

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Будівельне виробництво та геодезія»

В авторській редакції

ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МАШИН

Навчально-методичні рекомендації до виконання
курсної роботи
«ПРОЄКТУВАННЯ МОСТОВОГО КРАНУ»

Електронне видання

ДНІПРО
2025

УДК 621.874(079.1)

Б 23

Автор:
Д. О. Банніков

Електронне видання

Рекомендовано ГЗЯОП «Підйомно-транспортні, будівельні та колійні машини»
Протокол № 3 від 23.01.2025 р.

Рекомендовано ГЗЯОП «Експлуатація та ремонт техніки Держспецтрансслужби»
Протокол № 1 від 24.01.2025 р.

Б 23 Банніков, Д. О. Проектування металоконструкцій машин : навчально-методичні рекомендації до виконання курсової роботи «Проектування мостового крану» / Д. О. Банніков ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – 2-ге вид. випр. і допов. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 52 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами всіх форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» (G11 Машинобудування) під час самостійної роботи для виконання курсової роботи з дисципліни «Проектування металоконструкцій машин», а також можуть бути корисними під час підготовки випускних кваліфікаційних робіт.

Розрахункова частина цих методичних рекомендацій може додатково використовуватись для виконання розрахунково-графічних робіт відповідно до робочих програм навчальних дисциплін.

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

Іл. 18. Табл. 10. Бібліогр.: 8 назв.

© Банніков Д. О., 2025

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА (до 2-ї редакції)	4
ВСТУП	5
ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ Й ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ	7
ВИБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ	8
1. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ	10
1.1. Розрахункові характеристики сталі	10
1.2. Характеристики мостового крану	10
2. ЗБІР НАВАНТАЖЕНЬ	12
2.1. Характеристичні значення	12
2.2. Розрахункові вертикальні навантаження	13
2.3. Розрахункові поздовжні навантаження	14
2.4. Розрахункові сполучення навантажень	15
3. РОЗРАХУНОК ГОЛОВНОЇ БАЛКИ	17
3.1. Визначення зусиль	17
3.2. Компонування поперечного перерізу	20
3.3. Перевірка поперечного перерізу	23
3.4. Розрахунок поясного шву	29
4. РОЗРАХУНОК КІНЦЕВОЇ БАЛКИ	30
4.1. Визначення зусиль	30
4.2. Компонування поперечного перерізу	31
4.3. Перевірка поперечного перерізу	34
5. КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ	36
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ	41
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	43
ДОДАТОК А. Сортамент листової гарячекатаної сталі	44
ДОДАТОК Б. Розрахункові характеристики сталі	45
ДОДАТОК В. Довідкові дані про мостові крани	47
ДОДАТОК Г. Розрахункові характеристики зварних швів	51

ПЕРЕДМОВА

(до 2-ї редакції)

В теперішній час, незважаючи на надзвичайні складнощі, з якими зіштовхнулася Україна, продовжується оновлення нормативної бази в галузі будівництва. Не оминуло це й сферу створення металевих конструкцій, зокрема продовжується вдосконалення як чинних стандартів на проектування конструкцій [1-3], так і стандартів на виготовлення сортаментних виробів [4]. Через це виникає потреба в урахуванні цих змін і в навчальному процесі, що відображено в представленій 2-ій редакції даної методичної розробки.

Оновлено деякі дані про мостові крани та сучасні способи їх конструювання [5, 6]. Щодо підходів до проектування, то слід зазначити відсутність в теперішній час розвитку взагалі, та окремих практичних напрацювань зокрема, щодо імовірного методу. Тому в цій редакції, як і в попередній, всі розрахункові положення представлені для методу граничних станів, який багато в чому вже став класичним методом проектування.

Окремо відмітимо внесені зміни в частині оформлення текстових і графічних матеріалів, зокрема оновлені форми текстових посилань і позначення зв'язних швів на кресленнях, подано нову форму штампів до креслень. Також виправлені наявні технічні помилки за текстом 1-ї редакції методичних рекомендацій.

ВСТУП

Курсова робота передбачає практичне ознайомлення з основними положеннями і особливостями розрахунку та конструювання основних несучих елементів електричного балкового мостового крану загального призначення разом з вузлом 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 в цілому ці елементи є основою плоскої несучої рами мостового крану, яка працює як єдина система.

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

На тепер 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 розробленим, то найбільш раціональним є використання методу граничних станів. Тому в даній курсовій роботі викладення ведеться на основі саме такого підходу з урахуванням нових національних норм – ДБН В.2.6-198:2014 [3], які нещодавно були доповнені низкою поправок і змін [2].

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

Метою навчально-методичних рекомендацій є сприяння в реалізації методологічної мети курсової роботи.

Для досягнення цієї мети в рекомендаціях надаються роз'яснення щодо основних принципів використання нормативної та фахової літератури, конкретизовано структуру та зміст розрахунково-конструкторських робіт, викладено особливості проектування металоконструкцій машин.

В сукупності це сприяє досягненню студентом наступних очікуваних результатів навчання відповідно до робочої програми:

- назвати основні фізико-механічні характеристики сталі;
- відтворити послідовність розрахунку основних типів сталевих елементів, а також основних видів їх з'єднань;
- описати основні фізико-механічні характеристики сталі та принципи маркування сталі;

- описати принципи та послідовність визначення навантажень на елементи метало-конструкцій;
- описати принципи роботи, розрахунку та конструювання сталевих елементів, а також основних видів їх з'єднань;
- побудувати лінії впливу для балкових систем;
- виконати розрахунок основних несучих елементів машин, а також їх з'єднань між собою;
- виконати конструювання основних несучих елементів машин, а також їх з'єднань між собою. Розробити відповідну проєктну документацію;
- аналізувати роботу та вплив на неї конструктивних змін основних несучих елементів і вузлів машин;
- порівнювати конструктивні варіанти несучих елементів і вузлів машин та обирати найбільш ефективні.

Завдяки такій роботі досягаються очікувані результати навчання I – V рівнів сучасної класифікації Б. Блума, наведені в робочій програмі.

ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ Й ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

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

Якщо виникають будь-які непорозуміння або невідповідності з вибором 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 виконати аналогічні обчислення, чітко дотримуючись вказаної в навчально-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.

Структурно курсова робота складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Пояснювальна записка оформлюється на стандартних аркушах білого паперу формату А4 з дотриманням 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:

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

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

Друкований варіант Пояснювальної записки обов'язково повинен бути жорстко скріплений, мати титульний аркуш прийнятого в університеті зразка, рамочки на кожному листі, сторінки мають бути пронумеровані. Не слід переписувати наведений у цих рекомендаціях загальний текстовий матеріал.

Графічна частина являє собою лист формату А2 в стадії КМ з дотриманням вимог чинних державних стандартів. Вона виконується відповідно до вимог чинної робочої програми за вказівками викладача.

Неправильно або неохайно оформлена робота повертається студенту для доопрацювання.

ВИБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ

Виконання курсової роботи необхідно розпочинати з вибору вихідних даних. Вихідні дані складаються з п'яти позицій та обираються за індивідуальним літерним шифром¹. Кожна позиція вихідних даних має власний номер, на який є посилання у певних місцях навчально-методичних рекомендацій. Тому слід дуже уважно та ретельно виписати ці дані.

ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ШИФР

1	2	3	4	5

1 – перша літера імені; 2 – перша літера по батькові; 3-5 – перші 3 літери прізвища

№	Найменування	А И	Б К	В Л	Г М	Д Н	Е Є	Ж П	З Р
		І Ї	С Ч	Т Ю	У Я	Ф Ъ	О Х	Ш Щ	Ц
1	Сталь конструкцій	С245	С295	С255	С325	С275	С345	С285	С375
2	Вантажопідйомність крана Q , т	32/5	12,5	16/3,2	5	20/5	8	50/12,5	10
3	Проліт крана L , м	22,5		16,5		34,5		28,5	
4	Швидкість крана V , м/с	1,25	0,50	2,00	0,25	1,50	0,75	1,75	1,00
5	Режим роботи крана	1К	2К	3К	4К	5К	6К	7К	8К

Виберемо вихідні дані.

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

В практиці проектування сталі для металоконструкцій обирається інженером-конструктором в залежності від рекомендацій ДБН В.2.6-198:2014 [1] та наявного ринку металопродукції. Всі параметри мостового крана задаються інженером-технологом в технічному завданні в залежності від виробничого процесу, для якого передбачається кран.

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

¹ Правила складання літерного шифру можуть коригуватись викладачем.



Рис. 1. Загальний вигляд мостового крана.

1. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ

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

1.1. Розрахункові характеристики сталі.

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

Розрахунковий опір сталі з навчальною метою визначають за табл. Г.2 дод. Г ДБН В.2.6-198:2014 [3], яка наведена в табл. Б.1 дод. Б до навчально-методичних рекомендацій, залежно від заданого за вихідними даними класу сталі С235 (позиція 1 вихідних даних). При цьому приймають **найменше значення з усіх наявних для листового прокату** в межах заданого класу міцності сталі – в даному випадку, для товщини понад 100 мм – $R_y = 190 \text{ МПа} = 19 \text{ кН/см}^2$.

Модуль пружності сталі визначають за табл. Б.1 дод. Б ДБН В.2.6-198:2014 [1]. Він є однаковим для всіх сталей незалежно від їх класу міцності – $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 20600 \text{ кН/см}^2$.

1.2. Характеристики мостового крану.

Відповідно до заданих характеристик мостового крану визначимо його основні параметри. Для цього скористаємось табл. В.1 дод. В до навчально-методичних рекомендацій.

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

- ширина крана $B = 5600 \text{ мм}$;
- база крана $K = 4400 \text{ мм}$;
- мінімальне наближення крюка $a_{min} = 1300 \text{ мм}$;
- ширина колеї візка $T = 2000 \text{ мм}$;
- база візка $P = 2400 \text{ мм}$;
- вага візка $G_0^{віз} = 3,7 \text{ т}$.

Розташування кабіни кранівника приймають на відстані 2000÷3000 мм від осі підкранової рейки. В нашому випадку прийmemo $l = 3000 \text{ мм}$.

Далі відповідно до вихідних даних рекомендується **ескізно** зобразити схему мостового крану із визначеними розмірами, як наведено на рис. 2.

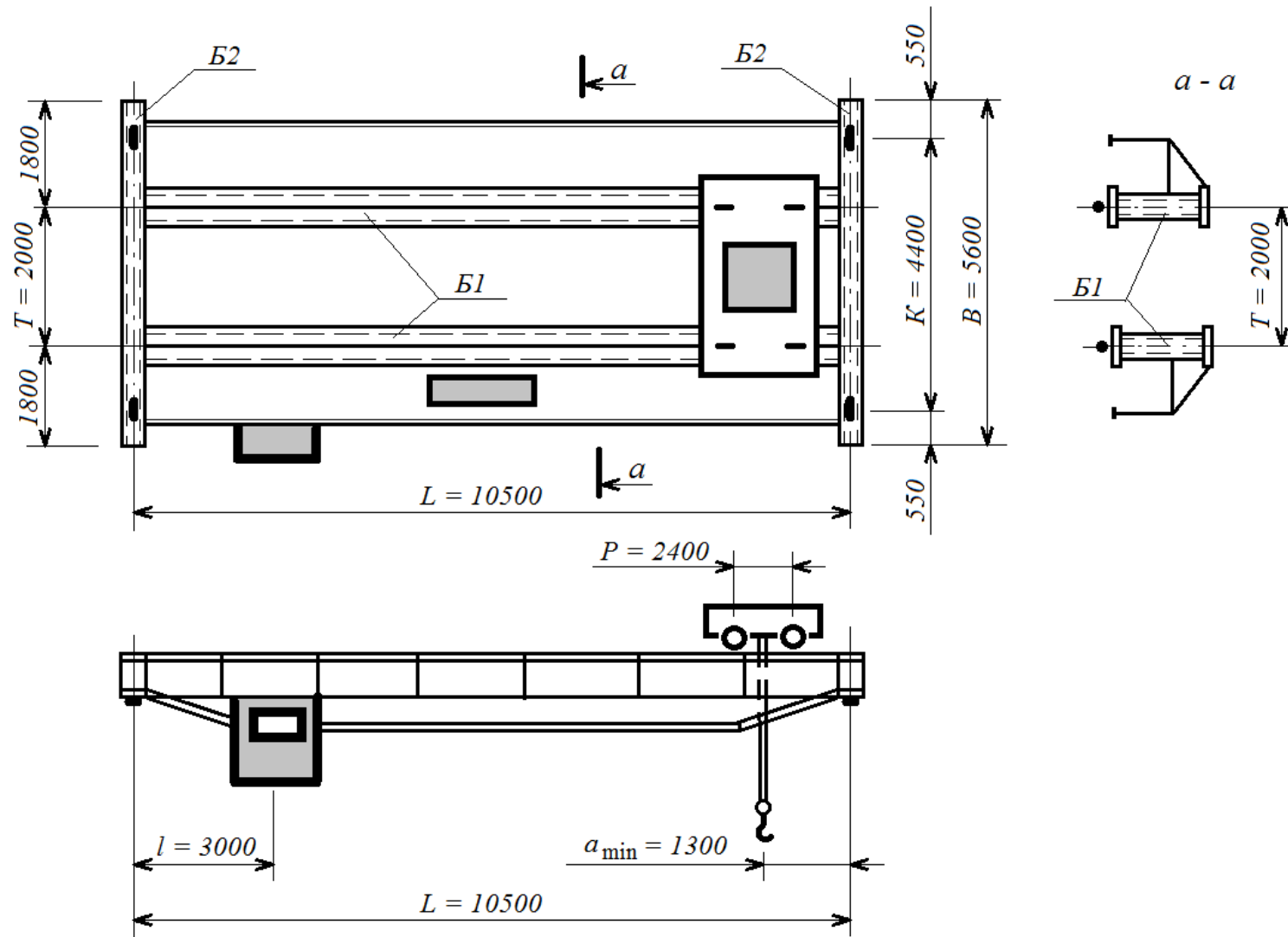


Рис. 2. Ескізне зображення мостового крана.

