МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Обгрунтування геометричних параметрів профілю кінцевих балок остову мостових кранів»**

Виконав: студент VI курсу групи Маш-63

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

Віталій ВАРТОВНИК
(Ім'я та прізвище)

Керівник: Сергій БАРАНОВИЧ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри _____
(підпис)
д.т.н., професор Власовець В.М.
“12” вересня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Вартовнику Віталію Івановичу

1. Тема роботи: «Обгрунтування геометричних параметрів профілю кінцевих балок остову мостових кранів»

Керівник роботи: *Баранович Сергій Миколайович*, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 6.12.2024 року

3. Вихідні дані: *Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів роботи, будови і експлуатації мостових кранів прольотного типу; матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення у виробництво.*

4. Перелік питань, які необхідно розробити:
1. Конструкції мостових кранів прольотного типу та їх характеристики;
2. Основні принципи теорії проектування металевих конструкцій;
3. Дослідження кінцевої балки мостового крана;
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях;
5. Техніко–економічна оцінка результатів дослідження;
Висновки і пропозиції;
Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:
Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Баранович С.М. к.т.н., доцент кафедри машинобудування			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	*Виконання розділу: «Конструкції мостових кранів прольотного типу та їх характеристики»*	*12.09.24-26.09.24*	
2.	*Виконання другого розділу: «Основні принципи теорії проектування металевих конструкцій в»*	*27.09.24-15.10.24*	
3.	*Виконання розділу: «Дослідження кінцевої балки мостового крана»*	*16.10.24-28.10.24*	
4.	*Виконання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»*	*29.10.24-11.11.24*	
5.	*Виконання розділу: «Техніко–економічна оцінка результатів дослідження»*	*12.11.24-22.11.24*	
6.	*Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому*	*25.11.24-6.12.24*	

Студент _____ Віталій ВАРТОВНИК
(підпис)

Керівник роботи _____ Сергій БАРАНОВИЧ
(підпис)

УДК 631.374

Обгрунтування геометричних параметрів профілю кінцевих балок остову мостових кранів.

Вартовник Віталій Іванович – Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 66с. текст. част., 18 рис., 7 табл., 22 джерела.

У даній магістерській роботі проаналізовано літературні джерела та здійснено огляд існуючих кранів прольотного типу, що застосовуються для завантажувально-розвантажувальних робіт на різних виробництвах. Наведено металоконструкції і принцип їх розрахунку.

Проведені дослідження з допомогою ПК із встановлення залежності впливу перерізу кінцевої балки мостового крана на стрілу прогину і масу металоконструкції.

В розділі охорони праці проаналізовано аварійні і травматичні ситуації, які можуть виникнути під час роботи з мостовим краном, розроблено «дерево» відмов роботи. Проведені розрахунки ймовірності винекнення основної події від базових. Розглянуто заходи щодо захисту населення в надзвичайних ситуаціях.

В економічній частині даної роботи було проведено оцінку розробки металоконструкції кінцевої балки мостового крана щодо витрати на виробництво, прибуток від виробництва балки з запропонованим перерізом, трудомісткість процесу під час виробництва і ефект від модернізації запропонованої металоконструкції.

ЗМІСТ

		ст.
	Вступ	7
	Розділ 1. Конструкції мостових кранів прольотного типу та їх характеристики	8
1.1	Застосування мостових кранів прольотного типу	8
1.2	Спеціалізовані мостові крани	11
1.3	Характеристики геометрії плоских перерізів тіл	13
1.4	Загальна характеристика сортаменту для металоконструкцій	18
	Розділ 2. Основні принципи теорії проектування металевих конструкцій	23
2.1	Характеристики металевих конструкцій	23
2.2	Вимоги до металевих конструкцій	27
2.3	Навантаження, які діють на металоконструкцію	31
2.4	Розрахунок навантаженнь, що діють на металоконструкцію	33
	Розділ 3. Дослідження кінцевої балки мостового крана	39
3.1	Мета і програма досліджень кінцевої балки мостового крана	39
3.2	Дослідження конструкції і форми перерізів кінцевої балки.	39
3.3	Дослідження впливу стріли прогину кінцевої балки на її масу	46
	Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	48
4.1	Структурно функціональний аналіз процесів експлуатації мостового крана	48
4.2	Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки	49
4.3	Безпека в надзвичайних ситуаціях	51

Розділ 5. Техніко–економічна оцінка результатів дослідження 55
Висновки 63
Бібліографічний список 65

ВСТУП

У ринковій економіці, де конкуренція постійно зростає, ефективність машинобудівного виробництва стає все важливішою. Зокрема, актуальними для виробничих підприємств є питання підвищення якості продукції, скорочення часу виготовлення та зниження вартості технічної підготовки, а також максимально можливе задоволення потреб споживачів. Використання систем автоматизованого проектування (САПР) дає змогу вирішити ці завдання та знижує витрати на проектні роботи.

Основні тенденції розвитку кранів полягають у збільшенні виробництва кранів великої вантажопідйомності при зменшенні виробництва кранів малої вантажопідйомності, розширенні використання гідравлічних та спеціалізованих електричних приводів, а також у застосуванні кранів-маніпуляторів для виконання масових будівельних, навантажувально-розвантажувальних і монтажних робіт.

Зменшення термінів проектування кранів, підвищення їх якості та техніко-економічних показників на етапі проектування, а також суттєве підвищення продуктивності праці і звільнення конструкторів від виконання численних рутинних проектних завдань при аналізі різних конструктивних варіантів можливе лише через автоматизацію процесу проектування.

Підхід до автоматизації проектування кранів передбачає широке використання інтегрованих САПР (CAD/CAM/CAE), призначених для проектування машинобудівних виробів будь-якої складності. Однак жодна з наявних систем не забезпечує повного набору компонентів, необхідних для вирішення всіх завдань автоматизації проектування кранів.

Тривалість експлуатації кінцевої балки мостового крана та її вузлів визначається кількістю циклів і величиною динамічних локальних навантажень, які на них діють. Втомні тріщини в балках виникають найчастіше, що є неприпустимим за нормами. Мостові крани на виробництві працюють в умовах високої інтенсивності (трисмінний режим і підйом вантажів, вага яких наближається до номінальної).

РОЗДІЛ 1
КОНСТРУКЦІЇ МОСТОВИХ КРАНІВ ПРОЛЬОТНОГО ТИПУ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1.1. Застосування мостових кранів прольотного типу

Мостові крани широко використовуються на складах промислових підприємств, у транспортній сфері та будівництві для виконання як основних технологічних процесів, так і операцій завантаження та розвантаження

За конструкцією розрізняють мостові крани:

- двобалкові та однобалкові;

- з електричним і ручним приводом;

- керування може здійснюватися вручну з кабіни або з підлоги за допомогою виносного пульта, дистанційно (за допомогою кнопкового пульта або через радіоканали), напівавтоматично (з автоматичним визначенням координат крана), або автоматично за допомогою комп'ютера;

- опираються на підвісні балки та рейки;

Існують мостові крани загального використання (гакові, призначені для перевантаження різноманітних вантажів) та спеціалізовані (для переміщення конкретних видів вантажів, такі як грейфери, магнітні крани, крани-штабелери та металургійні)..

Однобалкові мостові крани є простими та економічними машинами з відносно невеликою вантажопідйомністю (до 5 т). При однаковій вантажопідйомності їхня маса значно менша, ніж у двобалкових моделей. Крани опорного типу (рис. 1.1) рухаються по підкранових шляхах, що прокладаються на несучих колонах 1. Металоконструкція однобалкового крана варіюється залежно від прольоту і вантажопідйомності. Для малих прольотів (рис. 1.1, а) конструкція може бути виконана з двотаврової балки 2, з’єднаної з кінцевими балками 4, які спираються на ходові колеса 5. Механізм пересування 6 в таких кранах розташовується на одній з кінцевих балок і з’єднаний з

приводним колесом другої балки за допомогою тихохідного трансмісійного валу.

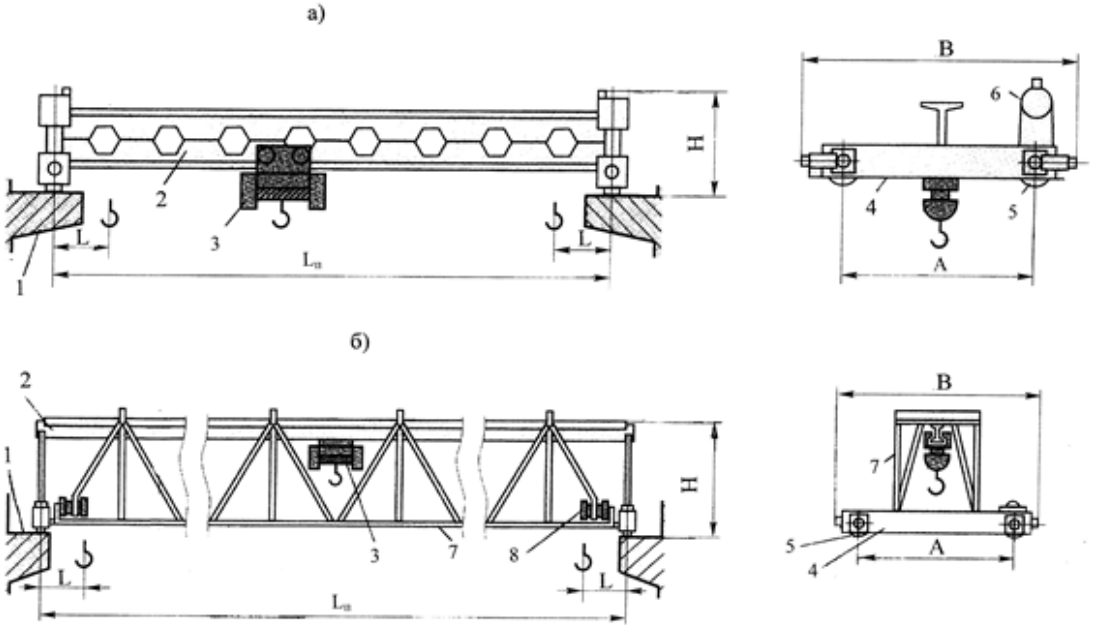


Рисунок 1.1. Однобалковий мостовий кран опорного типу

При великих прольотах головна балка мостового крана 2 зміцнюється просторовими фермами 7 (рис. 1.1, б). Електрична таль 3, що переміщається по нижньому поясу балки 2, керується з підлоги. Механізм пересування 8 крана з великим прольотом аналогічний механізму пересування талі, і на кожній з кінцевих балок встановлюється по одному такому приводу. У опорних кранів зона обслуговування має ширину, що становить 2L, що менше ширини прольоту Lп.

Однобалкові мостові крани підвісного типу (рис. 1.2) мають ходові колеса 4, які спираються на нижні полиці двотаврової балки 1, підвішеної до перекриття будівлі. В залежності від довжини прольоту вони можуть бути двохопорними або багатоопорними. На відміну від опорних кранів, підвісні крани завдяки наявності консолей L можуть обслуговувати більшу площу при тій самій довжині прольоту Lп.

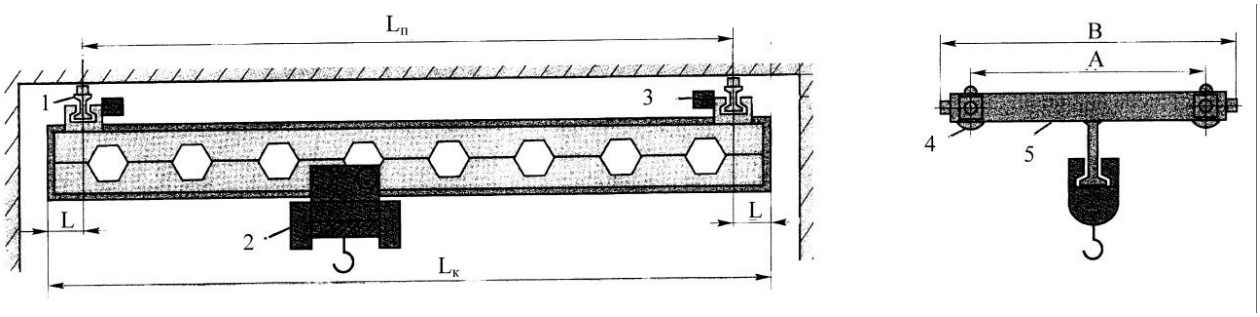


Рисунок 1.2. Однобалковий мостовий кран підвісного типу

Мости підвісних мостових кранів, що розташовані в сусідніх прольотах складських приміщень, можуть бути з'єднані між собою перехідними містками, що дозволяє електричній талі 2 переміщатися з одного моста на інший для передачі вантажу. Також можна організувати вихід талі по консольній балці на вантажну рампу для завантажувально-розвантажувальних робіт із рухомим складом. Механізм переміщення 3 складається з двох окремих приводів, встановлених на кінцевих балках 5.

Двобалковий мостовий кран – це зварна балкова або фермова конструкція (рис. 1.3.), що складається з поздовжніх 1 і поперечних (кінцевих) балок 7. Ходові колеса 6 встановлені на кінцевих балках і приводяться в обертання механізмом пересування 3 крана. Міст рухається по підкранових коліях 5, що укладаються на підкранові балки, які спираються на колони будівлі. Колони можуть бути сталевими або залізобетонними, і їхнє розташування зазвичай має крок 12 або 18 м. По мосту рухається візок 11, на якому змонтовані механізми головного 10 і допоміжного 9 підйому, механізм пересування візка 2, а також система підведення струму 8 до візка, що виконана у вигляді натягнутої вздовж моста струни, по якій рухається кабель, прикріплений з деяким провисанням до ковзаючих по ній кільцях. Засоби керування розташовані в кабіні 4. Електроживлення крана здійснюється через головні тролеї 12, розташовані вздовж поздовжньої стіни будівлі, а для обслуговування цих тролеїв на мосту крана передбачено майданчик 13.

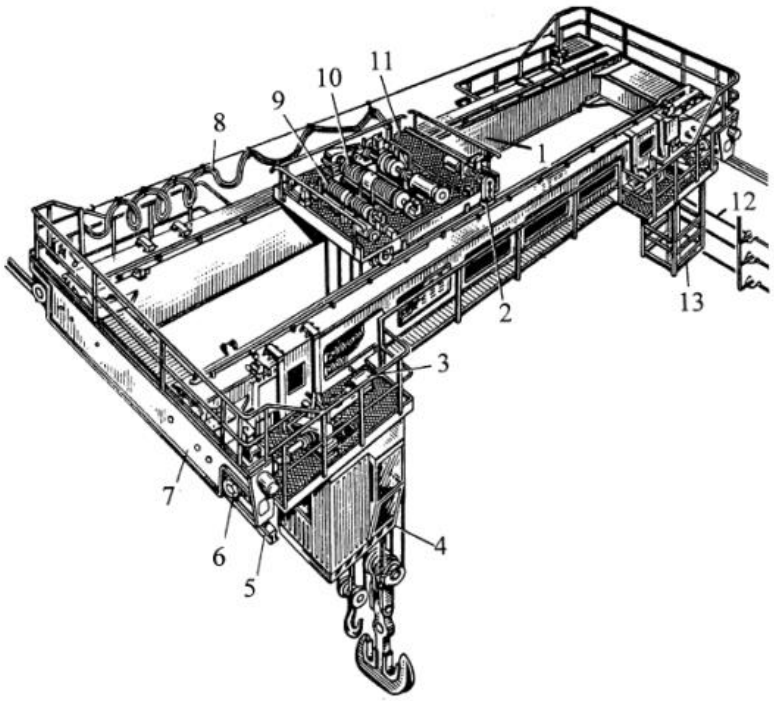


Рисунок 1.3. Мостовий кран двобалковий загального призначення

Для вантажопідйомності понад 10 тонн деякі мостові крани оснащені двома окремими механізмами підйому: головним і допоміжним. Вантажопідйомність таких кранів позначається, наприклад, як 16/3, 2; 20/5; 50/12, 5 тонн, де перше число вказує на вантажопідйомність головного механізму, а друге – на допоміжного. В залежності від призначення кранів і виконуваних ними завдань, використовуються різні вантажозахватні пристрої, такі як гаки, грейфери, магніти та інші. Промисловість випускає велику кількість мостових кранів загального призначення. Окрім того, для спеціалізованих робіт, таких як підйом і переміщення великовагового технологічного обладнання, виготовляються спеціальні мостові крани з вантажопідйомністю, наприклад, 180/63 +5 тонн і 200/32 +5 тонн.

