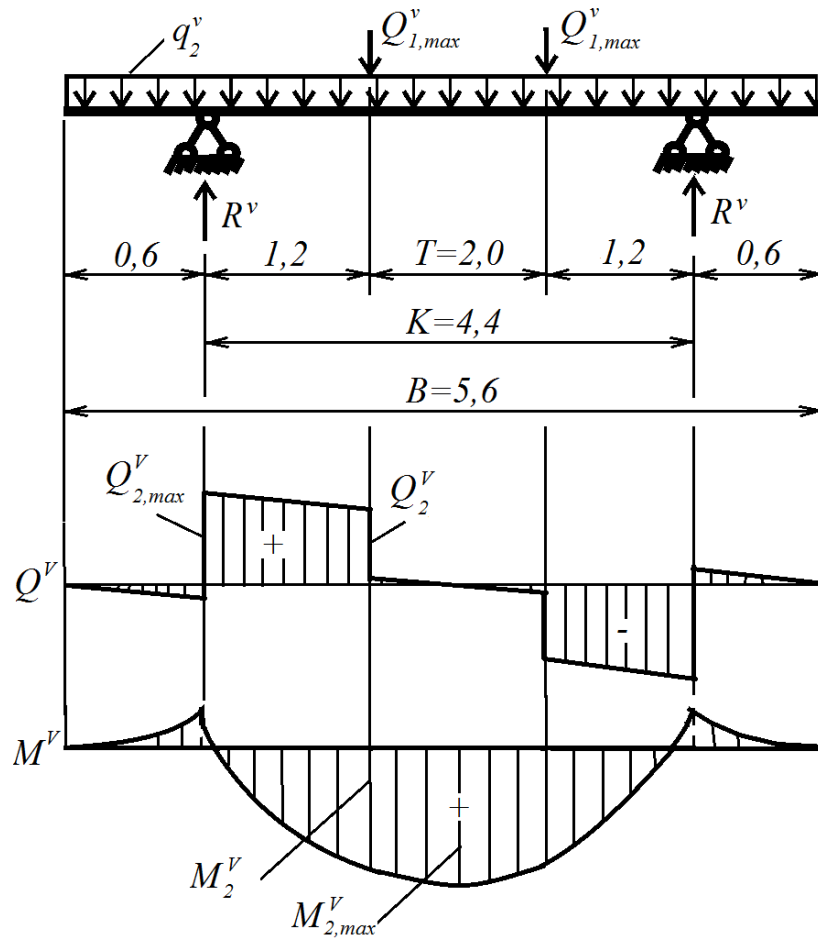


Рис. 11. Епюри зусиль від вертикальних навантажень для кінцевої балки

Опорні реакції в силу симетрії балки та навантаження на неї будуть однаковими і визначаються зі статичного рівняння рівноваги:

$$R_m^v = \frac{q_{2m}^v B}{2} + Q_{1m\max}^v = \frac{2,07 \cdot 5,6}{2} + 147,58 = 153,38 \text{ кН.}$$

Найбільш небезпечним перерізом кінцевої балки буде переріз у точці прикріплення головної балки. У цьому місці практично максимальні значення приймають поперечна сила та згинальний момент. Обчислимо їх.

Значення поперечної сили дорівнюватиме:

$$Q_{2m}^v = R_m^v - q_{2m}^v \frac{B - T}{2} = 153,38 - 2,07 \frac{5,6 - 2,0}{2} = 149,65 \text{ кН.}$$

Значення згинального моменту дорівнюватиме:

$$M_{2m}^v = R_m^v \frac{K-T}{2} - q_{2m}^v \frac{(B-T)^2}{8} = 153,38 \frac{4,4-2,0}{2} - 2,07 \frac{(5,6-2,0)^2}{8} = 180,70 \text{ кН} \cdot \text{м} = 18\,070 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Крім вертикальних навантажень на кінцеву балку діє поперечне навантаження від можливого перекосу моста крана. Його граничне розрахункове значення визначається за виразом:

$$F_m^p = 0,015 Q_{1m,\max}^v \left( \frac{L}{K} + 1,33V \right) = 0,015 \cdot 147,58 \left( \frac{10,5}{4,4} + 1,33 \cdot 0,75 \right) = 7,49 \text{ кН}.$$

Розрахункова схема кінцевої балки наведена на рис. 12.

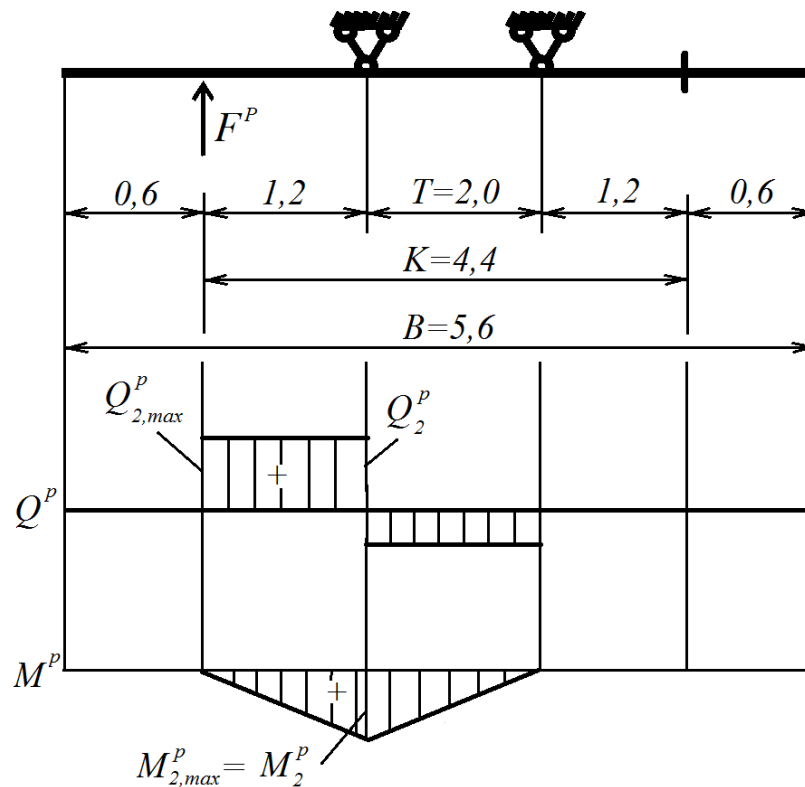


Рис. 12. Епюри зусиль від поперечних навантажень для кінцевої балки

Максимальні зусилля в цьому випадку будуть діяти в точці прикріплення головної балки. Обчислимо їх величини.

