

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ГИЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

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

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Обґрунтування геометричних параметрів перерізу балки
консольного крана»**

Виконав: студент VI курсу групи Маш-62

Спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

(шифр і назва)

Володимир КУЗЬ
(Ім'я та прізвище)

Керівник: Сергій БАРАНОВИЧ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

**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” лютого 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Кузю Володимиру Богдановичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування геометричних параметрів перерізу балки консольного крана»

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

Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 року № 140/к-с.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 5.12.2025 року

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

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Конструкції кранів консольного типу та їх характеристики;
2. Основні принципи теорії проектування кранів консольного типу;
3. Дослідження кранів консольного типу;
4. Охорона праці під час експлуатації кранів консольного типу та безпека в надзвичайних ситуаціях;
5. Техніко-економічна оцінка результатів дослідження;
- Висновки і пропозиції;
- Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання розділу: «Конструкції консольних кранів та їх характеристики»</i>	28.02.25-28.03.25	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Основні підходи та принципи у теорії проектування металевих конструкцій»</i>	31.03.25-2.05.25	
3.	<i>Виконання розділу: «Дослідження балки консольного крана»</i>	5.05.25-28.06.25	
4.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	1.09.25-3.10.25	
5.	<i>Виконання розділу: «Техніко-економічна оцінка результатів дослідження»</i>	31.10.25-7.11.25	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	10.11.25-5.12.25	

Студент

_____ Володимир КУЗЬ
(підпис)

Керівник роботи

_____ Сергій БАРАНОВИЧ
(підпис)

УДК 631.374

Обґрунтування геометричних параметрів перерізу балки консольного крана.

Кузь Володимир Богданович – Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, 2025. 76с. текст. част., 21 рис., 5 табл., 22 джерел.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз наукових джерел та здійснено огляд існуючих консольних кранів, які застосовуються для вантажно-розвантажувальних операцій на різних виробництвах. Описано конструкції металевих елементів кранів та наведено принципи їх розрахунку.

Дослідження виконано з використанням комп'ютерного моделювання, що дозволило встановити залежність впливу перерізу консольної балки консольного крана на величину прогину та масу металоконструкції.

У розділі з охорони праці проаналізовано аварійні та травмонебезпечні ситуації, які можуть виникати під час роботи з консольним краном. Розглянуто заходи щодо захисту населення у випадку надзвичайних ситуацій.

В економічній частині роботи проведено оцінку розробленої металоконструкції консольної балки консольного крана з точки зору виробничих витрат, прибутку від виготовлення балки з запропонованим перерізом, трудомісткості процесу виробництва та економічного ефекту від модернізації конструкції.

ЗМІСТ

	ст.
Вступ	7
РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКЦІЇ КОНСОЛЬНИХ КРАНІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ	9
1.1 Застосування консольних кранів	9
1.2 Спеціалізовані консольні крани крани	13
1.3 Основні показники, які характеризують геометричні перерізи плоских тіл	16
1.4 Комплексний огляд сортаменту металевих конструкцій: основні типи та характеристики	23
Висновки до розділу	26
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ПІДХОДИ ТА ПРИНЦИПИ У ТЕОРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ	30
2.1 Особливості та показники ефективності металевих конструкцій	30
2.2 Основні вимоги до проектування та експлуатації металевих конструкцій	38
2.3 Види та особливості навантажень у металоконструкціях	42
2.4 Розрахунок та оцінка навантажень, що діють на металоконструкції	44
Висновки по розділу	51
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛКИ КОНСОЛЬНОГО КРАНА	53
3.1 Мета і програма досліджень балки консольного крана	53
3.2 Оптимізація конструкції та форми перерізів консольної балки крана	54
Висновки по розділу	61
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В	

	НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	62
4.1	Структурно функціональний аналіз процесів експлуатації консольного крана	62
4.2	Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки	63
4.3	Безпека в надзвичайних ситуаціях	66
	Висновки до розділу	68
	РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	69
	Висновки по розділу	72
	ВИСНОВКИ	73
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	75

ВСТУП

У сучасних умовах ринкової економіки, коли конкуренція між виробниками постійно посилюється, роль ефективної організації машинобудівного виробництва набуває вирішального значення. Підприємства дедалі гостріше стикаються з потребою підвищувати надійність і якість своєї продукції, скорочувати технологічні цикли, мінімізувати витрати на технічну підготовку виробництва та оперативно реагувати на зміну вимог споживачів.

В таких умовах особливої важливості набувають інструменти, які дають змогу оптимізувати процеси проєктування та виготовлення виробів. Системи автоматизованого проєктування (САПР) виступають одним із ключових засобів підвищення продуктивності інженерної діяльності. Їхнє використання дозволяє істотно зменшити трудомісткість проєктних робіт, скоротити терміни конструкторської підготовки, мінімізувати кількість помилок, а також забезпечити точність і узгодженість технічної документації.

Крім того, САПР сприяють адаптації виробництва до змін ринку: забезпечують швидке внесення модифікацій у конструкцію виробів, полегшують впровадження нових технологій та дають змогу ефективніше прогнозувати потреби споживачів. У результаті підприємства отримують можливість підвищувати конкурентоспроможність продукції, знижувати загальні витрати та підвищувати рівень задоволення замовників.

Сучасний розвиток кранобудування характеризується низкою помітних змін. Передусім спостерігається тенденція до розширення виробництва кранів підвищеної вантажопідйомності, тоді як потреба у кранах малого класу поступово зменшується. Активно впроваджуються нові типи приводів гідравлічні та спеціалізовані електричні системи, що забезпечують точніше керування та вищу надійність. Також усе ширше застосовуються крани-маніпулятори, які стають незамінними у типових будівельних операціях, монтажі конструкцій і під час інтенсивних навантажувально-розвантажувальних процесів.

Водночас у галузі зростає потреба у скороченні строків створення проектної документації, підвищенні якості та вдосконаленні техніко-економічних параметрів техніки ще на стадії проєктування. Значне збільшення продуктивності інженерної праці, зменшення кількості рутинних операцій і можливість швидкого порівняння різних конструктивних рішень можуть бути досягнуті лише завдяки впровадженню автоматизованих методів проєктування. Саме автоматизація забезпечує той рівень швидкості, точності та гнучкості, який нині вимагає кранобудівна промисловість.

Підхід до автоматизації проєктування консольних кранів сьогодні ґрунтується на широкому застосуванні інтегрованих комплексів САПР типу CAD/CAM/CAE, які дають змогу створювати й аналізувати машинобудівні конструкції практично будь-якої складності.

Термін придатності консольного крана значною мірою залежить від того, скільки робочих циклів він виконує та які величини динамічних навантажень діють на його конструктивні елементи, зокрема на кінцеві балки й вузли кріплення. Під впливом змінних та локально зосереджених навантажень у матеріалі можуть з'являтися втомні дефекти дрібні тріщини, які з часом розвиваються й можуть призвести до аварійних ситуацій. Поява таких тріщин є неприпустимою відповідно до чинних норм і стандартів експлуатації вантажопідіймального обладнання.

Слід ураховувати, що консольні крани в промислових умовах часто працюють у режимі високої завантаженості: їх експлуатують практично безперервно, у кілька змін на добу, при цьому маса підійманих вантажів нерідко наближається до максимально допустимої.

Усе це підкреслює важливість створення розширених автоматизованих інструментів, які враховують специфіку роботи консольних кранів і дають змогу інженерам ефективно оптимізувати конструкції, підвищувати безпечність експлуатації та продовжувати термін служби обладнання.

РОЗДІЛ 1

КОНСТРУКЦІЇ КОНСОЛЬНИХ КРАНІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1.1. Застосування консольних кранів

Консольні крани є важливими засобами вантажопідіймальної техніки, які широко застосовуються у виробничих і складських приміщеннях, а також на відкритих майданчиках. Вони забезпечують механізацію локальних вантажних операцій, підвищують швидкість та безпечність роботи персоналу і дозволяють суттєво скоротити фізичні зусилля під час переміщення вантажів. Завдяки компактній конструкції та роботі в обмежених зонах такі крани особливо ефективні там, де використання громіздких мостових або баштових систем є неможливим або економічно невиправданим.

Консольні крани відрізняються різноманіттям конструктивних рішень. Їх виготовляють у настінному або колонному виконанні, що визначає спосіб їх розміщення та опори. Приводи механізмів можуть бути ручними або електричними залежно від призначення та інтенсивності роботи. Такі крани керуються декількома способами: безпосередньо оператором, за допомогою наземного пульта, дистанційно через радіоканал, або ж у автоматизованому режимі, коли переміщення й позиціонування вантажу контролюються електронними системами.

Консольні крани поділяють за такими основними ознаками:

За способом встановлення

Настінні монтуються на стінах або колонах будівель.

Колонні кріпляться на власній опорній колоні, яка фіксується до фундаменту.

За видом приводу

З ручним приводом підходять для малих навантажень та невеликої інтенсивності роботи.

З електричним приводом застосовуються в умовах частих і важких операцій.

За способом керування

Ручне керування (безпосередньо оператором).

Пультове керування з підлоги (дротове або кнопочове).

Радіокерування (дистанційне керування через радіоканал).

Напіваавтоматичне частина функцій виконується автоматично.

Автоматизоване та комп'ютеризоване автоматичне позиціонування та рух механізмів.

За можливістю обертання консолі

Поворотні забезпечують робочий сектор до 180° , 270° або 360° .

Неповоротні працюють у фіксованому напрямку.

За конструкцією вантажопідіймального механізму

З рухомим тельфером/лебідкою вантаж переміщується вздовж консолі.

Із стаціонарним підйомним механізмом вантажопідіймальний пристрій не переміщується по консолі.

За призначенням

Універсальні оснащені гаковими підвісками для різних типів вантажів.

Спеціалізовані, укомплектовані магнітними підйомниками; вакуумними захватами; грейферними пристроями; спеціальними захватами чи балансирними траверсами.

Завдяки простоті встановлення, високій маневровості та здатності забезпечувати продуктивну роботу в обмежених умовах консольні крани залишаються одним із найзручніших та найефективніших рішень для сучасних виробничих підприємств.

На рисунку 1.1 зображено консольний кран ручного типу, встановлений на колону. Конструкція складається з вертикальної опори, горизонтальної консолі (стріли) і вантажозахватного механізму (талі з гаком), що переміщується вздовж стріли. Колона (опора) сприймає вагу консолі та вантажу, передає її на фундамент. Консоль (стріла) горизонтальна балка,

прикріплена до колони, таль рухається вздовж неї. Вона забезпечує доступ до вантажу у певній зоні; може бути стаціонарною або поворотною залежно від моделі. Вантажозахватний механізм (таль з гаком) розташований на консолі і підвішений на роликових або напрямних механізмах, піднімають і опускають вантаж, а також переміщують його уздовж консолі. На рисунку механізм підйому з ручним приводом (у промислових моделях може бути електричним). Механізм повороту, якщо кран поворотний, обертання здійснюється навколо вертикальної осі колони. Кріплення до фундаменту колона закріплена на бетонному фундаменті за допомогою анкерів, забезпечує стійкість і безпеку роботи крана.

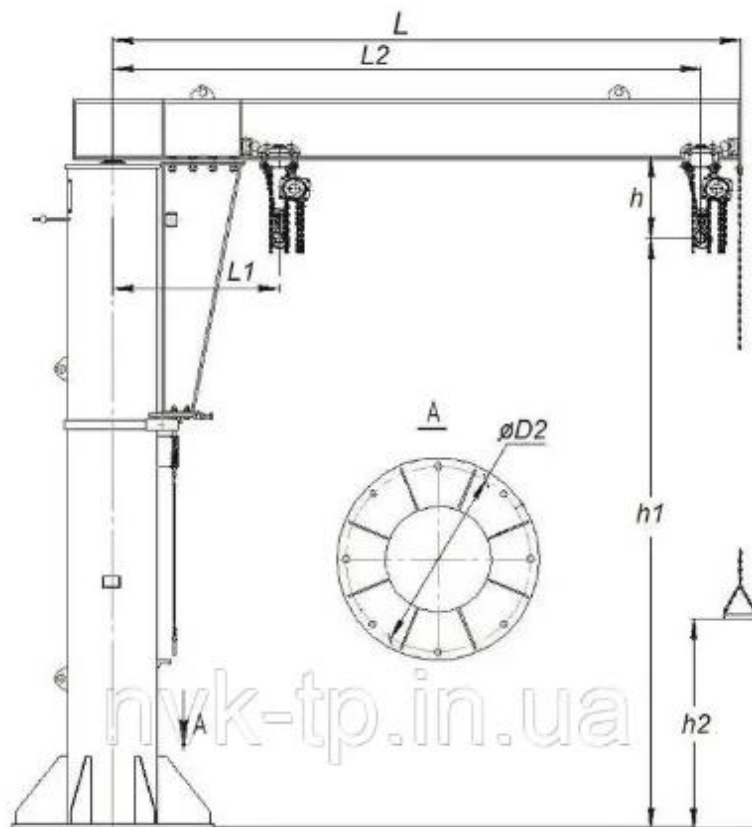


Рисунок 1.1 Консольний кран ручного типу

На рисунку 1.2. зображено консольний кран з рухомим візком вантажозахватного механізму. На відміну від першого рисунка, тут чітко видно, що таль (гак) може пересуватися вздовж консолі. Крім того, механізм обертання консолі навколо колони, дозволяє збільшити зону дії крана. Колона сприймає вагу консолі та вантажу і передає її на фундамент або на металеву

основу. Стріла балка, на якій рухається вантажозахватний візок і забезпечує доступ до вантажу у зоні дії; у цьому рисунку показана поворотна консоль, що дозволяє змінювати напрямок переміщення вантажу. Вантажозахватний механізм (таль з гаком) розташований на консолі та може переміщатися уздовж неї по напрямних. Механізм повороту консолі може обертатися навколо колони (180–360°) чим дозволяє переміщати вантаж у різних напрямках без пересування основи крана. Кріплення до фундаменту або стіни забезпечує безпечну та стабільну роботу крана під навантаженням. Цей тип консольного крана дозволяє охопити більшу робочу зону за рахунок рухомого візка і обертання консолі.

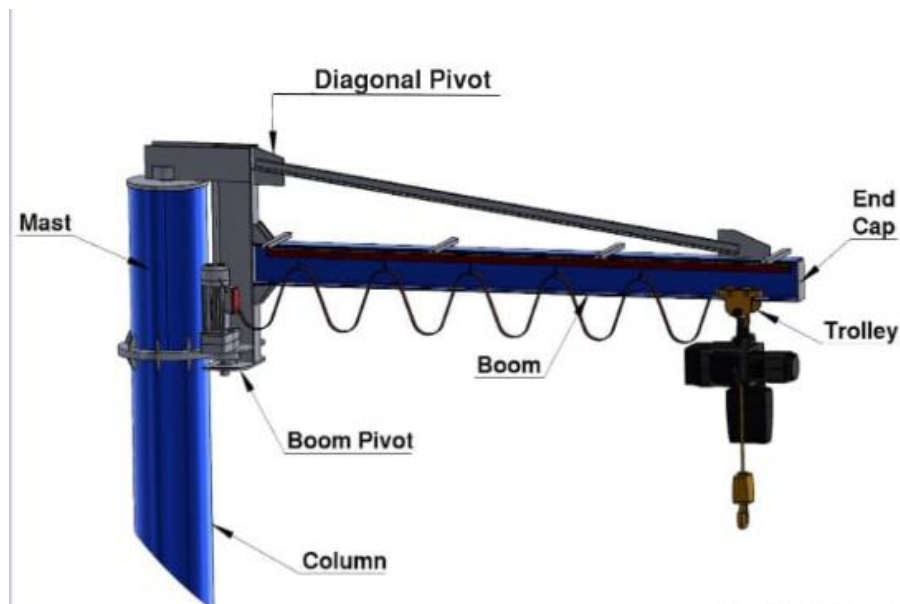


Рисунок 1.2 Консольний кран з рухомим візком вантажозахватного механізму

Консольний кран великої вантажопідйомності (рис. 1.3), встановлений на стаціонарну колону. На відміну від попередніх, має більш масивну конструкцію консолі та кріплення до фундаменту, що забезпечує підвищену стійкість під час підйому важких вантажів. Механізм підйому вантажу складається з електричної талі з гаком. Колонна (опора) сприймає вагу консолі та вантажу, передає її на фундамент. Стріла прикріплена до колони і служить напрямною для вантажозахватного механізму і дозволяє піднімати важкі вантажі на значну відстань від колони. Вантажозахватний механізм (електрична таль з гаком)

розташований на консолі та використовується для підйому та опускання вантажів. Механізм повороту дозволяє змінювати напрямок переміщення вантажу без пересування колони. Передбачене міцне закріплення колони на бетонному фундаменті, що забезпечує стабільність під час підйому важких вантажів.