1.2. Спеціалізовані мостові крани

Радіальний мостовий кран, показаний на рис. 1.4, обертається навколо однієї зі своїх опор і має довжину прольоту, що дорівнює радіусу R кільцевого робочого майданчика, який він обслуговує [31]. Вісь обертання моста 3

закріплена на опорі 1, розташованій у центрі майданчика та прикріпленій до стелі будівлі. Візок 2 призначений для обслуговування частини кола, що менша за площу кола з радіусом R, з урахуванням відстаней, на які візок не може під'їхати до ходової провідної візки 4, яка рухається по кільцевому рельсу 5 до опори 1.

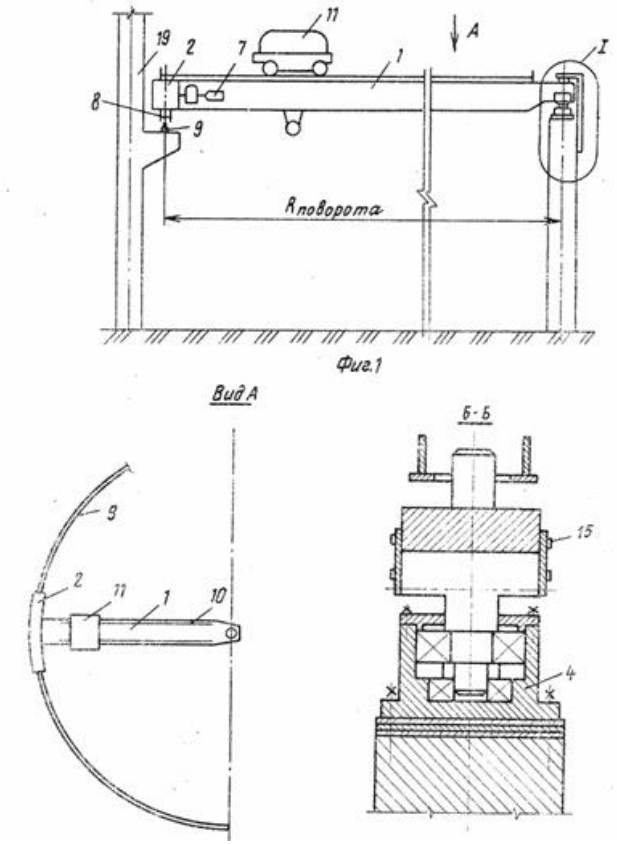


Рисунок 1.4. Радіальний мостовий кран

Хордові мостові крани (рис. 1.5) рухаються по одному кільцевому рельсу 5, як і радіальні. Ходові колеса 8 закріплені на ходових візках 3, які розташовані несиметрично відносно балок 7 мосту. Візок 6 мосту призначений для обслуговування меншої частини кільцевої площі при тому ж радіусі R, що й у радіального крана.

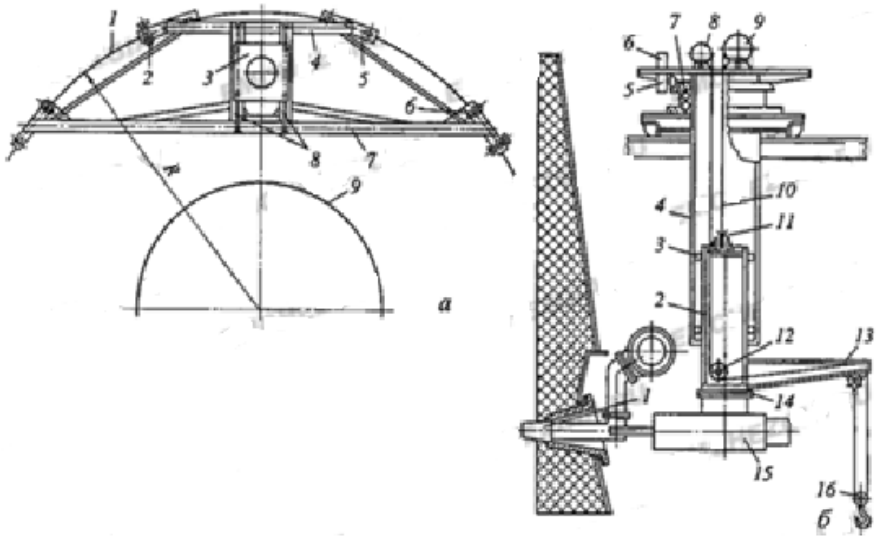


Рисунок 1.5. Хордовий мостовий кран

Поворотний мостовий кран має довжину прольоту моста, що дорівнює 2R – діаметру кільцевої рейки. Візок, рухаючись по балках моста крана, обслуговує більшу площу, порівняно з радіальним краном, оскільки здатний піднімати вантажі в центрі робочого майданчика. У цьому крані ходові візки переміщуються в протилежні напрямки за повороту моста навколо центру кола кільцевої рейки. Ходові колеса крана, як і в інших кранах, мають деталь осі, орієнтовані за радіусом робочого майданчика.

Кран рухається по двох кільцевих опорних рейках з радіусами R min та R max. Проліт моста крана L обчислюється як різниця між R max і R min. Для забезпечення безковзного руху коліс зовнішнього та внутрішнього ходових візків, ці колеса виготовляються з різними діаметрами або мають різну частоту обертання, що пропорційна радіусам R min та R max.

1.3. Характеристики геометрії плоских перерізів тіл

У розрахунках конструкцій на механічну надійність часто використовують характеристики плоских фігур, такі як статичний момент, осьовий та полярний моменти інерції [4, 22]. Геометричні характеристики — це числові величини (параметри), які визначають розміри, форму та розташування

поперечного перерізу однорідного за пружними властивостями деформованого елемента конструкції, і характеризують його опір різним видам деформацій.

Площа плоских перерізів тіл. Площа перерізу є важливою геометричною характеристикою, яка переважно застосовується при розрахунках на розтяг і стиск. Для аналізу на кручення, згинання та стійкість використовуються складніші геометричні характеристики, такі як статичні моменти, моменти інерції, моменти опору тощо. Проектування конструкцій з оптимальними формами і розмірами перерізів є одним із способів зменшення ваги та вартості машин і споруд.

Площа перерізу, обмежена кривою визначається за наступною формулою:

$$A = \int_A dA \tag{1.1}$$

Для визначення геометричних характеристик складних перерізів, що складаються з основних фігур, їх розбивають на обмежену кількість n простих елементів. У цьому випадку формула матиме вигляд

$$A = \sum_{i=1}^{n} A_i \quad . \tag{1.2}$$

Площа є найпростішою геометричною характеристикою перетину і має розмірність L2L^2L2. Важливими властивостями площі є те, що вона завжди позитивна та не залежить від вибору системи координат. Для перетинів, що складаються з профілів стандартного прокату, площа кожного профілю та інші необхідні для розрахунків розміри визначаються за таблицями на прокатну сталь.

Для розрахунку на згинання, кручення, складний опір та стійкість використовуються більш складні геометричні характеристики, такі як статичні моменти та моменти інерції перерізів. Ці характеристики залежать не лише від форми і розмірів перерізів, але й від розташування осей і точок (полюсів), відносно яких вони визначаються.

Моменти перетину статичні. Статичний момент плоского перерізу відносно певної осі визначається як сума добутків площ елементарних ділянок dA на їх відстані від цієї осі, взята по всій площі перерізу А (див. рис. 1.6).:

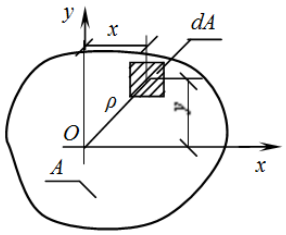


Рисунок. 1.6. Визначення статичного моменту певного перерізу.

$$S_x = \int_A y dA, S_y = \int_A x dA \quad ; \tag{1.3}$$

$$S_x = \iint_A y dx dy, \; S_y = \iint_A x dx dy; \tag{1.4}$$

$$S_x = A y_c, S_y = A x_c, \tag{1.5}$$

де y_c – відстань від осі x до центру ваги плоского перерізу;

x_c - відстань від осі y до центру тяжіння всього перерізу.

Визначення характеристик статичного моменту складного перерізу відносно певної осі є добутком статичних моментів всіх складових частин цього перерізу відносно тієї ж осі.:

$$S_x = A_1 y_1 + A_2 y_2 + \ldots + A_n y_n = \sum_{i=1}^{n} A_i y_i ; \tag{1.6}$$

$$S_y = A_1 x_1 + A_2 x_2 + \ldots + A_n x_n = \sum_{i=1}^{n} A_i x_i .$$

$A_1, A_2, \ldots, A_n$ – площі простих площ елементів;

$x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, \ldots, x_n, y_n$ – закріплені координати центрів ваги простих елементів щодо вибраних їх осей x та y.

З виразів (1.4) визначаємо координату центру ваги потрібного плоского перерізу:

$$x_c = \frac{S_y}{A};\ y_c = \frac{S_x}{A}. \tag{1.7}$$

Складний поперечний переріз описується наступними формулами:

$$x_c = \frac{S_y}{A} = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2 + \ldots + A_n x_n}{A_1 + A_2 + \ldots + A_n};$$
$$y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + \ldots + A_n y_n}{A_1 + A_2 + \ldots + A_n}. \tag{1.8}$$

Залежності для визначення статичних моментів одного перерізу відносно паралельних осей x і x_1, та y і y_1 матимуть наступний вигляд:

$$S_{x_1} = S_x - aA;\ \ S_{y_1} = S_y - bA, \tag{1.9}$$

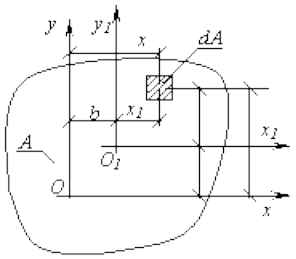


Рисунок.1.7. Визначення для статичного моменту плоского перерізу відповідно до двох паралельних осей

Моменти інерції перерізу за умови паралельного переносу координатних осей x і y. Попередні формули (1.10), матимуть вигляд:

$$I_x = I_{x_1} + 2bS_{x_1} + b^2 A;$$
$$I_y = I_{y_1} + 2aS_{y_1} + a^2 A;$$
$$I_{xy} = I_{x_1 y_1} + aS_{x_1} + bS_{y_1} + abA. \tag{1.10}$$

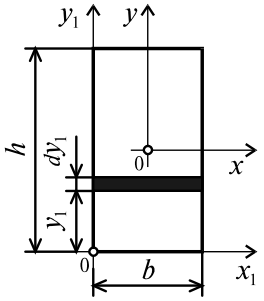


Рисунок. 1.8. Визначення статичного моменту інерції для плоского перерізу, за умови x_1 і y_1 – центральні координати.

Якшо осі x_1 і y_1 є центральними, тоді $S_{x_1} = S_{y_1} = 0$ і формули набудуть наступного вигляду:

$$I_x = I_{x_1} + b^2 A; \qquad I_y = I_{y_1} + a^2 A; \qquad I_{xy} = I_{x_1 y_1} + abA. \tag{1.11}$$

Тоді отримаємо наступні формули для визначення моментів інерції для плоских перерізів:

$$I_x = \int_A y^2 dA = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} y^2 dAbdy = \frac{b}{3}\left(\frac{h^3}{8} + \frac{h^3}{8}\right) = \frac{bh^3}{12}.$$

Аналогічно можна записати $I_y = \frac{hb^3}{12}$.

Моменти інерції перерізів складної форми

Визначення моменту інерції перерізу складної форми відносно певної осі дорівнює добутку моментів інерції його складових частин відносно тієї ж осі:

$$J_x = J_x^I + J_x^{II} + J_x^{III} + \ldots, \tag{1.12}$$

Отже, для обчислення моменту інерції складної фігури необхідно поділити її на кілька простих фігур, обчислити моменти інерції цих фігур, а потім сумувати їх.

Головні моменти інерції та головні осі інерції.

Якщо переріз має вісь симетрії, то ця вісь завжди є однією з головних центральних осей інерції цього перерізу.

В літературних джерелах головні осі деколи позначаються через літери u і v.

Тоді головні моменти інерції I_u та I_v можна визначити за наступними формулами:

$$I_u = \frac{I_z + I_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2} \tag{1.13}$$

$$I_v = \frac{I_z + I_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2} \tag{1.14}$$

При зміні орієнтації осей координат виконується таке рівняння:

$$I_z + I_y = I_{z_\alpha} + I_{y_\alpha} = I_u + I_v = const \tag{1.15}$$

Осьовий момент опору відносно осі є величиною, що дорівнює моменту інерції відносно цієї осі, поділеному на відстань до найвіддаленішої точки від цієї осі.

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}}; \quad W_y = \frac{J_y}{x_{\max}}. \tag{1.16}$$

Полярний момент опору визначається за формулою:

$$W_x = \frac{Jp}{\rho_{\max}} \tag{1.17}$$

1.4. Загальна характеристика сортаменту для металоконструкцій

У металевих конструкціях мостових кранів сталь використовують у вигляді прокатних виробів, що виготовляються на металургійних підприємствах, з різними формами поперечного перетину (профілями) [7]. Класифікація профілів зображена на рис. 1.9. Для виготовлення сталевих конструкцій застосовують листову та профільну сталь. Профільну сталь поділяють на сортову (круглі, квадратні прутки, смуги), фасонну (кутники, двотаври, швелери та інші профілі) і труби. Крім того, широко використовуються вторинні профілі: зварні, що отримуються зварюванням смуг або листів, та гнуті, сформовані шляхом холодного гнуття листів.

Сортамент являє собою каталог прокатних профілів, в якому вказані їх форма, геометричні характеристики та маса одиниці довжини. Сортамент розробляється у вигляді державних стандартів та технічних умов. Форма профілів у сортаменті повинна відповідати таким вимогам: простота і

технологічність виробництва, універсальність і зручність при складанні перетинів, а також раціональний розподіл матеріалу в межах перетину.

Коефіцієнтом градації називається відношення геометричних характеристик перерізу (наприклад, площі) конкретного профілю до тих самих характеристик найближчого меншого профілю. Чим частіше зустрічаються градації розмірів одного виду профілю, тим точніше перетин відповідає розрахунковим вимогам, тобто є економнішим. З іншого боку, використання великої кількості різних типорозмірів профілів при проектуванні ускладнює комплектацію замовлень (поставки малими партіями), збільшує обсяг робіт на заводах металоконструкцій (сортування, складування, транспортування, правка профілів) і ускладнює роботу металургійних підприємств (додаткові витрати та час на переналагодження прокатних верстатів). У порівнянні зі зварними і гнутими профілями, для виготовлення яких необхідні додаткові операції (виготовлення профілю з прокатного листа), найбільш економічними є прокатні профілі, які безпосередньо постачаються з металургійного заводу для виготовлення металоконструкцій.

Використання автоматичного зварювання дозволяє виготовляти тонкостінні двотаври з листового прокату з більш ефективним розподілом матеріалу по перетину. Зварні двотаври мають власний сортамент. Холодногнуті профілі різних форм виготовляються з листа або смуги товщиною від 1 до 8 мм. Найбільш поширеними є рівнополочні та нерівнополочні кутники, швелери, а також профілі у вигляді літер С і Z. Особливістю холодногнутих профілів є тонкостінні січення, що може призводити до втрати місцевої стійкості стінок до загальної втрати стійкості стержня. Для підвищення місцевої стійкості в поличках окремих гнутих профілів виконують відгини. Гнуті профілі застосовуються в слабонавантажених довгих стержнях, розкосах легких ферм та інших елементах, де перетин підбирається з урахуванням граничної гнучкості.