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 за ДБН В.2.6-198:2014 [1] такі конструкції відносяться до 1-го класу і мають проектуватись тільки в пружній стадії роботи сталі.

2.1. Характеристичні значення.

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

1) Власна вага головної балки разом із обслуговуючою площадкою (половина моста крана) $G_0^{зб}$ визначається за графіком рис. В.1 дод. В до навчально-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 на 10 %.

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

З урахуванням довжини головної балки: $q_0^{зб} = \frac{G_0^{зб}}{L} = \frac{27,5}{10,5} = 2,62$ кН/м.

2) Власна вага трансмісійного вала $q_0^{ме}$ визначається за табл. В.2 дод. В до навчально-методичних рекомендацій.

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

3) Власна вага центрального вузла керування крана $G_0^{це}$ визначається за табл. В.2 дод. В до навчально-методичних рекомендацій.

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

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

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

5) Власна вага візка G_0^{eiz} приймається за табл. В.1 дод. В до навчально-методичних рекомендацій.

В нашому випадку для вантажопідйомності крану $Q = 16$ т (позиція 2 вихідних даних) приймаємо $G_0^{eiz} = 3,7$ т.

6) Власна вага кінцевої балки $G_0^{кб}$ приймається в межах $10 \div 20$ кН.

В нашому випадку приймемо $G_0^{кб} = 10$ кН, оскільки кран має невеликий проліт.

З урахуванням довжини кінцевої балки: $q_0^{кб} = \frac{G_0^{кб}}{B} = \frac{10}{5,6} = 1,79$ 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)

$$q_i^v = \gamma_f \cdot q_0^i \cdot k_{\partial e}, \quad (1)$$

$$F_i^v = \gamma_f \cdot G_0^i \cdot k_{\partial e}, \quad (2)$$

де γ_f – коефіцієнт надійності за граничним (γ_{fm}) та експлуатаційним (γ_{fe}) значеннями навантажень. Для навантажень від власної ваги елементів приймаються за ДБН В.1.2-2:2006 [7] і дорівнюють $\gamma_{fm} = 1,05$ і $\gamma_{fe} = 1,0$;

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

1) Навантаження від власної ваги головної балки

$$q_{1m}^v = \gamma_{fm} \cdot (q_0^{zб} + q_0^{mб}) \cdot k_{\partial e} = 1,05 \cdot (2,62 + 1,0) \cdot 1,1 = 4,18 \text{ кН/м};$$

$$q_{1e}^v = \gamma_{fe} \cdot (q_0^{zб} + q_0^{mб}) \cdot k_{\partial e} = 1,0 \cdot (2,62 + 1,0) \cdot 1,1 = 3,98 \text{ кН/м};$$

2) Навантаження від центрального вузла керування крана

$$F_{1m}^v = \gamma_{fm} \cdot G_0^{ye} \cdot k_{\partial e} = 1,05 \cdot 9 \cdot 1,1 = 10,40 \text{ кН};$$

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

3) Навантаження від кабіни керування краном

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

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

4) Навантаження на одно з чотирьох коліс візка від ваги візка з вантажем

$$F_{3m}^v = (\gamma_{fm} \cdot G_0^{eiz} + K_Q \cdot Q) \cdot k_{\partial e} \cdot \frac{1}{4} \cdot g = (1,05 \cdot 3,7 + 1,40 \cdot 16) \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{4} \cdot 9,81 = 70,91$$

кН;

$$F_{3e}^v = (\gamma_{fe} \cdot G_0^{eiz} + \gamma_{fe} \cdot Q) \cdot k_{\partial e} \cdot \frac{1}{4} \cdot g = (1,0 \cdot 3,7 + 1,0 \cdot 16) \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{4} \cdot 9,81 = 53,15$$

кН,

де K_Q – коефіцієнт перевантаження, який приймається за довідковими даними по табл. В.4 дод. В до навчально-методичних рекомендацій. В 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);

g – прискорення вільного падіння $g = 9,81$ м/с².

5) Навантаження від власної ваги кінцевої балки

$$q_{2m}^v = \gamma_{fm} \cdot q_0^{k\delta} \cdot k_{\partial e} = 1,05 \cdot 1,79 \cdot 1,1 = 2,07 \text{ кН/м};$$

$$q_{2e}^v = \gamma_{fe} \cdot q_0^{k\delta} \cdot k_{\partial e} = 1,0 \cdot 1,79 \cdot 1,1 = 1,97 \text{ кН/м}.$$

2.3. Розрахункові поздовжні навантаження.

Поздовжні навантаження виникають при пуску або гальмуванні мостового крана та діють вздовж кранових рейок. Їх розрахункові значення визначаються за виразами (3) і (4)

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

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

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 в долях від прискорення вільного падіння $g = 9,81$ м/с². В нашому випадку будемо вважати $a = 0,1 \cdot g$.

Для подальших обчислень потрібні тільки розрахункові граничні значення поздовжніх навантажень.

1) Навантаження від власної ваги головної балки

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

2) Навантаження від центрального вузла керування крана

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

3) Навантаження від кабіни керування краном

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

4) Навантаження на одно з чотирьох коліс візка від ваги візка з вантажем
 $F_{3m}^g = 0,1 \cdot F_{3m}^v \cdot 0,1 \cdot g = 0,1 \cdot 70,91 \cdot 0,1 \cdot 9,81 = 6,96$ кН.

2.4. Розрахункові сполучення навантажень.

Під час роботи мостового крану найгіршим робочим випадком є ситуація, коли міст крану прискорюється або гальмує разом із вантажем на візку. При цьому одночасно діють як вертикальні навантаження (за п. 2.2), так і поздовжні горизонтальні навантаження (за п. 2.3). Проте оскільки візок крану може вільно переміщуватись по головних балках, то необхідно розглядати два найгірші можливі його положення (розрахункові випадки):

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:

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

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

Тому остаточно приймаємо $z = 4,74$ 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 виявитись найгіршим, то подальші розрахунки несучих елементів мостового крану необхідно виконувати для обох розрахункових випадків.

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

- навантаження під час транспортування, монтажу крану 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 спрацює кінцевий вимикач;
- сейсмічні навантаження для кранів, що призначені для роботи в сейсмічно активних районах.

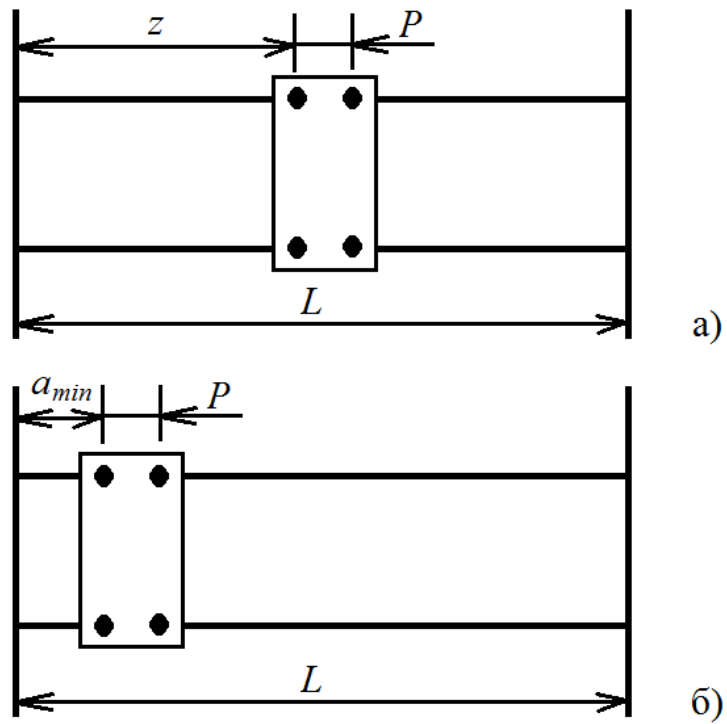


Рис. 3. Розрахункові випадки:
 а) перший розрахунковий випадок; б) другий розрахунковий випадок.

Ці навантаження виникають за спеціальних умов експлуатації або належать до так званих аварійних навантажень. Їх врахування 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 однаковими.

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 В.2.6-198:2014 [1] 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;
- власних коливань;
- міцності рейки під візком.

В 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 в 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.

В *першому розрахунковому випадку* необхідно визначити згинальний момент від 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 катком візка (рис. 4).

Найбільша ордината лінії впливу визначається за стандартним виразом

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

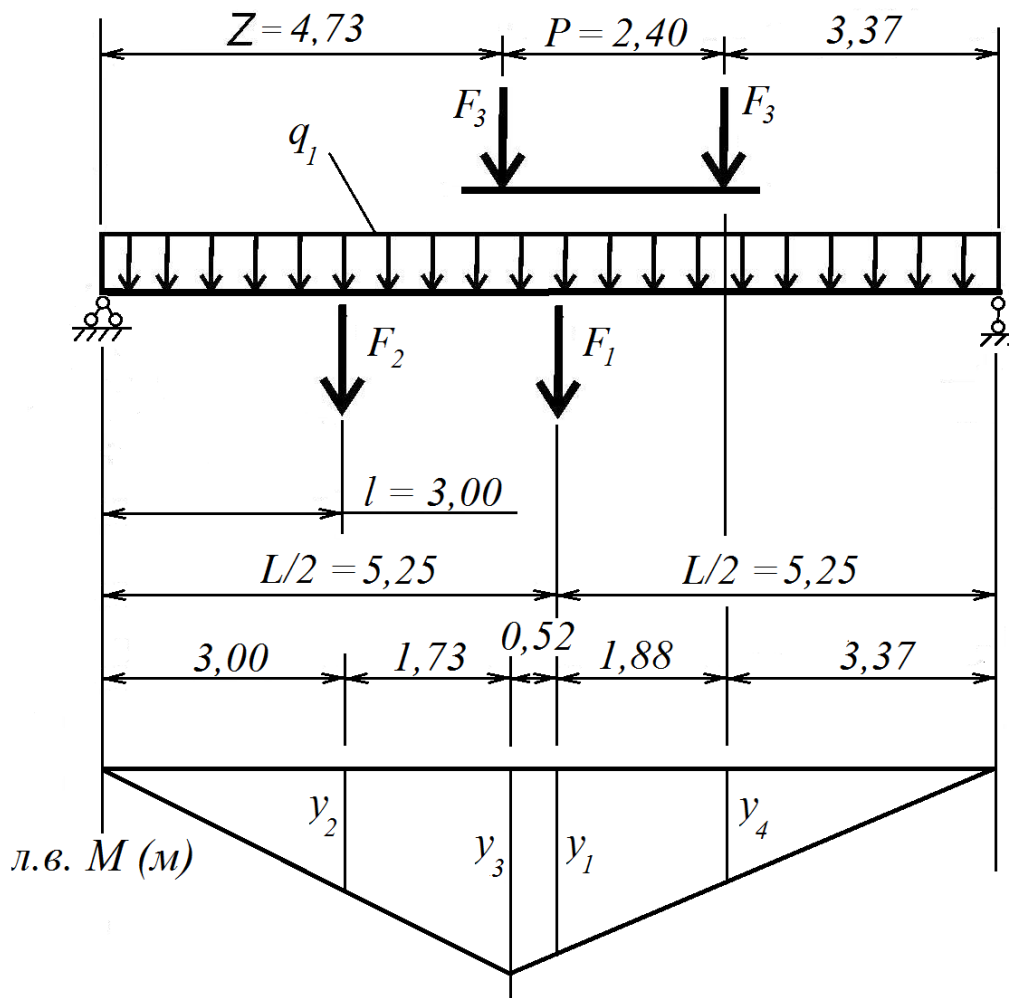


Рис. 4. Лінія впливу згинального моменту для головної балки.

