

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Оптимізація параметрів профілю балки мостового крана»

Виконав: студент VI курсу групи Маш-62

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

Андрій ПРОЦЬ
(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.

“28” квітня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Процю Андрію Юрійовичу

1. Тема роботи: «Оптимізація параметрів профілю балки мостового крана»

Керівник роботи: Баранович Сергій Миколайович, к.т.н., в.о. доцента

Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 15.01.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Огляд конструкцій кранів;

2. Теоретичні положення проектування металевих конструкцій машин;

3. Дослідження прогину головної балки мостового крана залежно від геометрії профілю;

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях;

5. Техніко-економічна оцінка виготовлення балки мостового кран з різних профілів;

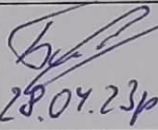
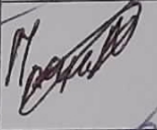
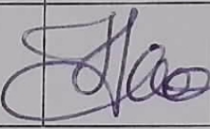
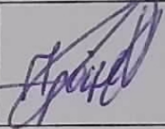
Висновки і пропозиції;

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., в.о. доц. кафедри машинобудування	 28.04.23р		Вик
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри УПБВ			Вик

7. Дата видачі завдання: 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

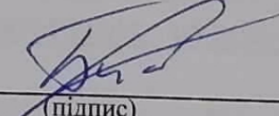
№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Виконання розділу: «Огляд конструкцій кранів»	28.04.23- 15.06.23	Вик
2.	Виконання другого розділу: «Теоретичні положення проектування металевих конструкцій машин»	16.06.23- 15.08.23	Вик
3.	Виконання розділу: «Дослідження прогину головної балки мостового крана залежно від геометрії профілю»	16.08.23- 08.11.23	Вик
4.	Виконання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	09.11.23- 11.12.23	Вик
5.	Виконання розділу: «Техніко-економічна оцінка виготовлення балки мостового кран з різних профілів»	12.12.23- 3.01.24	Вик
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому	4.01.24- 15.01.24	Вик

Студент


(підпис)

Андрій ПРОЦЬ

Керівник роботи


(підпис)

Сергій БАРАНОВИЧ

Оптимізація параметрів профілю балки мостового крана.

Проць Андрій Юрійович – Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 73с. текст. част., 31 рис., 9 табл., 22 джерела.

У даній кваліфікаційній роботі проаналізовано літературні джерела та здійснено огляд існуючих мостових кранів, які застосовуються для завантажувально-розвантажувальних робіт на різних етапах виробництва. Наведено металокопструкції і принцип їх розрахунку.

Проведені дослідження з допомогою ПК для встановлення залежності впливу перерізу балки мостового крана на стрілу прогину і масу металокопструкції.

В розділі охорони праці проаналізовано аварійні і травматичні ситуації, які можуть виникнути експлуатації мостового крана. Розглянуто заходи щодо захисту населення в надзвичайних ситуаціях.

В економічній частині даної роботи було проведено оцінку розробки металокопструкції балки мостового крана щодо витрати на виробництво, прибуток від виробництва даної балки з запропонованим перерізом і економічний ефект від модернізації профілю металокопструкції.

ЗМІСТ

	ст.
Вступ	7
РОЗДІЛ 1. Огляд конструкцій кранів прольотного типу	9
Загальні відомості та область застосування	
1.1 вантажопідіймальних кранів прольотного типу. Мостові крани.	9
1.2 Мостові крани спеціального призначення	18
1.3 Основні характеристики геометрії перерізів	20
1.4 Сортамент прокату який використовується для виготовлення балок мостових кранів	24
Висновки до розділу	28
Розділ 2. Теоретичні положення проектування металевих конструкцій машин	30
2.1 Характеристики металевих конструкцій	30
2.2 Вимоги до геометричних форм профілів металевих конструкцій	33
2.3 Методика розрахунку балок металевих конструкцій	37
2.4 Умови граничних станів для розрахунку балки	41
2.5 Алгоритм розрахунку балки крана	41
Висновки по розділу	44
Розділ 3. Дослідження прогину головної балки мостового крана залежно від геометрії профілю	45
3.1 Мета та програма експериментальних досліджень балки мостового крана	45
3.2 Основні характеристики навантажень і закріплень балки мостового крана	45
3.3 Послідовність розрахунку балки мостового крана шляхом аналізу міцності на персональному комп'ютері	46
3.4 Розрахунок прогинів балок мостового крана з	

запропонованими їх геометричними перерізами	49
3.5 Вплив стріли прогину балки мостового крана на масу конструкції	53
Висновки по розділу	56
Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	57
4.1 Обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних ситуацій під час експлуатації мостового крана	57
4.2 Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки	58
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	60
Висновки до розділу	63
Розділ 5. Техніко–економічна оцінка виготовлення балки мостового кран з різних профілів	64
Висновки по розділу	69
Висновки і пропозиції	70
Бібліографічний список	72

ВСТУП

В умовах ринкової економіки та зростання конкуренції важливе значення набуває ефективність машинобудівного виробництва. Підприємства стають перед завданням підвищення якості своєї продукції, скорочення термінів виготовлення та оптимізації вартості технічної підготовки, при цьому задовольняючи вимоги споживачів. Використання систем автоматизованого проектування (САПР) дозволяє вирішити ці виклики та зменшити витрати на проектні роботи.

Сучасні виробничі лінії і системи автоматизації включають в себе різноманітні технологічні процеси та механізми для забезпечення ефективного функціонування. Однією з ключових складових є використання різноманітних вантажопідіймальних машин і механізмів для здійснення транспортування між різними цехами та всередині цехів, а також для виконання операцій з завантаження та розвантаження. Мостові крани є невід'ємною частиною цього процесу, часто застосовуються при монтажних роботах та в різних виробничих галузях, таких як машинобудівний, металургійний, складальний, ремонтний, а також в залізничних і транспортних депо.

З урахуванням широкого спектру умов виробництва і великої потреби у використанні мостових кранів, важливим стає їх проектування з урахуванням різних технічних характеристик, таких як вантажопідйомність, прольот, розміри зони обслуговування, режим роботи та інші параметри.

Тенденції у розвитку кранів включають збільшення виробництва кранів великої вантажопідйомності та зменшення виробництва кранів малої вантажопідйомності. Також відзначається розширення використання гідравлічного та спеціалізованого електроприводу. Важливим напрямком є застосування кранів-маніпуляторів для виконання різноманітних будівельних робіт, таких як завантаження, розвантаження та монтаж.

На сучасному етапі розвитку економіки основну роль у всіх галузях господарства відіграє машинобудування. Нові технологічні рішення у цій галузі сприяють інтенсифікації виробничих процесів, що призводить до значного

зростання продуктивності праці. У досягненні цієї мети важливо не лише модернізувати існуючі моделі, які вже застосовуються у світовій практиці, але й акцентувати увагу на розробці абсолютно нових машин, що ґрунтуються на передових досягненнях техніки.

Скорочення термінів проектування кранів та підвищення якості та ефективності їхнього розроблення можливі завдяки автоматизації проектного процесу. Це дозволяє покращити техніко-економічний рівень на етапі проектування, збільшити продуктивність праці та звільнити конструкторів від виконання рутинних завдань при аналізі різних конструктивних рішень.

Сучасний підхід до автоматизації проектування кранів активно використовує інтегровані САПР (CAD/CAM/CAE), які спрямовані на розробку виробів машинобудування різної складності. Однак жодна із існуючих систем не забезпечена повним набором компонентів, необхідних для вирішення всіх завдань автоматизації проектування кранів.

Однією з ключових проблем, які визначають надійність експлуатації мостових кранів, є підвищення витривалості конструкції їх балок. Маса балок становить близько 30% від загальної маси каркаса крана, проте їхній термін служби значно менший порівняно з іншими несучими елементами конструкції. Основним викликом для балок є потреба ефективно впоратися з динамічними навантаженнями під час роботи.

Тривалість експлуатації балки мостового крана та її компонентів визначається кількістю циклів та інтенсивністю динамічних локальних навантажень, що діють на неї. У балках найчастіше виникають втомні тріщини, що не відповідає стандартам безпеки. Мостові крани на виробництві працюють у найбільш напруженому режимі, виконуючи тривимірні операції та піднімаючи вантажі, близькі до номінальної маси. Динамічний вплив від коліс візків досягає екстремальних значень як за розміром, так і за частотою.

РОЗДІЛ 1

Огляд конструкцій кранів прольотного типу

1.1. Загальні відомості та область застосування вантажопідіймальних кранів прольотного типу. Мостові крани.

Кранівні мости широко використовуються на складах промислових підприємств, в транспорті та будівництві для виконання різних операцій, включаючи технологічні та завантажувально-розвантажувальні [1, 9]. Залежно від їх конструкції розрізняють кілька видів:

- двобалкові та однобалкові ;
- крани з ручним і електричним приводом;;
- крани з ручним керуванням із кабіни або з підлоги за допомогою виносного пульта, дистанційним (з кнопочового пульта, через радіоканали), напівавтоматичним (з виходом крана до заданої координати), автоматичним (за допомогою комп'ютера);
- крани, які спираються на рейки та підвісні;
- крани з гнучким підвісом грузозахвата на канатах і жорстким підвісом на вертикальній колоні (крани-штабелери, металургійні крани).

Існують крани, які можуть використовуватися для різних завдань, такі як гакові, призначені для перевезення різноманітних вантажів. З іншого боку, існують спеціальні крани, призначені для виконання конкретних завдань, такі як грейфери для захоплення матеріалів, магнітні крани для роботи з металом, крани-штабелери для переміщення великих палет або контейнерів, а також металургійні крани, які використовуються в металургійних процесах.

Мостові крани з однією балкою вважаються простими та економічно вигідними машинами для вантажів до 5 тонн. У порівнянні з двобалковими кранами з однаковою вантажопідйомністю, вони мають значно меншу масу. Опорні крани переміщуються по підкранових шляхах, розташованих на несучих колонах. Металева конструкція однобалкового крана може бути

виконана різними способами в залежності від розмаху та вантажопідйомності. У випадку невеликого розмаху (див. рис. 1.1, а), вона може складатися з двотаврової балки, яка з'єднана з кінцевими балками. Останні опираються на ходові колеса, а механізм пересування розташований на одній з кінцевих балок і пов'язаний з привідним колесом іншої балки за допомогою тихохідного трансмісійного вала.

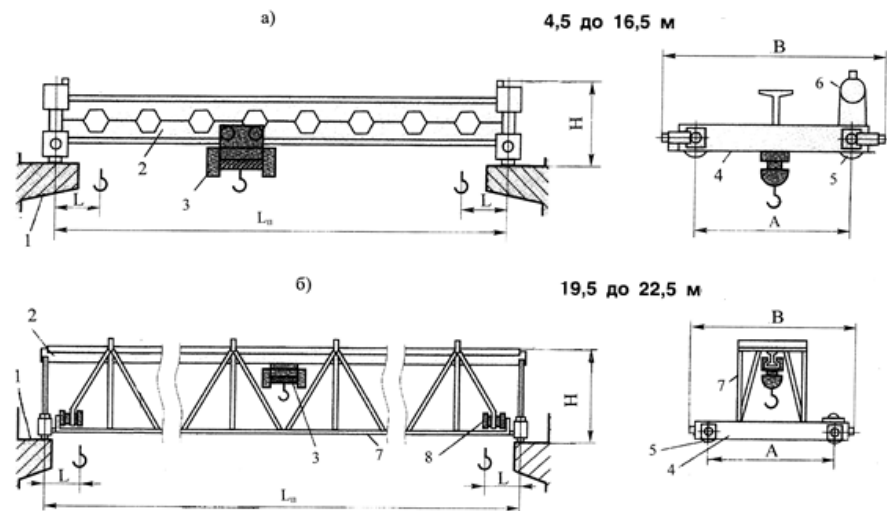


Рисунок. 1.1. Кран однобалковий

При значних прольотах головна балка 2 посилюється за допомогою просторових ферм 7 (див. рис. 1.1, б). Електрична таль 3, яку керують з підлоги, переміщується по нижньому поясу балки 2. Механізм пересування 8 крана з довгим прольотом ідентичний механізму пересування талі. По одному такому приводу встановлюється на обох кінцевих балках. У опорних кранів зона обслуговування вузька і має ширину прольоту L_p , що становить половину ширини прольоту, тобто $2L$.

Крани підвісного типу з однією балкою (зображені на рис. 1.2) мають чотири ходові колеса, які опираються на нижні полиці двотавра 1, що підвішений до перекриття будівлі. Залежно від прольоту, ці крани можуть бути двох- або багатоопорними. Особливістю підвісних кранів є можливість обслуговування більшої площі завдяки консолям L при однаковій довжині прольоту L_p , відмінності від опорних кранів.

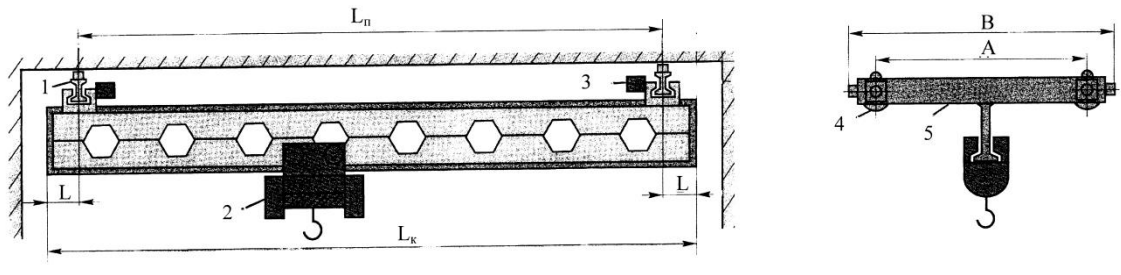


Рисунок. 1.2. Кран однобалковий підвісний

Балки підвісних кранів, які розташовані у сусідніх прольотах складських будівель, можуть бути сполучені між собою за допомогою перехідних мостків. Електрична таль №2 може переміщуватися з одного моста на інший, передаючи вантаж. Для здійснення завантажувально-розвантажувальних операцій зручно використовувати консольну балку і вантажну рампу. Механізм переміщення складається з двох окремих приводів, розташованих на кінцевих балках.

Двобалковий мостовий кран представляє собою зварний балковий або фермовий міст (див. рис. 1.3), складений з поздовжніх 1 і поперечних (кінцевих) балок 7. У кінцевих балках розміщені ходові колеса 6, які приводяться в обертання механізмом пересування 3 крана. Кран переміщується вздовж підкранових колій 5, які розташовані на підкранових балках, що опираються на колони будівлі. Колони можуть бути виготовлені зі сталі або залізобетону і розташовані на відстані 12 або 18 м одна від одної. Вздовж мосту рухається візок 11, на якому розміщені механізми головного 10 і допоміжного 9 підйому, механізм пересування візка 2 і підведення електропостачання 8 до візка, яке виконано у формі простягнутої вздовж моста стрічки. По цій стрічці рухається кабель, прикріплений з деяким провисанням до ковзаючих кілець. Засоби управління розташовані в кабіні 4. Живлення крана здійснюється через головні тролєї 12, розташовані вздовж стіни будівлі. Для обслуговування цих тролєїв на мосту крана передбачено майданчик 13.

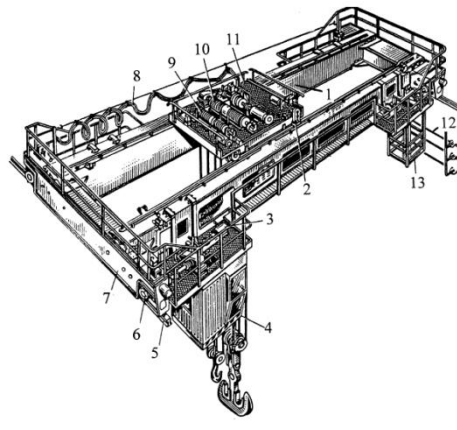


Рисунок. 1.3. Кран з двома балками загального призначення

За вантажопідйомності більше 10 т деякі крани мають два самостійних механізми підйому - головний і допоміжний. Вантажопідйомність у таких кранів позначається, наприклад, 16/3, 2; 20/5; 50/12, 5 т, де перше число - вантажопідйомність головного механізму підйому, а друге - допоміжного. Залежно від призначення кранів і виконуваних ними робіт, використовуються гаки, грейфери, магнітні або інші вантажозахоплюючі пристрої. Промисловістю випускається широка номенклатура мостових кранів загального призначення.

Окрім кранів загального призначення застосовуються спеціальні крани. Наприклад, для виконання робіт з підйому та переміщення великовагового технологічного обладнання, випускаються мостові крани вантажопідйомністю 180/63 +5 т і 200/32 +5 т.