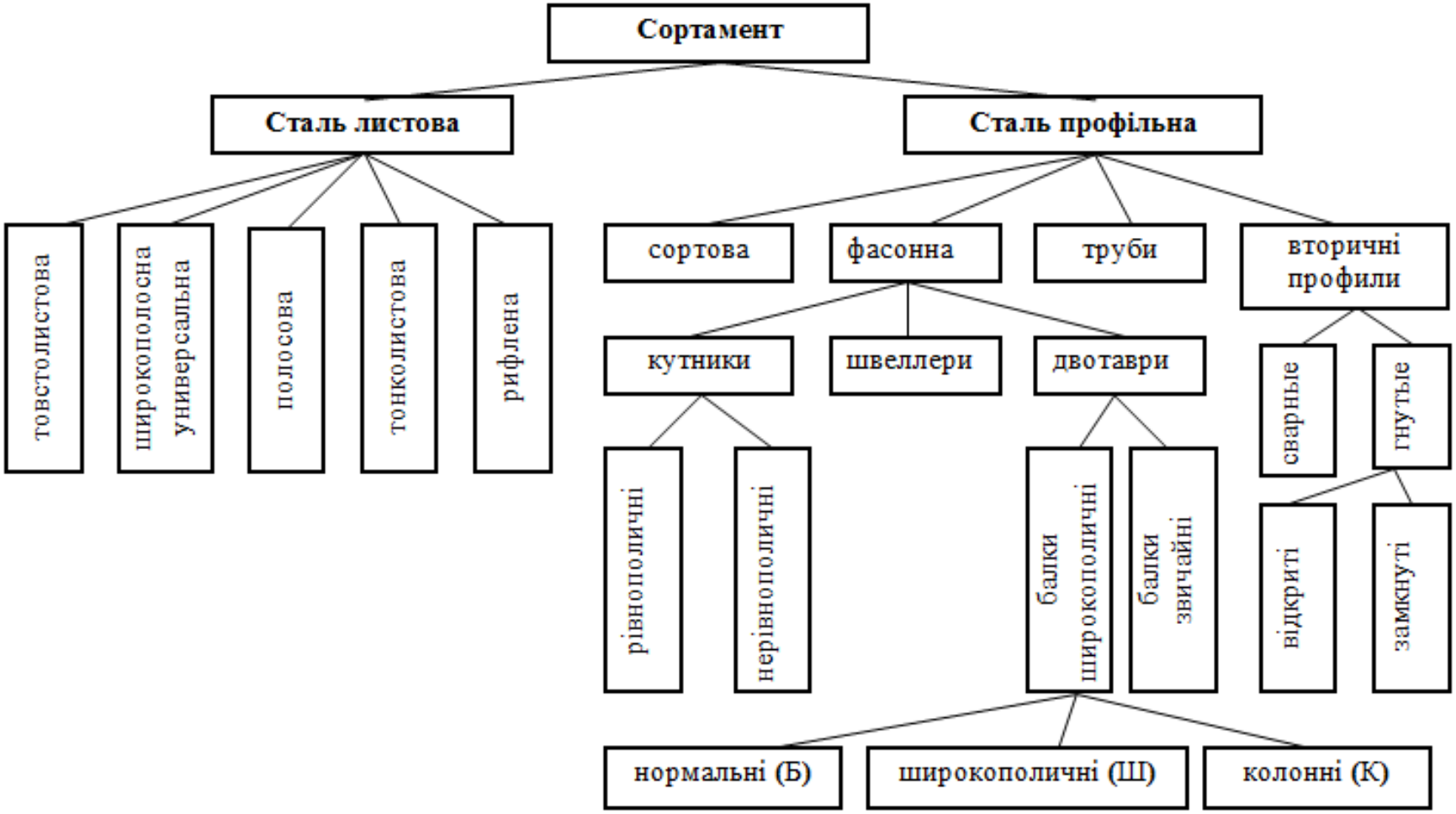


Рисунок. 1.9. Профілі сортаменту металу

Висновки

Сучасні підйомно-транспортні машини відзначаються широким діапазоном вантажопідйомності, великими габаритами обслуговуваних площ і високою продуктивністю. Для таких машин немає жорстких обмежень щодо базових параметрів, оскільки вони створюються з урахуванням різних умов експлуатації. Єдине обмеження — економічне. Складні та важкі машини мають високу вартість, і їх використання виправдане тільки в тому випадку, якщо їх можна експлуатувати на повну потужність, щоб вони окупилися за реальний термін служби до морального і фізичного зносу.

Основними напрямками розвитку підйомно-транспортного устаткування є удосконалення приводів машин і механізмів, що спрямоване на розширення діапазону регулювання швидкостей, підвищення їх ККД та надійності, а також розробка нових конструктивних рішень, зокрема з використанням вбудованих планетарних пристроїв з термічно обробленими зубчастими колесами, що забезпечують довговічність. Металоконструкції кранів необхідно покращувати через використання високоякісних металів, що дозволяє зменшити металоємність конструкції та підвищити її довговічність. Для зменшення маси кранів і підвищення технологічності виробництва розробляються нові прогресивні конструкції кранів: основні балки мостів виконуються двостінними з різною товщиною стінок, а візкові рейки розміщуються над внутрішньою, товщою стінкою, що дозволяє також розмістити в балках електроапаратуру крана. Розширюється використання трубчастих та штампованих профілів, а також легких металів. Крім того, підвищується якість матеріалів та удосконалюється технологія виробництва деталей.

Аналіз літератури показав, що, незважаючи на значні досягнення, проблема підвищення надійності та ефективності елементів конструкцій мостових кранів, які працюють в умовах складного напруженого стану, досі повністю не вирішена. Крім того, недостатньо уваги приділяється науково обґрунтованому пошуку нових конструктивних форм профілів балок мостових

кранів з використанням інтегрованих САПР, що дозволили б зберігати свою ефективність протягом всього встановленого терміну експлуатації.

Оскільки мостові крани прольотного типу широко використовуються в технологічних процесах завантаження та розвантаження в різних галузях виробництва, де основним елементом конструкції є міст (балка), **метою** нашого дослідження є визначення оптимального профілю кінцевої балки з використанням інтегрованих САПР на прикладі мостового крана.

Тоді **задачами досліджень** будуть.

1. Аналіз конструкцій мостових кранів прольотного типу.

2. Аналіз параметрів металоконструкцій мостових кранів їх розрахунок на міцність.

3. Дослідити кінцеву балку мостового крана з застосуванням САПР.

4. Провести дослідження за допомогою САПР кінцевої балки мостового крана.

5. Проаналізувати охорону праці під час роботи з мостовим краном.

6. Провести обгрунтування економічної ефективності запропонованих перерізів кінцевої балки мостового крана.

Об'єкт дослідження –профілі кінцевих балок мостових кранів. *Предмет дослідження* – визначення закономірностей конструктивно-геометричних параметрів профілю кінцевої балки мостового крана з урахуванням їх нормативних значень в процесі експлуатації.

Практичне значення полягає в отриманні оптимальних параметрів перерізу кінцевої балки мостового крана на етапі проектування. Результати дослідження можна застосовувати при аналізі варіантів схем профілів головних балок мостових кранів під час проектування, а також при вирішенні конструктивно подібних задач.

РОЗДІЛ 2
ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ТЕОРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1. Характеристики металевих конструкцій

Металеві конструкції використовуються в різних інженерних спорудах як у вигляді стержневих, так і суцільних систем. Вони знаходять застосування в таких об'єктах, як рухомі конструкції (мостові, баштові і козлові крани, перевантажувачі, великі екскаватори, гідротехнічні споруди, затвори та ворота), одноповерхові та багатоповерхові виробничі будівлі, великопролітні покриття для різних споруд (спортивні комплекси, криті ринки, театри, виставкові павільйони, ангари, суднобудівні елінги, авіазбірні цехи та ін.), мости та естакади, висотні будови (телевізійні башти, щогли, опори ліній електропередач, витяжні башти, нафтові вишки, димові та вентиляційні труби, промислові етажерки, геодезичні вишки, надшахтні копри тощо), каркаси багатоповерхових цивільних будівель, листові конструкції (резервуари, газгольдери, бункери, силоси, трубопроводи великого діаметра, конструкції для доменного і хімічного виробництва), а також унікальні об'єкти (радіотелескопи, антени для космічного зв'язку). Така широка сфера застосування металевих конструкцій, здатних витримувати великі навантаження від власної ваги та обладнання, великий прольот і висоту (особливо для листових конструкцій важлива забезпеченість щільності), пояснюється їх численними перевагами, серед яких — надійність, висока міцність та легкість. (рис. 2.1) [23, 27, 28].

Надійність металевих конструкцій забезпечується тим, що їх реальна робота (розподіл напружень і деформацій) майже повністю відповідає теоретичним розрахунковим припущенням, що стосуються пружної та пружно-пластичної поведінки матеріалу. Ці припущення ґрунтуються на основних принципах опору матеріалів та теорії пружності і пластичності. Сталь є ізотропним матеріалом, має дрібнозернисту структуру та однакові механічні властивості у всіх напрямках.

Легкість. Серед усіх сучасних несучих конструкцій металеві є найбільш легкими, попри високу густину сталі (ρ = 7850 кг/м³), що значно перевищує густину бетону (ρ = 2400 кг/м³) і деревини (ρ = 500 кг/м³). Для оцінки легкості конструкції використовують показник с, що визначається як відношення густини матеріалу ρ до його міцності Ry. Чим менше значення с, тим легша конструкція. Конструкції з алюмінієвих сплавів, що мають міцність, подібну до міцності маловуглецевої сталі, але густину, втричі меншу за сталеву (ρ = 2700 кг/м³), демонструють найменше значення цього показника.

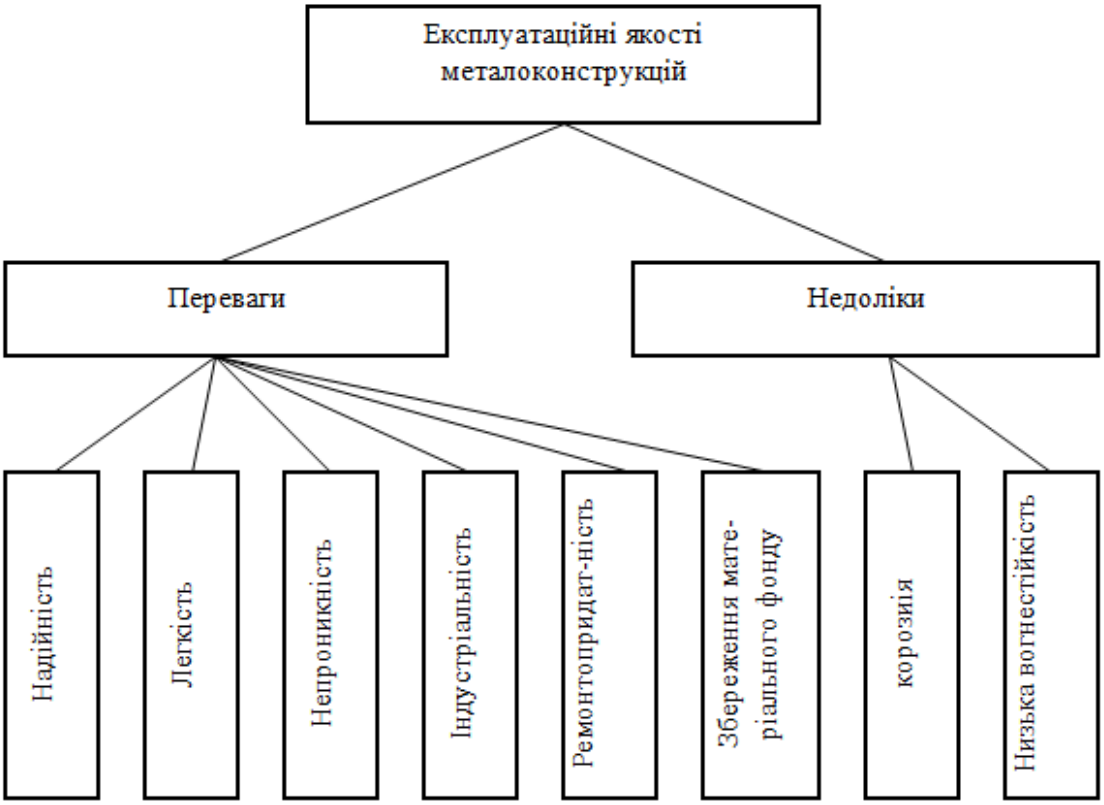


Рисунок 2.1. Експлуатаційні якості металевих конструкцій

На рис. 2.2 показано порівняння легкості конструкцій, виготовлених з різних матеріалів (коефіцієнт с для алюмінієвого сплаву Д16Т прийнятий за одиничне значення).

Індустріальність. Основна частина металевих конструкцій виготовляється на заводах, що оснащені сучасним спеціалізованим обладнанням, а механізований монтаж на будівельному майданчику сприяє

швидшому введенню конструкцій в експлуатацію. Це дозволяє значно зменшити або повністю виключити використання важкої ручної праці.

Непроникність. Метали мають не лише високу міцність, але й велику щільність, що забезпечує їх непроникність для газів і рідин. Щільність металу та його сполук, отриманих шляхом зварювання, є важливою умовою для виготовлення листових конструкцій.

Ремонтопридатність. Щодо сталевих конструкцій, питання посилення, технічного переоснащення та реконструкції вирішуються найбільш просто. Завдяки зварюванню, елементи існуючого каркаса легко адаптуються для кріплення різних комунікацій та нового технологічного обладнання.

Перероробка металобрухту - можливість повторного використання металоконструкцій, які вичерпали свій ресурс через фізичне та моральне старіння, шляхом повернення їх в господарство у вигляді металевого брухту.

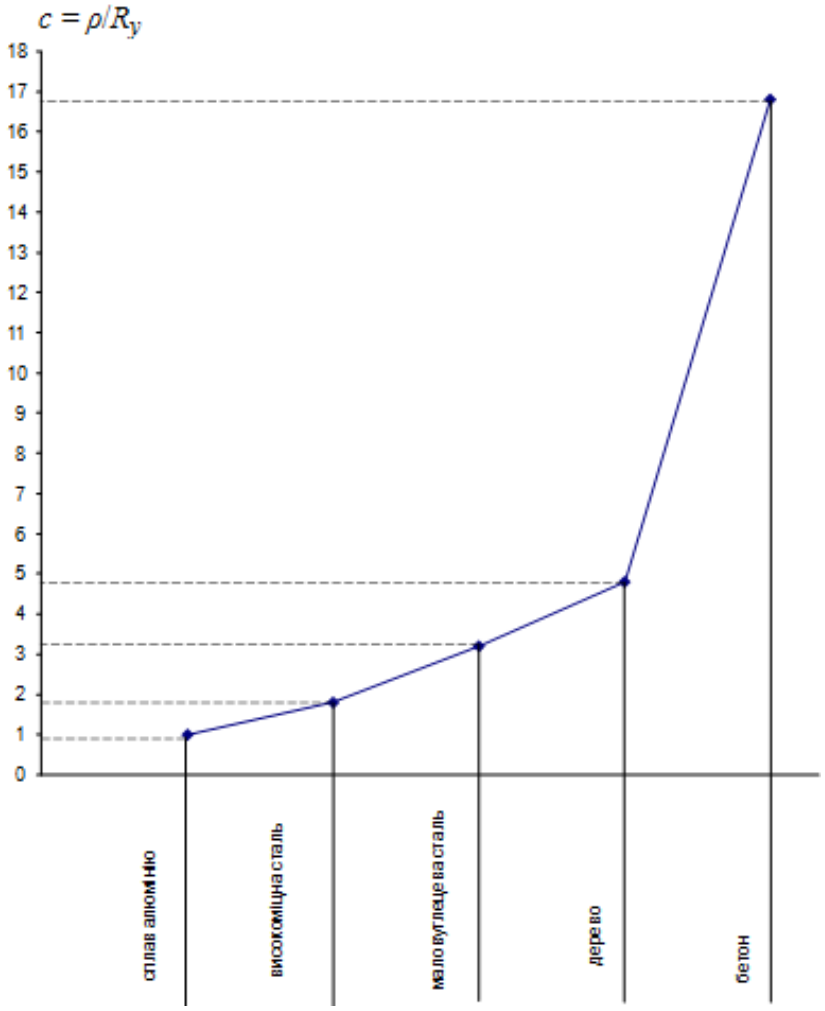


Рисунок 2.2. Відносність легкості конструкцій

Пристосованість металоконструкції для важких умов експлуатації (високі температури до +200 ºС, динамічні та циклічні навантаження, великі навантаження) характеризуються низькою схильністю до механічних пошкоджень під час транспортування, монтажу та експлуатації. Вони менш залежні від серійності виробництва завдяки відносно низьким витратам на допоміжні пристосування при виготовленні та монтажі. Також існує можливість швидкої переналагоджуваності оснащення для виготовлення. Металеві конструкції мають високі естетичні характеристики та дозволяють створювати різноманітні форми. Однак, незважаючи на свої переваги, металоконструкції мають і деякі недоліки, для нейтралізації яких необхідно вживати спеціальні заходи.

