

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра будівельних, колійних та вантажно-
розвантажувальних машин**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання курсового проекту
з дисципліни**

«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ МАШИН»

Харків – 2019

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин 18 квітня 2019 року, протокол № 9.

У роботі викладена методика проектування металоконструкції мостового крана, що розробляється в межах курсового проекту згідно з програмою вивчення дисципліни «Теоретичні основи створення машин». У додатках наведені основні довідкові матеріали та текст програми для виконання розрахунків на ПЕОМ.

Рекомендується для студентів усіх форм навчання галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Укладач

доц. В. О. Стефанов

Рецензент

проф. С. В. Воронін

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту
з дисципліни

«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ МАШИН»

Відповідальний за випуск Стефанов В. О.

Редактор Еткало О. О.

Підписано до друку 06.11.19 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 2,5. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні відомості.....	4
2 Визначення основних розмірів головної балки.....	5
2.1 Основні лінійні розміри головної балки.....	5
2.2 Визначення геометричних характеристик перерізу головної балки.....	6
3 Статичний розрахунок головної балки моста.....	8
3.1 Розрахунок головної балки за першою комбінацією навантажень.....	8
3.2 Розрахунок головної балки за другою комбінацією навантажень.....	18
4 Розрахунок зварних швів.....	28
4.1 Розрахунок стикових швів верхнього поясу.....	28
4.2 Розрахунок стикових швів вертикальних листів.....	29
5 Перевірка жорсткості головної балки.....	30
5.1 Визначення величини прогину.....	30
5.2 Визначення часу згасання коливань головної балки.....	30
6 Розрахунок кінцевих балок.....	32
7 Порядок користування програмою «MOST».....	33
Список літератури.....	34
Додаток А. Список ідентифікаторів програми «MOST».....	35
Додаток Б. Текст програми «MOST».....	38
Додаток В. Розрахункові опори сталей (листовий прокат).....	43
Додаток Г. Підкранова рейка та її розміри.....	44

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», що навчаються за освітніми програмами «Будівельні, колійні, гірничі та нафтогазопромислові машини» та «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, колійні машини та обладнання».

Головним завданням методичних вказівок є надання допомоги студентам при виконанні курсового проекту з дисциплін «Теоретичні основи створення машин». Набування практичних навичок у проектуванні машин і устаткування на прикладі розробки металоконструкції (МК) мостового крана.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити три основні частини: вихідні дані, компоновальну і розрахункову частини.

Вихідні дані наводяться в завданні на курсовий проект.

У компоновальній частині необхідно запропонувати загальну схему металоконструкції двобалкового мостового крана, навести необхідні перерізи головних і кінцевих балок з вказівкою розмірів, способу з'єднання елементів мостового крана, необхідних технічних умов.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Здійснення вантажно-розвантажувальних робіт, виключення важкої ручної праці при виконанні основних і допоміжних виробничих операцій, комплексна механізація й автоматизація виробничих процесів у всіх галузях народного господарства немислимі без використання широкого комплексу підйомно-транспортних машин. Сучасні потокові технологічні й автоматизовані лінії, міжцеховий і внутрішньоцеховий транспорт, вантажно-розвантажувальні операції на складах та перевалочних пунктах органічно пов'язані із застосуванням різноманітних типів підйомно-транспортних машин і механізмів, що забезпечують безперервність і ритмічність виробничих процесів. Тому застосування мостових кранів визначає ефективність сучасного виробництва, а рівень механізації технічного виробництва – ступінь досконалості і продуктивності підприємства.

Металоконструкція двобалкового мостового крана (рисунок 1.1) складається з двох головних балок 1, з'єднаних між собою двома поперечними опорними кінцевими балками 2. Знизу однієї з головних балок встановлюється кабіна керування. По верхньому поясу головних балок укладаються рейки для пересування вантажного візка. Металоконструкція мостового крана передбачає наявність площадки й інших вузлів крана.

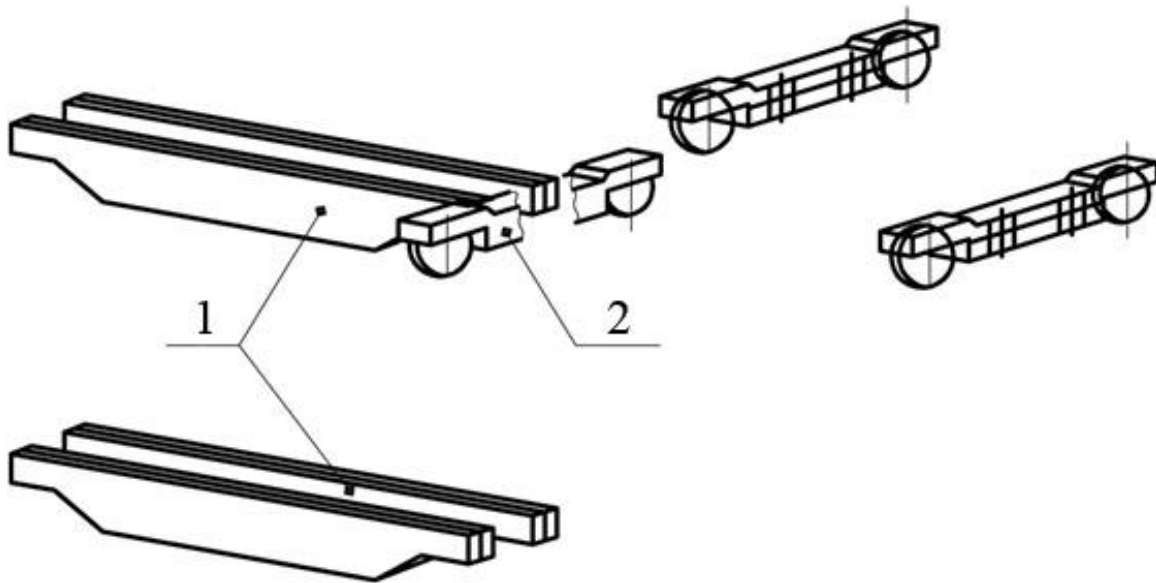


Рисунок 1.1 – Умовна схема мостового крана

2 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ ГОЛОВНОЇ БАЛКИ

2.1 Основні лінійні розміри головної балки

Вихідною величиною для вибору основних геометричних розмірів моста є прогін L головної балки. Переріз головної балки наведений на рисунку 2.1. Основні співвідношення розмірів:

$$\begin{aligned} H &= (1/12 \dots 1/18) \cdot L, \\ H_1 &= (0,4 \dots 0,6) \cdot H, \\ H_5 &= 2 \cdot H. \end{aligned} \quad (2.1)$$

За допомогою розробленої програми (додатки А, Б) визначаються основні параметри головної балки.

При призначенні величини H варто враховувати, що її найбільше значення приводить до відносно великої маси, а мінімальне – до прогину, часу згасання коливань та зменшення жорсткості балки в бічному напрямку та скручуванні.

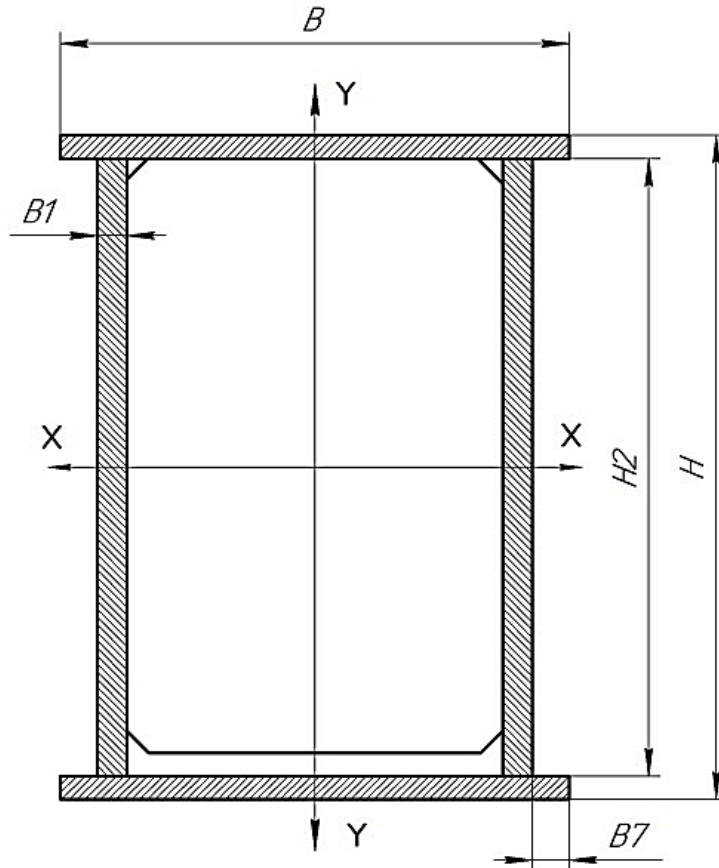


Рисунок 2.1 – Обрис головної балки та її переріз у середині прогону

2.2 Визначення геометричних характеристик перерізу головної балки

Скориставшись співвідношеннями (2.1) і характеристиками перерізу на рисунку 2.1, визначаємо параметри H , H_2 , H_3 , B . Призначаємо товщину

$$\begin{aligned}
 B_1 &= (6 \dots 10) \text{ мм}, & B_2 &= (6 \dots 12) \text{ мм}, \\
 H_2 &= H - (2 \cdot B_2), & B_7 &= (15 \dots 30) \text{ мм}, \\
 B &\geq L/50, & B &\geq H/3.
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Якщо $(H_2/B_1) \geq 160$, у конструкції перерізу необхідно передбачити повздовжні ребра жорсткості.

Обчислюємо площу перерізу головної балки.

Площа перерізу стінок, m^2 ,

$$F_1 = 2 \cdot B_1 \cdot H_2. \quad (2.3)$$

Площа перерізу полиць, m^2 ,

$$F_2 = 2 \cdot B_2 \cdot (B + B_1 + 2 \cdot B_7). \quad (2.4)$$

Площа перерізу головної балки, m^2 ,

$$F = F_1 + F_2. \quad (2.5)$$

Визначаємо моменти інерції перерізу головної балки відносно осі X-X. Для однієї стінки

$$J_1 = \frac{B_1 \cdot H_2^3}{12}. \quad (2.6)$$

Для однієї полиці

$$J_2 = \frac{(B + B_1 + (2 \cdot B_7)) \cdot (B_2)^3}{12} + \frac{F_2 \cdot ((H - B_2)/2)^2}{2}. \quad (2.7)$$

Тоді загальний момент інерції і момент опору перерізу головної балки відносно осі X-X

$$J = 2 \cdot (J_1 + J_2). \quad (2.8)$$

Момент опору перерізу головної балки відносно осі X-X

$$W = \frac{J}{H/2}. \quad (2.9)$$

Визначаємо момент інерції перерізу відносно осі Y-Y.

Для полиці

$$J_3 = \frac{B_2 \cdot (B + B_1 + (2 \cdot B_7))^3}{12}. \quad (2.10)$$

Для стінки

$$J_4 = \frac{(B_1)^3 \cdot H_2}{12} + \frac{F_1 \cdot (B/2)^2}{2}. \quad (2.11)$$

Загальний момент інерції і момент опору перетину головної балки відносно осі Y-Y

$$J_5 = 2 \cdot (J_3 + J_4), \quad (2.12)$$

$$W_1 = \frac{J_5}{B/2 + B_1/2 + B_7}. \quad (2.13)$$

3 СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ГОЛОВНОЇ БАЛКИ МОСТА

Кранові конструкції, що працюють в умовах легкого і середнього режимів, розраховують на статичну міцність за найбільшими навантаженнями. При цьому розглядають дві найбільш несприятливі комбінації навантажень:

а) першу комбінацію навантажень, що виникає при нерухомому крані у випадку піднімання вільно лежачого вантажу максимально допустимої маси (піднімання з підхопленням) чи при різкому гальмуванні вантажу, що опускається;

б) другу комбінацію навантажень, що виникає при різкому гальмуванні крана, що рухається з найбільшою швидкістю, або на початку руху (пуск крана) з максимальним вантажем на гаку.

3.1 Розрахунок головної балки за першою комбінацією навантажень

3.1.1 Вантажний візок перебуває в середині прогону

При цій комбінації на головні балки діють такі навантаження:

- 1) від маси вантажу;
- 2) від маси механізму пересування Q1;
- 3) від маси головної балки Q2;
- 4) від маси візка крана Q3;
- 5) від маси площадки з настилом для обслуговування Q4;
- 6) від додаткових сил інерції при підніманні або гальмуванні вантажу.

При цьому масу кабіни машиніста і масу тролей можна не враховувати через їх незначну величину. Навантаження від власної маси балки і маси площадки з настилом, що припадає на 1 м довжини, Н/м,

$$Q5 = (Q2 + Q4) \cdot \frac{G}{L}, \quad (3.1)$$

де G – прискорення вільного падіння.