Значення поперечної сили дорівнюватиме:  $Q_{2m}^p = F_m^p = 7,49 \text{ кН}.$

Значення згинального моменту дорівнюватиме:

$$M_{2m}^p = F_m^p \frac{K-T}{2} = 7,49 \frac{4,4-2,0}{2} = 8,99 \text{ кН} \cdot \text{м} = 899 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

## 4.2. Компонування поперечного перерізу

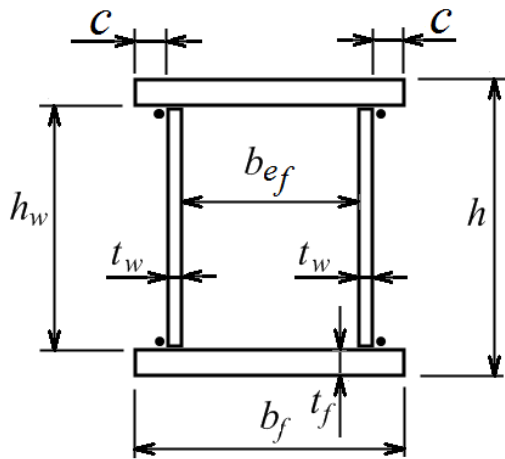


Рис. 13. Переріз кінцевої балки

Розрахунок кінцевої балки почнемо з компоновання її поперечного перерізу (рис. 13). Конструктивно він повністю аналогічний до перерізу головної балки, має коробчасту форму і складається з двох горизонтальних полиць та двох вертикальних стінок, зварених між собою односторонніми зварними швами. Для їх розміщення передбачається зв'яз  $c = 15 \dots 20$  мм. Полиці та стінки виконані з листової сталі. Необхідно визначити:  $h_w$  – висоту стінки;  $t_w$  – товщину стінки;  $b_f$  – ширину полиці;  $t_f$  – товщину полиці.

Визначення розмірів поперечного перерізу кінцевої балки починають з призначення висоти стінки, яку приймають рівною висоті стінки головної балки на опорі  $h_w = h_{w0} = 340$  мм = 34 см.

Товщину поясів також приймають рівними товщині поясів головної балки  $t_f = 14$  мм = 1,4 см. Це дає можливість конструктивно з'єднати головну та кінцеву балки.

Товщина стінки приймається більшою за значення

$$t_w = 0,01 h_{w0} \sqrt{\frac{21}{R_y}} = 0,01 \cdot 340 \sqrt{\frac{21}{22}} = 3,3 \text{ мм.}$$

За сортаментом прокатної сталі за ГОСТ 82-70\* [3] остаточно приймаємо  $t_w = 6$  мм = 0,6 см.

Ширину поясу приймають більшою за необхідну мінімальну відстань для розміщення коліс крана  $d$ , яка наведена в табл. В.5 дод. В до методичних рекомендацій.

У нашому випадку для вантажопідйомності крана  $Q = 16$  т (позиція 2 вихідних даних) за цією таблицею  $b_{ef} = 350$  мм. Тоді мінімальна ширина поясу становить:

$$b_{f \min} = b_{ef} + 2t_w + 2c = 350 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 15 = 392 \text{ мм.}$$

За сортаментом прокатної сталі за ГОСТ 82-70\* [3] приймаємо найближчу більшу ширину поясу  $b_f = 400$  мм = 40 см.

Скомпонований таким чином поперечний переріз кінцевої балки з усіма прийнятими розмірами зображено на рис. 14.

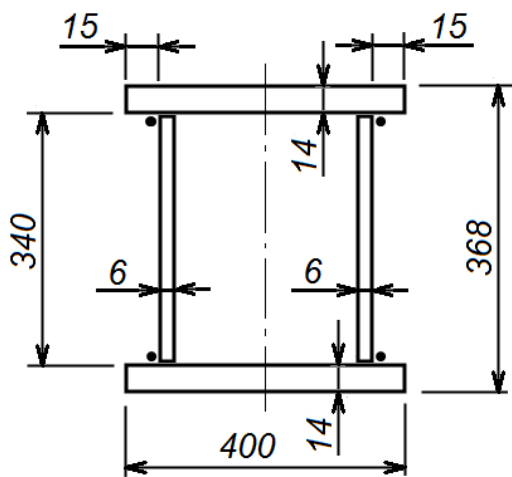


Рис. 14. Скомпонований переріз кінцевої балки

### 4.3. Перевірка поперечного перерізу

Для кінцевої балки достатньо виконати з восьми лише три перевірки за вимогами ДБН [2].

1. Міцність за приведеними напруженнями перевіряється в точці прикріплення головної балки, а в перерізі балки – у місцях з'єднання стінок та поясів між собою. При цьому, як і у випадку перевірки головної балки, враховується сумісна дія вертикальних і горизонтальних навантажень. Розрахунковий вираз має вигляд:

$$\frac{0,87}{R_y \gamma_c} \sqrt{\left(\frac{M_{2m}^v}{W^v} + \frac{M_{2m}^p}{W^p}\right)^2 + 3\left(\frac{Q_{2m}^v}{h_w t_w} + \frac{Q_{2m}^p}{(b_f - c) t_f}\right)^2} =$$

$$= \frac{0,87}{22 \cdot 0,8} \sqrt{\left(\frac{18\,070}{2\,296} + \frac{899}{1\,478}\right)^2 + 3\left(\frac{149,65}{34 \cdot 0,6} + \frac{7,49}{(40 - 1,5) \cdot 1,4}\right)^2} = 0,77 < 1,$$

де моменти інерції та опору у вертикальній та горизонтальній площинах для скомпонованого поперечного перерізу кінцевої балки дорівнюють:

$$I^v = 2 \left[ \frac{t_w h_w^3}{12} + \frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left( \frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right] =$$

$$= 2 \left[ \frac{0,6 \cdot 34^3}{12} + \frac{40 \cdot 1,4^3}{12} + 40 \cdot 1,4 \left( \frac{34 + 1,4}{2} \right)^2 \right] = 39\,037 \text{ см}^4;$$

$$W^v = \frac{2I^v}{h_w} = \frac{2 \cdot 39\,037}{34} = 2\,296 \text{ см}^3;$$

$$I^p = 2 \left[ \frac{t_f b_f^3}{12} + \frac{h_w t_w^3}{12} + h_w t_w \left( \frac{b_f - t_w}{2} - c \right)^2 \right] =$$

$$= 2 \left[ \frac{1,4 \cdot 40^3}{12} + \frac{34 \cdot 0,6^3}{12} + 34 \cdot 0,6 \left( \frac{40 - 0,6}{2} - 1,5 \right)^2 \right] = 28\,449 \text{ см}^4;$$

$$W^p = \frac{2I^p}{b_f} = \frac{2 \cdot 28\,449}{40} = 1\,478 \text{ см}^3.$$

Коефіцієнт умов робот для кінцевої балки  $\gamma_c = 0,8$ .

Таким чином, дана умова виконана.

Допускається перенапруження в межах 2 %. Невиконання цієї перевірки свідчить про необхідність збільшення товщини стінки або ширини поясу.

