

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсової роботи з дисципліни
«Проектування металеві конструкції ПТБіДМ»
для студентів спеціальності 6.05050308

Методичні вказівки
рекомендовано до подальшого
використання в учбовому
процесі.
Протокол метод. ради ІЕФ
№10 від 04.06.12 р.

УДК 624.04.621.87

Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Проектування металоконструкцій ПТБіДМ» (для студентів спеціальностей 7.090214 та 8.090214)/Укл.: В.О. Койнаш. – Краматорськ: 2011. – 82 с.

Викладено загальні вимоги до обсягу та змісту курсової роботи. Наведено варіанти завдань і короткі методичні рекомендації з їхнього виконання. Надано приклад розрахунку головної балки мостового крану.

Укладачі: В.О. Койнаш, ст. викл

Відповідальний за випуск В.Г. Крупко, доц., к.т.н.

Зміст

Введення	4
1 Мета й тематика курсової роботи	5
2 Завдання на курсову роботу	5
3 Обсяг і загальні вимоги до змісту курсової роботи	7
3.1 Зміст розрахунково-пояснювальної записки	7
3.2. Зміст графічної частини	7
4 Методичні рекомендації з виконання розділів розрахунково-пояснювальної записки.....	8
4.1 Обґрунтування загальної схеми металоконструкції, вибір основних конструктивних параметрів	8
4.2 Вибір методу розрахунку	11
4.3 Вибір матеріалів для несучих і допоміжних елементів, визначення розрахункових припустимих опорів і напруг.....	11
4.4 Визначення навантажень і їхніх розрахункових сполучень.....	13
4.5 Вибір розрахункових схем і визначення внутрішніх силових факторів в елементах	18
4.6 Визначення розмірів несучих елементів металоконструкцій (проектувальний розрахунок).....	19
4.7 Забезпечення місцевої й загальної стійкості.....	19
4.8 Перевірочні розрахунки	20
4.10 Розрахунок металоконструкції на витривалість	22
4.11 Перевірка на твердість і розрахунок будівельного підйому	23
Література	24
Додаток А	25
Додаток Б	40

Введення

Дисципліна «Проектування металевих конструкцій ПТБіДМ» належить до циклу професійно-орієнтованих дисциплін і вивчає методи розрахунку та проектування металевих конструкцій, які застосовуються в підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх та меліоративних машинах (ПТБ і ДМ). У цих машинах металева конструкція складає кістяк машини, на якому змонтовано механізми, тому для майбутніх фахівців спеціальності 8.090214 «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини й обладнання» (ПТБ і ДМ) ця дисципліна є однією з найважливіших. Вона базується на знаннях, отриманих студентами при вивчанні дисциплін загальноосвітнього та загально-інженерного циклу, таких як: вища математика, фізика, теоретична механіка, опір матеріалів, технологія конструкційних матеріалів, деталі машин та дисципліни спеціального напрямку – вантажопідйомні машини. У свою чергу знання даної дисципліни застосовуються і подалі при вивчанні дисциплін спеціального циклу, а також при курсовому й дипломному проектуванні.

Ця курсова робота є завершальним етапом вивчення дисципліни «Проектування металоконструкцій» і являє собою комплексне рішення розрахункових, конструкторських і технологічних завдань, пов'язаних із проектуванням металевої конструкції підйомно-транспортної машини.

1 МЕТА Й ТЕМАТИКА КУРСОВОЇ РОБОТИ

Метою курсової роботи є подальше практичне освоєння дисципліни «Проектування металевих конструкцій ПТБіДМ», що полягає у надбанні студентами навичок конструювання й розрахунків металевих конструкцій (як за допомогою калькулятора, так і за допомогою ЕОМ), а також використання чинних нормативних документів України.

Темами курсових робіт можуть бути:

- 1) Міст мостового крана гратчастого або листового виконання;
- 2) Стріла поворотного крана ферменого виконання;
- 3) Пролітна будова або опора козлового крану або мостового перевантажувача;
- 4) Тематика, пов'язана з потребами конкретних підприємств, для яких ведеться підготовка фахівця.

2 ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Завдання на курсову роботу видається індивідуально кожному студентові на спеціальному бланку. У завданні вказуються наступні вихідні дані:

- 1) тип підйомно-транспортної машини;
 - 2) вантажопідйомність;
 - 3) проліт крана або довжина стріли (консолі);
 - 4) швидкість робочих рухів машини;
 - 5) умови експлуатації;
 - 6) режим роботи крана за ДСТ 25546-83;
 - 7) схема грат (як правило, для гратчастих металоконструкцій);
 - 8) тип виробництва при виготовленні металоконструкції, наявність сучасного зварювально-складального устаткування;
 - 9) рекомендації із застосування ЕОМ і САПР;
 - 10) додаткові відомості, пов'язані зі специфікою конкретних завдань.
- Варіанти завдань із цифровими даними з теми 1 наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 –

Варіанти завдань для проектування кранових мостів листового виконання

№ вар.	Q, т	L _к , м	V _п , $\frac{м}{с}$	V _к , $\frac{м}{с}$	V _т , $\frac{м}{с}$	t _{max} , °С	t _{min} , °С	Режим роботи	Місце встановлення
01	5	16,5	0,25	1,50	0,75	+40	-20	3К	1
02	100	19,5	0,16	1,20	0,60	+60	0	7К	2
03	63	34,5	0,23	1,42	0,71	+60	-20	8К	3
04	16	27,5	0,35	2,06	1,00	+40	-40	2К	4
05	20	27,5	0,25	2,10	1,05	+40	-40	7К	5
06	32	22,5	0,12	1,30	0,65	+40	-20	4К	6
07	7,2	17,5	0,13	1,20	0,60	+20	-70	2К	7
08	25	17,5	0,22	1,70	0,85	+40	0	3К	8
09	10	22,5	0,13	1,30	0,65	+20	-20	6К	9
10	5	42,5	0,18	1,60	0,80	+20	-70	7К	10
11	200	34,5	0,21	0,53	0,38	+60	-20	8К	11
12	8	22,5	0,17	1,35	0,66	+40	-40	3К	12
13	250	32,5	0,27	0,52	0,33	+20	-5	5К	13
14	12,5	16,5	0,16	1,30	0,65	+30	-60	1К	14
15	160	30,5	0,11	0,80	0,40	+60	-5	5К	15
16	20	16,5	0,30	1,20	0,20	+20	0	4К	16
17	80	21,5	0,075	1,40	0,50	+60	-5	6К	17
18	6,3	40,5	0,06	1,10	0,90	+20	-70	3К	18
19	50	36,5	0,20	1,35	0,65	+20	-5	5К	19
20	150	20,5	0,14	0,90	0,40	+40	-5	8К	20
21	40	20,5	0,15	0,60	0,30	+20	-60	3К	21
22	320	16,5	0,09	0,45	0,10	+20	-5	2К	22
23	100	22,5	0,12	0,90	0,30	+20	-40	1К	18
24	25	27,5	0,26	1,20	0,60	+20	-5	6К	9
25	125	19,5	0,10	0,60	0,30	+40	0	7К	17
26	72	18,5	0,18	0,90	0,20	+40	-40	2К	14
27	16	14,5	0,40	1,10	0,40	+30	0	6К	23
28	50	22,5	0,18	1,70	1,35	+40	-20	3К	16
29	75	16,5	0,30	2,10	1,05	+20	-40	7К	18
30	6,3	22,5	0,22	1,35	1,20	+30	-40	8К	1
31	100	19,5	0,10	0,80	0,40	+20	-30	5К	2
32	12,5	20,5	0,11	1,60	0,80	+40	-10	4К	19
33	320	17,5	0,06	0,53	0,38	+40	-10	6К	11
34	5	22,5	0,14	0,90	0,45	+20	-20	7К	8
35	20	32,5	0,25	2,10	1,05	+20	-40	6К	14

Місце встановлення: 1 Механічний цех машинобудівного заводу; 2 Ливарний цех машинобудівного заводу; 3 Мартенівський цех машинобудівного заводу; 4 Відкрита естакада ЦМК; 5 Відкрита естакада копрового цеху; 6 Ковальсько-пресовий цех (склад кувань); 7 Відкрита естакада в умовах Крайньої Півночі; 8 Хімічний завод із підвищеною вологістю; 9 Шихтовий проліт мартенівського цеху; 10 Відкрита естакада мартенівського цеху; 11 Розливочний проліт мартенівського цеху; 12 Відкритий склад металу ЦМК; 13 Механоскладальний цех; 14 Відкритий склад заготовок; 15 Проліт кувань ЦМК; 16 Хімічне виробництво з агресивним середовищем; 17 Розливочний проліт конверторного цеху; 18 Відкрита естакада; 19 Ділянка складання механоскладального цеху; 20 Пічний проліт ливарного цеху; 21 Відкритий склад металу; 22 Проліт мехобробки; 23 Ливарний цех (перевантаження піску).

3 ОБСЯГ І ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота складається з розрахунково-пояснювальної записки обсягом 30...40 Листів формату А4 і двох Листів креслень формату А1 (графічна частина). Розрахунково-пояснювальна записка й креслення повинні бути оформлені строго відповідно до вимог ЕСКД.

3.1 Зміст розрахунково-пояснювальної записки

1. Введення.
2. Обґрунтування загальної схеми металоконструкції, вибір основних конструктивних параметрів.
3. Вибір методу розрахунку (метод припустимих напруг, або метод граничних станів).
4. Вибір матеріалу для несучих і допоміжних елементів, визначення розрахункових припустимих опорів і напруг.
5. Визначення навантажень і їхніх розрахункових сполучень.
6. Вибір розрахункових схем і визначення внутрішніх силових факторів в елементах.
7. Визначення розмірів несучих елементів металоконструкції (проектувальний розрахунок).
8. Обґрунтування місцевої (локальної) й загальної стійкості металоконструкції.
9. Перевірочні розрахунки.
10. Розрахунок зварених швів і болтових з'єднань.
11. Розрахунок металоконструкції на витривалість (виконується при необхідності).
12. Перевірка на твердість і розрахунок будівельного підйому (для пролітних кранів).
13. Захист металоконструкції від корозії.

За узгодженням із керівником з урахуванням специфіки конкретних завдань окремі з перерахованих розділів можуть бути виключені або замінені.

3.2. Зміст графічної частини

На першому Листі викреслюється загальний вид металоконструкції. Як правило, це три основних проєкції в масштабі 1:10, 1:20, 1:50, 1:100 з видами, перетинами й розрізами, що розкривають більш дрібні конструктивні елементи й особливості.

На другому Листі надається креслення великого складеного елемента металоконструкції, що входить у загальний вид як складальна одиниця під певним номером позиції.

На обох Листах повинні бути позначені зварені шви в прийнятій системі позначень, а також виносні цифрові позначення позицій для складання специфікацій. До кожного Листа складається специфікація, що оформляється відповідно до ЄСКД і додається до розрахунково-пояснювальної записки.

Так, стосовно до завдання «Проектування кранового мосту листового виконання» на першому Листі викреслюється загальний вид мосту: три основних проекції, поперечний розріз, місце з'єднання головної балки з кінцевою. На другому Листі можуть бути: балка головна, балка кінцева, площадки обслуговування. При цьому викреслюються також три проекції й конкретні розрізи.

Стосовно до ґратчастих мостів на першому Листі повинен бути зображений міст у трьох проекціях з розрізами й видами мосту у зборі. На другому Листі викреслюється головна ферма: одна проекція, поперечні розрізи, схема ґрати, вузли (місця з'єднання кінців стрижнів) у більшому масштабі.

При проектуванні кранових ґратчастих стріл на першому Листі зображується розрахункова схема й результат розрахунку зусиль у стрижнях. На другому Листі викреслюється металокопструкція стріли з дотриманням правил машинобудівного креслення. Аналогічна графічна частина виконується при проектуванні ґратчастих опор козлових кранів і мостових перевантажувачів.

4 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

У розділі необхідно показати функціональне призначення металокопструкції в підйомно-транспортних машинах, їхній вплив на основні техніко-економічні показники машин. Відзначити основні напрямки науково-технічного прогресу в області проектування, виготовлення й експлуатації кранових металокопструкцій. Указати конкретні шляхи створення металокопструкцій кранів з теми курсової роботи, що забезпечують конкурентоспроможність вироблених в Україні вантажопідйомних машин на світовому ринку. Інформація для введення надана в літературі [2, с. 5...9; 3 с. 5...8].

4.1 Обґрунтування загальної схеми металокопструкції, вибір основних конструктивних параметрів

У цьому розділі необхідно зобразити загальну схему металокопструкції, показати її основні складові частини, описати їхню копструкцію, призначення й ступінь відповідальності при експлуатації крана. Приступаючи до виконання цього розділу необхідно опрацювати літературу, а саме:

- стосовно кранових мостів листового виконання – [1, с. 91...196; 2, с. 363...395; 3, с. 298...306; 4, с. 205...218];
- стосовно кранових мостів гратчастого виконання – [2, с. 280...285, 368, 381...389; 3, с. 230...234, 298, 316...321; 5, с. 168...176];
- стосовно кранових стріл [5, с. 176...179; 6, с. 215...216];

Для визначення загальної конструктивної схеми кранового мосту листового виконання необхідно прийняти наступні проектні рішення:

- 1) призначити число ходових коліс крана;
- 2) визначитися із конструкцією з'єднання головної балки з кінцевою;
- 3) прийняти варіант встановлення підвізочної рейки (або рейка буде встановлена на верхньому поясі між стінками, або над однією з вертикальних стінок).

Кількість ходових коліс крана призначається залежно від вантажопідйомності (табл. 4.1.).

Таблиця 4.1 –

Вибір числа ходових коліс крана

Вантажопідйомність, т	$Q_H < 80$	$80 \leq Q_H < 160$	$160 \leq Q_H < 320$
Число ходових коліс	4	8	16

Конструкція вузла з'єднання головної балки з кінцевою залежить від вантажопідйомності (табл. 4.2.).

Таблиця 4.2 –

Вибір схеми з'єднання головної балки з кінцевою

Вантажопідйомність, т	$Q_H < 80$	$80 \leq Q_H < 160$	$160 \leq Q_H < 320$
Схема з'єднання	«Ташкентська»	«Напівповерхова»	«Поверхова»

Найпоширенішим способом встановлення підвізочної рейки – між вертикальними стінками, однак при більших значеннях вантажопідйомності ($Q_H \geq 160$ т) рекомендовано встановлення рейки над стінкою.

Під вибором основних конструктивних параметрів розуміється визначення орієнтовних розмірів металоконструкції з досвіду проектування (табл. 4.3.).

Таблиця 4.3 –

Вибір основних конструктивних параметрів

Параметр	Рекомендоване значення	Примітка
База крана	$B_K = \left(\frac{1}{7} \dots \frac{1}{5} \right) L_K$	При кількості ходових коліс більш за чотири можливе збільшення отриманого значення бази крана для забезпечення розміщення колісних балансирів. При цьому мінімальна відстань між вертикальними осями ходових коліс у малому балансірі приймається 800 мм, а більшому – 1800 мм [1, 2, 3, 4].
Колія візка	$K_T = B_K - (1,6 \dots 2,5)$	
База візка	$B_T = (1,0 \dots 1,2) K_T$	
Висота головної балки	$H_{ГБ} = \left(\frac{1}{18} \dots \frac{1}{14} \right) L_K$	
Відстань між вертикальними стінками	$b \geq \frac{1}{50} L_K \text{ и } b \geq \frac{1}{50} L_K,$	З умови можливості виконання зварювання усередині балки необхідно $b \geq 300 \text{ мм}$, [1, 2, 3, 4].
Товщина вертикальних листів	$\delta_{c1} = \delta_{c2} = \delta_c$ $Q_H \leq 20 \text{ т}, \delta_c = (4 \dots 6) \text{ мм},$ $Q_H = 25 \dots 72 \text{ т}, \delta_c = (6 \dots 8) \text{ мм},$ $Q_H = 80 \dots 200 \text{ т}, \delta_c = (8 \dots 10) \text{ мм},$ $Q_H \geq 250 \text{ т}, \delta_c = (12 \dots 14) \text{ мм}$	При цьому з технологічних міркувань $\delta_c \geq 0.004 \text{ м}$, а для кранів працюючих в агресивних середовищах $\delta_c \geq 0.008 \text{ м}$
Товщина поясів	$\delta_{пв} = \delta_{пн} = \delta_{п} = (1 \dots 3) \delta_c$	Але не менш ніж 6 мм із технологічних міркувань і не більш ніж 50 мм для маловуглецевих (40 мм для низьколегованих) сталей з умови запобігання тендітного руйнування внаслідок можливого виникнення при більших товщинах об'ємного напруженого стану.
Висота перетину кінцевої балки	$H_{кб} = (0.4 \dots 0.6) H_{ГБ}$ – якщо головні балки з'єднані з кінцевими за схемою «на одному рівні». $H_{кб} \cong D_K$ – при з'єднанні головних балок з кінцевими по «поверховій» або «напівповерховій» схемі.	Див. також [1, 2, 3].

Продовження таблиці 4.3

Ширина кінцевої балки	$V_{кб} = (0,5...0,8)H_{кб}$	
Висота головної ферми	$H_{гф} = \left(\frac{1}{14} \dots \frac{1}{12}\right)L_k$ реже $\left(\frac{1}{10} \text{ и } \frac{1}{16}\right)$	Кількість панелей завжди приймають парним, а кут нахилу в розкосах головних і допоміжних ферм – близько 45^0 [2, 3].
Скоси на кінцях головної балки	Міст листового виконання: $c \cong 2H$ [2,3]. Міст гратчастого виконання: $c \cong (0,1...0,2)L_k$.	

4.2 Вибір методу розрахунку

Зміст полягає в прийнятті одного із двох існуючих у будівельній механіці критеріальних умов придатності металоконструкції до експлуатації (по методу припустимих напруг, або методу граничних станів). Щодо кранових металоконструкцій необхідно застосовувати метод граничних станів і показати його перевагу у порівнянні з методом припустимих напруг. Матеріал до даного розділу докладно приводиться у літературі [3, с. 126...133; 8, с. 110...116].

У висновку даного розділу необхідно визначити коефіцієнт умов роботи m_0 , за методикою, що наведена в навчальному посібнику [8, с. 111].

4.3 Вибір матеріалів для несучих і допоміжних елементів, визначення розрахункових припустимих опорів і напруг

У даному розділі необхідно:

1) сформулювати обов'язкові вимоги, висунуті до матеріалів для кранових металоконструкцій;

2) з урахуванням режиму роботи, температури навколишнього середовища, вантажопідйомності крану й рекомендацій, наведених у літературі [8, с. 109; 9, с. 7..15; 3, с. 9...20; 11, с. 42...43], призначити конкретні марки сталі для несучих і допоміжних елементів;

3) для обраних марок сталей необхідно виписати з довідкової літератури всі фізико-механічні властивості сталі [8, с.113...115; 9, с. 9...17; 10, с. 15...21; 11, с. 47...48], а також хімічний склад [10, с.17; 11, с. 45...49]. Далі, використовуючи попередній розділ, визначити розрахункові припустимі опори й напруги.

У цьому ж розділі необхідно вибрати зварювальні матеріали: типи й марки електродів для ручного зварювання, а також марки зварювального дроту й флюсу для автоматичного й напівавтоматичного зварювання. При

цьому використовується довідкова література [9, с. 18, 19; 11, с. 160...164; 12, с. 90...94]. Для обраних зварювальних матеріалів визначити розрахункові припустимі опори й напруги [3, с. 142; 2, с. 23; 8, с. 115; 9, с. 170].

Сталі, які застосовуються для виготовлення металоконструкцій, повинні задовольняти вимогам державних стандартів і мати сертифікати [9]. У порівнянні з вуглецевими сталями низьколеговані мають більш високі механічні характеристики (тимчасовий опір і границя текучості), підвищену холодостійкість, кращу зносостійкість, нормальну зварюваність, але ж більші значення ефективних коефіцієнтів концентрації напруг. Тому часто застосування низьколегованих сталей неефективно у випадку, якщо визначальною є не міцність від дії найбільших навантажень, а довговічність від дії змінних навантажень.

Для правильного вибору марки сталі і її якості (для вуглецевих сталей застосування спокійної, напівспокійної або киплячої сталі) варто враховувати небезпеку тендітного руйнування. Для появи тендітної тріщини визначальними є обставини, що знижують пластичність, а саме: тривісний напружений стан (із цієї причини найбільша товщина прокату у зварених елементах з маловуглецевої сталі не повинна перевищувати 50 мм, з низьколегованої – 40 мм), низькі температура й ударне навантаження. Номінальні руйнівні напруження при цьому можуть становити 0,1-0,8 від границі текучості сталі. Сталі для зварених металевих конструкцій кранів повинні відповідати зазначеним у табл. А.5 - А.10, де під товщиною прокату варто розуміти: для листів – товщину листа, для куточків – товщину полки, для труб – товщину стінки труби, для швелерів і двотаврів – величину t з відповідних стандартів.

У табл. А.5 наведені маловуглецеві сталі для конструкцій вантажопідійомних кранів по даним РТМ 24.090.52–85 (матеріали для зварених металевих конструкцій) для розрахункової температури до -20°C . Ударна в'язкість маловуглецевих сталей наведена в табл. А.6, а сталі для допоміжних елементів конструкцій – у табл. А.7.