Рисунок 1.3 Консольний кран великої вантажопідйомності

Конструкція цього крана розрахована на важкі вантажі, тому всі елементи більш масивні порівняно з легкими моделями.

1.2. Спеціалізовані консольні крани крани

Спеціалізовані консольні крани призначені для виконання конкретних задач у промисловості, виробництві та логістиці, де потрібна висока точність, особливі умови роботи або специфічні конструктивні рішення. Вони відрізняються від звичайних консольних кранів типом кріплення, рухомих вузлів або вантажозахватних механізмів. Основні види спеціалізованих кранів: настінні консольні крани для малих приміщень; консольні крани для

агресивних середовищ (хімічні, морські); консольні крани з підвищеною точністю позиціювання (для електроніки або лабораторій); мостові консольно-поворотні крани для складів та терміналів.

На рис. 1.4 зображено настінний консольний кран (wall-mounted jib crane), встановлений на стіну або металеву опору. Це компактна конструкція для роботи у майстернях, невеликих цехах або складських приміщеннях з обмеженим простором. Він складається з вертикальної опори, горизонтальної консолі (стріли) і вантажозахватного механізму (таль із гаком) на візку, який рухається уздовж консолі. Колона сприймає вагу консолі та вантажу і передає її на стіну або металеву опору, настінні кріплення економлять площу під кран і дозволяють встановлювати його у вузьких приміщеннях. Консоль (стріла) забезпечує рух вантажу уздовж робочої зони, створюючи горизонтальне переміщення. Вантажозахватний механізм у спеціалізованих версіях може бути електрична таль, вакуумний або магнітний захват. Настінні консольні крани компактні та економлять площу, підходять для невеликих приміщень або поруч зі стінами.



Рисунок 1.4 Настінний консольний кран

На рис. 1.5 зображено настінний консольно-пересувний кран (wall-mounted rotating jib crane). Конструкція складається з вертикальної колони, горизонтальної консольної стріли, яка може переміщатися вздовж кріплення, та вантажозахватного механізму (таль/візок). Цей тип крана використовується для розширення робочої зони, є зручною для невеликих цехів, складів або майстерень.



Рисунок 1.5 Настінний консольно-поворотний кран

З огляду конструкції можна зробити наступні висновки що консольні крани представляють собою підйомні механізми, призначені для піднімання, опускання та горизонтального переміщення вантажів у межах обмеженої робочої ділянки. Їх конструкція зазвичай включає опору або настінне кріплення, горизонтальну стрілу та вантажозахватний пристрій. За типом виконання вони бувають стаціонарними, коли консоль фіксована і рухається тільки вантажозахватний механізм, поворотними, з обертовою консоллю для розширення робочої зони, та спеціалізованими, адаптованими для роботи в особливих умовах, таких як обмежений простір, хімічно активне середовище або високоточні операції. Основні частини крана включають вертикальну опору або настінне кріплення, що сприймає навантаження і передає його на фундамент чи стіну, горизонтальну консоль, яка підтримує і спрямовує

вантажозахватний механізм, сам вантажозахватний пристрій, що може бути ручним, електричним, магнітним чи вакуумним, а також механізм повороту консолі, якщо він передбачений, та кріплення, що забезпечує стійкість і безпеку всієї конструкції. Консольні крани відзначаються компактністю, економією простору, можливістю точного переміщення вантажу у вузьких приміщеннях, широким діапазоном вантажопідйомності і, у випадку поворотних або спеціалізованих моделей, здатністю працювати в нестандартних умовах або інтегруватися з автоматизованими системами. Для навчання важливо розуміти, що основні елементи конструкції визначають вантажопідйомність і робочу зону, механізми руху забезпечують переміщення вантажу, а спеціалізовані компоненти підвищують точність і безпеку роботи.

1.3. Основні показники, які характеризують геометричні перерізи плоских тіл

У процесі оцінювання механічної надійності конструкцій важливе місце посідають параметри, що описують геометрію плоских фігур зокрема статичний момент, а також осьові та полярні моменти інерції [4, 22]. Такі геометричні показники являють собою числові величини, за допомогою яких можна кількісно охарактеризувати конфігурацію поперечного перерізу елемента, виготовленого з матеріалу з однорідними пружними властивостями. Вони відображають не лише розміри та форми перерізу, а й його просторове положення відносно вибраної системи координат. Сукупність цих характеристик визначає, яким чином елемент чинитиме опір різним типам навантажень і деформацій згину, кручінню, зсуву або стисканню. Фактично геометричні характеристики перерізів є фундаментальною основою для прогнозування міцнісної поведінки конструктивних деталей та забезпечення оптимальної роботи конструкції в цілому.

Площа плоских перерізів є базовою геометричною характеристикою твердих тіл, яка відіграє важливу роль у механіці матеріалів і проектуванні

конструкцій. Вона використовується передусім під час аналізу напружень, що виникають при розтягу та стиску елементів. Хоча площа є найпростішим показником перерізу, у реальних інженерних задачах часто доводиться враховувати також більш комплексні характеристики такі як статичні моменти, моменти інерції, моменти опору та інші параметри, що описують здатність матеріалу протистояти згину, крученню або втраті стійкості.

Для перерізів, контур яких описується неперервною кривою, площу можна визначити за інтегральною формулою виду:

$$A = \int_A dA \quad (1.1)$$

Однак у практичному проєктуванні часто розглядаються складні перерізи, які зручно подати як сукупність декількох простих геометричних фігур. У таких випадках весь переріз поділяють на обмежене число пп елементів, для кожного з яких площа обчислюється окремо. Після цього застосовують узагальнену формулу, що дає змогу визначити сумарну площу шляхом додавання площ усіх складових частин:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \quad (1.2)$$

Площа перерізу є величиною низкою важливих властивостей. Зокрема, вона завжди додатна незалежно від конфігурації перерізу, а її значення не залежить від вибору положення системи координат. Це робить її універсальним параметром, який легко використовувати в аналітичних розрахунках. Якщо переріз утворено елементами стандартного прокату, то всі необхідні геометричні дані площа, товщина стінок, розміри полиць та інші параметри зазвичай беруть із спеціалізованих довідників або таблиць прокатної сталі.

На відміну від площі, інші геометричні характеристики перерізу статичні моменти, моменти інерції та моменти опору є значно складнішими. Вони враховують не лише розміри та контури фігури, а й розташування осей чи полюсів, відносно яких виконуються розрахунки. Саме ці параметри визначають здатність конструктивних елементів протистояти згинальним і

крутильним навантаженням, а також впливають на їхню стійкість при роботі в реальних умовах. Правильний вибір форми та розмірів перерізу дає змогу оптимізувати конструкцію, зменшивши її масу та собівартість без втрати міцності та надійності.

Статичний момент плоского перерізу це одна з ключових геометричних характеристик, що використовується в опорі матеріалів для опису розподілу площі відносно певної осі. Його визначають як інтегральну суму добутків нескінченно малих елементів площі dA на їхню відстань до обраної осі. Іншими словами, це величина, що показує, наскільки «рознесені» частини перерізу відносно заданого напрямку.

Якщо уявити перетин, умовно поділений на безліч малих елементів, то для кожного такого елемента враховується не лише його площа, а й відстань до осі, відносно якої виконується розрахунок. Підсумовуючи внесок усіх цих елементів по всій області перерізу A , отримують загальний статичний момент. Саме таку схему зазвичай ілюструють графічно (рис. 1.6), демонструючи принцип: чим далі розташована частина площі від осі, тим більший її внесок у результат.

Статичні моменти застосовуються при визначенні положення центру ваги перерізу та є важливою складовою розрахунків, пов'язаних із згинанням, оцінкою напружень у конструктивних елементах та аналізом їх несучої здатності. Оскільки ця характеристика враховує як форму перерізу, так і його орієнтацію в просторі, вона дозволяє точніше описати його роботу під дією зовнішніх навантажень.

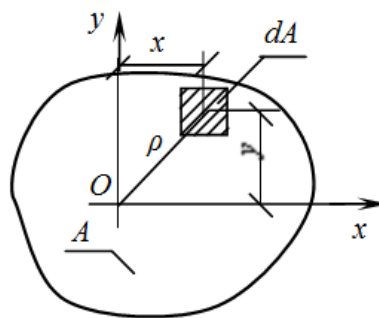


Рисунок 1.6 Схема визначення статичного моменту до вибраної осі.

$$S_x = \int_A y dA, S_y = \int_A x dA; \quad (1.3)$$

$$S_x = \iint_A y dx dy, S_y = \iint_A x dx dy; \quad (1.4)$$

$$S_x = Ay_c, S_y = Ax_c, \quad (1.5)$$

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

x_c – відстань від центру тяжіння в осі y перерізу фігури.

Для складних перерізів статичний момент відносно обраної осі визначають шляхом підсумування внесків усіх окремих елементів, з яких цей переріз складається. Кожна складова фігура має власний статичний момент щодо тієї ж осі, і саме сума цих індивідуальних моментів формує загальне значення характеристики для всього перерізу. Таким чином, обчислення статичного моменту складної форми зводиться до поелементного аналізу, де враховується площа кожної частини та її відстань до заданої осі. Такий підхід дозволяє точно оцінити геометричні властивості навіть дуже складних або комбінованих перетинів, оскільки він базується на принципі адитивності геометричних характеристик:

$$S_x = A_1 y_1 + A_2 y_2 + \dots + A_n y_n = \sum_{i=1}^n A_i y_i; \quad (1.6)$$

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

$A_1, A_2, \dots, A_n$ – площі площ простих фігур геометрії;

$x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, \dots, x_n, y_n$ – координати центрів ваги простих елементів фігур щодо їх осей x і y .

З формул (1.4) можна отримати положення центра ваги обраного плоского перерізу, визначивши його координату відносно заданої системи осей:

$$x_c = \frac{S_y}{A}; y_c = \frac{S_x}{A}. \quad (1.7)$$

Геометричні характеристики складного поперечного перерізу визначаються за допомогою наступних математичних виразів:

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{S_y}{A} = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2 + \dots + A_n x_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}; \\ y_c &= \frac{S_x}{A} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + \dots + A_n y_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Формули, що дозволяють обчислити статичні моменти одного перерізу відносно двох паралельних осей, представлені у наступних залежностях:

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

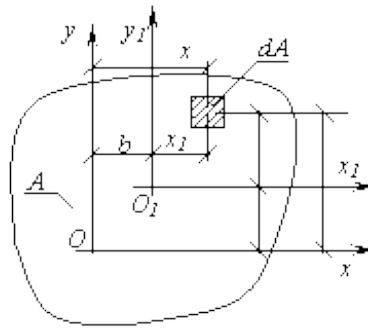


Рисунок 1.7 Метод визначення статичного моменту плоского перерізу відносно двох паралельних осей.

При паралельному перенесенні координатних осей x та y формули для обчислення моментів інерції перерізу, які наведені у попередньому виразі (1.10), набувають наступної форми:

$$\begin{aligned} I_x &= I_{x_1} + 2bS_{x_1} + b^2 A; \\ I_y &= I_{y_1} + 2aS_{y_1} + a^2 A; \\ I_{xy} &= I_{x_1 y_1} + aS_{x_1} + bS_{y_1} + abA. \end{aligned} \quad (1.10)$$

За умови, якщо осі x_1 і y_1 є центральними, відповідно тоді $S_{x_1} = S_{y_1} = 0$ тому формули набудуть такого вигляду:

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

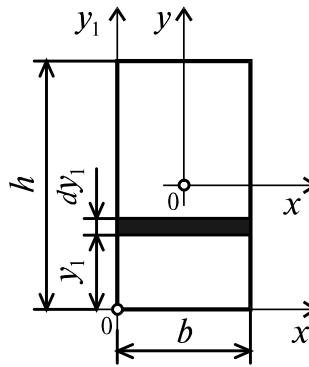


Рисунок. 1.8. Схема визначення статичного моменту інерції плоского перерізу визначається з урахуванням того, що x_1 та y_1 є координатами центру мас перерізу.

В результаті проведених перетворень та врахування розташування центра мас перерізу можна отримати узагальнені формули для обчислення моментів інерції плоских перерізів. Ці вирази дозволяють визначити інерційні характеристики як окремих елементів, так і складних перерізів у цілому, з урахуванням їхньої форми, площі та положення відносно центральних або паралельних координатних осей. Використання цих формул забезпечує точний розрахунок жорсткості та стійкості конструкційних елементів під дією зовнішніх навантажень:

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

Відповідно тоді $I_y = \frac{hb^3}{12}.$

Головні моменти інерції та головні осі інерції це ключові характеристики плоского перерізу, що визначають його здатність протистояти згинальним та крутильним навантаженням. Головні осі інерції це такі взаємно перпендикулярні осі, відносно яких моменти інерції досягають своїх максимальних або мінімальних значень. Вони є особливо важливими при аналізі конструкцій, оскільки дозволяють спростити розрахунки та забезпечують більш точне визначення напружень у перерізі.

Якщо переріз має вісь симетрії, то ця вісь завжди збігається з однією з головних центральних осей інерції. Це впливає з геометричної природи симетрії: у такому випадку моменти інерції відносно осей, що перетинають центр мас, не мають змішаного члена, і, відповідно, вісь симетрії стає автоматично головною в інерційному сенсі.

У технічній літературі та на схемах головні осі інерції часто позначають спеціальними літерами для зручності. Це дозволяє однозначно і компактно позначати орієнтацію осей при виконанні розрахунків, а також відображати їх на кресленнях та схемах, що використовується при проєктуванні елементів машин, будівельних конструкцій та інших інженерних об'єктів.

Моменти інерції I_u та I_v визначають за такими формулами:

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

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

При повороті або зміні орієнтації координатних осей відносно перерізу між новими та початковими моментами інерції встановлюється певна математична залежність. Це рівняння описує, як значення моментів інерції та продукти інерції змінюються при переході від однієї системи координат до іншої. Воно дозволяє визначити моменти інерції відносно будь-яких обраних осей, виходячи з відомих моментів щодо початкових координат. Завдяки цьому рівнянню можна точно оцінити інерційні характеристики перерізу при будь-якому повороті осей, що особливо важливо при аналізі конструкцій з неоднорідними або асиметричними формами:

$$I_z + I_y = I_{z_\alpha} + I_{y_\alpha} = I_u + I_v = \text{const} \quad (1.15)$$

Осьовий момент опору перерізу відносно певної осі це геометрична характеристика, яка відображає здатність перерізу протистояти згинальному навантаженню. Він визначається як відношення моменту інерції перерізу відносно цієї осі до максимальної відстані будь-якої точки перерізу від осі. Іншими словами, осьовий момент опору враховує не тільки розподіл

площі перерізу навколо осі, але й габаритні розміри перерізу у напрямку до його зовнішніх точок, що визначають найбільший вплив на міцність при згинанні.

Ця характеристика є однією з ключових при розрахунку елементів на згин, оскільки вона дозволяє швидко оцінити, наскільки ефективно форма перерізу використовує свій матеріал для протидії деформації. Чим більший осьовий момент опору, тим менше вигинальні напруження виникають при заданому навантаженні, що робить конструкцію більш жорсткою та надійною.

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

Полярний момент опору перерізу це величина, яка характеризує здатність перерізу протистояти крутильним навантаженням. Він обчислюється за спеціальною формулою, що враховує розподіл площі перерізу відносно осі обертання.

$$W_x = \frac{J_p}{\rho_{\max}} \quad (1.17)$$

Полярний момент опору показує, наскільки ефективно переріз протидіє крутінню, і є ключовим параметром при розрахунках деталей на кручення, таких як валки, вали та осі обертання.

1.4. Комплексний огляд сортаменту металевих конструкцій: основні типи та характеристики

У металевих конструкціях мостових кранів сталь застосовується переважно у вигляді готових прокатних виробів, що виготовляються на металургійних заводах і мають різноманітні форми поперечних перерізів, або профілі. Ці профілі створюють основу для проєктування несучих елементів кранів і забезпечують необхідну міцність та жорсткість конструкції [7]. Систематизація та класифікація основних типів профілів наведена на рис. 1.9.

Для виробництва сталевих конструкцій застосовують як листову, так і профільну сталь. Профільну сталь, у свою чергу, поділяють на кілька основних груп:

- **Сортова сталь**, що включає круглі та квадратні прутки, смуги та інші стандартні елементи невеликого перерізу;
- **Фасонна сталь**, представлена більш складними профілями, такими як куточки, двотаврові балки, швелери та інші спеціалізовані конструкційні форми;
- **Труби**, що застосовуються як для несучих, так і для допоміжних елементів конструкцій.