2. Місцева стійкість поясу балки перевіряється за величиною умовної гнучкості її поясу

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{35,8}{1,4} \sqrt{\frac{22}{20\,600}} = 0,84 < 1,5,$$

де відстань між внутрішніми гранями стінок перерізу дорівнює:

$$b_{ef} = b_f - 2c - 2t_w = 40 - 2 \cdot 1,5 - 2 \cdot 0,6 = 35,8 \text{ см.}$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину пояса балки.

3. Місцева стійкість стінки балки перевіряється за величиною умовної гнучкості її стінки

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{34}{0,6} \sqrt{\frac{22}{20\,600}} = 1,85 < 2,2.$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину стінки балки.

Остаточно скомпонований переріз відповідає зображеному на рис. 14.

## 5. КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ

У цьому розділі курсової роботи наводяться основні рекомендації з конструювання головної і кінцевої балок мостового крана, а також вузла їх з'єднання.

Креслення виконується на листі формату А2 (розміри  $594 \times 420$  мм) в стадії КМ. Загальне компонування листа наведено на рис. 15.

На цьому листі у відповідних полях зображують такі елементи:

- 1 – схема розташування елементів крана з двома видами;
- 2 – головна балка (до лінії симетрії);
- 3 – переріз 1–1 головної балки на опорі;
- 4 – переріз 2–2 головної балки в місці розташування основних діафрагм;

- 5 – переріз 3–3 кінцевої балки;
- 6 – поперечний переріз 4–4 моста крана;
- 7 – вид зверху вузла з'єднання балок;
- 8 – примітки;
- 9 – штамп.

Положення полів на листі не може змінюватися.

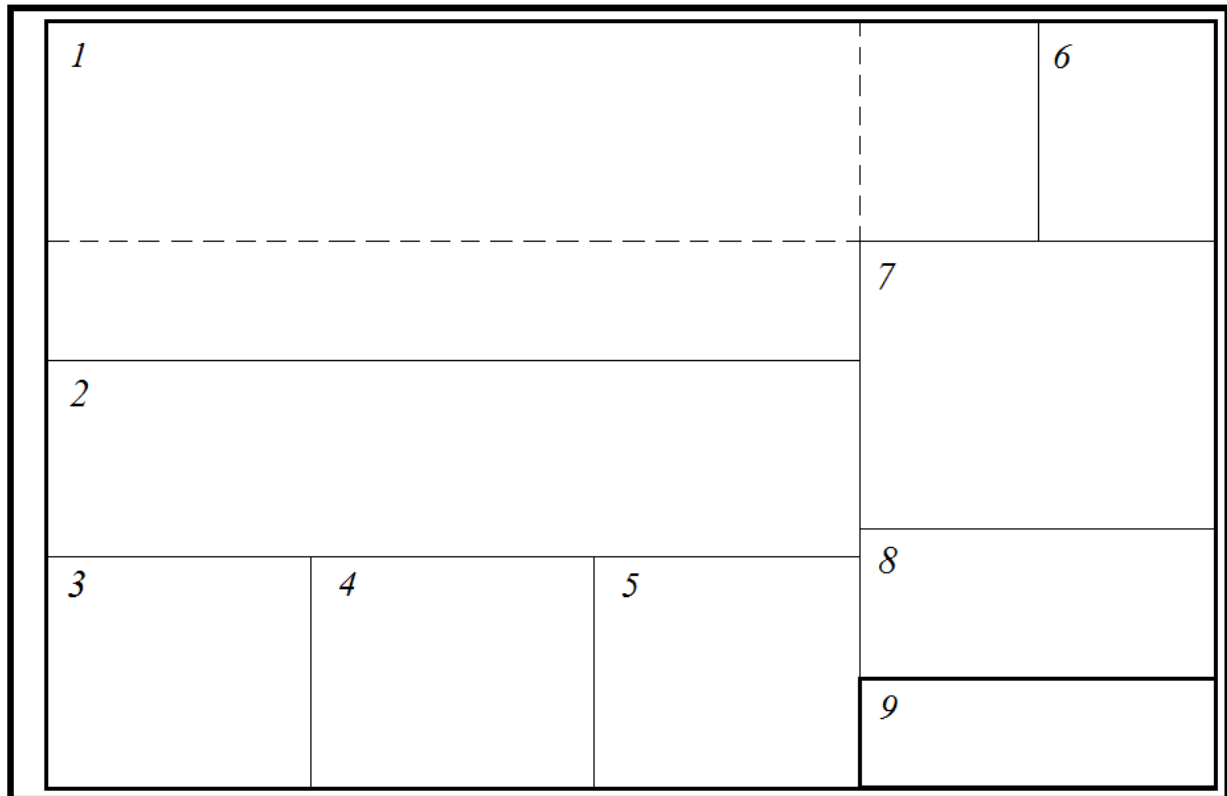


Рис. 15. Загальне компонування креслення

Усі креслення на листі виконуються в масштабі, проте сам масштаб не вказується. Для креслень металоконструкцій використовують такі масштаби – 1:2, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25, 1:40, 1:50, 1:75, 1:100, 1:200, 1:400, 1:500.

Поля на листі заповнюють таким чином.

1. Схема розташування елементів крана викреслюється за рис. 2.
2. На кресленні головної балки зображують діафрагми жорсткості, позначається розмірами їх місце розташування, вказується зварний шов, наносяться місця перерізів, проставляються всі необхідні розміри.
3. Переріз 1–1 викреслюється за рис. 10, б.
4. Переріз 2–2 викреслюється за рис. 10, а, на якому зображують основну діафрагму жорсткості. Її не доводять до нижнього поясу на 50 мм. Товщину діафрагми приймають конструктивно рівною товщині стінки головної балки.

У верхній частині під рейкою для візка діафрагму не приварюють на відстані  $114 + 2t_f$  мм, про що зазначають в примітках.

5. Переріз 3–3 викреслюється за рис. 14.

6. Переріз 4–4 викреслюється за рис. 2.