Для несучих зварених металевих конструкцій кранів з розрахунковою температурою -20°C , а також для зниження металоємності кранів з розрахунковою температурою вище -20°C рекомендовано застосовувати низьколеговані сталі відповідно до даних по температурі в табл. А.8 (від -20 до -40°C), у табл. 1.1.5. (від -40 до -65°C) і в табл. А.10. Для металевих конструкцій кранів, призначених для експлуатації в районах з вологим тропічним кліматом і в атмосфері з підвищеною корозійною активністю, варто застосовувати сталі з гарантованим змістом міді (у марочне позначення сталей входить буква Д), що відрізняються підвищеною корозійною стійкістю.

У зварених з'єднаннях кранів всіх типів, що працюють при розрахунковій температурі до -20°C , допускається застосовувати поєднання маловуглецевих і низьколегованих сталей.

Зі сталей високої міцності для зварених конструкцій козлових кранів великої вантажопідйомності знайшла застосування сталь 12ГН2МФАЮ з механічними характеристиками: $\sigma_B = (690 - 880) \text{ МПа}$, $\sigma_T = (590 - 780) \text{ МПа}$, $\delta_5 = 14\%$, ударна в'язкість $a_n = 30 \text{ Дж/см}^2$ при -70°C .

Матеріали заклепок, болтів і електродів для металевих конструкцій наведені в табл. А.11, а механічні властивості застосовуваних для конструкцій сталей – у табл. А.5, А.6 і А.10.

4.4 Визначення навантажень і їхніх розрахункових сполучень

Розрахунок навантажень виконується на підставі теоретичних положень, викладених у лекціях, які необхідно опрацювати з літературних джерел [1, с. 136...140; 4, с. 47...60; 9, с. 42...59]. Стосовно кранових мостів розрахунок навантажень рекомендується робити за методикою, викладеною в посібнику [8, с. 115...119]. Однак при цьому варто чітко виділити навантаження I, II, III розрахункових випадків і сполучення I а, II а, I б, II б, II с [1, с. 138].

Таблиця 4.4 –

Розрахункові навантаження металевих конструкцій по методу граничних станів

Вид навантаження	Випадки навантажування				
	I		I		II
	Комбінації навантажень				
	I а	I б	II а	II б	–
Вага металевої конструкції крана з урахуванням коефіцієнтів поштовхів k_T' і k_T	$n_1 G_1$	$n_1 k_T' G_1$	$n_1 G_1$	$n_1 k_T G_1$	$n_1 G_1$
Вага встаткування, нерухомо розташованого на металевій конструкції, з урахуванням коефіцієнтів поштовхів k_T' і k_T	$n_2 G_2$	$n_2 k_T' G_2$	$n_2 G_2$	$n_2 k_T G_2$	$n_2 G_2$
Вага встаткування, що переміщається по металевій конструкції (візків і ін.), з урахуванням коефіцієнтів поштовхів k_T' і k_T	$n_3 G_3$	$n_3 k_T' G_3$	$n_3 G_3$	$n_3 k_T G_3$	$n_3 G_3$
Вага вантажу (включаючи захват вантажу) з урахуванням динамічних коефіцієнтів ψ_I і ψ_{II} і коефіцієнтів поштовхів k_T' і k_T	$\psi_I G_3$	$k_T' G_3$	$n_4 \psi_{II} G$	$n_4 k_T G$	–

Продовження таблиці 4.4

Горизонтальні сили інерції мас крана (розгін або гальмування одного з механізмів) $F_{И}$	–	$F_{И}$	–	$n_5 F_{И}^{max}$	–
Кут відхилення вантажного канатів від вертикалі α	–	α_I	–	$n_6 \alpha_{II}$	–
Навантаження від вітру на конструкцію $P_{В}$	–	–	$P_{ВII}$	$P_{ВII}$	$n_7 P_{ВIII}$

Примітки:

1. Комбінації навантажень передбачають наступну роботу механізмів:

I a і II a - кран нерухливий; плавний (Ia) і різкий (IIb) підйом вантажу із землі або гальмування його при опусканні;

I b і II b - кран у русі, плавний (Ib) або різкий (IIb) пуск або гальмування одного з механізмів.

2. Горизонтальні сили інерції $F_{И} = ma_{cp}$, де $F_{И}^{max} = 2F_{И}$ (але не менш ma_{max}) для кранів, $F_{И}^{max} = ma_{max}$ (але не більше $\mu N_{пр}$) для візка.

Вага металоконструкції G_1 приймається з досвіду попереднього проектування або по графіках залежно від вантажопідйомності й прольоту (Рисунок – 4.1), [8, с.117].

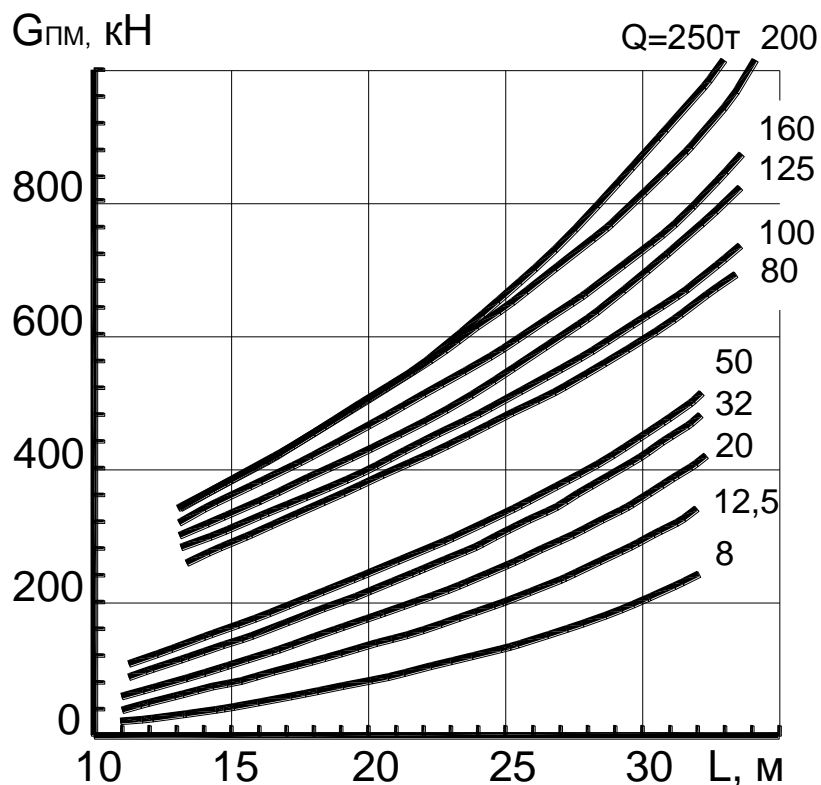


Рисунок 4.1 – Графіки залежності ваги пролітної частини металоконструкції від прольоту вантажопідйомності

Вагу встаткування нерухомо розташованого на металоконструкції G_2 (вага привода, кабіни) і такого, що переміщається по металоконструкції

G_3 приймають або по розроблених кресленнях, або за усередненим даними [8, с. 117].

Значення коефіцієнтів перевантажень для окремих навантажень наступні:

- для ваги металевої конструкції, $n_1 = 1,05 - 1,1$ [9, с. 166];
- для ваги встаткування, $n_2 = n_3 = 1,1 - 1,3$ [9, с. 166];
- для ваги вантажу, n_4 (табл. 4.5) [8, с. 118; 9, с. 166]

Таблиця 4.5 –

Коефіцієнти перевантажень для ваги вантажу

Вантажопідйомність крана, т	Режимна група			
	1ДО, 2ДО	3ДО, 4ДО	5ДО	6ДО, 7ДО
До 5	1,15	1,25	1,35	1,50
Св. 5 до 12,5	1,10	1,20	1,25	1,50
Св. 12,5 до 20	1,10	1,15	1,20	1,40
Св. 20 до 100	1,10	1,10	1,15	1,30
Св. 100 до 300	1,07	1,10	1,12	1,25
Св. 300	1,05	1,10	1,10	1,20

– для горизонтальних сил інерції, $n_5 = 1 - 1,5$ [9, с. 166];

– для кута відхилення вантажу $n_5 = 1,2 - 2,0$ [9, с. 166].

Коефіцієнт поштовхів k_T , що враховує вертикальні динамічні навантаження, що виникають через нерівність шляхів для кранів вантажопідйомністю від 1 до 50 т наведені в табл. 4.6. [9, с. 69]

Таблиця 4.6 –

Коефіцієнти поштовхів k_T для мостових кранів загального призначення вантажопідйомністю від 1 до 50 т включно

Швидкість пересування крана, м/с		k_T
Стики на болтових накладках	Зварені механічно оброблені стики, відсутність стиків	
До 0,5	До 0,83	1,0
0,5 до 1	0,83 до 1,6	1,1
Св. 1	Св. 1,6	1,2

Для інших типів крана коефіцієнт поштовхів можна визначити за формулою

$$k_T = 1.03 + a \cdot v,$$

де v – швидкість пересування, м/хв;
 a – коефіцієнт, рівний 0,001 при заварених стиках або при їхній відсутності й 0,002 при відкритих стиках рейок.

Для першого випадку навантаження коефіцієнт поштовхів визначається за формулою

$$k'_T = 1 + 0.5(k_T - 1).$$

Значення динамічних коефіцієнтів ψ_I і ψ_{II} визначають за формулою [9, с. 64]

$$\psi = 1 + \frac{\xi v}{\lambda_{ст} + y_{ст}} \sqrt{\frac{m_{Г} + m_{М}}{c_{М}}},$$

де $m_{М}$ – наведена до точки підвісу вантажу маса металеві конструкції крана й вантажного візка,

$$m_{М} \approx (0.5M_{М} + m_{Т}),$$

тут $M_{М}$ – маса пролітної будови (без опор і кінцевих балок);

$m_{Т}$ – маса вантажного візка.

$\lambda_{ст}$ – переміщення точки підвісу вантажу внаслідок статичного подовження канатів

$$\lambda_{ст} = \frac{G \cdot l_{к}}{n E_{к} F_{к}},$$

тут $l_{к}$ – довжина ділянок канату, $l_{к} \approx H$ (H – висота підйому вантажу);

G – вага вантажу;

n – кількість ділянок канату, на якому важить вантаж (табл. 4.7);

Таблиця 4.7 –

Рекомендовані значення кратності й складності поліспасти

Вантажопідйомність, т	1...8...8	10...16...16	20...32...32	36...50...50
Кількість ділянок, n	4	4, 6	6, 8	8, 10

$E_{к}$ – модуль пружності каната, для середніх умов $E_{к} = 1 \cdot 10^5$ МПа ;

$F_{к}$ – площа поперечного переріза каната.

$y_{ст}$ – статичний вертикальний прогин конструкції від ваги вантажу в місці його додатка

$$y_{ст} = \frac{GL^3}{2 \cdot 48EJ},$$

тут L – проліт крана;

J – момент інерції однієї половини мосту;

E – модуль пружності матеріалу металокопструкції, $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа .

v - швидкість відриву вантажу від основи;

ξ – поправочний коефіцієнт, для кранів загального призначення

можна приймати $\xi = 1.5$.

Розрахункову швидкість відриву вантажу від землі можна приймати: для II случаю навантаження (ψ_{II}) за таку, що дорівнює швидкості підйому вантажу ($v = v_{II}$), а для I случаю навантаження (ψ_I) для кранів режиму роботи 4ДО, 5ДО – $(0,35 - 0,5)v_{II}$, а для кранів режиму роботи 6ДО, 8ДО – $(0,50 - 0,80)v_{II}$.

При визначенні горизонтальних інерційних навантажень на крановий міст, прискорення, що виникає в період несталої роботи механізму пересування, варто визначати за формулою

$$a_{ср} = \frac{V_k}{t_{рк}},$$

де V_k – номінальна швидкість пересування крана (задана у вихідних даних);

$t_{рк}$ – час розгону крана, який можна прийняти рівним 8...10...10 с.

Час розгону вантажного візка при визначенні навантажень стану II с варто прийняти $t_{рк} = 5...6...6$ с. Якщо з розрахунку прискорення це значення виходить менш 1.0 м/с^2 , то його варто прийняти рівним 1.0 м/с^2 .

Для кранових стріл значення горизонтальних інерційних навантажень приймають рівним 0.1 відповідних вертикальних навантажень.

При визначенні маси еквівалентного вантажу коефіцієнт еквівалентності варто враховувати залежно від режиму роботи [9, с. 50...51]

$$Q_э = \phi_э Q_H,$$

де Q_H – номінальна вантажопідйомність, т;

$\phi_э$ – коефіцієнт режиму навантаження (табл. 4.8).

Для режиму роботи крана 1ДО-3ДО розрахунок на опір втоми не виробляється.

Таблиця 4.8 –

Залежність коефіцієнта навантаження від режиму роботи крану

Режим роботи	8ДО	7ДО, 6ДО	5ДО, 4ДО	1ДО–К–3ДО
$\varphi_{\text{э}}$	1	0,8–0,7	0,7–0,6	–

Для кранів, що працюють на відкритій площадці, варто врахувати навантаження від вітру, снігу й зледеніння за методикою, викладеною в довіднику [9, с. 52...59].

4.5 Вибір розрахункових схем і визначення внутрішніх силових факторів в елементах

Стосовно коробчастих мостів цей розділ варто виконувати за методикою наведеною в довіднику [9, с. 120...121].

При визначенні внутрішніх силових факторів вважаємо, що вага візка й вантаж розподіляються рівномірно на всі колеса, тобто $D_1 = D_2$. Зосереджені тиски ходових коліс візка при різних розрахункових сполученнях навантажень визначаються за формулами, наведеними у табл. 4.9.

Таблиця 4.9 –

Рухомі навантаження на міст крану

Тиск ходового колеса візка	Розрахункові сполучення навантажень							
	I а		I б		II а	II б	II с	III
	max	min	max	min				
$D_1 = D_2$	$\frac{g}{n_T} \times$ $(n_3 Q_T$ $+ \psi_I Q_{\text{э}})$	$\frac{g}{n_T} \times$ $n_3 Q_T$	$\frac{g}{n_T} k_T \times$ $(n_3 Q_T$ $+ Q_{\text{э}})$	$\frac{g}{n_T} \times$ $n_3 Q_T$	$\frac{g}{n_T} \times$ $(n_3 Q_T +$ $n_4 \psi_{II} Q_H)$	$\frac{g}{n_T} k_T \times$ $(n_3 Q_T +$ $n_4 Q_H)$	$\frac{g}{n_T} \times$ $(n_3 Q_T +$ $n_4 Q_H)$	$\frac{g}{n_T} \times$ $n_3 Q_T$

Стосовно кранових мостів гратчастого виконання в цьому розділі необхідно побудувати лінії впливу зусиль у стрижнях для половини ферми за методикою, викладеною в книгах [1, с. 25...31; 7, с. 256...361].

Після побудови ліній впливу (для половини ферми) необхідно зробити їх «завантаження», встановивши візок у розрахункове положення для визначення максимального й мінімального зусиль. Приклад схеми головної ферми із частиною «завантажених» ліній впливу показаний на рисунку 4.1. необхідні ординати ліній впливу необхідно обчислити аналітично.

4.6 Визначення розмірів несучих елементів металоконструкцій (проектувальний розрахунок)

Стосовно кранових мостів листового виконання проектувальні розрахунки варто зробити за методикою, викладеною в навчальному посібнику [8, с. 122...123].

Стосовно кранових мостів гратчастого виконання й гратчастих стріл рекомендується методика, яка викладена в книгах [5, с. 133...144; 6. с. 142]. При цьому товщини вузлових фасонки рекомендується призначати за табл. 4.10.

Таблиця 4.10 –

Рекомендовані товщини вузлових фасонки кранових ферм

Розрахункове зусилля в опорному розкосі, кН	До 200	200-450	450-750	750-1150	1150-1650	1650-2250	2250-3000
Товщина вузловий фасонки, мм	8	10	12	14	16	18	20

4.7 Забезпечення місцевої й загальної стійкості

Місцева стійкість листових елементів у балках металоконструкції забезпечується встановленням поперечних діафрагм і поздовжніх ребер жорсткості. Методика виконання цього розділу докладно викладена в посібнику [8, с. 126...138], стосовно до фермених конструкцій місцева стійкість стрижнів забезпечується обмеженням їх гнучкостей, що обчислюється за формулою

$$\lambda = \frac{l}{r},$$

де l – довжина стрижня;

r – радіус інерції перетину стрижня, визначається за формулою

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}},$$

тут I_{\min} – мінімальне значення моменту інерції перетину стрижня.

F – площа перетину стрижня.

Обчислені значення гнучкостей порівнюють із гранично припустимими, наведеними в літературі [1, с.180; 2, с.295; 3, с. 240; 5, с. 536; 7, с.244].

Загальна стійкість балки як листової, так і ферменої конструкцій не перевіряється, тому що вона завжди забезпечена завдяки наявності

площадок обслуговування, які істотно підвищують жорсткість на згин балки в горизонтальній площині. Загальна стійкість фермених стріл перевіряється за методикою розрахунку стійкості складених стислих стрижнів, викладеною в роботах [1, с.183...189; 3, с.125...133].

4.8 Перевірочні розрахунки

Для кранових мостів листового виконання перевірочні розрахунки містять у собі перевірку міцності головної балки в середній частині прольоту при дії навантажень сполучення II б, а також перевірку міцності кінцевої балки при сполученні навантажень II б і II с. Для головних балок з рейкою над стінкою додатково проводиться перевірка міцності стінки під рейкою з урахуванням місцевих напруг зминання від зосередженого тиску ходового колеса візка. При розташуванні підвізочної рейки по осі пояса перевіряється також на стиск поперечне ребро (діафрагма) на місцевий тиск ходового колеса візка. Необхідні розрахункові залежності наведені в посібнику [8, с.124...130].

Стосовно кранових мостів ґратчастого виконання перевіряються на міцність стрижні головної ферми. При цьому найбільш навантажені стрижні нижнього поясу розкосу й стійок перевіряються на осьове розтягання (стиск) за формулами, наведеними у роботах [1, с.179...180; 3, с.238...240; 5, с.174]. При перевірці стрижнів верхнього поясу, крім осьової сили необхідно додатково врахувати згинальний момент від зосередженого тиску ходового колеса (панельний вигин) - необхідні формули наведені в книзі [5, с.173...176].

4.9. Розрахунок зварених швів і болтових з'єднань

Стосовно листових конструкцій цей розрахунок повинен містити перевірку міцності верхніх поясних швів головної балки, а також міцність зварювальних швів з'єднання головної балки з кінцевою за методикою, викладеною посібнику [8, с.134, 135, 137].

Стосовно фермених конструкцій необхідно визначити значення довжин кутових зварених швів кріплення стрижнів у вузлах головної ферми за формулою

$$l_{p.ш.i} = \frac{N_{p.i}}{0.7 \cdot k \cdot m_0 \cdot R_y^{cb}},$$

де $N_{p.i}$ – розрахункова осьова сила в і-м стрижні;

до – катет вузлового шва;

R_y^{cb} – розрахунковий опір вузлових зварених швів;

m_0 – коефіцієнт умов роботи.

Якщо як стрижень застосований рівнобокий прокатний куток, то обчислювана розрахункова довжина звареного шва повинна бути розділена на дві ділянки, довжини яких визначаються із співвідношень:

$$l'_{ш} + l''_{ш} = l_{р.ш.};$$

$$l'_{ш} = 0,7 \cdot l_{р.ш.};$$

$$l''_{ш} = 0,3 \cdot l_{р.ш.},$$

де $l'_{ш}$ – довжина ділянки звареного шва уздовж «обушка»;

$l''_{ш}$ – довжина ділянки звареного шва уздовж «пера».

Катет шва приймаємо залежно від товщини полиці куточка, що приварюється, зі співвідношення

$$k = (0.7...0.8)\delta.$$

Міцність вертикальних швів, що з'єднують головну ферму з кінцевою балкою, перевіряється за формулою

$$\frac{Q}{2 \cdot 0.7 \cdot k \cdot l_{ш}} \leq m_0 R_y^{cb},$$

де Q – поперечна сила в опорному перетині головної ферми при крайнім положенні візка й сполученнях навантажень II а;

$l_{ш}$ – розрахункова довжина шву, дорівнює геометричній довжині без умов товщини шву.

Стосовно листової конструкції крім всього необхідно перевірити зварені шви кріплення кронштейнів площадок обслуговування до вертикальної стінки балки за методикою, викладеною у виданнях [3, с.142...144; 2, с.23...26]. При цьому згинальний момент, який сприймається звареним швом, визначається за формулою

$$M_{cb} = Q \cdot l,$$

де Q – розрахункове навантаження, докладене на вільному кінці кронштейна, що приймається рівним $Q = 3$ кН (вага двох чоловік з устаткуванням) [2, с.144; 3, с.89];

l – відстань від стінки балки до лінії установки огорож.

Розрахунок болтових з'єднань повинен включати розрахунок болтового стику на середині кінцевої балки, а також розрахунок групового

болтового з'єднання головної балки з кінцевою (при поперховому з'єднанні) за методикою, викладеною в роботах [2, с.34...36; 3, с.157...159].

4.10 Розрахунок металоконструкції на витривалість

Стосовно фермених конструкцій розрахунок на витривалість проводиться для кранів режимних груп 5К и вище, стосовно до конструкцій листового виконання – для режимних груп 6К и вище.

У ферменій конструкції на витривалість перевіряються нижній поясний стрижень і розкіс у середній панелі. У листовій балці перевіряється розтягнута зона поблизу середнього перетину в припущенні, що в розрахунковому перетині встановлений більша діафрагма, що викликає концентрацію напруг.