Окрім стандартних профілів, у сучасному будівництві та машинобудуванні широко використовують **вторинні профілі**, які створюють з метою економії матеріалу або для досягнення специфічних геометричних форм. До них належать:

- **Зварні профілі**, що виготовляються шляхом з'єднання смуг або листів сталі за допомогою зварювання,
- **Гнуті профілі**, які отримують методом холодного гнуття листової сталі для формування складних вигнутих форм.

Таким чином, широкий асортимент прокатних і вторинних профілів дозволяє конструктору вибирати оптимальні форми та розміри елементів мостових кранів, забезпечуючи їхню міцність, стійкість та ефективне використання матеріалу.

Сортамент являє собою систематизований каталог прокатних профілів, у якому наведено їхню форму, основні геометричні характеристики та масу на одиницю довжини. Він створюється на основі державних стандартів або технічних умов і слугує довідником для інженерів і конструкторів при проєктуванні металевих конструкцій.

Форма профілів, що включені до сортаменту, повинна відповідати кільком важливим вимогам:

- **Простота і технологічність виробництва**, що забезпечує легкість прокатки та зменшення витрат на виготовлення;
- **Універсальність та зручність при складанні перетинів**, що дозволяє ефективно комбінувати профілі для створення складних конструкцій;

- **Раціональний розподіл матеріалу всередині перерізу**, який гарантує максимальну міцність та жорсткість при мінімальній витраті сталі.

Таким чином, сортамент є не лише каталогом профілів, а й інструментом для оптимального проектування металевих конструкцій, що забезпечує економічність, технологічність та надійність готових виробів.

Коефіцієнт градації визначається як відношення геометричних характеристик (наприклад, площі поперечного перерізу) конкретного профілю до аналогічних характеристик найближчого меншого профілю. Чим більшою є частота зустрічі градацій одного виду профілю, тим точніше обраний переріз відповідає розрахунковим вимогам конструкції, а отже, використання матеріалу є більш економічним.

Однак надмірна кількість різних типорозмірів профілів при проектуванні створює певні складнощі. По-перше, це ускладнює комплектацію замовлень та доставку профілів невеликими партіями. По-друге, збільшується обсяг робіт на заводах металоконструкцій сортування, складування, транспортування та виправка профілів стають більш трудомісткими. Крім того, металургійні підприємства змушені витратити додатковий час та ресурси на переналагодження прокатних верстатів для виробництва різних типорозмірів.

У порівнянні з профілями, виготовленими методом зварювання або холодного гнуття, найбільш економічними залишаються прокатні профілі, які безпосередньо постачаються з металургійного заводу у готовому вигляді для подальшого виготовлення металоконструкцій.

Застосування автоматичного зварювання дає можливість виробляти тонкостінні зварні двотаври з листового прокату з більш раціональним розподілом матеріалу по перерізу. Такі зварні двотаври мають власний сортамент і широко використовуються там, де потрібна економія матеріалу без втрати несучої здатності.

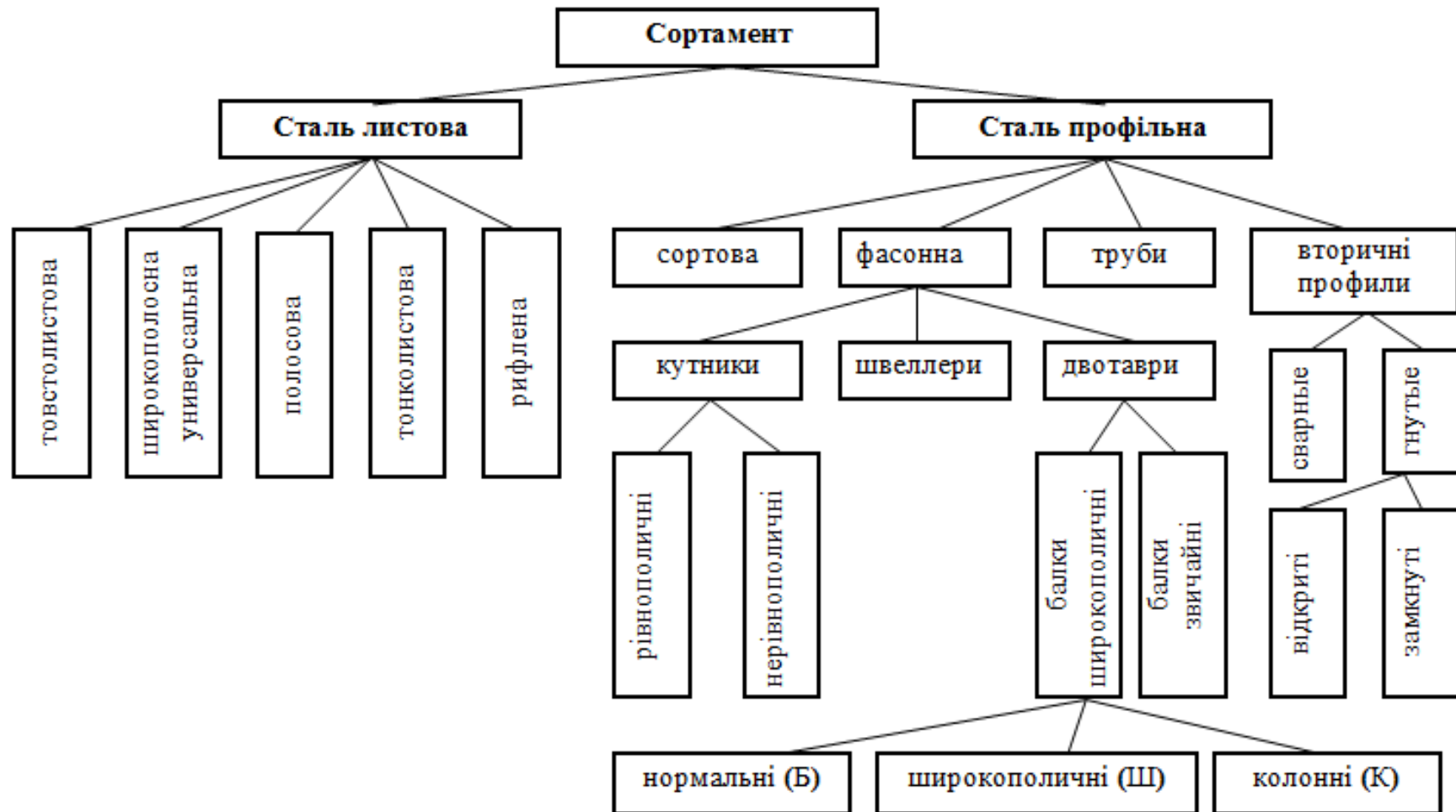


Рисунок 1.9 Системна класифікація профілів сортаменту

Холодногнуті профілі виготовляються з листа або смуги товщиною від 1 до 8 мм і можуть мати різну форму. Найпоширенішими серед них є рівнополочні та нерівнополочні кутики, швелери, а також профілі у формі літер С і Z. Основною особливістю холодногнутих профілів є тонкостінні січення, що інколи призводить до зниження місцевої стійкості стінок і може впливати на загальну стійкість стержня. Для підвищення місцевої стійкості в поличках деяких профілів роблять спеціальні відгини.

Холодногнуті профілі зазвичай застосовуються в слабонавантажених довгих стержнях, у розкосах легких ферм та інших конструктивних елементах, де перетин підбирається з урахуванням граничної гнучкості та необхідності забезпечення економного використання матеріалу при мінімальному масиві конструкції.

Висновки до розділу

Сучасні підйомно-транспортні машини відзначаються значним розмаїттям вантажопідйомності, великими габаритами обслуговуваних площ та високою продуктивністю. Для таких машин не існує жорстких обмежень щодо базових параметрів, оскільки їх проектують з урахуванням різних умов експлуатації. Єдине істотне обмеження – економічне. Великі та складні машини мають високу вартість, і їхнє застосування виправдане лише у випадку, якщо вони можуть працювати на повну потужність, що забезпечує окупність протягом реального терміну служби до настання морального та фізичного зносу.

Основні напрями розвитку підйомно-транспортного обладнання спрямовані на вдосконалення приводів машин і механізмів, що дозволяє розширювати діапазон регулювання швидкостей, підвищувати коефіцієнт корисної дії та надійність обладнання. Одним із перспективних напрямів є застосування нових конструктивних рішень, зокрема інтегрованих планетарних механізмів із термічно обробленими зубчастими колесами, що значно підвищує довговічність роботи машин.

Металоконструкції кранів також потребують удосконалення через використання високоякісних сталей, що дозволяє зменшити масу конструкцій і підвищити їх стійкість та довговічність. Для оптимізації маси та підвищення технологічності виробництва розробляються нові конструкції кранів: основні балки мостів виконуються двостінними з різною товщиною стінок, а візкові рейки розміщуються над внутрішньою, більш товстою стінкою, що одночасно дозволяє розміщувати всередині балки електроапаратуру крана. Збільшується застосування трубчастих та штампованих профілів, легких металів, удосконалюються матеріали та технологія виготовлення деталей.

Аналіз наукової літератури свідчить, що, незважаючи на досягнуті успіхи, питання підвищення надійності та ефективності елементів конструкцій консольних кранів, які працюють у складних напружених умовах, досі не вирішене повністю. Крім того, недостатньо уваги приділяється науково обґрунтованому пошуку нових конструктивних форм профілів балок консольних кранів із застосуванням інтегрованих систем автоматизованого проєктування (САПР), які дозволяють зберігати ефективність конструкцій протягом усього нормативного терміну експлуатації.

Оскільки консольні крани широко використовуються у технологічних процесах завантаження та розвантаження у різних галузях промисловості, де основним конструктивним елементом є міст (балка), метою даного дослідження є визначення оптимального профілю кінцевої балки з використанням інтегрованих САПР на прикладі консольного крана.

Завдання дослідження включають:

1. Аналіз конструкцій консольних кранів.
2. Дослідження параметрів металоконструкцій консольних кранів та їх розрахунок на міцність.
3. Проведення моделювання консольної балки за допомогою САПР.
4. Аналіз аспектів охорони праці під час експлуатації консольного крана.

5. Обґрунтування економічної ефективності запропонованих типів перерізів консольної балки крана.

Об’єкт дослідження – профілі балок консольних кранів.

Предмет дослідження – закономірності формування конструктивно-геометричних параметрів профілів балок консольних кранів з урахуванням нормативних вимог під час експлуатації.

Практичне значення роботи полягає в отриманні оптимальних параметрів перерізу балки консольного крана на етапі проєктування. Результати дослідження можуть бути використані при аналізі різних варіантів схем профілів балок консольних кранів, а також при вирішенні конструктивно подібних інженерних задач.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПІДХОДИ ТА ПРИНЦИПИ У ТЕОРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1. Особливості та показники ефективності металевих конструкцій

Металеві конструкції відіграють ключову роль у сучасному інженерному будівництві завдяки своїй універсальності та високим експлуатаційним характеристикам. Вони можуть виконуватися як у вигляді стержневих систем, так і суцільних елементів, що дозволяє забезпечити оптимальні рішення для різних типів споруд. Завдяки своїй здатності витримувати значні навантаження та одночасно зберігати відносну легкість, металеві конструкції широко застосовуються в найрізноманітніших об'єктах.

Серед рухомих інженерних систем металеві конструкції використовують у мостових, баштових і козлових кранах, перевантажувачах та великих екскаваторах, а також у гідротехнічних спорудах, таких як затвори і ворота. Для одноповерхових і багатоповерхових виробничих будівель вони формують надійний каркас, що забезпечує стійкість і довговічність споруд. Великопролітні покриття, характерні для спортивних комплексів, критих ринків, театрів, виставкових павільйонів, ангарів, суднобудівних елінгів та авіазбірних цехів, також неможливо уявити без застосування металевих конструкцій, здатних витримувати великі прольоти та значні вертикальні навантаження.

Металеві конструкції активно використовуються у мостах, естакадах та висотних об'єктах, таких як телевізійні башти, щогли, опори ліній електропередач, витяжні башти, нафтові вишки, димові та вентиляційні труби, промислові етажерки, геодезичні вишки та надшахтні копри. Вони забезпечують міцність і стабільність у конструкціях з великою висотою та складною геометрією. Листові металеві конструкції, включаючи резервуари, газгольдери, бункери, силоси, трубопроводи великого діаметра та споруди для

доменного й хімічного виробництва, відзначаються особливою щільністю та здатністю витримувати внутрішні та зовнішні навантаження.

Особливе місце займають унікальні інженерні об'єкти, такі як радіотелескопи та антени для космічного зв'язку, де металеві конструкції забезпечують точність і стабільність необхідну для роботи високотехнологічного обладнання. Широке застосування металевих конструкцій обумовлено їх численними перевагами: високою надійністю, значною міцністю при відносно низькій масі, довговічністю та здатністю витримувати складні навантаження, що робить їх незамінними в сучасному будівництві та промисловості.

Надійність металевих конструкцій зумовлюється тим, що їх фактична робота під навантаженням розподіл напружень та деформацій практично повністю відповідає теоретично передбаченим розрахунковим моделям. Ці моделі базуються на припущеннях щодо пружної та пружно-пластичної поведінки матеріалу, які, у свою чергу, витікають із фундаментальних принципів опору матеріалів та теорії пружності і пластичності. Така відповідність між експериментальною та розрахунковою поведінкою забезпечує передбачуваність і безпеку експлуатації металевих конструкцій навіть при високих навантаженнях та складних схемах роботи.

Особливо важливу роль у забезпеченні надійності відіграють властивості конструкційної сталі, яка характеризується ізотропністю, тобто однаковими механічними властивостями у всіх просторових напрямках. Дрібнозерниста структура сталі сприяє рівномірному розподілу напружень і зменшенню концентрацій локальних деформацій, що підвищує її здатність витримувати значні статичні та динамічні навантаження. Завдяки цим характеристикам сталь демонструє стабільну пружну поведінку при малих навантаженнях і пружно-пластичну поведінку при наближенні до межі текучості, що дозволяє максимально ефективно використовувати матеріал у різноманітних типах металевих конструкцій від каркасів будівель і мостових прогонів до листових резервуарів і складних інженерних споруд.

Таким чином, узгодженість теоретичних моделей і реальної роботи матеріалу, а також однорідні механічні властивості сталі, забезпечують високий рівень надійності металевих конструкцій, роблячи їх ключовим елементом сучасного будівництва та промислової інфраструктури.

Легкість металевих конструкцій. Серед сучасних несучих конструкцій металеві вирізняються особливою легкістю, незважаючи на відносно високу густину сталі, яка становить 7850 кг/м^3 . Для порівняння, густина бетону дорівнює близько 2400 кг/м^3 , а деревини близько 500 кг/м^3 . Легкість конструкції оцінюють за допомогою спеціального показника s , що визначається як відношення густини матеріалу ρ до його міцності. Зменшення значення цього показника свідчить про більш ефективне використання матеріалу та легшу конструкцію при забезпеченні необхідної міцності. Таким чином, чим менше значення s , тим легше і економічніше конструкція з точки зору матеріалоемності.

Особливий інтерес представляють конструкції з алюмінієвих сплавів, які мають міцність, порівнянну з малоуглецевою сталлю, але густину приблизно втричі меншу 2700 кг/м^3 . Завдяки цьому вони демонструють мінімальні значення показника s , що робить їх одними з найефективніших матеріалів для створення легких несучих систем, здатних витримувати значні навантаження без надмірного збільшення власної маси.

Використання металів і сплавів із низькою густиною та високою міцністю дозволяє оптимізувати конструкції як з точки зору економії матеріалу, так і з точки зору експлуатаційної ефективності, забезпечуючи одночасно надійність і легкість споруд.