7. Вузол з'єднання головної і кінцевої балок виконується зварним на накладках (рис. 16). Конструювання виконують поетапно:

а) на осях прокреслюють головну і другорядну балки, між якими залишають зазор 20...30 мм;

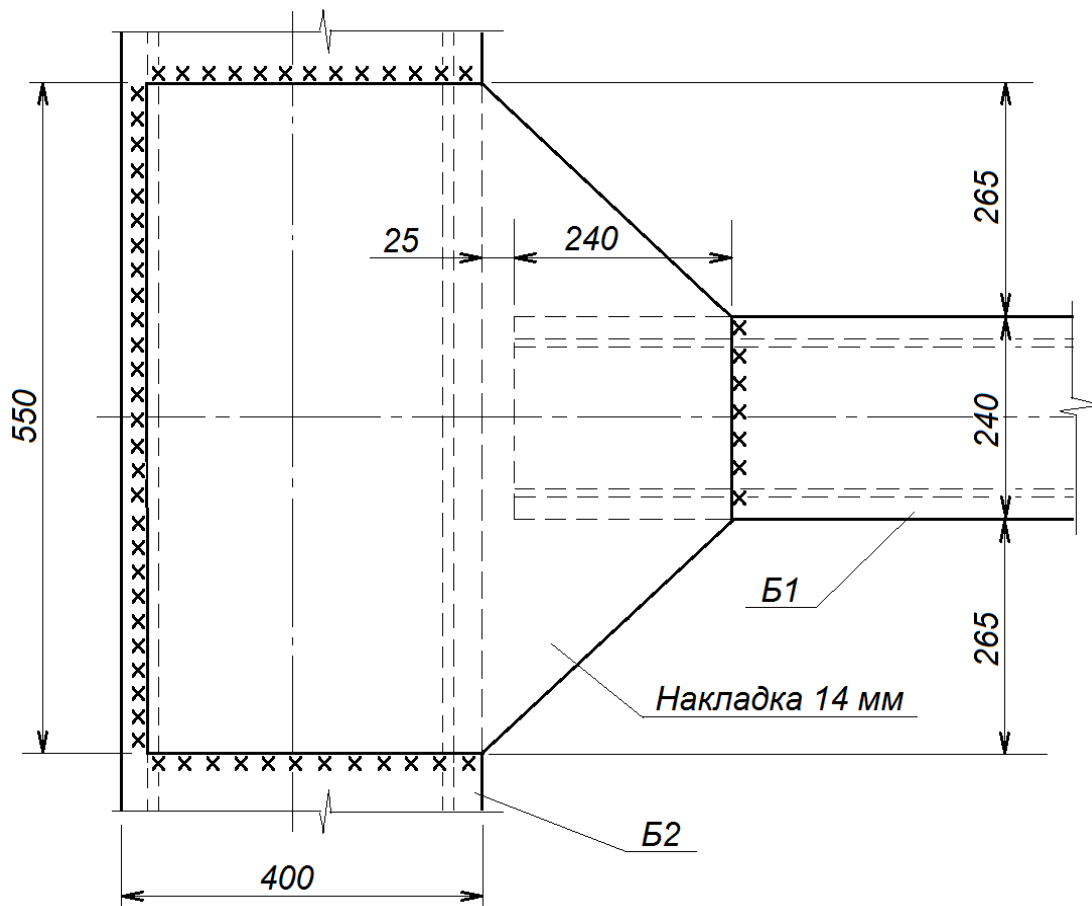


Рис. 16. Вузол з'єднання головної і кінцевої балок

б) накладкой об'єднують вузол, заводячи її на головну балку на відстань ширини балки;

в) скіс накладки приймають під кутом  $45^\circ$ , отримуючи таким чином ширину накладки на другорядній балці;

г) товщину накладки призначають конструктивно рівною товщині полки головної балки.

8. Примітки узагальнюють вказівки з виготовлення елементів мостового крана. Рекомендується наводити типові примітки за табл. 1.

9. Штамп заповнюють за формою прийнятого зразку (наприклад, за наведеною на рис. 17).



Усі підписи на листі виконуються шрифтами за ГОСТ [4]. При цьому використовують шрифти трьох розмірів:

- розмір 3,5 для проставлення всіх розмірів і текстових пояснень (поля 1–7) та заповнення штампу (поле 9);
- розмір 5 для нумерації перерізів (поля 1, 2), запису приміток (поле 8);
- розмір 7 для підпису перерізів, видів (поля 1–7).

Таблиця 1

### Типові примітки до креслень металоконструкцій

| № пор.    | Текст примітки                                                                                                                                  |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Основні   |                                                                                                                                                 |
| 1         | Матеріал конструкцій – сталь класу С... за ГОСТ ..., конструкцій ого-<br>родження – Ст3кп2 за ГОСТ 380                                          |
| 2         | Усі заводські з'єднання зварні. Зварювання виконувати електродами<br>типу ...                                                                   |
| 3         | Катет неоговорених зварних швів ... мм                                                                                                          |
| 4         | Кромки діафрагм, що примикають до верхнього поясу головних балок,<br>на довжині підосви рейки плюс дві товщини поясу ... мм не прива-<br>рювати |
| 5         | Сталеві конструкції запроектовані відповідно до діючих норм<br>ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування»                     |
| Додаткові |                                                                                                                                                 |
| 6         | Виготовлення і монтаж конструкцій виконувати відповідно до діючих<br>технічних умов                                                             |
| 7         | Креслення металоконструкції розроблені на основі ... (технічного зав-<br>дання, архітектурно-будівельних креслень)                              |
| 8         | Заходи щодо захисту сталевих конструкцій від корозії виконувати<br>відповідно до діючих норм ДБН ...                                            |
| 9         | Після виготовлення сталеві конструкції відґрунтувати та пофарбувати<br>масляною фарбою за 2 рази                                                |

Усі креслення виконуються з використанням ліній двох товщин:

- основної (0,5...1,0 мм) для зображення видимого контуру елементів і креслення таблиць;
- тонкої (0,1...0,3 мм) для зображення всіх інших елементів та простав-  
лення розмірів.

The diagram shows a rectangular stamp form with overall dimensions of 185 (width) by 55 (height). The form is divided into several sections with specific dimensions:

- Top section:** A header area with a total width of 120 and a height of 10. It contains the text "Навчальний № студента, група".
- Second section:** A section with a total width of 120 and a height of 15. It contains the text "Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академ. В.Лазаряна".
- Third section:** A section with a total width of 120 and a height of 5. It contains the text "Змін.", "Кільк.", "Арк.", "№ док.", "Підпис", and "Дата".
- Fourth section:** A section with a total width of 120 and a height of 10. It contains the text "Назва курсового проекту", "Стадія", "Лист", and "Листів". The values "Н", "1", and "1" are shown in the respective fields.
- Fifth section:** A section with a total width of 120 and a height of 15. It contains the text "Керівник", "Прізвище, викл.", "Перелік основних елементів креслення", and "Кафедра будівельного виробництва та геодезії".
- Sixth section:** A section with a total width of 120 and a height of 15. It contains the text "Розробив", "Прізвище, студ.", and "Кафедра будівельного виробництва та геодезії".

The form is divided into 11 horizontal sections, with the first 5 sections having a height of 10, 15, 5, 10, and 15 respectively, and the last 6 sections having a height of 10, 15, 5, 10, 15, and 10 respectively. The total width is 185, and the total height is 55.