У загальному випадку розрахунок на витривалість ведеться в наступній послідовності:

1. Для конструктивного елемента, що розраховується, за таблицею довідника [9, с.136...142] визначити значення ефективного коефіцієнту концентрації напруг K .
2. Визначити максимальні σ_{\max}^I й мінімальні σ_{\min}^I напруги в елементі, що розраховується, з використанням максимальних і мінімальних зусиль.
3. Обчислити для елементів, що розраховуються, коефіцієнти асиметрії циклу за формулою

$$R = \frac{\sigma_{\min}^I}{\sigma_{\max}^I}.$$

4. Визначити необмежені границі витривалості для елементів, що розраховуються, за формулою [9, с.86]

$$\sigma_{RK} = \frac{2\sigma_{-1}}{(1-R)k - (1+R)\psi},$$

де ψ – коефіцієнт чутливості металу до асиметрії циклу, $\psi = \frac{2\sigma_{-1}}{\sigma_0} - 1$

;

σ_{-1}, σ_0 – границі витривалості при симетричному й віднульовому циклах для прийнятої марки сталі.

5. Визначити розрахункові опори елементів втоми за формулою

$$R_p = \frac{\sigma_{RK}}{k_m},$$

- де k_m – коефіцієнт безпеки по матеріалу
6. Перевірити виконання критеріальної умови втомлюваної міцності

$$\sigma_{\max}^I \leq m_0 R_P^y.$$

При невиконанні цієї умови проводиться розрахунок на обмежену витривалість за методикою [9, с.88...92].

4.11 Перевірка на твердість і розрахунок будівельного підйому

Перевірка на твердість складається у визначенні статичного прогину головної балки в середині прольоту від дії рухомого навантаження по формулах, наведених у посібнику [8, с.140] і порівняння його з максимально припустимим, котрий залежить від режиму роботи крана й приймається по таблиці [8, с.119]. При цьому для ферменої конструкції у формули для прогину варто підставляти еквівалентний момент інерції ферми, обумовлений за формулою

$$I_{\text{эф}} = \frac{F_{\text{в.п.}} \cdot F_{\text{н.п.}} \cdot h_{\text{ф}}^2}{\varphi(F_{\text{в.п.}} + F_{\text{н.п.}})},$$

де $F_{\text{в.п.}}, F_{\text{н.п.}}$ – площі перетинів верхніх і нижнього поясних стрижнів ферми відповідно;

$h_{\text{ф}}$ – висота ферми;

φ – коефіцієнт, що враховує піддатливість грати ферм: при однакових площах перетинів поясів і розкосів $\varphi = 1$, якщо перетин розкосів істотно менше перетинів поясів, то $\varphi = 1.2$.

Будівельний підйом пролітних балок і ферм при прольотах більше за 17 м призначається за методикою [8, с.141], при менших прольотах приймається рівним $1/100L_K$. При цьому при визначенні прогину ферм у розрахунок підставляється еквівалентний момент інерції ферми.

Література

- 1 Вершинский А.В., Гохберг М.М., Семенов В.П. Строительная механика и металлические конструкции. – Л.: Машиностроение, 1984.– 231с.
- 2 Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин.– Изд. 2-е.–Л.: Машиностроение, 1969.–520с.
- 3 Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин.–Изд. 3-е.–Л.: Машиностроение, 1976.–456с.
- 4 Шабашов А.П., Лысяков А.Г. Мостовые краны общего назначения.– Изд. 5-е. – М: машиностроение, 1980.–304с.
- 5 Кубланов Н.П., Спенглер И.Е. Строительная механика и металлические конструкции кранов. – Киев: Будивельник, 1968. – 286с.
- 6 Металлические конструкции строительных и дорожных машин (определение внутренних усилий и напряжений)/ В.А. Ряхин, И.Ю. Цвей, М.С. Балаховский и др. – М.: Машиностроение, 1972.–312с.
- 7 Курсовое проектирование грузоподъемных машин / Руденко Н.Ф., Александров М.П., Лысяков И.Г. – Издл. 3-е, перераб. И доп. – М.Ж Машиностроение, 1971.-464с.
- 8 Курсовое проектирование грузоподъемных машин: Учеб. Пособие для студентов машиностр. Спец. Вузов/С.А.Казак, В.Е. Дусье, Е.С. Кузнецов и др.; Под. Ред. С.А. Казака.—М.: Высш. шк., 1989, -- 319 с.: ил.
- 9 Справочник по кранам . Т1 Характеристики материалов и нагрузок, расчет металлических нагрузок. /Под общей редакцией М.М. Гохберга.- М; Машиностроение , 1988 г. - 536 с.
- 10 Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. – Изд 3-е – М.Ж машиностроение, 1981. – 391 с.
- 11 Технологичность строительных сварных конструкций / Сахновский М.М. – 3-е изд., перераб. И доп. – Киев: Будивельник, 1980, 264с.
- 12 Справочник сварщика /Под ред. Б.В.Степанова. 4-е изд., перераб. И доп. – М.Ж Машиностроение, 1983. – 560с.
- 13 Богуславский П.Е. Металлические конструкции грузоподъемных машин и сооружений. - М; Машгиз, -1961.-519 с.

Додаток А

Довідкові таблиці на вибір і фізико-механічні характеристики
деяких сталей для металоконструкцій ПТМ

Таблиця А.1 –

Призначення, види поставок і зварюваність сталей

Сталь	Вид поставки	Призначення	Зварюваність
Конструкційні. Низьколеговані сталі для зварених конструкцій			
09Г2	Сортовий прокат, у тому числі фасонний: ДСТ 19281-73, ДСТ 2590-71, ДСТ 2591-71, ДСТ 8239-72, ДСТ 8240-72, ДСТ 5521-76, ДСТ 8509-86, ДСТ 8510-86. Лист товстий ДСТ 19282-73, ДСТ 19903-74. Лист тонкий ДСТ 17066-80, ДСТ 19903-74, ДСТ 19904-74. Смуга ДСТ 19282-73, ДСТ 82-70, ДСТ 5521-76. Кування й ковани заготовки ДСТ1133.	Стійки ферм, верхні обв'язки вагонів, хребтові балки, двотаври й інші деталі вагонобудування, деталі екскаваторів, елементи зварених металоконструкцій і інші деталі, що працюють при температурі від -40 до +45°С.	Зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЭШС.
09Г2С	Сортовий прокат, у тому числі фасонний: ДСТ 19281-73, ДСТ 2590-71, ДСТ 2591-71, ДСТ 8240-72. Лист товстий ДСТ 19282-73, ДСТ 5520-79, ДСТ 5521-76, ДСТ 19903-74. Лист тонкий ДСТ 17066-80, ДСТ 19903-74, ДСТ 19904-74. Смуга ДСТ 103-76, ДСТ 82-70. Кування й кути заготівлі ДСТ 1133-71.	Різні деталі й елементи зварених металоконструкцій, що працюють при температурі від -70 до +45 °С.	Зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЭШС.
15ХСНД	Сортовий прокат, у тому числі фасонний: ДСТ 19281-73, ДСТ 2590-71, ДСТ 2591-71, ДСТ 8239-72, ДСТ 8240-72, ДСТ 6713-75, ДСТ 535-79. Лист товстий ДСТ 19282-73, ДСТ 19903-74, ДСТ 6713-75, ДСТ 14637-79. Лист тонкий ДСТ 17066-80, ДСТ 19903-74, ДСТ1990474. Смуга ДСТ103,ДСТ 82-70, ДСТ6713,ДСТ 14637-79. Кування та ковани заготовки ДСТ1133.	Елементи зварених металоконструкцій і різні деталі, до яких пред'являються вимоги підвищеної міцності й корозійної стійкості з обмеженням маси й працюючі при температурі від -70 до 45 °С.	Зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЭШС.

Продовження таблиці А.1.

Сталь	Вид постачання	Призначення	Зварюваність
10ХСНД	Сортовий прокат, у тому числі фасонний: ДСТ 19281-73, ДСТ 2590-71, ДСТ 2591-71, ДСТ 8239-72, ДСТ 8240-72, ДСТ 6713-75, ДСТ 535-79, ДСТ 5521-86, ДСТ 8509-86, ДСТ 8510-86. Лист товстий ДСТ19282, ДСТ 19903-74, ДСТ5521, ДСТ 6713-75. Лист тонкий ДСТ17066, ДСТ 19903-74, ДСТ19904, ДСТ 5521-86. Смуга ДСТ19281, ДСТ 82-70, ДСТ103, ДСТ 6713-75, ДСТ14637-79, ДСТ 19282-73, ДСТ 5521-76. Кування й ковани заготовки ДСТ 1133-71. Труби ОСТ 14-21-77.	Елементи зварених металоконструкцій і різні деталі до яких пред'являються вимоги підвищеної міцності й корозійної стійкості з обмеженням маси й працюючі при температурі від -70 до 45 °С.	Зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЭШС.
Сталі конструкційні, вуглецеві звичайної якості загального призначення			
ВСтЗсп	Сортовий прокат, у тому числі фасонний: ДСТ 2590-71, ДСТ 2591-71, ДСТ 535-79, ДСТ 2879-69, ДСТ 19771-74, ДСТ 19772-74, ДСТ 8278-83, ДСТ 8281-80, ДСТ 8282-83, ДСТ 8283-77, ДСТ380, ДСТ 8509-86, ДСТ8510, ДСТ 8239-72. Лист товстий ДСТ19903. Лист тонкий ДСТ19903. Стрічка ДСТ 503-81, ДСТ6009. Смуга ДСТ 103-76, ДСТ82, ДСТ 535-79. Кування й ковани заготовки ДСТ 8479-70. Труби ДСТ 8734-75, ДСТ 10706-76, ДСТ 10705-80.	Несучі елементи зварених і незварених конструкцій і деталей, що працюють при позитивних температурах. Фасонний і листовий прокат (5-ї категорії) для несучих елементів зварених конструкцій, що працюють при змінних навантаженнях: при товщині прокату до 25мм в інтервалі температур від -40 до +45°С; при товщині прокату понад 25мм – від -20 до +45°С за умови постачання з гарантованою зварюваністю.	Зварюється без обмежень; способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЭШС, КТС. Для товщини більше 36 мм рекомендується підігрів і наступна термообробка.

Таблиця А.2 –
Хімічний склад сталей

Сталь	C	P	S	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	As	N
	%									
09Г2	0,12	0,035	0,040	1,4-1,8	0,17-0,37	0,30	0,30	0,30	0,08	0,008
09Г2С	0,12	0,035	0,040	1,3-1,7	0,5-0,8	0,30	0,30	0,30	0,08	0,008
15ХСНД	0,12-0,18	0,035	0,040	0,4-0,7	0,4-0,7	0,6-0,9	0,3-0,6	0,2-0,4	0,08	0,008
10ХСНД	0,12	0,035	0,040	0,5-0,8	0,8-1,1	0,6-0,9	0,5-0,8	0,4-0,6	0,08	0,008
ВСтЗсп	0,14-0,22	0,04	0,05	0,40-0,65	0,12-0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	–

Таблиця А.3 –
Механічні властивості сталей

Сталь	Стан	Перетин	$\sigma_{0.2}$, Мпа	σ_B , МПа	δ_5 , %	δ_4 , %
09Г2	Сортовий і фасонний прокат	<20	305	440	21	–
	Листи й смуги в стані постачання (зразки поперечні)	20-32	295	440	21	–
	Листи горячекатані	–	–	–	–	–
	Листи горячекатані	2-3,9	–	440	–	17
09Г2С	Сортовий і фасонний прокат	<10	345	490	21	–
	Листи й смуги	10-20	325	470	21	–
	Листи й смуги	20-32	305	460	21	–
	Листи й смуги	32-60	285	450	21	–
	Листи й смуги	60-80	275	440	21	–
	Листи й смуги	80-160	265	430	21	–
	Листи після загартування, відпустки	10-32	365	490	19	–
	Листи після загартування, відпустки	32-60	315	450	21	–
	Листи горячекатані	2-3,9	–	490	–	17
15ХСНД	Сортовий і фасонний прокат	<10	345	490	21	–
	Сортовий і фасонний прокат	10-32	325	470	21	–
	Листи й смуги в стані постачання	<32	345	490	21	–
	Листи горячекатані	2-3,9	–	490	–	17

Продовження таблиці А.3

10ХСНД	Сортовий і фасонний прокат	<15	390	530	19	–
	Листи й смуги в стані постачання	15-32	390	530	19	–
	Листи й смуги в стані постачання	32-40	390	530	19	–
	Листи горячекатані	2-3,9	–	530	–	15
ВСт3сп	Прокат горячекатаний	<20	245	370-480	26	–
	Прокат горячекатаний	20-40	235	370-480	25	–
	Прокат горячекатаний	40-100	225	370-480	23	–
	Прокат горячекатаний	>100	205	370-480	23	–
	Листи горячекатані	<2,0	–	370-480	–	20
	Листи горячекатані	2, 0-3,9	–	370-480	–	22
	Листи холоднокатані	<2,0	–	370-480	–	22
	Листи холоднокатані	2, 0-3,9	–	370-480	–	24

Таблиця А.4 –

Границі витривалості сталей

Сталь	Стан	σ_{-1} , Мпа	τ_{-1} , Мпа
09Г2	Перетину 4-32 мм у стані поставки	235	137
	Перетину 10-20 мм після поліпшення.	274	167
09Г2С		235	475
15ХСНД	У стані поставки зразки без надрізу	304	157
10ХСНД	Товщина 4-32	284	167
	Товщина 33-40	2749	167
ВСт3сп	Лист товщиною 40 мм у горячекатаному стані	191	
	Зразок гладкий. Зразки діаметром 10 мм із надрізом	93	

Таблиця А.5 –

Маловуглецеві сталі для конструкцій вантажопідйомних кранів (РТМ 24.090.52-85) [9]

Марка й категорія	Область застосування	Механічні властивості приб розтяганні			ДСТ або ТУ	Вид і товщина прокату, мм
		Тимчасовий опір розриву σ_B , МПа	Границя текучості σ_{02} , МПа	Відносне подовження δ_5 , %		
			(товщина, мм)	(товщина, мм)		
			не менш			
ВСтЗсп5	Несучі елементи конструкції, у тому числі підкоси й кронштейни робочих площадок, підвіси кабін	380–490	250 (До 20)	26 (До 20)	ДСТ 380–71*	Листовий, широкосмужний, фасонний, сортовий до 25
ВСтЗсп4 ²			240 (Св. 20 до 40)	25 (Св. 20 до 40)		
ВСтЗпс5 ²			230 (Св. 40 до 100)	23 (Св. 40)		
ВСт4пс4 ²		420–540	270 (До 20); 260 (Св. 20 до 40); 250 (Св. 40 до 100)	24 (До 20); 23 (Св. 20 до 40); 21 (Св. 40)		Листовий, широкосмужний, фасонний, сортовий до 25
ВСтЗГпс5 ³		380–500	250 (До 20)	26 (До 20)		
ВСтЗГпс4 ^{2,3}			240 (Св. 20 до 40); 230 (Св. 40 до 100)	25 (Св. 20 До 40); 23 (Св. 40)		

Продовження таблиці А.5

Марка й категорія	Область застосування	Механічні властивості при розтяганні			ДСТ або ТУ	Вид і товщина прокату, мм
		Тимчасовий опір розриву σ_B , МПа	Границя текучості σ_{02} , МПа	Відносне подовження δ_5 , %		
			(товщина, мм)	(товщина, мм)		
			не менш			
16Д	Несучі елементи конструкцій, у тому числі підкоси й кронштейни робочих площадок, підвіси кабін	380-520	240 (До 20) 230 (21-40) 220 (41-60)	26	ДСТ 6713-75*	Листовий, широкосмужний, фасонний, сортовий до 60
20		420	250	21	ДСТ 8731-74* групи В, Г ⁴	Труби безшовні, гарячо-деформовані до 45
Встзсп2; Встзпс2; ВСтЗГпс2 ³ ; ВСтзспз; Встзпсз; ВСтЗГпсЗ ³	Слабонаванражені елементи: елементи поздовжньої твердості балок, колісок, ремонтних і посадкових площадок, кронштейни, підставки для установки встаткування	380-490	250	26	ДСТ 380-71*	Листовий, широкосмужний, фасонний, сортовий до 5

Примітки:

¹ Цифри після вказівки ступеню розкислення (сп, пс) позначають категорії сталей: 2 – без перевірки ударної в'язкості, 3 – перевірка ударної в'язкості при +20°С, 4 – те ж при -20 °С, 5 – те ж при -20 °С и послу механічного старіння

² Для кранів режимів роботи груп 1 ДО – 5ДО)

³ Для позначення напівспокійної сталі з підвищеним змістом марганцю до позначення марки стали після номера марки ставлять букву Г.

⁴ Показники якості труб: група В – механічні властивості й хімічний склад; група Г – механічні властивості після термообробки й хімічний склад

Таблиця А.6 –

Маловуглецеві сталі. Ударна в'язкість (ДСТ 380-71*) [9]

Марка й категорія сталі	Вид прокату	Розташування зразка відносно прокату	Товщина, мм	Ударна в'язкість, Дж/см ² , не менш			Марка й категорія сталі	Вид прокату	Розташування зразка відносно прокату	Товщина, мм	Ударна в'язкість, Дж/см ² , не менш		
				При температурі, °С		Після механічного старіння					При температурі, °С		Після механічного старіння
				+20	-20						+20	-20	
ВСтЗпс; ВСтЗсп	Листова сталь	Поперек	5-9	80	40	40	ВСтЗГпс	Широко-смужна сталь	Уздовж	5-9	100	50	50
			10-25	70	70	30				10-30	80	30	30
			26-40	50	–	–				31-40	70	–	–
	Широкосмужна сталь	Уздовж	5-9	100	50	50		Сортовий і фасонний прокат		5-9	110	50	50
			10-25	80	30	30				10-30	100	30	30
			26-40	70	–	–				31-40	90	–	–
Сортовий і фасонний прокат	Уздовж	5-9	110	50	50	Листова сталь	5-9	70	–	–			
		10-25	100	30	30		10-25	60	–	–			
		26-40	90	–	–		26-40	40	–	–			
ВСтЗГпс	Листова сталь	Поперек	5-9	80	40	40	ВСтЗпс; ВСтЗсп	Сортовий і фасонний прокат	Поперек	5-9	100	–	–
			10-30	70	30	30				10-25	90	–	–
			31-40	50	–	–				26-40	70	–	–

Примітки: 1. Див. виноски до табл. 1.1.1.2. Ударна в'язкість сталі марки 16Д за ДСТ 6713 – 75* [вуглець 0,10 - 0,18; мідь (Д) 0, 20-0,35; хром (Х) і нікель (Н) до 0,30; кремній (З) 0,12–0,25; марганець (Г) 0,40 – 0,70] Дж/см² при температурі +20⁰С після механічного старіння й при -20⁰С у стані постачання для листової сталі ≥35; для сортовий, широкосмужної і фасонної сталі ≥40.3. Модуль поздовжньої пружності маловуглецевих і низьколегованих сталей 2,1 · 10⁶ МПа.

Таблиця А.7 –

Маловуглецеві сталі для допоміжних нерозрахованих елементів конструкцій; сходів, поруччя, настилів, кожухів обшивки кабін (РТМ 24.090.52-85) [9]

Марка й категорія сталі	ДСТ	Вид і товщина прокату, мм, при розрахунковій температурі, °С до		
		-20	-40	-65
ВСтЗкп2	ДСТ 380–71*	Листовий, широкосмужний, фасонний, сортовий до 30	Листовий, широкосмужний, фасонний, сортовий до 5	–
ВСтЗпс; ВСтЗпс2; ВСтЗГпс2			Листовий, широкосмужний, фасонний до 10, сортовий до 16	Листовий, широкосмужний, фасонний, сортовий до 5
ВСтЗпс5; ВСтЗГпсб			Листовий широкосмужний, сортовий, фасонний - до20	Листовий, широкосмужний, фасонний до 10, сортовий до 16
БСтО; БСт2кп; БСтЗкп	ДСТ 8568-77*	Рифлений лист	–	–
БСт2пс; БСтЗпс		до 5	Рифлений до 5 лист	Рифлений лист до 3

Примітки: 1. Див. виноски до табл. 1.1.1.2 Сталі групи У варто застосовувати з гарантованою зварюваністю

Таблиця А.8 –

Низьколеговані сталі для зварених несучих елементів конструкцій вантажопідйомних кранів, у тому числі підкосів і кронштейнів робочих площадок, підвісів кабін (розрахункова температура до -40°C) (РТМ 24.090.52-85) [9]

Марка й категорія сталі	ДСТ або ТУ	Вид прокату	Товщина прокату, мм
09Г2–12	ДСТ 19282–73*	Листовий, широкосмужний, фасонний, сортовий	До 32
09Г2 3-С–12		Листовий, широкосмужний	До 40
		Фасонний, сортовий	До 32
09Г2 3-С–12; 09Г2СД–12	ДСТ 8731-74*, група В ²	Труби безшовні горячедеформовані	До 25
09Г2С	ТУ 14-3-1128–82	Труби безшовні горячедеформовані	Діаметром 57-426 від 4 до 22
16ГС–12 ³	ДСТ 19282–73*	Листовий, широкосмужний	До 32
09Г2– 12 ³ ; 09Г2 Д-Д–12 ³	ТУ 14-2-280–77	Листовий гофрований	До 5
17Г1С; 17Г1 3-В	ТУ 14-3-620–77	Труби сталеві електрозварні	Діаметром 1220х 12 ⁴
15ХСНД–12	ДСТ 19282-73*; ДСТ 19281-73*	Листовий, широкосмужний, сортовий, фасонний	До 32
10ХСНД–12 ⁶	ДСТ 19282-73* ДСТ 19281-73*	Листовий, широкосмужний фасонний, сортовий	До 40 До 15
14Г2АФ–12; 14Г2АФД–12	ДСТ 19282–73*	Листовий, широкосмужний	До 50
15Г2АФДпс–12			До 32

Продовження таблиці А.8

Марка й категорія сталі	ДСТ або ТУ	Вид прокату	Товщина прокату, мм
16Г2АФ-12 ³ ; 16Г2АФД-12 ³			До 50
18Г2АФ-12 ³ ; 18Г2АФД-12 ³			До 32

Примітки: 1. Цифра 12 після вказівки марки сталі позначає категорію сталі з перевіркою ударної в'язкості при -40 °С и послух механічного старіння. Ударна в'язкість залежно від марки сталі становить від 30 до 40 Дж/див².