Крани-штабелери. Для ефективного обслуговування складів, де використовуються тарно-штучні вантажі, часто використовують мостові крани-штабелери, які є підтипом мостових кранів. На відміну від традиційних гнучких канатів для підвіски, вони мають вертикальну колону, по якій здійснюється переміщення вантажозахоплювача. Це забезпечує жорстку фіксацію вантажу і дозволяє повністю автоматизувати операції з перевантаження та складування тарно-штучних вантажів на складах і в цехах підприємств. Такі автоматизовані мостові крани-штабелери часто називають мостовими складськими роботами.

Крани-штабелери класифікують:

за структурною організацією та методом переміщення по підкранових трасах існують два типи кранових систем: опорні (де колеса крана опираються на підкранові шляхи) і підвісні (де ходові колеса рухаються по нижніх полицях двотаврів, що функціонують як підкранові траси);

- щодо доступності кабіни для оператора: наявність або відсутність кабіни, або наявність підйомної кабіни.;
- за конструкції вантажного візка: наявність опорного або підвісного візка;
- залежно від конструкції головних балок моста: використання двотаврових, зварних балок коробчатого перерізу, зварних балок з труби, таврів та інших варіантів;
- за способом управління: ручне, напівавтоматичне або автоматичне керування;
- за способом ручного управління: з підлоги (за допомогою підвісного поста управління) або з підйомної кабіни.

У конструкції крана-штабелера, зображеної на рис. 1.4, основною несучою частиною є міст 1. По нижньому поясу моста рухається вантажний візок 3, який утримується на підвісних візках 5. На вантажному візку розташована обертова платформа, обладнана механізмом повороту в нижній частині та механізмом підйому 2 в верхній. На цю платформу прикріплена жорстка або телескопічна колона 6, яка має рами для прийому вантажу від вантажопідйомного пристрою, а також направляючі для забезпечення роботи клинового вловлювача. Клинові вловлювачі активуються обмежувачем швидкості в разі обриву вантажного каната або якщо швидкість опускання перевищує 0,5 м/с. Вздовж колони переміщується вантажопідіймальний пристрій 7, який має вилковий або інший захоплювач, залежно від характеру та геометрії вантажу.

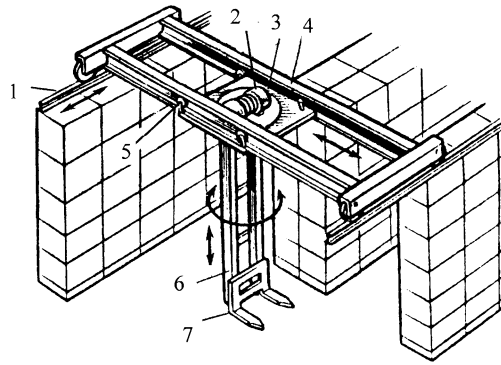


Рисунок. 1.4. Кран-штабелер мостовий

Переваги мостових кранів-штабелерів включають ефективно використання простору складських приміщень, здатність працювати вузькими коридорами для штабелювання, велику висоту підняття, високу продуктивність та можливість повної автоматизації обробки вантажів.

Недоліки включають велику масу моста, особливо при великих прольотах, а також складність автоматизації, що порівнюється зі стелажними кранами-штабелерами.

Стелажні крани-штабелери представляють собою один із типів мостових кранів, спеціально призначених для ефективної роботи в високих складських приміщеннях. Основна функція цих кранів-штабелерів - обслуговування великих висотних стелажів для зберігання різного виду продукції (рис. 1.5).

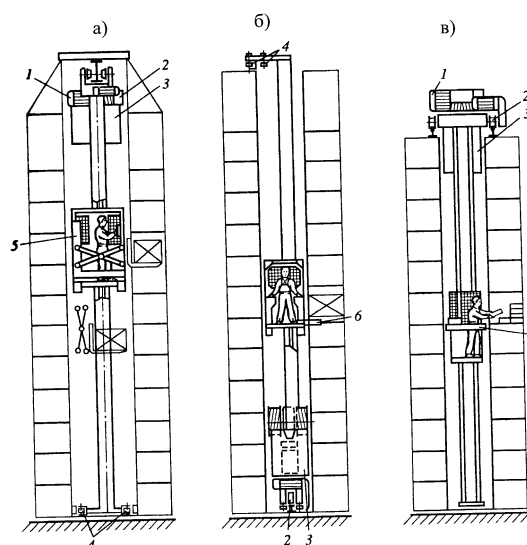
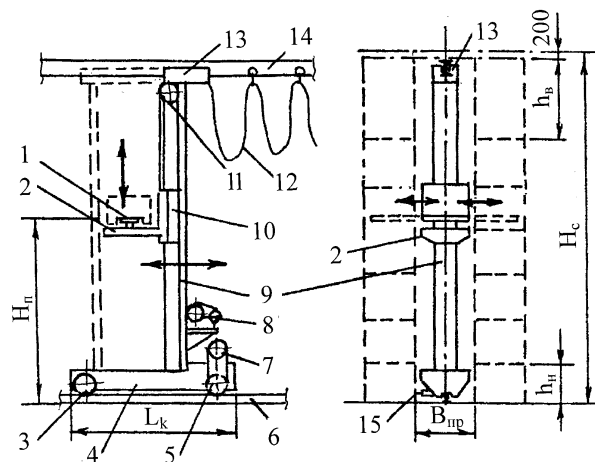


Рисунок. 1.5. Крани-штабелери стелажні

В сучасних системах транспортно-вантажного комплексу активно використовуються автоматизовані стелажні штабелери з автоматичним адресуванням. Датчики управління вбудовані як у ходову платформу для адресації вздовжних рухів, так і в підйомну платформу для адресації рухів вгору та в бічному напрямку. Замикаючі пристрої або шунти встановлюються у нижній частині металевих конструкцій стелажів для адресації вздовжних рухів, на вертикальних колонах для адресації рухів вгору і на секціях телескопічного вантажозахвата для адресації рухів вбік.

Стелажні крани-штабелери, які працюють автоматично, відомі як стелажні складські роботи. На рисунку 1.6 показана схема пристрою такого робота. Цей кран-штабелер може переміщатися у трьох напрямках, що позначені стрілками: рух по підкрановій колії, підняття та опускання вантажної платформи і переміщення телескопічного вантажозахоплювача вліво і вправо від крана-штабелера.



Рисунк. 1.6. Стелажний складський робот

На крані-штабелері присутні направляючі для каретки підйомної платформи на його колоні. Все навантаження, що включає вагу вантажу та самого штабелера, передається через нижній підкрановий шлях 6. Верхня балка 14 використовується виключно для керування напрямком руху крана-штабелера.

Переваги стелажних кранів-штабелерів включають в себе ефективно використання об'ємів складу завдяки вузьким міжстелажним проходам та

значній висоті підйому, високу продуктивність та можливість повної автоматизації складських операцій.

Недоліки включають вузьку спеціалізацію в області функцій (лише обслуговування високих стелажів у зоні зберігання) та обмеження розмірів вантажу. Також варто відзначити обмежену масштабність обслуговування, що обмежується тільки двома стелажми та зону дії.

Мостові перевантажувачі та крани козлові. Козлові крани представляють собою вид кранів прольотного типу, відмінність яких полягає в тому, що міст крана розташоване на опорах, що жорстко або шарнірно з'єднані з ним. Кожна опора складається з двох похилених стійок (опор), що спираються на ходову частину крана, оснащену колесами. Така конструкція усуває необхідність у будівництві естакад для підкранових колій, оскільки вони розташовані на рівні землі. Козлові крани широко використовуються на складах біля залізничних колій для обробки контейнерів, металу, деревини та насипних вантажів. Міст крана перекидає залізничні колії, автомобільний проїзд і площу складу.

Крани козлові класифікують за наступними ознаками:

- за конструкцією моста, можна виділити однобалкові конструкції, де головна балка виготовлена з двотавра та поєднана з іншими елементами, і двобалкові конструкції, які включають дві головні балки коробчатого перерізу, з'єднані зварюванням з листів;
- з двома консолями, з одною консоллю та безконсольні;
- за конструкцією вантажного візка і методом його переміщення по мосту можна виділити дві основні конфігурації: з опорним візком та з підвісним візком, останній часто представлений у вигляді електроталі;
- за розміщенням приводу механізми підняття та переміщення вантажного візка можуть мати стаціонарне розташування лебідок на мосту або бути обладнані платформою для розміщення вантажного візка.

Кабіна крана може мати можливість переміщення, коли вона прикріплена до вантажного візка і рухається разом з ним, або бути нерухомою, особливо в кранах з невеликою вантажопідйомністю та обмеженим прольотом.

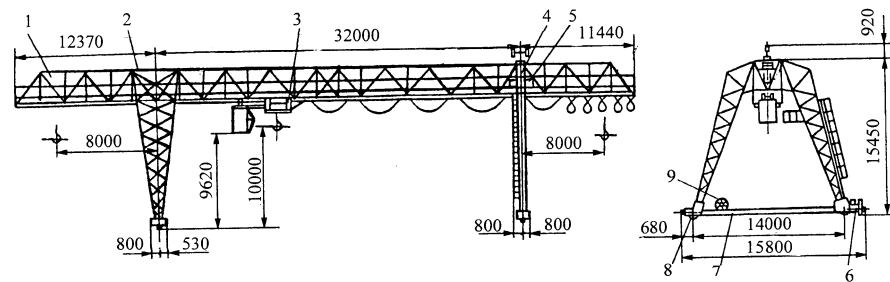


Рисунок. 1.7. Кран козловий.

На рисунку 1.7 представлена одна з можливих конструкцій козлового крана – ККС-12,5 з вантажопідйомністю 12,5 т та підвісним візком. Міст крана виконаний у вигляді гратчастої ферми великого перерізу. Опори 2 і 4 прикріплені до мосту за допомогою бічних фланців. Це розширює базу крана і забезпечує широкий просвіт між опорами, що дозволяє переміщувати вантажі довжиною до 8 м на висоті 8 м без повороту. Одна з опор 2 крана зроблена жорсткою і приймає навантаження у вертикальному напрямку, а також враховує сили інерції і тиск вітру, що діють в горизонтальному напрямку вздовж моста. Друга опора 4 має гнучку конструкцію для компенсації непаралельності рейок підкранової колії і температурних розширень.

Струм до крана подається через гнучкий кабель, який зберігається на кабельному барабані 9, а до вантажного візка - за допомогою кабельної гірлянди, що висить на сталевій стрічці. Крани оснащені сигналізатором тиску вітру та захватом для запобігання небезпекам в крановій роботі.

Насупроти стандартних козлових кранів, які мають жорстко з'єднану металеву конструкцію для моста та опор, існує категорія самомонтуючих кранів.

Крани, які монтуються самостійно, відрізняються відсутністю балок під їх опорами. Ноги опор кріпляться до незалежних візків, причому одна з ніг закріплюється на візку, який відповідає за переміщення, а інша – на візку, який залишається нерухомим. Щоб утримувати ноги в робочому стані, вони

фіксуються спеціальною тягою. На вантажних терміналах залізниць саомонтуючі крани стали широко використовуваними

Висоту кранів вибирають враховуючи висоту підйому вантажу та розміри споруд, над якими вони працюють. Розташування ходових візків опорних ніг у козлових кранах та мостових перевантажувачах залежить від поперечного профілю обслуговуваних майданчиків і може бути на одному або різних рівнях. У випадках, коли один із ходових візків знаходиться на рівні прогонової будови, такий кран відомий як напівкозловий.

На терміналах залізничного контейнерного обслуговування використовуються спеціальні контейнерні крани, які здатні обробляти контейнери різної маси брутто. Це можуть бути великотоннажні контейнери з масою брутто від 24 до 30,5 т, а також контейнери масою брутто до 34 т (див. рис. 1.8).

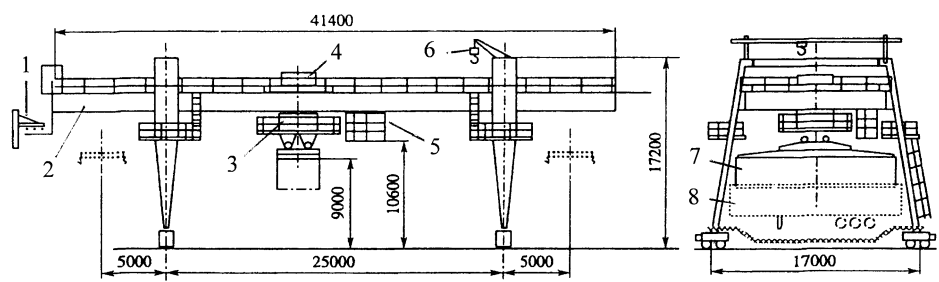


Рисунок. 1.8. Козловий кран контейнерний.

На опорі встановлено допоміжний кран 6, який використовується під час проведення ремонтних робіт. Електропостачання забезпечується за допомогою тролей 1, які розташовані на опорах.

1.2. Мостові крани спеціального призначення

На рисунку 1.9 зображено радіальний кран, який виконує обертання навколо однієї зі своїх опор. Кран має прольот, що дорівнює радіусу R робочого майданчика у вигляді кільця, який він обслуговує [9]. Вісь обертання моста 3 закріплена на опорі 1, розташованій в центральній частині робочого майданчика і прикріпленій до стелі будівлі. Візок 2 призначений для

обслуговування області в межах кола, площа якого менша за площу кола радіусом R , з урахуванням відстаней, на які візок не може підходити до ходової провідної візку 4. Візок переміщується по кільцевому рельсу 5 до опори крана 1.

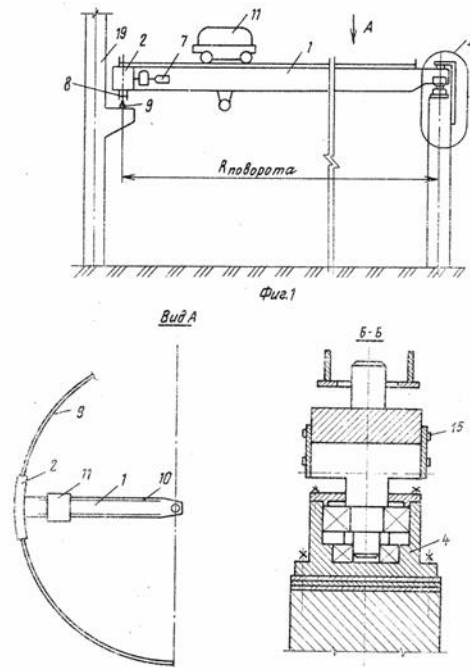


Рисунок. 1.9. Кран радіального типу

Кран хордовий, подібно до радіального, переміщується по кільцевому рейковому шляху (рис. 1.10). Колеса ходу (№8) прикріплені до візків (№3), які несиметрично розташовані відносно балок (№7) мосту. Візок (№6) мосту спрямований на обслуговування меншої площі кільця при збереженні того ж радіусу R , що і в радіального крана.

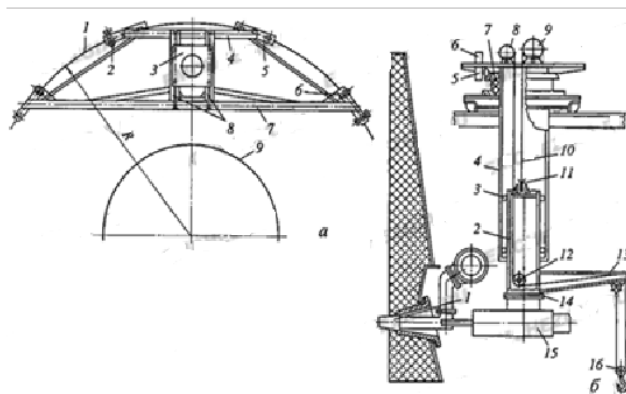


Рисунок. 1.10. Кран хордового типу.

Кран мостовий з поворотним механізмом характеризується тим, що його довжина моста становить $2R$, де R - діаметр кільцевої рейки. Під час обслуговування великої площі вантажопідйомність вища, ніж у радіальних кранів, оскільки він може піднімати вантажі в центрі робочого майданчика. У цьому крані ходові візки рухаються в протилежних напрямках під час повороту моста навколо центру кільцевої рейки. Колеса ходових візків, аналогічно іншим кранам, мають осі, що орієнтовані вздовж радіусу кільцевої робочої зони.

Кран переміщується вздовж двох кільцевих рейок із радіусами R_{\min} і R_{\max} . Розмах моста крана визначається як $L = R_{\max} - R_{\min}$. Для забезпечення плавного руху зовнішнього і внутрішнього ходових візків без ковзання, колеса зовнішнього і внутрішнього ходових візків мають різні діаметри або частоти обертання, що пропорційні радіусам R_{\min} і R_{\max} .

1.3. Основні характеристики геометрії перерізів

У процесі аналізу механічної надійності конструкцій часто використовуються геометричні характеристики плоских фігур, такі як статичний момент, осьові та полярні моменти інерції [10, 14, 22]. Геометричні характеристики представляють собою числові параметри, які визначають розміри, форму та розташування поперечного перерізу однорідного елемента конструкції за його пружними властивостями. Ці характеристики визначають опір елемента різним видам деформації.