Рис. 17. Форма для штампу

На цьому етапі виконання курсової роботи вважається завершеним.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.1.2-2:2006 (зі змінами). Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Чин. з 01.01.2007. – Київ : Держбуд, 2007. – 62 с.
2. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [Текст]. – Введ. 13.01.15. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. – 205 с.
3. ГОСТ 82-70\*. Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный. Сортамент [Текст]. – Москва : Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.
4. ГОСТ 2.304-81. Шрифты чертежные [Текст]. – Введ. 01.01.82. – Москва : ИПК Изд-во стандартов, 1982. – 27 с.
5. ГОСТ 19903-74\*. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент [Текст]. – Введ. 01.01.72. – Москва : Изд-во стандартов, 1989. – 18 с.
6. ГОСТ 25711-83. Краны мостовые электрические общего назначения грузоподъемностью от 5 до 50 т. Типы, основные параметры и размеры [Текст]. – Введ. Пост. Гос. ком. СССР по станд. 12.04.83. – Москва : Госуд. комитет СССР по стандартам, 1983. – 19 с.
7. СНиП II -23-81\*. Стальные конструкции [Текст]. – Введ. 01.01.82. – Москва : Госстрой, 1990. – 96 с.

# **СОРТАМЕНТ ЛИСТОВОЇ ГАРЯЧЕКАТАНОЇ СТАЛІ**

Таблиця А.1

## **Сталь широкосмугова універсальна (за ГОСТ 82-70\* [3])**

| Товщина, мм       | Ширина, мм                                      |
|-------------------|-------------------------------------------------|
| 6 7 8 9           | 200 210 220 240 250 260 280 300 320 340 360 380 |
| 10 11 12 14 16 18 | 400 420 450 460 480                             |
| 20 22 25 28       | 500 520 530 560                                 |
| 30 32 36          | 600 630 650 670                                 |
| 40 45 50 55 60    | 700 750 800 850 900 950 1000 1050               |

Таблиця А.2

## **Сталь товстолистова (вибірка за ГОСТ 19903-74\* [5])**

| Товщина, мм                                  | Ширина, мм                                                                                                    |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 5 6 7                                      | 1100 1250 1400 1420 1500 1600 1700 1800 1900 2000                                                             |
| 8 9 10 11 12                                 | 1100 1250 1400 1420 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200 2300 2400 2500                                    |
| (13) 14 (15) 16 (17) 18 20 (21) 22 (24) 25   | 1100 1250 1400 1420 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800                     |
| 28 30 32 (34) 36 40 45 50 55 60 70 80 90 100 | 1250 1400 1420 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3000 3200 3400 3600 |

Примітка. У дужках подано товщини, які не рекомендуються для практичного застосування.

## РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛІ

Таблиця Б.1

Характеристичні й розрахункові опори сталі під час розтягу, стиску та згину  
для листового, широкозмугового універсального і фасонного прокату відповідно до класів міцності прокату сталі

| Клас<br>міцності<br>прокату сталі | Товщина<br>прокату <sup>1)</sup> , мм | Характеристичний опір <sup>2)</sup> прокату, Н/мм <sup>2</sup> , |           |          | Розрахунковий опір <sup>3)</sup> прокату, Н/мм <sup>2</sup> , |           |          |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------|----------|---------------------------------------------------------------|-----------|----------|
|                                   |                                       | листового, широкозмугового, універсального                       | фасонного |          | листового, широкозмугового, універсального                    | фасонного |          |
|                                   |                                       | $R_{yn}$                                                         | $R_{ym}$  | $R_{yt}$ |                                                               | $R_{yt}$  | $R_{tt}$ |
| C235                              | Від 2 до 20                           | 235                                                              | 360       | 235      | 360                                                           | 230       | 350      |
|                                   | Понад 20 до 40                        | 225                                                              | 360       | 225      | 360                                                           | 220       | 350      |
|                                   | Понад 40 до 100                       | 215                                                              | 360       | —        | —                                                             | 210       | —        |
|                                   | Понад 100                             | 195                                                              | 360       | —        | —                                                             | 190       | —        |
| C245                              | Від 2 до 20                           | 245                                                              | 370       | 245      | 370                                                           | 240       | 360      |
|                                   | Понад 20 до 30                        | —                                                                | —         | 235      | 370                                                           | —         | 360      |
|                                   | Від 2 до 3,9                          | 255                                                              | 380       | —        | —                                                             | 250       | —        |
| C255                              | Від 4 до 10                           | 245                                                              | 370       | 255      | 380                                                           | 240       | 370      |
|                                   | Понад 10 до 20                        | 245                                                              | 370       | 245      | 370                                                           | 240       | 360      |
|                                   | Понад 20 до 40                        | 235                                                              | 370       | 235      | 370                                                           | 230       | 360      |
| C275                              | Від 2 до 10                           | 275                                                              | 380       | 275      | 390                                                           | 270       | 380      |
|                                   | Понад 10 до 20                        | 265                                                              | 370       | 275      | 380                                                           | 260       | 370      |

Продовження табл. Б.1

| Клас<br>міцності<br>прокату сталі | Товщина<br>прокату <sup>1)</sup> , мм | Характеристичний опір <sup>2)</sup> прокату, Н/мм <sup>2</sup> , |          |           |          | Розрахунковий опір <sup>3)</sup> прокату, Н/мм <sup>2</sup> , |       |           |       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|---------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------|
|                                   |                                       | листового, широкоуго-<br>лого, універсального                    |          | фасонного |          | листового, широкоуго-<br>лого, універсального                 |       | фасонного |       |
|                                   |                                       | $R_{yn}$                                                         | $R_{un}$ | $R_{yn}$  | $R_{un}$ | $R_y$                                                         | $R_u$ | $R_y$     | $R_u$ |
| С285                              | Від 2 до 3,9                          | 285                                                              | 390      | —         | —        | 280                                                           | 380   | —         | —     |
|                                   | Від 4 до 10                           | 275                                                              | 390      | 285       | 400      | 270                                                           | 380   | 280       | 390   |
|                                   | Понад 10 до 20                        | 265                                                              | 380      | 275       | 390      | 260                                                           | 370   | 270       | 380   |
|                                   | До 100                                | 295                                                              | 430      | 295       | 430      | 285                                                           | 420   | 285       | 420   |
| С325                              | Понад 10 до 20                        | 325                                                              | 470      | 325       | 470      | 315                                                           | 460   | 315       | 460   |
|                                   | Понад 20 до 40                        | 305                                                              | 460      | 305       | 460      | 300                                                           | 450   | 300       | 450   |
|                                   | Понад 40 до 60                        | 285                                                              | 450      | —         | —        | 280                                                           | 440   | —         | —     |
|                                   | Понад 60 до 80                        | 275                                                              | 440      | —         | —        | 270                                                           | 430   | —         | —     |
| С345                              | Понад 80 до 100                       | 265                                                              | 430      | —         | —        | 260                                                           | 420   | —         | —     |
|                                   | Від 2 до 10                           | 345                                                              | 490      | 345       | 490      | 335                                                           | 480   | 335       | 480   |
|                                   | Понад 10 до 20                        | 325                                                              | 470      | 325       | 470      | 315                                                           | 460   | 315       | 460   |
|                                   | Понад 20 до 40                        | 305                                                              | 460      | 305       | 460      | 300                                                           | 450   | 300       | 450   |
| С345К                             | Від 4 до 10                           | 345                                                              | 470      | 345       | 470      | 335                                                           | 460   | 335       | 460   |
| С355                              | Від 8 до 50                           | 355                                                              | 450      | —         | —        | 350                                                           | 440   | —         | —     |