² Показники якості труб: група В – механічні властивості й хімічний склад. Для кранів легкого й середнього режимів роботи груп 1ДО – 5До див. табл. 1.2.9.4 Застосовувати тільки за спеціальною технологією ПО «Сибтяжмаш».

⁵ Зміст кремнію в сталі марки 10ХСНД допускається не більше 0,9 %.

Таблиця А.9 –

Низьколеговані сталі для зварених несучих елементів конструкцій вантажопідйомних кранів, у тому числі підкосів, кронштейнів робочих площадок, підвісів кабін (температура до -65°C)(РТМ 24.090.52-85) [9]

Марка й категорія сталі	ДСТ або ТУ	Вид прокату	Товщина прокату, мм
09Г2–15	ТУ 14-1-1965–77	Листовий	8–32
09Г2–15; 09Г2 Д-Д–15	ДСТ 19281–73*	Сортовий Фасонний	До 20 До 1!
09Г2 3-С–15; 09Г2СД–15	ДСТ 19282-73*; ДСТ 19281-73*	Листовий, широкосмужний Фасонний Сортовий	До 60 До 11 До 20
09Г2С	ТУ 14-3-500–76	Труби безшовні горячедеформовані: діаметром 194-219 245–325	8-12 9-15
15ХСНД–15	ДСТ 19282-73*; ДСТ 19281-73*	Листовий, широкосмужний Фасонний Сортовий	До 32 До 11 До 20
10ХСНД–15	ДСТ 19282-73*; ДСТ 19281-73*	Листовий, широкосмужний Фасонний Сортовий	До 40 До 11 До 15
14Г2АФ–15; 14Г2АФД–15	ДСТ 19282–73*	Листовий, широкосмужний	До 50
15Г2АФДпс–15	ДСТ 19282–73*	Листовий, широкосмужний	До 32

Примітки: 1. Цифра 15 після вказівки марки сталі позначає категорію сталі з перевіркою ударної в'язкості при -70°C і після механічного старіння.
2. Вміст кременію в сталі марки 10ХСНД допускається не більше 0,9%.
3. Механічні властивості низьколегованих сталей див. у табл. 1.1.6.

Таблиця А.10 –

Механічні властивості низьколегованих сталей, застосованих у металевих конструкціях (ДСТ 19281-73*, ДСТ 19282-73*) [9]

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Механічні властивості					
		Тимчасовий опір розриву σ_B , МПа	Границя текучості σ_T , МПа	Відносне подовження δ_5 , %	Ударна в'язкість a_n , Дж/см ² , при температурі, °С		
					+20	-40	-70
		не менш					
09Г2; 09Г2Д	4	450	310	21	–	–	–
	5-9		310			35	–
	10-20		310			30	–
	21-32		300			30	–
09Г2С; 09Г2СД	4	500	350	21	65	40	35
	5-9	500	350		60	35	30
	10-20	480	330		60	35	30
	21-32	470	310		60	35	30
	33-60	460	290		60	35	30
16ГС	4-9	500	330	23	60	40	30
	10-20	490	320			30	25
	21-32	480	300			30	25
	33-60	470	290			30	25
17Г1С	4-9	520	360	23	–	45	–
	10-20		350			40	
17ГС	4-9	520	350	23	–	45	–
	10-20	500	340			35	
10Г2С1 10Г2С1Д	4	500	360	21	–	–	–
	5-9	500	350		65	40	30
	10-20	490	340		60	30	25
	21-32	480	330		60	30	25
14Г2АФ; 14Г2АФД	4	550	400	20	–	–	–
	5-9					45	35
	10-50					40	30
	15Г2АФДпс					4-9	45
10-32		40	30				
16Г2АФ; 16Г2АФД	4	600	450	20	–	–	–
	5-9	600	450			45	35
	10-32	600	450			40	30
	33-50	580	420			40	30
18Г2Афпс; 18Г2Афдо	4	600	450	19	–	–	–
	5-9					45	35
	10-32					40	30

Продовження таблиці А.10

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Механічні властивості					
		Тимчасовий опір розриву σ_B , МПа	Границя текучості σ_T , МПа	Відносне подовження δ_5 , %	Ударна в'язкість a_n , Дж/см ² , при температурі, °С		
					+20	-40	-70
					не менш		
15ХСНД	4-9 10-32	500	350	21		40 30	30
10ХСНД	4-9 10-16 16-32 33-40	500 540 540 540 520	400	19		50 40 50 50	35 30 30 30

- Примітки:
1. Для товщини прокату 4 мм ударна в'язкість не нормується.
 2. Ударна в'язкість при температурі -20°С повинна бути не нижче норм, встановлених для температури -40°С. Ударна в'язкість при температурі -50°С и -60 °С повинна бути не нижче норм, встановлених для температури -70°С.
 3. За умови забезпечення механічних властивостей допускається постачання сталей без термічної обробки.
 4. Прокат повинен витримувати випробування на вигин у холодному стані на оправленні діаметром, рівним двом товщинам, на кут 180°

Таблиця А.11 –

Матеріали заклепок і болтів. Електроди (РТМ 24.090.52-85) [9]

Тип конструкцій і матеріали	Марки матеріалів заклепок	Марки матеріалів болтів болтових з'єднань, працюючих на зріз і розтягання	Марки і σ_B матеріалів болтів високо- міцних попередньо напружени х болтових з'єднань	Електроди (РТМ 24.090.52–85) при розрахунковій температурі, °С,						
				до -20		до -40		до -65		
				Тип	Марка	Тип	Марка	Тип	Марка	
Несучі	Вулицеві горячо- катані сталі	Ст2 закл.; Ст3 закл. (ДСТ 499-70*)	Сталь 20 (ДСТ 1050-74*); Ст4, Ст4 (ДСТ 380-71*) (у відповідальних важкоавантажених фланцевих з'єднаннях сталь 35, 40, 45 (ДСТ 1050-74*) і 40Х (ДСТ 4543-71*)	Сталь 35 (ДСТ 1050- 74*), $\sigma_B \geq 800\text{МПа}$	Э42	АНО-5; АНОЛ-6; АНО-6М	–	–	–	–
					Э42А	УОНИ- 13/45; ОЗС-2				
					Э46	ОЗС-4; АНО-3; ОЗС-12; МР-3; АНО- 4				

Продовження таблиці А.11[9]

	Низьколеговані горячокатані сталі				Э50А	УОНИ-13/55	Э50А	УОНИ-13/55; АНО-7; АНО-10; АНО-11; АНО-30	Э50А	УОНИ-13/55	
					Э60	АНО-10; УОНМ-13/65	Э60	АНО-10; УОНИ-13/65	Э60	УОНИ-13/65	
Допоміжні	Вулицеві горячокатані сталі	Ст2 закл.; Ст3 закл. (ДСТ 499-70*)	Сталь 20 (ДСТ 1050-74*) Ст4, Ст4 (ДСТ 380-71*)	-	Э42	АНО-5; АНО-6; АНО-6М	Э42А; Э42А Э46А	УОНИ-13/45; СМ-11; АНО-8	Э42А; Э42А Э42А	УОНИ-13/45; СМ-11; АНО-8	
					Э46	ОЗС-4; ОЗС-12; МР-3; АНО-3; АНО-4		УОНИ-15/55	Э50А	УОНИ-13/55	
<p>Примітки: 1. Для зварювання сталевих конструкцій електроди повинні відповідати вимогам ДСТ 94466-75 і ДСТ 9467-75. Можуть бути застосовані й іншої марки електродів зазначених типів за узгодженням із ВНИИПТМАШ. 2. Флюс і зварювальний дріт за ДСТ 2246-70* для зварювання під флюсом і в середовищі вуглекислого газу див. РТМ 24.090.52-85.3 Приварок допоміжні елементи до несучих конструкцій виробляється електродами й іншими зварювальними матеріалами, застосовуваними для зварювання несучих конструкцій.</p>											

Додаток Б

Приклад пояснювальної записки розрахунку головної балки мостового крану листового типу

Завдання
з курсової роботи з дисципліни
«Проектування металевих конструкцій ПТБіДМ»

Тема проекту: *«Спроекувати крановий міст листового типу»*

Студентові *Іванову Івану Івановичу* групи *ПТМ ХХ-Х*

1. Вихідні дані:
2. Вантажопідйомність – 50 т
3. Проліт – 32,5 м
4. Швидкість переміщення робочих органів крани:
– підйому вантажу – 0,18 м/с
– пересування візка – 0,20, м/с
– пересування крана – 1,5 м/с
5. Тип кабіни – *закритий*
6. Тип механізму пересування – *розділений*
7. Варіант *ХХ*
8. Інтервал робочих температур $t_{\max} = +20^{\circ}\text{C}$, $t_{\min} = -40^{\circ}\text{C}$
9. Режим роботи крана – *БДО*
10. Місце встановлення крана – *відкритий склад заготовок*
11. Додаткові дані:

Керівник
проекту _____ (_____)

Завдання видано «_____» січня _____ р.

Дата захисту «_____» _____ р.

**Графік
виконання курсової роботи з дисципліни
«Проектування металевих конструкцій ПТБіДМ»**

Зміст	Тиждень	% виконання
1. Отримання завдання з курсової роботи		
2. Обґрунтування загальної схеми металоконструкції, вибір загальних конструктивних параметрів		
3. Вибір методу розрахунку (метод припустимих напружень або метод граничних станів)		
4. Вибір матеріалів для несучих та допоміжних елементів, визначення розрахункових опорів та допустимих напружень		
5. Визначення навантажень та їх розрахункових сполучень		
6. Вибір розрахункових схем і визначення внутрішніх силових факторів в елементах		
7. Визначення розмірів несучих елементів металоконструкції (проектний розрахунок)		
8. Забезпечення місцевої та загальної стійкості		
9. Перевірочні розрахунки		
10. Розрахунок зварних швів та болтових з'єднань		
11. Розрахунок металоконструкції на витривалість		
12. Перевірка на жорсткість та розрахунок будівельного підйому		
13. Захист металоконструкції від корозії		
14. Виконання графічної частини		
15. Здача готової роботи керівнику на перевірку		
16. Захист курсової роботи		

* Виконується за необхідністю

Керівник
роботи _____ (_____)

Завдання
отримав _____

«_____» січня _____ року

Б.1 Обґрунтування загальної схеми металоконструкції

Металеві конструкції кранів – це мости й рами візків. Міст вантажопідйомного крана загального призначення складається із пролітних і кінцевих балок коробчатого перетину.

Основними елементами мостового крана є головна й кінцева балки. Головна балка мостового крана приймає основне навантаження. На ній розташовані рейки, по яких пересувається вантажний візок. Оскільки на візок діє основне навантаження від ваги вантажу, головна балка є основним навантаженим елементом металоконструкції мостового крана, на ній розташовуються також оглядова площадка й кабіна машиніста.

На кінцевій балці кріпляться букси й ходові колеса. Вона виконує функцію опори головних балок.

Схема металоконструкції двобалкового мостового крану загального призначення показана на малюнку Б.1.

Передбачуване місце роботи крана – перевантаження металевого лому на відкритій естакаді. Режим роботи крана – важкий. Тому доцільно прийняти саме таку конструкцію, а не фермену, тому що вона має більше високу витривалість, легше у виготовленні.

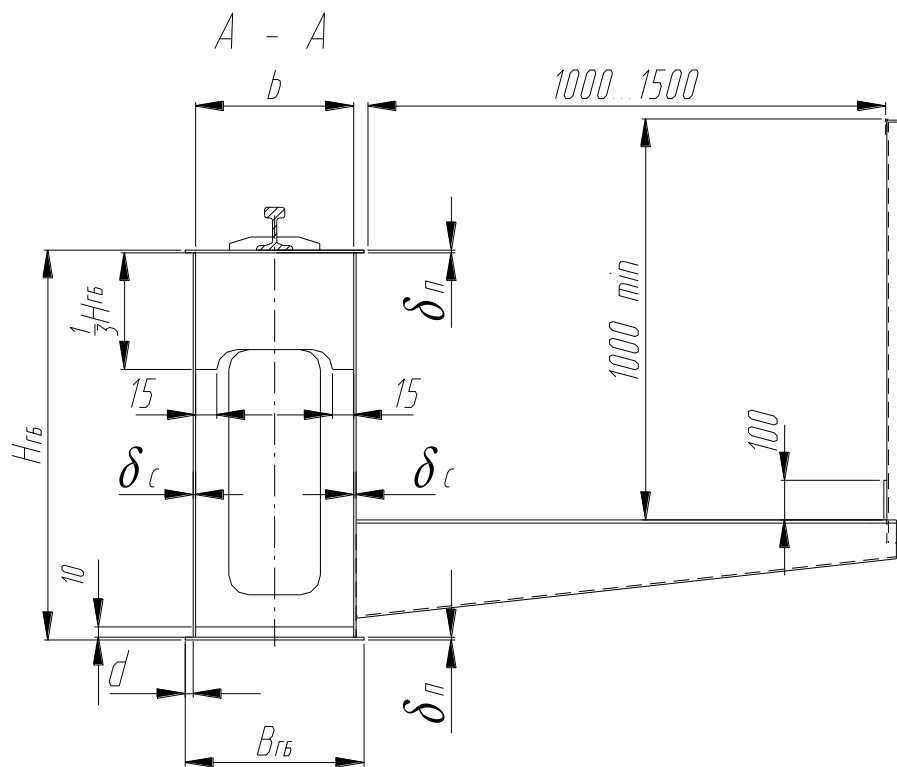
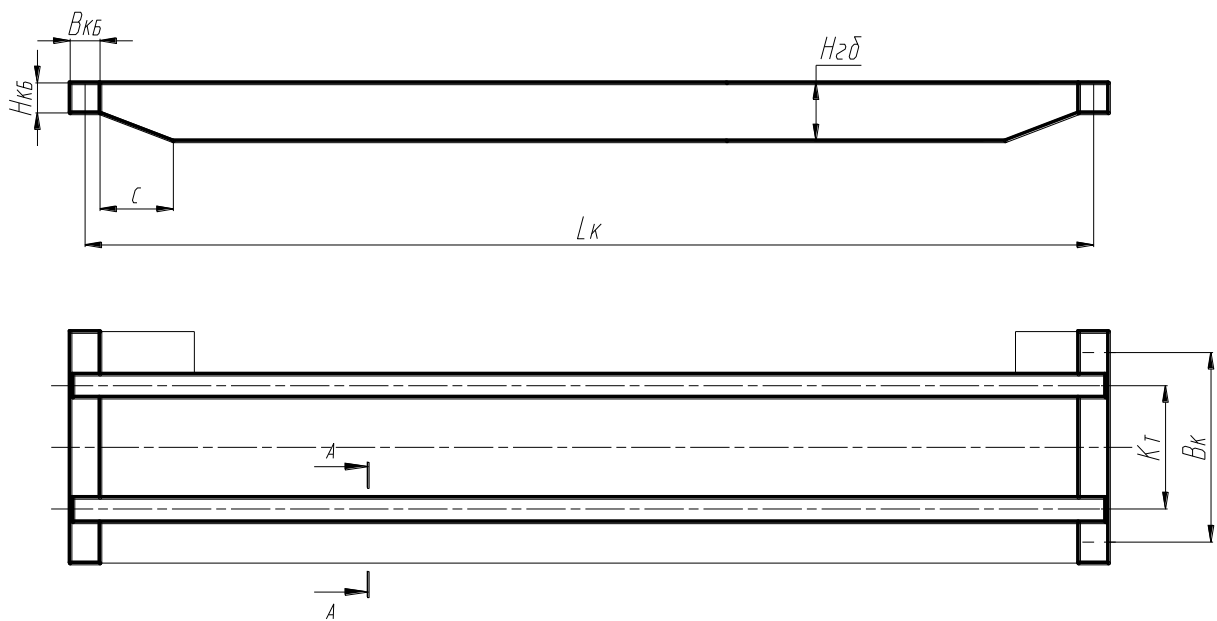


Рисунок Б.1 – Конструктивна схема двобалкового мосту вантажопідйомного крана

Б.2 Визначення основних конструкційних параметрів крана

Під вибором основних конструктивних параметрів розуміється визначення основних орієнтовних розмірів металоконструкції, які призначаються за рекомендацією з досвіду попереднього проектування [1, с. 91...196; 2, с. 363...395; 3, с. 298...306; 4, с. 205...218]. У таблиці 4.3.

наведені основні співвідношення для вибору конструктивних параметрів двобалкового мостового крана.

Визначаємо базу крана

$$B_K = \left(\frac{1}{7} \dots \frac{1}{5} \right) L_K = \frac{32,5}{7} \dots \frac{32,5}{5} = 4,6 \dots 6,5 \text{ м},$$

де L_K – проліт крана, $L_K = 32,5$ м.

Приймаємо базу крана $B_K = 6,0$ м.

Колія візка

$$K_T = B_K - (1,6 \dots 2,5) = 6 - (1,6 \dots 2,5) = 4,4 \dots 3,5 \text{ м.}$$

Приймаємо $K_T = 4,0$ м.

Базу візка приймаємо виходячи із співвідношення

$$B_T = (1,0 \dots 1,2) \cdot K_T = (1,0 \dots 1,2) \cdot 4,0 = 4,0 \dots 4,8 \text{ м.}$$

Приймаємо $B_T = 4000$ мм.

Висота перетину головної балки приймається виходячи із співвідношення

$$H_{ГБ} = \left(\frac{1}{18} \dots \frac{1}{14} \right) \cdot L_K = \left(\frac{1}{18} \dots \frac{1}{14} \right) \cdot 32,5 = 1,8 \dots 2,3 \text{ м.}$$

Приймаємо $H_{ГБ} = 2,2$ м.

Відстань між стінками приймаємо зі співвідношень

$$b \geq \frac{1}{50} L_K = \frac{1}{50} 32,5 = 0,65 \text{ м} \text{ и } b \geq \frac{1}{3} H_{ГБ} = \frac{1}{3} 2,2 = 0,73 \text{ м.}$$

Приймаємо відстань між стінками $b=0,7$ м.

Товщину вертикальних листів головної й кінцевої балок приймаємо виходячи з вантажопідйомності (табл. 4.3.): при $Q_H = 25 \dots 72$ т, $\delta_{C1} = \delta_{C2} = \delta_C = 8$ мм. При виборі товщини листа, її варто приймати з можливих стандартних значень.

Товщину поясів головної балки приймаємо залежно від товщини вертикальних стінок

$$\delta_{ПВ} = \delta_{ПН} = \delta_{П} = (1..3) \cdot \delta_c = (1..3) \cdot 8 = 8..24 \text{ мм}$$

Приймаємо $\delta_{П} = 12 \text{ мм}$

Висота перетину кінцевої балки

$$H_{КБ} = (0,4..0,6) \cdot H_{ГБ} = (0,4..0,6) \cdot 2,2 = 0,88..1,32 \text{ м}$$

Приймаємо $H_{КБ} = 1,0 \text{ м}$.

Ширина кінцевої балки

$$B_{КБ} = (0,5..0,8) \cdot H_{КБ} = (0,5..0,8) \cdot 1,0 = 0,50..0,80 \text{ м}$$

Приймаємо $B_{КБ} = 0,6 \text{ м}$.

На кінцях головних балок для зручності їхнього приєднання до кінцевих балок, рекомендовано робити скоси, розмір яких призначається виходячи із співвідношення

$$C \approx 2 \cdot H_{ГБ} = 2 \cdot 1,0 = 2,0 \text{ м}$$

Схема мосту крана з попередньо визначеними конструкційними параметрами показана на малюнку Б.2.1.