Інші ординати лінії впливу визначаємо з подоби відповідних трикутників за виразами

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

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

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

Площа лінії впливу обчислюється за виразом

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

Максимальні значення згинального моменту від розрахункових вертикаль-

них навантажень за лінією впливу будуть дорівнювати

$$\begin{aligned}
 M_{1m,max}^v &= q_{1m}^v \cdot w + F_{1m}^v \cdot y_1 + F_{2m}^v \cdot y_2 + F_{3m}^v \cdot y_3 + F_{3m}^v \cdot y_4 = \\
 &= 4,18 \cdot 13,65 + 10,40 \cdot 2,37 + 17,33 \cdot 1,65 + 70,91 \cdot 2,60 + 70,91 \cdot 1,52 = \\
 &402,45 \text{ кН} \cdot \text{м} = 40245 \text{ кН} \cdot \text{см}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{1e,max}^v &= q_{1e}^v \cdot w + F_{1e}^v \cdot y_1 + F_{2e}^v \cdot y_2 + F_{3e}^v \cdot y_3 + F_{3e}^v \cdot y_4 = \\
 &= 3,98 \cdot 13,65 + 9,90 \cdot 2,37 + 16,50 \cdot 1,65 + 53,15 \cdot 2,60 + 53,15 \cdot 1,52 = \\
 &323,99 \text{ кН} \cdot \text{м} = 32399 \text{ кН} \cdot \text{см}
 \end{aligned}$$

Для розрахункових поздовжніх навантажень максимальне значення згинального моменту дорівнюватиме

$$\begin{aligned}
 M_{1m,max}^g &= q_{1m}^g \cdot w + F_{1m}^g \cdot y_1 + F_{2m}^g \cdot y_2 + F_{3m}^g \cdot y_3 + F_{3m}^g \cdot y_4 = \\
 &= 0,62 \cdot 13,65 + 1,53 \cdot 2,37 + 2,55 \cdot 1,65 + 6,96 \cdot 2,60 + 6,96 \cdot 1,52 = \\
 &44,97 \text{ кН} \cdot \text{м} = 4497 \text{ кН} \cdot \text{см}
 \end{aligned}$$

В другому розрахунковому випадку необхідно визначити поперечну силу від візка, розташованого на відстані a_{min} від лівої опори головної балки. В 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

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

Для розрахункових поздовжніх навантажень максимальне значення поперечної сили дорівнюватиме

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

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 звіс $c = 15 \div 20$ мм. Полиці та стінки виконані з листової сталі. Їх розміри й потрібно визначити:

- h_w – висота стінки;
- t_w – товщина стінки;
- b_f – ширина полиці;
- t_f – товщина полиці.

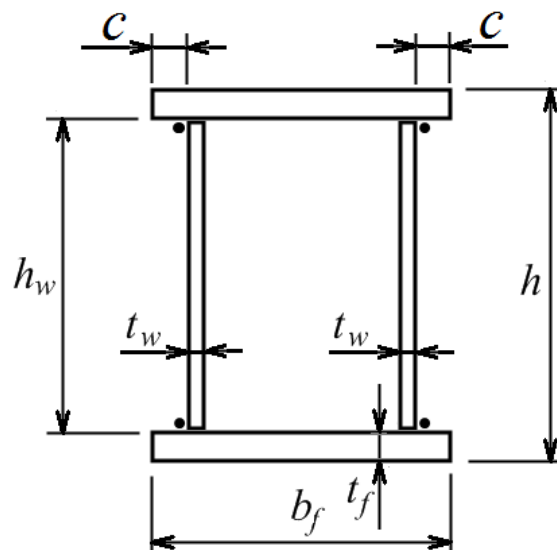


Рис. 5. Переріз головної балки.

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

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

Орієнтуючись на цей **діапазон** остаточно висоту приймають з урахуванням стандартної ширини прокатної сталі за сортаментом, який наведений в додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій.

В нашому випадку за сортаментом приймаємо висоту $h_w = 670 \text{ мм} = 67 \text{ см}$.

Ширину верхнього і нижнього поясів приймають однаковим за досвідом проектування, оскільки випробовуваннями встановлено, що під дією горизонтальних сил, прикладених до рейки, в роботу включається весь переріз головної балки

$$b_f = (0,3 \div 0,4) \cdot h_w = (0,3 \div 0,4) \cdot 67 = 20,1 \div 26,8 \text{ см}$$

і для забезпечення жорсткості балки в горизонтальному напрямку не менше ніж

$$\frac{L}{50} = \frac{10,5}{50} = 0,21 \text{ м} = 21 \text{ см}.$$

За сортаментом прокатної сталі додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій приймаємо ширину $b_f = 240 \text{ мм} = 24 \text{ см}$.

Для визначення товщини стінки обчислюють потрібний момент опору перерізу за виразом

$$W_{cal} = \frac{M_{1m,max}^v}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot \left(1 + \frac{h_w \cdot M_{1m,max}^g}{b_f \cdot M_{1m,max}^v} \right) = \frac{40245}{19 \cdot 0,85} \cdot \left(1 + \frac{67 \cdot 4497}{24 \cdot 40245} \right) = 3269 \text{ см}^3,$$

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

$$t_w = \frac{3 \cdot W_{cal}}{4 \cdot h_w^2} = \frac{3 \cdot 3269}{4 \cdot 65^2} = 0,58 \text{ см} = 5,8 \text{ мм}.$$

За сортаментом прокатної сталі додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій приймаємо ближчу більшу товщину $t_w = 6 \text{ мм} = 0,6 \text{ см}$.

Для визначення товщини поясу обчислюють його потрібну площу за виразом

$$A_{f,cal} = \frac{W_{cal}}{h_w} - \frac{h_w \cdot t_w}{3} = \frac{3269}{65} - \frac{65 \cdot 0,6}{3} = 37,29 \text{ см}^2.$$

Тоді товщину поясу необхідно приймати більшою за значення

$$t_f = \frac{A_{f,cal}}{b_f} = \frac{37,29}{24} = 1,55 \text{ см} = 15,5 \text{ мм}.$$

За сортаментом прокатної сталі додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій приймаємо найближче більше значення $t_f = 16 \text{ мм} = 1,6 \text{ см}$.

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

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

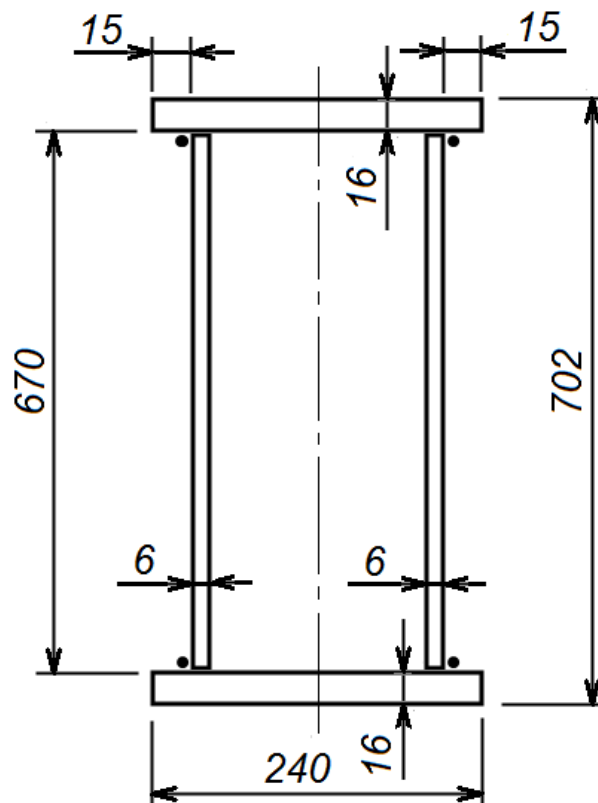


Рис. 6. Скомпонований переріз головної балки в прольоті.

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

Висоту стінки на опорі призначають за досвідом проектування за виразом

$$h_{w0} = (0,45 \div 0,55) \cdot h_w = (0,45 \div 0,55) \cdot 67 = 30,15 \div 36,85 \text{ см.}$$

Орієнтуючись на цей **діапазон** остаточно висоту стінки на опорі приймають з урахуванням стандартної ширини прокатної сталі за сортаментом, який наведений в додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій.

В нашому випадку за сортаментом приймаємо $h_{w0} = 340 \text{ мм} = 34 \text{ см}$.

Інші геометричні розміри поперечного перерізу головної балки на опорі приймають аналогічними до прольоту. Отриманий таким чином поперечний переріз головної балки на опорі з усіма прийнятими розмірами зображено на рис. 7.

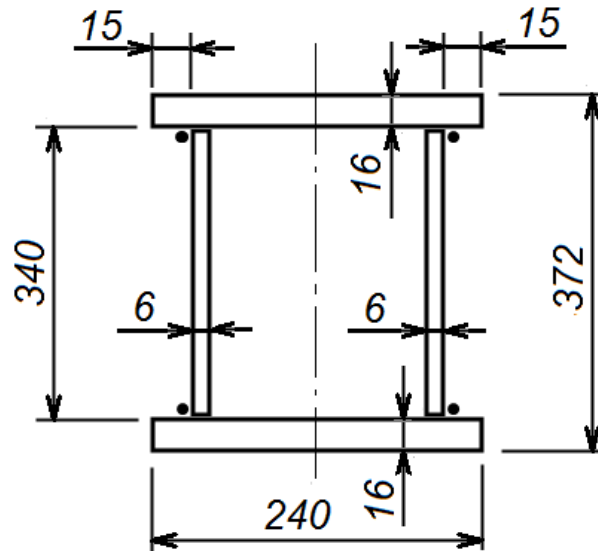


Рис. 7. Скомпонований переріз головної балки на опорі.

3.3. Перевірка поперечного перерізу.

Перевіримо скомпонований поперечний переріз головної балки на відповідність восьми основним вимогам за ДБН В.2.6-198:2014 [1].

1) Міцність за нормальними напруженнями у випадку косоного згину перевіряється в прольоті балки за виразом

$$\frac{M_{1m,max}^v}{W^v \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_{1m,max}^g}{W^g \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{40245}{3432 \cdot 19 \cdot 0,85} + \frac{4497}{1005 \cdot 19 \cdot 0,85} = 0,99 < 1,$$

де моменти інерції та опору у двох площинах для скомпонованого поперечного перерізу головної балки в прольоті дорівнюють

$$\begin{aligned} I^v &= 2 \cdot \left[\frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right] = \\ &= 2 \cdot \left[\frac{0,6 \cdot 67^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} + 24 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{67 + 1,6}{2} \right)^2 \right] = 120447 \text{ см}^4; \\ W^v &= \frac{2 \cdot I^v}{h} = \frac{2 \cdot 120447}{70,2} = 3432 \text{ см}^3; \\ I^g &= 2 \cdot \left[\frac{t_f \cdot b_f^3}{12} + \frac{h_w \cdot t_w^3}{12} + h_w \cdot t_w \cdot \left(\frac{b_f - t_w}{2} - c \right)^2 \right] = \\ &= 2 \cdot \left[\frac{1,6 \cdot 24^3}{12} + \frac{67 \cdot 0,6^3}{12} + 67 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{24 - 0,6}{2} - 1,5 \right)^2 \right] = 12055 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

$$W^g = \frac{2 \cdot I^g}{b_f} = \frac{2 \cdot 12055}{24} = 1005 \text{ см}^3.$$

Таким чином, дана умова виконана.

Допускається перенапруження в межах 2 %. Невиконання цієї перевірки означає необхідність збільшення або зменшення розмірів поперечного перерізу балки, відповідно.