Статичний прогин балки від маси вантажу, що піднімається, м, приблизно може бути визначений за допомогою такого рівняння:

$$Y = \frac{Q \cdot G \cdot L^3}{2 \cdot 48 \cdot E \cdot J}, \quad (3.2)$$

де E – модуль пружності матеріалу балки, приймаємо $E=2 \cdot 10^{11}$ Па.

Коефіцієнт жорсткості моста крана оцінюють за допомогою такого виразу:

$$C = Q \cdot \frac{G}{Y}. \quad (3.3)$$

Статичне подовження канатів при підніманні вантажу, м,

$$L1 = \frac{Q \cdot H3 \cdot G}{I \cdot F3 \cdot E1}, \quad (3.4)$$

де H3 – висота піднімання вантажу, м;

I – кількість канатів, на яких підвішений вантаж (для одинарного поліспасти – кратність поліспасти);

F3 – площа поперечного перерізу дротів каната, м²;

E1 – модуль пружності каната, приймаємо E1=1·10¹¹ Па.

Площа поперечного перерізу дротів каната вибирається за таблицею 3.1 залежно від розривного зусилля. Величина розривного зусилля визначається так:

$$S_p \geq \frac{Q \cdot K_{зАП}}{I},$$

де K_{зАП} – коефіцієнт запасу міцності каната, приймаємо K_{зАП} =5,5.

Таблиця 3.1 – Канати типу ЛК – Р (ГОСТ 2688-80)

Руйнівне зусилля Sp, кН, не менше	Діаметр каната, мм	Розрахункова площа перерізу дротів, мм ²
20	11,0	47,19
40	15,0	86,28
50	16,5	104,61
75	21,0	167,03
100	24,0	215,49
150	30,5	356,72
200	32,0	393,06
300	37,0	512,79

Динамічний коефіцієнт, що враховує вплив прискорень на величину навантажень на конструкцію, для випадку піднімання вантажу з підхопленням приблизно розраховується за такою формулою:

$$FD = 1 + (1,5 \cdot AA \cdot V), \quad (3.5)$$

де AA – поправковий коефіцієнт;

V – швидкість піднімання (опускання) вантажу, м/с.

Величина поправкового коефіцієнта

$$AA = \frac{\sqrt{Q1 + Q2 + Q3 + Q4}}{C} \cdot \frac{1}{Y + L1}. \quad (3.6)$$

Для випадку екстреного гальмування вантажу, що опускається, величина динамічного коефіцієнта визначається за формулою

$$F_T = 1 + \frac{V}{\sqrt{G \cdot (Y + L1)}} \cdot \quad (3.7)$$

Надалі за розрахункову величину параметра FD приймаємо найбільше зі значень, отриманих з формул (3.5) і (3.7).

Навантаження, що припадає на одне колесо візка

$$P = \frac{K \cdot Q \cdot FD \cdot G + Q3 \cdot G}{4}, \quad (3.8)$$

де K – коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження на колеса візка, приймаємо $K=1,3$.

Розрахункова схема й епюри згинальних моментів, що виникають при дії на головну балку першої комбінації навантажень, подані на рисунку 3.1.

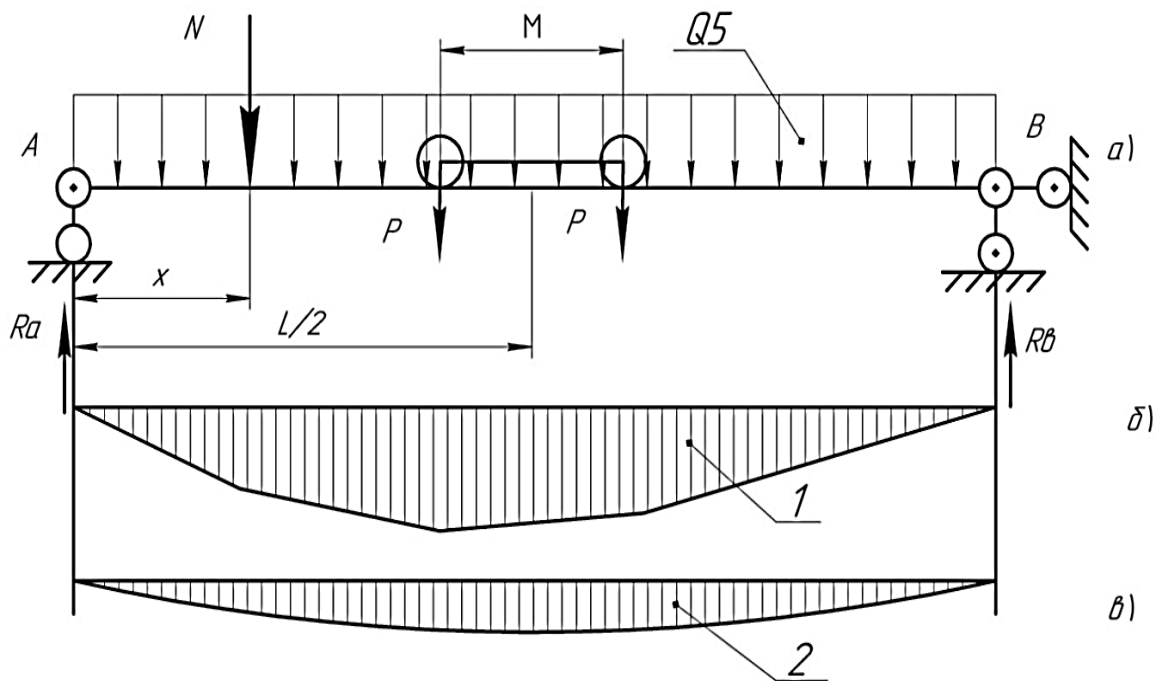


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема (а), а також епюри згинальних моментів від дії зосередження (б) і розподілених (в) сил першої комбінації навантажень

Примітки

1 Епюри згинальних моментів від дії зосереджених навантажень наведені в спрощеному вигляді. Більш точний розрахунок навантажень на конструкцію можна виконати з використанням ліній впливу.

2 Величину X для усіх варіантів розрахунків приймаємо рівною 4 м.

Найбільше напруження в конструкції від дії першої комбінації навантажень

$$S = \frac{M_1 + M_2}{W} \leq K_1 \cdot R_2, \quad (3.9)$$

де $(M_1 + M_2)$ – сумарний згинальний момент від дії зосереджених сил і розподілених навантажень у найбільш завантаженому перерізі головної балки (рисунок 3.1);

R_2 – розрахунковий опір сталі вигину (приймається за додатком В);

K_1 – коефіцієнт умов роботи конструкції.

Коефіцієнт умов роботи конструкції визначається за такою залежністю:

$$K_1 = K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (3.10)$$

де K_2 – коефіцієнт, що враховує відповідальності роботи елемента, приймаємо $K_2 = (0,75 \dots 1,0)$;

K_3 – коефіцієнт неточності виготовлення конструкції, приймаємо $K_3 = (0,90 \dots 0,95)$;

K_4 – коефіцієнт недосконалості розрахунку, приймаємо $K_4 = 0,75$.

3.1.2 Вантажний візок перебуває на краю прогону

При такому положенні вантажного візка перевірка несучої спроможності металоконструкції моста проводиться за дотичними напруженнями. Розрахункова схема наведена на рисунку 3.2, а опорний переріз головної балки – на рисунку 3.3.

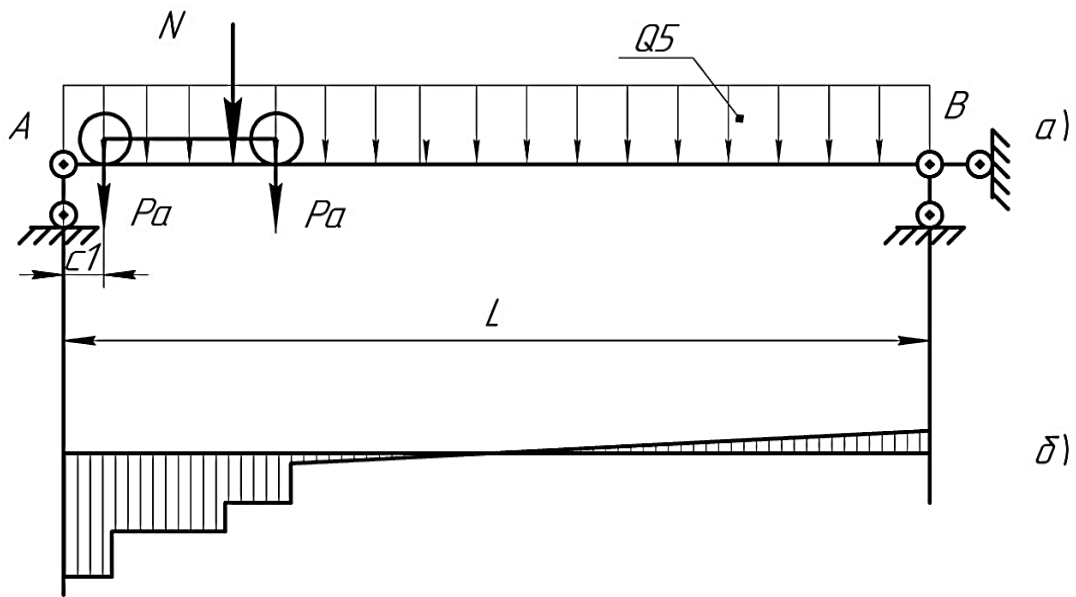


Рисунок 3.2 – Схема до розрахунку навантажень в опорному перерізі балки при першій комбінації навантажень

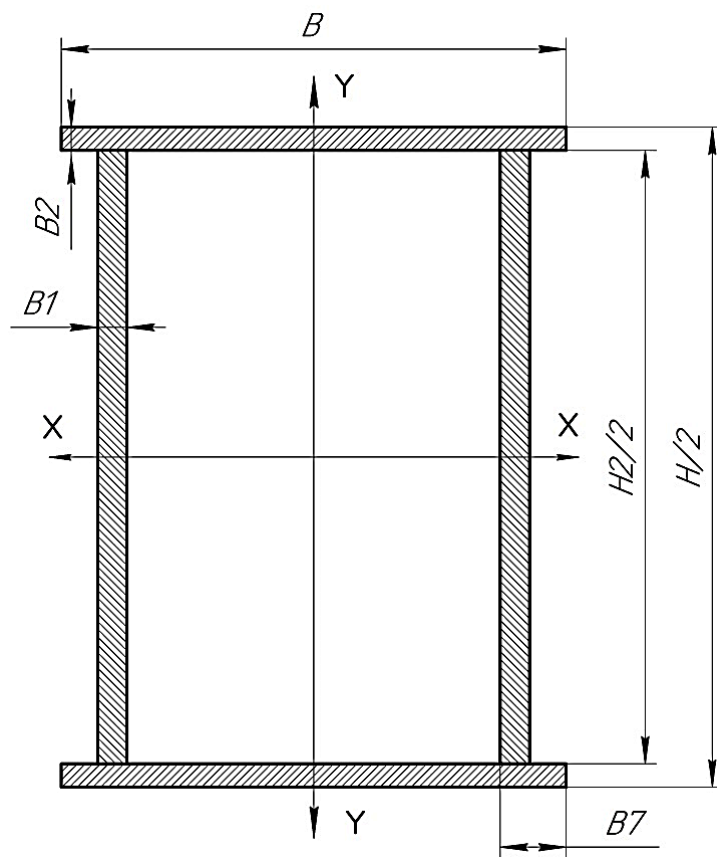


Рисунок 3.3 – Опорний переріз головної балки з уточненням додаткових розмірів

Динамічний коефіцієнт при цьому положенні візка визначаємо за формулою (3.7), прийнявши $Y=0$. Величину навантаження PA на одне колесо візка визначаємо за формулою (3.8).

Максимальна поперечна сила, що викликає напруження зрізу в конструкції:

$$Q_6 = \frac{PA \cdot (L - C_1)}{L} + \frac{PA \cdot (L - (A + C_1))}{L} + \frac{Q_5 \cdot L}{2} + \frac{Q_1 \cdot G \cdot (L - X)}{L}, \quad (3.11)$$

де PA – навантаження, що припадає на одне колесо вантажного візка при перебуванні візка на краю прогону;

C_1 – відстань між точкою опори балки і крайнім положенням колеса візка, м; $C_1=1,5$ м;

X – відстань між точкою опори балки і точкою прикладання сили N , приймаємо $X=4$ м.