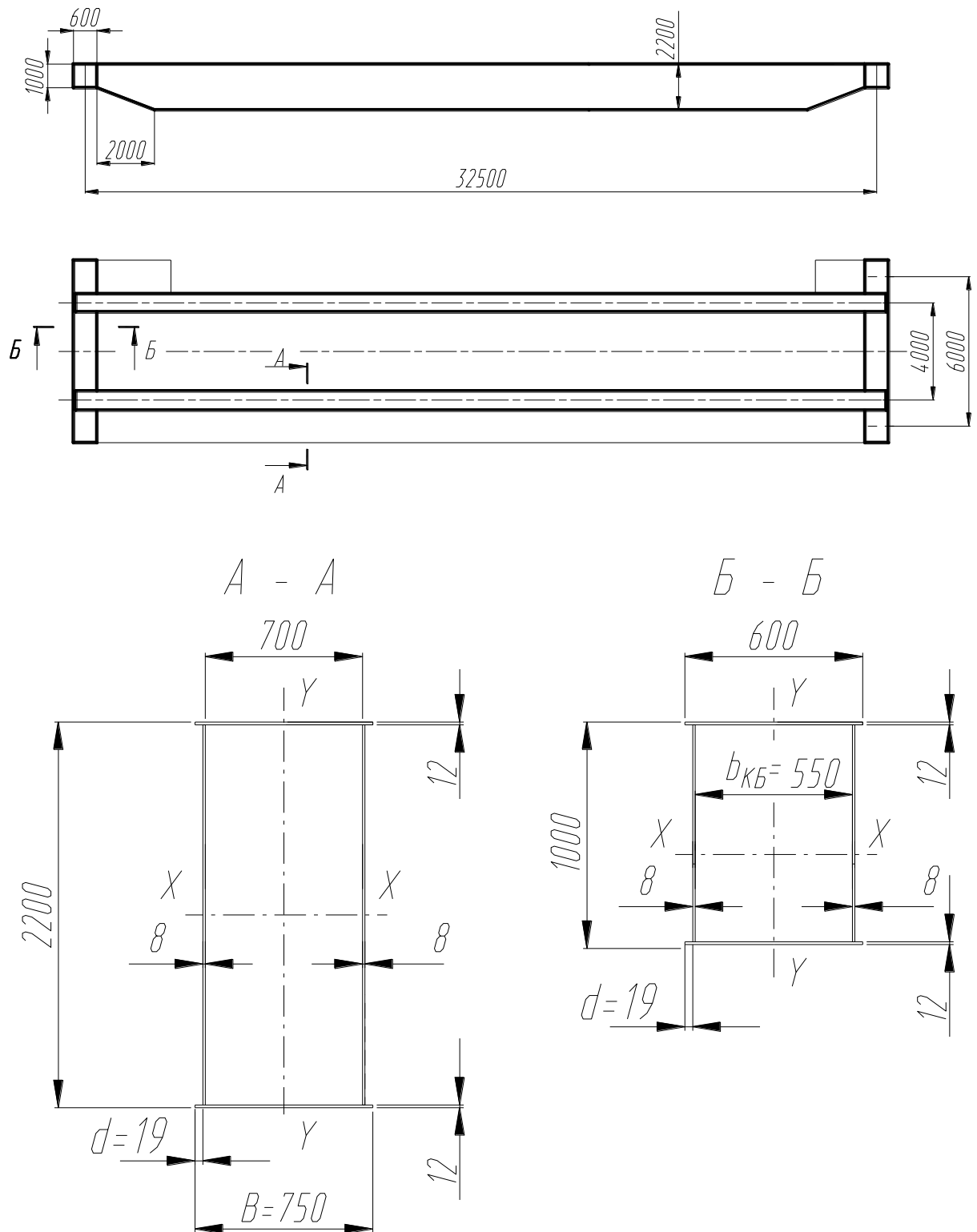


Рисунок – Б.2.1. Схема мосту крану з попередньо визначеними конструктивними параметрами.

Визначимо геометричні характеристики перетину головної й кінцевої балок:

Момент інерції головної балки відносно осі $x-x$

$$\begin{aligned}
I_{IX} &= 2 \left(\frac{B \cdot \delta_{II}^3}{12} + B \cdot \delta_{II} \cdot \left(\frac{H_{ГБ} - \delta_{II}}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{\delta_C \cdot (H_{ГБ} - 2 \cdot \delta_{II})^3}{12} = \\
&= 2 \left(\frac{0,75 \cdot 0,012^3}{12} + 0,75 \cdot 0,012 \cdot \left(\frac{2,2 - 0,012}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{0,008 \cdot (2,2 - 2 \cdot 0,012)^3}{12} = \\
&= 0,03528 \text{ м}^4.
\end{aligned}$$

Момент інерції головної балки відносно осі у-у

$$\begin{aligned}
I_{IY} &= 2 \left(\frac{(H_{ГБ} - 2 \cdot \delta_{II}) \cdot \delta_C^3}{12} + (H_{ГБ} - 2 \cdot \delta_{II}) \cdot \delta_C \left(\frac{b - \delta_C}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{\delta_{II} \cdot B^3}{12} = \\
&= 2 \left(\frac{(2,2 - 2 \cdot 0,012) \cdot 0,008^3}{12} + (2,2 - 2 \cdot 0,012) \cdot 0,008 \left(\frac{0,7 - 0,008}{2} \right)^2 \right) + \\
&= 2 \frac{0,012 \cdot 0,75^3}{12} = 0,00501 \text{ м}^4.
\end{aligned}$$

Момент опору перетину головної балки відносно осі х-х

$$W_{IX} = \frac{I_{IX} \cdot 2}{H_{ГБ}} = \frac{0,03528 \cdot 2}{2,2} = 0,03207 \text{ м}^3.$$

Момент опору перетину головної балки відносно осі у-у

$$W_{IY} = \frac{I_{IY} \cdot 2}{B} = \frac{0,00501 \cdot 2}{0,75} = 0,01337 \text{ м}^3.$$

Площа поперечного переріза головної балки в середині прольоти

$$\begin{aligned}
F_1 &= 2[(B \cdot \delta_{II}) + (H_{ГБ} - 2\delta_{II}) \cdot \delta_C] = \\
&= 2 \cdot [0,75 \cdot 0,012 + (2,2 - 2 \cdot 0,012) \cdot 0,008] = 0,0528 \text{ м}^2.
\end{aligned}$$

Момент інерції кінцевої балки відносно осі х-х

$$I_{2X} = 2 \left(\frac{B_{KB} \cdot \delta_{\Pi}^3}{12} + B_{KB} \cdot \delta_{\Pi} \cdot \left(\frac{H_{KB} - \delta_{\Pi}}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{\delta_C \cdot (H_{KB} - 2 \cdot \delta_{\Pi})^3}{12} =$$

$$2 \left(\frac{0,60 \cdot 0,012^3}{12} + 0,60 \cdot 0,012 \cdot \left(\frac{1,0 - 0,012}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{0,008 \cdot (1,0 - 2 \cdot 0,012)^3}{12} =$$

$$= 0,00563 \text{ м}^4.$$

Момент інерції кінцевої балки відносно осі у-у

$$I_{2Y} = 2 \left(\frac{(H_{KB} - 2 \cdot \delta_{\Pi}) \cdot \delta_C^3}{12} + (H_{KB} - 2 \cdot \delta_{\Pi}) \cdot \delta_C \left(\frac{b_{KB} - \delta_C}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{\delta_{\Pi} \cdot B_{KB}^3}{12} =$$

$$= 2 \left(\frac{(1,0 - 2 \cdot 0,012) \cdot 0,008^3}{12} + (1,0 - 2 \cdot 0,012) \cdot 0,008 \left(\frac{0,55 - 0,008}{2} \right)^2 \right) +$$

$$2 \frac{0,012 \cdot 0,75^3}{12} = 0,00156 \text{ м}^4.$$

Момент опору перетину кінцевої балки відносно осі х-х

$$W_{2X} = \frac{I_{2X} \cdot 2}{H_{KB}} = \frac{0,00563 \cdot 2}{1,0} = 0,01126 \text{ м}^3.$$

Момент опору перетину кінцевої балки відносно осі у-у

$$W_{2Y} = \frac{I_{2Y} \cdot 2}{B_{KB}} = \frac{0,00156 \cdot 2}{0,60} = 0,00521 \text{ м}^3.$$

Площа поперечного переріза кінцевої балки

$$F_2 = 2[(B_{KB} \cdot \delta_{\Pi}) + (H_{KB} - 2\delta_{\Pi}) \cdot \delta_C] =$$

$$= 2 \cdot [0,60 \cdot 0,012 + (1,0 - 2 \cdot 0,012) \cdot 0,008] = 0,0300 \text{ м}^2.$$

Б.3 Вибір методу розрахунку

Одним з найважливіших етапів у проектуванні будь-якої машини є вибір методу розрахунків. Обраний метод повинен не тільки забезпечити міцність, надійність і безпеку експлуатації виробу, але й забезпечити мінімальну металоємність, а, отже, і вартість. Тепер, найбільш сучасним і прогресивним є метод граничних станів.

Переваги методу граничних станів над методом припустимих напруг:

- 1) Кожен вид навантаження вводиться зі своїм коефіцієнтом перевантаження, чим точніше визначено навантаження, тим менше цей коефіцієнт;
- 2) Виключається суб'єктивізм при виборі запасів міцності;
- 3) Дозволяє виконати імовірнісний розрахунок досягнення елементом граничного стану.

Розрізняють два види граничних станів: перший граничний стан – за несучою здатністю; другий граничний стан – за деформацією або місцевими ушкодженнями.

Завдання розрахунку металоконструкції за цим методом полягає в тому, щоб протягом всього терміну служби в ній не виникло ні перший, ані другий граничний стан.

Критеріальна умова відсутності граничного стану має вигляд

$$N \leq \Phi,$$

де N – розрахункове зусилля в елементі конструкції;

Φ – несуча здатність елемента

Розрахункове зусилля визначається за формулою

$$N = \sum_{I=1}^R P_{HI} \cdot n_I \cdot \alpha_I,$$

де P_{HI} – нормативне навантаження, що діє на конструкцію;

n_I – коефіцієнт, що вводиться в розрахунок, перевантаження по I -

α_i – коефіцієнт передачі I -го нормативного навантаження на елемент, що розраховується.

Таким чином, розрахунок заздалегідь передбачає, що в реальному житті фактичне навантаження може перевищити нормативну, чим і забезпечується висока гарантія надійності.

Несуча здатність елемента визначається за формулою

$$\Phi = F \cdot R_p \cdot m_0,$$

де F – геометричний фактор перетину

R_p – розрахунковий опір матеріалу конструкції

m_0 – коефіцієнт умов роботи

$$m_0 = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3,$$

де m_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь відповідальності конструкції;

m_2 – коефіцієнт, що враховує можливе зменшення геометричних характеристик порівняно з закладеними в розрахунок;

m_3 – коефіцієнт, що враховує неточність розрахункових схем.

Визначимо коефіцієнт умов роботи m_0 для нашого випадку [8, с. 111].

$m_1 = 0,90$ – руйнування з попереджувальною ознакою (відмова елемента викликає безпосередню погрозу для життя людини).

$m_2 = 1,00$ при наявності гарантованих даних про фактичні значення допусків на профілі елементів.

$m_3 = 0,85$ для коробчастих пролітних балок при розташуванні підвізочної рейки в середині балки.

$$m_0 = 0,90 \cdot 1,00 \cdot 0,85 = 0,77.$$

Б.4 Вибір матеріалу для несучих і допоміжних елементів, визначення припустимих розрахункових опорів і напруг

Металеві конструкції вантажопідйомних кранів виготовляють переважно з маловуглецевих і низьколегованих сталей, що поставляються у вигляді прокату різних типів.

Вибір марки сталі, для несучих елементів вантажопідйомних кранів, здійснюють залежно від температурних умов, у яких буде експлуатуватися кран, і режиму роботи.

У цьому випадку, мінімальна температура, при якій буде експлуатуватися машина – $t_{\text{MIN}} = -40^{\circ}\text{C}$, а режим роботи – важкий. Виходячи із цього, приймаємо сталь 15ХСНД за матеріал для несучих елементів. Для допоміжних елементів вибираємо сталь ВСТЗСП5

Переваги низьколегованих сталей:

- 1) Не втрачають пластичності при низьких температурах;
- 2) Характеристики міцності вище в 1,5-2 рази, ніж у маловуглецевих сталей, що дозволяє проектувати полегшені металоконструкції;
- 3) Краще за маловуглецеві протистоять корозії, що особливо важливо для кранів, що працюють в агресивних середовищах або на відкритому повітрі.

Однак цим сталям властиві недоліки:

- 1) Погано працюють на витривалість;
- 2) Гірше працюють на стійкість;
- 3) Дорожчі.

У нашій випадку, при важкому режимі роботи доводиться вибирати для несучих елементів низьколеговану сталь, тому що передбачається, що кран буде працювати при $t_{\text{MIN}} = -40^{\circ}\text{C}$. При такій температурі маловуглецеві стали втрачають пластичність і стають тендітними.

Призначення стали 15ХСНД – елементи зварених металокопункцій і різні деталі, до яких висуваються вимоги підвищеної міцності й корозійної стійкості з обмеженням маси і які працюють при температурі від -70 до 45°C .

Зварюваність – зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЕШС.

Вид поставок – сортовий прокат, у тому числі фасонний: ДСТ 19281-73, ДСТ 2590-71, ДСТ 2591-71, ДСТ 8239-72, ДСТ 8240-72, ДСТ 6713-75, ДСТ 535-79. Лист товстий ДСТ 19282-73, ДСТ 19903-74, ДСТ 6713-75, ДСТ 14637-79. Лист тонкий ДСТ 17066-80, ДСТ19903, ДСТ 19904-74. Смуга ДСТ103, ДСТ 82-70, ДСТ6713, ДСТ 14637-79. Кування і ковані заготовки ДСТ1133.

Фізико-механічні властивості й хімічний склад стали 15ХСНД наведені в таблицях Б.4.1 і Б.4.2.

Таблиця Б.4.1 –

Фізико-механічні властивості стали 15ХСНД

Напружений стан основного металу	Розтягання, вигин	R	290
	Зріз	R_{CP}	170
	Зминання торцевої поверхні (при наявності пригону)	R_{CM}	430
	Зминання місцеве – у циліндричних шарнірах при щільному торканні	$R_{\text{CM.M}}$	250
	Діаметральний стиск котків при вільному торканні	$R_{\text{C.K}}$	13
Напружений стан звареного з'єднання	Стиск	R_{C}^{CB}	290
	Розтягання: автоматичне зварювання; напівавтоматичне і ручне зварювання з фізичним контролем якості швів	R_{P}^{CB}	290
	Встик – напівавтоматичне і ручне зварювання при звичайних методах контролю	R_{P}^{CB}	250
	Зріз	$R_{\text{CP}}^{\text{CB}}$	170
	Кутові шви (зріз)	$R_{\text{Y.CP}}^{\text{CB}}$	200

Таблиця Б.4.2 –

Хімічний склад сталі 15ХСНД

Сталь	C	P	S	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	As	N
	%									
15ХСНД	0,12-0,18	0,035	0,040	0,4-0,7	0,4-0,7	0,6-0,9	0,3-0,6	0,2-0,4	0,08	0,008

Для зварювання сталевих конструкцій електроди повинні відповідати вимогам ДСТ 9466-75 і ДСТ 9467-75. Відповідно до [9] вибираємо тип і марку електродів для ручного зварювання при розрахунковій температурі так -40°C (РТМ 24.090.52-85):

- тип – Э60А
- марка – АНО-10

Б.5 Визначення навантажень і їхніх розрахункових сполучень

Розрахункові навантаження металевих конструкцій при розрахунку за методом граничних станів наведені в таблиці Б.4.4.

Таблиця Б.4.4 –

Розрахункові навантаження металевих конструкцій за методом граничних станів

Вид навантаження	Випадки навантаження				
	I		I		II
	Комбінації навантажень				
	I a	I b	II a	II b	–
Вага металевої конструкції крана з урахуванням коефіцієнтів поштовхів k_T' і k_T	$n_1 G_1$	$n_1 k_T' G_1$	$n_1 G_1$	$n_1 k_T G_1$	$n_1 G_1$
Вага встаткування, нерухомо розташованого на металевій конструкції, з урахуванням коефіцієнтів поштовхів k_T' і k_T	$n_2 G_2$	$n_2 k_T' G_2$	$n_2 G_2$	$n_2 k_T G_2$	$n_2 G_2$
Вага встаткування, що переміщається по металевій конструкції (візків і ін.), з урахуванням коефіцієнтів поштовхів k_T' і k_T	$n_3 G_3$	$n_3 k_T' G_3$	$n_3 G_3$	$n_3 k_T G_3$	$n_3 G_3$

Продовження таблиці Б.4.4

Вага вантажу (включаючи захват вантажу) з урахуванням динамічних коефіцієнтів ψ_I і ψ_{II} і коефіцієнтів поштовхів k'_T і k_T	$\psi_I G_3$	$k'_T G_3$	$n_4 \psi_{II} G$	$n_4 k_T G$	–
Горизонтальні сили інерції мас крану (розгін або гальмування одного з механізмів) F_H	–	F_H	–	$n_5 F_H^{\max}$	–
Кут відхилення вантажного канатів від вертикалі α	–	α_I	–	$n_6 \alpha_{II}$	–
Навантаження від вітру на конструкцію P_B	–	–	P_{BII}	P_{BII}	$n_7 P_{BIII}$

Саме вагу мосту приймаємо рівномірно розподіленою по прольоту. Вагу пролітної частини мосту визначимо використовуючи усереднені графіки ([8], с. 117)

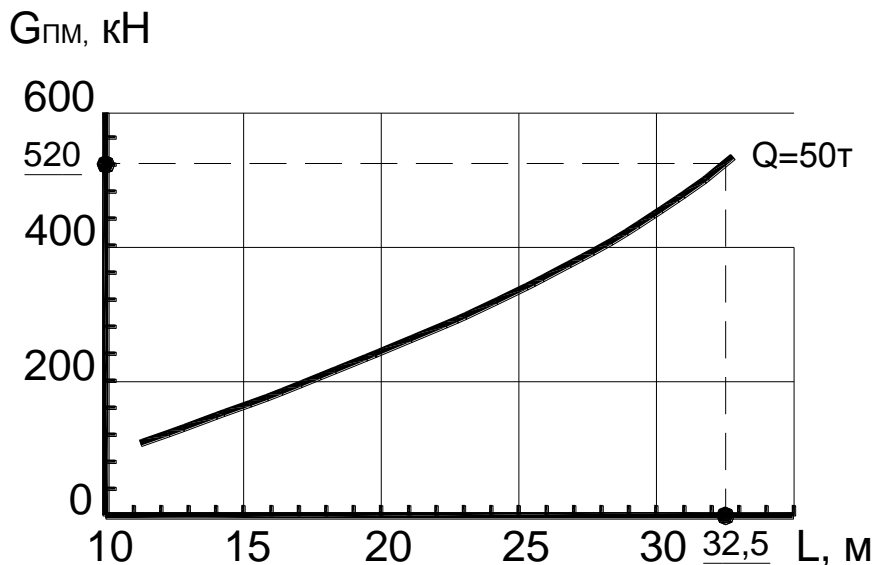


Рисунок Б.5.1 – Усереднений графік ваги пролітних частин двобалкових кранів режимних груп 4ДО, 5ДО.

При використанні легованих сталей вага знижується на 10...20%, також вага пролітних частин кранів режимних груп 6ДО-К-8ДО збільшується на 10...15%. Вага елементів, що не розраховуються, може становити 30...60% від загальної ваги пролітної частини мосту [8, с. 117].

Виходячи з вище сказаного приймаємо вагу пролітних частин мосту крана $G_{ПМ} = 1,2 \cdot 520 = 624$ кН (тут 1,2 – коефіцієнт, враховуючий вагу частин, що не розраховуються – 20%).

Інтенсивність розподіленого навантаження від власної ваги пролітної частини мосту двобалкового мостового крана знаходимо за формулою

$$q_H = \frac{G_{\text{ПМ}}}{2L_K} n_1 = \frac{624}{2 \cdot 32,5} 1,05 = 10,1 \frac{\text{кН}}{\text{м}},$$

де L_K – проліт крана, $L_K = 32,5$ м;

n_1 – коефіцієнт перевантаження для ваги металеві конструкції, $n_1 = 1,05$ [9, с. 166];

Вагу приводу механізму пересування крана визначимо за усередненими даними [8, с. 117], $G'_{\text{ПР}} = 7$ кН. З урахуванням коефіцієнта перевантаження

$$G_{\text{ПР}} = G'_{\text{ПР}} \cdot n_2 = 7 \cdot 1,2 = 8,4 \text{ кН},$$

де n_2 – коефіцієнт перевантаження для ваги механізму пересування, $n_2 = 1,2$ [9, с. 166];

Оскільки кран працює на відкритому повітрі, кабіну вважаємо такою, що закрита. Відповідно до [8, с. 117] приймаємо усереднену вагу кабіни $G'_{\text{КБ}} = 25$ кН. З урахуванням коефіцієнта перевантаження

$$G_{\text{КБ}} = G'_{\text{КБ}} \cdot n_3 = 25 \cdot 1,2 = 30,0 \text{ кН}$$

де n_3 – коефіцієнт перевантаження для ваги кабіни, $n_3 = 1,2$ [9, с. 166];

Вагу візка приймаємо за усередненими даними [8, с. 117], $G_T = 130$ кН.

Коефіцієнт поштовхів k_T , що враховує вертикальні динамічні навантаження, що виникають через нерівність шляхів $k_T = 1,1$ [9, с. 69].