2) Міцність за дотичними напруженнями у випадку косоного згину перевіряється на опорі балки за виразом

$$\begin{aligned} & \frac{Q_{1m,max}^v \cdot S_0^v}{I^v_0 \cdot t_w \cdot R_S \cdot \gamma_c} + \frac{Q_{1m,max}^g \cdot S_0^g}{I^g_0 \cdot t_f \cdot R_S \cdot \gamma_c} = \\ & = \frac{147,58 \cdot 857}{28280 \cdot 0,6 \cdot 11,02 \cdot 0,85} + \frac{16,45 \cdot 439}{7932 \cdot 1,6 \cdot 11,02 \cdot 0,85} = 0,86 < 1. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I^v_0 &= 2 \cdot \left[\frac{t_w \cdot h_{w0}^3}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_{w0} + t_f}{2} \right)^2 \right] = \\ &= 2 \cdot \left[\frac{0,6 \cdot 34^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} + 24 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{34 + 1,6}{2} \right)^2 \right] = 28280 \text{ см}^4; \\ I^g_0 &= 2 \cdot \left[\frac{t_f \cdot b_f^3}{12} + \frac{h_{w0} \cdot t_w^3}{12} + h_{w0} \cdot t_w \cdot \left(\frac{b_f - t_w}{2} - c \right)^2 \right] = \\ &= 2 \cdot \left[\frac{1,6 \cdot 24^3}{12} + \frac{34 \cdot 0,6^3}{12} + 34 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{24 - 0,6}{2} - 1,5 \right)^2 \right] = 7932 \text{ см}^4, \end{aligned}$$

а статичні моменти у двох площинах дорівнюють

$$\begin{aligned} S_0^v &= h_{w0} \cdot t_w \cdot \frac{h_{w0}}{4} + b_f \cdot t_f \cdot \frac{h_{w0} + t_f}{2} = \\ &= 34 \cdot 0,6 \cdot \frac{34}{4} + 24 \cdot 1,6 \cdot \frac{34 + 1,6}{2} = 857 \text{ см}^3; \\ S_0^g &= h_{w0} \cdot t_w \cdot \left(\frac{b_f - t_w}{2} - c \right) + b_f \cdot t_f \cdot \frac{b_f}{4} = \\ &= 34 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{24 - 0,6}{2} - 1,5 \right) + 24 \cdot 1,6 \cdot \frac{24}{4} = 439 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Розрахунковий опір сталі на зсув за табл. 7.1 ДБН В.2.6-198:2014 [1] визначається як

$$R_s = 0,58 \cdot R_y = 0,58 \cdot 190 = 110,2 \text{ МПа} = 11,02 \text{ кН/см}^2.$$

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

$$\frac{\sigma_{loc}}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{9,59}{19 \cdot 0,85} = 0,59 < 1,$$

При цьому потрібно спочатку розрахувати момент інерції верхнього поясу балки

$$I_{1f} = \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} = \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} = 8,19 \text{ см}^4,$$

далі визначити розрахункову довжину умовної площадки, через яку передається зосереджене навантаження (рис. 8) за виразом

$$l_{ef1} = \psi \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{1f}}{2 \cdot t_w}} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{8,19}{2 \cdot 0,6}} = 6,16 \text{ см},$$

(коефіцієнт $\psi = 3,25$ для зварних балок за п. 9.2.2 ДБН В.2.6-198:2014 [1])

і розрахувати локальне напруження

$$\sigma_{loc} = \frac{F_{3m}^v}{2 \cdot l_{ef1} \cdot t_w} = \frac{70,91}{2 \cdot 6,16 \cdot 0,6} = 9,59 \text{ кН/см}^2,$$

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

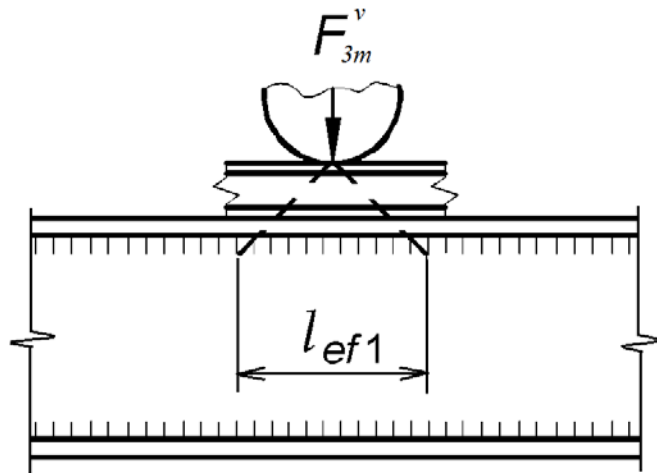


Рис. 8. Схема передачі зосередженого навантаження на стінку головної балки.

4) Місцева стійкість поясу балки перевіряється за величиною умовної гну-

чкості поясу

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{19,8}{1,6} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 0,38 < 1,5,$$

де відстань між внутрішніми гранями стінок перерізу дорівнює
 $b_{ef} = b_f - 2 \cdot c - 2 \cdot t_w = 24 - 2 \cdot 1,5 - 2 \cdot 0,6 = 19,8$ см.

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

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{65}{0,6} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 3,29 > 2,2.$$

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

За сортаментом прокатної сталі приймемо нову товщину стінки $t_w = 9$ мм = 0,9 см. Тоді умова буде виконана

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{65}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 2,19 < 2,2.$$

Перерахуємо момент інерції перерізу в прольоті і на опорі

$$I^{v1} = 2 \cdot \left[\frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right] =$$
$$= 2 \cdot \left[\frac{0,9 \cdot 65^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} + 24 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{65 + 1,6}{2} \right)^2 \right] = 126373 \text{ см}^4;$$

$$I^{v1}_0 = 2 \cdot \left[\frac{t_w \cdot h_{w0}^3}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_{w0} + t_f}{2} \right)^2 \right] =$$
$$= 2 \cdot \left[\frac{0,9 \cdot 34^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} + 24 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{34 + 1,6}{2} \right)^2 \right] = 30245 \text{ см}^4.$$

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

$$f_{max} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{1e,max}^v \cdot L^2}{E \cdot I^{v1}} =$$

$$= \frac{5}{48} \cdot \frac{32399 \cdot 1050^2}{20600 \cdot 126373} = 1,43 \text{ см} < f_u = \frac{L}{500} = \frac{1050}{500} = 2,10 \text{ см},$$

де f_u – граничний прогин, який приймається в залежності від режиму роботи крана: $1\text{К} \div 4\text{К} - f_u = \frac{L}{400}$; $5\text{К} \div 8\text{К} - f_u = \frac{L}{500}$.

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину поясів балки.

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

Згинальна жорсткість балки

$$c = \frac{48 \cdot E \cdot I^{v1}}{L^3} = \frac{48 \cdot 20600 \cdot 126373}{1050^3} = 107,94 \text{ кН/см} = 10794 \text{ кН/м}.$$

Приведена маса конструкції крана з вантажем

$$m = \frac{17 \cdot G_0^{гб}}{35 \cdot g} + \frac{G_0^{віз} + Q}{2} = \frac{17 \cdot 27,5}{35 \cdot 9,81} + \frac{3,7 + 16}{2} = 11,21 \text{ т},$$

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

Частота власних коливань головної балки

$$p = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{\frac{10794}{11,21}} = 4,94 \text{ Гц}.$$

Логарифмічний декремент коливань головної балки

$$\lambda = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot p^2 = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4,94^2 = 0,13.$$

Тоді час згасання власних коливань головної балки дорівнюватиме

$$t = \frac{\ln(2 \cdot f_{max})}{p \cdot \lambda} = \frac{\ln(2 \cdot 1,43)}{4,94 \cdot 0,13} = 1,63 \text{ с} < 15 \text{ с}.$$

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

$$s_{max} = \frac{5 \cdot W_p \cdot R_y \cdot \gamma_c}{F_{3m}^v} = \frac{5 \cdot 208 \cdot 19 \cdot 0,85}{70,91} = 236,9 \text{ см} = 2369 \text{ мм},$$

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 в місцях скосів головної балки. Прийнята в даному випадку схема розташування вертикальних діафрагм жорсткості наведена на рис. 9.

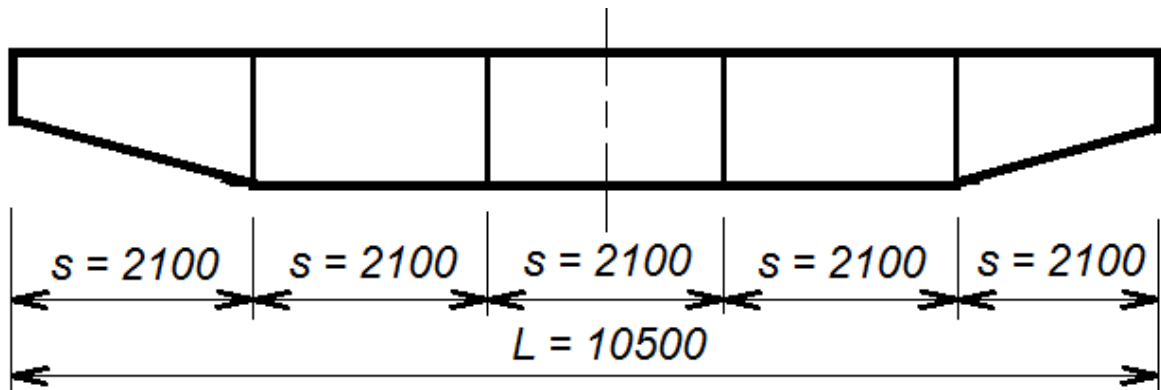


Рис. 9. Схема розміщення основних вертикальних діафрагм в головній балці.

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

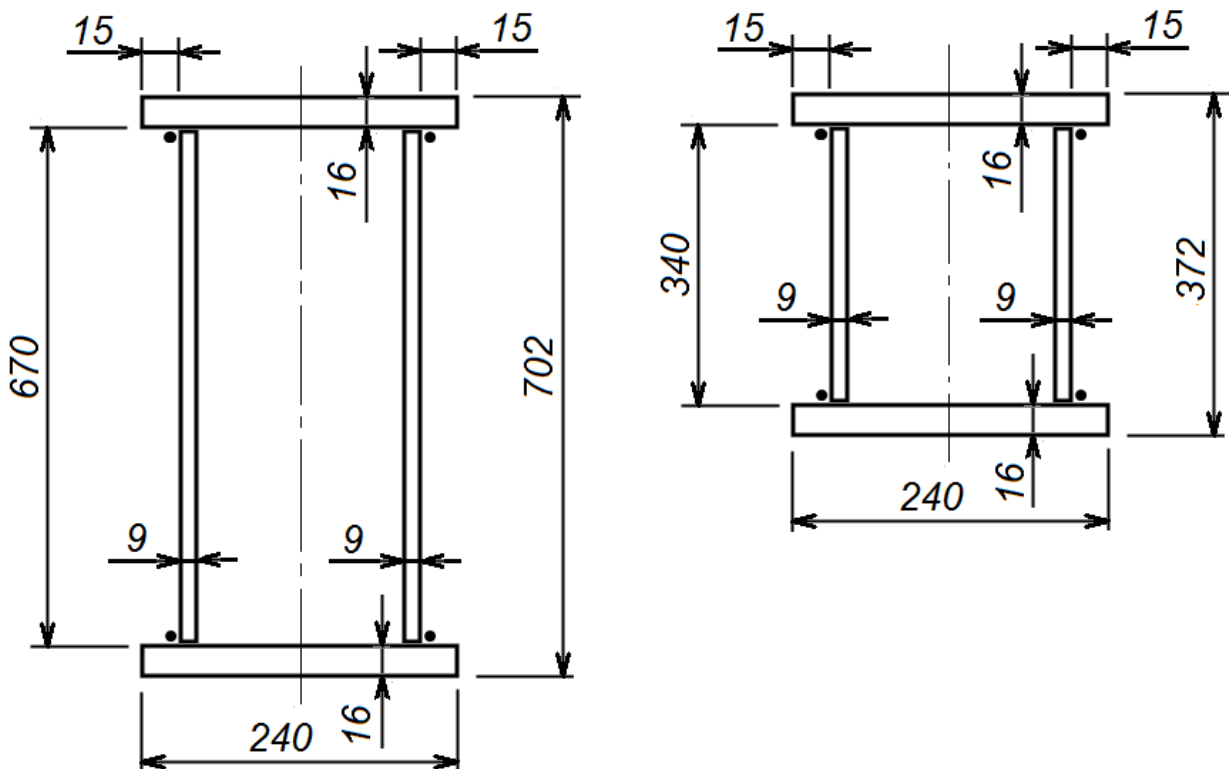


Рис. 10. Остаточні перерізи головної балки в прольоті (ліворуч) і на опорі (праворуч).