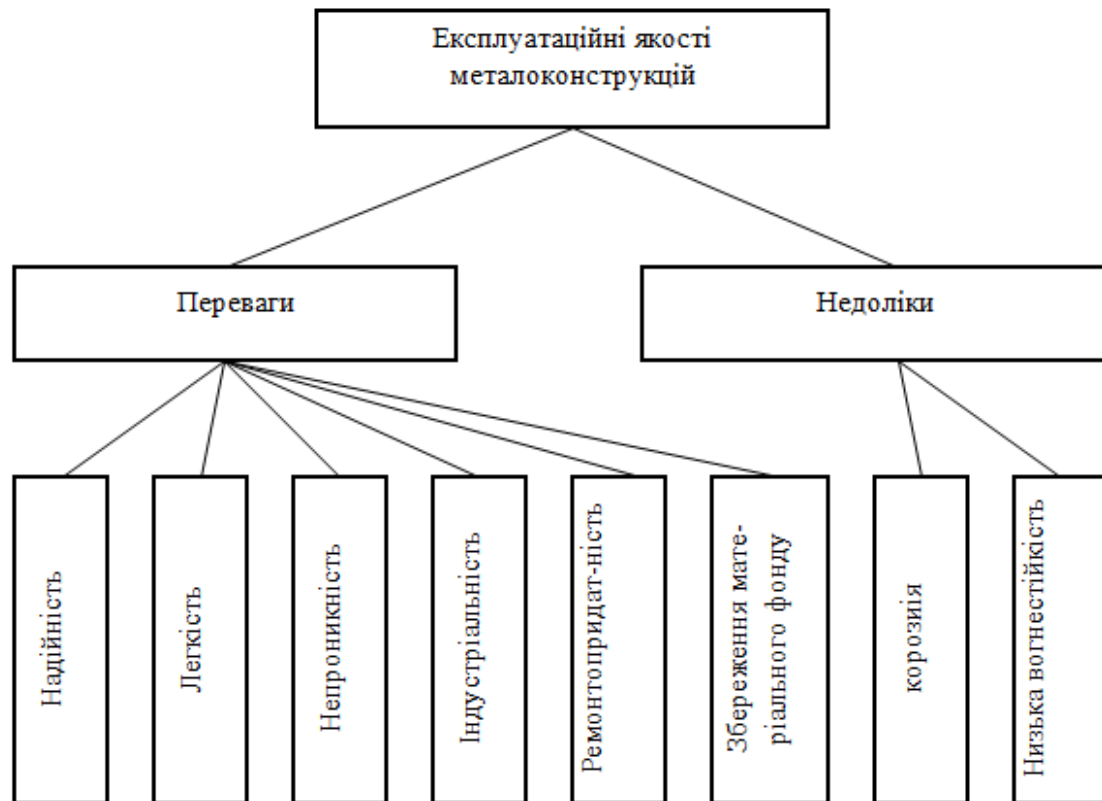


Рисунок 2.1 Експлуатаційні показники ефективності металевих конструкцій

На рисунку 2.2 представлено порівняння легкості конструкцій, виконаних із різних матеріалів, причому показник s для алюмінієвого сплаву Д16Т прийнято за базове (одиничне) значення для зручності порівняння.

Індустріальність металевих конструкцій. Висока індустріальність металевих конструкцій полягає в тому, що основна частина їх елементів виготовляється на сучасних заводах із застосуванням спеціалізованого обладнання та автоматизованих технологічних ліній. Використання механізованих процесів виробництва забезпечує високу точність виготовлення, стабільність геометричних параметрів та відповідність конструкцій технічним вимогам, що істотно підвищує якість кінцевого продукту.

На будівельному майданчику монтаж металевих елементів також значною мірою механізований, що дозволяє швидко та ефективно з'єднувати конструкційні елементи, зменшуючи час на зведення об'єкта та прискорюючи його введення в експлуатацію. Завдяки цьому значно скорочується необхідність

у важкій ручній праці, підвищується безпека робіт і зменшуються виробничі витрати.

Індустріальний підхід до виробництва та монтажу металевих конструкцій забезпечує також стандартизацію елементів, що дозволяє повторно використовувати технологічні рішення для різних об'єктів будівництва, підвищуючи економічну ефективність і скорочуючи терміни виконання проектів. Таким чином, індустріальність металевих конструкцій є ключовим чинником, що забезпечує швидке, точне та економічно ефективне будівництво сучасних інженерних споруд.

Непроникність металевих конструкцій. Метали вирізняються не лише високими механічними властивостями, а й значною щільністю, що забезпечує їхню непроникність для газів і рідин. Висока щільність матеріалу, а також сполук, утворених у процесі зварювання, є критично важливою характеристикою для виготовлення листових конструкцій, де герметичність та здатність утримувати робочі середовища визначають надійність і довговічність споруди.

Ремонтопридатність металевих конструкцій. Сталеві конструкції характеризуються високою ремонтпридатністю, що робить їх особливо зручними для посилення, технічного переоснащення та реконструкції існуючих споруд. Завдяки можливості виконання зварювальних робіт, окремі елементи каркаса можна швидко модифікувати або доповнювати, забезпечуючи надійне кріплення нових інженерних комунікацій, обладнання або технологічних систем.

Ця властивість дозволяє адаптувати металеві конструкції до змінних експлуатаційних умов і технологічних потреб без необхідності демонтажу або значного перебудовування основної несучої системи. Ремонтпридатність металевих елементів також забезпечує економічну ефективність експлуатації споруд, оскільки скорочується час і витрати на модернізацію, підвищується гнучкість використання об'єкта та продовжується термін його служби.

Переробка металобрухту. Металеві конструкції, які вичерпали свій експлуатаційний ресурс унаслідок фізичного зношування або морального старіння, можуть бути ефективно повторно використані шляхом перетворення на металобрухт. Така технологія дозволяє повернути матеріал у господарський оборот, забезпечуючи його повторне використання у виробництві нових металоконструкцій або інших промислових виробів.

Переробка металобрухту не лише сприяє збереженню природних ресурсів і зменшенню обсягу відходів, але й підвищує економічну ефективність будівельних і промислових процесів. Використання вторинного металу дозволяє зменшити витрати на первинне виробництво металу, скоротити енергозатрати та знизити вплив на навколишнє середовище, одночасно підтримуючи високі стандарти міцності та надійності нових конструкцій.

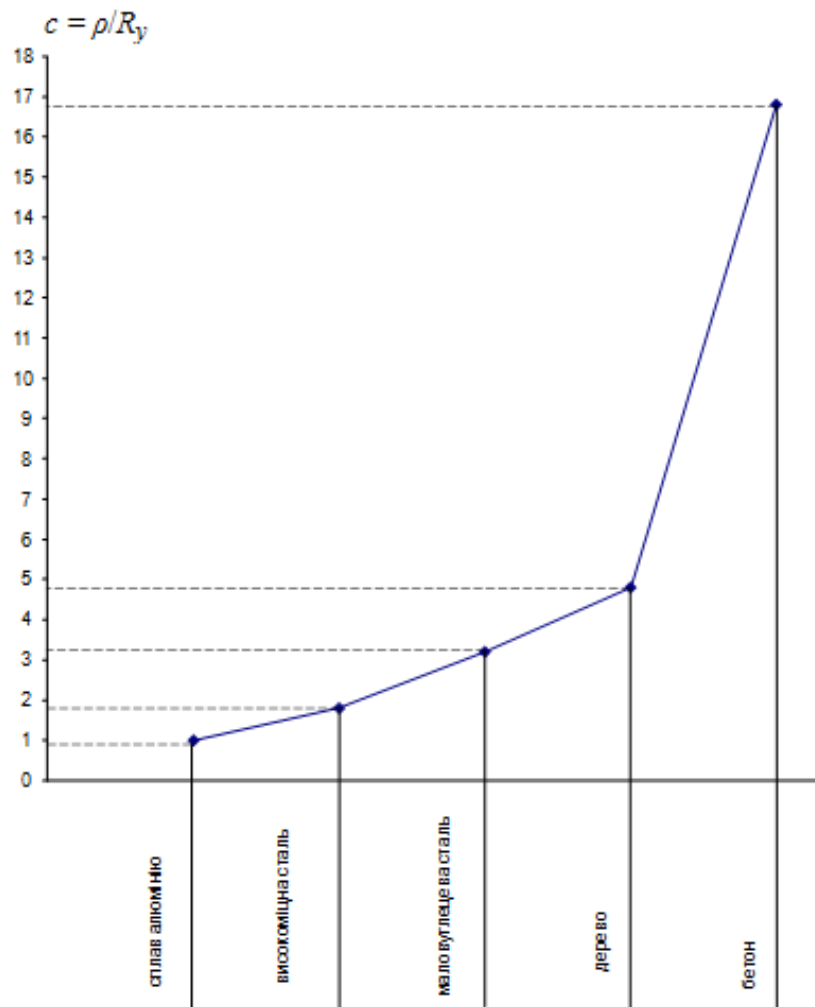


Рисунок 2.2. Графік відносної легкості металоконструкцій

Пристосованість металевих конструкцій до складних умов експлуатації. Металеві конструкції відзначаються високою здатністю витримувати важкі умови експлуатації, включаючи підвищені температури до +200 °С, значні статичні та динамічні навантаження, а також циклічні впливи. Ця характеристика забезпечує низьку схильність конструкцій до механічних пошкоджень під час транспортування, монтажу та подальшої експлуатації, що підвищує надійність і довговічність споруд.

Висока адаптивність металоконструкцій до виробничого процесу проявляється у відносній незалежності від масового серійного виробництва. Завдяки невисоким витратам на допоміжні пристосування при виготовленні та монтажі, елементи каркасів легко підлаштовуються під конкретні проектні рішення. Крім того, існує можливість швидкого переналагодження обладнання для виготовлення елементів різної конфігурації, що робить металеві конструкції універсальними та економічно вигідними у виробництві.

Металеві конструкції також характеризуються високими естетичними властивостями, що дозволяє реалізовувати складні архітектурні та інженерні форми без обмежень, притаманних для інших матеріалів.

Разом із тим, незважаючи на численні переваги, металеві конструкції мають і певні недоліки, які можуть проявлятися у вигляді корозії, втрати міцності при тривалому впливі високих температур або необхідності спеціальних заходів для з'єднань. Для забезпечення їхньої довговічності та безпеки експлуатації необхідно застосовувати спеціальні інженерні та технологічні рішення, включаючи антикорозійний захист, термостійкі покриття та контроль якості з'єднань.

Корозійна стійкість металевих конструкцій. Корозія являє собою процес руйнування металів внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії з навколишнім середовищем. Металеві конструкції, особливо сталеві, характеризуються відносно низькою корозійною стійкістю, що особливо проявляється в агресивних умовах експлуатації. Сталь, не захищена від впливу

вологи, шкідливих газів, солей та пилу, піддається окисленню, що призводить до втрати її механічних властивостей та зниження експлуатаційної придатності.

Алюмінієві сплави, широко застосовувані в металоконструкціях, відзначаються значно вищою корозійною стійкістю завдяки утворенню на поверхні міцної та стабільної оксидної плівки, яка ефективно захищає матеріал від подальшого окислення. Чавун також проявляє високу здатність протидіяти корозії, що робить його придатним для деяких конструкційних елементів.

Для підвищення корозійної стійкості металевих конструкцій застосовуються різні технічні та технологічні заходи. До них належать введення легуючих елементів у склад сталі, що значно підвищує її стійкість до агресивного середовища, хоча цей метод є відносно дорогим. Найбільш поширеним і ефективним методом є регулярне нанесення захисних лакофарбових покриттів на поверхню виробів, що запобігає контакту металу з корозійно активними речовинами. Крім того, важливим фактором є правильне конструкторське рішення: оптимальна форма елементів забезпечує зручність очищення та обслуговування, а відсутність щілин, пустот і інших місць накопичення вологи та пилу зменшує ризик локальної корозії.

Таким чином, комплексний підхід до захисту металевих конструкцій, що поєднує матеріальні, технологічні та конструктивні заходи, дозволяє значно продовжити термін служби споруд і забезпечити їх надійність у складних експлуатаційних умовах.

Вогнестійкість металевих конструкцій. Металеві конструкції характеризуються відносно низькою вогнестійкістю, яка визначається тривалістю збереження їх несучої здатності при впливі високих температур. У сталевих елементів при температурі близько 200 °C починає знижуватися модуль пружності ЕЕЕ, а при досягненні 600 °C сталь повністю переходить у пластичний стан, що призводить до значних деформацій і втрати здатності сприймати навантаження. Для алюмінієвих сплавів критичний поріг, при якому відбувається перехід у пластичний стан, становить близько 300 °C, що ще більш обмежує їхню вогнестійкість.

Через це металеві конструкції, особливо у будівлях із підвищеним ризиком пожежі таких як склади з горючими чи легкозаймистими матеріалами, житлові та громадські споруди потребують спеціального захисту від прямого контакту з відкритим вогнем або сильно нагрітими поверхнями обладнання.

Для підвищення вогнестійкості застосовуються різноманітні інженерні та конструктивні заходи. До них належать установка підвісних стель, використання вогнестійких облицювальних матеріалів, обробка металевих елементів спеціальними антипіреновими засобами, а також у окремих випадках монтаж вогнезахисних екранів. Використання таких методів дозволяє значно збільшити час, протягом якого конструкція зберігає свою несучу здатність, та забезпечує підвищений рівень пожежної безпеки в будівлях і спорудах різного призначення.

2.2. Основні вимоги до проектування та експлуатації металевих конструкцій

На рисунку 2.3 наведено ключові вимоги до металевих конструкцій. Більшість із цих критеріїв повинні дотримуватися на всіх етапах життєвого циклу конструкції, включаючи проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та експлуатацію будівельних об'єктів.

Головною вимогою до металевих конструкцій є їх відповідність поставленим експлуатаційним цілям, тобто здатність забезпечувати безперебійну роботу технологічного процесу, для якого вони призначені. Наприклад, конструкції кранів повинні забезпечувати ефективне та безпечне піднімання і переміщення вантажів. Водночас важливим аспектом є організаційна та експлуатаційна зручність, а також мінімізація витрат на підтримку конструкцій у працездатному стані. Усі етапи проектування спрямовані на задоволення цієї базової вимоги.

До технічних вимог відносять забезпечення міцності, стійкості та жорсткості конструкції. Ключовим компонентом є надійність, яка передбачає

безвідмовну роботу протягом розрахункового терміну експлуатації. Додатково важливим критерієм є довговічність, що визначається термінами фізичного та морального зношування металевих елементів.

Фізичне зношування виникає внаслідок корозійних процесів та накопичення інших ушкоджень, що формуються під час експлуатації. Моральне зношування обумовлене зміною технологічних, санітарних та технічних умов експлуатації, наприклад, модернізацією обладнання, реконструкцією виробничих процесів або посиленням нормативних вимог.

Економічні вимоги конструкцій оцінюються через витрати на метал та інші матеріали, необхідні для виготовлення елементів, а також через витрати на їх виробництво, транспортування та монтаж. Оптимізація цих показників дозволяє забезпечити ефективне використання ресурсів при збереженні високих технічних та експлуатаційних характеристик металевих конструкцій.

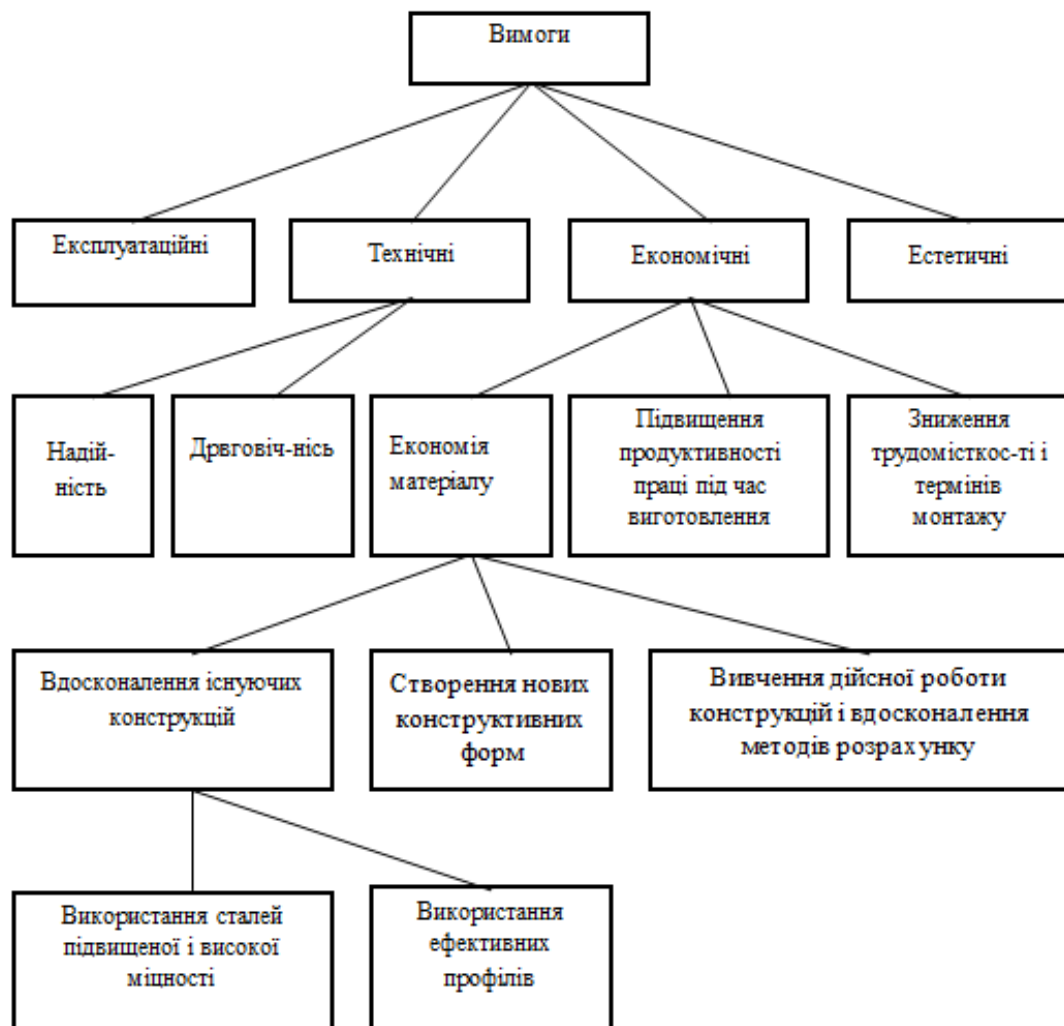


Рисунок 2.3 Вимоги до показників ефективності металоконструкцій

Однією з основних вимог до проектування металевих конструкцій є економія металу, оскільки вартість металу становить понад половину загальної вартості конструкції. Досягнення цього завдання реалізується через кілька ключових напрямків: удосконалення типових конструкційних рішень (які мають численні варіанти виконання), розробку та впровадження сучасних ефективних конструктивних форм і систем, а також оптимізацію розрахункових методик із застосуванням електронно-обчислювальної техніки для пошуку оптимальних конструктивних рішень.