Продовження табл. Б.1

| Клас<br>міцності<br>прокату сталі | Товщина<br>прокату <sup>1)</sup> , мм | Характеристичний опір <sup>2)</sup> прокату, Н/мм <sup>2</sup> , |          |           |          | Розрахунковий опір <sup>3)</sup> прокату, Н/мм <sup>2</sup> , |       |           |       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|---------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------|
|                                   |                                       | фасонного                                                        |          | фасонного |          | фасонного                                                     |       | фасонного |       |
|                                   |                                       | $R_{ym}$                                                         | $R_{un}$ | $R_{ym}$  | $R_{un}$ | $R_y$                                                         | $R_u$ | $R_y$     | $R_u$ |
| С375                              | Від 2 до 10                           | 375                                                              | 510      | 375       | 510      | 365                                                           | 500   | 365       | 500   |
|                                   | Понад 10 до 20                        | 355                                                              | 490      | 355       | 490      | 345                                                           | 480   | 345       | 480   |
|                                   | Понад 20 до 40                        | 335                                                              | 480      | 335       | 480      | 325                                                           | 470   | 325       | 470   |
|                                   | Від 4 до 50                           | 390                                                              | 540      | —         | —        | 380                                                           | 530   | —         | —     |
| С390                              | Від 4 до 30                           | 390                                                              | 540      | —         | —        | 380                                                           | 530   | —         | —     |
| С420                              | Від 4 до 16                           | 420                                                              | 540      | —         | —        | 410                                                           | 530   | —         | —     |
|                                   | Від 16 до 40                          | 400                                                              | 530      | —         | —        | 390                                                           | 515   | —         | —     |
|                                   | Від 40 до 63                          | 390                                                              | 530      | —         | —        | 380                                                           | 515   | —         | —     |
|                                   | Від 63 до 80                          | 370                                                              | 520      | —         | —        | 360                                                           | 505   | —         | —     |
| С440                              | Від 4 до 30                           | 440                                                              | 590      | —         | —        | 430                                                           | 575   | —         | —     |
|                                   | Понад 30 до 50                        | 410                                                              | 570      | —         | —        | 400                                                           | 555   | —         | —     |
| С460                              | Від 4 до 16                           | 460                                                              | 570      | —         | —        | 445                                                           | 555   | —         | —     |
|                                   | Від 16 до 40                          | 440                                                              | 560      | —         | —        | 430                                                           | 545   | —         | —     |
|                                   | Від 40 до 63                          | 430                                                              | 560      | —         | —        | 420                                                           | 545   | —         | —     |
|                                   | Від 63 до 80                          | 410                                                              | 540      | —         | —        | 400                                                           | 530   | —         | —     |

Закінчення табл. Б.1

| Клас<br>міцності<br>прокату сталі | Товщина<br>прокату <sup>1)</sup> , мм | Характеристичний опір <sup>2)</sup> прокату, Н/мм <sup>2</sup> , |          |           |          | Розрахунковий опір <sup>3)</sup> прокату, Н/мм <sup>2</sup> , |         |           |       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|---------------------------------------------------------------|---------|-----------|-------|
|                                   |                                       | листового, широкоуго-<br>го, універсального                      |          | фасонного |          | листового, широкоуго-<br>вого, універсального                 |         | фасонного |       |
|                                   |                                       | $R_{ym}$                                                         | $R_{tm}$ | $R_{ym}$  | $R_{tm}$ | $R_y$                                                         | $R_u$   | $R_y$     | $R_u$ |
| C490                              | Від 8 до 50                           | 490                                                              | 590      | —         | —        | 475                                                           | 575     | —         | —     |
| C500                              | Від 3 до 50                           | 500                                                              | 590–770  | —         | —        | 485                                                           | 575–750 | —         | —     |
|                                   | Від 50 до 100                         | 480                                                              |          | —         | —        | 465                                                           |         | —         | —     |
| C590                              | Від 10 до 36                          | 590                                                              | 685      | —         | —        | 540                                                           | 617     | —         | —     |
| C590K                             | Від 10 до 40                          | 590                                                              | 685      | —         | —        | 540                                                           | 617     | —         | —     |
| C620                              | Від 3 до 50                           | 620                                                              | 700–890  | —         | —        | 600                                                           | 680–865 | —         | —     |
|                                   | Від 50 до 100                         | 580                                                              |          | —         | —        | 565                                                           |         | —         | —     |

Примітки:

<sup>1)</sup> За товщину фасонного прокату приймається товщина полиці.<sup>2)</sup> За характеристичні опори прийняті гарантовані значення границі текучості і тимчасового опору.<sup>3)</sup> Значення розрахункових опорів одержані діленням характеристичних опорів на коефіцієнти надійності за матеріалом  $\gamma_m$  із заокруглен-  
ням до 5 Н/мм<sup>2</sup>. Для класів міцності прокату сталі C235–C500; C620 враховано  $\gamma_m = 1,025$ , а для класів C590; C590K враховано  $\gamma_m = 1,1$ .1. Розрахункові опори прокату конкретних марок сталей, які наведені у табл. Г.5, слід приймати з урахуванням коефіцієнта надійності за  
матеріалом  $\gamma_m$ , який визначається згідно з табл. 7.2.2. Розрахункові опори  $R_{yw}$  стінок гарячекатаних двотаврів і швелерів допускається збільшувати на 10 % порівняно до  $R_y$ .

## ДОВІДКОВІ ДАНІ ПРО МОСТОВІ КРАНИ

Таблиця В.1

Дані про електричні мостові крани вантажопідйомністю 5–50 т (за ГОСТом [6]<sup>2</sup>)

| Вантажо-<br>підйомність<br>крана $Q$ , т | Проліт крана<br>$L$ , м | Геометричні розміри крана, мм |          |                                             | Геометричні розміри<br>візка, мм |          | Маса<br>візка, т |
|------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------|---------------------------------------------|----------------------------------|----------|------------------|
|                                          |                         | Ширина $B$                    | База $K$ | Мінімальне<br>наближення<br>гака $a_{\min}$ | Ширина<br>колії $T$              | База $P$ |                  |
| 5                                        | 10,5                    | 4 700                         | 3 700    | 1 100                                       | 1 400                            | 1 000    | 2,0              |
|                                          | 16,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 22,5                    | 6 000                         | 5 000    |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 28,5                    | 6 600                         | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |
| 8                                        | 34,5                    | 5 400                         | 4 400    | 1 150                                       | 1 600                            | 1 100    | 2,2              |
|                                          | 10,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 16,5                    | 6 000                         | 5 000    |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 22,5                    | 6 600                         | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 28,5                    | 6 000                         | 5 000    | 1 150                                       | 1 600                            | 1 100    | 2,2              |
|                                          | 34,5                    | 6 600                         | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |

<sup>2</sup> Даний стандарт у теперішній час не діє на території України, тому наведені дані мають суто довідковий характер.