Корозія. Руйнування металу через хімічну або електрохімічну взаємодію з навколишнім середовищем називається корозією. Металеві конструкції мають порівняно низьку корозійну стійкість, особливо в агресивних умовах. Сталь, яка не захищена від впливу вологи, в поєднанні з шкідливими газами, солями та пилом, піддається окисленню і стає непридатною для експлуатації. Алюмінієві сплави, які використовуються в металоконструкціях, мають значно кращу корозійну стійкість завдяки утворенню на їх поверхні міцної оксидної плівки. Чавун також добре протидіє корозії. Для підвищення корозійної стійкості металевих конструкцій використовуються такі методи, як введення спеціальних легуючих елементів в сталь (дорогий метод), регулярне нанесення захисних лакофарбових покриттів на поверхню виробів (найбільш поширений метод), а також оптимальний вибір конструктивної форми елементів при проектуванні, що забезпечує зручність для очищення та захисту (без щілин і пустот, де можуть накопичуватися волога та пил).

Вогнестійкість. Металеві конструкції мають відносно низьку вогнестійкість, яка визначається часом, протягом якого конструкція зберігає свою несучу здатність. У сталі при температурі t = 200 ºС починає знижуватися модуль пружності E, а при t = 600 ºС (у алюмінієвих сплавів при t = 300 ºС) вона повністю переходить у пластичний стан, деформується та втрачає

здатність нести навантаження. Тому металеві конструкції, які є небезпечними з точки зору пожежної безпеки (наприклад, склади з горючими та легкозаймистими матеріалами, житлові та громадські будівлі), повинні бути захищені від прямого контакту з відкритим вогнем або сильно нагрітими частинами обладнання. Для цього застосовують методи, як-от встановлення підвісних стель, вогнестійких облицювань, обробка спеціальними засобами або, в окремих випадках, встановлення вогнезахисних екранів.

2.2. Вимоги до металевих конструкцій

Основні вимоги до металевих конструкцій представлені на рис. 2.3. Більшість із цих вимог повинні виконуватися на етапах проектування, виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації будівельних конструкцій.

Основною вимогою до металевих конструкцій є їх відповідність експлуатаційним цілям, тобто здатність забезпечити необхідний технологічний процес, який має виконувати кран. При цьому важливо забезпечити зручність і безпеку при мінімальних витратах на підтримку конструкцій у надійному стані. Усі завдання проектування мають на меті виконання цієї вимоги.

Технічні вимоги полягають у забезпеченні міцності, стійкості та жорсткості конструкції. До них також належить вимога надійності, що вимагає безвідмовної роботи конструкції протягом визначеного розрахункового періоду експлуатації, а також вимога довговічності, яка визначається термінами фізичного та морального зношування конструкції.

Фізичне зношування металевих конструкцій пов'язане з корозією та накопиченням інших ушкоджень, що виникають під час експлуатації. Моральне зношування зумовлене зміною вимог і умов експлуатації, таких як реконструкція виробництва, модернізація обладнання, зміна санітарних норм тощо.

Економічність оцінюється за витратами на метал та інші матеріали, необхідні для виготовлення конструкцій, а також за витратами на їх виготовлення, транспортування і монтаж.

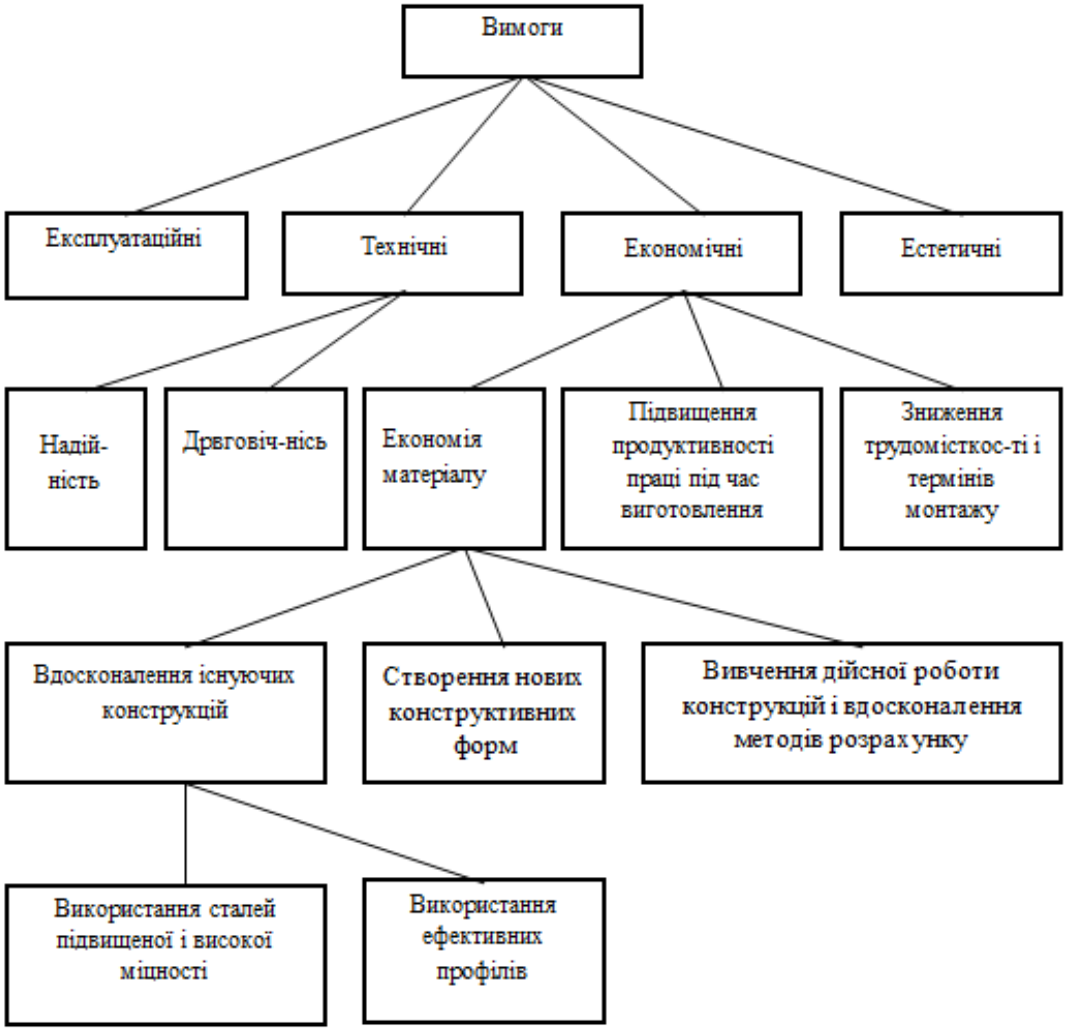


Рисунок 2.3. Вимоги до металоконструкцій

Економія металу є однією з ключових вимог при проектуванні металевих конструкцій, оскільки вартість металу становить більше половини вартості конструкцій. Досягнення економії металу можливе через реалізацію кількох основних напрямків: удосконалення застосовуваних металоконструкцій (для яких існує велика кількість варіантів), розробку та впровадження сучасних ефективних конструктивних форм і систем, а також вдосконалення методів розрахунку та пошук оптимальних конструктивних рішень з використанням електронно-обчислювальної техніки. Удосконалення існуючих конструкцій забезпечується, перш за все, за рахунок застосування сталей з підвищеною та

високою міцністю, а також використання найбільш економічних прокатних і гнутих профілів. Сталі з підвищеною та високою міцністю досягаються шляхом легування та термічної обробки, що збільшує їх вартість. Однак збільшення вартості не настільки велике, як зростання міцності металу. Для стиснутих елементів, де основним граничним станом є втрата стійкості, підвищення міцності сталі може суперечити вимогам до гнучкості елемента: необхідна площа $A=N/(\varphi Ry)$. При підвищенні міцності розміри перерізу елемента A, що сприймає зусилля N, повинні зменшуватися, що призводить до зменшення радіусу інерції i. Це в свою чергу збільшує гнучкість $\lambda=lef/i$ і знижує коефіцієнт поздовжнього згину φ, що спричиняє збільшення необхідної площі перетину. Найбільший ефект від використання високоміцних сталей досягається в стиснутих елементах з обмеженою гнучкістю до 50–60. Застосування таких сталей є особливо доцільним у великопролітних і важконавантажених конструкціях, оскільки для сприйняття великих зусиль необхідні елементи з великими розмірами перетину, що характеризуються високою жорсткістю.

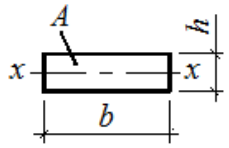
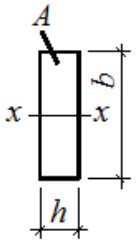
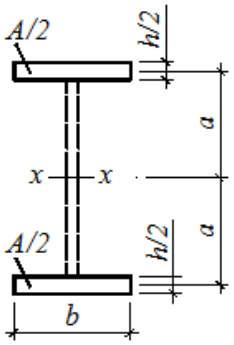
Зменшення ваги металоконструкції крана призводить до зменшення розмірів нижчих конструкцій (стіни, колони, фундаменти тощо), які сприймають навантаження від власної ваги, а також під час транспортування вантажів і монтажу самого крана.

Ефективність профілю для згинальних елементів визначається ядровою відстанню, а для стиснених – питомим радіусом інерції. Чим вищі характеристики моменту опору W і радіуса інерції і при однаковій витраті металу (однакова площа перерізу A для всіх перерізів), тим більш вигідним є перетин балки, що працює на згин, а також колони, що працює на стиск.

Для досягнення високих характеристик ρ та і матеріал в перетині потрібно розміщувати на найбільшій відстані від центру ваги (табл. 2.1).

Найбільш ефективним перетином для балок, що працюють на згин в одній площині (відносно осі x-x), є двотавровий перетин, а для елементів, що піддаються осьовому стисненню, — труби круглого, квадратного або прямокутного перерізу.

Таблиця 2.1. Оцінка жорсткості для різного компонування перетину.

		
$I_x = bh^3/12$ $W_x = bh^2/6$	$I_x = hb^3/12$ $W_x = hb^2/6$	$I_x \approx [I_f + (A/2)a^2]$ $W_x \approx 2[I_f + (A/2)a^2]/a$

Конструкції мають бути максимально простими у виготовленні, що досягається за рахунок простих форм, мінімальної кількості деталей, можливості механізованої обробки, а також зручності складання та зварювання.

Типізація, уніфікація та стандартизація, проведені на її основі, забезпечують високу повторюваність і серійність виготовлення конструктивних елементів та їх деталей на заводах. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню термінів виготовлення завдяки ефективнішому використанню сучасного обладнання та спеціальних технологічних пристосувань, а також створює умови для розробки і впровадження високоефективних методів виготовлення та монтажу металевих конструкцій.

Транспортабельність конструкцій. Оскільки металеві конструкції виготовляються на заводі і потім транспортуються до місця монтажу, необхідно передбачити поділ конструкцій на відправні елементи, що відповідають вимогам транспортних засобів щодо маси і габаритів. Основним способом доставки конструкцій є залізничний транспорт, тому відправні елементи повинні відповідати залізничним габаритам.

Швидкість монтажу залежить від того, наскільки конструкція дозволяє її зібрати за мінімальний час з меншою трудомісткістю, використовуючи сучасне монтажне обладнання. Швидке введення кранів в експлуатацію дає можливість отримати додатковий прибуток, що дозволяє частково компенсувати витрати.

Основним принципом швидкісного монтажу є попереднє збирання конструкцій у великі блоки на землі, які потім піднімаються і встановлюються в проектне положення з мінімальною кількістю монтажних робіт на висоті.

Естетичність металоконструкції, незалежно від їхнього призначення, повинні мати гармонійні форми та привабливий зовнішній вигляд.

2.3. Навантаження, які діють на металоконструкцію

Металоконструкції сприймають різні типи навантажень, передаючи сили від місць їх прикладання до точок кріплення або опори, при цьому конструкція повинна відповідати вимогам експлуатації. Класифікація навантажень, з огляду на їхній вплив на роботу металоконструкцій, наведена на рис. 2.4.

Залежно від природи походження, існують такі види навантажень: від власної ваги металоконструкції та обладнання; корисні та супутні (від устаткування, людей, вантажів, промислового пилу тощо); атмосферні (від вітрового навантаження, ваги снігу та ожеледиці); монтажні; аварійні; а також температурні (технологічні та кліматичні), сейсмічні та вибухові впливи. Основними характеристиками навантажень є їх нормативні значення, які визначають максимальні значення, що відповідають умовам нормальної експлуатації.

Під час визначення нормативних та розрахункових значень навантажень, які змінюються з часом, можна враховувати термін служби металоконструкції.

Залежно від характеру зміни навантажень у часі, їх поділяють на статичні та динамічні, а також на змінні та багаторазово повторювані навантаження.

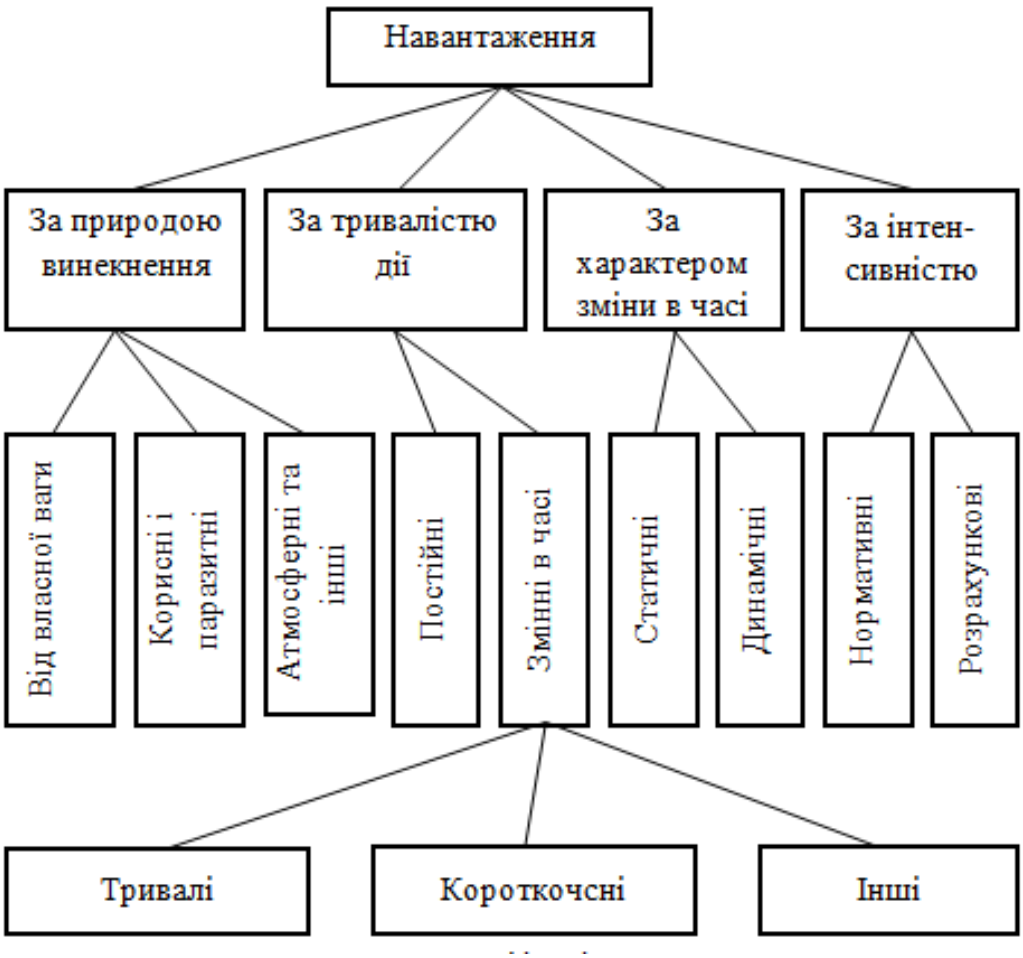


Рисунок 2.4. Види навантажень

До статичних навантажень відносяться ті, інтенсивність, розташування та напрямок яких не змінюються з часом або змінюються настільки повільно, що сили інерції, що виникають, не мають суттєвого впливу на роботу конструкції. Для динамічних навантажень застосовується коефіцієнт динамічності, який становить від 1,1 до 1,2.