Удосконалення існуючих конструкцій переважно досягається шляхом застосування сталей підвищеної та високої міцності, а також використання найбільш економічних прокатних та гнутих профілів. Сталі з підвищеною та високою міцністю отримують за рахунок легування та термічної обробки, що збільшує вартість матеріалу, однак приріст витрат на метал не перевищує значного збільшення міцності.

Для стиснутих елементів, у яких граничним станом є втрата стійкості, підвищення міцності сталі може вступати в конфлікт із вимогами до гнучкості елемента. При розрахунку площі перерізу A збільшення міцності призводить до зменшення розмірів перерізу, що зменшує радіус інерції i , підвищує гнучкість λ та знижує коефіцієнт поздовжнього згину ϕ , внаслідок чого потрібна площа перерізу може фактично збільшуватися. Найбільшу ефективність високоміцні сталі проявляють у стиснутих елементах із обмеженою гнучкістю до 50–60.

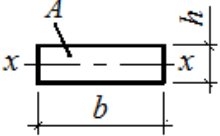
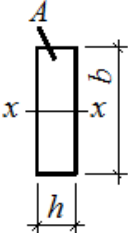
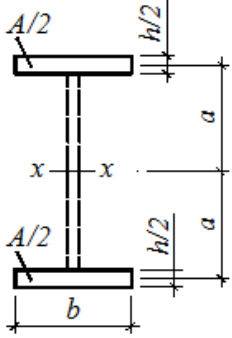
Застосування таких сталей особливо доцільне у великопролітних та важконавантажених конструкціях, де для сприйняття значних зусиль необхідні елементи великого перерізу із високою жорсткістю. Зменшення маси металевих конструкцій кранів сприяє зменшенню розмірів нижніх елементів (стіни, колони, фундаменти), що сприймають навантаження від власної ваги, а також полегшує транспортування та монтаж обладнання.

Ефективність перерізу для згинальних елементів визначається величиною моменту опору W , а для стиснутих – питомим радіусом інерції i . Чим більші ці показники при однаковій витраті металу (площа перерізу A для всіх елементів

однакова), тим більш економічно ефективним є переріз балки, що працює на згин, або колони, що працює на стиск.

Для досягнення максимальних значень W та i матеріал у перерізі слід розташовувати на найбільшій відстані від центру ваги (табл. 2.1). Найбільш ефективним перерізом для балок, що працюють на згин у одній площині (відносно осі $x-x$), є двотавровий переріз, а для елементів, які працюють на осьове стиснення, труби круглого, квадратного або прямокутного перерізу.

Таблиця 2.1. компонування перерізів відносно осі $x-x$.

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

Металеві конструкції повинні характеризуватися максимальною простотою виготовлення, що досягається за рахунок застосування простих геометричних форм, мінімізації кількості складових елементів, можливості механізованої обробки, а також зручності складання та зварювання. Типізація, уніфікація та стандартизація елементів сприяють високій повторюваності та серійності виробництва конструктивних вузлів на заводах, що підвищує продуктивність праці, скорочує терміни виготовлення за рахунок ефективного використання сучасного обладнання та спеціальних технологічних пристосувань, а також створює передумови для розробки і впровадження високоефективних методів виробництва та монтажу металевих конструкцій.

Щодо транспортабельності, металеві конструкції виготовляються на заводі та доставляються до місця монтажу, що передбачає їх поділ на відправні елементи, маса та габарити яких відповідають вимогам транспортних засобів. Основним засобом доставки є залізничний транспорт, тому розміри і вага елементів повинні відповідати залізничним габаритам.

Швидкість монтажу конструкцій визначається їхньою здатністю до збірки за мінімальний час із найменшими трудовими витратами з використанням сучасного монтажного обладнання. Швидке введення металевих споруд у експлуатацію дозволяє прискорити отримання економічного ефекту, частково компенсуючи витрати на їх виготовлення. Основним принципом підвищення швидкості монтажу є попереднє складання конструкцій у великі блоки на землі, які потім піднімаються та встановлюються у проектне положення, що зменшує обсяг робіт на висоті та підвищує безпеку процесу.

Крім того, металеві конструкції повинні відповідати естетичним вимогам, незалежно від їх функціонального призначення. Це передбачає гармонійні пропорції, привабливий зовнішній вигляд та архітектурну виразність, що підвищує сприйняття споруди та її інтеграцію у навколишнє середовище.

2.3. Види та особливості навантажень у металоконструкціях

Металеві конструкції під час експлуатації сприймають різноманітні навантаження, передаючи прикладені сили від місць їх дії до опорних або кріпильних вузлів. При цьому конструкція повинна забезпечувати безпечну і надійну роботу відповідно до заданих експлуатаційних умов. Класифікація навантажень за їхнім впливом на функціонування металевих конструкцій представлена на рисунку 2.4.

Залежно від природи походження, виділяють такі категорії навантажень:

- Власна вага металевої конструкції та встановленого обладнання;
- Корисні та супутні навантаження, що виникають від роботи обладнання, пересування людей, вантажів, накопичення промислового пилу тощо;

- Атмосферні впливи, включаючи дію вітру, снігового покриву та ожеледиці;
- Монтажні навантаження, що виникають під час складання конструкцій;
- Аварійні впливи, зумовлені непередбачуваними подіями;
- Температурні, які включають технологічні та кліматичні зміни температури;
- Сейсмічні та вибухові впливи.

Ключовими характеристиками навантажень є їх нормативні значення, які визначають граничні величини, що відповідають умовам нормальної експлуатації. При визначенні нормативних і розрахункових параметрів навантажень, що змінюються у часі, враховується розрахунковий термін служби конструкції.

Залежно від характеру зміни навантажень у часі, їх поділяють на **статичні** та **динамічні**, а також на **змінні** та **багаторазово повторювані** навантаження, що дозволяє більш точно оцінювати поведінку металевих конструкцій під час експлуатації та забезпечувати їх надійність і довговічність.

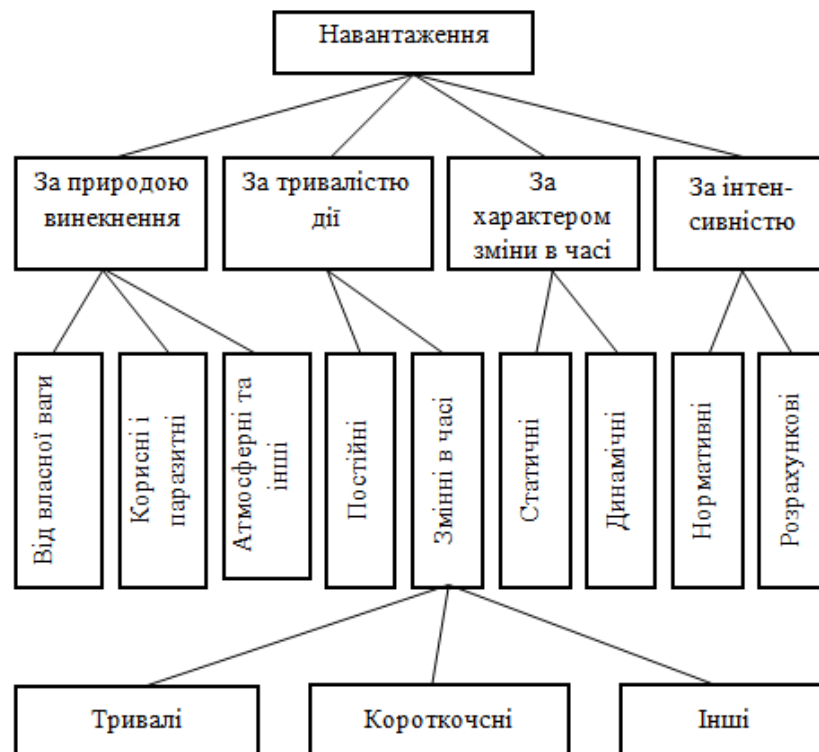


Рисунок 2.4 Типи експлуатаційних навантажень

Статичними навантаженнями називають такі сили, інтенсивність, розташування та напрямки яких не змінюються протягом експлуатації або змінюються настільки повільно, що інерційні сили, що виникають, не впливають суттєво на роботу конструкції. Для динамічних навантажень вводиться коефіцієнт динамічності, який зазвичай приймається у межах 1,1–1,2, з метою врахування додаткових інерційних ефектів у розрахунках.

За тривалістю дії навантаження поділяються на постійні та тимчасові. Тимчасові навантаження, у свою чергу, класифікують на тривалі та короткочасні. Для таких навантажень характерне періодичне або повне відсутнє їхнє впливання під час експлуатації конструкції, а також можливість зміни точки прикладання або напрямку дії.

Розрахунки металевих конструкцій за граничними станами першої та другої групи виконуються з урахуванням найбільш несприятливих поєднань різних видів навантажень та відповідних їм внутрішніх зусиль. Це стосується перерізів, окремих елементів, конструктивних вузлів та з'єднань, а також всієї конструкції в цілому. Зменшення ймовірності одночасного досягнення максимальних розрахункових значень кількох навантажень порівняно з ймовірністю перевищення розрахункового значення одного навантаження враховується коефіцієнтом поєднання кількох навантажень ψ . Для постійних навантажень у будь-яких комбінаціях цей коефіцієнт приймається рівним 1 ($\psi=1$).

Таким чином, класифікація навантажень за їхнім характером і тривалістю дії та застосування коефіцієнтів дії навантажень забезпечує коректне визначення максимальної ефективної стійкості і міцності металевих конструкцій у процесі проектування та експлуатації.

2.4. Розрахунок та оцінка навантажень, що діють на металоконструкції

1. Постійні навантаження визначаються як вагові впливи, що діють на металеву конструкцію, включаючи масу самої конструкції, механізмів

пересування крана та кабіни [10, 13]. Розподіл цих сил у двобалкових мостових балках та елементах механізмів пересування визначається за відповідною розрахунковою формулою:

$$q_0 = (0,5G_m + G_{\text{мех}})k_n / L_k, \quad (2.5)$$

де $0,5G_m$ – вага половини консолі крана;

$G_{\text{мех}}$ – вага механізму переміщення по консолі крана,

k_n – коеф перевантаження консольного крана.

2. Рухомі навантаження виникають унаслідок впливу сил, що діють на ходові колеса навантаженого візка крана під час його руху по металевій консолі. Сила, яка припадає на одне колесо візка при дії номінального вантажу, визначає розподіл рухомого навантаження на конструкцію та враховується при розрахунку міцності та стійкості елементів крана G :

$$F_1 = k_0(G/4 + G_0/4), \quad (2.6)$$

де G_0 – вага візка консольного крана,

k_0 – коеф., що враховує динаміку роботи крана.

3. Інерційні навантаження виникають у горизонтальній площині мостового крана внаслідок різкого гальмування його рухомих елементів. Ці навантаження створюють додаткові сили, що впливають на балки моста, ходові колеса та кріпильні вузли, і повинні враховуватися при розрахунку міцності та стійкості конструкції:

$$q_n = (0,5G_m + G_{\text{мех}})a_{\text{max}} / gL_k \quad (2.7)$$

Максимально допустимі значення прискорень, що виникають під час різкого гальмування мостового крана, визначаються за відповідною розрахунковою формулою, яка враховує масу навантаженого візка та інерційні ефекти, що діють на конструкцію:

$$a_{\text{max}} \leq \varphi g z_n / z, \quad (2.8)$$

де φ – коеф. зчеплення коліс з консоллю крана;

z_n – к-ть коліс привідних рухомого механізму;

z – загальна к-ть коліс рухомого механізму крана.

Концентрована інерційна поперечна сила в горизонтальній площині виникає внаслідок дії маси кабіни мостового крана під час різкого гальмування. Ця сила створює локальний вплив на конструктивні елементи консолі і ходових механізмів, який необхідно враховувати при розрахунках міцності та стійкості крана.

$$F_{i,k}^n = m_{кб} a_{\max} \quad (2.9)$$

Концентровані поздовжні та поперечні інерційні сили в горизонтальній площині виникають під час різкого гальмування мостового крана разом із навантаженим візком. Ці сили створюють додаткові динамічні впливи на балки моста, ходові механізми та кріпильні вузли, що обов'язково враховується при розрахунках на міцність, стійкість і надійність конструкції:

$$\begin{aligned} F_{i1}^n &= (m_e + m_k) 0,5 a_{\max}; \\ F_{i2}^{np} &= (m_e + m_k) 0,5 a_z \end{aligned} \quad (2.10)$$

Під час пуску і гальмування прискорення візка становить $a_e = 0.1-0.25$ м/с², а при сталому русі $a_e = 0.2-0.5$ м/с².

Скручувальні моменти у металевих конструкціях мостового крана виникають внаслідок дії вертикальних сил, прикладених ексцентрично, таких як маса механізмів пересування крана, платформ та інших навісних елементів, а також під впливом горизонтальних інерційних сил, прикладених ексцентрично відносно горизонтальної осі, та горизонтальних поперечних сил, що виникають унаслідок перекосу і діють на ходові колеса.

Розрахунок металоконструкції мостового крана здійснюється для трьох основних комбінацій сил:

1. Комбінація I враховуються постійні та рухомі навантаження;
2. Комбінація II крім навантажень I комбінації, включаються горизонтальні інерційні та робочі вітрові сили;
3. Комбінація III враховуються постійні навантаження разом із монтажними та транспортними впливами.

При цьому міцність металоконструкції визначається на основі максимальних сил, що виникають у II комбінації, тоді як розрахунок на опір втомленості проводиться за еквівалентними навантаженнями комбінації I. Для кранів V та VI груп експлуатаційних режимів оцінка металоконструкцій на стійкість до втоми здійснюється з урахуванням відповідних циклічних навантажень.

Головна балка мостового крана підлягає розрахунку для критичного випадку навантаження, що виникає під час одночасного гальмування мостового крана та навантаженого візка з номінальним вантажем на гаку, що забезпечує визначення максимальної комбінації внутрішніх зусиль.

Нормальні напруження у кінцевій балці виникають під впливом вертикальних сил і характеризують розподіл внутрішніх осьових зусиль, що діють уздовж довжини балки. Ці напруження визначаються для оцінки міцності та стійкості елементів конструкції мостового крана:

$$\sigma_e = M_p^\Sigma / W_x;$$

горизонтальна складова:

$$\sigma_z = \alpha M_p^\Sigma / W_y$$

де W_x , W_y – моменти опору перерізів консольних балок крана визначаються відносно осей x та y і характеризують здатність перерізів протидіяти згинальним та крутильним моментам, що виникають під дією прикладених навантажень. Ці показники використовуються для оцінки міцності, жорсткості та стійкості конструктивних елементів консольного крана.

Сумарне напруження визначають за формулою:

$$\sigma_\Sigma = \sigma_e + \sigma_z \quad (2.11)$$

Дотичні напруження в консолі формуються внаслідок дії поперечних сил, що призводять до зсуву матеріалу перерізу вздовж поздовжньої осі елемента. Ці напруження враховуються при розрахунку міцності та стійкості консолі крана:

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

де S – момент статичний перерізу консолі балки;

I_{mx} момент інерції перерізу консольної балки;

δ товщина стінка консольної балки крана;

F_p розрахункова поперечна сила, що діє в елементах конструкції, формується під впливом вертикальних навантажень мостового крана та визначається для оцінки напружено-деформованого стану балки та перевірки її здатності сприймати зусилля зсуву;

- напруження, що виникають під дією крутильного моменту, характеризують внутрішні дотичні зусилля, які розподіляються по перерізу елемента внаслідок його скручування. Ці напруження враховуються при аналізі просторової роботи конструкції та оцінці її здатності протидіяти torsійним впливам $M_{кр}$

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

де A площа перерізу консольної балки крана.