Продовження табл. В.1

| Вантажо-<br>підйомність<br>крана $Q$ , т | Проліт крана<br>$L$ , м | Геометричні розміри крана, мм |          |                                             | Геометричні розміри<br>візка, мм |          | Маса<br>візка, т |
|------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------|---------------------------------------------|----------------------------------|----------|------------------|
|                                          |                         | Ширина $B$                    | База $K$ | Мінімальне<br>наближення<br>гака $a_{\min}$ | Ширина<br>колії $T$              | База $P$ |                  |
| 10                                       | 10,5                    | 5 400                         | 4 400    | 1 200                                       | 2 000                            | 1 300    | 2,4              |
|                                          | 16,5                    |                               | 5 000    |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 22,5                    |                               | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 28,5                    |                               | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |
| 12,5                                     | 34,5                    | 5 500                         | 4 400    | 1 250                                       | 2 000                            | 2 000    | 3,0              |
|                                          | 10,5                    |                               | 5 000    |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 16,5                    |                               | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 22,5                    |                               | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |
| 16                                       | 28,5                    | 5 600                         | 4 400    | 1 300                                       | 2 000                            | 2 400    | 3,7              |
|                                          | 34,5                    |                               | 5 000    |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 10,5                    |                               | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 16,5                    |                               | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |

Продовження табл. В.1

| Вантажо-<br>підйомність<br>крана $Q$ , т | Проліт крана<br>$L$ , м | Геометричні розміри крана, мм |          |                                             | Геометричні розміри<br>візка, мм |          | Маса<br>візка, т |       |       |       |     |
|------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------|---------------------------------------------|----------------------------------|----------|------------------|-------|-------|-------|-----|
|                                          |                         | Ширина $B$                    | База $K$ | Мінімальне<br>наближення<br>гака $a_{\min}$ | Ширина<br>колеи $T$              | База $P$ |                  |       |       |       |     |
| 16/3,2                                   | 10,5                    | 5 600                         | 4 400    | 1 300                                       | 2 000                            | 2 400    | 4,7              |       |       |       |     |
|                                          | 16,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 22,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 28,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 34,5                    | 6 200                         | 5 000    | 1 400                                       | 2 000                            | 2 400    | 6,3              |       |       |       |     |
|                                          | 6 800                   | 5 600                         |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 10,5                    | 5 600                         | 4 400    |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 16,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
| 22,5                                     |                         |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
| 32/5                                     | 28,5                    | 6 200                         | 5 000    | 1 600                                       | 2 500                            | 3 200    | 8,7              |       |       |       |     |
|                                          | 34,5                    | 6 800                         | 5 600    |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 10,5                    | 6 300                         | 5 100    |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 16,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 22,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 28,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 34,5                    | 6 300                         | 5 100    |                                             |                                  |          |                  | 1 600 | 2 500 | 3 200 | 8,7 |
|                                          | 10,5                    | 6 300                         | 5 100    |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 16,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 22,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          | 28,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |       |       |       |     |
|                                          |                         | 34,5                          | 6 800    | 5 600                                       |                                  |          |                  |       |       |       |     |

Закінчення табл. В.1

| Вантажо-<br>підйомність<br>крана $Q$ , т | Проліт крана<br>$L$ , м | Геометричні розміри крана, мм |          |                                             | Геометричні розміри<br>візка, мм |          | Маса<br>візка, т |
|------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------|---------------------------------------------|----------------------------------|----------|------------------|
|                                          |                         | Ширина $B$                    | База $K$ | Мінімальне<br>наближення<br>гака $a_{\min}$ | Ширина<br>колії $T$              | База $P$ |                  |
| 50/12,5                                  | 10,5                    |                               |          |                                             |                                  |          | 13,5             |
|                                          | 16,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 22,5                    | 6 860                         | 5 600    | 1 800                                       | 2 500                            | 3 200    |                  |
|                                          | 28,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |
|                                          | 34,5                    |                               |          |                                             |                                  |          |                  |