Залежно від тривалості дії, навантаження поділяються на постійні та тимчасові. Тимчасові навантаження, у свою чергу, поділяються на тривалі та короткочасні. Для тимчасових навантажень характерним є їхній повний розрахунковий вплив або відсутність впливу в процесі експлуатації конструкції, а також можливість зміни їхнього місця розташування.

Розрахунок конструкцій за граничними станами першої та другої групи слід проводити з урахуванням найгіршого поєднання кількох видів навантажень або відповідних їм зусиль (для перерізів, елементів, конструкцій

та їх з'єднань, або для всієї конструкції). Зменшення ймовірності одночасного перевищення розрахункових значень кількох навантажень порівняно з ймовірністю перевищення розрахункового значення одного навантаження враховується коефіцієнтом дії кількох навантажень у. Постійні навантаження в будь-якому поєднанні приймаються з коефіцієнтом поєднання у = 1.

2.4. Розрахунок навантаженнь, що діють на металоконструкцію

1. *Постійні навантаження* – це вагові навантаження металоконструкції, механізмів пересування крана та кабіни [10, 13].

Розподілені сили від власної ваги в одній балці двобалкового моста та механізмах пересування, визначаються за формулою:

$$q_б = (0,5G_м + G_{мех})k_п / L_к \quad , \tag{2.5}$$

де $0,5G_м$ –вага половини зварного коробчастого моста крана;

$G_{мех}$ – вага механізму руху крана,

$k_п$ – коеф перевантаження.

2. *Рухомі навантаження* – виникають від зусиль, що діють на ходові колеса навантаженого візка крана, що рухається по металевому мосту.

Засилля, яке діє на одне колесо візка під час дії номінального вантажу G

$$F_1 = k_д(G/4 + G_в/4) \quad , \tag{2.6}$$

де $G_в$ – вага візка мостового крана,

$k_д$ – динамічний коеф.

3. *Інерційні навантаження* – діють у горизонтальній площині мостового крана під час різкого гальмування:

$$q_п = (0,5G_м + G_{мех})a_{\max} / gL_к \tag{2.7}$$

Найбільші допустимі прискорення під час різкомуго гальмування визначаються за формулою:

$$a_{\max} \le \varphi g z_п / z \quad , \tag{2.8}$$

де φ – коеф зчеплення коліс із рейками мостового крана;

z_n – к-ть привідних коліс талі крана;

z – загальна к-ть коліс талі крана;

g = 9.81 м/с^2.

зконцентрована інерційна поперечна сила в горизонтальній площині, що виникає від маси кабіни під час різкого гальмування крана.

$$F_{i.к}^{n} = m_{кб} a_{\max} \tag{2.9}$$

Зконцентрована поздовжня і поперечна інерційні сили в горизонтальній площині під час різкого гальмування мостового крана і навантаженого візка:

$$\begin{aligned} F_{i1}^{n} &= (m_{в} + m_{к})0,5a_{\max}; \\ F_{i2}^{пр} &= (m_{в} + m_{к})0,5a_{г} \end{aligned} \tag{2.10}$$

Прискорення візка при пуску і гальмуванні становить $a_в$ = 0,1...0,25 м/с², а під час сталого руху становить $a_в$ = 0,2...0,5 м/с².

Скручувальні моменти виникають від дії вертикальних сил, прикладених ексцентрично, таких як вага механізмів пересування крана, платформ тощо, а також від горизонтальних інерційних сил, прикладених ексцентрично відносно горизонтальної осі, та горизонтальних поперечних сил, викликаних перекосом і прикладених до коліс.

Металоконструкцію мостового крана розраховують для трьох комбінацій сил: I — враховуються постійні та рухомі сили; II — окрім зазначених, враховуються горизонтальні інерційні та робочі вітрові сили; III — включає, крім постійних, монтажні та транспортні навантаження. Металоконструкцію кранів розраховують на міцність за максимальними силами II комбінації, а на опір втомленості — за еквівалентними навантаженнями I комбінації. Для V та VI груп режимів роботи крана металоконструкцію розраховують на опір втомленості.

Головну балку розраховують для найгіршого випадку навантаження — під час одночасного гальмування мостового крана та візка з номінальним вантажем на гаку.

Нормальні напруження в кінцевій балці від дії вертикальних сил:

$$\sigma_в = M_p^{\Sigma} / W_x;$$

від дії горизонтальних сил:

$$\sigma_г = \alpha M_p^{\Sigma} / W_y$$

де W_x, W_y – відповідно моменти опорів перерізів кінцевих балок крана відносно осей *x* і *y*.

Тоді, сумарне напруження:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_в + \sigma_г \qquad (2.11)$$

Дотичні напруження, які виникають в балці:

- діють від розподілених вертикальних сил ваги

$$\tau_1 = F_p^{\Sigma} S / (2\delta I_{mx}) \qquad (2.12)$$

де *S* – момент статичний перерізу кінцевої балки;

I_{mx} – момент інерції перерізу кінцевої балки;

δ – товщина стінка кінцевої балки крана;

F_p – розрахункова поперечна сила, яка виникає від вертикальних навантажень мостового крана;

- напруження які виникають від кручення моментом $M_{кр}$

$$\tau_2 = \sum M_{кр} / (2\delta A), \qquad (2.13)$$

де *A* – площа перерізу кінцевої балки крана.

Даний розглянутий метод розрахунку за допустимими напруженнями не дає повної характеристики несучої здатності конструкції і не дозволяє повністю оцінити її стан при одночасній дії кількох сил. Тому для розрахунку будівельних конструкцій використовують більш точний метод — розрахунок за граничними станами, який базується на статистичному врахуванні умов експлуатації конструкції. Цей метод включає ймовірнісне трактування навантажень та несучої здатності.

Розрізняють два основні граничні стани: 1) за здатністю конструкції витримувати навантаження та обмеження розвитку надмірних пластичних деформацій; 2) за загальними деформаціями та коливаннями, оскільки значні деформації і коливання можуть призвести до втрати працездатності

конструкції. Визначення прогину за другим граничним станом включає порівняння з допустимим значенням.

Розрахунок за першим методом проводиться з метою запобігання досягненню граничного стану під час експлуатації крана протягом його всього строку служби. Найбільші розрахункові сили N, що впливають на елемент конструкції, не повинні перевищувати граничні сили Ф, що забезпечують несучу здатність елементів, тобто $N \leq Ф$. Зусилля N визначають як нормальні сили Рін, які є максимальними силами в робочому стані.

Розрахункове зусилля запишемо формулою:

$$N = \sum \alpha_i P_i^н n_i \qquad (2.14)$$

де α_i – зусилля в елементі за умови $P_i^н = 1$;

n_i – коеф перевантаження кінцевої балки ;

$P_i^н$ – навантаження під час експлуатації, яке враховує вичерпання несучої здатності кінцевої балки.

Розрахункові навантаження та їх комбінації (див. табл. 2.2) вибираються для розрахунків за першим граничним станом. Комбінації навантажень включають: кран, що знаходиться в нерухомому стані, піднімання вантажу з підлоги або його гальмування при опусканні з половинною (Іа) і повною (ІІа) швидкістю; кран, що рухається з вантажем, при нормальному (Ів) та різкому (ІІв) гальмуванні.

Граничне зусилля, що визначає несучу здатність елемента мостового крана:

$$Ф = FRm_к \qquad (2.15)$$

де F – геометричний фактор елемента металоконструкції крана (площа перерізу, момент інерції перерізу, момент опору та інше); $m_к$ – коеф. умов праці; R – опір розрахунковий елемента металоконструкції крана:

$$R = R^н / k_м \qquad (2.16)$$

де $R^н$ – нормативний опір;

$k_м$ – коеф. безпеки за матеріалом металоконструкції крана:

$$m_к = m_1 m_2 m_3 \qquad (2.17)$$

де m_1 = 1,0 - 0,75 – коеф., який враховує важливість елемента металоконструкції крана;

m_2 = 0,9...0,95 — коеф., який враховує відхилення в розмірах металоконструкції крана;

m_3 – коеф., який враховує недосконаліть розрахунків металоконструкції крана.

Таблиця 2.2 – Розрахункові навантаження та їх комбінації

Навантаження	Позначення комбінації навантаження			
	I*a*	I*в*	II*a*	II*в*
Вага елементів крана $G_к$ (включаючи візок) з урахуванням коефіцієнта поштовхів k_n	$n_1 G_к$	$n_1 k_n^1 G_к$	$n_1 G_к$	$n_1 k_n G_к$
Вага вантажу G (включаючи захват) з урахуванням динамічних коефіцієнтів ψ та коефіцієнтів поштовхів k_n	$\psi_1 G$	$k_n^1 G$	$n_2 \psi_{11} G$	$n_2 k_n G$
Горизонтальні сили інерції мас крана (розгін або гальмування одного з механізмів) F_i	-	F_i	-	$n_3 F_i^{max}$

Виконання розрахунків на міцність металоконструкції:

$$\sigma_{II} =\leq m_к R \tag{2.18}$$

на опір втомленості металоконструкції:

$$\sigma_I =\leq 0,9 m_к \sigma^*_{гк} \tag{2.19}$$

де σ_{II} і σ_I – напруження для другого та першого розрахункових випадків;

$m_к$ – коеф. праці металоконструкції;

R – розрахунковий опір металоконструкції;

$\sigma^*_{гк}$ – зменшена границя витривалості металоконструкції внаслідок циклічного перевантаження напруженнями що виникають σ_{II} для z_{II} циклів роботи.

$$\sigma^*_{гк} = \sigma_{гк} \sqrt[m]{1-(\sigma_{II}/\sigma_{гк})^m - z_{II}/N_б} \tag{2.20}$$

($N_б = 2 \times 10^6$ – базова кількість циклів роботи).

За умови $z_{II} < \sigma_{гк}$ перевірку на міцність виконують за зменшеним опором втомленості за формулою:

$$\sigma_I \le 0,9\sigma m_к \sigma_{гк/0} \tag{2.21}$$

За умови $\sigma_{II} < \sigma_{гк}$ на опір на втому не проводять;

За умови $\sigma_I > \sigma_{гк}$ і $\sigma_{II} > \sigma_{гк}$ та $z_I + z_{II} = N < N_б$ проводять перевірку на міцність за обмеженим опором втомленості металоконструкції:

$$\sigma_{зв/0} \le 0,9 m_к \sigma^*_{гк/0} \tag{2.22}$$

де $\sigma_{зв/0}$ –напруження зведені;

$\sigma_{гк/0}$ – обмежена границя витривалості металоконструкції.

Запас за довговічністю експлуатації металоконструкції

$$n_д = (\sigma_{зв/0} / \sigma_{зв})^m = (0,9 m_к \sigma_{гк/0} / \sigma_{зв})^m. \tag{2.23}$$

Для зменшення маси металоконструкцій кранів розроблені методи зниження впливу згинальних моментів.

Послідовність розрахунку кінцевої балки мостового крана проводиться за класичною методикою.

Висновки до розділу

Однією з ключових задач ефективного проектування мостових кранів є вибір оптимальної конструкції кінцевої балки, яка забезпечує необхідну міцність за мінімальної маси та вартості.

Встановлено, що оптимальність металоконструкції кінцевої балки, яка сприймає постійні навантаження, залежить не лише від властивостей матеріалу, а й від параметрів її поперечного перерізу, що гарантують допустимі значення її деформації.

РОЗДІЛ 3.
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЦЕВОЇ БАЛКИ МОСТОВОГО КРАНА

3.1. Мета і програма досліджень кінцевої балки мостового крана

Метою дослідження є визначення прогину кінцевої балки мостового крана за допомогою прикладного програмного забезпечення та порівняння отриманих результатів з експериментальними даними, отриманими за стандартною методикою дослідження згину зразка. Також передбачається оптимізація профілю кінцевої балки мостового крана шляхом комп'ютерного моделювання.

Програма досліджень розроблена відповідно до раніше визначених задач оптимізації профілю кінцевої балки мостового крана і включає наступні етапи досліджень впливу:

- оцінка адекватності методик дослідження результатам натуральних експериментів та комп'ютерного моделювання;
- аналіз впливу геометричних параметрів перерізу кінцевої балки мостового крана на характеристики металоконструкції.

Метою наведених досліджень є:

- розробка нової форми перерізу кінцевої балки мостового крана;
- визначення оптимальних параметрів металоконструкції кінцевої балки мостового крана.

3.2. Дослідження конструкції і форми перерізів кінцевої балки.

Кінцева балка є конструктивним елементом у вигляді стержня (бруса) 1 (див. рис. 3.1), який піддається в основному згинальним напруженням. Згин виникає внаслідок дії зовнішніх поперечних сил, зосереджених від коліс 2

каретки електроталі 3, що піднімає вантаж 4, а також через розподілене навантаження по довжині балки від її власної ваги. Навантажена кінцева балка передає це навантаження на опори, такими як колони, підвіси або стіни.

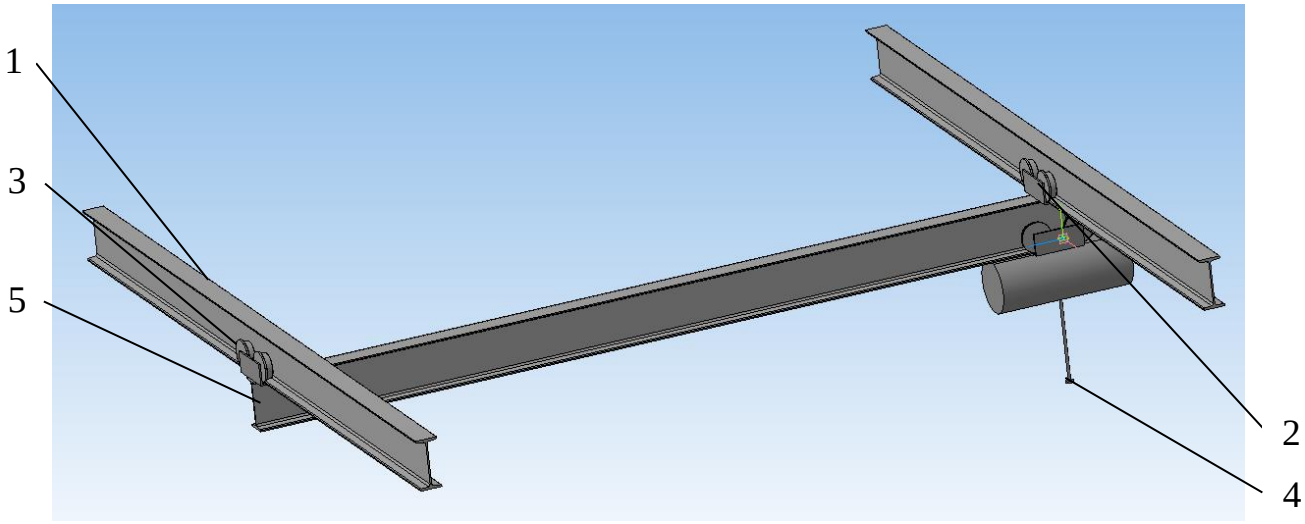


Рисунок. 3.1. - Конструкція остова мостового крана.

1 - кінцева балка; 2 - колеса каретки електроталі; 3 – електроталь; 4 – умовний вантаж, 5 – головна балка.

Згідно з прийнятою класифікацією в опорі матеріалів, існує три типи опор, які повинні бути встановлені на балку для подальшого розрахунку:

- шарнірно-рухома опора, яка обмежує лише переміщення вздовж зв'язку (або перпендикулярно до опорної поверхні). Єдина опорна реакція діє в цьому ж напрямку. Така опора дозволяє переміщення вздовж опорної поверхні та поворот балки відносно закріпленої точки (цей тип опори застосовується для закріплення одного кінця балки).;
- шарнірно-нерухома опора дозволяє лише поворот балки, при цьому реакція цієї опори має дві складові: Rx та Ry (цей тип опори використовується для закріплення другого кінця балки);

- жорстке защемлення повністю виключає можливість переміщень та повороту балки. Цей тип опори застосовується для консольного закріплення балки.