Площа плоского перерізу є однією з геометричних властивостей, які використовуються в основному для розрахунків при дослідах на розтягнення і стискання. При аналізі кручення, згину і стійкості застосовуються більш складні геометричні параметри, такі як статичні моменти, моменти інерції, моменти опору тощо.

Розробка конструкцій з оптимальними формами та розмірами перерізів є ефективним методом для зменшення ваги та вартості споруд та машин.

Статичний момент перерізу. Статичний момент плоского перерізу визначається як сума виробленостей елементарних площ, dA , які складають площу A перерізу, множених на їхні відстані від обраної осі.:

$$S_x = \int_A y dA, S_y = \int_A x dA; \quad (1.1)$$

$$S_x = \iint_A y dx dy, S_y = \iint_A x dx dy; \quad (1.2)$$

$$S_x = Ay_c, S_y = Ax_c, \quad (1.3)$$

де y_c - відстань від осі x до центру ваги;

x_c - відстань від осі y до центру ваги .

Статичний момент перерізу відносно певної осі дорівнює сумі статичних моментів всіх його частин відносно тієї самої осі:

$$S_x = A_1 y_1 + A_2 y_2 + \dots + A_n y_n = \sum_{i=1}^n A_i y_i; \quad (1.4)$$

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

Координати центру ваги перерізу визначаються за формулою:

$$x_c = \frac{S_y}{A}; y_c = \frac{S_x}{A}. \quad (1.5)$$

Для складного геометричного перерізу за формулою (1.5) можна записати наступні вирази:

$$x_c = \frac{S_y}{A} = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2 + \dots + A_n x_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n};$$

$$y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + \dots + A_n y_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}. \quad (1.6)$$

Залежності між статичними моментами відносно двох паралельних осей x і x_1 , а також y і y_1 для одного перерізу можна виразити у вигляді наступних формул:

$$S_{x_1} = S_x - aA; \quad S_{y_1} = S_y - bA, \quad (1.7)$$

Для обчислення моментів інерції плоских перерізів простої форми у системі координат x_1y_1 , використовуючи інтегральні методи:

$$I_x = \int_A y^2 dA; \quad I_y = \int_A x^2 dA; \quad I_{xy} = \int_A yx dA. \quad (1.8)$$

Моменти інерції складного геометричного перерізу за паралельного переносу координат x і y визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} I_x &= I_{x_1} + 2bS_{x_1} + b^2 A; \\ I_y &= I_{y_1} + 2aS_{y_1} + a^2 A; \\ I_{xy} &= I_{x_1y_1} + aS_{x_1} + bS_{y_1} + abA. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Якщо координати осей x_1 і y_1 є в центрі, тоді $S_{x_1} = S_{y_1} = 0$ і формули (1.9) будуть мати вигляд:

$$I_x = I_{x_1} + b^2 A; \quad I_y = I_{y_1} + a^2 A; \quad I_{xy} = I_{x_1y_1} + abA. \quad (1.10)$$

Для геометричних фігур, які володіють більше ніж двома осями симетрії, осьові моменти інерції відносно всіх центральних осей є однаковими між собою. Ці фігури включають рівносторонній коло, квадрат, трикутник та інші форми.

Моменти інерції складних перерізів. Момент інерції складноформованого перерізу відносно певної осі рівний сумі моментів інерції його окремих компонентів відносно тієї самої осі:

$$J_x = J_x^I + J_x^{II} + J_x^{III} + \dots, \quad (1.11)$$

Для визначення моменту інерції складної фігури необхідно розкласти її на елементарні частини, розрахувати моменти інерції для кожної з цих частин і після цього здійснити їх сумування.

Головні моменти та осі інерції перерізів. Якщо переріз об'єкта має вісь симетрії, то ця вісь завжди є однією з осей інерції цього перерізу, які називаються головними центральними осями.

Моменти інерції геометричних профілів I_u та I_v визначатися за наступними формулами:

$$I_u = \frac{I_z + I_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_z - I_y}{2}\right)^2 + I_{zy}^2} \quad (1.12)$$

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

Основні моменти опору до головних осей u та v визначатися за наступними формулами:

$$W_u = \frac{I_u}{|u_{\max}|}, \quad W_v = \frac{I_v}{|v_{\max}|} \quad (1.14)$$

де u_{\max} , v_{\max} - координати відповідних точок перерізу

Радіус інерції плоскої фігури відносно будь-якої осі є відстанню, на яку можна відсунути всю масу фігури так, щоб зберегти момент інерції відносно цієї осі. Цей радіус обчислюється як довжина перпендикуляра, проведеного від обраної осі до осі обертання, і визначається відповідною математичною формулою:

$$i_u = \sqrt{\frac{I_u}{F}}, \quad i_z = \sqrt{\frac{I_z}{F}}, \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}}, \quad i_v = \sqrt{\frac{I_v}{F}}. \quad (1.18)$$

Момент опору відносно осі - це величина, яка дорівнює відношенню моменту інерції до відстані від цієї осі до точки, що розташована найдалі від неї і визначаються за формулою:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}}; \quad (1.19)$$

$$W_y = \frac{J_y}{x_{\max}}. \quad (1.20)$$

Осьовий моменти інерції має розмірність м^3 .

1.4. Сортамент прокату який використовується для виготовлення балок мостових кранів

Металеві конструкції мостових кранів виготовляють із сталі у вигляді прокатних виробів, що отримують на металургійних заводах та мають різні форми поперечного перетину, такі як профілі. Для створення таких конструкцій використовують як листову, так і профільну сталь. Профільну сталь розподіляють на сортову (квадрат, круг, смуга) та фасонну (двотаври, швелери, кутники, інші профілі), а також труби. Крім того, широко використовують вторинні профілі, такі як зварні, отримані шляхом зварювання смуг або листів, і гнуті, які формуються холодним гнуттям листів.

Коефіцієнт градації визначає відношення геометричних параметрів, таких як площа перерізу, обраного профілю до аналогічних параметрів найближчого меншого профілю. Чим частіше мають різні розміри одного типу профілю, тим більше економічно використовувати їх, оскільки це наближає конструкцію до оптимальних розмірів. Однак розширення асортименту розмірів профілів ускладнює процеси замовлення, транспортування та обробки на виробництві, зокрема вимагає сортування, складування та правки профілів. У порівнянні зі зварними або гнутими профілями, які потребують додаткових операцій, прокатні профілі є більш вигідними, оскільки вони постачаються безпосередньо з металургійного заводу для конструкційних потреб, зменшуючи витрати та спрощуючи виробничі процеси.

Сталь листова. Сталеві листи, які використовуються для виготовлення балок, класифікують за такими критеріями:

- товстолистова включає листи розміром від 4 до 160 мм і шириною від 600 до 3800 мм, буває гарячекатана сталь листи завдовжки від 6 до 12 мм і в рулонах товщина від 1,2 до 12 мм, а ширина від 500 до 2200 мм. Товстолистова сталь застосовується у вигляді листів у конструкціях, таких як плити, а також у суцільностінчатих системах, таких як балки, колони, рами та інші структурні елементи

- холоднокатана сталь значно дорожче гарячекатаної, тонколистову сталь застосовують під час виготовлення штампованих і гнутих тонкостінних профілів.

Кутникові профілі. Кутникові профілі прокочують двох типів: рівнополичні і нерівнополичні. Кутники використовуються як самостійні елементи для з'єднання конструктивних деталей, таких як опорні стійки чи ребра жорсткості. Їх полиці мають паралельні грані, що спрощує процес конструювання, зокрема, щодо прикріплення та з'єднання. У випадках, коли елементи працюють на осьовий стиск, часто вигідніше використовувати кутники з меншою товщиною полиць. Зменшення товщини полиць призводить до збільшення радіусу інерції, що впливає на несучу здатність елемента, особливо йдеться про стійкість, при розрахунках. Кутники широко використовуються у легких гратчастих конструкціях, особливо в фермах. Елементи гратчастих конструкцій часто складаються з симетричних перетинів, які формуються з двох або чотирьох кутників. Довжина кутників обирається в залежності від умов прокатки та транспортування, і зазвичай становить 6-9 м для малих профілів і 9-12 м для великих.

Швелери. Швелери поділяються на два типи: ті, що мають ухил внутрішніх граней полиць (це ускладнює конструювання), і ті, де грані полиць паралельні і утворюють букву "П" в позначенні. Геометричні характеристики швелерів визначаються їхнім номером, який відповідає висоті швелера (вимірюваній у сантиметрах). Сортамент (згідно з ДСТУ 8240-93) включає швелери від № 5 до № 40. Зазвичай їх виробляють у довжинах 6, 9 і 12 метрів, але можуть бути замовлені і до 18 метрів за домовленістю. Швелери застосовуються як елементи, які працюють на згин (наприклад, в балках кранів, підмостових балках і т.д.). В конструкціях, що піддаються осьовим навантаженням, швелери використовуються переважно як складові січення з двох елементів, які з'єднані планками або сіткою (наприклад, у насосних колоннах, поясах важких ферм). Також швелери можуть бути використані для

створення коробчастих перетинів шляхом зварювання полиць суцільними швами.

Двотаври. Двотавр є оптимальним профілем для елементів, які діють на згин у площині найбільшої жорсткості, оскільки він має найбільший питомий момент опору порівняно з іншими профілями. Цей момент рівний радіусу ядра перерізу (W/A , де W - момент опору, A - площа перетину). Двотавровий профіль також застосовується в конструкціях, які діють на стиск, як самостійний елемент або як складений перетин (центрально- та позацентрово-стиснуті колони). Існує кілька типів двотаврів, які виробляються металургійними заводами в залежності від геометричних параметрів. Зокрема, двотаврові балки звичайні мають нахил внутрішніх граней полиць і позначаються номером, що відповідає їх висоті. Діапазон включає профілі від № 10 до № 60. Умови технології прокатки призводять до того, що в більшості двотаврів стінки товстіші, ніж це потрібно для їхньої стійкості. Відносно невелика ширина полиць призводить до різниці у жорсткості балки вздовж головних осей. Широкополичні балки (згідно з ДСТУ 2620-93, СТО АСЧМ 20-93) мають паралельні грані полиць.

Двотаврові профілі (Б) та (Ш) мають висоту до 1000 мм і відношення ширини полиць b до висоти h від $b/h = 0,75$ до $b/h = 0,3$ при малих висотах. Навпаки, колонні профілі (К) мають відношення ширини до висоти, наближене до одиниці, що підвищує їх стійкість в площині найменшої жорсткості та часто не потребує додаткового закріплення. Широкополичні двотаври можуть бути використані як самостійні елементи, такі як балки, колони або стержні важких ферм. Замовні довжини двотаврів можуть сягати до 12 м, а за погодженням - до 18 м. Таврові профілі не піддаються прокатці на металургійних підприємствах; їх виготовляють шляхом подовжнього розпуску широкополичних двотаврів. Ці двотаври можуть бути використані як самостійні елементи поясів ферм. Для шляхів підвісних кранів і тельферів застосовують спеціальні двотаври з індексами 24 М, 30 М, 36 М, 45 М. Двотаври з індексом М мають збільшену товщину полиць для запобігання відгину.

Труби. Для сталевих конструкцій в будівництві широко використовують труби різного типу, такі як круглі (гарячекатані згідно і електрозварні) та прямокутні та квадратні, а також за індивідуальними технічними умовами заводів. Для ґратчастих сталевих конструкцій основною вибіркою є електрозварні круглі труби з діаметром від 40 мм до 630 мм та товщиною стінки не менше 2,5 мм. Квадратні та прямокутні труби вважаються вторинними замкнутими профілями і виготовляються за допомогою профілезгинальних станів, за якими накладається замикаючий зварний шов. Розмаїття електрозварювальних труб включає в себе квадратні профілі розміром від 80 до 180 мм та прямокутні профілі розміром від 60×100 до 160×200 мм з товщиною профілю від 3 до 8 мм. Матеріал у трубах розташований таким чином, щоб максимально віддалитися від центру ваги, що надає їм найбільший питомий радіус інерції. Це зроблено з метою оптимізації їх використання в елементах, що піддаються осьовому стиску. Обтічність трубчастого перетину дозволяє зменшити вітрове навантаження на баштові споруди і запобігає накопиченню вологи та пилу. Висока корозійна стійкість труб робить металоконструкцію довговічною, при умові забезпечення герметичності внутрішньої порожнини.

Профілі вторинні. Використання автоматичного зварювання дозволяє виготовлення тонкостінних двотаврів з листового прокату з більш ефективним розподілом матеріалу по перетину. Зварні двотаври мають свій асортимент. Холодногнуті профілі різної форми виготовляють з листа або смуги товщиною від 1 до 8 мм. Найбільш популярні серед них рівнополочні та нерівнополочні кутники, швелери, С-подібні та Z-подібні. Характерною особливістю холодногнутих профілів є їх тонкостінні січення, що виникає з можливості втрати місцевої стійкості стінок раніше, ніж загальної стійкості стержня. Для підвищення місцевої стійкості в окремих гнутих профілях використовують відгини. Гнуті профілі застосовуються у слабко навантажених довгих стержнях, розкосах легких ферм та інших елементах, перетин яких вибирається з урахуванням граничної гнучкості.

Висновки до розділу

На даний час підйомно-транспортні машини відрізняються широким діапазоном вантажопідйомності та габаритів, а також високою продуктивністю. Не існує жорстких обмежень щодо основних параметрів цих машин, і вони розробляються таким чином, щоб вони могли пристосовуватися до різних умов використання. Лише економічні обмеження враховуються, оскільки складні та потужні машини є високовартісними і їх доцільність обумовлюється можливістю виправдати витрати протягом реального терміну експлуатації перед фізичним та моральним зносом.

Одними з основних напрямків розвитку підйомно-транспортного устаткування є вдосконалення приводів машин і механізмів з метою розширення діапазону регулювання швидкостей, підвищення їх ККД і надійності. Також акцентується на розробці нових конструктивних рішень, включаючи використання вбудованих планетарних пристроїв з термічно обробленими довговічними зубчастими колесами. Удосконалення металоконструкцій кранового обладнання передбачає застосування якісного металу з метою зниження металоємності конструкції і підвищення її довговічності. Для зниження маси кранів і поліпшення технологічності виготовлення розробляються нові прогресивні конструкції мостів кранів, зокрема, основні балки мають двостінну структуру зі стінками різної товщини.

Аналіз літературних джерел підтвердив, що проблема підвищення надійності та ефективності елементів конструкцій мостових кранів залишається невирішеною до цього часу, особливо в умовах складного напруженого стану. Наукова спільнота вкладає недостатньо зусиль у обґрунтований пошук нових конструктивних форм профілів балок мостових кранів, використовуючи інтегровані системи автоматизованого проектування (САПР). Ці пошуки мають за мету забезпечити, щоб нові конструкції не тільки були ефективними, але й зберігали свою ефективність протягом призначеного терміну експлуатації.

Оскільки крани прольотного типу широко використовують у технологічних процесах завантаження-розвантаження в різних сферах виробництва, основним елементом їх конструкції є міст або балка, наша мета досліджень полягає у визначенні оптимального геометричного профілю цієї балки. Планується використання інтегрованих систем автоматизованого проектування (САПР), зокрема на прикладі мостового крана. Для досягнення цієї мети ставимо наступні дослідницькі завдання:

1. Проаналізувати конструкції мостових кранів, які використовують на виробництві.
2. Здійснити аналіз параметрів металоконструкцій та вплив геометричних характеристик перерізу балки на її міцність.
3. Провести дослідження визначення стріли прогину балки, за допомогою інтегрованих систем автоматизованого проектування.
4. Розробити умови охорони праці роботи з мостовими кранами.
5. Розрахувати економічну ефективність використання стандартних і розроблених перерізів балок мостових кранів.

Об'єкт дослідження – конструкції мостових кранів і геометричні профілі їх балок. *Предмет дослідження* – знаходження закономірностей геометричних параметрів профілів балки мостових кранів з необхідними розрахунковими нормативними параметрами під час їх експлуатації.

Методи дослідження – синтезу і аналізу, моделювання математичного, математичної статистики, планового експерименту.

Практичне значення роботи полягає в отриманні оптимальних параметрів перерізу основної балки мостового крана під час проектування. Результати дослідження можна використовувати для аналізу різних варіантів профілів основних балок мостових кранів на етапі проектування, а також для вирішення подібних конструктивних задач.