Для першого випадку навантаження коефіцієнт поштовхів визначається за формулою

$$k'_T = 1 + 0,5(k_T - 1) = 1 + 0,5(1,1 - 1) = 1,05.$$

Значення динамічних коефіцієнтів ψ_I і ψ_{II} визначають за формулою [9, с. 64]

При плавному пуску механізму

$$\psi_I = 1 + \frac{\xi \cdot 0,5 v_{\text{OTP}}}{\lambda_{\text{CT}} + y_{\text{CT}}} \sqrt{\frac{m_{\Gamma} + m_{\text{M}}}{c_{\text{M}}}} = 1 + \frac{1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,09}{0,026 + 0,024} \sqrt{\frac{50 + 45,1}{1,93 \cdot 10^6}} = 1,33.$$

При різкому пуску механізму

$$\psi_{II} = 1 + \frac{\xi \cdot v_{\text{OTP}}}{\lambda_{\text{CT}} + y_{\text{CT}}} \sqrt{\frac{m_{\Gamma} + m_{\text{M}}}{c_{\text{M}}}} = 1 + \frac{1,5 \cdot 0,09}{0,026 + 0,024} \sqrt{\frac{50 + 45,1}{1,93 \cdot 10^6}} = 1,66,$$

де m_{M} – приведена до точки підвісу вантажу маса металеві конструкції крана й вантажного візка,

$$m_{\text{M}} \approx (0,5Q_{\text{ПР}} + Q_{\text{T}}) = (0,5 \cdot 63,6 + 13,3) = 45,1 \text{ т},$$

тут $Q_{\text{ПР}}$ – маса пролітної будови (без опор і кінцевих балок),

$$Q_{\text{ПР}} = \frac{G_{\text{ПМ}}}{g} = \frac{624}{9,81} = 63,6 \text{ т};$$

Q_{T} – маса вантажного візка,

$$Q_{\text{T}} = \frac{G_{\text{T}}}{g} = \frac{130}{9,81} = 13,3 \text{ т}.$$

λ_{CT} – переміщення точки підвісу вантажу внаслідок статичного подовження канатів,

$$\lambda_{\text{CT}} = \frac{G \cdot l_{\text{K}}}{n E_{\text{K}} F_{\text{K}}} = \frac{490,5 \cdot 15}{10 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 283,79} 10^3 = 0,026 \text{ м},$$

тут l_{K} – довжина ділянок канату, $l_{\text{K}} \approx H$ (H – висота підйому вантажу), $l_{\text{K}} = 15 \text{ м}$;

G – вага вантажу, $G = Q_{\text{H}} \cdot g = 50 \cdot 9,81 = 490,5 \text{ кН}$;

n – кількість ділянок канату, на якому висить вантаж, $n = 10$ (приймається залежно від вантажопідйомності);

E_{K} – модуль пружності каната, для середніх умов $E_{\text{K}} = 1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;

F_{K} – площа поперечного переріза каната, $F_{\text{K}} = 283,79 \text{ мм}^2$.

$y_{ст}$ – статичний вертикальний прогин конструкції від ваги вантажу в місці його докладання

$$y_{ст} = \frac{GL^3}{2 \cdot 48EJ} = \frac{490,5 \cdot 32,5^3}{2 \cdot 48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,03538} 10^{-3} = 0,024 \text{ м},$$

тут L – проліт крана, $L = 32,5$ м;

J – момент інерції однієї половини мосту;

E – модуль пружності матеріалу металокопункції, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа .

$v_{отр}$ – швидкість відриву вантажу від основи (для режимної групи 6ДО) [9, с. 135], $v = 0,5v_{п} = 0,5 \cdot 0,18 = 0,09 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

ξ – поправочний коефіцієнт, для кранів загального призначення можна приймати $\xi = 1,5$.

c_m – коефіцієнт твердості металокопункції,

$$c_m = \frac{Q_H}{y_{ст}} = \frac{50}{0,026} = 1,93 \cdot 10^6 \frac{\text{т}}{\text{м}}.$$

де m_m – наведена до точки підвісу вантажу маса металевої копункції

Коефіцієнт режиму навантаження для кранів режимної групи 6ДО $\phi_{э} = 0,7$ [9, с. 50...51]

При розрахунку внутрішніх силових факторів урахуємо, що число ходових коліс візка $n_T = 4$, тому що вантажопідйомність крана менше 160 тонн [8] і вага візка й вантажу розподіляються рівномірно на всі колеса, тобто $D_1 = D_2 = D$. Можливі сполучення навантажень на ходові колеса візка наведені в таблиці Б.5.2.

Таблиця Б.5.2 –

Рухомі навантаження на міст крана

Тиск ходового колеса візка	Розрахункові сполучення навантажень							
	I a		I b		II a	II b	II c	III
	max	min	max	min				
$D_1 = D_2$	$\frac{g}{n_T} \times$ $(n_3 Q_T + \psi_I Q_{э})$	$\frac{g}{n_T} \times$ $n_3 Q_T$	$\frac{g}{n_T} k_T \times$ $(n_3 Q_T + Q_{э})$	$\frac{g}{n_T} \times$ $n_3 Q_T$	$\frac{g}{n_T} \times$ $(n_3 Q_T + n_4 \psi_{II} Q_H)$	$\frac{g}{n_T} k \times$ $(n_3 Q_T + n_4 Q_H)$	$\frac{g}{n_T} \times$ $(n_3 Q_T + n_4 Q_H)$	$\frac{g}{n_T} \times$ $n_3 Q_T$

Сполучення навантажень I a max:

$$D_{Ia}^{\max} = \frac{g}{n_T} (n_2 \cdot Q_T + \psi_1 \cdot Q_{\text{э}}) = \frac{9,81}{4} (1,2 \cdot 13,3 + 1,31 \cdot 35) = 153,2 \text{ кН},$$

де ψ_1 – коефіцієнт динамічності при плавному розгоні механізму підйому вантажу, $\psi_1 = 1,33$

$Q_{\text{э}}$ – маса еквівалентного вантажу,

$$Q_{\text{э}} = \varphi_{\text{э}} \cdot Q_H = 0,7 \cdot 50 = 35 \text{ т},$$

Q_T – маса візка,

$$Q_T = \frac{G_T}{g} = \frac{130}{9,81} = 13,3 \text{ т},$$

де $\varphi_{\text{э}}$ – коефіцієнт еквівалентності, $\varphi_{\text{э}} = 0,7$ [9, с. 50...51]

Сполучення навантажень I a min

$$D_{Ia}^{\min} = \frac{g}{n_T} n_2 \cdot Q_T = \frac{9,81}{4} 1,2 \cdot 13,3 = 39,0 \text{ кН}.$$

Сполучення навантажень I b max

$$D_{Ib}^{\max} = \frac{g}{n_T} k'_T (n_2 \cdot Q_T + Q_{\text{э}}) = \frac{9,81}{4} 1,05 (1,2 \cdot 13,3 + 35) = 131,1 \text{ кН},$$

де k'_T – коефіцієнт поштовхів при русі крана по нерівностях підкранової колії з половинною швидкістю, $k'_T = 1,05$.

Сполучення навантажень I b min

$$D_{Ib}^{\min} = \frac{g}{n_T} n_2 \cdot Q_T = \frac{9,81}{4} 1,2 \cdot 13,3 = 39,0 \text{ кН},$$

Сполучення навантажень II a

$$D_{2a} = \frac{g}{n_T} (n_3 \cdot Q_T + n_4 \cdot \psi_{II} \cdot Q_H) = \frac{9,81}{4} (1,2 \cdot 13,3 + 1,3 \cdot 1,66 \cdot 50) = 303,7 \text{ кН},$$

де n_4 – значення коефіцієнта перевантажень для ваги вантажу, $n_4 = 1.3$ [8, с. 118; 9, с. 166];

ψ_{II} – коефіцієнт динамічності при різкому пуску механізму підйому, $\psi_{II} = 1,66$.

Сполучення навантажень II б

$$D_{2b} = \frac{g}{n_T} k_T (n_3 \cdot Q_T + n_4 \cdot Q_H) = \frac{9,81}{4} 1,1 (1,2 \cdot 13,3 + 1,3 \cdot 50) = 218,3 \text{ кН},$$

де k_T – коефіцієнт поштовхів при русі крана по нерівностях підкранової колії з максимальною швидкістю, $\psi_1 = 1,1$.

Сполучення навантажень II с

$$D_{IIc} = \frac{g}{n_T} (n_3 \cdot Q_T + n_4 \cdot Q_H) = \frac{9,81}{4} (1,2 \cdot 13,3 + 1,3 \cdot 50) = 198,4 \text{ кН}.$$

Сполучення навантажень III

$$D_{III} = \frac{g}{n_T} n_3 Q_T = \frac{9,81}{4} 1,2 \cdot 13,3 = 39,0 \text{ кН}.$$

Результати обчислень зводимо в таблицю Б.5.3

Таблиця Б.5.3 –

Рухомі навантаження, що діють на міст крана

Тиск ходового колеса візка	Розрахункові сполучення навантажень							
	I a		I b		II a	II б	II с	III
	max	min	max	min				
$D_1 = D_2$	153,2	39,0	131,1	39,0	303,7	218,3	198,4	39,0

Б.6 Визначення внутрішніх силових факторів

Для визначення необхідного моменту опору перетину головної балки, необхідно знати навантаження, що діють на балку та місця їхнього

докладання. Нерухливі навантаження є закріпленими, тому місця їхнього докладання визначаються з конструктивних міркувань. Рухомі навантаження змінюють свій вплив залежно від положення візка, тому необхідно поставити візок у таке положення, при якому його вплив буде максимальним, тобто встановимо візок за правилом Вінклера. Розрахункова схема, для визначення максимального згинального моменту, із установленим візком за правилом Вінклера, показана на малюнку Б.6.1.

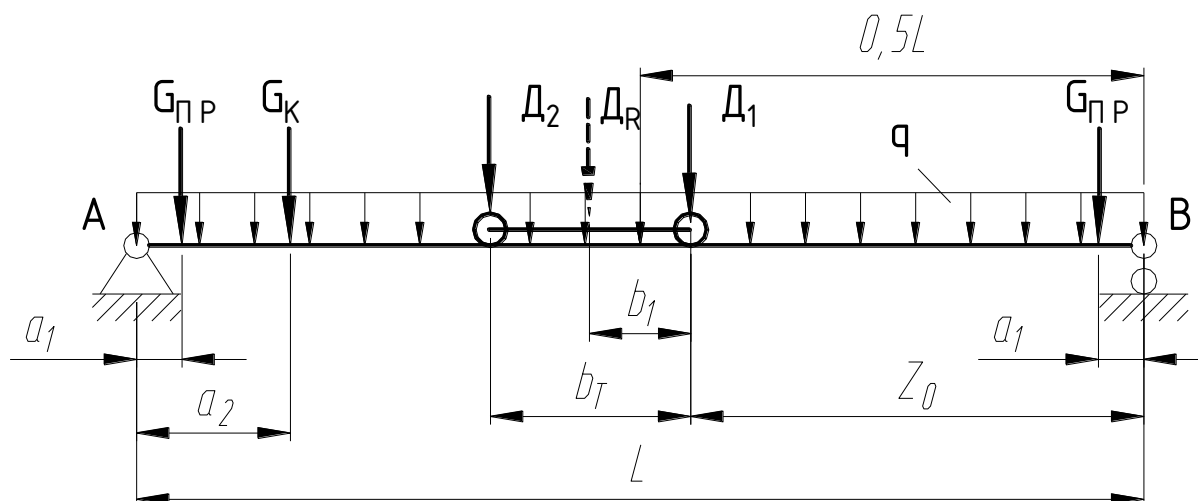


Рисунок Б.6.1 – Розрахункова схема додатка вертикальних навантажень комбінацій II а та II б

Вище викладені розрахунки (табл. Б.5.3) показали, що найбільше значення тиску ходових коліс грейферного візка має розрахунковий випадок II а, отже, при визначенні максимального згинального моменту будемо використовувати цей розрахунковий випадок.

Максимальний згинальний момент, що діє в перетині під колесом з тиском D_1 при чотирьохколесному візку, визначимо за формулою [8, с. 120]

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{qL^2}{8} + D_R \frac{(L - b_1)^2}{4L} + G_{\text{ПР}} \cdot a_1 + G_{\text{К}} \cdot a_2 \frac{L - b_1}{2L} = \\
 &= \frac{10,1 \cdot 32,2^2}{8} + 597,1 \frac{(32,5 - 2,0)}{4 \cdot 32,5} + 8,4 \cdot 2,0 + 30,0 \cdot 2,5 \frac{32,5 - 2,0}{2 \cdot 32,5} = \\
 &= 5655,8 \text{ кН} \cdot \text{м},
 \end{aligned}$$

де b_1 – відстань від рівнодіючої до найбільш навантаженого колеса, $b_1 = 2,0$ м (рис. Б.6.1);

a_1 – відстань від осі підкранової рейки до центра ваги механізму пересування, $a_1 = 2,0$ м;

a_2 – відстань від осі підкранової рейки до центра ваги кабіни,
 $a_2 = 2,5\text{ м}$,

$$D_R = D_1 + D_2 \dots$$

Навантаження, що діють на металоконструкцію в горизонтальній площині, визначаємо для розрахункової схеми, показаної на малюнку Б.6.2. Горизонтальні навантаження виникають при розгоні й гальмуванні крана, як сили інерції від вертикальних навантажень. Як показує практика, горизонтальні складові від маси механізму пересування й кабіни, незначні й ними можна зневажити.

При визначенні горизонтальних інерційних навантажень на крановий міст, прискорення, що виникає в період несталої роботи механізму пересування, варто визначати за формулою

$$a_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{к}}}{t_{\text{рк}}} = \frac{1,5}{6} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

де $V_{\text{к}}$ – номінальна швидкість пересування крана, $V_{\text{к}} = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$t_{\text{рк}}$ – час розгону крана, яких можна вважати за рівний $t_{\text{рк}} = 6\text{ с}$.

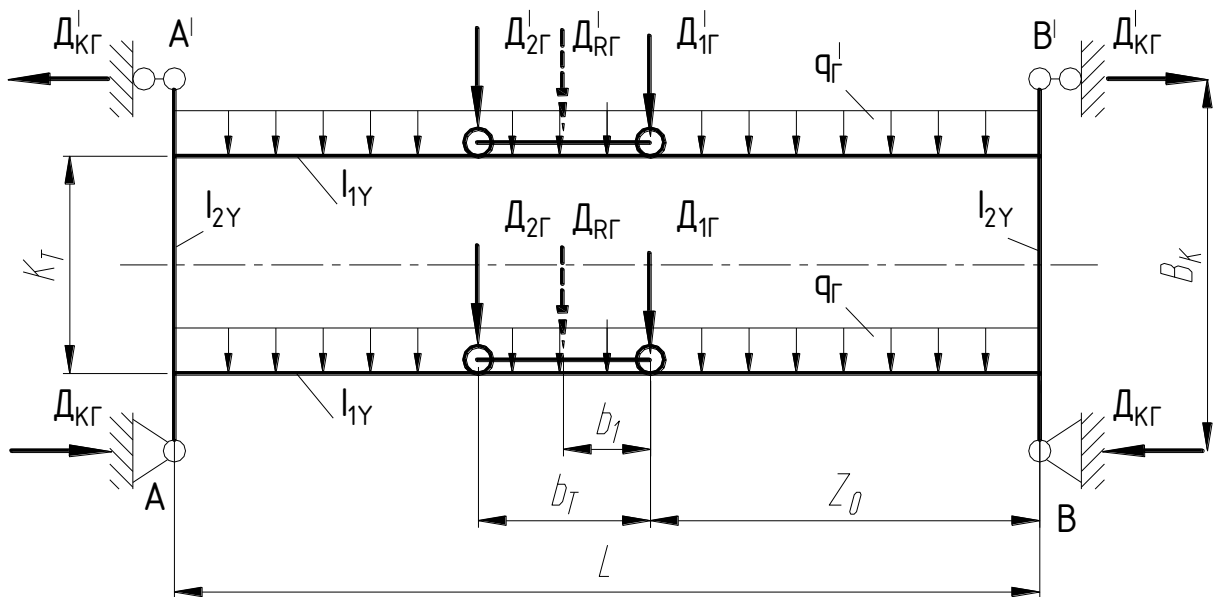


Рисунок Б.6.2 – Розрахункова схема додатка горизонтальних навантажень за правилом Вінклера

Визначимо сумарний горизонтальний згинальний момент у розрахунковому перетині прольоту

$$M_{1Г} = \frac{q_{Г} L^2}{8} \cdot \frac{1+S}{3+S} + \frac{D_{РГ} L}{8} \cdot \frac{3+2S}{3+S} =$$

$$= \frac{0,26 \cdot 32,5^2}{8} \cdot \frac{1+0,1974}{3+0,1974} + \frac{15,2 \cdot 32,5}{8} \cdot \frac{3+2 \cdot 0,1974}{3+0,1974} = 79,5 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

де – $q_{Г}$ горизонтальна складова від розподіленого навантаження

$$q_{Г} = q_{Н} \frac{a_{СР}}{g} = 10,1 \frac{0,25}{9,81} = 0,26 \frac{\text{кН}}{\text{м}};$$

$D_{РГ}$ – горизонтальна складова від рівнодіючої тиску коліс

$$D_{РГ} = (D_1 + D_2) \frac{a_{СР}}{g} = (303,7 + 303,7) \frac{0,25}{9,81} = 15,5 \text{ кН}$$

S – коефіцієнт, що обчислюється за формулою

$$S = \frac{B_{К}}{L} \cdot \frac{J_{1Y}}{J_{2Y}} \left[1 - 3 \frac{K_{Т}}{B_{К}} \left(1 - \frac{K_{Т}}{B_{К}} \right) \right] =$$

$$\frac{6,0}{3,5} \cdot \frac{0,00501}{0,00156} \left[1 - 3 \frac{4,0}{6,0} \left(1 - \frac{4,0}{6,0} \right) \right] = 0,1974,$$

де $B_{К}$ — база крана, $B_{К} = 6,0 \text{ м}$;

J_{1Y} момент інерції пролітної балки щодо вертикальної осі,
 $J_{1Y} = 0,00501 \text{ м}^4$ (див. п. 2);

J_{2Y} – момент інерції кінцевої балки щодо вертикальної осі
 $J_{2Y} = 0,00156 \text{ м}^4$ (див. п. Б.2);

Б.7 Розрахунок розмірів поперечного переріза головної балки

Розміри поперечного переріза визначають з умови забезпечення міцності балки при дії навантажень комбінації II а. Момент опору балки при вигині у вертикальній площині повинен відповідати умові

$$W_x \geq \frac{M_1}{m_0 R}.$$

Виходячи із цього визначимо момент опору перетину, при якому буде виконуватися умова міцності

$$W_X = \frac{M_1}{m_0 R_{\text{ИЗГ}}} = \frac{5655,8}{0,77 \cdot 290} 10^{-3} = 0,02566 \text{ м}^3,$$

де M_1 – максимальний згинальний момент у розрахунковому перетині головної балки у вертикальній площині (див. п. 6), $M_1 = 5655,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$;

m_0 – коефіцієнт умов роботи (див. п. 4), $m_0 = 0,73$;

$R_{\text{ИЗГ}}$ – розрахунковий опір матеріалу на вигин (див. п. А.4, табл. 4.1), $R_{\text{ИЗГ}} = 290 \text{ МПа}$.

Оптимальну, за умовою мінімуму ваги при забезпеченні заданої міцності, висоту стінки для балки із двома осями симетрії визначимо за формулою

$$h = \sqrt{\frac{1,5 \cdot W_X}{\delta_C}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 0,02672}{8 \cdot 10^{-3}}} = 2,21 \text{ м}$$

За рекомендацій ВНДПТМАШа гнучкість стінок доцільно призначати в межах $S_C = 100 \dots 300$. у нашому випадку гнучкість стінки становить

$$S_C = \frac{h}{\delta_C} = \frac{2,3}{0,008} = 288.$$

Умова рекомендованої гнучкості стінки $S_C < [S_C]$ забезпечується. $288 < 300$.

З умови забезпечення заданої мінімальної твердості визначимо момент інерції балки у вертикальній площині

$$\begin{aligned} J_{Xf} &= \frac{C_M \cdot L^3}{96E} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{B_T}{L} \right)^2 \cdot \left(3 - \frac{B_T}{L} \right) \right] \cdot 10^{-3} = \\ &= \frac{15273,8 \cdot 32,5^3}{96 \cdot 2,1 \cdot 10^5} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{4,0}{32,5} \right)^2 \cdot \left(3 - \frac{4,0}{32,5} \right) \right] \cdot 10^{-3} = 0,02544 \text{ м}^4 \end{aligned}$$

де C_M – коефіцієнт твердості мосту,

$$C_M = \frac{G_{ГР} + G_T}{[f_L]L} = \frac{490,1 + 130,0}{\frac{1}{800} 32,5} = 15273,8 \frac{\text{кН}}{\text{м}},$$

тут $[f_L]$ – граничний відносний прогин мосту при дії номінального рухомого навантаження, $[f_L] = \frac{1}{800}$ [8, с. 119].

Оптимальну по мінімуму ваги висоту стінки h_f при забезпеченні заданої твердості визначають за формулою

$$h_f = \sqrt[3]{\frac{3J_{Xf}}{\delta_2}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 0,02544}{8 \cdot 10^{-3}}} = 2,12 \text{ м.}$$

Вище наведені обчислення показують, що висота головної балки з умови міцності повинна становити $h_{ГБ} = 2,3 \text{ м}$. У зв'язку із цим приймаємо $h_{ГБ} = 2,3 \text{ м}$.

Поперечний переріз із прийнятими розмірами зображене на рис. Б.7.1.