Для виконання розрахунку, аналізу міцності та визначення прогинів кінцевої балки мостового крана потрібно здійснити наступні етапи:

- Створити тривимірну твердотілу модель (3D модель) кінцевої балки мостового крана, на якій буде розміщена електроталь, а також визначені місця для прикладання необхідних навантажень, зокрема площадка для вантажу.

На рис. 3.1, зображена 3D модель досліджуваного остову мостового крана.

- Встановити закріплення по краях кінцевої балки 1 (рис. 3.1).

- Прикласти зусилля, яке буде відповідати переміщуваному вантажу в *H*, на який розраховується досліджувана кінцева балка мостового крана.

- Методом аналізу конструкції потрібно визначити та встановити поверхні, що співпадають, тобто ті, які передаватимуть навантаження від вантажу до конструктивних елементів остову мостового крана, зокрема до кінцевої балки.

- Здійснити генерацію сітки кінцевих елементів (розбиття на n-у кількість елементарних частинок)

- За допомогою ПК виконати необхідні розрахунки на міцність, зокрема статичний розрахунок.

- У карті результатів обираємо відповідний вивід розрахованих даних, в нашому випадку – переміщення, тобто прогин балки під впливом заданого навантаження.

- За допомогою аналізу отриманої карти результатів (рис. 3.2) визначаємо стрілу прогину двотаврової балки *f* під впливом заданого навантаження *Q*.

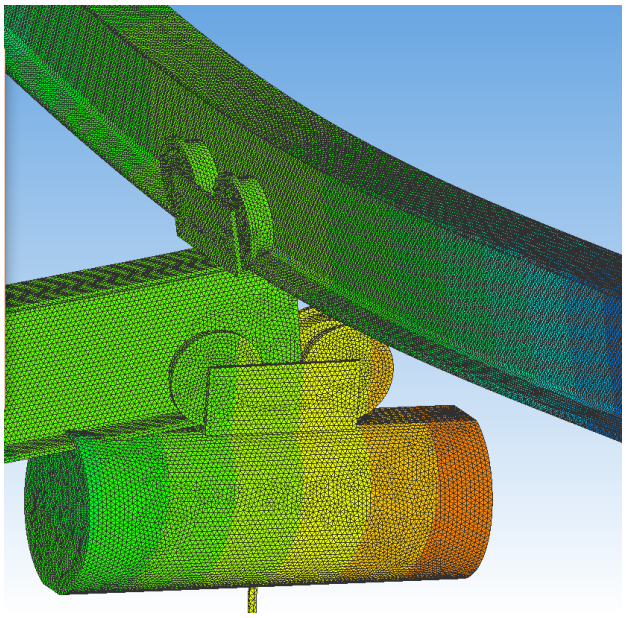


Рисунок 3.2. – Карта результатів прогину кінцевої балки виготовленої з двотавра

Аналізуючи карту результатів прогину кінцевої балки мостового крана, можна зробити висновок, що під дією навантаження вагою Q = 50.0 кН балка деформується на 4.49 мм, тобто її прогин складає f = 4,49 мм. Таким чином, результат розрахунку, виконаний за допомогою програмного комплексу, узгоджується з традиційними математичними розрахунками для балок.

Наступне вазначення прогинів кінцевої балки з запропонованими перерізами проводимо аналогічно.

Прогин балки, звареної з двох швелерів №20В1, показано на рисунку (рис. 3.3).

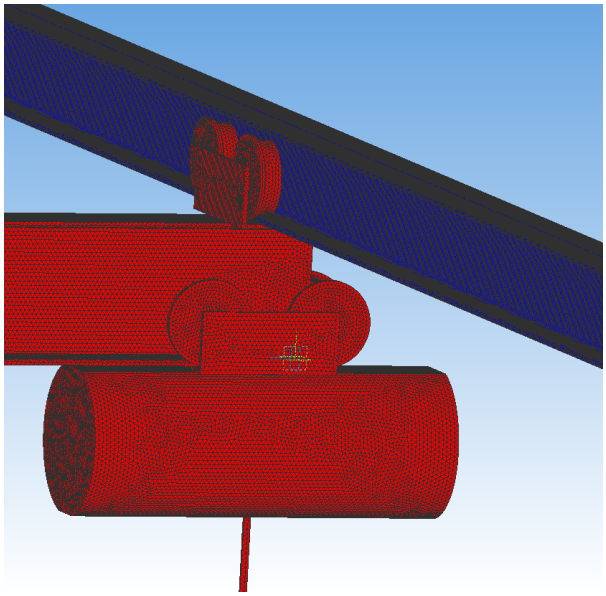


Рисунок. 3.3. – Карта результатів прогину кінцевої балки виготовленої з двох швелерів

Аналіз карти результатів прогину балки, яка складається з двох швелерів і піддається навантаженню 50 кН, показує, що її стріла прогину становить f = 5,13 мм. Прогин цієї балки більший порівняно з двотавровою, оскільки вона має більш складну конструкцію.

Карта прогину балки, звареної з тавра 15ШТ та труби 210×5, представлена на рисунку (рис. 3.4).

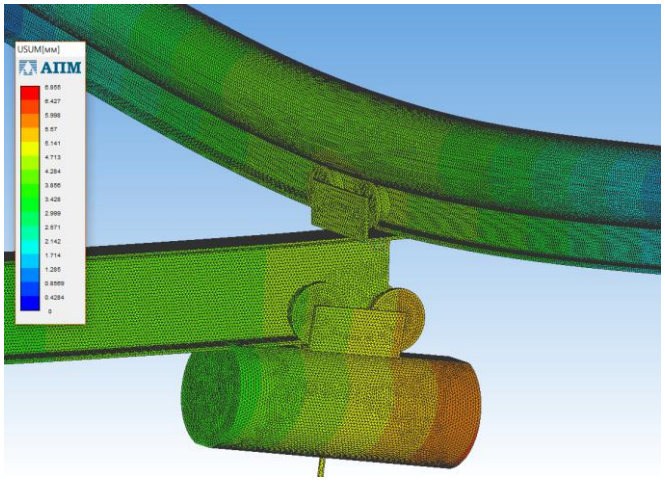


Рисунок 3.4. – Карта прогинів кінцевої балки звареної з тавра 15ШТ і труби 210×5

Карта результатів прогину балки, яка складається з тавра та труби і має навантаження 50 кН, показує, що стріла прогину складає 4,29 мм. Прогин цієї балки менший, ніж у балки з двотавровим перетином і значно менший, ніж у балки, виготовленої з двох швелерів. Водночас, за складністю виготовлення така балка аналогічна конструкції з двох швелерів.

Конструкція з коробчатим перерізом, що складається з листів товщиною 5 мм і двох кутників розміру 50×7, показана на карті результатів прогину (рис. 3.5).

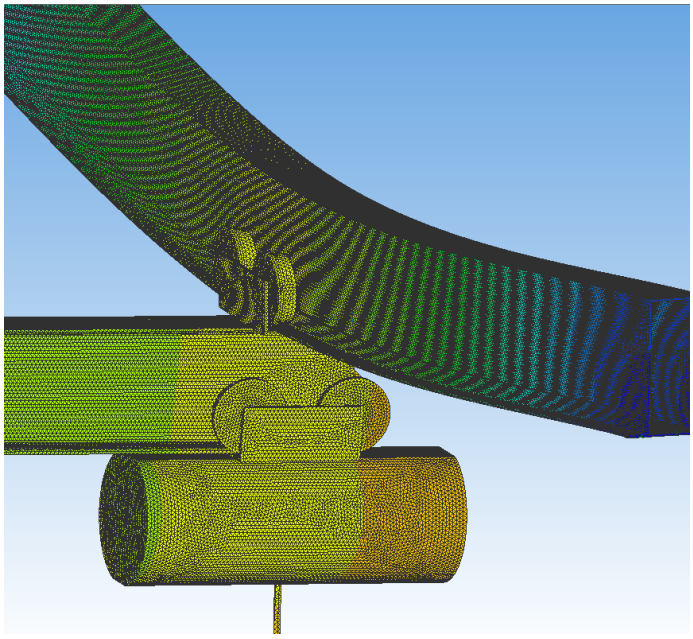
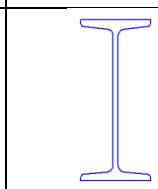
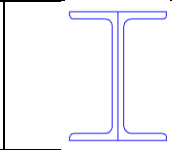
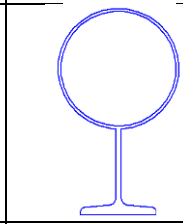
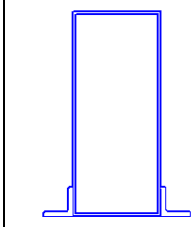


Рисунок 3.5 – Карта прогину кінцевої балки звареної з коробчастим перерізом

Аналіз карти результатів прогину кінцевої балки мостового крана, що складається з листів товщиною 5 мм і двох кутників 50×7 і навантажена 50 кН, показує, що стріла прогину становить 4,24 мм. Прогин коробчастої балки є найменшим серед розглянутих варіантів, але її конструкція є найскладнішою.

Зведені дані розрахунків кінцевих балок мостових кранів з однаковою площею їх перерізу представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Зведені дані розрахунку прогину стріли кінцевих балок мостового крана

№ з/п	Профіль перерізу кінцевої балки	Сортамент з якого виготов-лено балку	Площа перерізу, мм^2.	Момент інерції перерізу балки, I, мм^4.	Момент опору січення балки, W, мм^3	Маса кінц. балки, кг.	Стріла прогину балки, f,мм.
1		30М	6404,8	95124012	633010	250,4	4,49
2		20В1 + 20В1	6583	38529684	382750	257,1	5,13
3		210×5 + 15ШТ1	6514	99953392	466864	252,15	4,29
4		Лист мет 5 + Кутник 50 × 7 + Кутник 50 × 7	6220	106731575	503293	248,54	4,24

На рис. 3.6 представлено графік, що показує залежність стріли прогину балки від форми її перерізу.

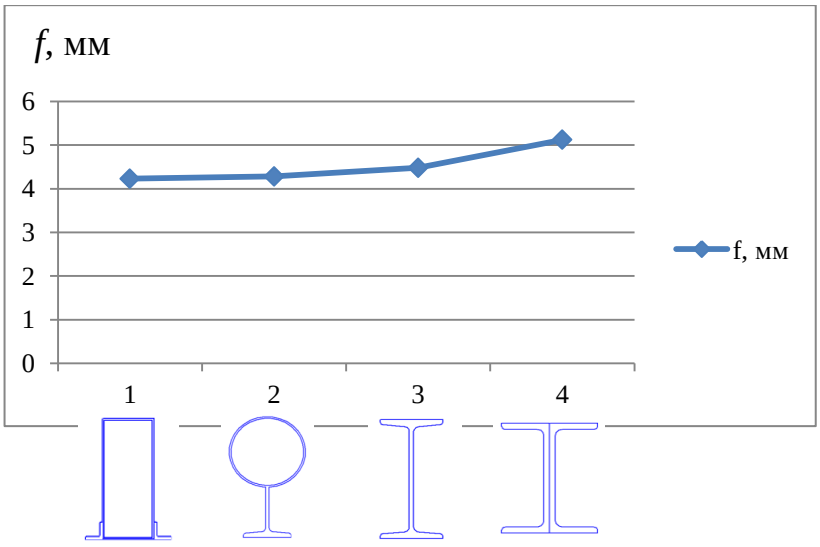


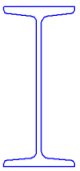
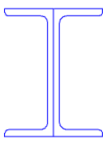
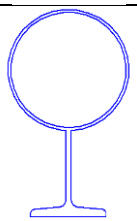
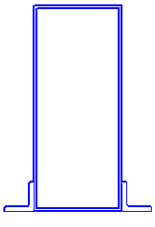
Рисунок 3.6. – Залежність стріли прогину f від форми і розмірів поперечного перерізу кінцевої балки

З графіка залежності стріли прогину кінцевої балки мостового крана від форми поперечного перерізу можна зробити висновок, що балка коробчастого типу має найменшу стрілу прогину, а найбільшу – кінцева балка з двох швелерів.

3.3. Дослідження впливу стріли прогину кінцевої балки на її масу

Припустимо, що базова балка має профіль двотавра № 30М з прогином f=4,49 мм, зображеним на рис. 3.3. Можна зробити висновок, що при однаковій стрілі прогину маса балки може значно змінюватися в залежності від форми поперечного перерізу. У табл. 3.2 наведено узагальнені результати дослідження впливу форми профілю балки на її масу при однаковій стрілі прогину порівняно з базовим профілем двотавра.

Таблиця 3.2 – Узагальнені дані щодо зміни маси основних балок мостових кранів при однаковій стрілі прогину.

№ з/п.	Профіль перерізу балки.	№ сортаменту балки	Маса кінцевої балки, кг.	Різниця маси кінцевих балок, кг.	Різниця маси кінцевих балок, %.
1	2	3	4	5	6
1		30М	251,39	0	0.
2		20В1 + 20В1	385,44	135,05	54,5.
3		210×5 + 15ШТ1	226,7	-23,69	-9,86.
4		Лист 5. + Кут 50 × 7 + Кут 50 × 7	236,81	-12,58.	-5,02.

На графіку (рис. 3.19) показано залежність маси кінцевої балки мостового крана від її профілю. Аналіз даних показує, що при однаковій стрілі прогину кінцева балка з коробчастим перерізом має найменшу масу, а найбільшу масу кінцева балка, виготовлена з двох швелерів.

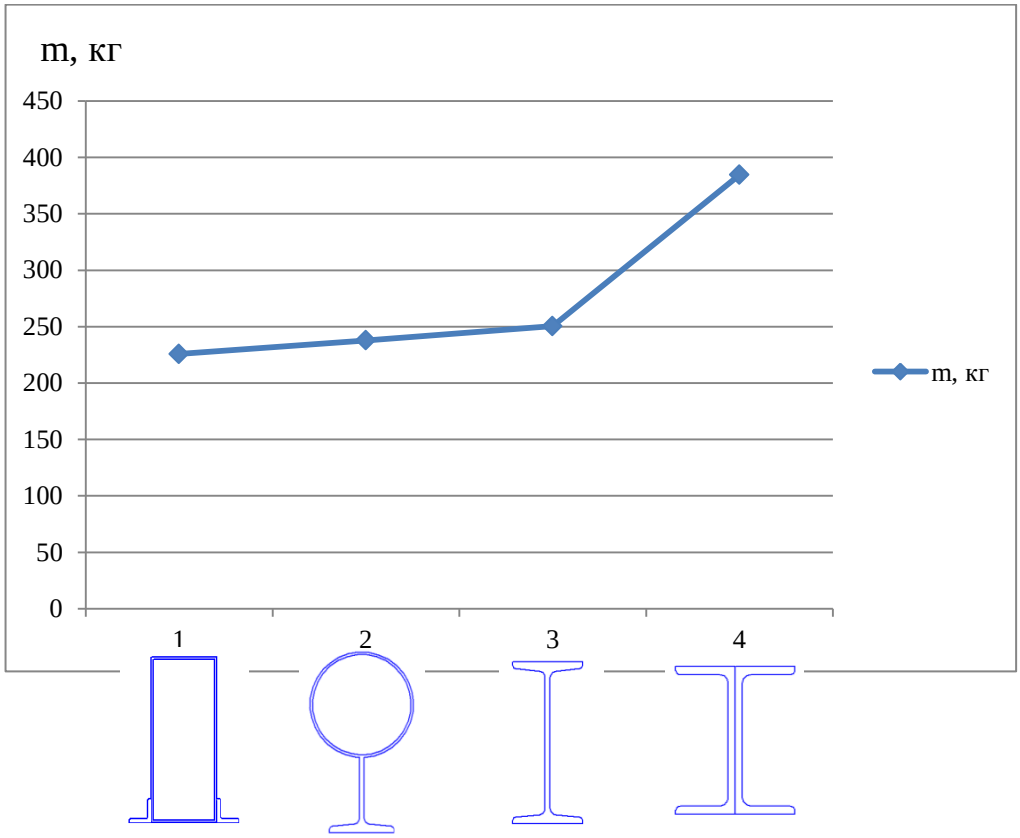


Рисунок 3.7 – Графік залежності маси кінцевої балки від її профілю при прогині $f = 7{,}1$ мм.