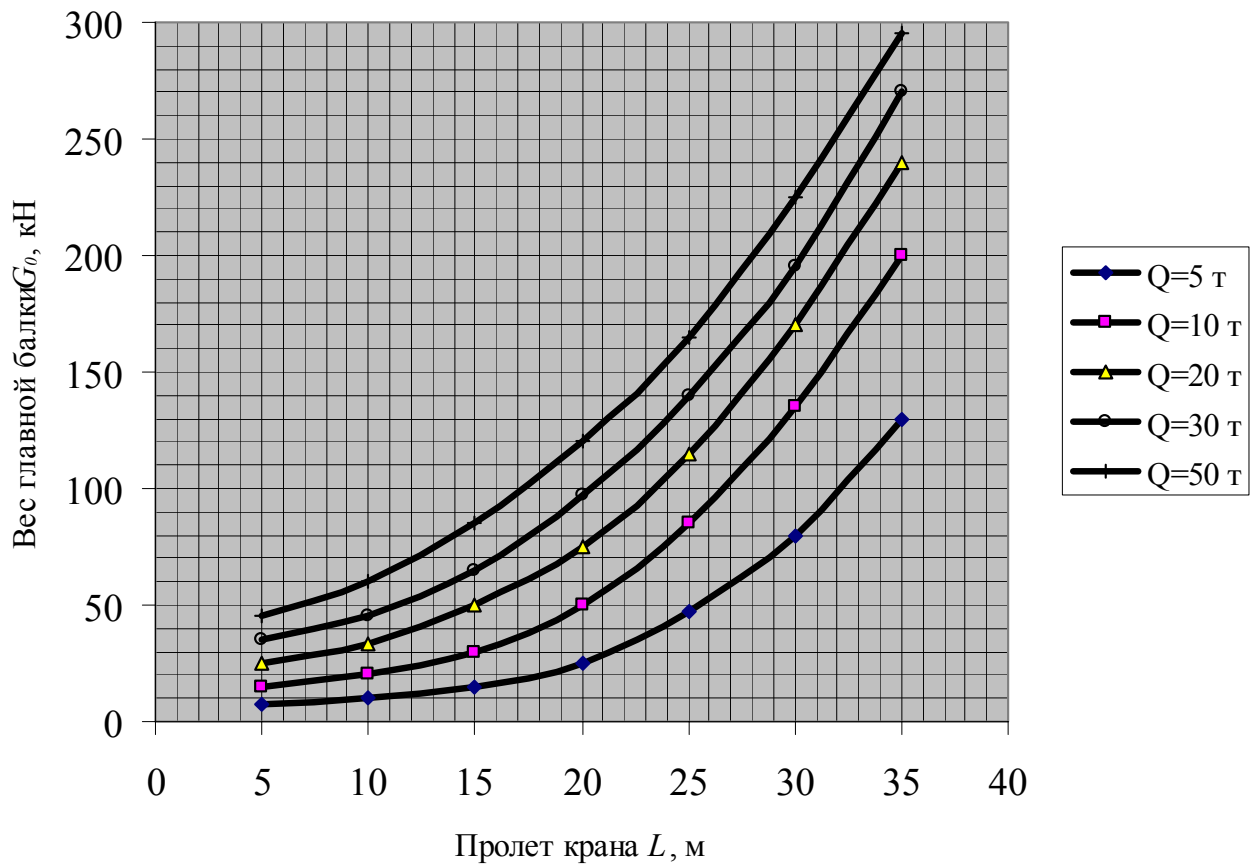


Рис. В.1. Характеристичне значення власної ваги половини моста крана (для режимів роботи крана 4К–6К)

Таблица В.2

**Вага елементів механізму пересування мостового крана**

| Вантажопідйомність крана $Q$ , т | Вага трансмісійного валу $q_0^{т.в}$ , кН/м | Вага центрального вузла керування крана $G_0^{ц.в}$ , кН |
|----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 5...16                           | 1,0                                         | 9                                                        |
| 20...32                          | 1,5                                         | 12                                                       |
| 50                               | 2,0                                         | 20                                                       |

Таблица В.3

**Коефіцієнт вертикальної динаміки  $k_{д.в}$  мостового крана**

| Швидкість крана $V$ , м/с | Значення коефіцієнта $k_{д.в}$ |
|---------------------------|--------------------------------|
| До 0,50                   | 1,0                            |
| 0,50...1,00               | 1,1                            |
| Більше 1,00               | 1,2                            |

Таблиця В.4

**Коефіцієнт перевантаження  $K_Q$  мостового крана**

| Вантажопідйомність крана $Q$ , т | Режим роботи крана |        |        |        |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|
|                                  | 1К, 2К             | 3К, 4К | 5К, 6К | 7К, 8К |
| 5; 8                             | 1,15               | 1,25   | 1,35   | 1,50   |
| 10; 12,5                         | 1,10               | 1,20   | 1,25   | 1,50   |
| 16; 20                           | 1,10               | 1,15   | 1,20   | 1,40   |
| 32; 50                           | 1,10               | 1,10   | 1,15   | 1,30   |

Таблиця В.5

**Мінімальні відстані між внутрішніми стінками кінцевої балки**

| Вантажопідйомність крана $Q$ , т | Відстань $b_{ef}$ , мм |
|----------------------------------|------------------------|
| 5; 8                             | 240                    |
| 10; 12,5                         | 315                    |
| 16; 20                           | 350                    |
| 32; 50                           | 390                    |

**Додаток Г****РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРНИХ ШВІВ**

Таблиця Г.1

**Характеристичні та розрахункові опори металу кутових швів**

| Рекомендований клас міцності основного металу | Метал кутового шва                                  |                                                 |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                               | Характеристичний опір $R_{wul}$ , Н/мм <sup>2</sup> | Розрахунковий опір $R_{wf}$ , Н/мм <sup>2</sup> |
| С315 і нижче                                  | 410                                                 | 180                                             |
| Вище С315 до С355 вкл.                        | 450                                                 | 200                                             |
| Вище С355 до С390 вкл.                        | 490                                                 | 215                                             |
| Вище С390 до С440 вкл.                        | 590                                                 | 240                                             |
| Вище С440                                     | 685                                                 | 280                                             |

Мінімальні катети зварних швів

| Вид з'єднання                                             | Вид зварювання                                  | Характеристичний опір прокагу сталі $R_{yn}$ , Н/мм <sup>2</sup> | Мінімальний катет шва $k_{fmin}$ , мм, при товщині товстішого елемента у з'єднанні $t_{max}$ , мм |        |         |         |         |         |         |  |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
|                                                           |                                                 |                                                                  | 4...5                                                                                             | 6...10 | 11...16 | 17...22 | 23...32 | 33...40 | 41...80 |  |
| Таврове з двосторонніми кутовими швами; напускне і кутове | Ручне та механізоване в суміші газів            | $R_{yn} \leq 290$                                                | 4                                                                                                 | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |  |
|                                                           |                                                 | $290 \leq R_{yn} \leq 390$                                       | 4                                                                                                 | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |  |
|                                                           |                                                 | $390 \leq R_{yn} \leq 590$                                       | 5                                                                                                 | 6      | 7       | 8       | 9       | 10      | 12      |  |
|                                                           | Механізоване у вуглекислому газі                | $R_{yn} \leq 290$                                                | 3                                                                                                 | 4      | 4       | 5       | 5       | 6       | 6       |  |
| Таврове з односторонніми кутовими швами                   | Ручне та механізоване в суміші газів            | $290 \leq R_{yn} \leq 390$                                       | 3                                                                                                 | 4      | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       |  |
|                                                           |                                                 | $390 \leq R_{yn} \leq 590$                                       | 4                                                                                                 | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |  |
|                                                           |                                                 |                                                                  | 5                                                                                                 | 6      | 7       | 8       | 9       | 10      | 12      |  |
|                                                           | Автоматичне та механізоване у вуглекислому газі | $R_{yn} \leq 390$                                                | 4                                                                                                 | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |  |

Примітки. 1. У конструкціях зі сталі з границею плинності понад 590 Н/мм<sup>2</sup>, а також з усіх сталей при товщині елементів у з'єднанні понад 80 мм мінімальний катет кутових швів слід приймати за спеціальними нормативними документами.

2. У конструкціях 4-ї групи мінімальний катет односторонніх кутових швів слід зменшувати на 1 мм – при товщині товстішого елемента у з'єднанні до 40 мм і на 2 мм – при товщині товстішого елемента у з'єднанні понад 40 мм.

Для нотаток

Виробничо-практичне видання

**Банніков** Дмитро Олегович

**ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МАШИН**  
**ПРОЕКТУВАННЯ МОСТОВОГО КРАНА**

Методичні рекомендації до виконання курсової роботи

Редактор *Ю. Г. Дішкант*  
Комп'ютерна верстка *О. М. Гончаренко*

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 2,73. Обл.-вид. арк. 2,90.  
Тираж 10 пр. Зам. №

Дніпровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010