Навантаження PA визначаємо як

$$PA = \frac{K \cdot Q \cdot G \cdot FD + Q_3 \cdot G}{4}. \quad (3.12)$$

Статичний момент половини опорного перетину (рисунок 3.3), m^3 , відносно осі $X - X$

$$S_1 = F_2 \cdot \left(\frac{H_2}{4} + \frac{B_2}{2} \right) + F_1 \cdot \left(\frac{H_2}{16} \right). \quad (3.13)$$

Те ж відносно осі $Y - Y$, m^3 ,

$$S_2 = \frac{F_1}{2} \cdot \frac{B}{2} + \frac{F_2 \cdot \left(\frac{B}{2} + \frac{B_1}{2} + B_7 \right)}{4}. \quad (3.14)$$

Момент інерції опорного перерізу відносно осі $X - X$, m^4 ,

$$J_6 = 2 \cdot \frac{(B + B_1 + 2 \cdot B_7) \cdot B^3}{12} + 2 \cdot \frac{F_2}{2} \cdot \left(\frac{H_2}{4} + \left(\frac{B_2}{2} \right)^2 \right) + 2 \cdot \frac{B_1 \cdot (H_2/2)^3}{12}. \quad (3.15)$$

Те ж щодо осі Y- Y , м⁴,

$$J7 = 2 \cdot \frac{(H2/2) \cdot B1^3}{12} + 2 \cdot (F1/2) \cdot (B/2)^2 + 2 \cdot \frac{B2 \cdot (B + B1 + 2 \cdot B7)}{12}. \quad (3.16)$$

Найбільші дотичні напруження в опорному перерізі при цій комбінації навантажень

$$\tau = \frac{Q \cdot S1}{2 \cdot J6 \cdot B1} \leq K1 \cdot R3, \quad (3.17)$$

де R3 – розрахунковий опір матеріалу балки деформації зрушення, Па; приймаємо R3 за додатком Г.

3.1.3 Перевірка стійкості стінок головної балки

З метою збереження стійкості стінок головної балки всередині перерізу встановлюються діафрагми.

Для оцінки стійкості стінок опорного перерізу будуюмо епюри згинальних моментів та епюру поперечних сил. Величина критичного дотичного напруження у стінці з урахуванням її защемлення біля стінок поясів

$$\tau_{К} = 1250 + 950 \cdot \left(\frac{0,75 \cdot H2}{0,5 \cdot S3} \right)^2 \cdot \frac{B1}{(0,75 \cdot H2)^2} \cdot 10^9, \quad (3.18)$$

де S3 – крок установлення діафрагм, м.

Крок S3 установлення діафрагм визначається гнучкістю стінки за такими умовами:

$$\text{при } (H2/B1) > 100 \quad \text{приймаємо } S3 = 2 \cdot H2;$$

$$(H2/B1) < 100 \quad \text{приймаємо } S3 = (2,5 \dots 3,0) \cdot H2.$$

Запас стійкості стінок повинен відповідати умові

$$\frac{TK}{T} > 1,3.$$

Стійкість стінок на середній ділянці балки перевіряємо за коефіцієнтом запасу стійкості

$$\frac{SK}{T} > 1,3, \quad (3.19)$$

де SK – критична величина дотичних напружень при вигині балки, Па.

Критична величина дотичних напружень при вигині балки

$$SK = 6300 \cdot \left(\frac{B1}{H2} \right)^2 \cdot 10^9. \quad (3.20)$$

3.1.4 Перевірка напружень у верхньому поясі від місцевого вигину

У верхньому поясі балки, крім напружень від основних навантажень під впливом тиску коліс візка, виникають додаткові нормальні напруження від його місцевого вигину. Верхній поясний лист під дією навантаження деформується разом з рейкою. Для того, щоб поясний лист не служив опорою для рейки, улаштовуються додаткові опори у вигляді ребер жорсткості (рисунок 3.4).

Висота ребер жорсткості, м,

$$h1 = \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{4} \right) \cdot H.$$

Відстань між ребрами $L3$ вибираємо за умовою, м,

$$L3 < \frac{4 \cdot W4 \cdot R2 \cdot K1}{PA}, \quad (3.21)$$

де $W4$ – момент опору перерізу рейки (приймається за додатком Г).

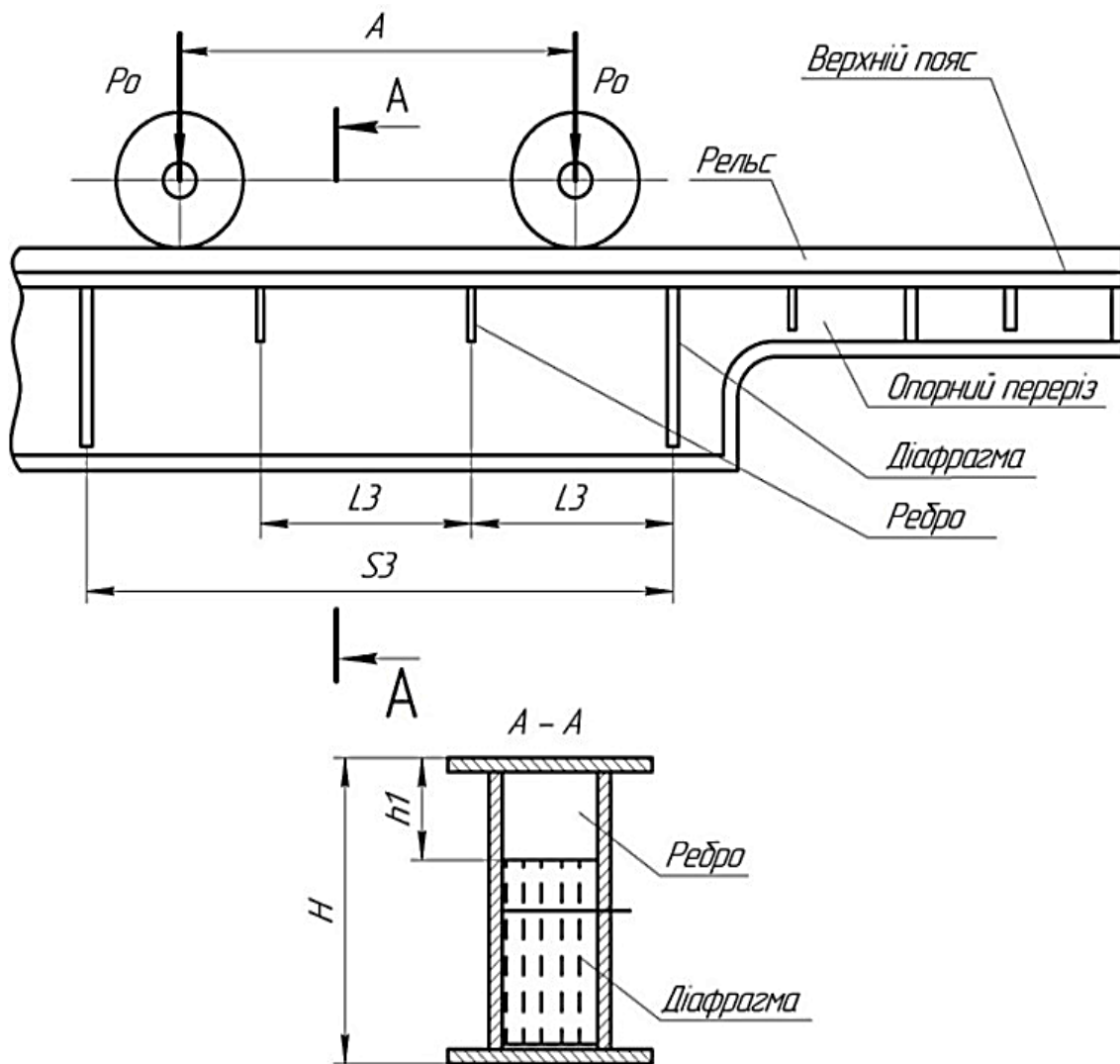


Рисунок 3.4 – Схема до розрахунку стійкості стінок головної балки

Перевірку міцності конструкції для випадку перебування коліс візка між діафрагмою і ребром проводять за формулою

$$S = \frac{M}{W_4} < 0,9 \cdot R_2, \quad (3.22)$$

де S – напруження в перерізі, Па;

M – максимальний згинальний момент, Н·м.

Величина максимального згинального моменту

$$M = \frac{PA \cdot L_3}{4}. \quad (3.23)$$

3.1.5 Перевірка діафрагм на напруження зминання

Перевірку напруження зминання на торці діафрагм проводять за формулою

$$S = \frac{P}{B_6 \cdot B_4} < K_1 \cdot R_4, \quad (3.24)$$

де S – напруження в перетині, Па;

B_6 – ширина площадки діафрагми, що сприймає тиск від дії коліс візка;

B_4 – товщина діафрагми, приймаємо $B_4=B_2$;

R_4 – розрахунковий опір матеріалу зминанню.

Ширина площадки діафрагми

$$B_6 = B_3 + 2 \cdot B_4, \quad (3.25)$$

де B_3 – ширина підшви рейки (приймаємо за додатком В).

3.2 Розрахунок головної балки за другою комбінацією навантажень

При цій комбінації враховуються такі види навантажень:

- 1) від маси вантажу Q ;
- 2) механізму пересування Q_1 ;
- 3) головної балки Q_2 ;
- 4) візка крана Q_3 ;
- 5) площадки з настилом для обслуговування Q_4 ;
- 6) сили інерції при гальмуванні крана.

3.2.1 Вантажний візок перебуває в середині прогону

Розрахункова схема повинна враховувати вплив згинальних навантажень, що діють на головну балку у вертикальній і горизонтальній площинах, а також вплив навантажень, що скручують конструкцію.

3.2.1.1 Згинальні навантаження у вертикальній площині

Розглядаємо зусилля, що діють на головну балку у вертикальній площині. До них належать:

- навантаження на ходові візки

$$P_1 = \frac{K_6 \cdot (K_7 \cdot Q \cdot G + K_8 \cdot Q_3 \cdot G)}{4}; \quad (3.26)$$

- навантаження від маси механізму пересування

$$N_1 = K_7 \cdot Q_1 \cdot G; \quad (3.27)$$

- розподілене навантаження від маси головної балки

$$Q_7 = \frac{K_6 \cdot Q_2 \cdot G}{L}; \quad (3.28)$$

- розподілене навантаження від маси площадки для обслуговування

$$Q_8 = \frac{K_6 \cdot Q_4 \cdot G}{L}, \quad (3.29)$$

де K_6 – коефіцієнт поштовхів, приймаємо $K_6=1,1$;

K_7, K_8 – коефіцієнти перевантажень, приймаємо $K_7=1,1$; $K_8=1,2$.

3.2.1.2 Згинальні навантаження в горизонтальній площині

У горизонтальній площині на головну балку діють:

- сили рухомих навантажень (вантажу і візка)

$$P_U = K_9 \cdot (Q + Q_3) \cdot A_1; \quad (3.30)$$

- сили інерції від маси механізму пересування

$$N_2 = K_9 \cdot A_1 \cdot Q_1; \quad (3.31)$$

- розподілене навантаження від маси головної балки

$$Q_9 = \frac{Q_7 \cdot A_1}{G}; \quad (3.32)$$

- розподілене навантаження від маси площадки для обслуговування

$$Q_Q = \frac{Q_8 \cdot A_1}{G}, \quad (3.33)$$

де K_9 – коефіцієнт підсилення навантажень, приймаємо $K_9=1,5$;

A_1 – уповільнення крана при гальмуванні, для кранів, що працюють в умовах легкого і середнього режимів, $A_1=(0,3\dots0,6) \text{ м/с}^2$.

Горизонтальні сили інерції від маси головної балки викликають загальний вигин головної балки в горизонтальній площині, а інші – вигин і скручування відносно центра тяжіння перерізу.

3.2.1.3 Навантаження від скручування

Для визначення розрахункової величини скручувального моменту відповідно до розрахункової схеми (рисунок 3.5) розглянемо умови рівноваги балки і її деформацій

$$M_{кр} = 0; \quad \varphi_A = \varphi_B, \quad (3.34)$$

де $M_{кр}$ – момент сил, що скручують балку;

φ_A, φ_B – кути деформації балки від скручувальних навантажень.