Аналіз впливу вартості виготовлення балок досліджуваного профілю буде проведено в розділі, присвяченому техніко-економічній ефективності проекту.

Висновки до розділу

Отримані результати підтверджують, що застосування методів комп'ютерного моделювання для дослідження кінцевої балки мостового крана дозволяє з достатньою точністю відтворити геометричні зміни балки під впливом навантаження. Використана методика розрахунку та дослідження може бути застосована для проектування різних типів навантажених балок, сприяючи оптимізації та підвищенню ефективності процесу проектування.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Структурно функціональний аналіз процесів експлуатації мостового крана

Під час технологічних процесів з використанням мостового крана на оператора діють різноманітні середовища: механічні, електричні,хімічні, теплові, біологічні та інші. Організм людини здатний переносити без наслідків такі дії лише тоді, коли вони не перевищують певних рівнів і тривалості. За межами цих рівнів і тривалості виникає пошкодження організму, яке кваліфікується як нещасний випадок, травма тощо.

Поміж різних чинників виробництва з використанням підйомно-транспортних, дорожніх, будівельних, меліоративних машин та обладнання можуть спричинити певні дії на людину, виділяють шкідливі та небезпечні виробничі чинники. Небезпечний виробничий чинник - це такий, дія якого на працюючих у певних умовах призводить до травми або іншого раптового погіршення здоров'я [24, 25].

Процес транспортування або піднімання вантажу за допомогою мостового крана характеризується певною травмо- та аварійною небезпекою, яка може вплинути на стан здоров’я оператора. Охорона праці на робочому місці оператора - біля мостового крана, значним чином впливає на використання робочого часу і на продуктивність крана загалом. Таким чином, створення безпечних умов праці є одним із шляхів підвищення ефективності виконання технологічного процесу переміщення вантажу.

Групи чинників травмонебезпечних та аварійно небезпечних ситуацій характеризуються тією особливістю, що зумовлюють формування умов та підвищення ймовірності виникнення нещасних випадків на виробництві. Для їх аналізу розглянемо види технологічних операцій, етапів, явищ, подій тощо, що мають місце у процесі переміщення вантажу мостовим краном: технологічні етапи: 1) піднімання вантажу; 2) переміщення вантажу; 3) опускання вантажу;

технологічні операції: 1) зачеплення вантажу; 2) піднімання вантажу; 3) переміщення вантажу; 4) опускання вантажу; 5) відчіплення вантажу.

У процесі робіт з використанням мостового крана можливими травмонебезпечними чинниками є: 1) механічне пошкодження рухомими частинами крана; 2) несправність окремих агрегатів мостового крана; 3) зміна кінематичних і динамічних параметрів роботи мостового крана; 4) невідповідність вимогам техніки безпеки і правилам пожежної безпеки; 5) підвищена запиленість; 6) пожежовибухо небезпека;7) біологічні шкідливі чинники тощо.

4.2. Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки

Процес роботи мостового крана є послідовністю операцій зачеплення, піднімання,переміщення і опускання вантажу. Кожен з цих процесів містить свої небезпечні фактори, які можуть негативно вплинути на життя та здоров’я працівників при недотриманні правил техніки безпеки.

Під час роботи мостового крана виникають такі небезпечні фактори як механічний та враження електричним струмом.

До механічних факторів виникнення небезпечних ситуацій належать машини, механізми і вантаж, що розташовані або переміщаються мостовим краном. До них також відносять електоталь і вантажозахватні пристрої. Небезпечні зони повинні бути недоступні для випадкового попадання в них людей, тобто огороджені та захищені спеціальним захисним обладнанням.

Ураження електричним струмом виникають в результаті несправностей в електричних системах, або під час неправильної експлуатації електричних пристроїв. Для запобігання цьому необхідно вчасно проводити перевірки стану електрообладнання та заземлення.

Опишемо найбільш ймовірні ситуації, які можуть призвести до тяжких наслідків, пов’язаних з травмуванням обслуговуючого персоналу табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича небезпека			Можливі наслід-ки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова НУ	Небезпечна дія НД	Небезпечна ситуація НС		
1	2	3	4	5	6
Експлуатація мостового крана. Блок-схема	$НУ_1$ – мостовий кран не-обладнаний звуковим сигналом переміщення вантажу; $НУ_2$ – несправнийз вуковий сигнал переміщення вантажу. $НУ_1$ → $НУ_2$ →	$НД_1$ – працюючий перебуває в зоні дії мостового крана; $НД_2$ →	НС – падіння вантажу або частин машини на працівника. НС →	Т – травма; А – аварія. Т	Розробка і впровадження захисних пристроїв згідно вимог охорони праці.
Піднімання вантажу Кран мостовий Блок-схема	НУ –гакова підвіска не обладнана механізмом фіксації вантажу НУ →	$НД_1$ – перебування біля гакової підвіски крана; $НД_2$ – обслуговування гакової підвіски крана $НД_1$ → $НД_2$ →	$НС_1$ – попадання оператора в зону переміщення вантажу; $НС_2$ – падіння вантажу. $НС_1$ → $НС_2$ →	Т А Т	Організувати контроль безпеки машини перед роботою; проводити інструктажі з техніки безпеки
Ремонт агрегатів мостового крана	НУ – агрегати необладнані захисними, обгороджую чими пристроями і попереджува льними знаками НУ →	НД – ввімкнення агрегатів в роботу без попередження НД →	НС – нанесення травми оператору або працівнові НС →	Т – Травма. Т	Розробити захисні конструкції, проводити інструктажі з техніки безпеки

В процесі роботи мостового крана можуть виникати травмонебезпечні та аварійні ситуації, аналіз їх дає змогу розробити заходи запобігання.

4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

На сьогодні природно-техногенна безпеки для населення і території зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невпинно зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

Стихійні лиха – це такі явища природи, що викликають екстримальні ситуації, порушують життєдіяльність льдей та роботу об’єктів. Стихійні лиха виникають раптово і носять надзвичайний характер. Вони можуть руйнувати будівлі, споруди, знищують цінності, порушують процес виробництва, з викликом загибелі людей. Стихійні явища, як правило, виникають у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища, в основному, визначаються проявом трьох головних груп факторів - ендогенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів. Стихійні лиха, що мають місце па території України, можна поділити на прості, що включають один елемент, наприклад, сильним вітер, зсув або землетрус, та складні, що включають декілька одночасно діючих процесів однієї групи або кількох груп, наприклад, негативних атмосферних та геодинамічних екзогенних процесів, ендогенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів у поєднанні з техногенними.

До стихійних лих, які можуть відбуватись у регіоні Львівщини, належать: землетруси, пожежі, буревії – сильні вітри, зсуви.

Землетруси - коливання земної кори, що виникають у результаті вибухів у глибині землі, розламів шарів земної кори, активної вулканічної діяльності .Ділянка підземного удару викликає пружні коливання (сейсмічні хвилі),

що поширюються землею у всіх напрямках. Ділянку землі, з якої виходять хвилі землетрусу, називають центром, а розташовану на поверхні землі ділянку – епіцентром землетрусу. У Львові спостерігаються осередки землетрусів з інтенсивністю 3 – 5 балів за шкалою Ріхтера.

В Україні серед стихійних явищ найпоширенішими є сильні дощі, град (зливи). Вони спостерігаються щорічно і поширюються на значні території. В теплий період року сильні дощі супроводжуються градом, що завдає відчутних збитків сільськогосподарським культурам, спричиняє руйнування дахів будівель і споруд. Найчастіше град випадає у гірських районах Криму та Карпат. На рівнинній території України число днів з градом не перевищує двох. У 40% випадків випадання граду спостерігається дрібний інтенсивний град.

Найважливішими характеристиками буревію є швидкість вітру, шлях його руху, розміри та будова, середня тривалість дії. Вітер, швидкість якого більше 29 м/с (12 балів за шкалою Бофорта) є буревієм. Сильні вітри можуть пошкодити лінії зв’язку, електропередач, зруйнувати вікна. Вітер силою 9 – 12 балів, коли швидкість становить 20 – 32 м/с, руйнує старі будівлі, зриває дахи з будівель.

Одним з найнебезпечніших і дуже поширених природних явищ є зсуви. Зсуви властиві Західним областям України. Вони розвинуті на 50% освоєних схилових площин з основними здеформованими горизонтами від глин до суглинків.

Зсуви – це зміщення вниз по схилу під дією сил тяжіння великих грунтових мас, що формують схили гір, річок, озерних та морських терас, ерозійних систем рік та водосховищ. Зсуви можуть бути викликані як природними, так і штучними (антропогенними) причинами. До природних відносяться: збільшення крутизни схилів, підмив їх основи морською або річковою водою, сейсмічні поштовхи та інше. Штучними причинами є: руйнування схилів дорожніми канавами, надмірним виносом ґрунту, вирубкою лісів; неправильним вибором агротехніки для сільськогосподарських угідь на схилах та інше. Згідно з

міжнародною статистикою, до 80% зсувів пов'язані з діяльністю людини (антропогенний фактор).

Також до негативних фізичних чинників належить вібрація. Джерелами вібрації у містах є: трамвайні колії, автомобільний транспорт, будівельна техніка, промислові установки. Неспиятливо впливають на організм людини також і електромагнітні випромінювання промислової частоти 50 герц та частот радіохвильового діапазону. В помешканнях електромагнітні поля створюють: радіоапаратура, телевізори, компютерна техніка, холодильники тощо, що становить певну небезпеку.

Для населення Львівщини значно більшу небезпеку можуть мати хімічно небезпечні об’єкти. Причинами аварій і катастроф на таких об’єктах є: перевищення нормативних запасів сильнодіючих отруєних речовин, порушення правил транспортування і зберігання, невиконання вимог техніки безпеки при роботі з ними. На території Львівщини знаходиться чисельна промислова база, яка забруднює навколишнє середовище. Рівень забруднення атмосфери на Львівщині перевищує середній для України. Джерелом забруднення атмосферного повітря є автотранспорт – 90% викидів, 10% викидів – підприємства.

Згідно із Законом “Про цивільну оборону України” за організацію цивільної оборони на підприємстві відповідає керівництво. Керівництво підприємств повинно забезпечити працівників засобами захисту (індивідуального та колективного), створювати загони для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

У системі цивільної оборони підприємства необхідно забезпечити захист населення таким чином:

– інформування та організація захисту;
– можливість укриття населення у захисних спорудах;
– використання засобів індивідуального і медичного захисту;
– будівництво захисних споруд, насадження лісосмуг.

Основні положення Женевської конвенції щодо захисту жертв війни та додаткових протоколів до неї, можливого характеру воєнних дій, реальних можливостей держави щодо створення матеріальної бази захисту. З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій потрібно проводити спеціальні комплекси заходів.

Висновки до розділу

1. Під час завантажувально-розвантажувальних операцій з використанням мостових кранів є досить висока ймовірність виникнення ситуацій які можуть вплинути на стан здоров’я виконавця робіт. Охорона праці на робочому місці оператора мостового крана, значним чином впливає на використання робочого часу і на продуктивність крана загалом.

2. Використано методики оцінки рівня небезпеки робочих місць крана, виробничих процесів та окремих виробництв,які дали змогу об’єктивно оцінити рівень небезпеки для конкретного об’єкта. Такі показники ймовірності виникнення аварії (травма), травми залежно від виникнення базових подій.

3. На сьогоднішні виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невпинно зростає, тому розроблено схему дії, що характеризує виникнення надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Модернізація існуючих засобів вимагає порівняно невеликих капіталовкладень, приносить відчутний економічний ефект при знижені маси машини за аналогічних міцнісних характеристик. Вдосконалення конструкції головної балки мостового крана для завантажувально-розвантажувальних операцій шляхом зміни форми перерізу дозволить зменшити масу балки, а також навантаження на елементи конструкції крана і будівлі в якій він розташований [1].

Економічну ефективність розробленого профілю головної балки мостового крана проведемо:

- оцінку технічного рівня та конкурентоспроможності розробленого профілю балки за комплексними показниками конкурентоспроможності;
- оцінку економічної ефективності виготовлення даного профілю балки.

Розрахунок проведемо на прикладі балки коробчастого перерізу, як такої що вимагає великої кількості монтажних робіт.

Економічна ефективність при модернізації профілю головної балки мостового крана.

Капіталовкладення визначаються по формулі:

$$К_в = К_м + К_{ел} \qquad (5.1)$$

де $К_м$ – вартість матеріалів для виготовлення балки, грн.;

$К_{ел}$ – вартість затраченої енергії на виробництво балки, грн.

Орієнтовно капіталовкладення на виготовлення балки складуть:

для балки з двотавра (базової):

$$К_{в0} = 2067,84 + 0 = 2067,84 \ грн.$$

для балки з листової сталі і двох кутників:

$$К_{в1} = 2128,43 + 1,30 = 2129,73 \ грн.$$

для балки з двох швелерів:

$$К_{в2} = 3204,13 + 1,30 = 3205,43 \ грн.$$

для балки з тавра і труби:

$$К_{вз} = 1896,11 + 0,48 = 1896,59 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1

Вартість матеріалів на виготовлення балки коробчастого перерізу (з листа і двох кутників)

№ п/п	Назва основних матеріалів, напів фабрикатів і витратних матеріалів	Одиниці вимірювання	Норма витрат на 1 виріб (одиниці вимірювання)	Ціна за, одиницю вимірювання грн.	Вартість осн. матеріалів, і комплектуючих з урахуванням транспортних витрат.
1	Металопрокат	тони	0,23781	8000	1902,48
2	Електроди	кг	5,4	15,4	83,16
3	Ацетилен	$м^3$	0,27	77,4	20,9
4	Кисень	$м^3$	6,75	8,87	59,9
	Разом за розрахунком матеріалів				2066,44
	Вартість транспортно-заготівельних витрат складає 3% від вартості матеріалів.				61,99
	Вартість матеріалів на виготовлення балки $К_м$				2128,43

Таблиця 5.2

Вартість матеріалів на виготовлення балки з двох швелерів

№ п/п	Назва основних матеріалів, напів фабрикатів і витратних матеріалів	Одиниці вимірювання	Норма витрат на 1 виріб (одиниці вимірювання)	Ціна за, одиницю вимірювання грн.	Вартість осн. матеріалів, і комплектуючих з урахуванням транспортних витрат.
1	Металопрокат	тони	0,38444	8000	3075,52
2	Електроди	кг	2	15,4	30,8
3	Ацетилен	$м^3$	0,015	77,4	1,16
4	Кисень	$м^3$	0,375	8,87	3,33
	Разом за розрахунком матеріалів				3110,81
	Вартість транспортно-заготівельних витрат складає 3% від вартості матеріалів.				93,32
	Вартість матеріалів на виготовлення балки $К_м$				3204,13

Таблиця 5.3

Вартість матеріалів на виготовлення балки тавра і труби

№ п/п	Назва основних матеріалів, напів фабрикатів і витратних матеріалів	Одиниці вимірювання	Норма витрат на 1 виріб (одиниці вимірювання)	Ціна за, одиницю вимірювання грн.	Вартість осн. матеріалів, і комплектуючих з урахуванням транспортних витрат.
1	Металопрокат	тони	0,2257	8000	1805,6
2	Електроди	кг	2	15,4	30,8
3	Ацетилен	$м^3$	0,015	77,4	1,16
4	Кисень	$м^3$	0,375	8,87	3,33
	Разом за розрахунком матеріалів				1840,89
	Вартість транспортно-заготівельних витрат складає 3% від вартості матеріалів.				55,22
	Вартість матеріалів на виготовлення балки $К_м$				1896,11

Таблиця 5.4

Вартість матеріалів на виготовлення балки з двотавра

№ п/п	Назва основних матеріалів, напів фабрикатів і витратних матеріалів	Одиниці вимірювання	Норма витрат на 1 виріб (одиниці вимірювання)	Ціна за, одиницю вимірювання грн.	Вартість осн. матеріалів, і комплектуючих з урахуванням транспортних витрат.
1	Металопрокат	тони	0,25039	8000	2003,12
2	Ацетилен	$м^3$	0,015	77,4	1,16
3	Кисень	$м^3$	0,375	8,87	3,33
	Разом за розрахунком матеріалів				2007,61
	Вартість транспортно-заготівельних витрат складає 3% від вартості матеріалів.				60,23
	Вартість матеріалів на виготовлення балки $К_м$				2067,84

Грошові витрати на електроенергію:

$$К_{ел}=М_м\,(G_{ел}/П)\,В_{ен} \qquad (5.2)$$

де $М_м$ – використання потужності зварювальним апаратом, кВт/год, (3 кВт/год);

$m_{ел}$ – маса електродів на виготовлення балки, кг;

$П$ – продуктивність зварювання, кг/год, (5 кг/год);

$В_{ен}$ – вартість 1кВт електроенергії для виробництва, приймаємо 0,40 грн.