Розділ 2. Теоретичні положення проектування металевих конструкцій машин

2.1. Характеристики металевих конструкцій

Металеві конструкції широко використовуються у різних інженерних областях для різноманітних завдань. Вони можуть бути використані у формі стержневих або суцільних систем в різноманітних типах будівель та споруд. Наприклад, це може бути застосування у кранах, мостах, будівлях, екскаваторах, гідротехнічних спорудах, спортивних комплексах, виставкових павільйонах, суднобудівних елінгах, ангарах, та інших об'єктах. Металеві конструкції також використовуються у великопролітних покриттях, таких як ангари та авіазбірні цехи, а також у висотних спорудах, таких як телевізійні башти та опори повітряних ліній електропередачі. Крім того, вони застосовуються в цивільних будівлях у формі каркасів, а також у листових конструкціях, наприклад, резервуарах, бункерах, газгольдерах, трубопроводах та конструкціях для промислових потреб. Широкий спектр застосувань металевих конструкцій, які повинні витримувати значні навантаження від власної ваги та обладнання, обумовлений їх низькою масою, високою міцністю та надійністю. Вони відзначаються також великими прольотами і висотою, що робить їх ідеальними для великих інженерних завдань. [10, 13, 16].

Надійність металевих конструкцій забезпечується тісним відповіданням їх реальної поведінки, такого як розподіл напружень і деформацій, теоретичним передбаченням щодо пружної і пружно-пластичної роботи матеріалу. Це ґрунтується основними принципами опору матеріалів, а також теорії пружності та пластичності. Сталь, яка є ізотропним матеріалом з дрібнозернистою структурою, відзначається однаковими механічними властивостями у всіх напрямках.

Легкість конструкції. Навіть при високій густині сталі ($\rho = 7850 \text{ кг / м}^3$), металеві конструкції залишаються найлегшими серед усіх виготовлених

несучих конструкцій в порівнянні з бетонними ($\rho = 2400$ кг / м³) і навіть з конструкціями виготовленими з деревини ($\rho = 500$ кг/м³). Показник легкості, позначений як s , визначається як відношення густини матеріалу (ρ) до його міцності (R_y). Чим менше значення s , тим конструкція вважається відносно легшою. Конструкції, виготовлені з алюмінієвих сплавів, обладнані міцністю, яка наближена до міцності маловуглецевої сталі, при цьому їхня густина приблизно втричі менша, ніж у сталі (при густиності $\rho = 2700$ кг/м³).

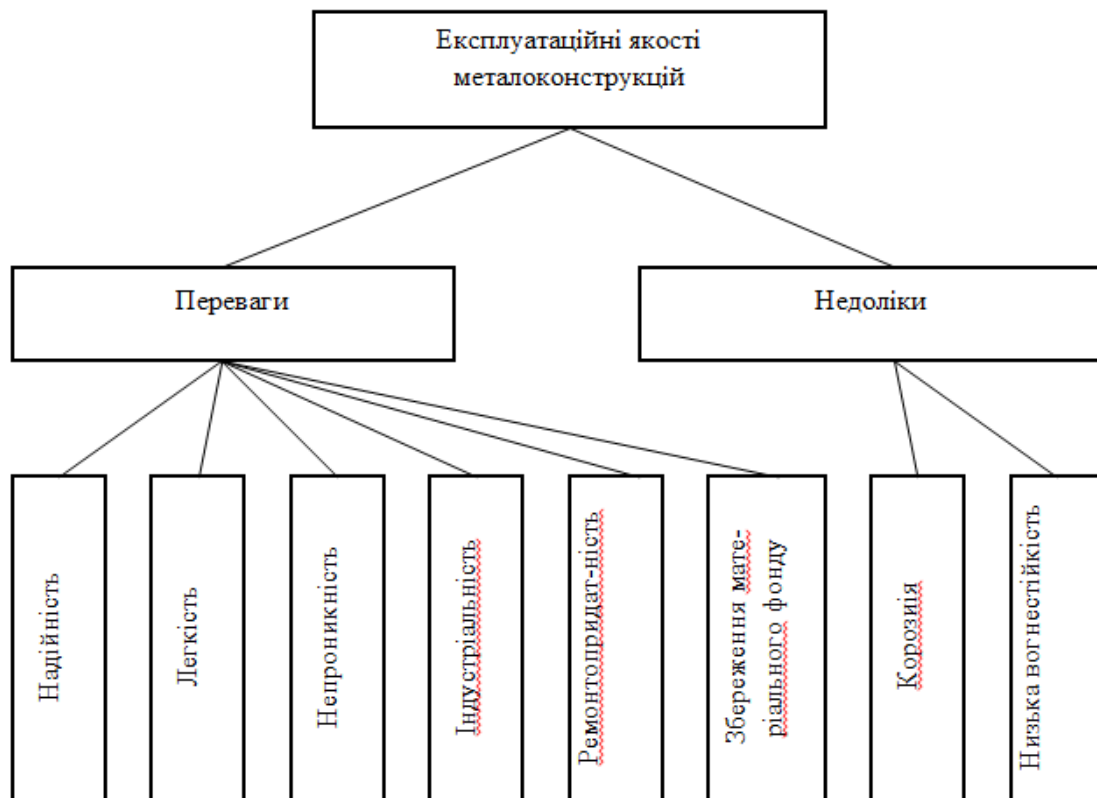


Рисунок . 2.1. Характеристики металевих конструкцій

На рис 2.2 представлено порівняння ваги конструкцій, виготовлених з різних матеріалів. Коефіцієнт "с" для алюмінієвого сплаву Д16Т прийнятий за одиницю до порівняння з іншими.

Індустріальність. В основному виготовлення металевих конструкцій відбувається на заводах, обладнаних сучасним спеціалізованим устаткуванням, і монтаж на місці збільшується завдяки механізації, що сприяє швидкому введенню їх в експлуатацію. Цей підхід значно зменшує або виключає потребу у важкій ручній праці.

Непроникність. Метали вирізняються не лише великою міцністю, але і високою щільністю, яка робить їх непроникними для газів і рідин. Важливою умовою для виготовлення листових конструкцій є щільність металу та його сполук, яку можна досягти шляхом зварювання.

Ремонтопридатність. Залучення сталевих конструкцій у вирішенні завдань по посиленню, технічному оновленню та реконструкції вважається найбільш простим методом. Це забезпечує ефективне приєднання різних комунікацій та нового технологічного обладнання до елементів існуючого каркасу шляхом використання зварювання.

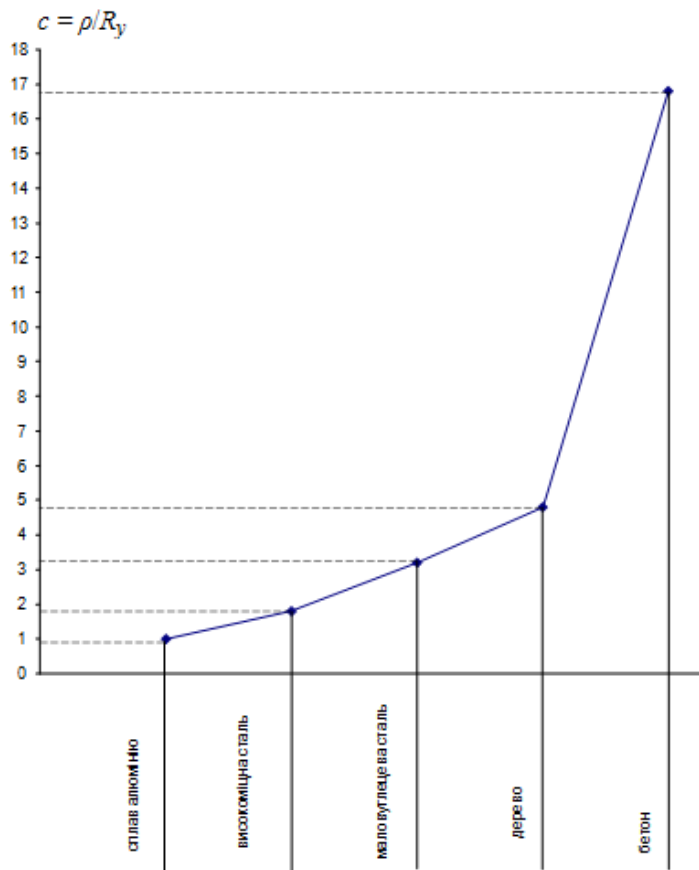


Рисунок. 2.2. Вага конструкції виготовлених з різних матеріалів

Оптимальна пристосованість металоконструкцій до екстремальних умов експлуатації, таких як висока температура до +200 °С, динамічні та циклічні навантаження, а також значні статичні навантаження.

Висока стійкість до механічних ушкоджень під час транспортування, монтажу та використання. Знижена залежність вартості від великої серійності,

завдяки доступним допоміжним засобам у виробництві та монтажі. Можливість швидко змінювати конфігурацію обладнання для їх виготовлення.

Корозія представляє собою процес руйнування металевих матеріалів під впливом хімічної або електрохімічної взаємодії з навколишнім середовищем. Металеві конструкції, особливо сталеві, проявляють велику чутливість до корозії, особливо у важких умовах. У відсутність захисту від вологості в поєднанні з агресивними газами, солями та пилом, сталь швидко окислюється, стаючи непридатною для експлуатації. У порівнянні з цим, алюмінієві сплави виявляють вищу корозійну стійкість завдяки утворенню міцної оксидної плівки на їх поверхні. Чавун також володіє хорошою стійкістю до корозії.

Металеві конструкції володіють невеликою стійкістю до впливу вогню. Їхня вогнестійкість, яка визначається часом, протягом якого конструкція зберігає свою несучу здатність, виявляється порівняно низькою. При температурі $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ сталь втрачає свій модуль пружності, а при $t = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (або при $t = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ для алюмінієвих сплавів) повністю переходить у пластичний стан, деформується і втрачає свою несучу здатність. Таким чином, металеві конструкції, які можуть бути небезпечними у випадку пожежі (наприклад, склади з горючими або легкозаймистими матеріалами, житлові та громадські будівлі і т.д.), повинні бути захищені від прямого взаємодії з відкритим вогнем або нагрітим обладнанням. Це може включати встановлення підвісних стель, використання вогнестійких облицювань, застосування спеціальних засобів або, у виняткових випадках, розміщення вогнезахисних екранів.

2.2. Вимоги до геометричних форм профілів металевих конструкцій

Вимоги, представлені на рисунку 2.3, є основними критеріями, яким повинні відповідати металеві конструкції на кожному етапі свого життєвого циклу, а саме: проектування, виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації. Конструкції мають задовольняти ці вимоги з урахуванням відповідних стандартів та нормативів.

Однією з основних вимог, що ставляться до металевих конструкцій, є їх відповідність функціональним потребам, зокрема, забезпеченням оптимального обслуговування технологічного процесу, який повинен виконувати кран. При цьому на першому плані стоять зручність та безпека, при мінімізації витрат на утримання конструкцій у надійному стані. Всі завдання проектування підпорядковані досягненню цієї основної мети.

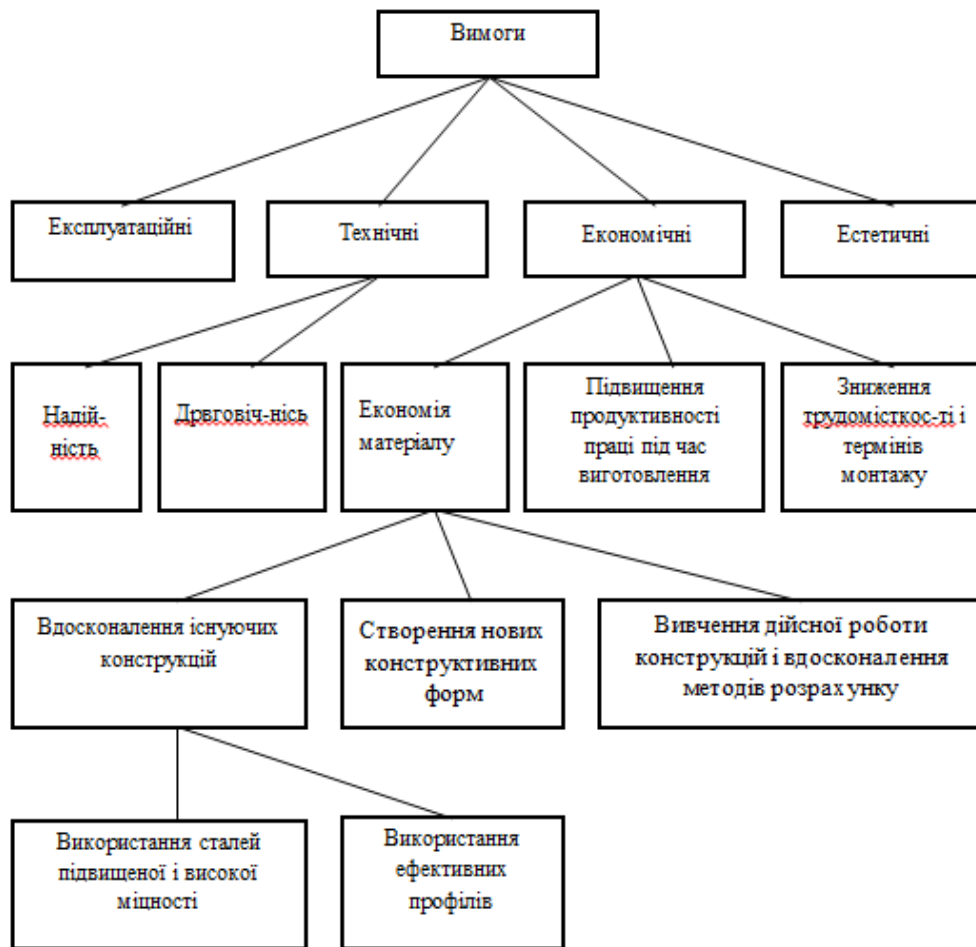


Рисунок. 2.3. Вимоги які ставлять до металевих конструкцій

Технічні вимоги до металоконструкцій це забезпечення міцності, стійкості та жорсткості конструкції. Важливо враховувати також вимогу до надійності, що передбачає безперебійну роботу протягом визначеного періоду експлуатації, та довговічності, яка визначається термінами фізичного і морального зносу конструкції.

Фізичне зношення металевих конструкцій виникає внаслідок корозії та інших ушкоджень, пов'язаних із їхнім експлуатаційним використанням.

Моральне старіння на ці конструкції пов'язане зміною вимог і умов експлуатації, такою як реконструкція виробництва, модернізація обладнання, зміни санітарних норм та інші фактори.

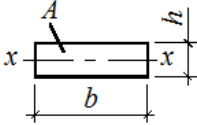
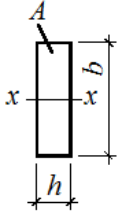
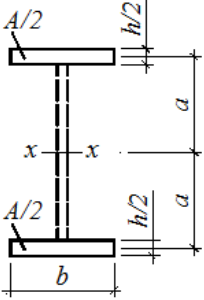
Економія металу вважається однією з ключових вимог при розробці металевих конструкцій, оскільки вартість металу часто становить більше половини загальної вартості конструкцій. Ця економія може бути досягнута за допомогою ряду стратегій. Однією з головних напрямків є вдосконалення вже існуючих металоконструкцій, включаючи застосування різних видів конструкцій. Додатково, важливими є створення та впровадження сучасних конструктивних форм і систем, а також вдосконалення методів розрахунку і пошуку оптимальних конструктивних рішень за допомогою електронно-обчислювальної техніки. Покращення існуючих конструкцій особливо досягається за рахунок використання сталей підвищеної та високої міцності, а також оптимізації використання прокатних і гнутих профілів. Використання сталей підвищеної та високої міцності здійснюється шляхом легування і термічної обробки, хоча це може призводити до збільшення їх вартості. Для стиснутих елементів, де основним граничним станом є втрата стійкості, підвищення міцності сталі може ставити під сумнів гнучкість елемента. Це викликає протиріччя, оскільки збільшення міцності призводить до зменшення розмірів перерізу елемента, а отже, збільшує гнучкість. Застосування високоміцних сталей особливо доцільне у великопролітних і важконавантажених конструкціях, де вони можуть допомогти компенсувати збільшену жорсткість елементів значних розмірів, необхідних для сприйняття великих зусиль.

Ефективність профілю для згинальних елементів визначається його центральною відстанню $\rho = W / A$, тоді як для стиснених елементів важливими є питомий радіус інерції. Якщо при однаковій площі перерізу A характеристики моменту опору W і радіуса інерції $\bar{i} = i / \sqrt{A}$ і вищі, то такий перетин балки виявляється більш вигідним конструктивним рішенням для елементів, що піддаються згину, наприклад, для балок. З іншого боку, колони, які працюють

на стиск, також стають більш вигідними, коли мають вищі значення питомого радіуса інерції і моменту опору при однаковій витраті металу.

Щоб досягти високих значень ρ та i для матеріалу в області перерізу, слід розміщувати його на максимальній відстані від центру ваги, як показано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Оцінка жорсткості елемента, який піддається згинанню, порівнюється для різних варіантів компонування перетину.

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

Структурні елементи повинні бути максимально ефективними виготовленням, за допомогою простих форм, мінімальної кількості компонентів, можливості автоматизованої обробки, легкостю збирання і зварювання.