3.4. Розрахунок поясного шву.

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

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

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

де для випадку механізованого зварювання коефіцієнти $\beta_f = 0,7$ і $\beta_z = 1,0$ за табл. 16.2 ДБН В.2.6-198:2014 [1];

- розрахунковий опір кутового зварного шва $R_{wf} = 180$ МПа = 18 кН/см² (для сталі заданого класу С235) – табл. Д.2 дод. Д ДБН В.2.6-198:2014 [1], наведена в табл. Г.1 дод. Г до навчально-методичних рекомендацій;

- характеристичний опір $R_{um} = 360$ МПа = 36 кН/см² (**найменше значення з усіх наявних для листового прокату** в межах заданого класу міцності сталі С235) – табл. Г.2 дод. Г ДБН В.2.6-198:2014 [1], наведена в табл. Б.1 дод. Б до навчально-методичних рекомендацій.

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

$$k_f = \frac{Q_{1m,max}^v \cdot b_f \cdot t_f \cdot \frac{h_{w0} + t_f}{2}}{n \cdot \beta_f \cdot I_0^{v1} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} = \frac{147,58 \cdot 24 \cdot 1,6 \cdot \frac{34 + 1,6}{2}}{2 \cdot 0,7 \cdot 30245 \cdot 18 \cdot 0,85} = 0,16 \text{ см} = 1,6 \text{ мм.}$$

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 β_f значення β_z і замість R_{wf} значення $0,45 \cdot R_{um}$.

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

В нашому випадку за цією таблицею для автоматичного зварювання остаточно прийемо катет поясного шва для головної балки $k_f = 6$ мм (менше за $1,2 \cdot t_w = 1,2 \cdot 9 = 10,8$ мм).

4. РОЗРАХУНОК КІНЦЕВОЇ БАЛКИ

У цьому розділі курсової роботи розглядається кінцева балка мостового крана. Друга кінцева балка є тотожною до розглядуваної.

Як і у випадку головної балки кінцева балка проектується складеного зварного поперечного перерізу з окремих сталевих листів.

4.1. Визначення зусиль.

Визначимо зусилля, які виникають в 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 оперту балку (рис. 11).

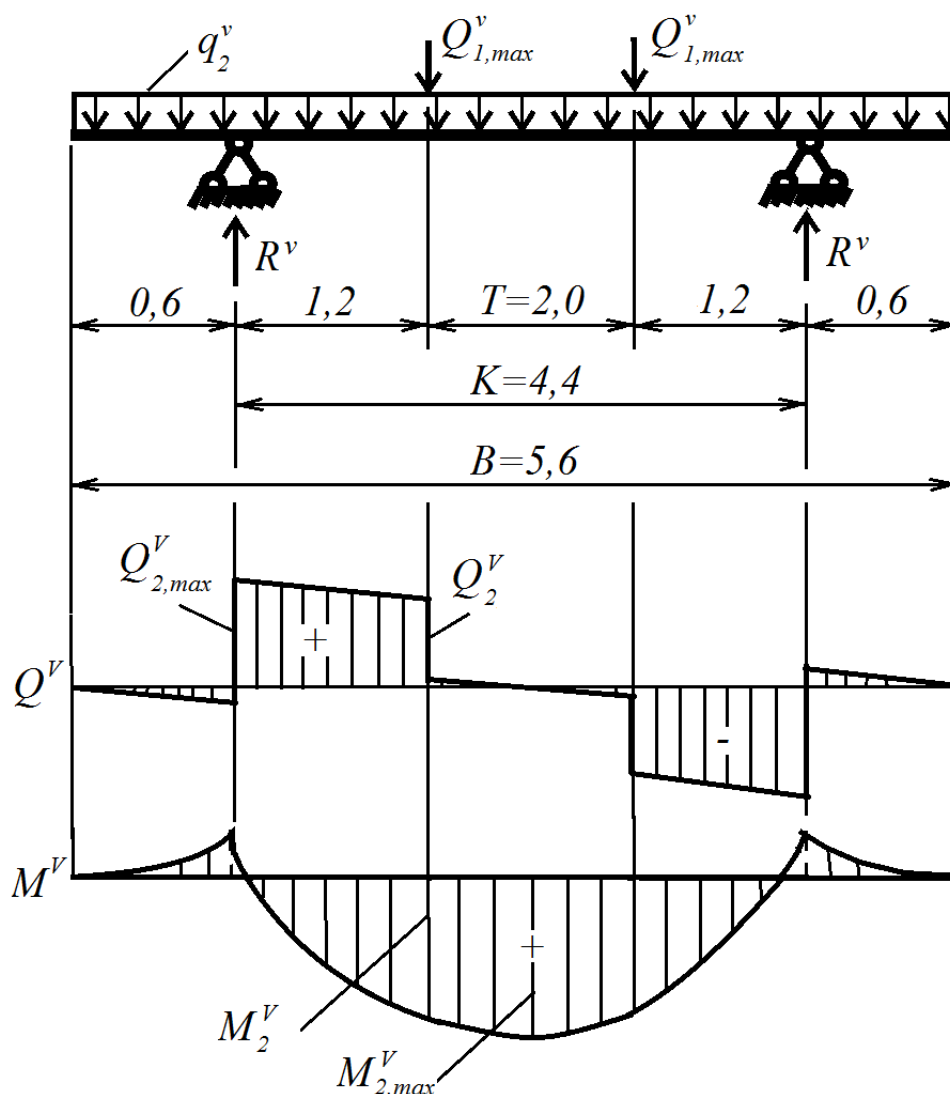


Рис. 11. Епюри зусиль від вертикальних навантажень для кінцевої балки.

Опорні реакції в силу симетрії балки та навантаження будуть однаковими і визначаються зі статичного рівняння рівноваги. Вони дорівнюватимуть

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

Найбільш небезпечним перерізом кінцевої балки буде переріз в точці прикріплення головної балки. В цьому місці практично максимальні значення приймають поперечна сила та згинальний момент, що виникають від вертикальних навантажень. Обчислимо їх величини.

Значення поперечної сили дорівнюватиме

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

Значення згинального моменту дорівнюватиме

$$M_{2m}^v = R_m^v \cdot \frac{K - T}{2} - q_{2m}^v \cdot \frac{(B - T)^2}{8} = 153,38 \cdot \frac{4,4 - 2,0}{2} - 2,07 \cdot \frac{(5,6 - 2,0)^2}{8}$$

$$= 180,70 \text{ кН} \cdot \text{м} = 18070 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

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

$$F_m^p = 0,015 \cdot Q_{1m,max}^v \cdot \left(\frac{L}{K} + 1,33 \cdot V \right) =$$

$$= 0,015 \cdot 147,58 \cdot \left(\frac{10,5}{4,4} + 1,33 \cdot 0,75 \right) = 7,49 \text{ кН.}$$

Розрахункова схема кінцевої балки для цього випадку являє собою шарнірно оперту балку (рис. 12). Максимальні зусилля будуть діяти в точці прикріплення головної балки. Обчислимо їх величини.

Значення поперечної сили дорівнюватиме

$$Q_{2m}^p = Q_2^p = F_m^p = 7,49 \text{ кН.}$$

Значення згинального моменту дорівнюватиме

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

4.2. Компонування поперечного перерізу.

Розрахунок кінцевої балки почнемо з компонування 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 $c = 15 \div 20$ мм. Полиці та стінки виконані з листової сталі. Їх розміри й потрібно визначити:

- h_w – висота стінки;
- t_w – товщина стінки;
- b_f – ширина полиці;
- t_f – товщина полиці.

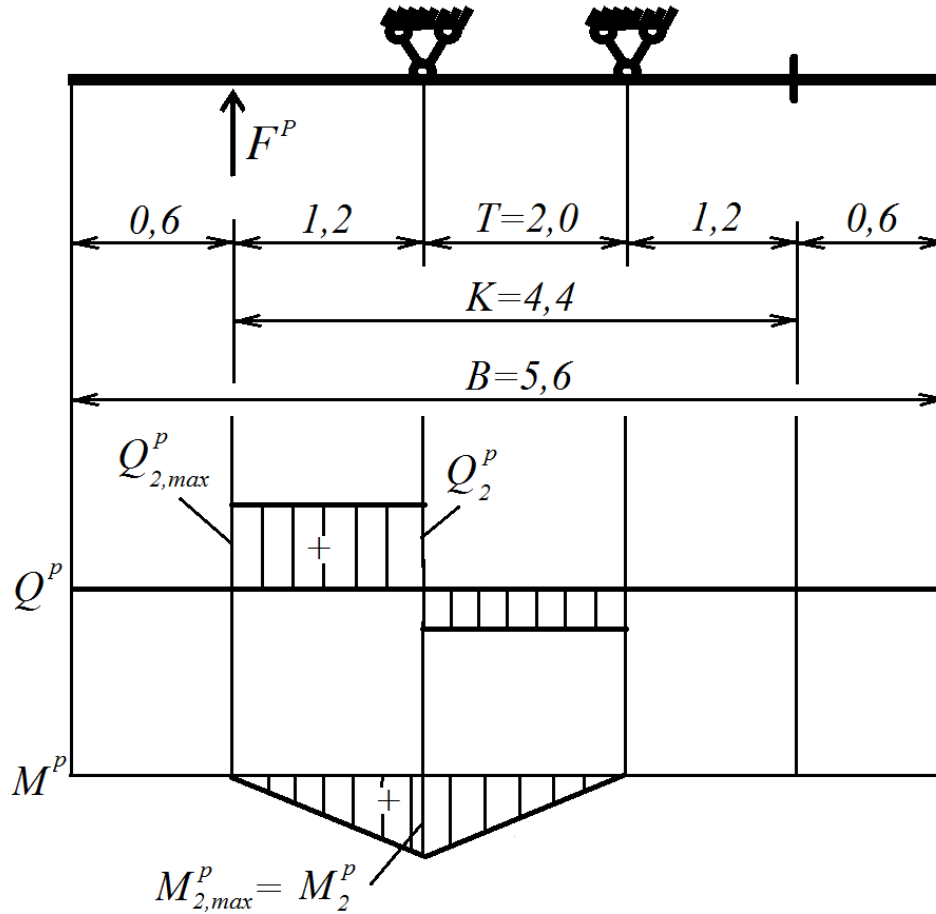


Рис. 12. Епюри зусиль від поперечних навантажень для кінцевої балки.

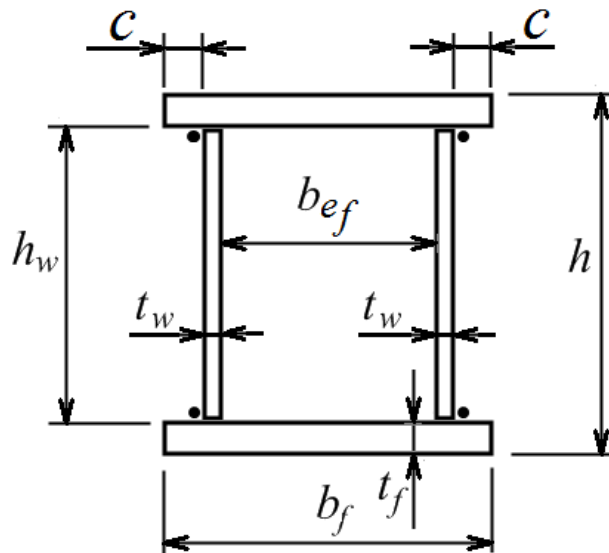


Рис. 13. Переріз кінцевої балки.

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

Товщину поясів також приймають рівними товщині поясів головної балки $t_f = 16 \text{ мм} = 1,6 \text{ см}$. Це дає можливість конструктивно з'єднати головну та кінцеву балки.

Товщина стінки приймається більшою за значення

$$t_w = 0,01 \cdot h_{w0} \cdot \sqrt{\frac{21}{R_y}} = 0,01 \cdot 340 \cdot \sqrt{\frac{21}{19}} = 3,6 \text{ мм}.$$

За сортаментом прокатної сталі, який наведений в додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій, остаточно приймаємо $t_w = 6 \text{ мм} = 0,6 \text{ см}$.