В результаті модернізації балки з різними перерізами отримаємо,

Для балки з двотавра (базової):

$$K_{ел0} = 0 \text{ грн.}$$

Для балки з листової сталі і двох кутників:

$$K_{ел1} = 3 \cdot (5,4/5) \cdot 0,4 = 1,30 \text{ грн.}$$

Для балки з двох швелерів:

$$K_{ел2} = 3 \cdot (2/5) \cdot 0,4 = 0,48 \text{ грн.}$$

Для балки з тавра і труби:

$$K_{ел3} = 3 \cdot (2/5) \cdot 0,4 = 0,48 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці персоналу:

$$З_{опп} = T_{ст} (K_{зм,зв} + K_{зм,різ}) \quad (5.3)$$

де $\boldsymbol{T_{ст}}$ – вартість погонного метра зварного шва і порізу, приймаємо 16 грн.;

$\boldsymbol{K_{зм,зв}}$, $\boldsymbol{K_{зм,різ}}$ – довжина погонних метрів зварного шва і різки металу, год.

Для балки з двотавра (базової):

$$з_{оп0} = 16 \cdot (0 + 1,5) = 24 \text{ грн.}$$

Тоді для конструкції з листової сталі і кутників:

$$з_{оп1} = 16 \cdot (30 + 28) = 928 \text{ грн.}$$

Тоді для конструкції з двох швелерів:

$$з_{оп2} = 16 \cdot (10 + 1,5) = 184 \text{ грн.}$$

Тоді для конструкції з тавра і труби:

$$з_{оп3} = 16 \cdot (10 + 1,5) = 184 \text{ грн.}$$

Економічний ефект в порівнянні з базовою двотавровою балкою:

$$\boldsymbol{E = (K_{в0} - K_{вп}) + (З_{оп0} - З_{опп})} \quad (5.4)$$

Тоді для конструкції з листової сталі і кутників:

$\boldsymbol{E_1}$ = (2067,84-2129,73) + (36 –928) = -953,89 ***грн.***

Для конструкції з двох швелерів:

$\boldsymbol{E_2}$ = (2067,84-3205,43) + (36 –184) = -1285,59 ***грн.***

Тоді для конструкції з тавра і труби:

$\boldsymbol{E_З}$ = (2067,84-1896,59) + (24 –184) = 11,25 ***грн.***

Витрати на виробництво балки обчислимо за формулою:

$$З_{вп} = К_{вп} + З_{опп}, \text{ грн.} \qquad (5.5)$$

Для балки з двотавра (базової):

$$З_{в0} = 2067,84 + 24 = 2091,84 \text{ грн.}$$

Тоді для конструкції з листової сталі і кутників:

$$З_{в1} = 2129,73 + 928 = 3057,73 \text{ грн.}$$

Для балки з двох швелерів:

$$З_{в2} = 3205,43 + 184 = 3389,43 \text{ грн.}$$

Для балки з тавра і труби:

$$З_{в3} = 1896,59 + 184 = 2080,59 \text{ грн.}$$

Енергоємність виробництва балки $Е_{уд}$, кВт год/кг, визначимо за формулою

$$E_{удп} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{E_{ел}}}{\boldsymbol{m}}, \qquad (5.6)$$

де $\sum_{i=1}^{n}$ Е - споживана електроенергія на виробництво балки, кВт/год,

m – маса балки, т.

Споживану енергію $\sum_{i=1}^{n}$ Е, кВт/год, визначаємо за формулою:

$$E_{елп} = M_м (G_{ел} / П) \qquad (5.7)$$

Для балки з двотавра (базової балки):

$$E_{ел0} = 0 \text{ грн.}$$

Для балки з листової сталі і двох кутників:

$$E_{ел1} = 3 \cdot (5,4/5) = 3,24 \text{ грн.}$$

Для балки з двох швелерів:

$$E_{ел2} = 3 \cdot (2/5) = 1,2 \text{ грн.}$$

Для балки з тавра і труби:

$$E_{ел3} = 3 \cdot (2/5) = 1,2 \text{ грн.}$$

Відповідно, енергоємність для двотавра (базової балки):

$$E_{уд.0} = \frac{0}{0,25039} = 0 \quad \text{кВт год/т,}$$

для балки з листової сталі і двох кутників:

$$E_{уд.1} = \frac{3,24}{0,23781} = 13,62 \text{ кВт год/т,}$$

для балки з двох швелерів:

$$E_{уд.2} = \frac{1,2}{0,38444} = 3,12 \text{ кВт год/т,}$$

для балки з тавра і труби:

$$E_{уд.3} = \frac{1,2}{0,2257} = 5,32 \text{ кВт год/т.}$$

Показник трудомісткості виробництва балки $T_{уд}$, люд·год/т, визначиться по формулі:

$$T_{удп} = \frac{\sum_{i=1}^{n} T_n}{m} \tag{5.8}$$

де $\sum_{i=1}^{n} T_n$ - витрати праці, люд·год.

Витрати праці $\sum_{i=1}^{n} T_n$, люд·год, визначаться за формулою:

$$\sum_{i=1}^{n} T_n = n\ (K_{зм,зв} + K_{зм,різ})/\upsilon_{зв,різ}, \tag{5.9}$$

де n - кількість робітників, люд.

$\upsilon_{зв,різ}$ – швидкість зварювання і різання, м/год, ($\upsilon_{зв,різ}$=24 м/год).

Для балки з двотавра (базової):

$$\sum_{i=1}^{n} T_0 = 1\ (0 + 1,5\ )/24 = 0,0625 \text{ люд·год,}$$

$$T_{уд0} = \frac{0,0625}{0,25039} = 0,25 \text{ люд·год/т,}$$

для конструкції з листової сталі і кутників:

$$\sum_{i=1}^{n} T_1 = 1\ (30 + 28\ )/24 = 2{,}42 \text{ люд·год},$$

$$T_{уд1} = \frac{2{,}42}{0{,}23781} = 10{,}176 \text{ люд·год/т},$$

для конструкції з двох швелерів:

$$\sum_{i=1}^{n} T_2 = 1\ (10 + 1{,}5\ )/24 = 0{,}48 \text{ люд·год},$$

$$T_{уд2} = \frac{0{,}48}{0{,}38444} = 1{,}249 \text{ люд·год/т},$$

для конструкції з тавра і труби:

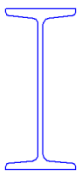
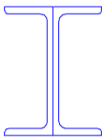
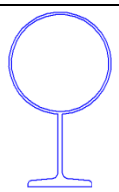
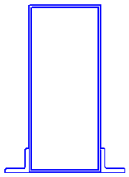
$$\sum_{i=1}^{n} T_3 = 1\ (10 + 1{,}5\ )/24 = 0{,}48 \text{ люд·год},$$

$$T_{уд3} = \frac{0{,}48}{0{,}2257} = 2{,}127 \text{ люд·год/т},$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.5

Економічна ефективність модернізації балки

Показники	Форма перерізу профілю			
				
Вантажопідйомність балки, *кН*	50	50	50	50
Трудомісткість, люд · год./т	0,25	1,249	2,127	10,176
Енергоємність виробництва, кВт · год./т	0	3,12	5,32	13,26
Витрати на матеріали, грн.	2067,84	3204,13	1840,89	2128,43
Економічний ефект, грн.	0	-1285,59	11,25	-953,89
Затрати на виробництво балки, грн.	2091,84	3389,43	2080,59	3057,73

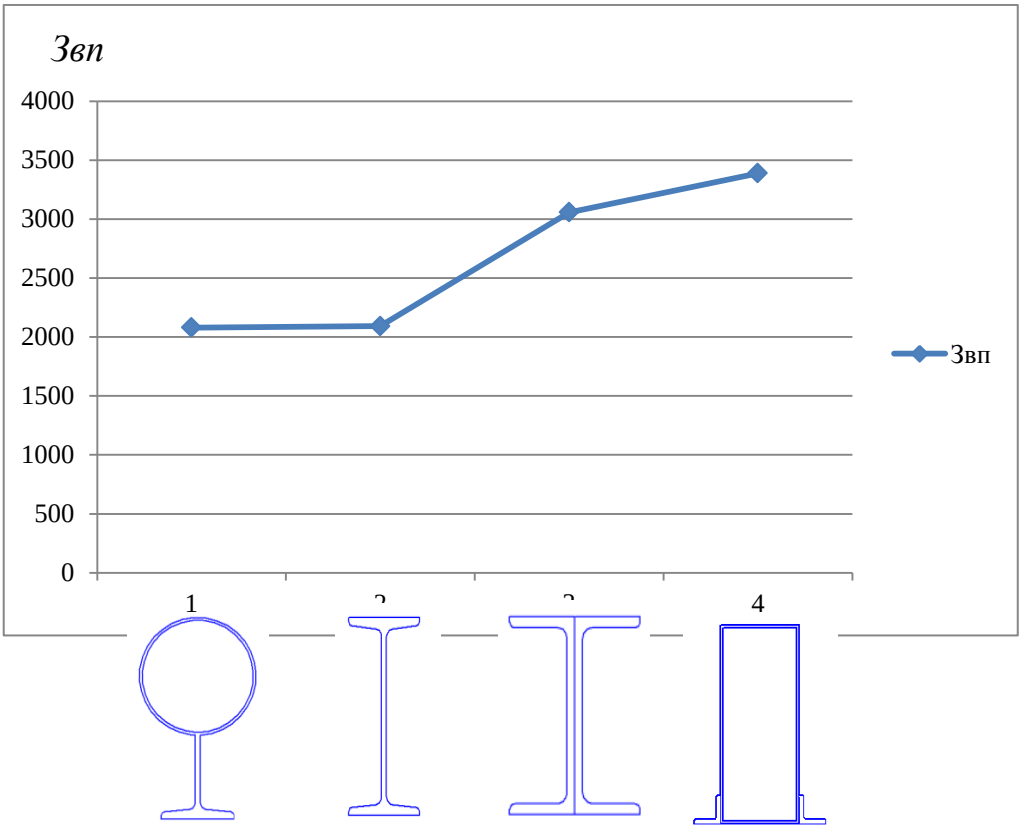


Рис. 5.1. Графік залежності вартості балки від форми поперечного перерізу.

З графіка (рис. 5.1.) робимо висновок, що найбільш економічно вигідний, за однакової маси, профіль головної балки мостового крана, виконаний з тавра і труби. Двотавр менш економічно вигідний, оскільки його маса більша за балку виконану з тавра і труби. Балку з листа і двох кутників економічно недоцільно виготовляти для кранів малої металоємності. Балка виконана з двох швелерів має велику масу, даний профіль без конструктивного обґрунтування також недоцільно застосовувати для головних підвісних балок мостового крана.

Висновки до розділу

Економічна оцінка конструкторської розробки форми перерізу головної балки мостового крана, показали що оптимально економічно вигідним є переріз з труби і тавра, оскільки економічний ефект від виробництва склав 11,25 грн. на одну балку.

ВИСНОВКИ

Аналіз стану питання проектування кінцевих балок мостових кранів вимагає впровадження сучасних технологій на етапі конструювання, що забезпечить точність розрахунків для створення надійних конструкцій та оптимальної конструктивної схеми остова металоконструкції крана.

Однією з ключових задач ефективного проектування мостових кранів є вибір оптимальної конструкції кінцевої балки, яка забезпечує необхідну міцність за мінімальної маси та вартості.

Встановлено, що оптимальність металоконструкції кінцевої балки, яка сприймає постійні навантаження, залежить не лише від властивостей матеріалу, а й від параметрів її поперечного перерізу, що гарантують допустимі значення її деформації.Отримані результати підтверджують, що застосування методів комп'ютерного моделювання для дослідження кінцевої балки мостового крана дозволяє з достатньою точністю відтворити геометричні зміни балки під впливом навантаження. Використана методика розрахунку та дослідження може бути застосована для проектування різних типів навантажених балок, сприяючи оптимізації та підвищенню ефективності процесу проектування.

У роботі розроблено основні організаційні заходи з охорони праці для оператора мостового крана. За допомогою методу побудови "дерева" відмов і помилок операторів проведено математичну обробку моделі ймовірностей виникнення таких випадкових подій, як аварії, травми, катастрофи та інших небезпечних ситуацій.

Комплексна оцінка економічної ефективності використання кінцевих балок показала, що найекономічнішим є профіль кінцевої балки мостового крана, виготовлений з тавра та труби, при однаковій масі. Двотавр є менш економічно вигідним через більшу масу порівняно з балкою, виконаною з тавра і труби. Використання балки з листа і двох кутників є економічно недоцільним для кранів з малою металоємністю. Кінцева балка, виготовлена з двох швелерів,

має велику масу, і без конструктивного обґрунтування такий профіль також не доцільно застосовувати для кінцевих балок мостового крана.

Бібліографічний список

1. Бондарєв В.С. та ін. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підіймальних і транспортувальних машин.- К.: Вища школа, 2009.-734с.

2. Булей І. А. Проектування підприємств з виробництва і ремонту сільськогосподарських машин. – К.: Вища школа, 1993. – 288с.

3. Бутко Д.А., Лущенков В.Л., Лехман С.Д. Практикум з охорони праці. – К.: Урожай, 1995. – 144 с.

4. Гряник Т.М. та ін. Охорона праці. – К.: Урожай, 1997. – 272 с.

5. ДБН В.2.6–198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. – К.: Мінрегіон України, 2014.

6. ДБН В.1.2–2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінрегіон України, 2014.

7. ДБН В.1.2–14–2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіон України, 2009.

8. Депутат О. П., Коваленко І. В., Мужик І. С. Цивільна оборона. – Львів. : Афіша, 2001. – 236 с.

9. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. – К.: Вища школа, 1993.- 413 с.

10. Клименко Ф. Є. Металеві конструкції: навч. підруч. / Ф. Є. Клименко, В. М. Барабаш, Л. І.Стороженко. — Львів: Світ, 2002. — 311 с.

11. Коруняк П.С., Баранович С.М. Підйомно-траспортні машини. Лабораторний практикум- ЛНАУ, 2005.

12. Маслак О. І. Економіка промислового підприємства навч. посіб. / О. І. Маслак, Л. Д. Воробйова. — К. : ЦУЛ, 2016. — 172 с.

13. Металеві конструкції: підруч. / В. О. Пермяков, О. О. Нілов, О. В. Шимановський та ін.; за заг. ред. В. О. Пермякова та О. В. Шимановського. — К.: Сталь, 2008. — 812 с.

14. Опір матеріалів: Навч. посіб. для студентів ВНЗ. Рекомендовано МОН / Шваб'юк В. І. — К., 2009. — 380 с.

15. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.

16. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / В. В. Попович, В. В. Попович. — Львів: Світ, 2006. — 624 с.

17. Правила пожежної безпеки в Україні / Укр. НДІПБ МВС України. – Київ: “Укрархбудінформ”, 1995. – 197 с.

18. Теоретична механіка: Навчальний посібник / Цасюк В. В. — К.: ЦУЛ, 2004. — 402 с.

19. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.; За ред. М. А. Сологуба. — 2-ге вид., перероб. і допов. — К.: Вища школа, 2002. — 374 с.

20. Основи методології та організації наукових досліджень : навч. Посібник для студентів, курсантів, аспірантів і ад’ютантів ; за ред.. А. Є. Конверського. – К. : Центр учбової літератури, 2010. – 352 с.

21. Стукалець І. Г. Основи інженерного аналізу технічних об’єктів. Курс лекцій для студентів інженерних спеціальностей. Львів : ЛНУП, 2022. – 109 с.

22. R. C. Hibbeler. Mechanics of Materials 9th Edition. — Published by Pearson Prentice Hall, 2014.