Типізація, яка базується на уніфікації і стандартизації, забезпечує значну повторюваність та масовість виробництва конструктивних елементів і їх деталей на заводах. Це сприяє підвищенню продуктивності праці і скороченню термінів виготовлення за рахунок ефективного використання вдосконаленого обладнання та спеціальних технологічних пристосувань. Крім того, це створює сприятливі умови для розробки та впровадження ефективних методів виготовлення і монтажу металевих конструкцій.

При виготовленні металевих конструкцій на заводі з метою подальшого їх транспортування до місця монтажу необхідно передбачити розчленування конструкцій на окремі відправні елементи, що відповідають параметрам маси і

розмірів для ефективного транспортування відповідно до характеристик транспортних засобів.

Основним методом транспортування конструкцій є використання залізничного транспорту, тому вихідний розмір елемента повинен відповідати стандартам залізничних габаритів.

Швидкісний монтаж визначається здатністю складання конструкції в найкоротший термін з меншою трудомісткістю, використовуючи сучасне монтажне обладнання. Швидке введення кранів в експлуатацію дозволяє отримати додатковий прибуток, компенсуючи частину витрат.

Одним із основних принципів швидкого монтажу є передмонтаж конструкцій у великі секції на землі, а після цього підняття та встановлення їх у необхідне положення з мінімізацією висотних монтажних робіт.

Зовнішній вигляд металоконструкцій, незалежно від їхнього призначення, повинен бути естетичним і характеризуватися гармонійними формами.

2.3. Методика розрахунку балок металевих конструкцій

Проектування металоконструкцій для кранів виконується з використанням методу граничних станів, що враховує силові та інші впливи для оцінки напруженого стану та деформацій. Основна мета цього методу - гарантувати надійну функціональність конструкцій, враховуючи зміни властивостей матеріалів, навантажень, геометричних параметрів та умов експлуатації. Також враховується ступінь відповідальності проєктованих об'єктів, яка визначається потенційним матеріальним і соціальним збитком у разі відмови конструкцій.

Граничними станами вважаються ті, при яких конструкція втрачає відповідність встановленим експлуатаційним або робочим вимогам.

Відповідно до характеру вимог до конструкції в проєктуванні передбачено дві групи граничних станів. Перша група включає ситуації, які можуть спричинити повну непридатність для експлуатації металоконструкції або повну (часткову) втрату несучої здатності. Це може бути викликано

руйнуванням будь-якого типу (в'язкого, крихкого, втомного), втратою стійкості форми, втратою стійкості положення, переходом конструкції в геометрично змінювану систему (механізм), якісною зміною конфігурації через надмірний розвиток пластичних деформацій, зрушеннями у з'єднаннях та іншими факторами. Забезпечення цілісності конструкцій вимагає розрахунків за несучою здатністю на максимальний вплив розрахункових навантажень протягом всього періоду експлуатації.

Другий набір умов включає граничні стани, які ускладнюють звичайну експлуатацію або зменшують тривалість служби металевих конструкцій кранів порівняно з призначеним строком служби через появу неприпустимих зміщень, коливань, тріщин і т. д. (при експлуатації металевих конструкцій тріщини вважаються неприпустимими). При розрахунку конструкцій або їх елементів в рамках другого набору граничних станів переміщення і деформації визначаються відповідно до максимальних навантажень під час звичайної експлуатації.

Проектування конструкцій за граничними станами має на меті унеможливлення досягнення будь-якого з критичних станів протягом усього періоду використання металевої конструкції.

Розрахунок за першим граничним станом записується нерівністю:

$$N \leq S, \quad (2.1)$$

де S - максимальне розрахункове зусилля в елементі конструкції або конструкції в цілому може бути отримане як сума всіх розрахункових сил, що діють на цей елемент чи конструкцію;

N - мінімальна несуча здатність елемента конструкції є результатом взаємодії його геометричних розмірів, властивостей міцності матеріалу та умов експлуатації.

Умова, виконання якої необхідне для другої групи граничних станів балки:

$$f \leq f_u, \quad (2.2)$$

де f - переміщення конструкції, прогин балки від максимальних значень навантажень під час нормальної експлуатації конструкції;

f_u - максимальне переміщення або прогин балки, допустиме за умовами нормальної експлуатації конструкції.

Металоконструкції призначені для ефективного перенесення різноманітних навантажень, забезпечуючи передачу силових впливів від точок застосування навантажень до місць кріплення або опори. При цьому важливо, щоб конструкція відповідала всім експлуатаційним вимогам.

Розподіл навантажень за впливом на функціонування металоконструкції наведено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4. Класифікація навантажень, що діють на металоконструкцію

Існує кілька видів навантажень, які впливають на структурні елементи. Походження цих навантажень може бути різним: вони включають в себе вагу самої конструкції та обладнання, корисні та супутні навантаження (походження від устаткування, людей, вантажів, промислового пилу тощо), атмосферні впливи (від напору вітру, ваги снігу та ожеледиці), монтажні, аварійні,

температурні (технологічні та кліматичні), сейсмічні та вибухові впливи. Основною характеристикою цих навантажень є їхні нормативні значення, тобто максимальні величини, які враховуються при нормальній експлуатації.

Під час визначенні нормативних і розрахункових значень навантажень, які змінюються в часі, можна враховувати термін експлуатації металоконструкції.

Характер змін у часі може бути розділений на статичні та динамічні навантаження, а також на змінні та навантаження, які багаторазово повторюються.

Статичні навантаження характеризуються тим, що їхні параметри, такі як навантаження, інтенсивність, розташування та напрямок, залишаються незмінними в часі або змінюються настільки повільно, що сили інерції, які виникають внаслідок цих змін, практично не впливають на функціонування конструкції. Для динамічних навантажень вводиться коефіцієнт динамічності, який зазвичай лежить у діапазоні від 1,1 до 1,2.

Дії навантажень розрізняють за тривалістю на постійні та тимчасові. Останні можна поділити на тривалі, що виникають протягом тривалого періоду, та короткочасні, що проявляються лише на короткий час. Особливістю тимчасових навантажень у процесі експлуатації конструкцій є їх повний розрахунковий вплив або його відсутність, а також можливість зміни місця їх застосування.

Розрахунки конструкцій за граничними станами першої та другої груп слід виконувати з урахуванням найбільш критичного впливу декількох видів навантажень або відповідних їм зусиль (для різних перерізів, елементів, конструкцій та їх з'єднань, або для всієї конструкції). Урахуванням можливості одночасного впливу кількох навантажень замість врахування лише одного дозволяє знизити ймовірність виникнення ситуації, коли декілька навантажень перевищують їх розрахункові значення одночасно. Це враховується за допомогою коефіцієнта дії декількох навантажень γ . Для постійних навантажень в будь-якому поєднанні цей коефіцієнт приймається рівним 1.

2.4. Умови граничних станів для розрахунку балки

У повному вигляді граничні нерівності для порівнянь мають вигляд:

- для 1-ої групи граничних станів балки:

$$\gamma_n \sum N_i F_{ni} \gamma_{fi} \psi \leq A (R_{yn} / \gamma_m) \gamma_c; \quad (2.3)$$

- для 2-ої групи граничних станів балки:

$$\gamma_n \sum f_i F_{ni} \psi \leq f_u, \quad (2.4)$$

де N_i – зусилля, що діє (згинальний момент, нормальна сила, поперечна сила та інше) від дії одиничного навантаження на балку $F_i = 1$;

f_i – переміщення (прогин) від одиничного навантаження балки;

F_{ni} – допустиме i - те навантаження на балку;

A – характеристика геометричного перерізу балки;

f_u – граничні переміщення (прогин), які допустимі за нормальної експлуатації балки.

Надійна робота конструкції забезпечується виконанням умов, що обмежують рухи та коливання до них відносять: технологічні; конструктивні; фізіологічні; естетико-психологічні.

Вертикальні граничні прогини елементів конструкцій від постійних і тимчасових навантажень визначаються відповідно до вимог, визначених у СНіП "Вплив навантажень".

Вертикальні граничні переміщення (прогини) f_u для кранових балок під мостові та підвісні крани, керовані з підлоги – $1 / 250$, а з кабіни, за групами режимів роботи крана: від 1 К до 6 К – $1 / 400$; 7 К – $1 / 500$; 8 К – $1 / 600$.

2.5. Алгоритм розрахунку балки крана

У процесі експлуатації крана-балки (рис. 2.5 а), виникають згинаючі напруження, обумовлені силами тяжіння. Ці сили включають вагу балки ($G=qL$), вагу підніманого вантажу (Q) та вагу каретки (талі) (G_m). З

урахуванням коефіцієнта k_I , який враховує вплив ударів (для $v > 60$, $k_I = 1,1$), максимальний згинаючий момент від власної ваги може бути визначений як:

$$M_q = k_1 \frac{qL^2}{8} = k_1 \frac{GL}{8} \quad (2.5)$$

Якщо навантаження на колеса чотириколісної каретки талі рівномірне P_{κ} , навантаження від коліс на скат балки визначається за наступною формулою:

$$P_{\text{ск}} = 2P_{\kappa} = \frac{Q + G_m}{2} \quad (2.6)$$

Реакція в опорах визначається за формулою:

$$R_A = \frac{P_{\text{ск}}(2L - 2x - b)}{L} \quad (2.7)$$

Згинальний момент від дії маси каретки та вантажу на віддалі x від опори A визначається за формулою:

$$M_x = \frac{P_{\text{ск}}(2L - 2x - b)x}{L} \quad (2.8)$$

Задавши першу похідну M_x рівною нулю, за умови $x = \frac{L}{2} - \frac{b}{4}$, матимемо з врахуванням коефіцієнта k_2 (враховує динаміку експлуатації крана залежно від режиму роботи і типу приводу, $k_I = 1,0 - 1,5$) тоді максимальний момент запишеться формулою:

$$M_p = k_2 \frac{P_{\text{ск}} \left(L - \frac{b}{2}\right)^2}{2L} = k_2 \frac{(Q + G_m) \left(L - \frac{b}{2}\right)^2}{4L} \quad (2.9)$$

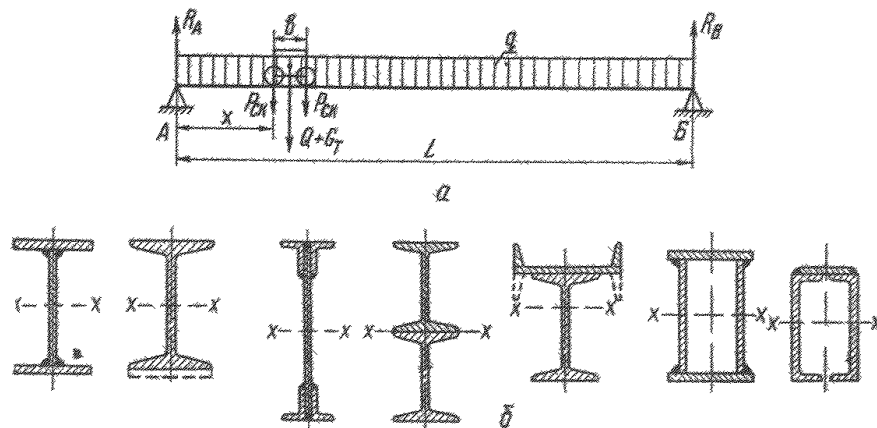


Рисунок. 2.5. Схема розрахунку балки крана (а); геометричні перерізи балки (б).

Значення $\frac{b}{2}$ можна невраховувати, тому що за умови $b \leq 0,1L$ відхилення складає лише 2 ... 3%. За такої умови сумарний момент запишемо за формулою:

$$M_{зс} = M_q + M_p = k_1 \frac{qL^2}{8} + k_2 \frac{(Q + G_m)L}{4} \quad (2.10)$$

На данному етапі розрахунків вага балки G залишається невизначеною, тому її доводиться приблизно встановлювати, використовуючи як основу приклади існуючих конструкцій.

Коли ми визначили основний матеріал для балок і встановили допустиме напруження, наступний крок - знайти потрібний момент опору:

$$W = \frac{M_{зс}}{[\sigma]} \quad (2.11)$$

Для визначення оптимального профілю двотаврової балки за стандартами ДСТУ або для розробки балки, складеної з кількох зклепаних або зварених профілів, обираємо відповідний розмір W . У випадку значних навантажень або великих прольотів балки використовуємо додатковий горизонтальний лист, швелер або двотавр. Це може бути виконано, як зображено на рисунку 2.5 б.

Значення висоти h для цих балок рекомендується вибирати для одностійкових балок крана $\left(\frac{1}{14} \dots \frac{1}{17}\right)L$, а для коробчастих перерізів балок крана $\left(\frac{1}{15} \dots \frac{1}{20}\right)L$.

Переріз балки має забезпечувати не лише достатню міцність, але й необхідну жорсткість, яка перевіряється за стрілою прогину. Жорсткість балки визначається її здатністю протистояти прогину або вигинанню під дією зовнішнього навантаження, яка визначається за формулою:

$$f = \frac{(Q + G_m)L^3}{48EI} \leq [f] \quad (2.12)$$

де I – момент інерції геометричного перерізу балки відносно вісі x ;

E – модуль пружності сталі рівний $2,1 \times 10^5 \text{ Н / мм}^2$.

Щоб запобігти вібрації балки під час роботи, необхідно дотримуватися встановлених норм питомого прогину. Для ручних мостових кранів допустимий питомий прогин $[f]$ повинен бути в межах $1/400$, для кран-балок – $1/500$, а для електричних кранів – $1/700$.

Існує альтернативний метод розрахунку балки. Задавши припустиме значення $[f]$, визначте момент інерції I , а потім виберіть відповідний розмір балки. Після цього проведіть перевірку міцності обраної балки.

З аналізу математичних залежностей та міцнісних розрахунків випливає, що основні параметри, що визначають конструктивні та експлуатаційні характеристики головної балки мостового крана, пов'язані з геометричним профілем поперечного перерізу балки. Отже, для оптимізації металоконструкції необхідно керуватися змінами у геометричній формі цього перерізу.

Висновки по розділу

Вибір оптимальної форми конструкції головної балки мостового крана, яка забезпечить необхідну міцність при мінімальній масі і доступній ціні, є ключовим аспектом у завданні ефективного проектування головних балок для мостових кранів.

Ефективність металевої конструкції балки, яка сприймає постійні навантаження, залежить не лише від властивостей матеріалу, але й від параметрів її поперечного перерізу, які забезпечують припустимі значення деформацій.

Характеристики геометричного перерізу головної балки мостового крана, а також її залежності від різних геометричних параметрів, форми перерізу та вантажопідйомності, можуть варіюватися.

Розділ 3. Дослідження прогину головної балки мостового крана залежно від геометрії профілю

3.1. Мета та програма експериментальних досліджень балки мостового крана

Метою проведення експериментальних досліджень є підтвердження точності визначення прогину балки на персональному комп'ютері за допомогою прикладних програм у порівнянні з результатами натурного вимірювання за визнаною методикою дослідження згину експериментального зразка. Крім того, планується оптимізація профілю основної балки мостового крана шляхом його моделювання за допомогою персонального комп'ютера.

Етапи досліджень впливу на профіль головної балки мостового крана розроблені відповідно до поставлених завдань роботи та включають оптимізацію геометричних характеристик перерізу балки мостового крана та впливу його на параметри металоконструкції.

Мета досліджень є наступна:

- розробка нового геометричного перерізу балки мостового крана;
- розрахунок оптимальних геометричних параметрів металоконструкції балки мостового крана за заданого навантаження.

3.2. Основні характеристики навантажень і закріплень балки мостового крана

Балка представляє собою конструктивний елемент у формі стержня або бруса (рис. 3.1), який в основному піддається напруженням внаслідок згину.

Згин виникає внаслідок впливу зовнішніх поперечних сил, які діють на колеса 3 каретки електроталі 2. Ця каретка піднімає вантаж 4, а також виникає розподілене навантаження вздовж балки через її власну вагу. Балка, навантажена таким чином, передає сили на опори, які можуть бути колонами, підвісами або стінами.