Застосування методу допустимих напружень не забезпечує вичерпної оцінки несучої здатності будівельної конструкції та не дозволяє адекватно врахувати її роботу за умов одночасного впливу кількох різнорідних навантажень. У зв'язку з цим у сучасній практиці проєктування перевага надається розрахунку за граничними станами, який ґрунтується на статистичному описі умов експлуатації та імовірнісному підході до визначення навантажень і характеристик міцності.

Метод граничних станів охоплює два ключові типи граничних ситуацій:

1. граничний стан за несучою здатністю, що визначає здатність елемента опиратися прикладеним навантаженням та обмежує розвиток надмірних пластичних деформацій;

2. граничний стан за придатністю до нормальної експлуатації, який контролює величину деформацій та коливань, адже їх надмірні значення можуть призвести до втрати функціональності елемента чи конструкції в цілому. Зокрема, перевірка прогинів виконується шляхом співставлення фактичних значень із нормативно допустимими.

Розрахунок за першим граничним станом спрямований на забезпечення того, щоб протягом всього терміну експлуатації крана конструкція не досягала руйнівного стану. Це формально виражається умовою, за якої максимальні розрахункові зусилля N не перевищують граничної несучої здатності елемента Φ , тобто $N \leq \Phi$. Величини N визначаються як нормальні сили P_i , що відповідають найнебезпечнішим комбінаціям навантажень у робочому режимі.

Розрахункову величину внутрішнього зусилля можна подати у вигляді аналітичного виразу, що враховує вплив відповідних навантажень та їхніх коефіцієнтів надійності:

$$N = \sum \alpha_i P_i^n n_i \quad (2.14)$$

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

n_i – коеф перевантаження консольної балки ;

P_i^n – експлуатаційне навантаження, що вводиться до розрахункової схеми, характеризує ступінь використання несучої здатності консольної балки та відображає її потенційне наближення до граничного стану.

Розрахункові навантаження та їхні поєднання (див. табл. 2.2) формуються відповідно до вимог першої групи граничних станів. До складу таких комбінацій входять різні експлуатаційні ситуації, зокрема: нерухоме положення крана; процес піднімання вантажу з підлоги або його гальмування під час опускання як за зниженої (*Ia*), так і за номінальної (*IIa*) швидкості; переміщення крана з вантажем за умов штатного (*Iв*) чи інтенсивного (*IIв*) гальмування. Таке структурування навантажень забезпечує урахування найбільш несприятливих режимів роботи конструкції.

Граничне внутрішнє зусилля, яке встановлює межу несучої здатності елемента консольного крана, визначається як максимальне допустиме значення, за перевищення якого конструктивний елемент переходить у стан втрати працездатності:

$$\Phi = FRm_k \quad (2.15)$$

де F – геометричний параметр елемента металевої конструкції крана, який охоплює такі характеристики, як площа поперечного перерізу, момент

інерції, момент опору та інші величини, що визначають його просторово-механічні властивості; m_k – коеф. умов праці консольного крана; R – опір розрахунковий елемента металоконструкції консольного крана:

$$R = R^H / k_M \quad (2.16)$$

де R^H – опір;

k_M – коеф.:

$$m_k = m_1 m_2 m_3 \quad (2.17)$$

де $m_1 = 1,00,75$ коеф., який враховує важливість елемента металоконструкції крана;

$m_2 = 0,90,95$ коеф., який враховує відхилення в розмірах металоконструкції крана;

m_3 коеф., який враховує недосконалість розрахунків металоконструкції крана.

Таблиця 2.2 – Розрахункові величини зовнішніх впливів та їх поєднання

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

Виконання аналізу несучої здатності металевої конструкції:

$$\sigma_{II} \leq m_k R \quad (2.18)$$

розрахунок на втомну міцність металоконструкції:

$$\sigma_I \leq 0,9 m_k \sigma_{\sigma k}^* \quad (2.19)$$

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

m_k – коеф. роботи металоконструкції;

R – розрахунковий опір металоконструкції консольного крана;

$\sigma_{гк}^*$ – Скорочене значення витривалості металевої конструкції, що виникає внаслідок багаторазового циклічного перевантаження напруженнями σ_{II} протягом z_{II} циклів експлуатації.

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

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

За умови, що $z_{II} < \sigma_{гк}$, оцінку міцності проводять із використанням скороченого значення опору втомленню за наступною формулою:

$$\sigma_I \leq 0,9 \sigma_{гк} \sigma_{гк/0} \quad (2.21)$$

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

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

$$\sigma_{зв/0} \leq 0,9 m_{гк} \sigma_{гк/0}^* \quad (2.22)$$

де $\sigma_{зв/0}$ – зведені напруження, що виникають в металоконструкції;

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

Коефіцієнт запасу довговічності металоконструкції крана:

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

Для оптимізації маси металевих конструкцій кранів застосовуються методи, що зменшують вплив згинальних моментів. Розрахунок консолі балки крана виконується за традиційною класичною методикою.

Висновки до розділу

Однією з основних задач раціонального та ефективного проектування консольних кранів є визначення оптимальної конструкції балки, яка одночасно забезпечує необхідний рівень міцності та жорсткості при мінімізації маси та зниженні вартості виготовлення. Оптимізація конструкції кінцевої балки, що сприймає постійні та змінні навантаження, полягає не лише у виборі матеріалу з високими механічними властивостями, але й у раціональному формуванні параметрів її поперечного перерізу. Правильний підбір геометричних

характеристик перерізу, таких як площа, момент інерції та момент опору, забезпечує дотримання допустимих значень прогинів і деформацій, запобігає надмірному згину та крученню, а також підвищує стійкість до втомних і циклічних навантажень. Крім того, оптимальна конфігурація перерізу дозволяє зменшити витрати металу без зниження експлуатаційних характеристик, що робить конструкцію економічно ефективною та технічно доцільною для серійного виробництва і швидкого монтажу.

РОЗДІЛ 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛКИ КОНСОЛЬНОГО КРАНА

3.1. Мета і програма досліджень балки консольного крана

Метою даного дослідження є всебічне визначення прогину балки консольного крана із застосуванням спеціалізованого інженерного програмного забезпечення та подальшим зіставленням отриманих числових результатів із експериментальними даними, здобутими відповідно до стандартної методики випробування на згин. Окрему увагу приділено комп'ютерному моделюванню як інструменту оптимізації просторової форми та профілю балки, що дає змогу підвищити її експлуатаційні та міцнісні характеристики.

На основі попередньо сформульованих завдань щодо вдосконалення конструкції балки розроблено комплексну програму досліджень, яка включає такі ключові напрями:

- оцінювання узгодженості та достовірності методик теоретичного аналізу та числового моделювання;
- дослідження впливу основних геометричних параметрів перерізу на напружено-деформований стан та загальну жорсткість металоконструкції балки консольного крана.

У межах дослідження ставляться такі розширені цілі:

- створення конструктивно вдосконаленої форми поперечного перерізу балки консольного крана, яка забезпечуватиме оптимальне співвідношення маси, жорсткості та технологічності виготовлення;
- визначення оптимальних параметрів і структурних характеристик металоконструкції, що дозволить підвищити її надійність, зменшити матеріаломісткість та покращити експлуатаційні показники.

Таким чином, робота спрямована на комплексний аналіз та удосконалення конструкції балки консольного крана шляхом інтеграції експериментальних методів, числового моделювання й інженерної оптимізації.

3.2. Оптимізація конструкції та форми перерізів консольної балки крана

Консольна балка крана являє собою подовжений конструктивний елемент стрижневого типу (брус) 1 (див. рис. 3.1), основним видом напруженого стану якого є згин. Виникнення згинальних напружень зумовлене дією зовнішніх поперечних сил, що передаються через колеса 2 каретки електроталі 3 під час підймання та переміщення вантажу 4. Додатковим фактором є рівномірно розподілене навантаження, яке створюється власною масою балки по всій її довжині.

У процесі роботи конструкція зазнає складної взаємодії різноспрямованих навантажень, що формують напружено-деформований стан, характерний для згинальних елементів. Усі діючі сили вертикально зосереджені та розподілені спричиняють прогин балки, а також викликають розвиток відповідних нормальних і дотичних напружень.

Навантовану консольну балку передбачено для передавання отриманих силових впливів на опорні елементи такі як колони, підвіси або стіни. Таким чином, вона виконує функцію проміжної ланки між рухомим вантажопідіймальним обладнанням та стаціонарними елементами несучої системи, забезпечуючи просторову стійкість і надійність роботи всього кранового механізму.

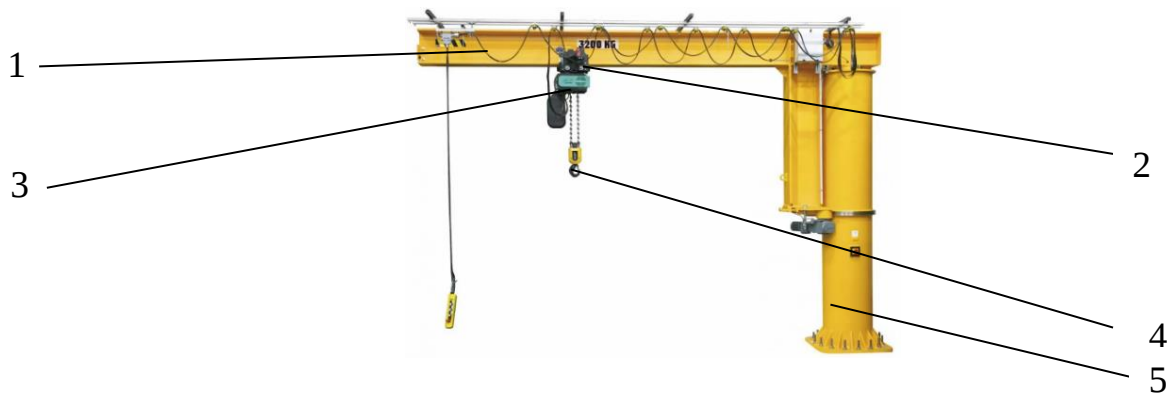


Рисунок 3.1 Конструкція консольного крана.

1– консольна балка; 2 – ходові колеса каретки електроталі; 3 – електроталь; 4 – гак (умовний вантаж), 5 – колона.

Згідно з усталеною класифікацією, прийнятою в опорі матеріалів, для аналітичного опису та розрахунку напружено-деформованого стану балки використовують три основні типи опор. Кожен із них формує певні кінематичні та силові умови, які визначають характер її взаємодії з опорною системою.

Перший тип **шарнірно-рухома опора** обмежує переміщення конструкції лише в напрямку, перпендикулярному до площини опирання, забезпечуючи при цьому можливість як горизонтального переміщення, так і вільного повороту балки навколо точки закріплення. Єдина реакція такої опори діє перпендикулярно до поверхні контакту. Зазвичай цей тип опори застосовують для фіксації одного з кінців балки, забезпечуючи їй мінімальне необхідне обмеження.

Другий тип **шарнірно-нерухома опора**, яка допускає вільний поворот балки, але повністю виключає будь-які лінійні переміщення. У цьому випадку опорна реакція має дві компоненти R_x та R_y , що дозволяє даному виду закріплення приймати плоску систему сил. Таке закріплення доцільно використовують для другого кінця балки, забезпечуючи статичну визначеність системи.

Третій тип **жорстке защемлення**, яке повністю блокує як лінійні переміщення, так і кутові зміщення. Цей варіант застосовується для консольних балок та інших елементів, що працюють при значних згинальних навантаженнях. Жорстке защемлення створює найбільш інтенсивний напружений стан, оскільки повністю фіксує відносне положення перерізу.

Для коректного проведення розрахунку консольної балки крана, визначення її міцності та оцінки прогинів необхідно послідовно виконати низку етапів інженерного аналізу:

1. **Створення просторової 3D-моделі балки**, яка є частиною несучого остову консольного крана. На моделі повинно бути передбачено розміщення електроталі, а також визначені ділянки прикладання зовнішніх навантажень, включаючи площадку під вантаж. На рис. 3.1 подано тривимірне зображення досліджуваної конструкції.

2. **Задання граничних умов**, зокрема встановлення відповідних типів закріплення на кінцях балки 1 (див. рис. 3.1) згідно з її конструктивною схемою.

3. **Прикладення зовнішніх сил**, які моделюють робоче навантаження від переміщуваного вантажу, що діє через механізм електроталі. Величина навантаження задається у ньютонах відповідно до розрахункової маси вантажу.

4. **Визначення поверхонь контакту та передавання навантажень**, тобто встановлення пар відповідних геометричних елементів, через які передаються зусилля з вантажопідіймального обладнання на конструкцію остову і далі на конольну балку. Це забезпечує коректну взаємодію елементів моделі при числовому моделюванні.

5. **Генерування кінцевоелементної сітки**, що передбачає дискретизацію балки на скінченні елементи з метою подальшого числового аналізу. Вибір густоти та типу сітки істотно впливає на точність отриманих результатів.

6. **Проведення статичного розрахунку** засобами програмного комплексу, в результаті якого визначаються напруження, переміщення та інші параметри напружено-деформованого стану консольної балки.

7. **Аналіз результатів**, що виконується шляхом візуалізації отриманої карти переміщень. У цьому дослідженні особливу увагу приділяють вертикальним переміщенням, тобто прогину балки під впливом прикладеного навантаження. Приклад карти результатів наведено на рис. 3.2.

На основі оброблених даних визначають стрілу прогину f досліджуваної двотаврової балки та здійснюють порівняння з теоретичними розрахунками або експериментальними значеннями залежно від навантаження Q .

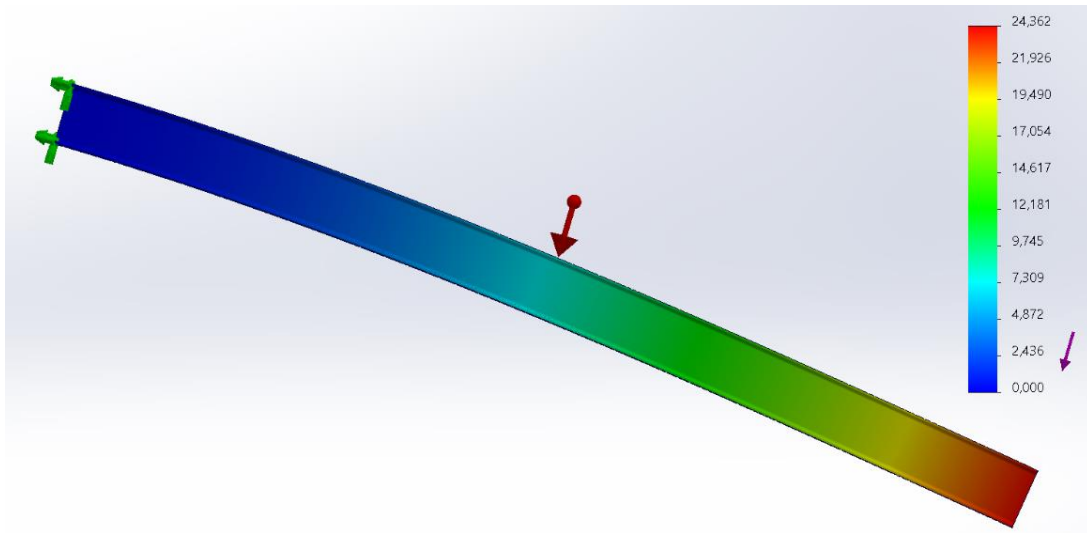


Рисунок 3.2 – Карта прогину консольної балки виготовленої з двотавра

Проаналізувавши карту вертикальних переміщень консольної балки крана, можна констатувати, що під дією навантаження величиною $Q = 10,0$ кН балка зазнає деформації, еквівалентної прогину $f = 24,36$ мм. Отримане числове значення повністю корелює з результатами, визначеними за класичними аналітичними методами розрахунку прогинів балкових елементів.

Подальше визначення прогинів консольної балки для альтернативних варіантів перерізів здійснюється за аналогічною методикою.

На рисунку (рис. 3.3) наведено значення прогину консольної балки, виготовленої шляхом зварювання двох швелерів № 20В1.