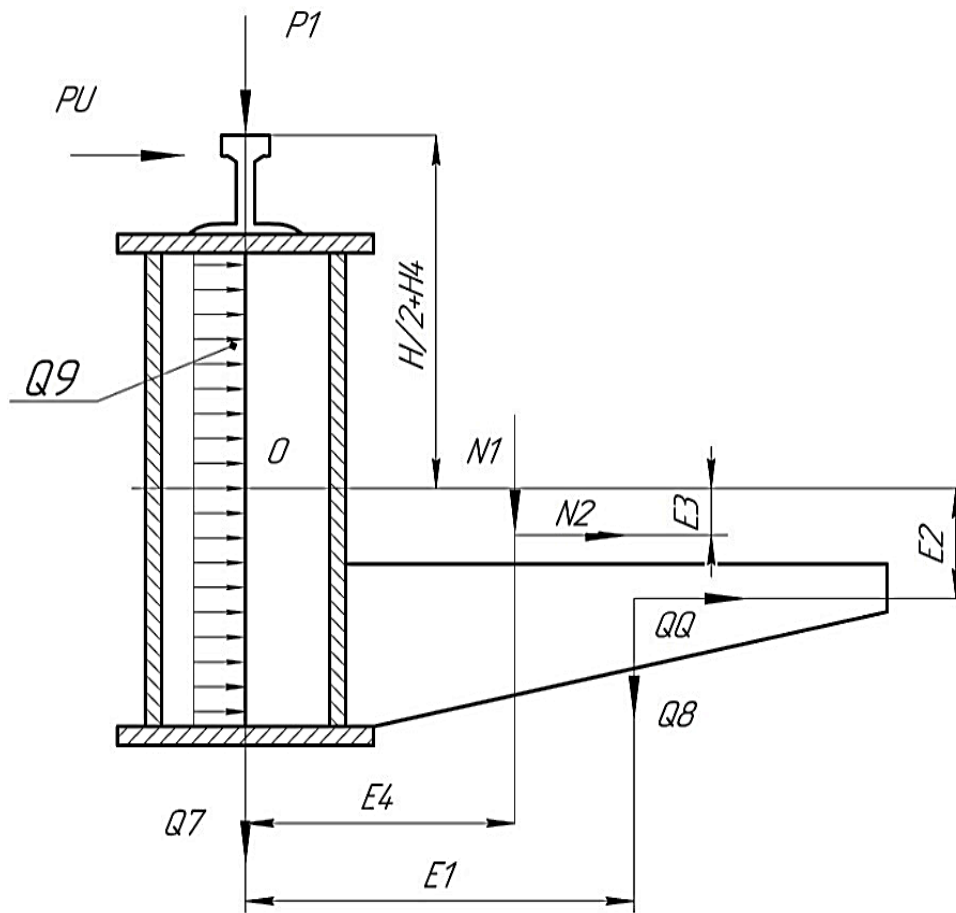


Рисунок 3.5 – Схема розрахунку головної балки від дії сил у горизонтальній площині і від скручувальних навантажень

Для опорних перерізів прогонової балки розрахунковий скручувальний момент

$$M_{\text{кр}} = \frac{Q_i \cdot L \cdot E_i}{2} + \left(1 - \frac{Z_i}{L}\right) \cdot P_i \cdot E_i, \quad (3.35)$$

де Q_i, P_i – розподілені і зосереджені навантаження, що скручують балку;

E_i – ексцентриситети відповідних навантажень щодо точки O ;

Z_i – відстань від розглянутого опорного перерізу до i -го скручувального зосередженого навантаження.

Звідси для опорних перерізів A і B розрахунковий скручувальний момент

$$M_{A_{кр}} = \frac{M5}{2} + \frac{M7 \cdot X}{L} + \frac{M6 \cdot (L - C1 - A/2)}{L};$$

$$M_{B_{кр}} = \frac{M5}{2} - \frac{M7 \cdot (L - X)}{L} - \frac{M6 \cdot (C1 + A/2)}{L}; \quad (3.36)$$

$$M4 = MB; \quad M1 = MA; \quad M2 = MA - M7; \quad M3 = MA - M7 - M5 - M6,$$

де M5 – скручувальний момент від дії маси площадки для обслуговування;

M7 – скручувальний момент від дії сили PU;

M6 – скручувальний момент від дії маси механізму пересування.

Скручувальний момент від дії маси площадки для обслуговування

$$M5 = Q8 \cdot E1 \cdot L/2 - QQ \cdot E2 \cdot L/2, \quad (3.37)$$

де E1, E2 – ексцентриситети дії навантажень Q8 і QQ щодо осі O.

Скручувальний момент від дії сили PU

$$M6 = (H/2 + H4) \cdot PU/2, \quad (3.38)$$

де H4 – висота рейки (рисунок 3.5).

Скручувальний момент від дії маси механізму пересування

$$M7 = N1 \cdot E4 - N2 \cdot E3. \quad (3.39)$$

Схеми дії й епюри згинальних і скручувальних навантажень, що прикладені до головної балки, наведені на рисунках 3.6-3.8.

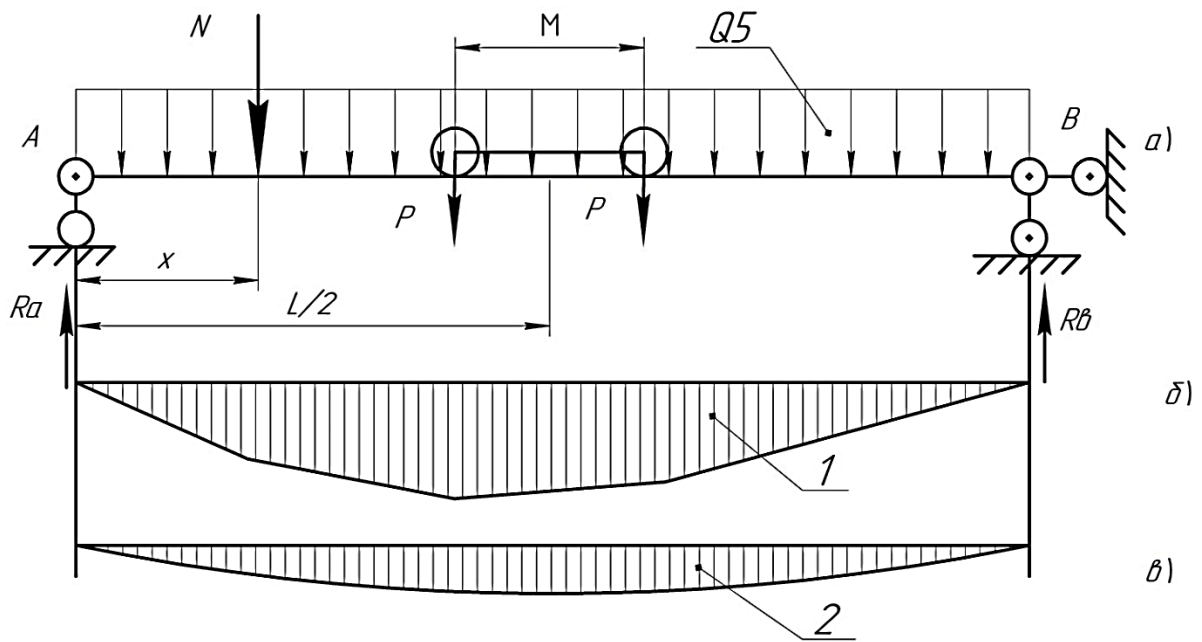


Рисунок 3.6 – Схема дії навантажень, прикладених до головної балки у вертикальній площині (а), епюри згинальних моментів від зосереджених (б) і розосереджених (в) сил

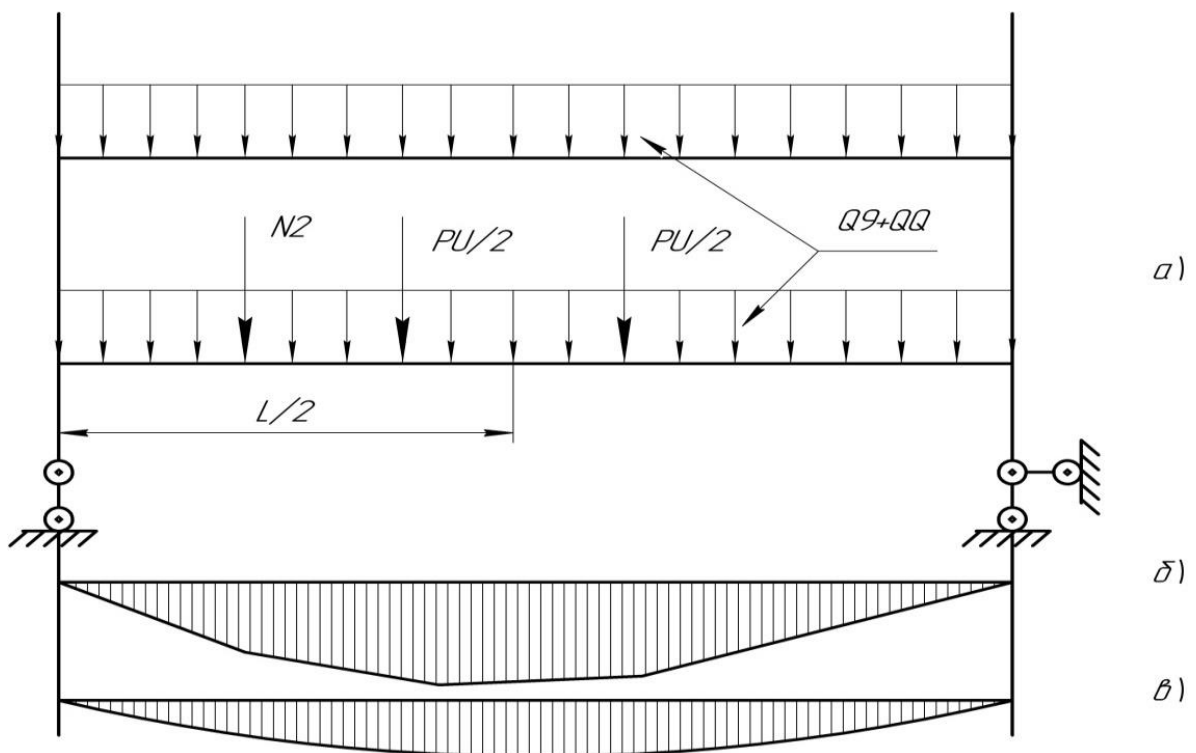


Рисунок 3.7 – Схема дії навантажень, прикладених до головної балки в горизонтальній площині (а), епюри згинальних моментів від зосереджених (б) і розосереджених (в) сил

Перевірку міцності головної балки від загального вигину при перебуванні візка в середині прогону проводимо за формулою

$$S = \frac{M_B}{W} - \frac{M_T}{W_1} \leq K_1 \cdot R_2 , \quad (3.40)$$

де S – напруження у перерізі балки;

M_B і M_T – згинальні моменти відповідно у вертикальній і в горизонтальній площинах у найбільш навантаженому перерізі головної балки.

Напружений стан у розрахункових перерізах від дії скручувальних навантажень

$$T_K = \frac{M_k}{W_2} , \quad (3.41)$$

де M_k , W_2 – відповідно скручувальний момент і момент опору перерізу, що розраховується.

Момент опору скручуванню перерізу балки в середині прогону, m^3 ,

$$W_2 = 0,267 \cdot [H \cdot (B + B_1)^2 - H_2 \cdot (B - B_1)^2] . \quad (3.42)$$

Те ж для опорного перерізу, m^3 ,

$$W_3 = 0,5 \cdot W_2 . \quad (3.43)$$

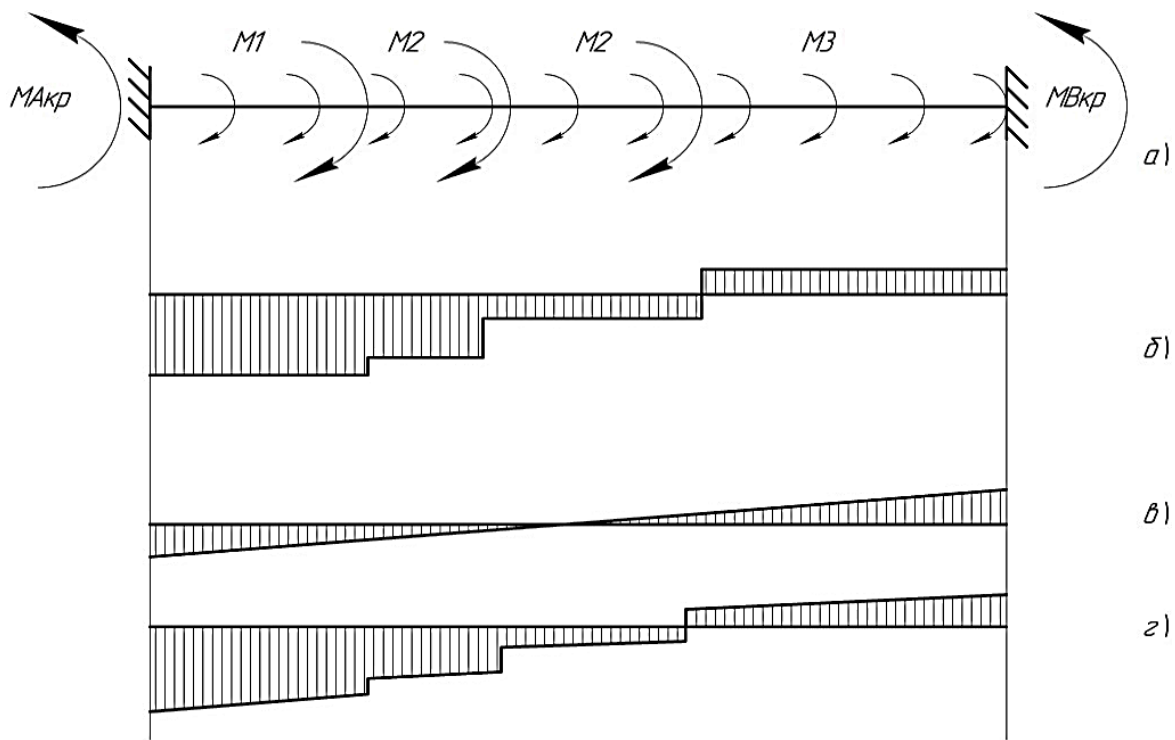


Рисунок 3.8 – Схема дії скручувальних навантажень (а), епюри від дії зосереджених (б), розосереджених (в) і сумарних (г) скручувальних моментів

3.2.1.4 Спільна дія згинальних і скручувальних навантажень

Перевірка міцності головної балки при одночасній дії скручування і вигину проводиться за формулою

$$(\sqrt{S^2 + 3 \cdot T_k^2}) \leq K1 \cdot R2 . \quad (3.44)$$

3.2.2 Вантажний візок перебуває на краю прогону

У цьому розрахунковому положенні найбільш небезпечними для міцності головної балки є дотичні напруження, викликані дією поперечних сил у вертикальній площині, а також скручувального моменту. Розрахункові схеми для цього випадку наведені на рисунку 3.9.