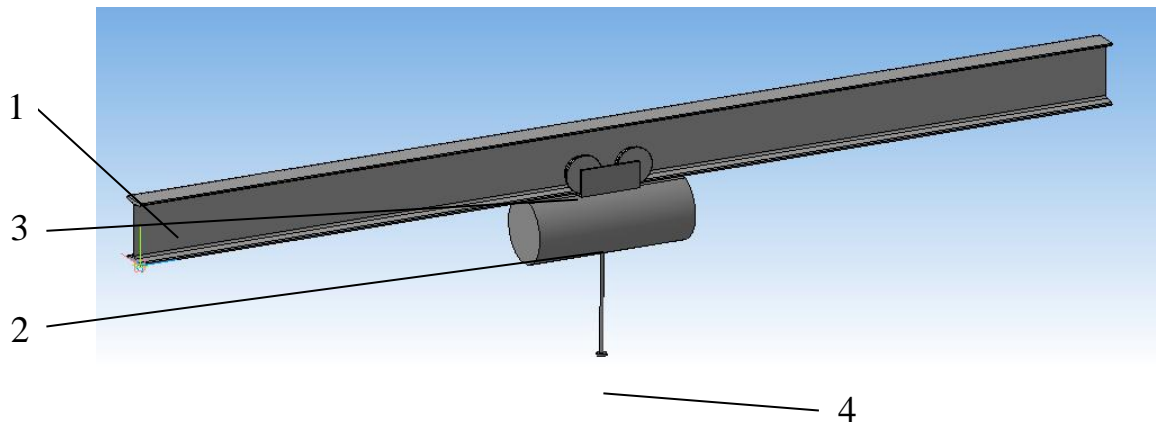


Рисунок. 3.1. 3D модель балки мостового крана

1 – балка мостового крана; 2 – електроталь на каретці; 3 – колеса каретки (4шт); 4 – вантаж умовний, який діє на балку.

В класифікації опору матеріалів для опор на балці виділяють три основних типи, які слід визначити перед проведенням подальших розрахунків:

- шарнірно-рухома опора, що накладає обмеження тільки на рух вздовж зв'язку або перпендикулярній опорній поверхні;
- опора допускає рух вздовж опорної поверхні балки та поворот балки по відношенню закріпленої точки;
- шарнірно-нерухома опора допускає лише поворот балки, реакція такої опори включає дві складових R_x та R_y .

3.3. Послідовність розрахунку балки мостового крана шляхом аналізу міцності на персональному комп'ютері

Для виконання розрахунків та аналізу міцності, а також визначення прогинів балки мостового крана, необхідно провести наступні кроки побудов з метою моделювання та оцінки цих параметрів.

1. Створення тривимірної твердотілої моделі балки мостового крана, яка містить електроталь, а також має спеціальні зони для прикладення навантажень у вигляді площадки для вантажу. На рис. 3.1 відображено дану 3D модель балки мостового крана, яка є об'єктом нашого наступного дослідження.

2. Використовуючи прикладну бібліотеку аналізу міцності необхідно встановити опори на краях балки мостового крана (рис. 3.2).

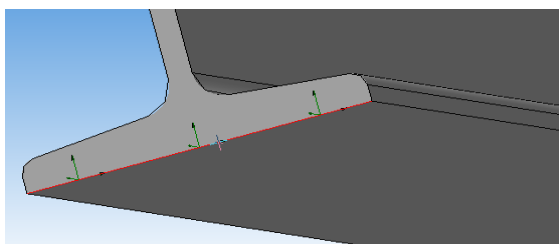


Рисунок. 3.2. встановлення обмежень переміщення на балці мостового крана

3. Прикласти силу в Ньютонах, яка відповідає масі вантажу, на яку розраховується балка мостового крана під час експлуатації (рис. 3.3).

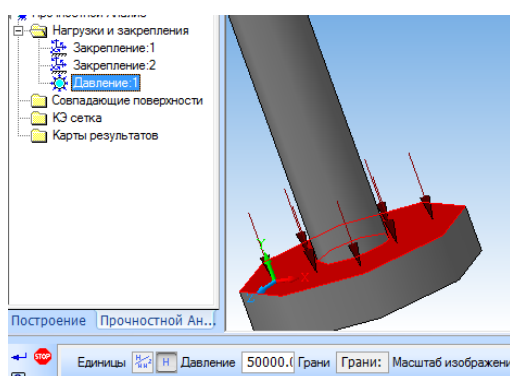


Рисунок. 3.3. Прикладання зусилля на конструкцію 3D моделі балки

4. Визначити та встановити поверхні, які збігаються і передають навантаження від дії вантажу до конструктивних елементів, наприклад, балки мостового крана, використовуємо метод аналізу конструкції. В даному випадку фокусуємося на визначенні поверхні полицки двотавра та опорної поверхні ходового колеса каретки талі крана (рис. 3.4), а також аналогічно для трьох інших коліс каретки.

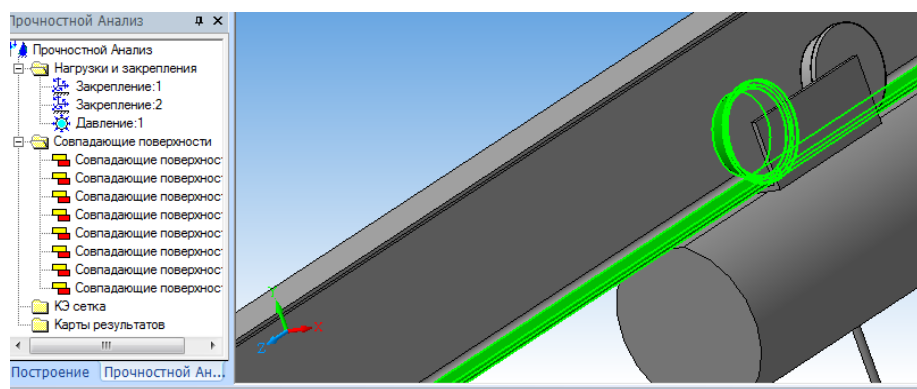


Рисунок. 3.4. Визначення поверхонь, які контактують в 3D моделі балки

5. Створити сітку з n елементарних частинок рис.3.5.

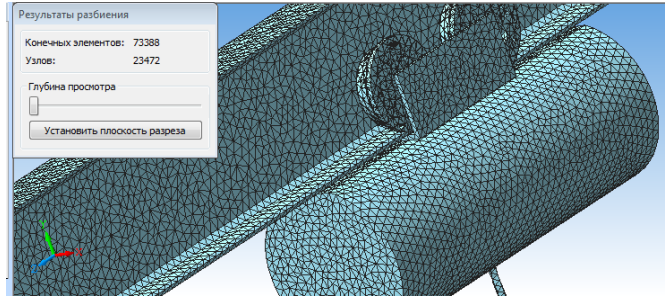


Рис. 3.5. Видяг сітки з n елементарних частинок 3D моделі балки

6. Використовуючи комп'ютер, виконати необхідні обчислення для оцінки міцності в даному випадку - провести статичний аналіз.

7. На рисунку 3.6 на карті результатів обрано вивід розрахованих даних, який відображає переміщення або прогин балки під впливом заданого навантаження.

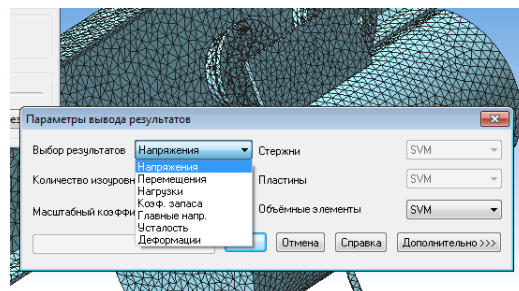


Рисунок. 3.6. Вікно виводу параметрів результатів розрахунку

8. Аналізуючи отримані карти результатів (рис. 3.7), визначаємо, наскільки відхилення балки f змінюється від величини заданого навантаження Q .

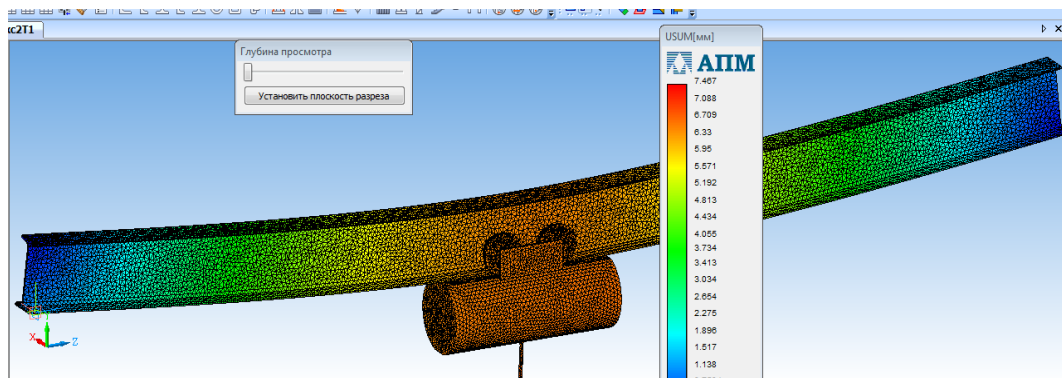


Рисунок. 3.7. Результати розрахунку прогину двотаврової балки мостового крана

Аналізуючи результати переміщення (прогин) балки мостового крана на отриманій карті, можна зробити висновок, що при впливі навантаження вагою 50 кН балка прогнеться на 7,1 мм, що відповідає значенню допустимої стріли прогину. Отриманий результат, отриманий за допомогою програмного забезпечення ПК, співпадає з стандартними математичними розрахунками балок (див. додаток 1). Зазначимо, що за математичними розрахунками стріла прогину балки складає 7,23 мм. Невідповідність отриманих розрахунків становить 1,83%, що менше допустимої похибки для розрахунків в межах $\pm 4\%$. Таким чином, для подальших розрахунків балок інших перерізів можна використовувати цей метод.

3.4. Розрахунок прогинів балок мостового крана з запропонованими їх геометричними перерізами

Розглядається визначення прогину двотаврової балки у процесі алгоритму розрахунку та аналізу. У даному випадку стріла прогину складає 7,1 мм.

Переміщення або стріла прогину балки мостового крана з двох швелерів № 20-В1 зображена на рисунку 3.8.

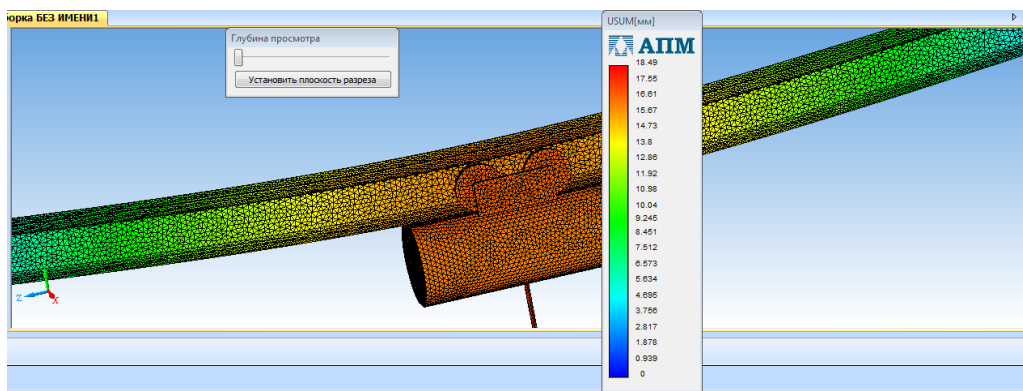


Рисунок. 3.8. Результати розрахунку прогину балки мостового крана із двох швелерів

Аналізуючи результати прогину балки, яка складається з двох швелерів та піддана навантаженню вагою 50 кН, виявлено, що стріла прогину становить

16,5 мм. Важливо відзначити, що прогин цієї балки перевищує той, який має двотаврова балка, і конструктивно вона складніша.

Переміщення або стріла прогину балки мостового крана звареної з тавра 15ШТ та круглої труби 210×5 зображена рис. 3.9.

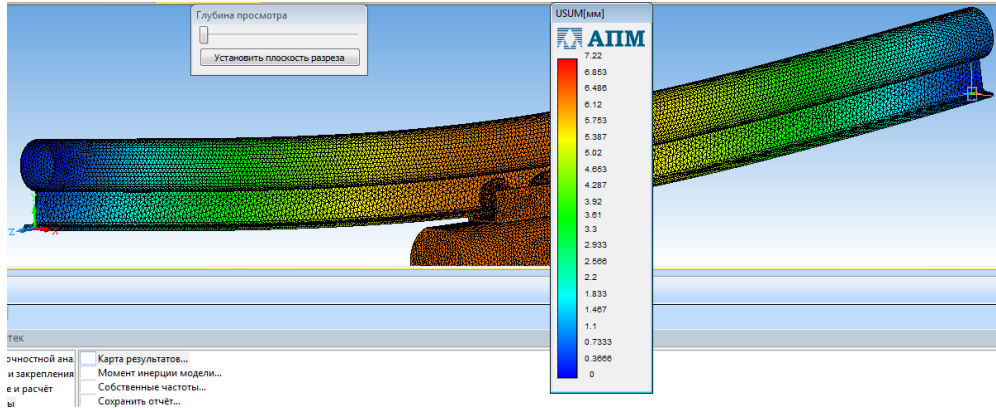


Рисунок. 3.9. Результати розрахунку прогину балки мостового крана звареної з тавра 15ШТ та труби 210×5.

Карта прогину балки, що складається з тавра та труби, під впливом навантаження вагою 50 кН, показує, що стріла прогину становить 6,5 мм. Важливо відзначити, що ця стріла менша, ніж у балки з двох таврів, і значно менша, ніж у балки з двох швелерів. За складністю виготовлення балка з тавра та труби аналогічна балці з двох швелерів, хоча її стріла прогину вища за стрілу балки з двох швелерів.

На карті прогину рисунок 3.10 представлена структура прямокутного перерізу, що складається з двох кутників розміром 50×7 та листів товщиною 5 мм.

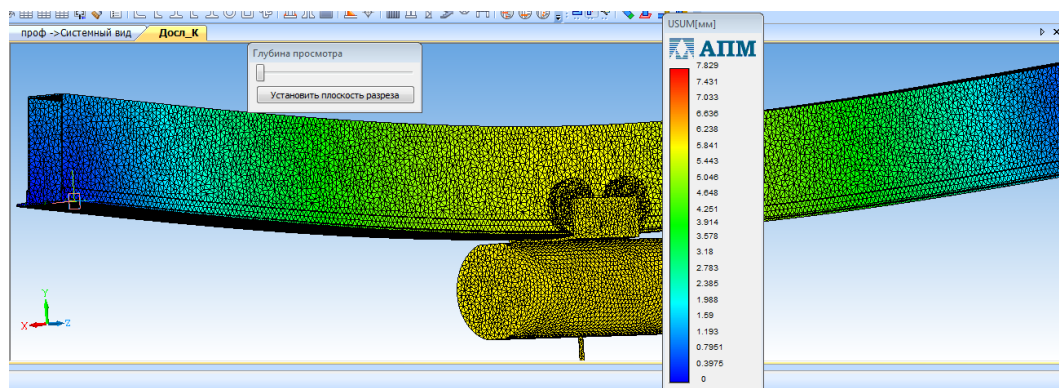
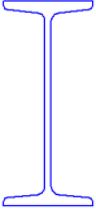
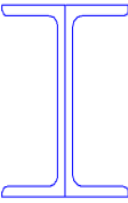
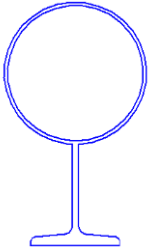
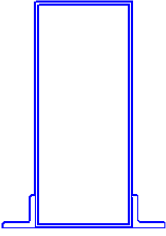


Рисунок. 3.10. Результати розрахунку прогину балки мостового крана звареної з двох кутників 50×7 та листів товщиною 5 мм.

Аналізуючи результати переміщення балки мостового крана, що складається з товщиною 5 мм листів і двох кутників розміром 50×7 мм, навантаженої вагою 50 кН, виявлено, що стріла відгину становить 6,3 мм. Ця балка, хоча має найменшу стрілу прогину серед розглянутих, але в той же час є найбільш складною за конструкцією, оскільки вона представляє собою коробчасту форму перерізу балки.

Дані, що стосуються розрахунків основних балок мостових кранів із однаковим перерізом балки, зібрані та представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. - Дані розрахунку стріли прогину (переміщення) балок мостових кранів.

№ з/п	Геометричний профіль перерізу балки	Сортамент з якого виготовлено балку	Площа поперечного перерізу балки крана, мм ² .	Моменти інерції перерізів балки крана, I, мм ⁴ .	Маса балки крана, кг.	Переміщ. або стріла прогину балки, f, мм.
1		Двотавр № 30 М	6403.8	95124003	250,39	7.10
2		Швелер № 20В1 + Швелер № 20В1	6582.0	38529675	256,1	16.50
3		Труба D 210×5 + Тавр № 15ШТ1	6513.0	99953392	251,15	6.50
4		Лист товщ. 5 мм + Кутник № 50×7 + Кутник № 50×7	6212.0	106731566	249,54	6.30

На рисунку 3.11 відображено графік, який демонструє залежність величини прогину балки мостового крана від конфігурації її перерізу.