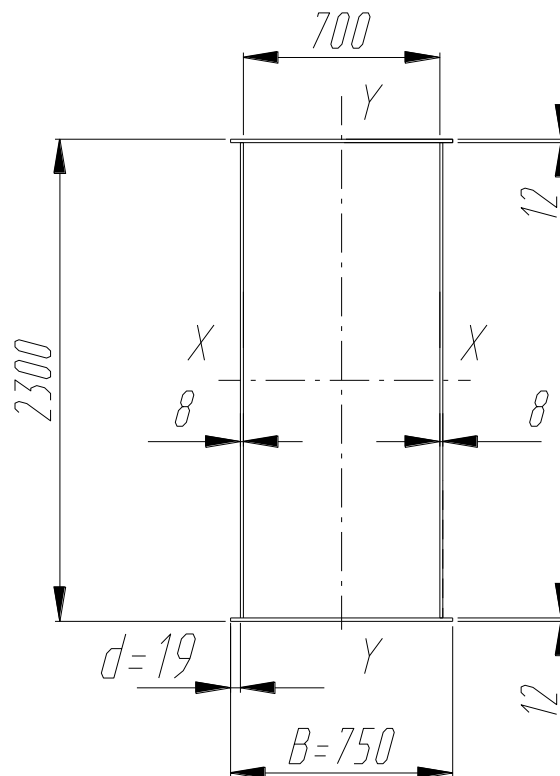


Рисунок Б.7.1 – Уточнений перетин пролітної балки

Визначимо геометричні характеристики перетину головної балки с уточненими розмірами:

Момент інерції головної балки відносно осі $x-x$

$$I_{IX} = 2 \left(\frac{B \cdot \delta_{II}^3}{12} + B \cdot \delta_{II} \cdot \left(\frac{H_{ГБ} - \delta_{II}}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{\delta_C \cdot (H_{ГБ} - 2 \cdot \delta_{II})^3}{12} =$$

$$2 \left(\frac{0,75 \cdot 0,012^3}{12} + 0,75 \cdot 0,012 \cdot \left(\frac{2,3 - 0,012}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{0,008 \cdot (2,3 - 2 \cdot 0,012)^3}{12} =$$

$$= 0,03928 \text{ м}^4.$$

Момент інерції головної балки відносно осі $y-y$

$$I_{IY} = 2 \left(\frac{(H_{ГБ} - 2 \cdot \delta_{II}) \cdot \delta_C^3}{12} + (H_{ГБ} - 2 \cdot \delta_{II}) \cdot \delta_C \left(\frac{b - \delta_C}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{\delta_{II} \cdot B^3}{12} =$$

$$= 2 \left(\frac{(2,3 - 2 \cdot 0,012) \cdot 0,008^3}{12} + (2,3 - 2 \cdot 0,012) \cdot 0,008 \left(\frac{0,7 - 0,008}{2} \right)^2 \right) +$$

$$2 \frac{0,012 \cdot 0,75^3}{12} = 0,00520 \text{ м}^4.$$

Момент опору перетину головної балки відповідно осі $x-x$

$$W_{IX} = \frac{I_{IX} \cdot 2}{H_{ГБ}} = \frac{0,03928 \cdot 2}{2,3} = 0,03415 \text{ м}^3.$$

Момент опору перетину головної балки відповідно осі $y-y$

$$W_{IY} = \frac{I_{IY} \cdot 2}{B} = \frac{0,00520 \cdot 2}{0,75} = 0,001337 \text{ м}^3$$

Площа поперечного переріза в другому наближенні становить

$$F'_1 = 2[(B \cdot \delta_{II}) + (H_{ГБ} - 2\delta_{II}) \cdot \delta_C] =$$

$$= 2 \cdot [0,75 \cdot 0,012 + (2,3 - 2 \cdot 0,012) \cdot 0,008] = 0,0544 \text{ м}^2.$$

Різниця площі між першим і другим наближеннями

$$\Delta = \left| \frac{F_1 - F_1'}{F_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{0,0528 - 0,0544}{0,0528} \right| \cdot 100\% = 3\% .$$

Оскільки різниця менше 10%, уточнюючий розрахунок не проводимо.

Якщо буде потреба проведення уточнюючого розрахунку, відповідно до [8] приймемо, що вага поздовжніх і поперечних ребер жорсткості становить 0,3 від ваги несучих елементів. Тоді погонна вага саме балки складе

$$q_B = 1,3 \cdot \rho \cdot g \cdot F_1,$$

де ρ – щільність матеріалу, $\rho = 7,85 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}$;

Погонна вага інших елементів (рейка і її кріплення, площадки обслуговування, огороження) знайдемо за формулою

$$q_0 = q_H - q_B .$$

Отже, у другому наближенні нормативна інтенсивність розподіленого навантаження

$$q_{2H} = \frac{F_1'}{F_1} q_B + q_0 .$$

Уточнений згинальний момент

$$M_{12} = M_1 - \frac{L^2}{8} (q_H - q_{2H}) .$$

Різниця моментів між першим і другим наближенням

$$\Delta = \left| \frac{M_1 - M_{12}}{M_1} \right| \cdot 100\% .$$

Різниця між первісним і уточненим моментами не повинна перевищувати 10%, інакше необхідно проводити корегування поперечного переріза балки.

Перевірка міцності балки в середній частині прольоту здійснюється за формулою

$$\sigma = \frac{M_{1Г}}{W_y} + \frac{M_1}{W_x};$$

$$\sigma = \frac{79,5}{0,01388} + \frac{5730}{0,03415} = 173 \text{ МПа} .$$

Умова забезпечення міцності балки

$$\sigma \leq m_0 \cdot R .$$

Розрахунок виконаний вірно, тому що $173 \text{ МПа} < 223 \text{ МПа}$.

Б.8 Розміщення ребер жорсткості

Ребра жорсткості (поперечні основні, поперечні додаткові й поздовжні) повинні забезпечувати геометричну незмінюваність поперечного переріза балки, місцеву стійкість стінок і стислих поясів, а при розташуванні рейки по осі верхнього пояса – міцність рейки й поясу при місцевому впливі тисків коліс візка. Визначимо гнучкість стінки

$$S = \frac{H_B}{\delta_C} = \frac{2,3}{0,008} = 288 .$$

У нашій випадку гнучкість стінки $S = 288$, тому необхідно встановлювати поперечні й два поздовжніх ребра жорсткості.

Б.8.1 Розміщення поперечних ребер жорсткості

Для відсіків, що примикають до опор, крок основних поперечних ребер $a = H_{ГБ}$, у наступних відсіках $a = (1,25 \dots 2)H_{ГБ}$. Ширина виступаючої частини основного поперечного ребра

$$b_p = \frac{H_{ГБ}}{30} + 40 = \frac{2300}{30} + 40 = 118 \text{ мм} ,$$

прийmemo $b_p = 120 \text{ мм}$.

Товщина ребра з умови забезпечення його стійкості повинна становити

$$\delta_p = \frac{b_p}{12} = \frac{120}{12} = 10 \text{ мм},$$

Прийmemo товщину ребра $\delta_p = 8 \text{ мм}$, тому що товщина стінки $\delta_c = 8 \text{ мм}$.

Момент інерції поперечного ребра щодо площини стінки повинен становити

$$J_p \geq 3 \cdot H_{ГБ} \cdot \delta_c^3,$$

тут J_p – момент інерції поперечного ребра

$$J_p = \frac{0,008 \cdot 0,12^3}{12} + 0,008 \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{0,12}{2} + 0,008 \right)^2 + \\ + \frac{0,32 \cdot 0,008^3}{12} + 0,32 \cdot 0,008 \cdot \left(\frac{0,008}{2} \right)^2 = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

При визначенні моменту інерції ребра в розрахунок повинна включатися частина стінки шириною $20\delta_c$ по обидві сторони від ребра (малюнок Б.8.1).

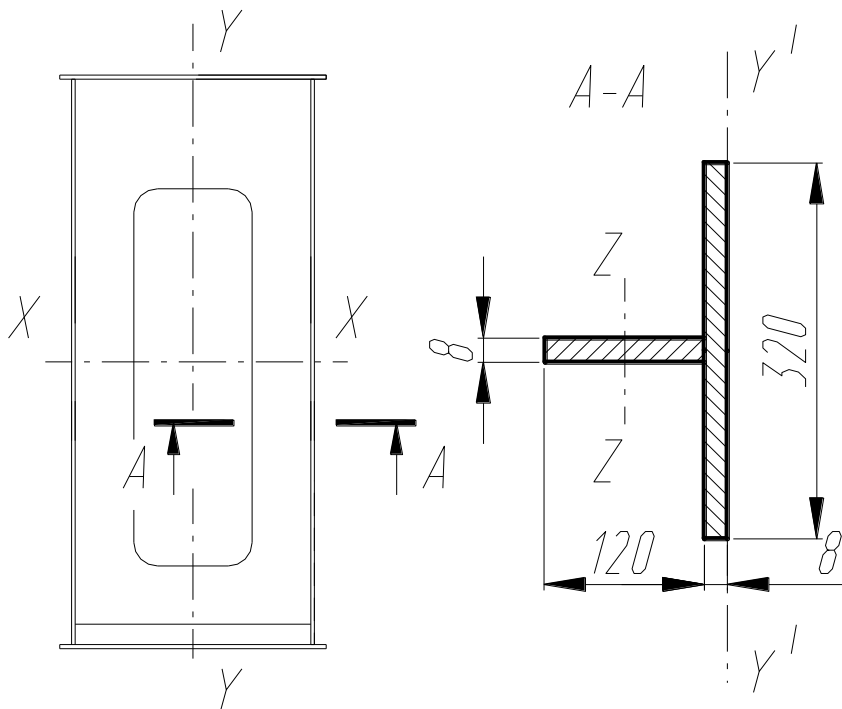


Рисунок Б.8.1 – Розрахункова схема при визначенні моменту інерції ребра

$$3 \cdot H_{ГБ} \cdot \delta_C^3 = 3 \cdot 2,3 \cdot 0,008^3 = 0,35 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Отже, умова твердості ребра виконується, тому що

$$1,93 \cdot 10^{-5} > 0,35 \cdot 10^{-5}.$$

Перевіримо поперечне ребро за умовами роботи верхньої крайки на стиск від місцевого тиску колеса

$$\sigma_{сж} = 1,15 \frac{D}{S_{pc} \cdot \delta_p} \sin \frac{\pi \delta_p}{2z} \leq m_0 R,$$

де D – максимальний тиск колеса візка (сполучення II а),
 $D = 298,6 \text{ кН}$;

S_{pc} – довжина лінії контакту рейки й поясу, для кранових рейок

$$S_{pc} = 0,6 b_{pc} = 0,6 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 0,09 \text{ м};$$

тут b_{pc} – ширина підшви рейки, для рейки КР100 (ДСТ 4121-76),
 $b_{pc} = 150 \text{ мм}$.

z – розрахункова зона розподілу тиску колеса по ребру,

$$z = 8,453 \sqrt{\frac{J_{II} + J_{pc}}{\delta_p}} = 8,453 \sqrt{\frac{10,8 \cdot 10^{-8} + 1547,4 \cdot 10^{-8}}{8 \cdot 10^{-3}}} = 1,29 \text{ м}.$$

тут J_{pc} – момент інерції рейки відповідно власної нейтральної осі $x-x$,
 $J_{pc} = 2864,73 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$;

J_{II} – момент інерції поясу відповідно власної нейтральної осі $x-x$

$$J_{II} = \frac{0,75 \cdot 0,012^3}{12} = 10,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

Звідси

$$\sigma_{сж} = 1,15 \frac{298,6 \cdot 10^3}{90 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3}} \sin \frac{\pi \cdot 90 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,29} = 53 \text{ МПа},$$

Умова міцності верхньої крайки $\sigma_{сж} < m_0 R$ виконується, т.я.
 $169 \text{ МПа} < 223 \text{ МПа}$

Крок основних і додаткових ребер жорсткості, що є опорами для рейки, визначимо з умови міцності останньої

$$a_1 \leq \frac{5W_{x \min} [\sigma_{pc}]}{D} 10^3 = \frac{5 \cdot 3,77 \cdot 10^{-4} \cdot 290 \cdot 10^6}{298,6 \cdot 10^3} = 1,8 \text{ м},$$

де $W_{x \min}$ – мінімальний момент опору рейки при вигині,

$$W_{x \min} = 3,77 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4;$$

$[\sigma_{pc}]$ – припустима напруга вигину матеріалу рейки, $[\sigma_{pc}] = 260 \text{ МПа}$

Для забезпечення міцності поясу при дії місцевих напружень від тиску коліс візка приймаємо конструктивно крок малих діафрагм $a_1 = 1,0 \text{ м}$, а крок більших діафрагм $a = 3 \cdot a_1 = 3 \cdot 1,0 = 3,0 \text{ м}$. У кінцевих частинах балки ребра жорсткості ставимо відповідно необхідності приварки фундаментів під привод механізму пересування крану. Розміщення основних і додаткових поперечних ребер жорсткості зображено на малюнку Б.8.2.

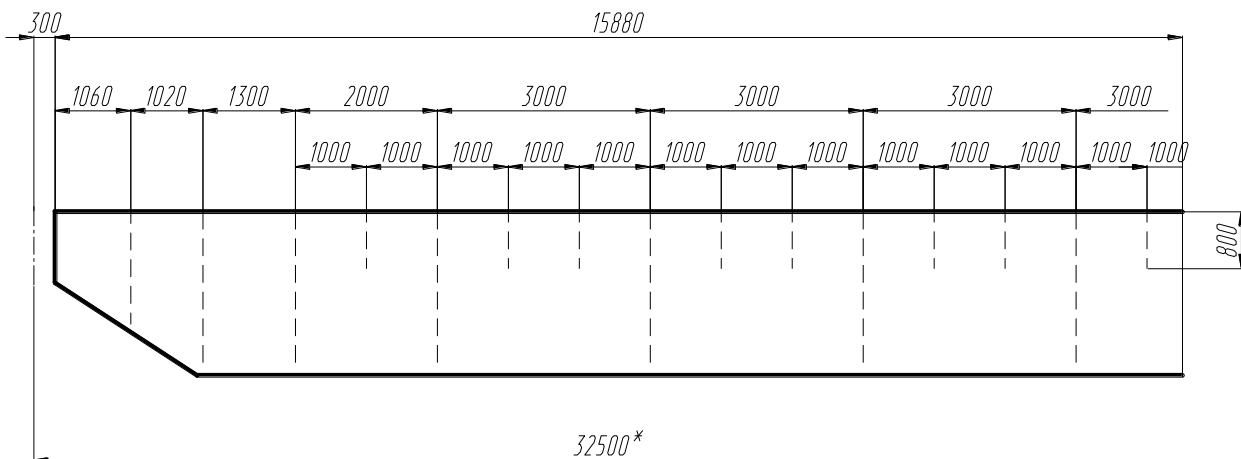


Рисунок Б.8.2 – Схема встановлення основних і додаткових поперечних ребер жорсткості

При контакті підшви рейки з поясом балки пояс перебуває в плоскому напруженому стані і його міцність необхідно перевірити за умовою

$$\sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_{ym}^2} - \sigma_z \cdot \sigma_{ym} \leq m_0 R,$$

де σ_z – напруги, обумовлені за формулою

$$\sigma_z = \sigma_{z0} + \sigma_{zm} = 168 + 59 = 226 \text{ МПа},$$

тут σ_{z0} – напруга в балці від її загального вигину в поздовжньому напрямку

$$\sigma_{z0} = \frac{M_{1x}}{W_x} = \frac{5729,6 \cdot 10^3}{3,415 \cdot 10^{-2}} = 168 \text{ МПа};$$

σ_{z0} – місцеві, нормальні напруги в поясі поперек поздовжньої осі балки

$$\sigma_{z\text{м}} = \frac{6k_3 N}{\delta_{\text{п}}^2} = \frac{6 \cdot 0,136 \cdot 9694}{0,012^2} 10^{-6} = 59 \text{ МПа},$$

тут k_3 – коефіцієнт, прийнятий по таблиці [8, с. 129], $k_3 = 0,145$;

N – сила, що передається на поясний лист через рейку від тиску ходового колеса візка

$$N = \frac{D}{1 + \frac{96k_1 b^2 J_{\text{рс}}}{a_1^3 \delta_{\text{п}}^3}} = \frac{304 \cdot 10^3}{1 + \frac{96 \cdot 0,165 \cdot 0,7^2 \cdot 2864,7 \cdot 10^{-8}}{1,0^3 \cdot 0,012^3}} = 9694 \text{ Н},$$

тут k_1 – коефіцієнт, прийнятий по таблиці [8, с. 129], $k_1 = 0,165$;

$\sigma_{y\text{м}}$ – місцеві, нормальні напруги в поясі уздовж поздовжньої осі балки

$$\sigma_{y\text{м}} = \frac{6k_2 N}{\delta_{\text{п}}^2} = \frac{6 \cdot 0,136 \cdot 9694}{0,012^2} 10^{-6} = 85 \text{ МПа},$$

тут k_2 – коефіцієнт, прийнятий по таблиці [8, с. 129], $k_2 = 0,21$;

Звідси

$$\sqrt{226^2 + 85^3} - 226 \cdot 85 = 198 \text{ МПа}.$$

Умова міцності поясу виконується, т.я. $198 \text{ МПа} < 223 \text{ МПа}$.

Якщо умова не виконується, необхідно приймати заходів щодо зниження напруг у поясі.

Б.9 Розміщення поздовжніх ребер жорсткості

Поздовжні ребра жорсткості ставляться на відстані від крайньої стислої крайки стінки: перше – $b_1 = (0,15...0,20)H_{ГБ}$, друге $b_2 = (0,32...0,4)H_{ГБ}$ ([8], с. 130).

Візьмемо наступне розташування поздовжніх ребер жорсткості: $b_1 = 0,45\text{ м}$, $b_2 = 0,75\text{ м}$. Товщина ребра $\delta_{ПР} = 8\text{ мм}$. Ширина ребра $b_{ПР} = 120\text{ мм}$.

Необхідне значення моменту інерції поздовжнього ребра відносно площини стінки [8, с. 130 табл. 6.20]

$$J_{ПРТРЕБ} = \left(2,5 - 0,5 \frac{a}{H_{ГБ}} \right) \frac{a^2}{H_{ГБ}} \delta_C^3 = \left(2,5 - 0,5 \frac{1,0}{2,3} \right) \frac{1,0^2}{2,3} 0,008^3 = 5,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Момент інерції поздовжнього ребра відносно стінки

$$J_{ПР} = \frac{0,008 \cdot 0,12^3}{12} + 0,008 \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{0,12}{2} + 0,008 \right)^2 = 1,40 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Умова $J_{ПР} > J_{ПРТРЕБ}$ виконується, тому що

$$1,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4 > 5,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Момент інерції поздовжнього ребра відносно крайки поясу повинен становити

$$J_{ПРК} = 7b_1\delta_{П}^3 = 7 \cdot 0,45 \cdot 0,012^3 = 5,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Визначимо момент інерції поздовжнього ребра відносно крайки поясу

$$J_{ПРК.расч} = b_{ПР} \cdot \delta_{ПР} \cdot b_1^2 = 0,12 \cdot 0,008 \cdot 0,45^2 = 1,94 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Умова $J_{ПРК.расч} > J_{ПРК}$ виконується, тому що

$$1,94 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4 > 5,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Встановлення поздовжніх ребер показана на малюнку Б.9.2.

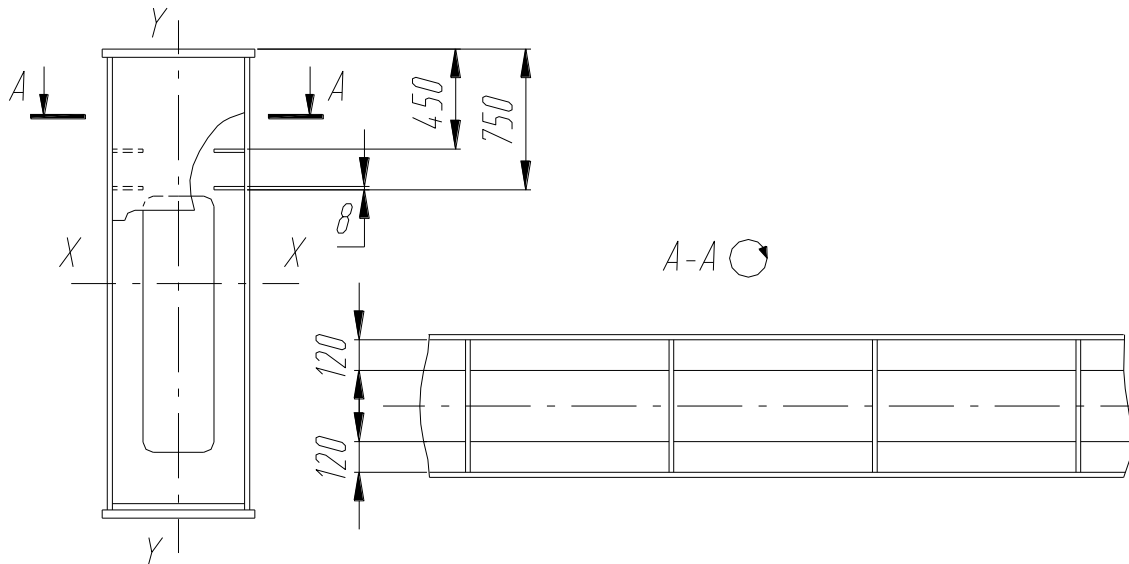


Рисунок Б.9.2 – Схема встановлення поперечних ребер жорсткості

Б.10 Перевірка міцності опорного перетину пролітної балки

Міцність опорного перетину пролітної балки перевіряємо для випадку дії навантажень II в.

Визначимо сумарний згинальний момент у вузлі поєднання пролітної балки з кінцевою. Найбільшим буде момент з боку колеса із тиском $D_{1Г}$.

$$\begin{aligned}
 M_{yГ} &= \frac{q_{Г}L^2}{4(3+S)} + \frac{D_{РГ}}{8} \cdot \frac{L^2 - 4b_1^2}{L^2} \cdot \frac{(2+S)(3L+2b_1) - (3L-2b_1)}{(1+S)(3+S)} = \\
 &= \frac{0,29 \cdot 32,5^2}{4(3+0,1890)} + \frac{15,2}{8} \cdot \frac{32,5^2 - 4 \cdot 2,0^2}{32,5^2} \times \\
 &\times \frac{(2+0,1890)(3 \cdot 32,5 + 2 \cdot 2,0) - (3 \cdot 32,5 - 2 \cdot 2,0)}{(1+0,1890)(3+0,1890)} = 84,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.
 \end{aligned}$$

Визначимо сумарний момент, що виникає у вузлі поєднання головної балки з кінцевою при встановленні візка в крайнє положення (Рисунок – Б.10.1).