Дотичні напруження, що діють у найбільш навантаженому перерізі головної балки, визначаються як

$$T = (T1 + T2 + T3) \leq K1 \cdot R3, \quad (3.45)$$

де $T1$ – дотичні напруження від дії поперечних сил;

$T2$ – дотичні напруження, що виникають у вертикальній площині;

$T3$ – напруження від скручувальних навантажень.

Перераховані вище дотичні напруження визначають за формулами:

$$T1 = \frac{QV \cdot S1}{J6 \cdot B1}, \quad (3.46)$$

$$T2 = \frac{QG \cdot S2}{J7 \cdot B2}, \quad (3.47)$$

$$T3 = \frac{M_{кр}}{W3}, \quad (3.48)$$

де QV , QG – сумарні поперечні сили у вертикальній і горизонтальній площинах головної балки;

$M_{кр}$ – момент від дії навантажень, що скручують головну балку відносно осі 0 (рисунок 3.9).

Максимальні значення поперечних сил

$$QV = N1 \cdot (1 - \frac{X}{L}) + (Q7 + Q8) \cdot \frac{L}{2} + P1 \cdot (2 \cdot L - 2 \cdot C1 - A) \cdot \frac{1}{L}, \quad (3.49)$$

$$QG = N2 \cdot (1 - \frac{X}{L}) + (Q9 + QQ) \cdot \frac{L}{2} + PU \cdot (2 \cdot L - 2 \cdot C1 - A) \cdot \frac{1}{2} \cdot L. \quad (3.50)$$

Максимальний скручувальний момент розраховуємо за формулою

$$M_{кр} = [M5 \frac{1}{2} + M7 \cdot (1 - \frac{X}{L}) + M6 \cdot (L - C1 - \frac{A}{2})] \cdot \frac{1}{L}. \quad (3.51)$$

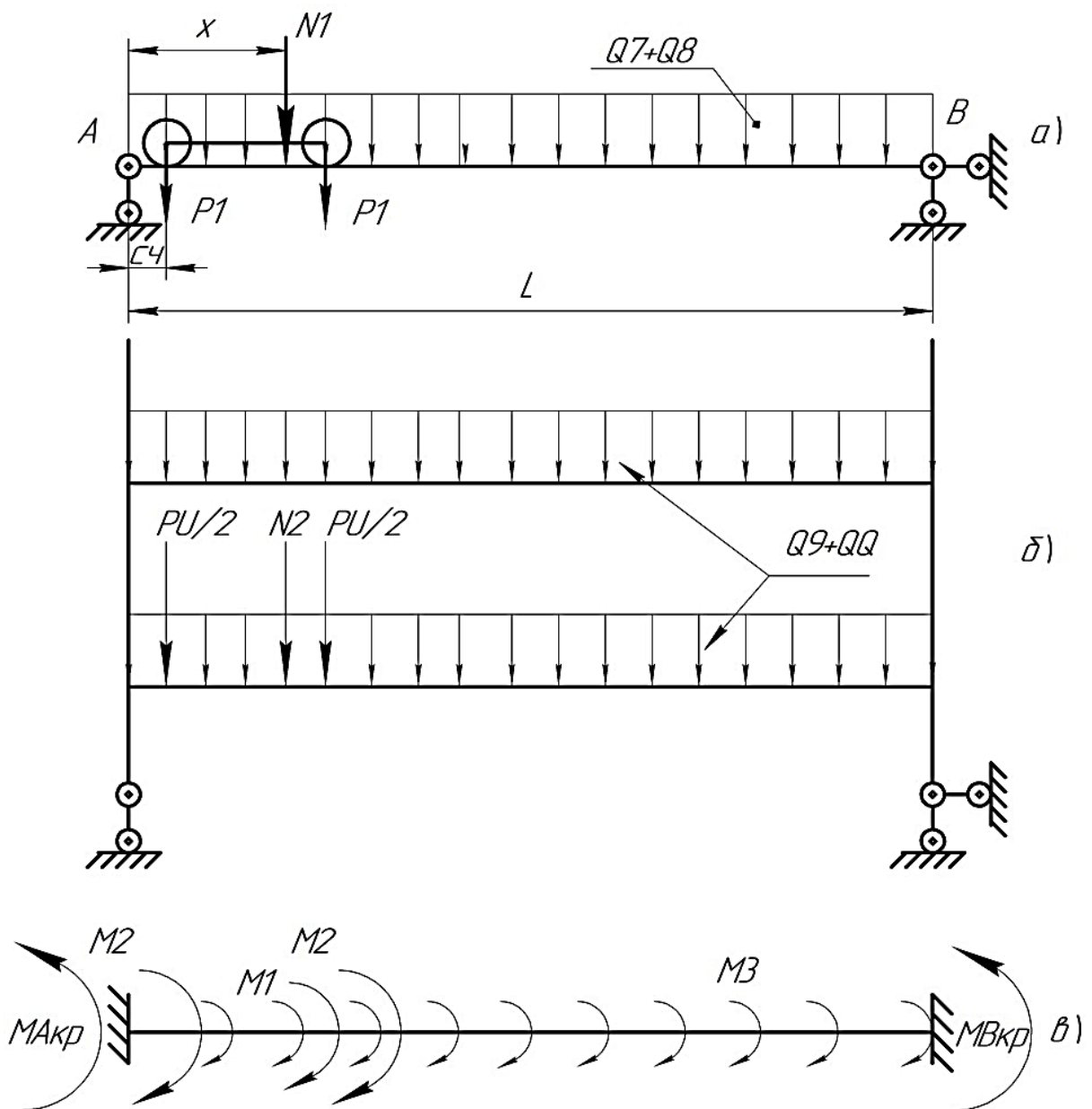


Рисунок 3.9 – Схема до розрахунку головної балки від дії згинальних навантажень у вертикальній (а) і горизонтальній (б) площинах, а також від скручувальних (в) моментів. Схема (б) подана в спрощеному вигляді

4 РОЗРАХУНОК ЗВАРНИХ ШВІВ

Розрахунок проводиться на прикладі швів верхнього поясу і стиків вертикальних стінок балки.

4.1 Розрахунок стикових швів верхнього поясу

Найбільш навантажена ділянка шва розташована біля опори балки. Зусилля зрізу, що припадає на одиницю довжини шва:

$$P_2 = \frac{Q_6 \cdot S_4}{J_6}, \quad (4.1)$$

де S_4 – статичний момент інерції верхнього поясу щодо горизонтальної осі X-X.

Статичний момент інерції верхнього поясу

$$S_4 = (B + B_1 + 2 \cdot B_7) \cdot B_2 \cdot (H_2/4 + B_2/2). \quad (4.2)$$

Висота B_5 катета зварних швів повинна бути не меншою 4 мм і не перевищувати найбільшу товщину зварювальних елементів більш ніж на 20 %.

Необхідна мінімальна довжина зварних швів у розрахунку на 1 м довжини балки, м,

$$L_2 = \frac{P_2}{0.7 \cdot B_5 \cdot R_5}, \quad (4.3)$$

де B_5 – висота катета зварного шва, м;

R_5 – розрахунковий опір руйнуванню матеріалу зварного шва, Па, приймаємо $R_5 = 200 \cdot 10^6$ Па.

Приварення верхнього поясу до стінок виконуємо переривчастими швами довжиною не менш ніж L_2 і з кроком 100...150 мм.

4.2 Розрахунок стикових швів вертикальних листів

Перевіряємо стики вертикальних листів балки (стінок). Вважаємо, що стики розташовані на відстані L_4 від краю балки, а пояси (горизонтальні листи) з'єднуються поза цими стінками. Розрахунок проводиться на напруження від вигину при найбільш не вигідному положенні колеса візка над стиком при першій комбінації навантажень. Для цього використовуємо схему, зображену на рисунку 3.3, за винятком того, що розмір C_1 замінимо на L_4 .

Тоді реакція від рухомих навантажень

$$R = \frac{P \cdot (L - L_4)}{L} + P \cdot \frac{L - (L_4 + A)}{L}. \quad (4.4)$$

Згинальний момент від цього навантаження у шві, що розраховується,

$$M_1 = R \cdot L_4. \quad (4.5)$$

Те ж від рівномірно розподіленого навантаження

$$M_2 = \frac{Q_5 \cdot L \cdot L_4}{2} - \frac{Q_5 \cdot L_4^2}{2}. \quad (4.6)$$

Звідси напруження в розглянутому зварному шві

$$S = \frac{M_1 + M_2}{W} \leq (K_1 \cdot R_2 \cdot K_5), \quad (4.7)$$

де K_5 – коефіцієнт, що характеризує опір зварних з'єднань розтягання і вигину, $K_5 = 0,85$.

5 ПЕРЕВІРКА ЖОРСТКОСТІ ГОЛОВНОЇ БАЛКИ

5.1 Визначення величини прогину

Унаслідок прогину головної балки може відбуватися інтенсивний знос реборд коліс крана, а також підскік (при миттєвому розвантаженні крана) чи мимовільне скочування до середини прогону візка. Для запобігання цим явищам значення допустимого прогину F_4 обмежується величиною $\frac{1}{700}$ від прогону L .

Прогин F_4 визначається з урахуванням статично діючого рухомого навантаження відповідно до схеми на рисунку 5.1

$$F_4 = \frac{2 \cdot P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J} \quad (5.1)$$

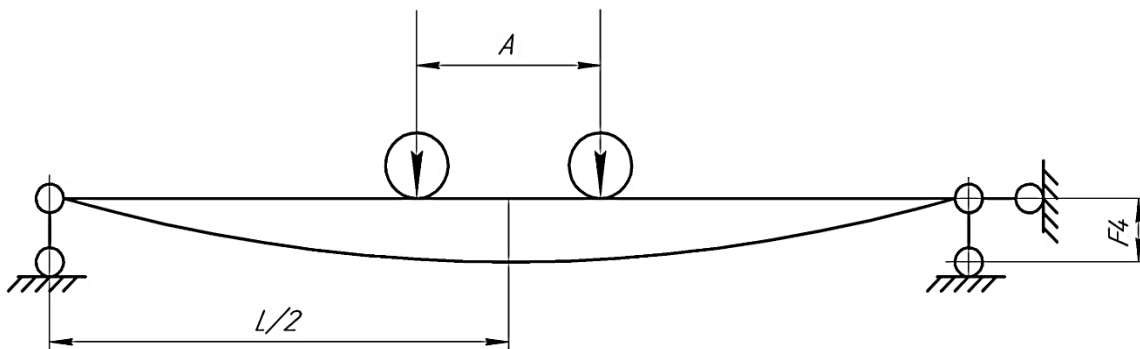


Рисунок 5.1 – Схема до визначення величини прогину головної балки

5.2 Визначення часу згасання коливань головної балки

Важливою характеристикою конструкції крана є час згасання його коливань без навантаження. Цей параметр впливає на продуктивність крана, точність установлення вантажу, термін служби конструкції з урахуванням явищ втоми її матеріалу, самопочуття кранівника унаслідок впливу вібрацій.

Час згасання коливань, s ,

$$T1 \leq \ln\left(\frac{2 \cdot F4}{P3 \cdot D1}\right) \leq 15c, \quad (5.2)$$

де $P3$ – частота власних коливань моста, Гц;

$D1$ – логарифмічний декремент згасань, при $H \geq (L/20)$ приймаємо $D1=0,7$, при $H < (L/20)$ $D=0,5$.

Частота власних коливань моста

$$P3 = \frac{\left(\frac{K_0}{M_{\text{пр}}}\right)^{0.5}}{2 \cdot 3.14}, \quad (5.3)$$

$$P3 = \frac{1}{2 \cdot 3.14} \cdot \sqrt{\frac{K_0}{M_{\text{пр}}}},$$

де K_0 – жорсткість балки, Н/м;

$M_{\text{пр}}$ – приведена еквівалентна маса балки, $\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}$.

Жорсткість балки

$$K_0 = \frac{48 \cdot E \cdot J}{L^3}. \quad (5.4)$$

Приведена маса балки орієнтовно визначається як

$$M_{\text{пр}} = 0.5 \cdot \frac{Q2 + Q4 + Q3}{2 \cdot G}. \quad (5.5)$$

Для компенсації прогину балки в її конструкції передбачають будівельний підйом. Наприклад, при $(17 \text{ м} < L < 31,5 \text{ м})$ будівельний прогин повинен дорівнювати величині $\frac{1}{1000}$ від L .