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

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

$$b_{f \text{ min}} = b_{ef} + 2 \cdot t_w + 2 \cdot c = 350 + 2 \cdot 9 + 2 \cdot 15 = 398 \text{ мм}.$$

За сортаментом прокатної сталі приймаємо найближчу більшу ширину пояса $b_f = 400 \text{ мм} = 40 \text{ см}$.

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

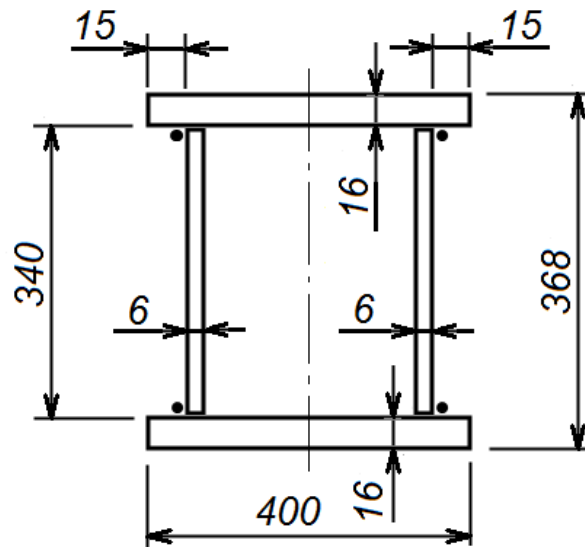


Рис. 14. Скомпонований переріз кінцевої балки.

4.3. Перевірка поперечного перерізу.

Для кінцевої балки достатньо виконати з восьми лише три перевірки на вимоги ДБН В.2.6-198:2014 [1].

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

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

$$= \frac{0,87}{19 \cdot 0,8} \cdot \sqrt{\left(\frac{18070}{2618} + \frac{899}{1478}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{149,65}{34 \cdot 0,6} + \frac{7,49}{(40 - 1,5) \cdot 1,6}\right)^2} = 0,77 < 1,$$

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

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

$$= 2 \cdot \left[\frac{0,6 \cdot 34^3}{12} + \frac{40 \cdot 1,6^3}{12} + 40 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{34 + 1,6}{2}\right)^2 \right] = 44513 \text{ см}^4;$$

$$W^v = \frac{2 \cdot I^v}{h_w} = \frac{2 \cdot 44513}{34} = 2618 \text{ см}^3;$$

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

$$= 2 \cdot \left[\frac{1,6 \cdot 40^3}{12} + \frac{34 \cdot 0,6^3}{12} + 34 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{40 - 0,6}{2} - 1,5 \right)^2 \right] = 30582 \text{ см}^4;$$

$$W^p = \frac{2 \cdot I^p}{b_f} = \frac{2 \cdot 30582}{40} = 1529 \text{ см}^3.$$

а коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,8$ для кінцевої балки.

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 поясу

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{35,8}{1,6} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 0,68 < 1,5;$$

де відстань між внутрішніми гранями стінок перерізу дорівнює

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

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину поясу балки.

3) Місцева стійкість стінки балки перевіряється за величиною умовної гнучкості стінки

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{34}{0,6} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 1,72 < 2,2.$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину стінки балки.

Остаточний переріз відповідає зображеному на рис. 14.

Якщо поперечний переріз кінцевої балки змінювався в ході цих перевірок, то його додатково зображують на рис. 15.

5. КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ

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

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

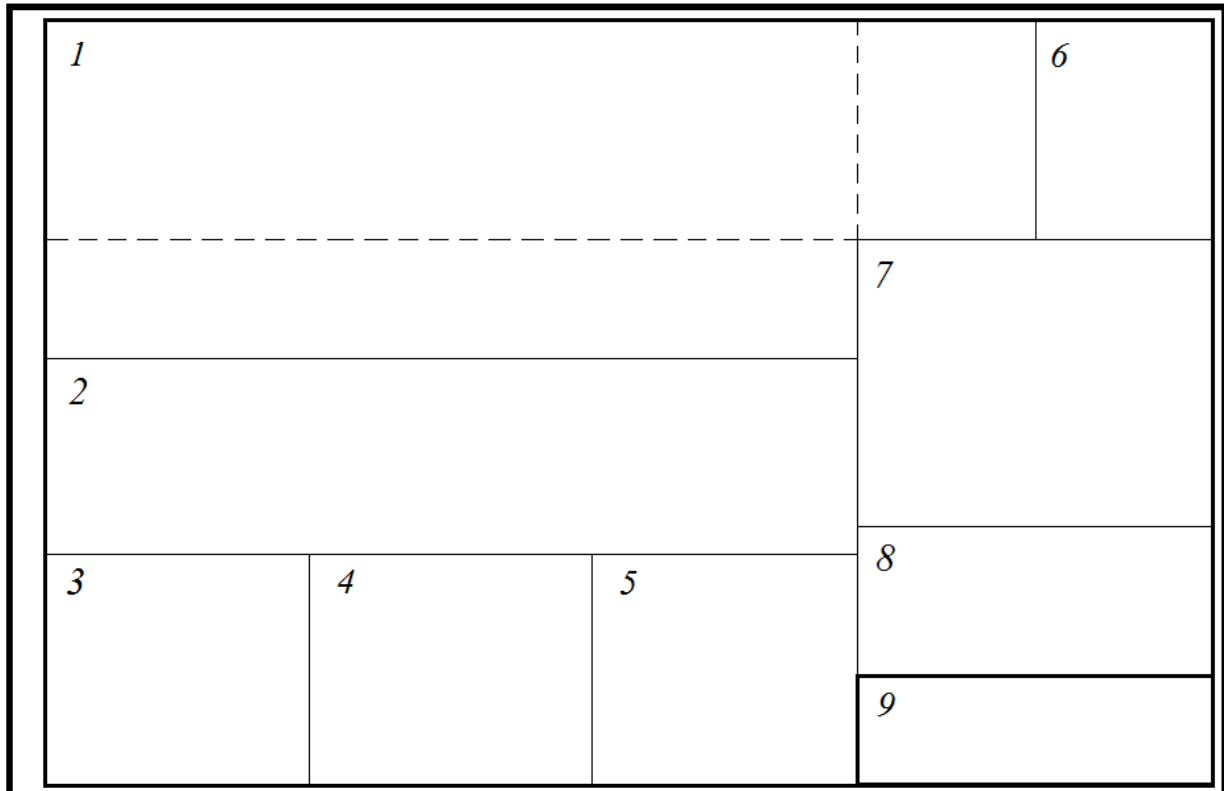


Рис. 15. Загальне компонування креслення.

На цьому листі у відповідних полях зображують наступні елементи:

- 1 – схема розташування елементів крану 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 має витримуватись як зображено на рис. 15.

Всі креслення на листі виконуються в масштабі, проте сам масштаб не вказується. Для креслень металокопункцій використовують наступні 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 наступним чином.

1. Схема розташування елементів крану 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 (праворуч).
4. Переріз 2-2 викреслюється за рис. 10 (ліворуч), на якому зображують основну діафрагму жорсткості. Її не доводять до нижнього поясу на 50 мм. Товщину діафрагми приймають конструктивно рівною товщині стінки головної балки. В верхній частині під рейкою для візка діафрагму не приварюють на відстані $114+2\cdot t_f$ мм, про що зазначають в примітках.
5. Переріз 3-3 викреслюється за рис. 14 або рис. 15.
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. Розміри поперечних перерізів приймають для головної балки за рис. 15 (праворуч), а для кінцевої балки – за рис. 19 або рис. 19,а.
 - б) накладкою об'єднують вузол, заводячи її на головну балку на відстань ширини балки. Товщину накладки приймають рівною товщині поясів головної і кінцевої балок.
 - в) скос накладки приймають під кутом 45° , отримуючи таким чином ширину накладки на другорядній балці;
 - г) розставляють необхідні розміри головної і кінцевої балок, а також розміри самої накладки;
 - д) розставляють маркування зварних швів. Катет шва приймають за розрахунком, виконаним в п. 3.4.
8. Примітки узагальнюють вказівки по виготовленню елементів мостового крану. Рекомендується наводити типові примітки за табл. 1.
9. Штамп заповнюють за формою, прийнятого зразку (наприклад, наведеної на рис. 17).

Всі підписи на листі виконуються шрифтами. При цьому використовують шрифти трьох розмірів:

- розмір 3,5 для простановки всіх розмірів і текстових пояснень (поля 1 – 7), 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).

Всі креслення виконуються з використанням ліній двох товщин:

- основна (0,5 – 1 мм) для зображення видимого контуру елементів і креслення таблиць;
- тонка (0,1 – 0,3 мм) для зображення всіх інших елементів та постановки розмірів.

Таблиця 1

Типові примітки до креслень металоконструкцій

№ пор.	Текст примітки
Основні	
1.	Матеріал конструкцій – сталь класу С... за ДСТУ ..., конструкцій огородження – СтЗкп2 за ДСТУ 2651.
2.	Всі заводські з'єднання зварні. Зварювання виконувати електродами типу ...
3.	Катет неоговорених зварних швів ... мм.
4.	Кромки діафрагм, що примикають до верхнього поясу головних балок, на довжині підшви рейки плюс дві товщини поясу ... мм не приварювати.
5.	Сталеві конструкції запроєктовані відповідно до діючих норм ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування».
Додаткові	
6.	Виготовлення і монтаж конструкцій виконувати відповідно до діючих технічних умов.
7.	Креслення металоконструкції розроблені на основі технічного завдання.
8.	Заходи щодо захисту сталевих конструкцій від корозії виконувати відповідно до діючих норм ДСТУ EN 1080.
9.	Після виготовлення сталеві конструкції відґрунтувати та пофарбувати масляною фарбою за 2 рази.

Приклад виконання креслення наведений на рис. 18.

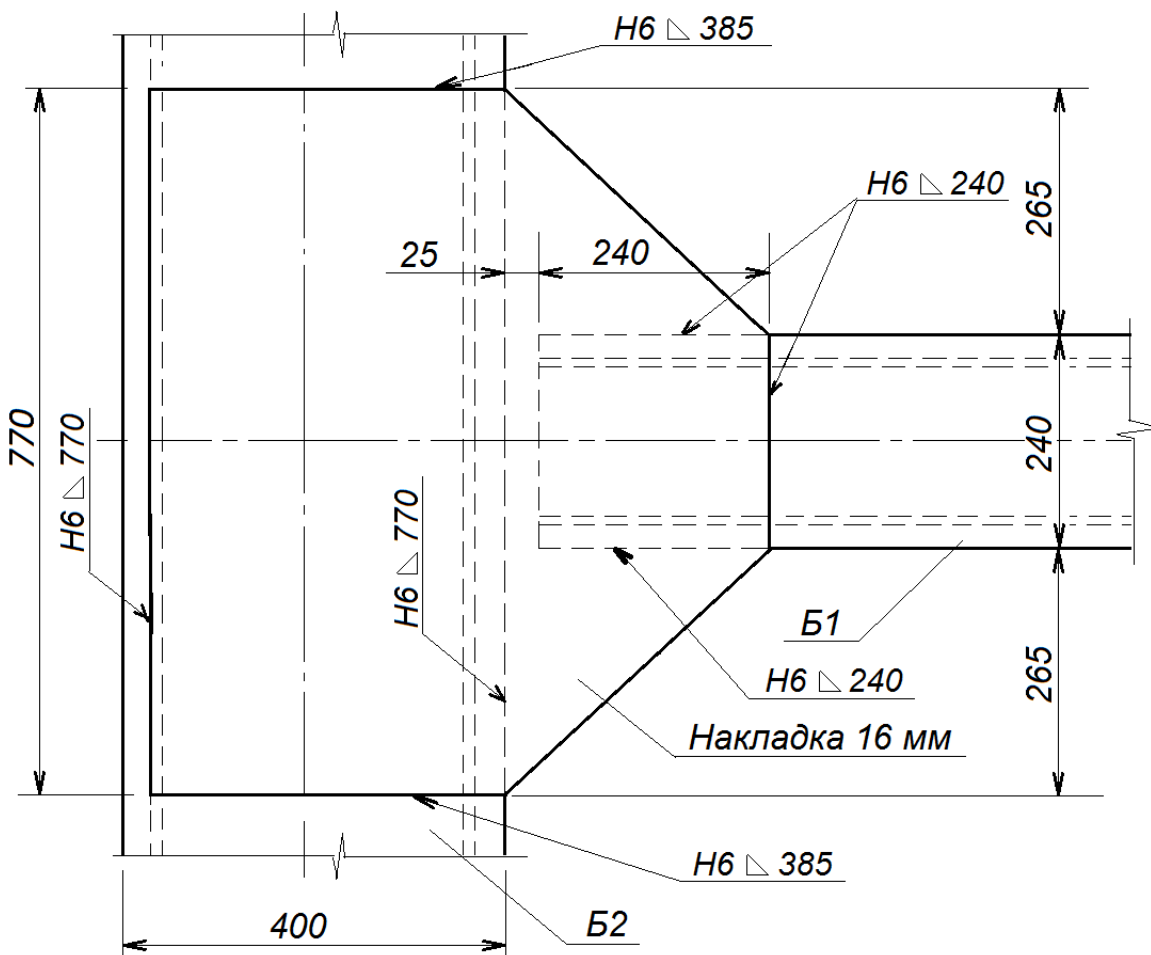


Рис. 16. Вузол з'єднання головної і кінцевої балок.