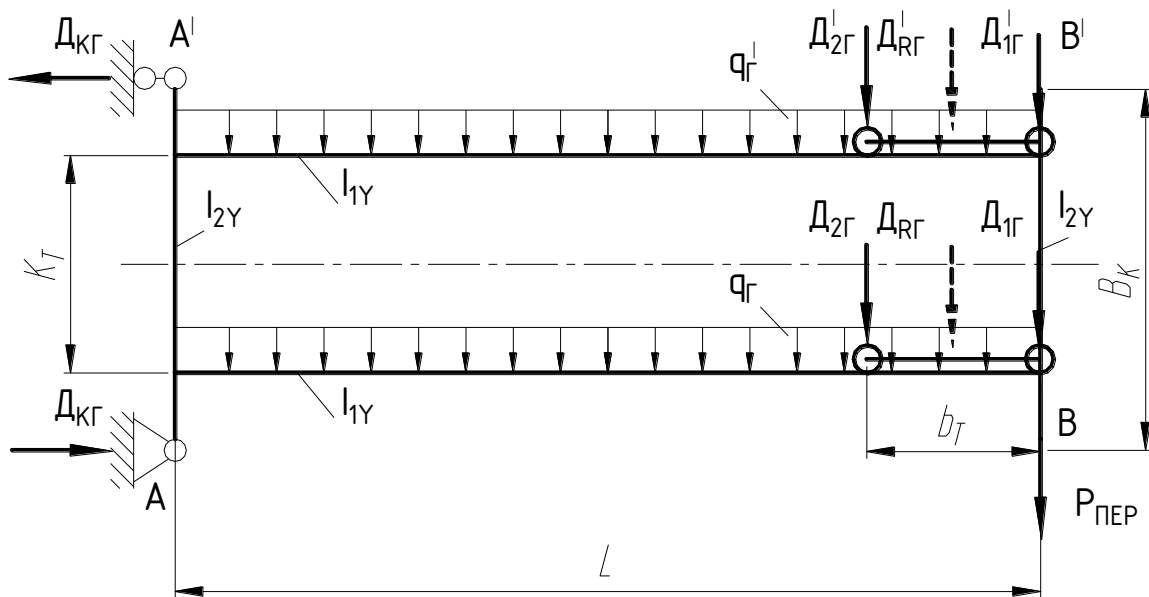


Рисунок Б.10.1 – Розрахункова схема докладання горизонтальних навантажень при встановленні візка в крайнє положення

Найбільший горизонтальний згинальний момент для пролітної балки діє у вузлі її поєднання з менш навантаженою кінцевою балкою й дорівнює

$$M_{yГ}^{\min} = \frac{q_{ГL}}{2} K_T K_q + \frac{D_{1Г}}{2} K_T K_D + \frac{P_{\text{ПЕР}}}{2} K_T K_P =$$

$$\frac{0,26 \cdot 32,5}{2} 4,0 \cdot 2,708 + \frac{7,74}{2} 4,0 \cdot 1,624 + \frac{32,5}{2} 4,0 \cdot 7,743 = 531,7 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

де K_q – коефіцієнт, що розраховується за формулою

$$K_q = \frac{1}{2(s_1 + 3)} \frac{L}{K_T} \left(2 + \frac{K_T}{B_K} s_1 \right) = \frac{1}{2(0,4932 + 3)} \frac{32,5}{4,0} \left(2 + \frac{4,0}{6,0} \cdot 0,4932 \right) = 2,708$$

$$\text{тут } s_1 = \frac{K_T}{L} \frac{J_{1Y}}{J_{2Y}} = \frac{4,0}{32,5} \frac{0,00520}{0,00130} = 0,4932.$$

K_D – коефіцієнт, що розраховується за формулою

$$K_D = \frac{1}{s_1 + 3} \frac{L}{K_T} \left(3 \frac{B_T}{L} + \frac{K_T}{B_K} s_1 \right) = \frac{1}{0,4932 + 3} \frac{32,5}{4,0} \left(3 \frac{4,0}{32,5} + \frac{4,0}{6,0} 0,4932 \right) = 1,531.$$

K_P – коефіцієнт, що розраховується за формулою

$$K_P = \frac{1}{s_1 + 3 K_T} \frac{L}{K_T} \left(3 + \frac{K_T}{B_K} s_1 \right) = \frac{1}{0,4932 + 3 \cdot 4,0} \frac{32,5}{4,0} \left(3 + \frac{4,0}{6,0} 0,4932 \right) = 7,799.$$

$P_{\text{ПЕР}}$ – тиск на приводні колеса,

$$P_{\text{ПЕР}} = \mu_{\text{СЦ}} \cdot D_{\text{min}} \frac{n_{\text{ПР}}}{n} = 0,14 \cdot 211,9 \frac{2}{4} = 29,7 \text{ кН}$$

тут D_{min} – тиск на приводні колеса з боку менш навантаженої кінцевої балки (Рисунок – Б.10.2),

$$\begin{aligned} D_{\text{min}} &= \frac{qL}{2} + \frac{D_1 b_T}{L} + G_{\text{КБ}} \frac{a_2}{L} + G_{\text{МП}} = \\ &= \frac{11,4 \cdot 32,5}{2} + \frac{303,7 \cdot 4,0}{32,5} + 30,0 \frac{2,5}{32,5} + 8,4 = 211,9 \text{ кН}. \end{aligned}$$

$\mu_{\text{СЦ}}$ – коефіцієнт зчеплення коліс із рейками, для відкритого повітря
 $\mu_{\text{СЦ}} = 1,14$;

$n_{\text{ПР}}$ – кількість приводних коліс, $n_{\text{ПР}} = 2$;

n – загальна кількість коліс, $n = 4$.

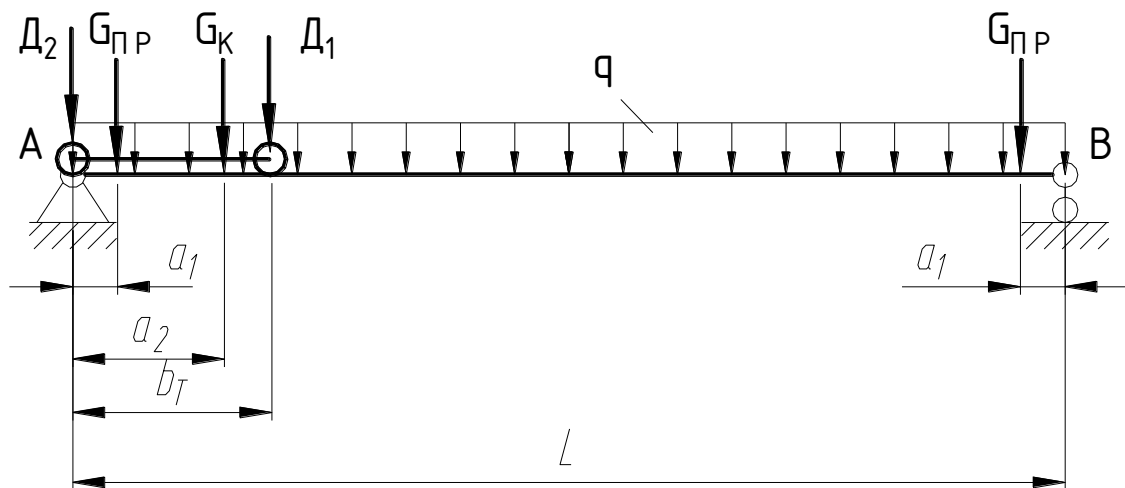


Рисунок Б.10.2 – Схема визначення максимальних тисків на ходові колеса

Найбільший горизонтальний згинальний момент для пролітної балки діє у вузлі її поєднання з більш навантаженою кінцевою балкою і дорівнює:

$$M_{\text{УГ}}^{\text{max}} = \frac{q_{\Gamma}L}{2}(L - K_{\Gamma}K_q) + \frac{D_{1\Gamma}}{2}(2B_{\Gamma} - K_{\Gamma}K_d) + \frac{P_{\text{ПЕР}}}{2}K_{\Gamma}K_p =$$

$$\frac{0,26 \cdot 32,5}{2}(32,5 - 4,0 \cdot 2,708) + \frac{7,74}{2}(2 \cdot 4,0 - 4,0 \cdot 1,531) +$$

$$+ \frac{29,7}{2}4,0 \cdot 7,799 = 531,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Б.11 Перевірка міцності зварених швів

Міцність зварених швів, що поєднують пояс зі стінкою, перевіряють за формулою

$$\frac{QS_{\Pi}}{2\beta h_{\text{ш}}J_{\text{бр}}} \leq m_0R,$$

де Q – найбільша поперечна сила в розглянутому перетині, що виникає при встановленні візка в крайнє положення (див. Рисунок – Б.10.2)

$$Q = \frac{qL}{2} + D_2 + D_1 \frac{L - b_{\Gamma}}{L} + G_{\text{КБ}} \frac{L - a_2}{L} + G_{\text{МП}} =$$

$$= \frac{10,1 \cdot 32,5}{2} + 303,7 \frac{32,5 - 4,0}{32,5} + 30,0 \frac{32,5 - 2,5}{32,5} + 8,4 = 466,2 \text{ кН}.$$

S_{Π} – статичний момент бруто пояса балки відносно її загальної нейтральної осі

$$S_{\Pi} = B \cdot \delta_{\Pi} \frac{H_{\text{ГБ}}}{2} = 0,75 \cdot 0,012 \frac{2,3}{2} = 1,04 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3;$$

β – коефіцієнт, прийнятий залежно від виду зварювання, для напівавтоматичного однопрохідного зварювання $\beta = 0,8$;

$h_{\text{ш}}$ – товщина кутового шва, прийнята такою, що дорівнює катету, вписаного в перетин шва рівнобедреного трикутника, $h_{\text{ш}} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

$J_{\text{бр}}$ – момент інерції бруто перетину балки,

$$J_{\text{бр}} = 2 \left(\frac{B \cdot \delta_{\Pi}^3}{12} + B \cdot \delta_{\Pi} \cdot \left(\frac{H_{\text{КБ}} - \delta_{\Pi}}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{\delta_{\text{С}} \cdot (H_{\text{КБ}} - 2 \cdot \delta_{\Pi})^3}{12} =$$

$$2 \left(\frac{0,75 \cdot 0,012^3}{12} + 0,75 \cdot 0,012 \cdot \left(\frac{1,0 - 0,012}{2} \right)^2 \right) + 2 \frac{0,008 \cdot (1,0 - 2 \cdot 0,012)^3}{12} =$$

$$= 5,632 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4.$$

Звідси

$$\frac{466,2 \cdot 10^3 \cdot 1,04 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 0,8 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 5,632 \cdot 10^{-3}} = 89 \text{ МПа} < 223 \text{ МПа}.$$

Міцність поясного шва забезпечена.

Міцність кожного вертикального шва перевіряють за формулою

$$\frac{Q}{2\beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}} + \frac{T_{\text{кр}}}{2B_1 h_2 \beta h_{\text{ш}}} \leq m_0 R,$$

де $T_{\text{кр}}$ – максимальне значення моменту, що скручує (розраховується за методикою викладеної в посібнику [8, с.122]), $T_{\text{кр}} = 15 \text{ кН} \cdot \text{м}$;

$l_{\text{ш}}$ – розрахункова довжина шву, дорівнює його геометричній довжині, без подвоєної товщини шва, $l_{\text{ш}} = 1,1 \text{ м}$;

B_1 і h_2 – розміри балок, $B_1 = 0,75 \text{ м}$, $h_2 = 1,0 \text{ м}$;

$h_{\text{ш}}$ – товщина шву, $h_{\text{ш}} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Звідси

$$\frac{466,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,8 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} + \frac{15 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,75 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 46 \text{ МПа}.$$

Міцність вертикальних швів забезпечена, т.я. $46 \text{ МПа} < 233 \text{ МПа}$..

Б.12 Розрахунок металоконструкції на витривалість

Розрахунок металоконструкції на витривалість надається на самостійну проробку.

Б.13 Перевірка металоконструкції мосту на статичну твердість

Статичну твердість мосту у вертикальній площині оцінюють по статичному прогині балок у середині прольоту при дії навантажень комбінації. Прогин кожної пролітної балки двобалкового мосту від дії рухомого навантаження дорівнює

$$f_b = \frac{D_R l (0,75L^2 - l^2)}{12EJ_{1X}} \leq [f_L] L,$$

де D_R – рівнодіюча тисків коліс візка,
 $D_R = D_1 + D_2 = 303,7 + 303,7 = 607,4 \text{ кН}$

J_{1X} – момент інерції балки при вигині у вертикальній площині,

$$J_{1X} = 3,93 \cdot 10^{-2} \text{ м}^4;$$

l – розмір, що обчислюється за формулою

$$l = \frac{L - B_T}{2} = \frac{32,5 - 4,0}{2} = 14,25 \text{ м};$$

$[f_L]$ – граничний відносний прогин, $[f_L] = \frac{1}{800}$ [8, табл. 6.16],

Звідси

$$f_b = \frac{607,4 \cdot 10^3 \cdot 14,25 (0,75 \cdot 32,5^2 - 14,25^2)}{12 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 3,93 \cdot 10^{-2}} = 5,1 \cdot 10^{-2} \text{ м} > 4,67 \cdot 10^{-2} \text{ м},$$

Статична твердість мосту незадовільна (студентові необхідно взяти заходів щодо забезпечення статичної твердості мосту).

Б.14 Будівельний підйом пролітних балок

При прольотах мостів більше 17 м пролітним балкам повинен надаватися будівельний підйом, що повинен дорівнювати:

$$f_0 = f_q + \frac{f_b}{2} \geq \frac{L}{800},$$

де f_q – прогин пролітної балки від дії постійних навантажень,

$$f_q = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_H L^4}{EJ_{1X}} 10^{-3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10,08 \cdot 32,5^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,93 \cdot 10^{-2}} 10^{-3} = 0,020 \text{ м};$$

f_b – прогин пролітної балки від дії рухомих навантажень,
 $f_b = 0,051 \text{ м}$.

Звідси

$$f_0 = 0,022 + \frac{0,051}{2} = 0,045 \text{ м} > 0,041 \text{ м},$$

Приймаємо будівельний підйом $f_0 = 0,045 \text{ м}$.

Теоретичний закон зміни ординати будівельного підйому по прольоті $f(z)$ приймають звичайно у вигляді синусоїди. З технологічних міркувань лінію будівельного підйому виконують ламаною за рахунок розкрою листів у вигляді трапецій або шляхом відповідної розкладки листів.

$$f(z) = f_0 \sin\left(\frac{\pi z}{L}\right).$$

$$f_1 = f_0 \sin\left(\frac{\pi \cdot l_1}{L}\right) = 0,047 \sin\left(\frac{\pi \cdot 3750}{32500}\right) = 0,017 \text{ м};$$

$$f_2 = f_0 \sin\left(\frac{\pi \cdot (l_1 + l_2)}{L}\right) - f_1 =$$

$$= 0,047 \sin\left(\frac{\pi \cdot (3750 + 5000)}{32500}\right) - 0,017 = 0,018 \text{ м};$$

$$f_3 = f_0 \sin\left(\frac{\pi \cdot (l_1 + l_2 + l_3)}{L}\right) - f_1 - f_2 =$$

$$0,047 \sin\left(\frac{\pi \cdot (3750 + 5000 + 5000 + 2500)}{32500}\right) - f_1 - f_2 = 0,012 \text{ м}.$$

Скіс при схемі розкрою за малюнком Б.14.1 дорівнює

$$K = f_0 \frac{H}{l};$$

$$K_1 = f_1 \frac{H}{l_1} = 0,017 \frac{2276}{3750} = 0,01 \text{ м};$$

$$K_2 = f_2 \frac{H}{l_2} = 0,018 \frac{2276}{5000} = 0,008 \text{ м};$$

$$K_3 = f_3 \frac{H}{l_3} = 0,012 \frac{2276}{5000} = 0,006 \text{ м}.$$

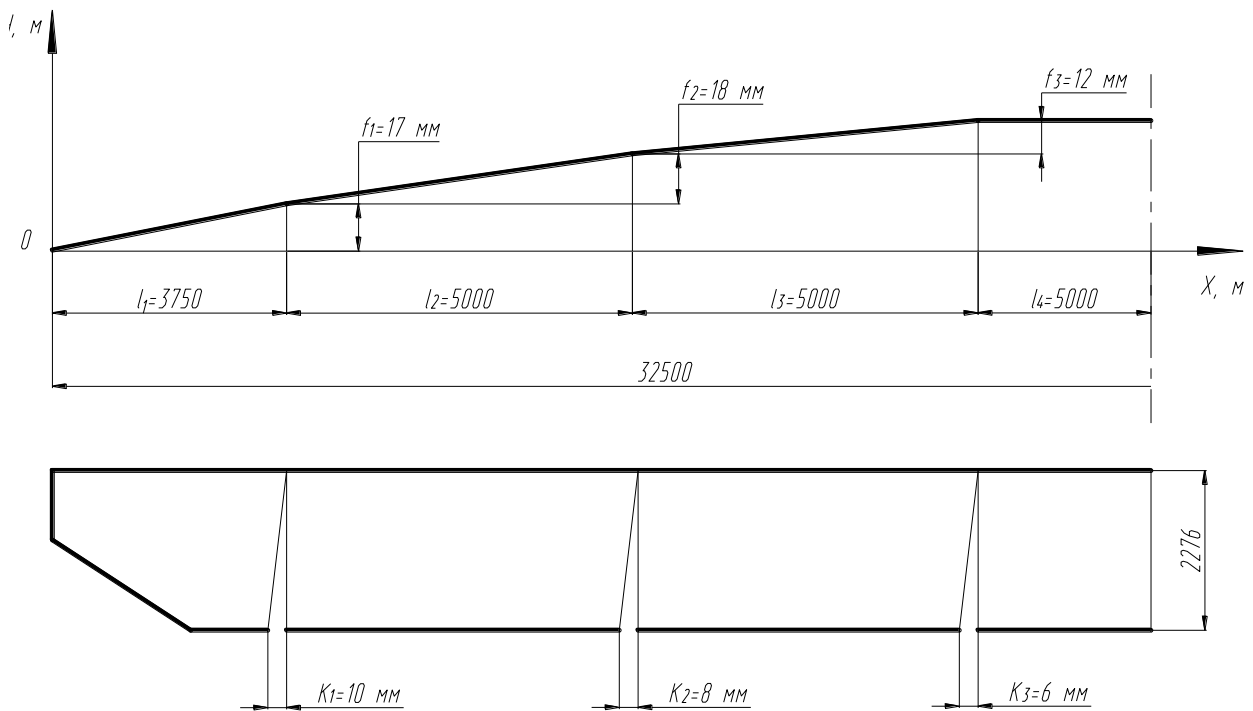


Рисунок Б.14.1 – Схема розкрою листа пролітної балки

Якщо клинове підрізування виявляється менш за допуск на розкрій листа, будівельний підйом формується розкладкою листа.

Б.15 Перелік посилань

- 1 Вершинский А.В., Гохберг М.М., Семенов В.П. Строительная механика и металлические конструкции. – Л.: Машиностроение, 1984.– 231с.
- 2 Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин.– Изд. 2-е.–Л.: Машиностроение, 1969.–520с.
- 3 Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин.–Изд. 3-е.–Л.: Машиностроение, 1976.–456с.
- 4 Шабашов А.П., Лысяков А.Г. Мостовые краны общего назначения.– Изд. 5-е. – М: машиностроение, 1980.–304с.
- 5 Кубланов Н.П., Спенглер И.Е. Строительная механика и металлические конструкции кранов. – Киев: Будивельник, 1968. – 286с.
- 6 Металлические конструкции строительных и дорожных машин (определение внутренних усилий и напряжений)/ В.А. Ряхин, И.Ю. Цвей, М.С. Балаховский и др. – М.: Машиностроение, 1972.–312с.
- 7 Курсовое проектирование грузоподъемных машин / Руденко Н.Ф., Александров М.П., Лысяков И.Г. – Издл. 3-е, перераб. И доп. – М:Ж Машиностроение, 1971.-464с.
- 8 Курсовое проектирование грузоподъемных машин: Учеб. Пособие для студентов машиностр. Спец. Вузов/С.А.Казак, В.Е. Дусье, Е.С. Кузнецов и др.; Под. Ред. С.А. Казака.—М.: Высш. шк., 1989, -- 319 с.: ил.
- 9 Справочник по кранам . Т1 Характеристики материалов и нагрузок, расчет металлических нагрузок. /Под общей редакций М.М. Гохберга.- М; Машиностроение , 1988 г. - 536 с.
- 10 Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. – Изд 3-е – М:Ж машиностроение, 1981. – 391 с.
- 11 Технологичность строительных сварных конструкций / Сахновский М.М. – 3-е изд., перераб. И доп. – Киев: Будивельник, 1980, 264с.
- 12 Справочник сварщика /Под ред. Б.В.Степанова. 4-е изд., перераб. И доп. – М:Ж Машиностроение, 1983. – 560с.
- 13 Богуславский П.Е. Металлические конструкции грузоподъемных машин и сооружений. - М; Машгиз, -1961.-519 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсової роботи з дисципліни
«Проектування металеві конструкції ПТБіДМ»
для студентів спеціальності 7.090214

Укладач: Койнаш Віталій Олексійович
Редактор: Наталія Володимирівна
Єрьоміна

Підп. до друку Формат 60x84/16.
Ризограф.. друк. Ум.друк.арк. 2,75. Обл.-вид.арк. 2,0.
Тираж 60 прим. Зам. №

ДДМА. 84313, м. Краматорськ, вул.Шкадінова, 72