Це забезпечує балці при навантаженому крані такий же вигин нагору, який прогин униз вона має при максимальному вантажі.

6 РОЗРАХУНОК КІНЦЕВИХ БАЛОК

Розрахунок кінцевих балок проводиться за першою комбінацією навантажень при максимальному вантажі і при положенні вантажного візка на відстані $C1$ від кінцевої балки (рисунок 3.3). Величину $C1$ для всіх варіантів можна прийняти рівною 1,5 м.

Схема розрахунку кінцевої балки наведена на рисунку 6.1.

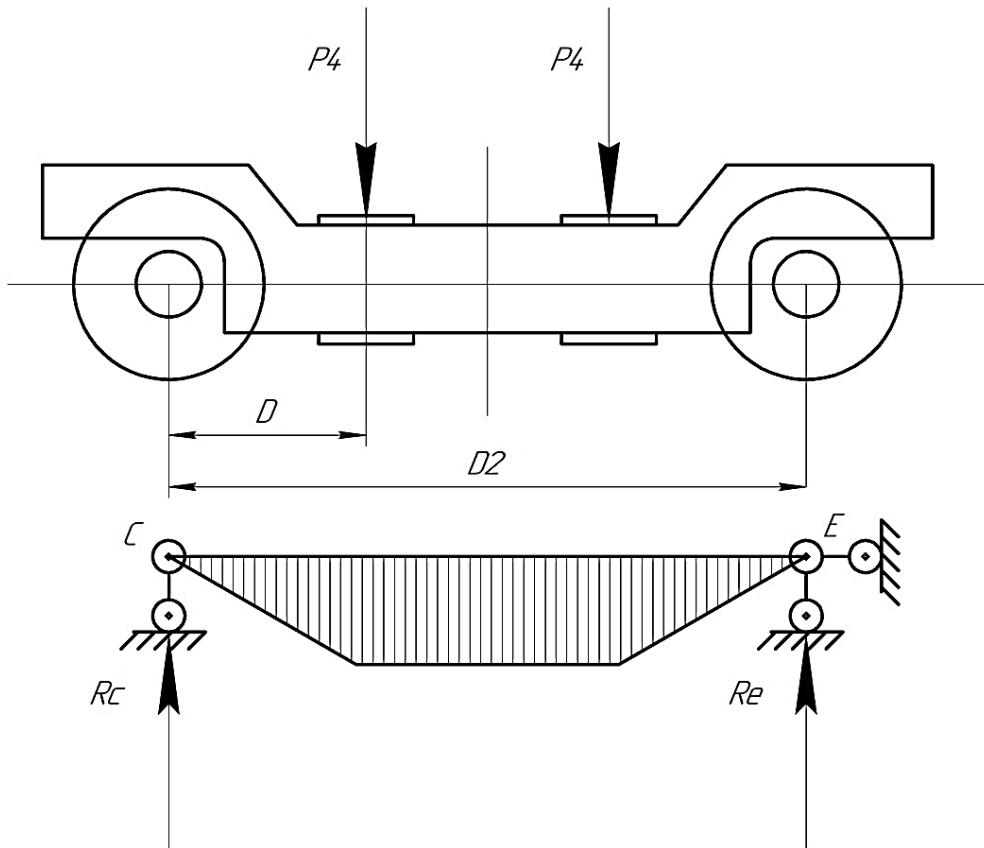


Рисунок 6.1 – Схема до розрахунку кінцевих балок

Максимальне навантаження на кінцеву балку

$$P4 = \frac{K \cdot Q \cdot FD \cdot (L - C1)}{2 \cdot L} + Q1 \cdot \frac{L - X}{L} + Q3 \cdot (2 \cdot L - 2 \cdot C1 - A) + Q5 \cdot \frac{L}{4} \quad (6.1)$$

Прийнявши переріз кінцевих балок аналогічно опорному (рисунок 3.3), величина напружень у перерізі, Па ,

$$H = \frac{P_4 \cdot D \cdot H/4}{J_6} \leq (K_1 \cdot R_2). \quad (6.2)$$

Після завершення розрахункової частини проекту, переконавшись у міцності конструкції, необхідно провести оцінку ступеня її завантаження і відсутності в ній надлишкового запасу міцності.

Головну балку можна вважати раціонально завантаженою за умови, що максимальне напруження в її перерізі становить не менше 80 % від максимальної допустимої величини.

7 ПОРЯДОК КОРИСТУВАННЯ ПРОГРАМОЮ «MOST»

Програма «**MOST**» складена мовою **BASIC** і призначена для виконання розрахункової частини курсового проекту на ПЕОМ. Програма дає змогу прискорити пошук найбільш ефективних проектних рішень металоконструкції (МК). Вона передбачає попереднє задавання основних параметрів МК, а потім послідовне виконання фрагментів розрахунку несучої здатності МК, після виконання кожного з яких на екрані з'являється коментар. Програма також містить рекомендації на випадок, якщо обрані параметри не забезпечують несучої спроможності МК.

1 Уважно вивчіть методичні вказівки до виконання курсового проекту.

2 Завантажте програму «**MOST**» у ПЕОМ.

3 Уведіть вихідні дані для розрахунку, викликавши попередньо рядки програми NN 110-240. Параметри H, B, B1, B2, B7 задаються відповідно до формул (2.1)-(2.2), значення інших – вибираються відповідно до індивідуального завдання і рекомендацій у тексті методичних указівок.

4 Після введення вихідних даних командою **RUN (F2)** проведіть запуск програми. На екрані дисплея відповідно до того чи іншого фрагмента програми з'являються повідомлення про виконанні розрахунки, а також рекомендації з коректування основних параметрів конструкції.

Наприклад, після виконання визначених розрахунків на екрані з'являється повідомлення, що міститься в рядку N 920

програми, а також значення тих параметрів, при яких отримані розраховані напруги.

Якщо ви думаєте, що існуючі напруження варто збільшити, то необхідно задати нові значення зазначених параметрів, наприклад, $H=1.2$, $V=0.4$, потім командами «Уведення» і **GOTO 890** повторити розрахунок. Якщо ж ви не бажаєте вносити зміни, то необхідно продовжити розрахунок, перейшовши до наступного фрагменту програми командою **CONT(F5)**.

На екрані дисплея також з'явиться повідомлення, якщо міцність або жорсткість конструкції при заданих параметрах виявилася недостатньою. У цьому випадку необхідно збільшити значення обумовлених параметрів і продовжити розрахунок командою **F5**.

5 Послідовно виконавши всі розрахунки і пересвідчившись у задовільній несучій спроможності конструкції, необхідно домогтися того, щоб максимальні напруження в конструкції при тому чи іншому виді деформації становили б не менше 80 % від величини максимально допустимих напружень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Григоров О. В., Петренко Н. О. Вантажопідйомні машини : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2005. 304 с.

1 Лаврик В. П., Сагіров Ю. Г., Четверня В. П. Проектування вантажопідйомних машин : навч. посіб. Маріуполь : ГВУЗ «ПГТУ», 2015. 140 с.

2 Стоцько З. А. Моделювання технологічних систем : навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2013. 188 с.

3 Рудь В. С. Основи конструювання машин : підруч. Для студ. інж.-техн. спец. вищ. навч. закл. : у 2 кн. Вид. 2-ге, переробл. і доповн. Кривий Ріг : Мінерал, 2004. 288 с.

4 Слепужніков С. Д., Фідровська Н. М., Варченко І. С. Механізми пересування мостових кранів : монографія. Харків : НУЦЗУ, 2019. 124 с.

ДОДАТОК А

Список ідентифікаторів програми «MOST»

Таблиця А.1

Позначення	Найменування і розмірність параметра
1	2
A	База вантажного візка, м
A1	Уповільнення крана при гальмуванні, м/с ²
AA	Максимальне прискорення в механізмі піднімання, м/с ²
B	Ширина перерізу головної балки, м
B1	Товщина стінок головної балки, м
B2	Товщина полиць головної балки, м
B3	Ширина підшви рейки, м
B4	Товщина діафрагми, м
B5	Висота катета звареного шва, м
B6	Ширина площадки діафрагми, що сприймає тиск від дії колеса візка, м
B7	Ширина полиці, що виступає за контур стінок головної балки, м
C	Коефіцієнт жорсткості моста крана
C1	Відстань між точкою опори балки і крайнім положенням колеса візка, м
D	Відстань від осі ходового колеса моста до точки опори головної балки на кінцеву, м
D1	Логарифмічний декремент згасань
e _i	Ексцентриситети дії сил, що скручують головну балку, м
E	Модуль пружності матеріалу моста, Па
E1	Модуль пружності матеріалу канатів, Па
FA, FB	Кути деформації балки від скручувальних навантажень, рад
F	Площа перерізу головної балки, м ²
F2	Площа перерізу полиць головної балки, м ²
F3	Площа перерізу дротів каната, м ²
F4	Стріла прогину головної балки, м
FD	Динамічний коефіцієнт
G	Прискорення вільного падіння, м/с ²
H	Висота перерізу головної балки в середині прогону, м
H1	Висота в одному перерізі, м
H2	Висота стінок перерізу головної балки, м
H3	Висота піднімання вантажу, м
H4	Висота рейки, м
H5	Розмір опорної частини головної балки, м
I	Кількість канатів, що утримують вантаж

Продовження таблиці А.1

1	2
J	Момент інерції всього перерізу головної балки щодо осі X-X, м ⁴
J1	====//==== стінок головної балки =====//===== , м ⁴
J2	====//==== полиць ====//==== , м ⁴
J3	Момент інерції стінок головної балки щодо осі Y-Y, м ⁴
J4	====//==== полиць ====//==== , м ⁴
J5	====//==== усього перерізу головної ====//==== , м ⁴
J6	Момент інерції опорного перетину щодо осі X-X , м ⁴
J7	====//==== полиць ====//==== , м ⁴
K	Коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження на колеса візка
K0	====//==== твердості головної балки, Н/м
K1	Коефіцієнт умов роботи
K2	====//==== урахування відповідальності елемента
K3	====//==== неточності виготовлення
K4	====//==== недосконалості розрахунку
K5	====//====, що характеризує опір зварених з'єднань розтягання і вигину
K6	====//==== поштовхів
K7, K8, K9	Коефіцієнти перевантажень
L	Довжина прогону головної балки, м
L1	Статичне подовження канатів, м
L2	Довжина звареного шва, м
L3	Відстань між ребрами жорсткості, м
L4	Відстань від вертикального листа до краю балки, м
Mi	Змінна для позначення моментів сил, що деформують балку
N	Навантаження від маси механізму пересування, розраховане за першою комбінацією навантажень, Н
N1	====//==== по 2-й комбінації навантажень, Н
N2	Сила інерції від маси площадки для обслуговування, Н
P	Навантаження на одне колесо візка, розраховане за першою комбінацією навантажень, при перебуванні візка в середині прогону, Н
Pa	====//==== на краю прогону, Н
P1	Навантаження на одне колесо візка, розраховане за другою комбінацією навантажень, Н
P2	Питоме зусилля на зварений шов, Н/м
P3	Частота власних коливань моста, Гц
P4	Навантаження на кінцеву балку, Н
PU	Сила інерції мас рухомих навантажень, Н

Продовження таблиці А.1

1	2
Q	Маса вантажу, кг
Q1	====//==== механізму пересування, кг
Q2	====//==== головної балки, кг
Q3	====//==== візка крана, кг
Q4	====//==== площадки для обслуговування, кг
Q5	Розподілене навантаження на головну балку за першою комбінацією навантажень, Н/м
Q6	Найбільша поперечна сила, Н
Q7	Розподілене навантаження на головну балку від власної маси, що діє у вертикальній площині, Н/м
Q8	====//==== від маси площадки для обслуговування, Н/м
Q9	====//==== від маси головної балки, що діє в горизонтальній площині, Н/м
QQ	====//==== від маси площадки для обслуговування, Н/м
Qi	Змінна для позначення розподілених навантажень
QV,Q G	Сумарні сили, що перерізують балку у вертикальній і горизонтальній площинах, Н
R	Змінна для позначення реакцій опор
R2	Розрахунковий опір матеріалу головної балки деформаціям вигину, Па
R3	====//==== зрушення, Па
R4	====//==== зминання, Па
R5	Розрахунковий опір руйнуванню матеріалу звареного шва, Па
S	Змінна для позначення нормальних напружень
S1	Статичний момент половини опорного перерізу відносно осі X-X, м ³
S2	====//==== Y-Y, м ³
S3	Крок встановлення діафрагм, м
S4	Статичний момент інерції верхнього пояса відносно осі X-X, м ³
Ti	Змінна для позначення дотичних напружень
T1	Тривалість загасання коливань моста, с
V	Швидкість піднімання вантажу, м/с
W	Момент опору вигину площадки перерізу головної балки відносно осі X-X, м ³
W1	====//==== Y-Y, м ³
W2	Момент опору скручуванню перерізу балки в середині прогону, м ³
W3	====//==== в опорі, м ³
W4	Моменти опору вигину площадки перерізу рейки, м ³
X	Відстань між точкою опори і точкою прикладання сили, м
Y	Статичний прогин балки від маси вантажу, що піднімається, м