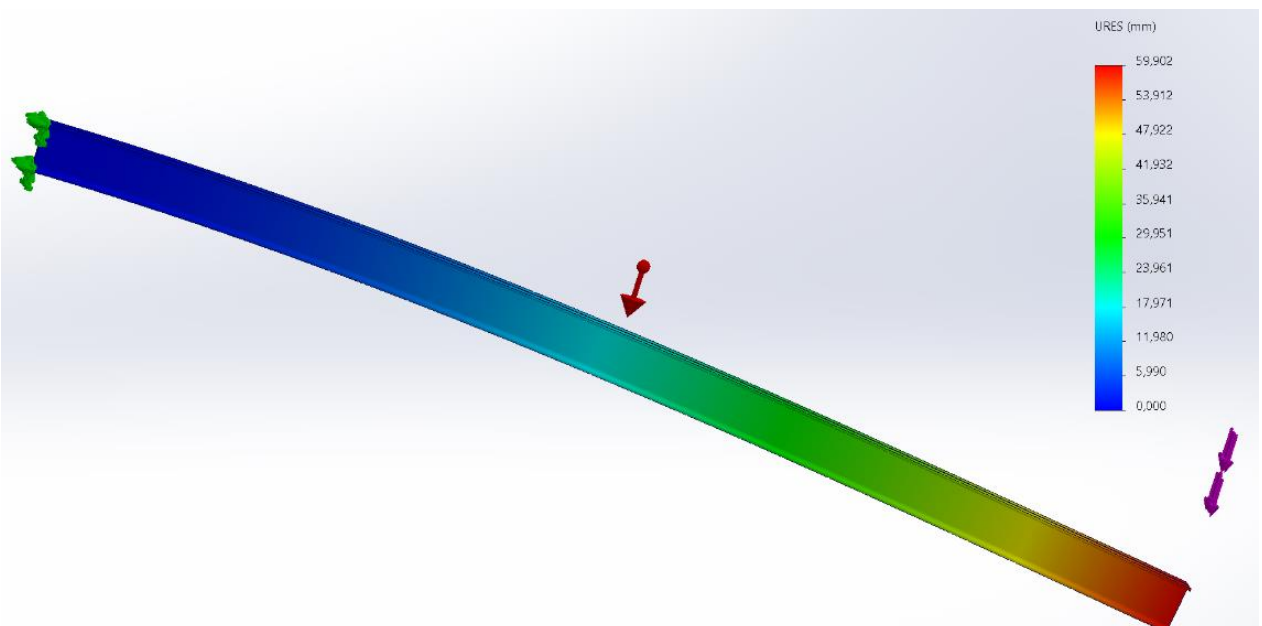


Рисунок. 3.3 – Карта прогину консольної балки виготовленої з швелерів

Аналіз поля деформацій балки, сформованої шляхом зварювання двох швелерів та навантаженої силою 10 кН, свідчить про те, що максимальна величина її вертикального прогину становить $f = 59,90$ мм. Отримане значення перевищує прогин двотаврової балки, що зумовлено менш раціональною та конструктивно складнішою геометрією перерізу, яка характеризується зниженою згинальною жорсткістю.

На рисунку (рис. 3.4) наведено просторову карту прогинів конструктивного елемента, утвореного шляхом комбінування таврового профілю 15ШТ та круглої труби діаметром 210 мм із товщиною стінки 5 мм.

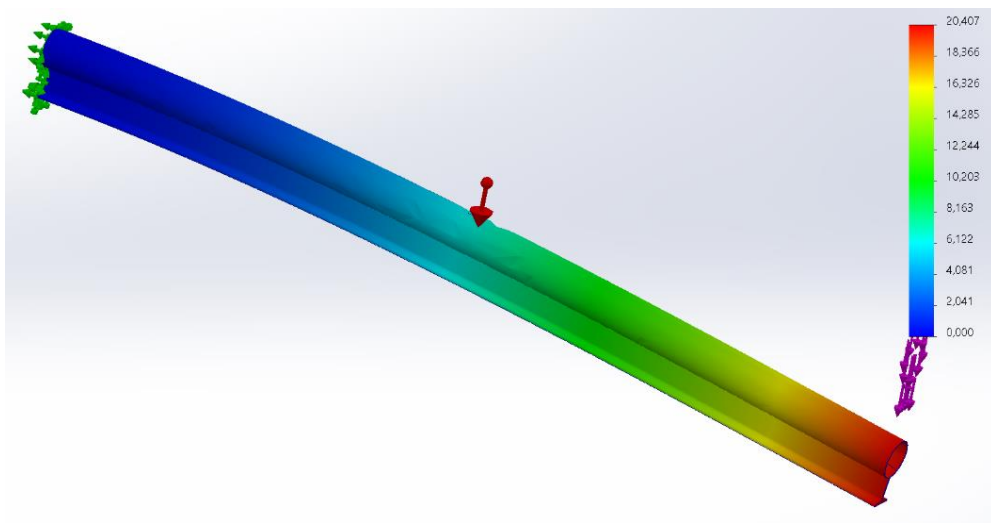


Рисунок 3.4 – Карта прогину консольної балки виготовленої з тавра і труби

Аналіз карти деформацій консольної балки крана, сформованої шляхом поєднання таврового профілю та сталеві труби і навантаженої силою 10 кН, свідчить, що максимальний вертикальний прогин конструктивного елемента становить 20,41 мм. Отримане значення є меншим порівняно з прогином балки з двотавровим перерізом та істотно меншим за прогин зварної балки, утвореної з двох швелерів. Це вказує на підвищену згинальну жорсткість комбінованої конструкції «тавр + труба». Водночас технологічна складність виготовлення такої балки залишається приблизно тотожною до складності конструкції зі здвоєних швелерів, оскільки обидва варіанти потребують ретельної підготовки кромek та виконання значної кількості зварних швів.

На рисунку (рис. 3.5) представлено карту прогинів для конструкції коробчатого типу, сформованої зі сталевих листів завтовшки 5 мм та двох кутників перерізом 50×7 мм. Подібний коробчатий переріз забезпечує суттєве підвищення геометричної та згинальної жорсткості, що робить його перспективним варіантом для елементів підвищеної несучої здатності та мінімальних деформацій.

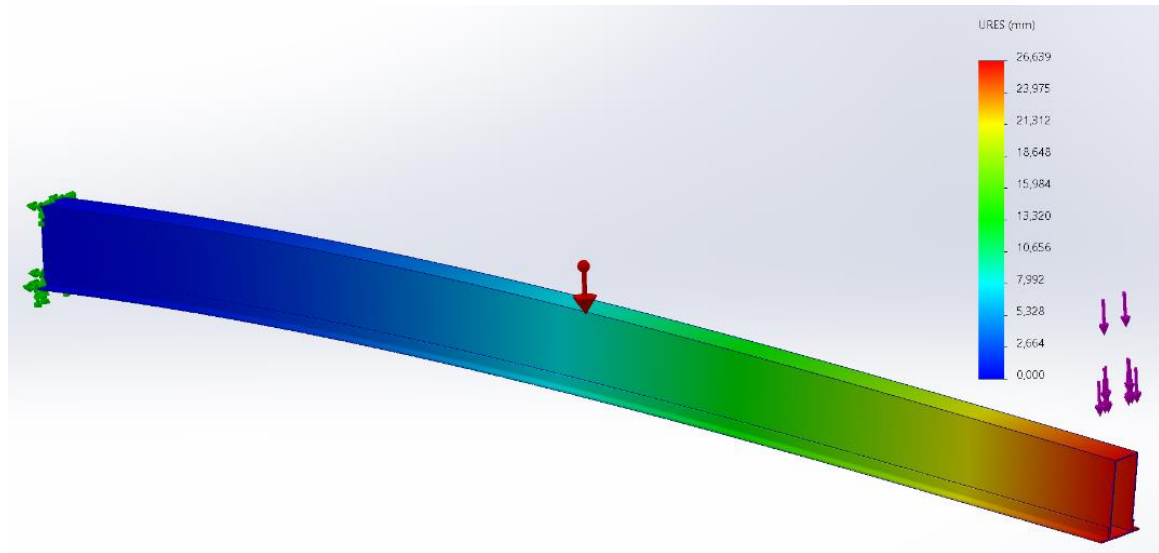
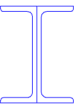
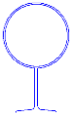
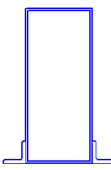


Рисунок 3.5 – Карта прогину консольної балки виготовленої з коробчастим перерізом

Аналіз карти просторових деформацій консольної балки крана, виконаної у вигляді коробчатої конструкції з листового металу завтовшки 5 мм та двох кутників 50×7 мм і навантаженої силою 50 кН, засвідчує, що максимальна величина її вертикального прогину становить 26,64 мм, що підтверджує високу ефективність коробчатої схеми з погляду згинальної жорсткості. Водночас зазначена конструкція є технологічно найбільш складною у виготовленні, оскільки потребує значного обсягу зварювальних операцій, точного позиціонування елементів та забезпечення геометричної стабільності під час складання.

Узагальнені результати розрахунків консольних балок кранів, що мають однакову площу поперечного перерізу, наведено в таблиці 3.1, що дає можливість здійснити порівняльний аналіз їх жорсткісних і конструктивних характеристик.

Таблиця 3.1. Узагальнені результати аналізу прогинів консольних балок крана

№	Профіль перерізу консольної балки	Сортамент консольної балки	Маса консольної балки, кг.	Стріла прогину консольної балки, f , мм.
1		30М	251,4	24,36
2		20В1 + 20В1	258,1	59,90
3		210×5 + 15ШТ1	253,15	20,41
4		Лист мет 5+ Кутник 50 × 7+ Кутник 50 × 7	249,54	26,64

На рисунку 3.6 подано узагальнений графічний матеріал, що відображає зміну величини вертикального прогину консольної балки залежно від геометричної конфігурації її поперечного перерізу. Представлена залежність дозволяє наочно оцінити вплив раціональності перерізу на згинальну жорсткість конструктивного елемента та здійснити порівняльний аналіз ефективності розглянутих варіантів балкових систем.

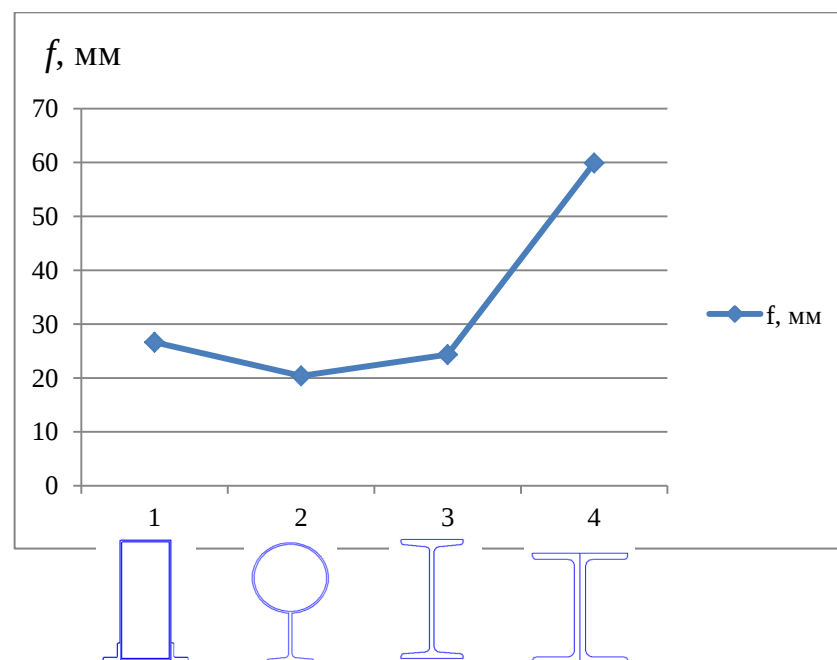


Рисунок 3.6 – Вплив геометрії та розмірів поперечного перерізу на величину прогину консольної балки крана

Аналіз графіка, що відображає залежність величини вертикального прогину консольної балки крана від геометричної форми її поперечного перерізу, дозволяє зробити низку важливих висновків. Зокрема, встановлено, що балка з тавра і труби характеризується найменшою стрілою прогину серед усіх розглянутих варіантів, що обумовлено підвищеною згинальною жорсткістю її перерізу. Навпаки, максимальне значення прогину спостерігається у кінцевої балки, виконаної зі здвоєних швелерів, що пояснюється менш раціональною геометрією перерізу та зниженням ефективної жорсткості конструкції. Отримані результати дозволяють оцінити вплив конфігурації перерізу на несучу здатність балок і визначити оптимальні конструктивні рішення для мінімізації деформацій у консольних кранах.

Висновки до розділу

Отримані результати дослідження свідчать про високу ефективність використання методів числового та комп'ютерного моделювання для аналізу напружено-деформованого стану консольної балки крана. Проведене моделювання дає змогу з достатньою точністю відтворити просторові геометричні зміни та характер прогину балки під дією робочих навантажень, що підтверджує коректність обраного підходу та відповідність модельних даних реальним умовам експлуатації.

Застосована методика, яка поєднує створення тривимірної моделі, скінченноелементний аналіз та інтерпретацію отриманих результатів, може бути рекомендована як універсальний інженерний інструмент для проектування та оцінювання міцності різноманітних типів навантажених балкових елементів. Використання такого підходу сприяє підвищенню точності прогнозування поведінки конструкцій, оптимізації їх геометричних параметрів та загальному підвищенню ефективності процесу проектування металоконструкцій у машинобудуванні та суміжних галузях.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Структурно функціональний аналіз процесів експлуатації консольного крана

Під час виконання технологічних операцій із застосуванням консольного крана на працівника впливають різноманітні виробничі середовища та фактори, зокрема механічні, електричні, хімічні, теплові, біологічні й інші. Людський організм здатний витримувати вплив зазначених чинників без негативних наслідків лише за умови, що їх інтенсивність та тривалість не перевищують допустимих нормативних значень. У разі виходу за ці межі виникає ушкодження здоров'я, яке може бути класифіковане як виробнича травма або нещасний випадок.

Серед численних факторів, що виникають під час експлуатації підйомно-транспортних, дорожніх, будівельних і меліоративних машин та механізмів, виділяють шкідливі й небезпечні виробничі чинники. Небезпечним виробничим чинником вважається такий вплив, який за певних умов здатний спричинити травмування працівника або раптове погіршення стану його здоров'я.

Процеси підймання та переміщення вантажів за допомогою консольного крана характеризуються підвищеним рівнем травматизму та аварійної небезпеки, що може негативно позначатися на здоров'ї оператора. Стан охорони праці на робочому місці оператора консольного крана істотно впливає не лише на безпеку виконання робіт, а й на ефективність використання робочого часу та загальну продуктивність вантажопідймальних операцій. Отже, забезпечення належних і безпечних умов праці є важливим чинником підвищення ефективності технологічного процесу переміщення вантажів.

Групи травмонебезпечних і аварійно небезпечних чинників мають спільну особливість – вони формують умови, за яких зростає ймовірність виникнення нещасних випадків на виробництві. Для їх детального аналізу доцільно розглянути основні технологічні етапи та операції, що супроводжують

процес роботи консольного крана, а саме: **технологічні етапи** підймання вантажу, його горизонтальне переміщення та опускання;

технологічні операції стропування (зачеплення) вантажу, підймання, переміщення, опускання та відчеплення вантажу.

Під час експлуатації консольного крана до потенційно небезпечних чинників належать: механічне травмування внаслідок контакту з рухомими елементами крана; відмови або несправності окремих вузлів і механізмів; порушення кінематичних та динамічних параметрів роботи; невідповідність вимогам охорони праці та пожежної безпеки; підвищена запиленість робочої зони; пожежо- та вибухонебезпечні умови; а також дія біологічно шкідливих факторів та інших небезпечних впливів.

4.2. Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки

Робота консольного крана складається з послідовного виконання окремих технологічних дій, а саме: стропування вантажу, його підймання, подальшого переміщення у робочій зоні та опускання у визначене місце. Кожна з наведених операцій супроводжується виникненням потенційно небезпечних чинників, які за порушення вимог охорони праці можуть створювати загрозу життю та здоров'ю працівників.

У процесі експлуатації консольного крана основну небезпеку становлять механічні впливи та ризик ураження електричним струмом. Механічні небезпечні чинники пов'язані з рухомими частинами крана, вантажем, що підіймається або переміщується, а також з елементами вантажопідіймального обладнання, зокрема електроталю та вантажозахватними пристроями. Зони підвищеної небезпеки повинні бути обмежені від несанкціонованого доступу

сторонніх осіб шляхом встановлення огорожень і застосування відповідних захисних засобів.