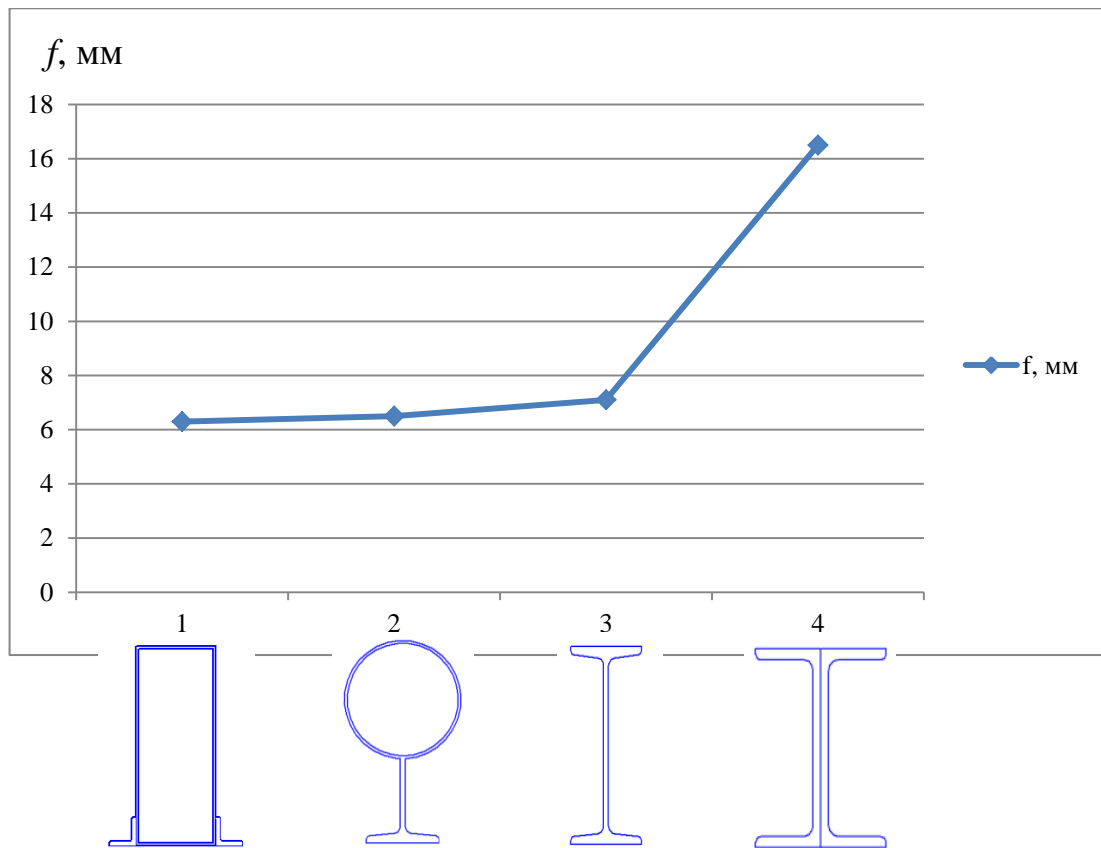


Рисунок. 3.11. Графік, який відображає, як прогин балки мостового крана змінюється в залежності від геометричної форми та розмірів поперечного перерізу балки.

Аналізуючи графік, що відображає залежність прогину балки від форми її поперечного перерізу, можна висунути висновок, що балка коробчастого типу має найменший прогин, тоді як із двох швелерів найбільший прогин.

З отриманих даних також можна зробити висновок, що прогин балки f , в основному, залежить від моменту інерції перерізу балки I . Цей момент інерції визначає геометричні характеристики перерізу (рис. 3.12).

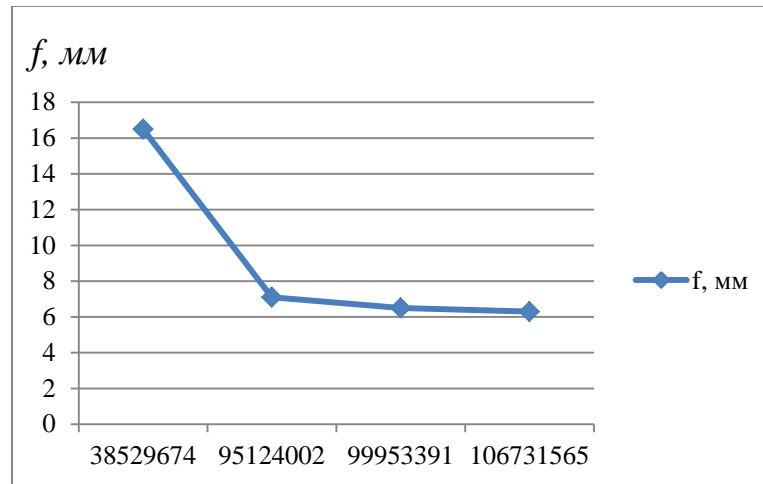


Рисунок. 3.12. Графік впливу стріли прогину балки мостового крана від моменту інерції

$I, \text{мм}^4$

Збільшення моменту інерції перерізу I призводить до зменшення стріли прогину f (рис. 3.12). Таким чином, при проектуванні геометрії перерізу балки мостового крана необхідно враховувати цей фактор і розробляти конструкції, що гарантують відповідне виконання цієї умови.

3.5. Вплив стріли прогину балки мостового крана на масу конструкції

Використовуючи двотавр № 30М як елемент базової балки із стрілою прогину $f=7,1$ мм, розглядаємо карту прогину балки, яка представлена на рисунку 3.7.

На рис. 3.13 показано карту переміщення (прогину) балки крана виготовленої з труби і тавра.

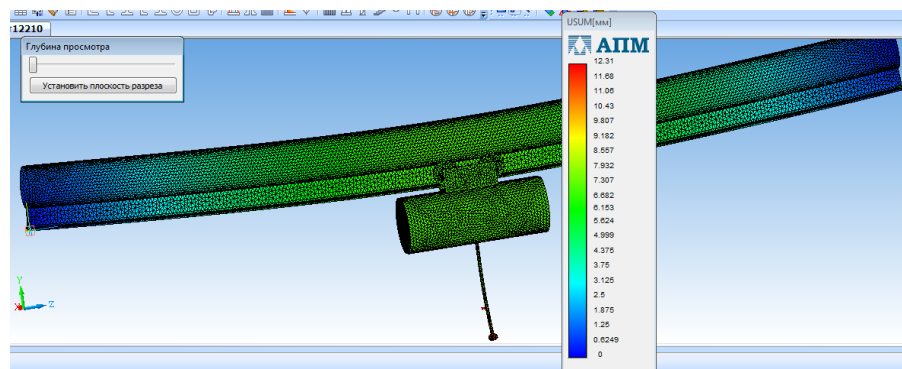


Рисунок. 3.13. Прогин балки мостового крана звареної з труби D 240×5 тавра №12ШТ

Балка, виготовлена з двотавра №30М та балка, виготовлена з тавра №12ШТ та труби 240×45, мають різну масу при однакових значеннях стрілі прогину. Довжина балки з двотавра 30М 5 метрів важить 250,39 кг, тоді як балка з тавра №12ШТ та труба 240×45 при тих самих стрілах прогину важать 225,7 кг. Різниця в масі між ними становить 24,69 кг.

Карта прогину (переміщення) балки мостового крана виготовленої з двох швелерів № 26 В показано на рис. 3.14.

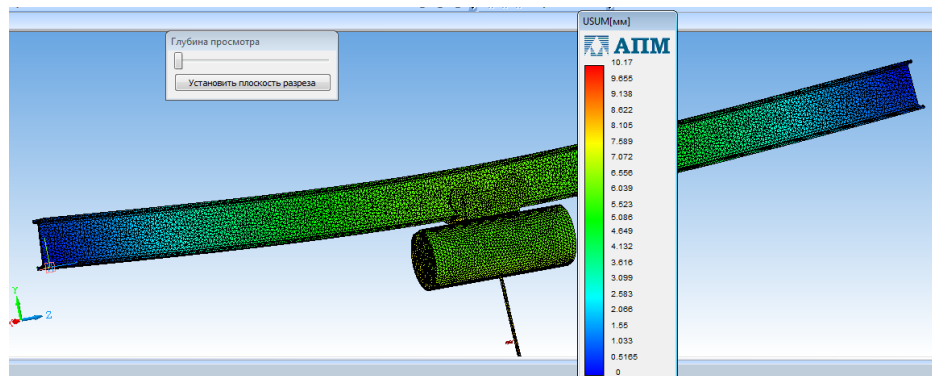


Рис. 3.14 Прогин балки мостового крана звареної з двох швелерів № 26 В

Балка, виготовлена з двотавра № 30 М і двох швелерів № 26 В, має стріли прогину різної величини. Довжина стріли прогину для обох матеріалів становить 7,1 мм. Якщо балка складається з двотавра № 30 М довжиною 5 м, то її маса дорівнює 250,39 кг. У той же час, якщо балка складається з двох швелерів № 26 В, то її маса становить 384,44 кг. За однакової стріли прогину, балка з двох швелерів тяжша на 134,05 кг.

Карта прогину (переміщення) балки мостового крана виготовленої з двох кутників №50×7 і листа товщиною 5мм показано рис. 3.15.

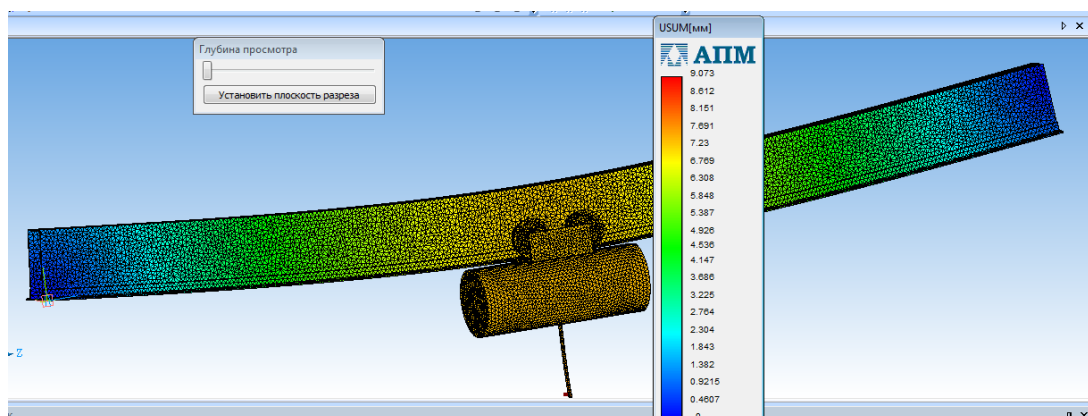
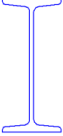
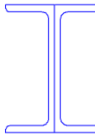
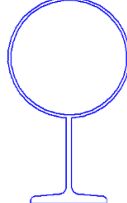
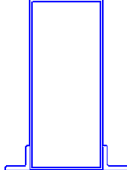


Рисунок. 3.15 Прогин балки мостового крана з коробчастим перерізом

Балки, виготовлені з листа товщиною 5мм та кутників №50×7, мають однаковий стріл прогину у розмірі 7,1 мм. Незважаючи на це, їх маса різна: двотавр №30М, виготовлений за допомогою листа та кутників, має масу 250,39 кг при довжині 5 м, тоді як конструкція з листа товщиною 5 мм та двох кутників №50×7 має масу 237,81 кг. незважаючи на те, що стріл прогину у них однаковий, балка з листа і двох кутників виявляється легшою на 12,58 кг порівняно із двотавром №30М.

З вище зазначеного можна зробити висновок, що для однакової величини прогину балки маса може варіюватися в значному діапазоні в залежності від геометричної форми поперечного перерізу балки. У таблиці 3.2 представлені узагальнені дані щодо впливу профілю балки на її масу, порівняно з базовим профілем двотавра №30М при однаковій величині стріли прогину.

Таблиця 3.2 - Порівняння маси балок мостових кранів за умови однакової стріли прогину (переміщення).

№ з/п	Геометричний профіль перерізу балки	Сортамент з якого виготовлено балку	Маса балки крана, кг.	Різниця маси балок крана, кг.	Різниця маси балок крана, %.
1		Двотавр № 30 М	250.39	0.0	0.0
2		Швелер № 20В1 + Швелер № 20В1	384.44	134.05	53.5
3		Труба D 210×5 + Тавр № 15ШТ1	225.7	-24.69	-9.86
4		Лист товщ. 5 мм + Кутник № 50×7 Кутник № 50×7	237.81	-12.58	-5.02

На рисунку 3.16 показано залежність маси балки мостового крана від геометричної форми її профілю.

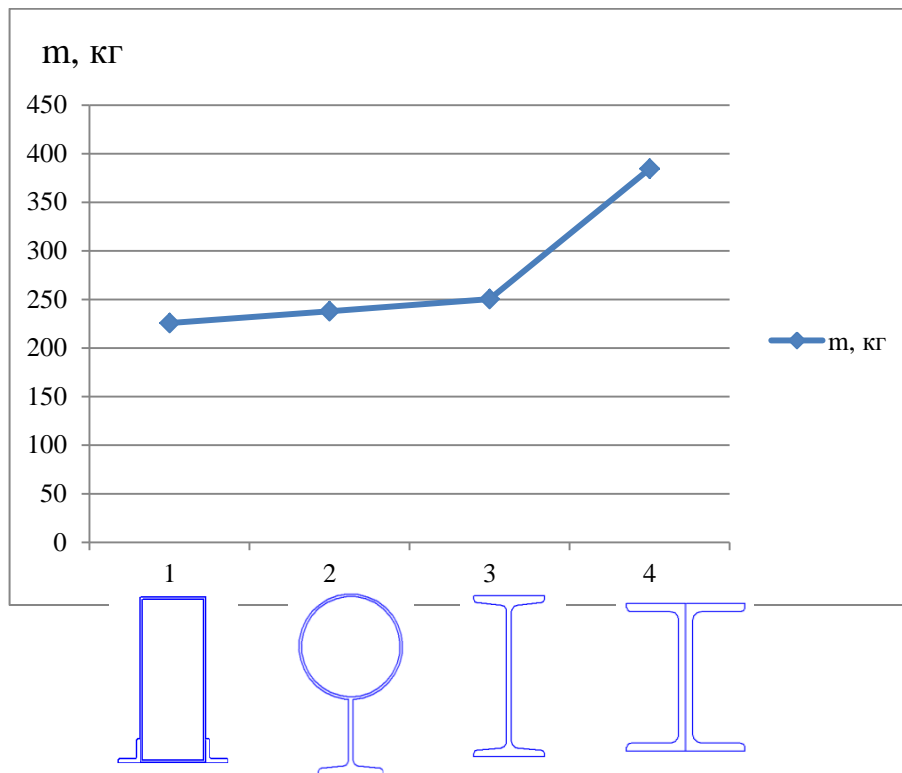


Рисунок. 3.16. залежність маси балки мостового крана від геометричної форми її профілю за стріли прогину (переміщення) 7.1 мм

Шляхом аналізу маси балок при однаковому прогині виявлено, що найменшою масою володіє балка із коробчастим перерізом, тоді як балка, створена з двох швелерів, має найбільшу масу.

Висновки по розділу

Получені результати підтверджують, що використання програмного забезпечення для дослідження балки мостового крана забезпечує достатню точність відтворення геометричних змін, що виникають в балці під впливом навантаження. Розбіжність у розрахунках складає лише 4,2%.

Використана методика розрахунку і дослідження може бути використана під час проектуванні будь-яких навантажених балок, що дозволяє оптимізувати та покращувати процес проектування.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних ситуацій під час 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 [3, 4, 8].

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) пожежовибуху 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 переміщуються мостовим краном. До них також відносять електоталь і вантажозахватні пристрої. Небезпечні зони повинні бути недоступні для випадкового попадання в них людей, тобто огорожені 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 безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова НУ	Небезпечна дія НД	Небезпечна ситуація НС		
1	2	3	4	5	6
Експлуатація мостового крана. Блок-схема	<p>НУ₁ – мостовий кран не-обладнаний звуковим сигналом переміщення вантажу;</p> <p>НУ₂ – несправний звуковий сигнал переміщення вантажу.</p> <p>НУ₁ →</p> <p>НУ₂ →</p>	<p>НД₁ – працюючий перебуває в зоні дії мостового крана;</p> <p>НД₂ →</p>	<p>НС – падіння вантажу або частин машини на працівника.</p> <p>НС →</p>	<p>Т – травма; А – аварія.</p> <p>Т</p>	Розробка і впровадження захисних пристроїв згідно вимог охорони праці.
Піднімання вантажу Кран мостовий Блок-схема	<p>НУ – гакова підвіска не обладнана механізмом фіксації вантажу</p> <p>НУ →</p>	<p>НД₁ – перебування біля гакової підвіски крана;</p> <p>НД₂ – обслуговування гакової підвіски крана</p> <p>НД₁ →</p> <p>НД₂ →</p>	<p>НС₁ – попадання оператора в зону переміщення вантажу;</p> <p>НС₂ – падіння вантажу.</p> <p>НС₁ → НС₂ →</p>	<p>Т</p> <p>А</p> <p>Т</p>	Організувати контроль безпеки машини перед роботою; проводити інструктажі з техніки безпеки
Ремонт агрегатів мостового крана	<p>НУ – агрегати необладнані захисними, обгороджуючими пристроями і попереджувальними знаками</p> <p>НУ →</p>	<p>НД – ввімкнення агрегатів в роботу без попередження</p> <p>НД →</p>	<p>НС – нанесення травми оператору або працівникові</p> <p>НС →</p>	<p>Т – Травма.</p> <p>Т</p>	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 безпека 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 на 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 ґрунтових 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. Несприятливо 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

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.