ДОДАТОК Б

Текст програми «MOST»

```
10 PRINT "      ІМ'Я ПРОГРАМИ - MOST"
70 PRINT "      УВЕДЕННЯ"
90 REM  УВЕДЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ - У РЯДКАХ 110 - 240
110 READ Q, L, A, V, H3, Q1, Q2, Q3, Q4, X
120 DATA 7.5, 5, 1, .15, 12, 1, 2, .8, .5, 4
140 READ H, B, B1, B2, B4, B7, C1
150 DATA .55, .25, .006, .006, .006, .02, 1.5
170 READ I, F3, E, E1, W4, B3, H4
180 DATA 2, .37E-04, 2E+11, 1E+11, 1.7812E-04, .12, .12
200 READ R2, R3, R4, R5, G, D1
210 DATA 2.7E+08, 1.56E+08, 3.7E+08, 2E+08, 9.81, .06
230 READ K, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, A1, B5, L4, D
240 DATA 1.3, .8, .92, .75, .85, 1.1, 1.1, 1.2, 1.5, .45, .007, 2, .4
255 STOP
690 PRINT " 3 СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ГОЛОВНОЇ БАЛКИ МОСТА "
710 PRINT "3.1. РОЗРАХУНОК ГОЛОВНОЇ БАЛКИ ЗА ПЕРШОЮ КОМБІНАЦІЄЮ
      НАВАНТАЖЕНЬ "
740 PRINT "3.1.1. ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ ГОЛОВНОЇ БАЛКИ В СЕРЕДИНІ
      ПРОГОНУ"
760 Q5 = ((Q2 + Q4) * G * 10 ^ 3) / L: Y = ((Q * G * 10 ^ 3) * L ^ 3) / 2 / 48 / E / J: C = (Q *
      G * 10 ^ 3) / Y
770 L1 = (Q * G * 10 ^ 3) * H3 / I / F3 / E1: FD = 0
780 AA = SQR((Q1 + Q2 + Q3 + Q4) * G * 10 ^ 3 / C) / (Y + L1): FD = 1 + 1.5 * AA * V: FT
      = 1 + V / SQR(G * (Y + L1))
790 PRINT "Q5="; Q5, "L1="; L1, "FD="; FD, "Y="; Y, "C="; C, "AA="; AA, "FT="; FT
800 IF FD >= FT THEN FD = FD ELSE FD = FT
810 P = ((K * Q * FD + Q3) * G * 10 ^ 3) / 4
830 GOSUB 4740
840 GOSUB 4120
860 S = MM / W: K1 = K2 * K3 * K4: IF S > (K1 * R2) THEN 940
870 PRINT "MM="; MM, "S="; S, "K="; K: PRINT
880 PRINT "НОРМАЛЬНІ НАПРУЖЕННЯ В СЕРЕДИНІ ПРОГОНУ ГОЛОВНОЇ
      БАЛКИ (п.3.1.1.) СТАНОВЛЯТЬ"; SINT(S * 100 / K1 / R2); "% ВІД
      МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМИХ, АБО S="; SINT(S / 10 ^ 6); "Мпа ПРИ
      РОЗРАХУНКОВОМУ ОПОРІ МАТЕРІАЛУ БАЛКИ - "; SINT(K1 * R2 / 10 ^ 6);
      "Мпа"
990 GOTO 840
1020 PRINT " 3.1.2. ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ ОПОРНОГО ПЕРЕРІЗУ ГОЛОВНОЇ
      БАЛКИ"
1040 FD = 1 + V / SQR(G * L1): PA = ((K * Q * FD + Q3) * G * 10 ^ 3) / 4
1050 H2 = H - 2 * B2: F1 = 2 * B1 * H2: F2 = 2 * B2 * (B + B1 + 2 * B7): F = F1 + F2
1060 S1 = F2 * (H2 / 4 + B2 / 2) + F1 * H2 / 16: S2 = (F1 / 2) * (B / 2) + F2 * (B / 2 + B1 / 2
      + B7) / 4
1070 Q6 = PA * (L - C1) / L + PA * (L - (A + C1)) / L + N * (L - X) / L + Q5 * L / 2
1080 PRINT "Q6="; Q6, "FD="; FD, "PA="; PA, "H2="; H2, "F1="; F1, "F2="; F2
1090 PRINT "F="; F, "S1="; S1, "S2="; S2
1100 GOSUB 4480
```

```

1110 T = Q6 * S1 / 2 / J6 / B1
1120 IF T > K1 * R3 THEN 1230
1130 IF (H2 / B1) > 100 THEN S3 = 2 * H2 ELSE S3 = 2.75 * H2
1140 TK = ((1250 + 950 * (1.5 * H2 / S3) ^ 2) * (B1 / .75 / H2) ^ 2) * 10 ^ 9
1150 PRINT "TK="; TK, "T="; T: PRINT
1160 IF TK / T < 1.3 GOTO 1290
1170 PRINT "ДОТИЧНІ НАПРУЖЕННЯ В ОПОРНОМУ ПЕРЕРІЗІ (п.3.1.2.)
      СТАНОВЛЯТЬ"; CINT(T * 100 / K1 / R3); "% ВІДНОСНО МАКСИМАЛЬНО
      ДОПУСТИМИХ АБО T="; CINT(T / 10 ^ 6); "Мпа ПРИ РОЗРАХУНКОВОМУ
      ОПОРІ РУЙНУВАННЮ МАТЕРІАЛУ БАЛКИ - "; CINT(K1 * R3/10 ^ 6); "Мпа"
1320 PRINT : GOTO 1050
1350 PRINT " 3.1.3. ПЕРЕВІРКА СТІЙКОСТІ СТІНОК ОПОРНОГО ПЕРЕРІЗУ БАЛКИ "
1370 SK = (6300 * (B1 / H2) ^ 2) * 10 ^ 9: IF (SK / S) < 1.3 THEN 1430
1380 PRINT "SK="; SK: PRINT
1390 PRINT "ЗАПАС СТІЙКОСТІ СТІНОК ОПОРНОГО ПЕРЕРІЗУ СТАНОВИТЬ - ";
      CINT(SK / S); " ПРИ МІНІМАЛЬНО ДОПУСТИМОМУ - 1.3"
1470 GOTO 1350
1490 PRINT " 3.1.4. ПЕРЕВІРКА НАПРУЖЕНЬ У ВЕРХНЬОМУ ПОЯСІ ВІД
      МІСЦЕВОГО ВИГИНУ "
1510 L3 = 4 * W4 * R2 * K1 / PA: IF S3 > L3 GOTO 1570
1530 PRINT "S3="; S3; "; L3="; L3
1550 PRINT ".....": STOP
1560 L3 = S3
1570 M = PA * L3 / 4: S = M / W4: IF (S / 10 ^ 6) > (K1 * R2 / 10 ^ 6) GOTO 1640
1580 PRINT "L3="; L3, "M="; M, "S="; S
1600 PRINT "НАПРУЖЕННЯ У ВЕРХНЬОМУ ПОЯСІ ВІД МІСЦЕВОГО ВИГИНУ
      (п.3.1.4.) СКЛАДАЮТЬ"; CINT(S * 100 / K1 / R2); "% ВІД МАКСИМАЛЬНО
      ДОПУСТИМИХ, АБО S="; CINT(S / 10 ^ 6); "Мпа ПРИ РОЗРАХУНКОВОМУ
      ОПОРІ МАТЕРІАЛУ ВЕРХНЬОГО ПОЯСА - "; CINT(K1 * R2/10 ^ 6); "Мпа"
1690 GOTO 1570
1720 PRINT " 3.1.5. ПЕРЕВІРКА ДІАФРАГМ НА НАПРУЖЕННЯ ЗМІНАННЯ "
1730 PRINT
1740 B6 = B3 + 2 * B4: S = PA / (B6 * B4): IF S > (K1 * R4) THEN 1810
1750 PRINT "B6="; B6, "S="; S: PRINT
1760 PRINT "НАПРУЖЕННЯ ЗМІНАННЯ НА ТОРЦІ ДІАФРАГМИ (п.3.1.5.)
      СТАНОВЛЯТЬ "; CINT(S * 100 / K1 / R4); "% ВІД МАКСИМАЛЬНО
      ДОПУСТИМИХ, АБО S="; CINT(S / 10 ^ 6); "Мпа ПРИ РОЗРАХУНКОВОМУ
      ОПОРІ МАТЕРІАЛУ ДІАФРАГМИ - "; CINT(K1 * R4/10 ^ 6); "Мпа"
1860 GOTO 1740
1870 PRINT " 3.2. РОЗРАХУНОК ГОЛОВНОЇ БАЛКИ ЗА ДРУГОЮ КОМБІНАЦІЄЮ
      НАВАНТАЖЕНЬ"
1880 PRINT
1890 P1 = K6 * (K7 * Q + K8 * Q3) * G * 1000 / 4
1900 N1 = K7 * Q1 * G * 1000: Q7 = K6 * Q2 * G * 1000 / L: PU = K9 * (Q + Q3) * A1 *
      1000
1910 N2 = K9 * Q1 * A1 * 1000: Q8 = K6 * Q4 * G * 1000 / L: Q9 = Q7 * A1 / G: QQ = Q8
      * A1 / G
1920 PRINT "P1="; P1, "PU="; PU, "N1="; N1, "N2="; N2, "Q7="; Q7, "Q8="; Q8
1930 PRINT "Q9="; Q9, "QQ="; QQ
1940 PRINT
2070 GOSUB 4120: GOSUB 4180: GOSUB 4310: GOSUB 4430

```

```

2080 PRINT
2090 IF S > K1 * R2 GOTO 2160
2100 PRINT "НАЙБІЛЬШІ НАПРУЖЕННЯ В ГОЛОВНІЙ БАЛЦІ ВІД СПІЛЬНОЇ ДІЇ
      ЗГИНАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ (п.3.2.1.3.) СТАНОВЛЯТЬ "; SINT(S * 100 / K1
      / R2); "% ВІД МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМИХ, АБО S="; SINT(S / 10 ^ 6); "Мпа
      ПРИ РОЗРАХУНКОВОМУ ОПОРІ МАТЕРІАЛУ -"; SINT(K1 * R2/10 ^ 6); "Мпа"
3300 PRINT " 5 ПЕРЕВІРКА ЖОРСТКОСТІ ГОЛОВНОЇ БАЛКИ"
3310 PRINT
3320 PRINT " 5.1. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ПРОГИНУ"
3330 PRINT
3340 GOSUB 4120
3350 P = (K * Q * FD + Q3) * G * 10 ^ 3 / 4: F4 = (2 * P * L ^ 3) / 48 / E / J
3360 PRINT "P="; P, "F4="; F4
3370 IF F4 > (L / 700) GOTO 3420
3380 PRINT
3390 PRINT "ПРОГІН ГОЛОВНОЇ БАЛКИ (п.5.1.) СКЛАДАЄ "; SINT(F4 * 100 * 700 /
      L); "% ВІД МАКСИМАЛЬНО ПРИПУСТИМОГО, АБО F4="; F4; "М ПРИ
      ПРИПУСТОМОМУ-"; L / 700; "М"
3470 GOTO 3340
3480 PRINT
3490 PRINT "....."
3500 PRINT
3510 PRINT " 5.2. ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗГАСАННЯ КОЛИВАНЬ ГОЛОВНОЇ
      БАЛКИ"
3520 PRINT
3530 GOSUB 4120
3540 N = (Q + Q3) * 1000 / 4: F4 = (N * L ^ 3) / 2 / 10 / E / J
3550 M = (Q2 + Q3 + Q4) * 1000 / 4 / G: K0 = 48 * E * J / L ^ 3: P3 = SQR(K0 / M) / 2 / 3.14
3560 PRINT "N="; N, "M="; M, "F4="; F4, "P3="; P3, "K0="; K0
3570 IF H >= L / 20 THEN D1 = .07 ELSE D1 = .05
3580 T1 = ABS(LOG(F4 * 2) / P3 / D1): IF T1 > 15 GOTO 3650
3590 PRINT "T1="; T1
3600 PRINT
3610 PRINT "ЧАС ЗГАСАННЯ КОЛИВАНЬ ГОЛОВНОЇ БАЛКИ СТАНОВИТЬ T1=";
      SINT(T1); "с ПРИ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОМУ - 15 с"
3690 GOTO 3530
3700 PRINT
3710 PRINT " 6 РОЗРАХУНОК КІНЦЕВИХ БАЛОК"
3720 PRINT
3730 GOSUB 4120: GOSUB 4480
3740 P4 = ((K * Q * FD * (L - C1) / 2 / L) + Q1 * (L - X) / L + Q3 * (2 * L - 2 * C1 - A)) * 10
      ^ 3 * G + Q5 * L / 4
3750 S = P4 * D * H / 4 / J6: IF S > K1 * R2 GOTO 3840
3760 PRINT "P4="; P4, "S="; S: PRINT
3770 PRINT "НАПРУЖЕННЯ В ПЕРЕРІЗІ КІНЦЕВИХ БАЛОК (РОЗД.6) СТАНОВИТЬ
      "; SINT(S * 100 / K1 / R2); "% ВІД МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМИХ, АБО S=";
      SINT(S / 10 ^ 6); "Мпа ПРИ РОЗРАХУНКОВОМУ ОПОРІ МАТЕРІАЛУ -";
      SINT(K1 * R2/10 ^ 6); "Мпа"
3810 GOTO 3890
3820 PRINT "....."
3830 STOP: GOTO 3960