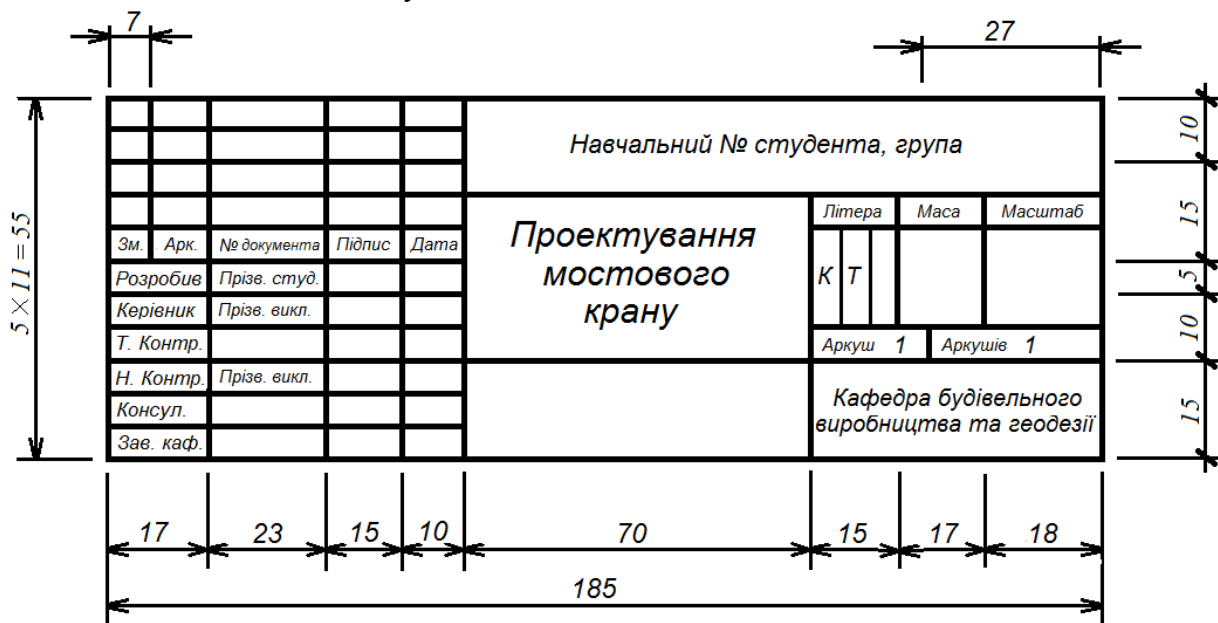


Рис. 17. Форма для штампу.

На цьому виконання курсової роботи вважається завершеним.

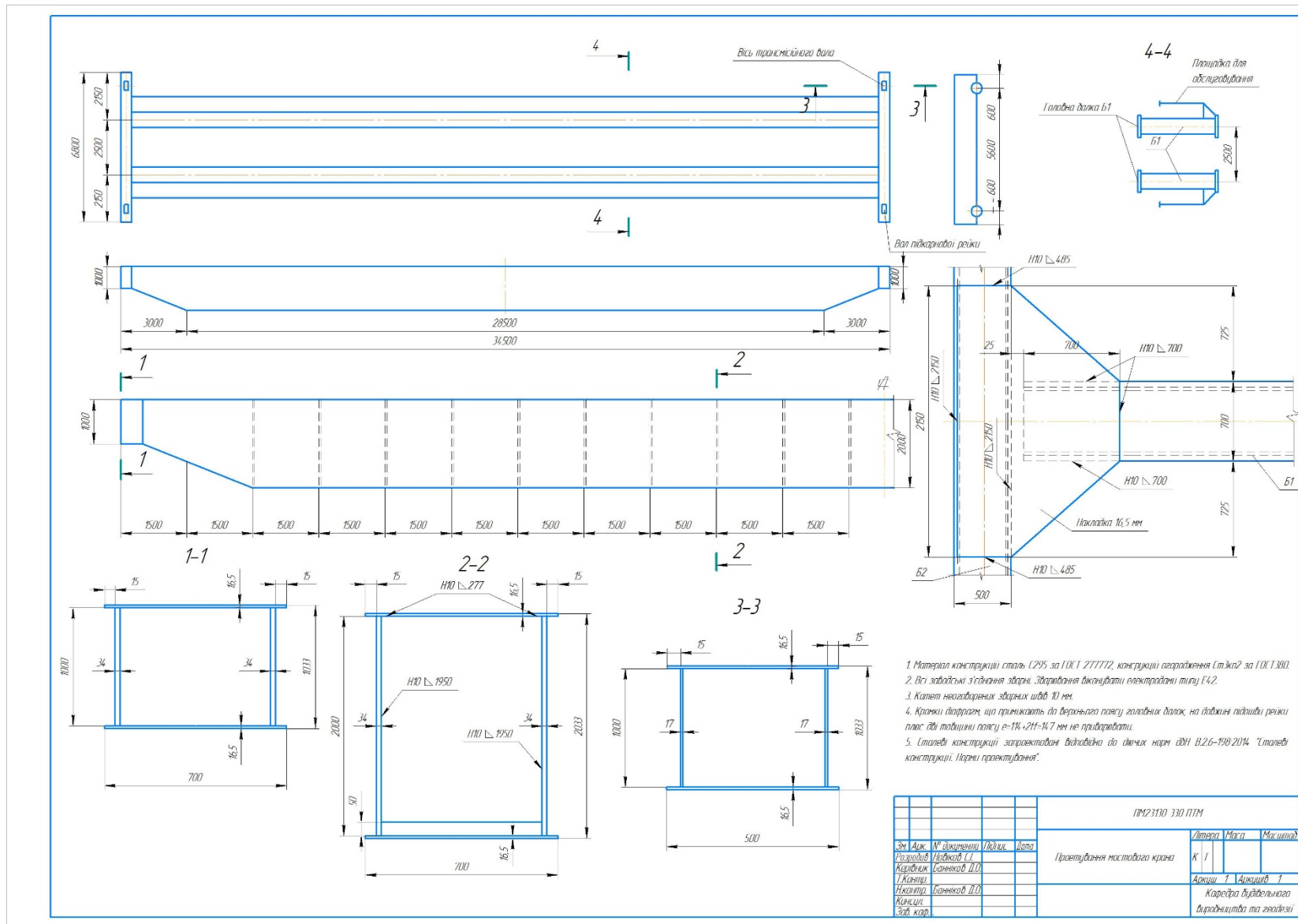


Рис. 18. Приклад оформлення креслення основних несучих елементів мостового крана.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яка основна мета виконання курсової роботи?
2. З чого складається курсова робота?
3. Які основні характеристики мостового крану потрібні для його проектування?
4. Які основні розрахункові характеристики сталі використовуються в роботі?
5. Як визначається власна вага головної балки мостового крану?
6. Як визначається власна вага трансмісійного валу мостового крану?
7. Як визначається власна вага центрального вузла керування мостового крану?
8. Як визначається власна вага кабіни керування мостового крану?
9. Як визначається власна вага візка мостового крану?
10. Як визначається власна вага кінцевої балки мостового крану?
11. Які види розрахункових навантажень враховують при проектуванні мостового крану?
12. Як визначаються розрахункові вертикальні навантаження на мостовий кран?
13. Як визначаються розрахункові поздовжні навантаження на мостовий кран?
14. Які найгірші положення візка мостового крану при його проектуванні?
15. Які додаткові види навантажень на мостовий кран враховуються при реальному проектуванні?
16. Яким вимогам має відповідати головна балка мостового крану відповідно до чинних норм?
17. Що собою являє лінія впливу згинального моменту для головної балки мостового крану?
18. Яким чином за лінією впливу визначається значення згинального моменту?
19. Що собою являє поперечний переріз головної балки мостового крану?
20. З яких міркувань визначається висота головної балки мостового крану?
21. З яких міркувань визначається ширина поясів головної балки мостового крану?
22. З яких міркувань визначається товщина стінки головної балки мостового крану?
23. З яких міркувань визначається товщина поясів головної балки мостового крану?
24. З яких міркувань визначається висота головної балки на опорі мостового крану?
25. За якими виразом перевіряється міцність за нормальними напруженнями для головної балки мостового крану?

26. За якими виразом перевіряється міцність за дотичними напруженнями для головної балки мостового крану?
27. За якими виразом перевіряється міцність за локальними напруженнями для головної балки мостового крану?
28. За якими виразом перевіряється місцева стійкість поясу для головної балки мостового крану?
29. За якими виразом перевіряється місцева стійкість стінки для головної балки мостового крану?
30. За якими виразом перевіряється жорсткість для головної балки мостового крану?
31. За якими виразом перевіряється вимога щодо власних коливань головної балки мостового крану?
32. Яким чином забезпечується міцність рейки під візком мостового крану?
33. В якому перерізі головної балки мостового крану виконується розрахунок поясного шву?
34. Яким чином приймається остаточний катет поясного шву головної балки мостового крану?
35. Що собою являє поперечний переріз кінцевої балки мостового крану?
36. З яких міркувань визначаються розміри поперечного перерізу кінцевої балки мостового крану?
37. Яким вимогам має відповідати кінцева балка мостового крану відповідно до чинних норм?
38. За якими виразом перевіряється міцність за приведеними напруженнями для кінцевої балки мостового крану?
39. За якими виразом перевіряється місцева стійкість поясу для кінцевої балки мостового крану?
40. За якими виразом перевіряється місцева стійкість стінки для кінцевої балки мостового крану?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі Зміною № 1. На заміну ДСТУ Б В.2.6-194:2013 та ДБН В.2.6-163:2010 у частині розділу 1 ; чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 220 с.
2. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зміна № 1. Чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ : М-во розвитку громад та територій України, 2022. 15 с.
3. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. На заміну ДБН В.2.6-163:2010 у частині розділу 1 та ДСТУ Б В.2.6-194:2013 ; чинний від 2015-01-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 205 с.
4. Сортамент сталевих виробів : довідник / упоряд. Д. О. Банніков ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро : УДУНТ, 2023. 92 с. URL: <https://doi.org/10.15802/978-617-8314-45-3> (дата звернення: 27.12.2024).
5. Мартовицький Л. М., Глушко В. І., Клименко Г. В. Атлас металоконструкцій ПТМ : навч. посіб. / за ред. канд. техн. наук, доц. Л. М. Мартовицького ; Нац. ун-т «Запоріж. політехніка». Запоріжжя : Національний університет «Запорізька політехніка», 2019. 222 с.
6. Атлас конструкцій підйомно-транспортних машин : навч. посіб. / В. О. Білостоцький та ін. Харків : ХНТУСГ, 2008. Ч. I : Крани і кранові механізми. 2008. 100 с.
7. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі Змінами № 1 та № 2. На заміну СНиП 2.01.07-85 (за винятком розділу 10) ; чинний від 2020-06-01. Вид. офіц. Київ : М-во регіон. розвитку та буд-ва України, 2020. 70 с.
8. ДСТУ 8540:2015. Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент. На заміну ГОСТ 19903-74 ; чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 11 с.