Розділ 5. Техніко–економічна оцінка виготовлення балки мостового кран з різних профілів

Модернізація існуючих засобів може бути здійснена з відносно невеликими витратами капіталу, при цьому досягаючи помітного економічного ефекту і зменшуючи масу машини при збереженні її міцних характеристик. Вдосконалення конструкції головної балки мостового крана, яке спрямоване на оптимізацію для завантажувально-розвантажувальних операцій, за допомогою зміни форми перерізу, дозволить зменшити масу балки, а також розподілити навантаження на елементи конструкції крана та будівлі, де він експлуатується [12].

Розглянемо випадок розрахунку балки крана з коробчастим перерізом, яка передбачає великий обсяг монтажних робіт.

Капіталовкладення на виготовлення балки визначаються за формулою:

$$K_{\epsilon} = K_{\text{м}} + K_{\text{ел}} \quad (5.1)$$

де $K_{\text{м}}$ – ціна профілів для виготовлення балки крана, грн.;

$K_{\text{ел}}$ – ціна затраченої електроенергії на виробництво балки крана, грн.

Капіталовкладення на виготовлення балки мостового крана складуть:

балки крана з двотавра:

$$K_{\epsilon 0} = 2067,84 + 0 = 2067,84 \text{ грн.}$$

балки крана з двох кутників і листової сталі:

$$K_{\epsilon 1} = 2128,43 + 1,30 = 2129,73 \text{ грн.}$$

балки крана з двох швелерів:

$$K_{\epsilon 2} = 3204,13 + 1,30 = 3205,43 \text{ грн.}$$

балки крана з труби і тавра:

$$K_{\epsilon 3} = 1896,11 + 0,48 = 1896,59 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1 - Затрати на виготовлення балки крана коробчастого перерізу
(з двох кутників і листової сталі)

№ з/п	Назва основних витратних матеріалів	Розмірність	Витрата на один виріб	Вартість, за одиницю грн.	Загальна вартість, грн.
1	Прокат	т	0.2378	45000	10701
2	Електроди зварювальні	кг	5.40	92.4	498.96
3	Ацетилен для зварювання	м ³	0.27	464.4	125.39
4	Кисень для зварювання	м ³	6.75	53.22	359.24
Вартість матеріалів					11684.59
Величина транспортно-заготівельних витрат					350.54
Затрати на виготовлення балки мостового крана					12035.13

Таблиця 5.2 - Затрати на виготовлення балки крана на виготовлення балки крана з однаковії двох швелерів

№ з/п	Назва основних витратних матеріалів	Розмірність	Витрата на один виріб	Вартість, за одиницю грн.	Загальна вартість, грн.
1	Прокат	т	0,3844	45000	17298
2	Електроди зварювальні	кг	2.0	92.4	184.8
3	Ацетилен для зварювання	м ³	0.015	464.4	6.97
4	Кисень для зварювання	м ³	0.375	53.22	19.96
Вартість матеріалів					17509.73
Величина транспортно-заготівельних витрат.					525.29
Затрати на виготовлення балки мостового крана					18035.02

Таблиця 5.3 - Затрати на виготовлення балки крана з труби і тавра

№ з/п	Назва основних витратних матеріалів	Розмірність	Витрата на один виріб	Вартість, за одиницю грн.	Загальна вартість, грн.
1	Прокат	т	0.2210	45000	9945
2	Електроди зварювальні	кг	2.0	92.4	184.8
3	Ацетилен для зварювання	м ³	0.015	464.4	6.97
4	Кисень для зварювання	м ³	0.375	53.22	19.96
Вартість матеріалів					10156,73
Величина транспортно-заготівельних витрат.					304.70
Затрати на виготовлення балки мостового крана					10461.43

Таблиця 5.4 - Затрати на виготовлення балки крана з двотавра

№ з/п	Назва основних витратних матеріалів	Розмірність	Витрата на один виріб	Вартість, за одиницю грн.	Загальна вартість, грн.
1	Прокат	т	0.2504	45000	11268
2	Ацетилен для зварювання	м ³	0.015	464.4	6.97
3	Кисень для зварювання	м ³	0.375	53.22	19.96
Вартість матеріалів					11294.93
Величина транспортно-заготівельних витрат.					338.85
Затрати на виготовлення балки мостового крана					11633.78

Ціна електроенергії:

$$K_{ел} = M_m (G_{ел} / \Pi) B_{ен} \quad (5.2)$$

де M_m – електроенергії зварювальним апаратом, кВт/год, (3 кВт/год);

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

Π – продуктивність зварювальних робіт, кг/год, (5 кг/год);

$B_{ен}$ – ціна 1кВт/год електроенергії, приймаємо 6,0 грн.

Ціна модернізації перерізу балки по електроенергії:

балки крана з двотавра (базової):

$$K_{ел0} = 0 \text{ грн.}$$

балки крана з двох кутників і листової сталі:

$$K_{ел1} = 3 \times (5.4 / 5) \times 6 = 19.44 \text{ грн.}$$

балки крана з двох швелерів:

$$K_{ел2} = 3 \times (2 / 5) \times 6 = 7.2 \text{ грн.}$$

балки крана з труби і тавра:

$$K_{ел3} = 3 \times (2 / 5) \times 6 = 7.2 \text{ грн.}$$

Витрати які йдуть на оплату праці робітників:

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

де $T_{ст}$ – ціна за виконання погонного метра зварного шва, прийmemo 96 грн;

$K_{зм,зв}$, $K_{зм,різ}$ – довжини зварних швів та різки металопрокату, м.

Тоді для балки крана з двотавра (базової):

$$Z_{он0} = 96 \times (0 + 1,5) = 144 \text{ грн.}$$

Тоді для балки крана з двох кутників і листової сталі:

$$Z_{он1} = 96 \times (30 + 28) = 5568 \text{ грн.}$$

Тоді для балки крана з двох швелерів:

$$Z_{он2} = 96 \times (10 + 1,5) = 1104 \text{ грн.}$$

Тоді для балки крана з труби і тавра:

$$Z_{он3} = 96 \times (10 + 1,5) = 1104 \text{ грн.}$$

Розрахунковий економічний ефект використання балки крана порівняно з базовою виконаної з двотавра:

$$E = (K_{в0} - K_{вн}) + (Z_{он0} - Z_{онн}) \quad (5.4)$$

Тоді для балки крана з двох кутників і листової сталі:

$$E_1 = (11633,78 - 12054,57) + (144 - 5568) = -5844,79 \text{ грн.}$$

Для балки крана з двох швелерів:

$$E_2 = (11633,78 - 18042,22) + (144 - 1104) = -7368,44 \text{ грн.}$$

Тоді для балки крана з труби і тавра:

$$E_3 = (11633,78 - 10461,43) + (144 - 1104) = 212,35 \text{ грн.}$$

Затрати коштів на виробництво балки визначимо за формулою:

$$Z_{вн} = K_{вн} + Z_{онн}, \text{ грн.} \quad (5.5)$$

Тоді для балки крана з двотавра (базової):

$$Z_{e0} = 11633,78 + 144 = 11777,78 \text{ грн.}$$

Тоді для конструкції з кутників і листової сталі:

$$Z_{e1} = 12035,13 + 5568 = 17603,13 \text{ грн.}$$

Для балки крана з двох швелерів:

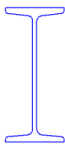
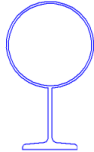
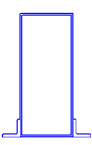
$$Z_{e2} = 18035,02 + 1104 = 19139,02 \text{ грн.}$$

Для балки крана з труби і тавра:

$$Z_{e3} = 10600,48 + 1104 = 11704,48 \text{ грн.}$$

Отримані обчислення можна узагальнити та систематизувати, представивши їх у вигляді таблиці 5.2.

Таблиця 5.5 - Ефективність модернізації геометричного перерізу профілю балки крана

Параметри і показники балки мостового крана	Геометрична форма перерізу профілю балки			
				
Вантажопідйомність крана, кН	50,0	50,0	50,0	50,0
Ціна матеріалів на виготовлення балки крана, грн.	11633,74	18042,22	1840,89	12054,57
Ефект від виготовлення балки крана, грн.	0	-7368,44	212,35	-5844,79
Загальні затрати на виробництво балки мостового крана, грн.	11777,78	19139,02	11704,48	17603,13

З аналізу зведеної таблиці можна зробити висновок, що найбільш вигідним з економічної точки зору, при однаковій масі, є профіль балки мостового крана, виготовлений з тавра і труби. За порівняною масою, двотавр виявляється менш вигідним, оскільки його вага перевищує вагу балки, виготовленої з тавра і труби. Щодо балки з листа і двох кутників, вона стає

економічно недоцільною при виготовленні для кранів з обмеженою металоємністю. Балка, складена з двох швелерів, характеризується великою масою, тому без належного конструктивного обґрунтування вона також не є оптимальним вибором для балок мостових кранів.

Висновки по розділу

Економічний аналіз розробки конструкції головної балки мостового крана вказав на те, що найбільш вигідним з точки зору ефективності та економії є використання перерізу, який складається з труби і тавра. Це обумовлено тим, що виробництво такого перерізу призвело до економічного ефекту у розмірі 212,35 гривень за кожен балку.

Висновки і пропозиції

1. Вивчення актуальних аспектів у проектуванні балок мостових кранів вимагає застосування передових технологій на етапі конструювання. Необхідно забезпечити точні розрахунки для створення надійної конструкції та оптимізованої форми перерізу балки крана.

2. Визначення оптимальної конструкції балки мостового крана, яка забезпечить необхідну міцність та мінімізує прогин при найменшій масі і доступній ціні, представляє собою ключовий аспект ефективного проектування мостових кранів. Ця задача вимагає вирішення для забезпечення надійності та ефективності їх роботи.

3. Було встановлено, що ефективність балки, що піддається навантаженню від певного вантажу, залежить від різних факторів, серед яких одним з ключових є величина прогину при визначеному навантаженні.

4. Залежно від геометричних параметрів балки мостового крана, її поперечного перерізу та вантажопідйомності можна визначити різноманітний характер зв'язку між геометричними характеристиками балки та її оптимальною конструкцією.

5. Застосування запропонованої методики розрахунку параметрів балки мостового крана дає змогу оптимізувати її параметри на етапі проектування, визначити її основні конструктивні розміри і доцільність їх застосування.

6. Отримані висновки підтверджують, що використання комп'ютерного моделювання для дослідження балки мостового крана дозволяє достатньо точно відтворити геометричні зміни, що виникають у балці під впливом навантаження

7. Методика розрахунку і вивчення, що була використана, може бути ефективно застосована при проектуванні будь-яких навантажених балок, надаючи можливість оптимізувати та ускладнювати процес проектування.

8. В ході роботи були визначені основні заходи з охорони праці для оператора мостового крана на робочому місці, а також проаналізована ймовірності виникнення подій, таких як аварія, травма, катастрофа та інші.

9. Загальна оцінка економічної доцільності різних профілів балки мостового крана вказує на те, що найбільш вигідним є профіль, який складається з тавра і труби при однаковій масі. Досягнуто це завдяки меншій масі порівняно з двотавром, що забезпечує значний економічний вигаш. Балка, виготовлена з листа і двох кутників, виявилася економічно необгрунтованою для малих металоємних кранів, а профіль з двох швелерів, без належного конструктивного обгрунтування, також не є доцільним для використання в головних підвісних балках мостових кранів. Економічний ефект від виробництва балки із тавра і труби оцінюється на рівні 212,35 грн на одиницю, підкреслюючи його вигоду порівняно з альтернативами.

Бібліографічний список

1. Бондарев В.С. та ін. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підймальних 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., Луценков 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. Павлице 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. НДПБ 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.

Розрахунок балки мостового крана.

Вихідні дані:

вантажопідйомність: $Q=50\text{кН}$;

відстань між опорами (прольот): $L=5\text{м}$;

режим роботи: спокійний (К1);

вага електроталі: $G_m=550\text{Н}$.

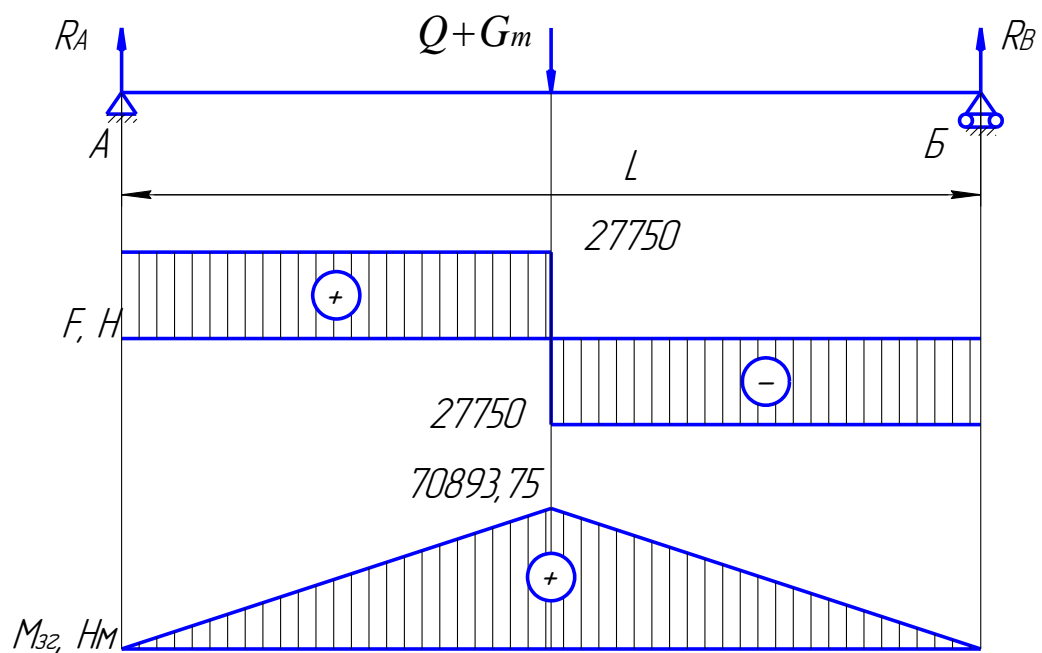


Рис. Схема до розрахунку балки.

Максимальний згинальний момент в балці:

$$M_{зг} = M_q + M_p = k_1 \frac{qL^2}{8} + k_2 \frac{(Q+G_m)L}{4} \quad (6)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує вплив ударів, при $v < 60$ $k_1=1$.

k_2 – коефіцієнт, що враховує динаміку роботи в залежності від типу приводу і режиму роботи, $k_2=1,0$.

q – погонна вага двотавра, для двотавра №36М $q=486\text{Н}$

$$M_{зг} = 1 \frac{486 \cdot 5^2}{8} + 1 \frac{(50000 + 5500)5}{4} = 70893,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вибравши основний матеріал для балок і допустиме напруження, знаходимо необхідний момент опору:

$$W = \frac{M_{зг}}{[\sigma]_{зг}} \quad (7)$$

де $[\sigma]_{зг}$ – допустиме напруження згину, МПа, ($[\sigma]_{зг}=140$ МПа)

$$W = \frac{70893,75 \cdot 10^3}{140} = 506383,9 \text{ мм}^3$$

За W вибираємо по ГОСТу відповідний профіль двотаврової балки №30М. $W_x=633000 \text{ мм}^3$, $I_x=95124002 \text{ мм}^4$.

Висоту h цих балок рекомендується приймати для одностійкових балок $\left(\frac{1}{14} \dots \frac{1}{17}\right)L$ і для коробчастих перерізів $\left(\frac{1}{15} \dots \frac{1}{20}\right)L$.

Підібраний або спроектований переріз балки повинен забезпечити незалежно від міцності достатню жорсткість, яка перевіряється за стрілою прогину:

$$f = \frac{(Q + G_m)L^3}{48EI} \leq [f] \quad (8)$$

де I – момент інерції перерізу відносно осі x ;

E – модуль пружності для сталі $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$;

$[f]$ – допустиме значення стріли прогину, для кран-балок $[f_0] = 1:500, \text{ мм}$ ($[f]=5000/500=10 \text{ мм}$).

$$f = \frac{(50000 + 5500)5000^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 95124002} = 7,23 \leq 10 \text{ мм.}$$

Отже, умова на допустимий прогин балки виконується.