```



```

4120 H2 = H - 2 * B2: H1 = H / 2: F1 = 2 * B1 * H2: F2 = 2 * B2 * (B + B1 + 2 * B7): F = F1
      + F2
4130 J1 = (B1 * (H2) ^ 3) / 12: J2 = ((B + B1 + 2 * B7) * B2 ^ 3) / 12 + F2 * ((H - B2) ^ 2) / 8
4140 J = 2 * (J1 + J2)
4150 W = J * 2 / H: J3 = (B2 * (B + B1 + 2 * B7) ^ 3) / 12: J4 = (H2 * B1 ^ 3) / 12 + (F1 * (B
      / 2) ^ 2) / 2
4160 J5 = 2 * (J3 + J4): W1 = J5 / (B / 2 + B1 / 2 + B7)
4170 RETURN
4180 R1 = P1 + N1 * (L - X) / L + (Q7 + Q8) * L / 2: R = P1 + N1 * X / L + (Q7 + Q8) * L / 2
4190 IF (L - A) / 2 >= X GOTO 4210
4200 IF (L + A) / 2 >= X GOTO 4240
4210 M1 = R1 * X - (Q7 + Q8) * X ^ 2 / 2: M2 = R1 * (L - A) / 2 - (Q7 + Q8) * (((L - A) / 2)
      ^ 2 / 2) - N1 * ((L - A) / 2 - X)
4220 M3 = R1 * (L + A) / 2 - (Q7 + Q8) * (((L + A) / 2) ^ 2) / 2 - N1 * ((L + A) / 2 - X) - P1 * A
4230 GOTO 4260
4240 M1 = R1 * (L - A) / 2 - (Q7 + Q8) * ((L - A) / 2) ^ 2 / 2: M2 = R1 * X - (Q7 + Q8) * X ^
      2 / 2 - P1 * (X - (L - A) / 2)
4250 M3 = R * (L - A) / 2 - (Q7 + Q8) * (((L - A) / 2) ^ 2 / 2)
4260 PRINT "P1="; P1, "N1="; N1, "R="; R, "R1="; R1, "M1="; M1, "M2="; M2, "M3="; M3
4270 S5 = M1 / W: S6 = M2 / W: S7 = M3 / W: S8 = M4 / W
4280 PRINT "S5="; S5, "S6="; S6
4290 PRINT "S7="; S7, "S8="; S8: PRINT
4300 RETURN
4310 R1 = PU / 2 + N2 * (L - X) / L + (Q9 + QQ) * L / 2: R = PU / 2 + N2 * X / L + (Q9 +
      QQ) * L / 2
4320 IF (L - A) / 2 >= X GOTO 4340
4330 IF (L + A) / 2 >= X GOTO 4370
4340 M1 = R1 * X - (Q9 + QQ) * X ^ 2 / 2: M2 = R1 * (L - A) / 2 - (Q9 + QQ) * ((L - A) / 2)
      ^ 2 / 2 - N2 * ((L - A) / 2 - X)
4350 M3 = R1 * (L + A) / 2 - (Q9 + QQ) * (((L + A) / 2) ^ 2) / 2 - N2 * ((L + A) / 2 - X) - PU
      / 2 * A
4360 GOTO 4390
4370 M1 = R1 * (L - A) / 2 - (Q9 + QQ) * ((L - A) / 2) ^ 2 / 2: M2 = R1 * X - (Q9 + QQ) * X
      ^ 2 / 2 - PU / 2 * (X - (L - A) / 2)
4380 M3 = R * (L - A) / 2 - (Q9 + QQ) * (((L - A) / 2) ^ 2 / 2)
4390 PRINT "Pu="; PU, "N2="; N2, "R="; R, "R1="; R1, "M1="; M1, "M2="; M2, "M3="; M3
4400 RETURN
4410 PRINT "....."
4420 PRINT
4430 S5 = S5 + M1 / W1: S6 = S6 + M2 / W1: S7 = S7 + M3 / W1: S8 = S8 + M4 / W1
4440 S = 0: IF S5 > S6 THEN S = S5 ELSE S = S6: IF S7 > S THEN S = S7
4450 IF S8 > S THEN S = S8
4460 PRINT "S="; S, "S5="; S5, "S6="; S6, "S7="; S7, "S8="; S8
4470 RETURN
4480 J6 = 2 * ((B + B1 + 2 * B7) * (B2 ^ 3) / 12) + 2 * ((F2 / 2) * (H2 / 4 + B2 / 2) ^ 2) + 2 *
      (B1 * (H2 / 2) ^ 3) / 12
4490 J7 = 2 * ((H2 * B1 ^ 3 / 2) / 12 + (F1 * (B / 2) ^ 2) / 2) + 2 * B2 * (B + B1 + 2 * B7) ^ 3
      / 12
4500 PRINT "J6="; J6, "J7="; J7
4510 RETURN

```

```

4520 QV = N1 * (L - X) / L + P1 * (L - C1) / L + P1 * (L - C1 - A) / L + (Q7 + Q8) * L / 2: T1
      = QV * S1 / B1 / J6
4530 QG = N2 * (L - X) / L + PU * (L - C1) / 2 / L + PU * (L - C1 - A) / 2 / L + (Q9 + QQ) *
      L / 2: T2 = QG * S2 / B2 / J7
4540 PRINT "QV="; QV, "T1="; T1, "QG="; QG, "T2="; T2
4550 RETURN
4560 M5 = Q8 * L * .3 / 2 - QQ * L * .2 / 2: M6 = PU * (H4 + H / 2) / 2: M7 = N1 * .3 - N2 *
      .2
4570 MA = M5 / 2 + M7 * X / L + M6 * (L - C1 - A / 2) / L: MB = ABS(M5 / 2 - M7 * (L -
      X) / L - M6 * (C1 + A / 2) / L)
4580 M1 = MA: M2 = MA - M7
4590 M3 = MA - M7 - M5 - M6: H2 = H - 2 * B2: W2 = .267 * (H * ((B + B1) ^ 2) - H2 * (B
      - B1) ^ 2)
4600 M4 = MB: T4 = ABS(M1 / W2): T5 = ABS(M2 / W2): T6 = ABS(M3 / W2): T7 =
      ABS(M4 / W2)
4610 T = 0: IF T4 >= T5 THEN T = T4 ELSE T = T5: IF T6 >= T THEN T = T6: IF T7 >= T
      THEN T = T7
4620 PRINT "T4="; T4, "T5="; T5, "T6="; T6, "T7="; T7, "T="; T, "W2="; W2, "H2="; H2
4630 PRINT "M1="; M1, "M2="; M2, "M3="; M3, "M4="; M4, "M5="; M5, "M6="; M6,
      "M7="; M7
4640 PRINT
4650 RETURN
4660 J5 = 2 * (J3 + J4): W1 = J5 / (B / 2 + B1 / 2 + B7)
4670 S5 = SQR(S5 ^ 2 + 3 * T1 ^ 2): S6 = SQR(S6 ^ 2 + 3 * T2 ^ 2): S7 = SQR(S7 ^ 2 + 3 *
      T3 ^ 2)
4680 S8 = SQR(S8 ^ 2 + 3 * T4 ^ 2)
4690 S = 0: IF S5 >= S6 THEN S = S5 ELSE S = S6: IF S7 >= S THEN S = S7
4700 IF S8 >= S THEN S = S8
4710 PRINT "S="; S, "S5="; S5, "S6="; S6, "S7="; S7, "S8="; S8, "J5="; J5, "W1="; W1
4720 PRINT
4730 RETURN
4740 N = Q1 * G * 10 ^ 3: R1 = P + N * (L - X) / L + Q5 * L / 2: R = P + N * X / L + Q5 * L / 2
4750 MM = 0
4760 IF (L - A) / 2 >= X GOTO 4810
4770 IF (L + A) / 2 >= X GOTO 4840
4780 MA = R1 * (L - A) / 2 - Q5 * ((L - A) / 2) ^ 2 / 2: MB = R1 * (L + A) / 2 - Q5 * ((L + A)
      / 2) ^ 2 / 2 - P * A
4790 MC = R1 * X - Q5 * X ^ 2 / 2 - P * (X - (L - A) / 2) - P * (X - (L + A) / 2)
4800 GOTO 4860
4810 MA = R1 * X - Q5 * X ^ 2 / 2: MB = R1 * (L - A) / 2 - Q5 * (((L - A) / 2) ^ 2 / 2) - N *
      ((L - A) / 2 - X)
4820 MC = R1 * (L + A) / 2 - Q5 * (((L + A) / 2) ^ 2) / 2 - N * ((L + A) / 2 - X) - P * A
4830 GOTO 4860
4840 MA = R1 * (L - A) / 2 - Q5 * ((L - A) / 2) ^ 2 / 2: MB = R1 * X - Q5 * X ^ 2 / 2 - P * (X
      - (L - A) / 2)
4850 MC = R * (L - A) / 2 - Q5 * (((L - A) / 2) ^ 2 / 2)
4860 PRINT "P="; P, "N="; N, "R="; R, "R1="; R1, "MA="; MA, "MB="; MB, "MC="; MC,
      "MD="; MD
4870 IF MA > MB THEN MM = MA ELSE MM = MB: IF MC > MM THEN MM = MC
4880 IF MD > MM THEN MM = MD
4890 RETURN

```

ДОДАТОК В

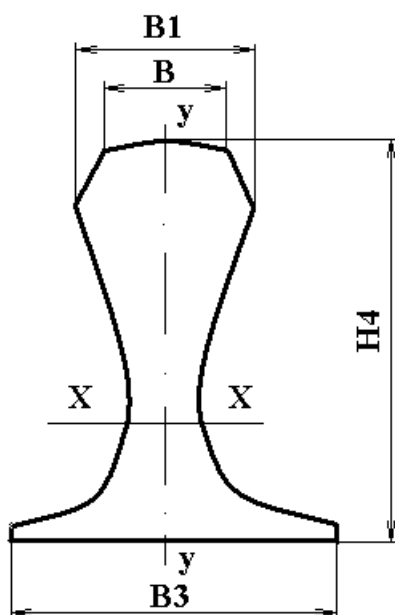
Розрахункові опори сталей (листовий прокат)

Таблиця В.1

Марка сталі	ДСТ чи ТУ	Товщина прокату, мм	Розрахункові опори, МПа		
			R2	R3	R4
Вуглецеві сталі					
ВСт 3кп2-1	ТУ 14-1-3023-80	4-20	220	355	128
ВСт 3пс6-1	====//====	====//====	230	360	133
ВСт 3пс6-2	====//====	4-10	270	370	156
ВСт 3пс5-2	====//====	4-10	260	370	131
ВСт 3пс6	ДСТ 380-88	4-20	225	350	130
ВСт Тпс	ДСТ 14636-79	10-40	280	410	162
Термозміцнені сталі					
14М2	ДСТ 19282-73	4-9	320	440	185
14М2	====//====	10-32	310	430	180
15ХСНД	====//====	4-32	330	465	191
Низьколеговані сталі					
09М2 гр.1	ТУ 14-1-3023-80	4-10	305	440	177
09М2 гр.2	====//====	4-10	335	460	194
09М2С гр.1	====//====	4-10	335	480	194
09М2С гр.2	====//====	4-10	335	500	206
09М2	ДСТ 19282-73	4-20	290	420	168
09М2С	====//====	10-20	310	450	180
10М2С1	====//====	10-20	320	455	185
15ХСНД	====//====	4-32	330	465	191
16М2АФ	====//====	4-32	400	535	232

ДОДАТОК Г

Підкранова рейка та її розміри



Таблиця В.1 – Рейки кранові. Їх розміри та характеристики

Геометричні параметри рейки	Тип рейки	
	КР-70	КР-80
Позначення	КР-70	КР-80
Площа перерізу, м ²	$67,3 \cdot 10^{-4}$	$81,1 \cdot 10^{-4}$
B, м	0,07	0,08
B1, м	0,0765	0,087
B3, м	0,12	0,13
H4, м	0,12	0,13
I _x , м ⁴	$0,11 \cdot 10^{-4}$	$0,15 \cdot 10^{-4}$
W ₄ , м ³	$1,78 \cdot 10^{-4}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$