ДОДАТОК А

Сортамент листової гарячекатаної сталі

Таблиця А.1

Прокат листовий (вибірка за ДСТУ 8540:2015 [8])

Товщина, мм	Ширина, мм
4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5 8,0 8,5 9,0 9,5	
10,0 10,5 11,0 11,5 12,0 12,5 13,0 13,5 14,0 14,5 15,0 15,5 16,0 16,5	500 510 600 650 670 700 710 750 800 850 900 950
17,0 17,5 18,0 18,5 19,0 19,5 20,0 20,5 21,0 21,5 22,0 22,5 23,0 23,5	1000 1100 1250 1400 1420 1500 1600 1700 1800 1900 2000
24,0 24,5 25,0 25,5 26 27 28 29 30 31 32	2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3000
34 36 38 40 42 45 48 50 52 55 60 62 65 68 70 72 75 78 80 82	3200 3400 3600 3800 4000 4200 4400
85 87 90 92 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160	

Таблиця А.2

Прокат широкоштабовий універсальний (тимчасовий за ГОСТ 82-70*)

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	400 420 450 460 480 500 520 530 560
20 22 25 28	600 630 650 670 700 750 800 850 900 950
30 32 36	1000 1050
40 45 50 55 60	

ДОДАТОК Б

Розрахункові характеристики сталі

Таблиця Б.1

**Характеристичні і розрахункові опори сталі при розтягу, стиску та згині
для листового, ширококутового універсального і фасонного прокату
відповідно до класів міцності прокату сталі**

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , Н/мм ² , прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , Н/мм ² , прокату			
		листового, ширококутового, універсального		фасонного		листового, ширококутового, універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
C235	від 2 до 20	235	360	235	360	230	350	230	350
	понад 20 до 40	225	360	225	360	220	350	220	350
	понад 40 до 100	215	360	–	–	210	350	–	–
	понад 100	195	360	–	–	190	350	–	–
C245	від 2 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 30	–	–	235	370	–	–	230	360
C255	від 2 до 3,9	255	380	–	–	250	370	–	–
	від 4 до 10	245	370	255	380	240	360	250	370
	понад 10 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 40	235	370	235	370	230	360	230	360
C275	від 2 до 10	275	380	275	390	270	370	270	380
	понад 10 до 20	265	370	275	380	260	360	270	370
C285	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
C295	до 100	295	430	295	430	285	420	285	420
C325	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
	понад 40 до 60	285	450	–	–	280	440	–	–
	понад 60 до 80	275	440	–	–	270	430	–	–
	понад 80 до 100	265	430	–	–	260	420	–	–
C345	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
C345K	від 4 до 10	345	470	345	470	335	460	335	460
C355	від 8 до 50	355	450	–	–	350	440	–	–
C375	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
C390	від 4 до 50	390	540	–	–	380	530	–	–
C390K	від 4 до 30	390	540	–	–	380	530	–	–
C420	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	–	–

Продовження таблиці Б.1

C440	від 4 до 30	440	590	–	–	430	575	–	–
	понад 30 до 50	410	570	–	–	400	555	–	–
C460	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	–	–
C490	від 8 до 50	490	590	–	–	475	575	–	–
C500	від 3 до 50	500	590-	–	–	485	575-	–	–
	від 50 до 100	480	770	–	–	465	750	–	–
C590	від 10 до 36	590	685	–	–	540	617	–	–
C590К	від 10 до 40	590	685	–	–	540	617	–	–
C620	від 3 до 50	620	700-	–	–	600	680-	–	–
	від 50 до 100	580	890	–	–	565	865	–	–

¹⁾ За товщину фасонного прокату приймається товщина полиці.

²⁾ За характеристичні опори прийняті гарантовані значення границі текучості і тимчасового опору.

³⁾ Значення розрахункових опорів одержані діленням характеристичних опорів на коефіцієнти надійності за матеріалом γ_m із заокругленням до 5 Н/мм². Для класів міцності прокату сталі С235-С500; С620 враховано $\gamma_m = 1,025$, а для класів С590; С590К враховано $\gamma_m = 1,1$.

Примітка 1. Розрахункові опори прокату конкретних марок сталей, які наведені у таблиці Г.5, слід приймати з урахуванням коефіцієнта надійності за матеріалом γ_m , який визначається згідно з таблицею 7.2.

Примітка 2. Розрахункові опори R_{yw} стінок гарячекатаних двотаврів і швелерів допускається збільшувати на 10% порівняно до R_y .

ДОДАТОК В

Довідкові дані про мостові крани

Таблиця В.1

Дані про електричні мостові крани вантажопідйомністю 5 – 50 т

Вантажопідйомність крану Q , т	Проліт крану L , м	Геометричні розміри крану, мм			Геометричні розміри візка, мм		Маса візка $G_0^{віз}$, т
		ширина B	база K	мінімальне наближення крюка a_{min}	ширина колеї T	база P	
5	10,5	4700	3700	1100	1400	1000	2,0
	16,5	4700	3700				
	22,5	4700	3700				
	28,5	6000	5000				
	34,5	6600	5600				
8	10,5	5400	4400	1150	1600	1100	2,2
	16,5	5400	4400				
	22,5	5400	4400				
	28,5	6000	5000				
	34,5	6600	5600				
10	10,5	5400	4400	1200	2000	1300	2,4
	16,5	5400	4400				
	22,5	5400	4400				
	28,5	6000	5000				
	34,5	6600	5600				
12,5	10,5	5500	4400	1250	2000	2000	3,0
	16,5	5500	4400				
	22,5	5500	4400				
	28,5	6100	5000				
	34,5	6700	5600				

Закінчення таблиці В.1

Вантажопідйомність крану Q , т	Проліт крану L , м	Геометричні розміри крану, мм			Геометричні розміри візка, мм		Маса візка $G_0^{віз}$, т
		ширина B	база K	мінімальне наближення крюка a_{min}	ширина колії T	база P	
16	10,5	5600	4400	1300	2000	2400	3,7
	16,5	5600	4400				
	22,5	5600	4400				
	28,5	6200	5000				
	34,5	6800	5600				
16/3,2	10,5	5600	4400	1300	2000	2400	4,7
	16,5	5600	4400				
	22,5	5600	4400				
	28,5	6200	5000				
	34,5	6800	5600				
20/5	10,5	5600	4400	1400	2000	2400	6,3
	16,5	5600	4400				
	22,5	5600	4400				
	28,5	6200	5000				
	34,5	6800	5600				
32/5	10,5	6300	5100	1600	2500	3200	8,7
	16,5	6300	5100				
	22,5	6300	5100				
	28,5	6300	5100				
	34,5	6800	5600				
50/12,5	10,5	6860	5600	1800	2500	3200	13,5
	16,5	6860	5600				
	22,5	6860	5600				
	28,5	6860	5600				
	34,5	6860	5600				

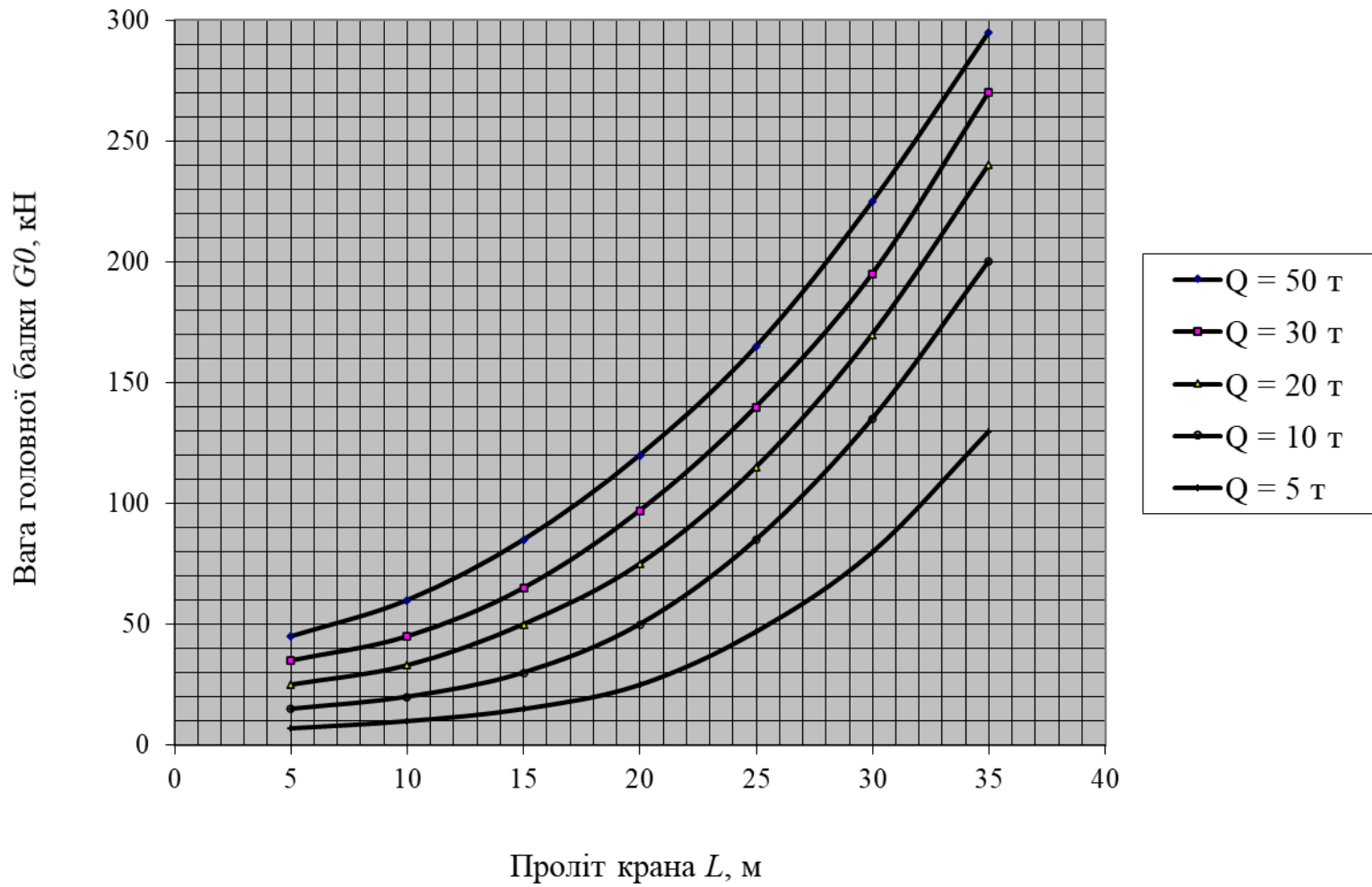


Рис. В.1. Характеристичне значення власної ваги половини моста крана (для режимів роботи крана 4К-6К)

Таблиця В.2

Вага елементів механізму пересування мостового крана

Вантажопідйомність крана Q , т	Вага трансмісійного валу q_0^{me} , кН/м	Вага центрального вузла керування крана G_0^{ue} , кН
5 – 16	1,0	9
20 – 32	1,5	12
50	2,0	20

Таблиця В.3

Коефіцієнт вертикальної динаміки k_{de} мостового крана

Швидкість крана V , м/с	Значення коефіцієнту k_{de}
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_{wm} , Н/мм ²	Розрахунковий опір R_{wf} , Н/мм ²
С315 і нижче	410	180
Вище С315 до С355 включно	450	200
Вище С355 до С390 включно	490	215
Вище С390 до С440 включно	590	240
Вище С440	685	280

Таблиця Г.2

Мінімальні катети зварних швів

Вид з'єднання	Вид зварювання	Характеристичний опір прокату сталі R_{yn} , Н/мм ²	Мінімальний катет шва $k_{f,min}$, 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 у 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
		$290 \leq R_{yn} \leq 390$	3	4	5	6	7	8	9
		$390 \leq R_{yn} \leq 590$	4	5	6	7	8	9	10
Таврове з односторонніми кутовими швами	Ручне та механізоване у суміші газів	$R_{yn} \leq 390$	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматичне та механізоване у вуглекислому газі	$R_{yn} \leq 390$	4	5	6	7	8	9	10

Примітка 1: У конструкціях із сталі з границею текучості понад 590 Н/мм², а також з усіх сталей при товщині елементів у з'єднанні понад 80 мм мінімальний катет кутових швів слід приймати за спеціальними нормативними документами.

Примітка 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.

Навчально-методичне видання

Банніков Дмитро Олегович

ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МАШИН

Навчально-методичні рекомендації
до виконання курсової роботи
«ПРОЄКТУВАННЯ МОСТОВОГО КРАНУ»

Електронне видання

Експертний висновок склала канд. техн. наук, доц. Наталія Нікіфорова

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 1.814 від 04.02.2025)

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка Д. О. Банніков

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 3,02. Обл.-вид. арк. 3,05.
Зам. № 13.

Видавець: Український державний університет науки і технологій.
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022