Електрична небезпека під час роботи консольного крана виникає внаслідок пошкоджень або несправностей електрообладнання, а також через недотримання правил експлуатації електричних установок. Для зниження ризику ураження електричним струмом необхідно здійснювати регулярний контроль технічного стану електричних систем, перевіряти справність ізоляції та ефективність заземлення.

Нижче наведено опис найбільш імовірних аварійних ситуацій, які можуть призвести до серйозних травм або інших тяжких наслідків для обслуговуючого персоналу, що узагальнено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова НУ	Небезпечна дія НД	Небезпечна ситуація НС		
1	2	3	4	5	6
Експлуатація консольного крана. Блок-схема	НУ₁ – консольний кран не-обладнаний звуковим сигналом переміщення вантажу; НУ₂ – несправний звуковий сигнал переміщення вантажу. НУ₁ → НУ₂ →	НД₁ – працюючий перебуває в зоні дії консольного крана; НД₂ →	НС – падіння вантажу або частин машини на працівника. НС →	Т – травма; А – аварія. Т	Розробка і впровадження захисних пристроїв згідно вимог охорони праці.
Піднімання вантажу Кран консольний	НУ – гакова підвіска не обладнана механізмом фіксації вантажу	НД₁ – перебування біля гакової підвіски крана; НД₂ – обслуговування гакової	НС₁ – попадання оператора в зону переміщення вантажу; НС₂ – падіння вантажу.	Т А	Організувати контроль безпеки машини перед роботою; проводити інструктажі з

Блок-схема	<pre> graph LR NU --> ND1 NU --> ND2 ND1 --> NS1 ND2 --> NS1 ND2 --> NS2 NS1 --> T NS2 --> T </pre>	підвіски крана НД ₁ НД ₂	НС ₁ → НС ₂ →	Т	техніки безпеки
Ремонт агрегатів консольного крана	НУ – агрегати необладнані захисними, обгороджуючими пристроями і попереджувальними знаками НУ →	НД – ввімкнення агрегатів в роботу без попередження НД →	НС – нанесення травми оператору або працівнові НС →	Т – Травма. Т	Розробити захисні конструкції, проводити інструктажі з техніки безпеки

Під час експлуатації консольного крана існує ймовірність виникнення небезпечних і аварійних ситуацій, що супроводжуються підвищеним ризиком травмування персоналу та пошкодження матеріальних цінностей. Виявлення, систематизація та детальний аналіз таких ситуацій є необхідною умовою для підвищення рівня безпеки праці та надійності виконання вантажопідіймальних операцій.

Комплексний аналіз потенційних загроз дозволяє визначити основні причини виникнення аварійних станів, оцінити ступінь їх небезпеки та встановити найбільш уразливі етапи технологічного процесу роботи консольного крана. На основі отриманих результатів формується перелік організаційних, технічних і профілактичних заходів, спрямованих на запобігання нещасним випадкам, зменшення впливу небезпечних чинників та мінімізацію можливих наслідків аварій.

Таким чином, своєчасний і всебічний аналіз травмонебезпечних та аварійно небезпечних ситуацій під час роботи консольного крана є важливим елементом системи охорони праці, що сприяє створенню безпечних умов праці, зниженню виробничого травматизму та підвищенню загальної ефективності експлуатації вантажопідіймального обладнання.

4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

У сучасних умовах питання природно-техногенної безпеки населення та територій України набуло особливої актуальності. Це зумовлено зростанням кількості людських втрат і матеріальних збитків, спричинених небезпечними природними явищами, аваріями на промислових об'єктах, а також масштабними надзвичайними ситуаціями техногенного характеру. На тлі кліматичних змін, інтенсивної урбанізації та збройної агресії проти України ризик виникнення надзвичайних ситуацій постійно зростає, що робить проблему захисту цивільного населення однією з ключових складових національної безпеки.

Стихійні лиха є проявами природних процесів, які раптово виникають і призводять до порушення нормальних умов життєдіяльності населення, функціонування інфраструктури та об'єктів господарювання. Вони мають надзвичайний характер, супроводжуються значними руйнуваннями будівель і споруд, знищенням матеріальних цінностей, зупинкою виробничих процесів та, у найтяжчих випадках, загибеллю людей. Особливу небезпеку становить комплексний характер таких явищ, коли одночасна дія кількох факторів значно підсилює їх руйнівний вплив.

Небезпечні природні процеси формуються під впливом трьох основних груп факторів: ендогенних (пов'язаних із внутрішніми процесами земної кори), екзогенних (обумовлених зовнішніми геологічними процесами) та гідрометеорологічних. На території України стихійні лиха поділяються на прості, що включають один небезпечний чинник (наприклад, сильний вітер або зсув), і складні, які поєднують декілька одночасних процесів, у тому числі в комбінації з техногенними аваріями.

Для західних регіонів України, зокрема Львівської області, характерними є такі природні загрози, як землетруси слабкої та середньої інтенсивності, буревії, зсуви ґрунтів і пожежі природного та техногенного походження. Сейсмічна активність у цьому регіоні проявляється у вигляді коливань земної поверхні інтенсивністю до 3–5 балів, що хоча й не призводить до

катастрофічних руйнувань, але може створювати додаткові ризики для застарілої забудови та об'єктів інфраструктури.

Серед гідрометеорологічних явищ в Україні найчастіше спостерігаються сильні опади, зливи та град, які особливо характерні для теплого періоду року. Такі явища завдають значних збитків сільському господарству, пошкоджують покрівлі будівель, транспортні мережі та об'єкти енергетики. У гірських районах Карпат випадіння граду є більш частим і інтенсивним, ніж на рівнинних територіях.

Вітрові навантаження у вигляді буревіїв також становлять серйозну небезпеку. Вітри зі швидкістю понад 20–30 м/с здатні руйнувати дахи будівель, пошкоджувати лінії електропередач і зв'язку, спричиняти аварійні ситуації, що особливо критично в умовах воєнного часу та навантаження на енергетичну систему країни.

Одним із найбільш небезпечних природних процесів для західних областей України залишаються зсуви. Вони являють собою переміщення значних мас ґрунту вниз по схилу під дією сили тяжіння і можуть бути спричинені як природними, так і антропогенними чинниками. Основними причинами є підмив основ схилів водою, надмірне зволоження ґрунтів, сейсмічні поштовхи, а також нераціональна господарська діяльність людини. За статистичними даними, більшість зсувів мають антропогенне походження, що свідчить про необхідність посилення контролю за використанням територій.

До негативних фізичних чинників сучасного міського середовища також належать шум і вібрація, джерелами яких є транспорт, будівельна та промислова техніка. Крім того, на здоров'я людини можуть негативно впливати електромагнітні поля, що створюються побутовими та промисловими електроприладами, засобами зв'язку та комп'ютерною технікою, концентрація яких у повсякденному житті постійно зростає.

Окрему загрозу для населення Львівщини та України загалом становлять хімічно небезпечні об'єкти. Причинами аварій на таких підприємствах можуть бути порушення технологічних процесів, недотримання вимог безпеки,

зношеність обладнання та наслідки воєнних дій. Високий рівень промислового й транспортного забруднення атмосферного повітря залишається серйозною екологічною проблемою, де основну частку викидів формує автотранспорт.

Відповідно до чинного законодавства України у сфері цивільного захисту, відповідальність за організацію заходів цивільної оборони на підприємствах покладається на їх керівництво. Воно зобов'язане забезпечити працівників засобами індивідуального та колективного захисту, організовувати підготовку персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях та створювати формування для ліквідації їх наслідків.

Система цивільного захисту на об'єктах господарювання повинна включати своєчасне інформування населення, організацію укриття в захисних спорудах, застосування медичних і індивідуальних засобів захисту, а також інженерні заходи, спрямовані на зменшення уражаючих факторів.

З урахуванням положень міжнародного гуманітарного права, зокрема Женевських конвенцій, та сучасних умов воєнної загрози, в Україні необхідно реалізовувати комплексні заходи, спрямовані на захист цивільного населення, мінімізацію людських втрат і зменшення шкоди економіці у разі виникнення надзвичайних ситуацій природного, техногенного або воєнного характеру.

Висновки до розділу

1. Під час вантажно-розвантажувальних робіт із використанням консольного крана існує підвищений ризик виникнення небезпечних ситуацій, що можуть загрожувати здоров'ю працівників. Рівень охорони праці на робочому місці оператора безпосередньо впливає на ефективність роботи крана.

2. Застосовані методики оцінювання безпеки робочих місць і технологічних процесів консольного крана дали змогу об'єктивно визначити рівень ризику аварій і травматизму для конкретного об'єкта.

3. У зв'язку зі зростанням кількості надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру розроблено схему дій, що відображає механізм їх виникнення та запобігання наслідкам.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Модернізація наявних засобів вантажопідіймання потребує порівняно невеликих капіталовкладень і забезпечує значний економічний ефект за умови зниження маси машини без погіршення її міцнісних характеристик. Вдосконалення конструкції головної балки консольного крана для вантажно-розвантажувальних операцій шляхом зміни форми поперечного перерізу дозволяє зменшити масу балки та знизити навантаження на елементи конструкції крана й будівлі, у якій він встановлений [1].

Економічну ефективність запропонованого профілю головної балки консольного крана можна оцінити шляхом:

- аналізу технічного рівня та конкурентоспроможності нового профілю балки за комплексними показниками;
- визначення економічної доцільності виготовлення даного профілю.

Розрахунок виконано на прикладі балки коробчастого перерізу, яка потребує великої кількості монтажних робіт.

Економічна ефективність модернізації профілю головної балки консольного крана визначається капіталовкладеннями, розрахованими за формулою:

$$K_{\epsilon} = K_m + K_{el} \quad (5.1)$$

де K_m – вартість матеріалів для виготовлення балки, грн.;

K_{el} – вартість затраченої енергії на виробництво балки, грн.

Грошові витрати на електроенергію:

$$K_{el} = M_m (G_{el} / \Pi) B_{en} \quad (5.2)$$

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

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

Π – продуктивність зварювання, кг/год, (5 кг/год);

B_{en} – вартість 1кВт електроенергії для виробництва, приймаємо 0,40 грн.

Витрати на оплату праці персоналу:

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

де T_{cm} – вартість погонного метра зварного шва і порізу, приймаємо 16 грн.;

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

Економічний ефект в порівнянні з базовою двотавровою балкою:

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

Витрати на виробництво балки обчислимо за формулою:

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

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

$$E_{удн} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{ел}}{m}, \quad (5.6)$$

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

m – маса балки, т.

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

$$E_{елн} = M_m (G_{ел} / \Pi) \quad (5.7)$$

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

$$T_{удн} = \frac{\sum_{i=1}^n T_n}{m} \quad (5.8)$$

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

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

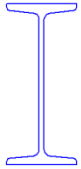
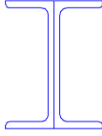
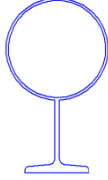
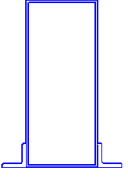
$$\sum_{i=1}^n T_n = n (K_{зм,зв} + K_{зм,різ}) / v_{зв,різ}, \quad (5.9)$$

де n – кількість робітників, люд.

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

Результати проведених розрахунків зводимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 Економічна ефективність модернізації балки консольного крана

Показники	Форма перерізу профілю			
				
Вантажопідйомність балки, κH	50	50	50	50
Трудомісткість, люд. · год./т	0,25	1,249	2,127	10,176
Енергоємність виробництва, кВт · год./т	0	31,2	53,2	132,6
Витрати на матеріали, грн.	20678,4	32041,3	18408,9	21284,3
Економічний ефект, грн.	0	-12855,9	112,5	-9538,9
Затрати на виробництво балки, грн.	20918,4	33894,3	20805,9	38577,3

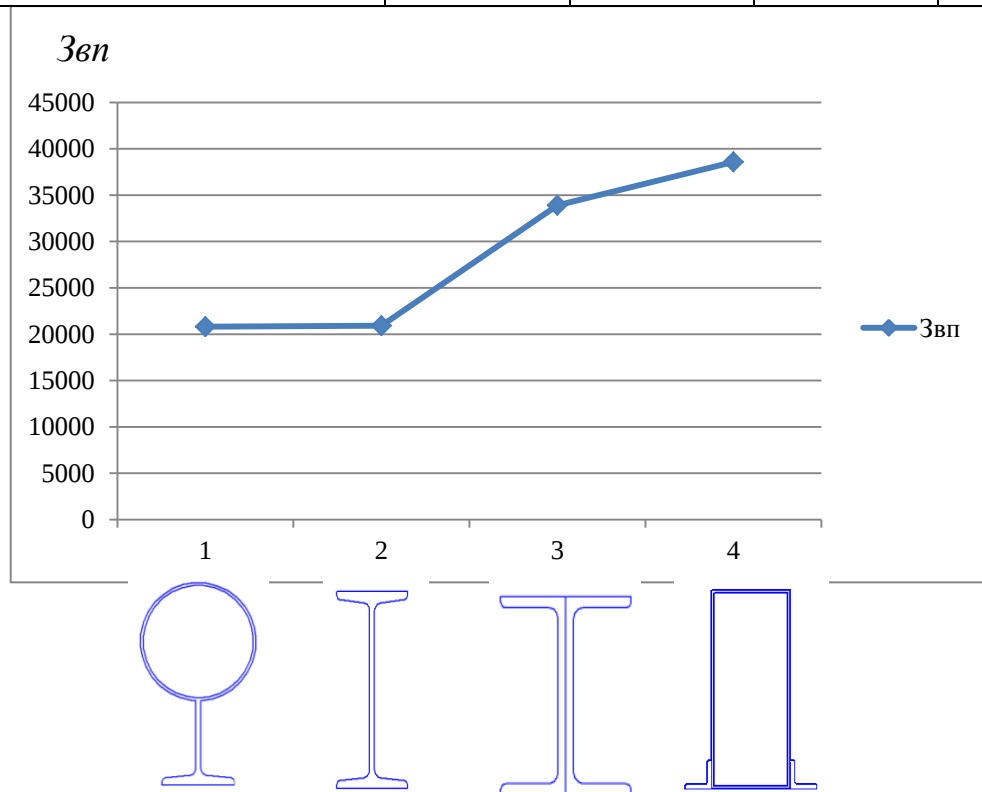


Рисунок 5.1 Графік залежності вартості консольної балки від форми поперечного перерізу.

Аналіз графіка (рис. 5.1.) показує, що найбільш економічно доцільним є профіль консольної балки консольного крана, виконаний із поєднання тавра та труби. Такий варіант забезпечує оптимальне розподілення матеріалу, необхідну міцність і жорсткість, знижуючи витрати на метал і монтаж.

Двотавровий профіль менш вигідний через більшу масу, а конструкції з листа і двох кутників економічно недоцільні для кранів із малою металоємністю. Консольна балка з двох швелерів має значну масу, тому без конструктивного обґрунтування її застосування нерациональне.

Оптимальний вибір профілю консольної балки має враховувати економічність, міцність, технологічність виготовлення та експлуатаційні умови, що забезпечує надійність і довговічність конструкції.

Висновки до розділу

Економічний аналіз конструктивного рішення форми перерізу головної балки мостового крана показав, що найбільш вигідним є комбінований профіль із труби та тавра. Виробництво такої балки забезпечує економічний ефект у розмірі 112,5 грн на одиницю виробу.

ВИСНОВКИ

Аналіз сучасного стану проблеми проектування консольних балок кранів свідчить про необхідність упровадження передових інженерних технологій уже на етапі конструкторських розробок. Це дозволяє підвищити точність розрахунків і забезпечити створення надійних, технологічних та оптимальних за конструктивною схемою металоконструкцій остова консольного крана.

Одним із ключових завдань ефективного та раціонального проектування консольних кранів є вибір оптимальної конструкції консольної балки, яка повинна поєднувати достатній рівень міцності та жорсткості з мінімальною масою і зниженими витратами на виготовлення. Оптимізація консольної балки, що сприймає як постійні, так і змінні експлуатаційні навантаження, передбачає не лише застосування матеріалів із високими механічними характеристиками, а й обґрунтований вибір геометрії її поперечного перерізу. Раціональне формування таких параметрів, як площа перерізу, моменти інерції та опору, дає змогу забезпечити допустимі значення прогинів і деформацій, зменшити ризик надмірного згину й кручення, а також підвищити довговічність конструкції в умовах дії циклічних і втомних навантажень. Крім того, оптимальна форма перерізу сприяє зниженню металоємності без втрати експлуатаційних властивостей, що робить конструкцію економічно доцільною та придатною для серійного виготовлення і швидкого монтажу.

Результати виконаного дослідження підтверджують високу ефективність застосування числових методів і комп'ютерного моделювання для аналізу напружено-деформованого стану консольної балки крана. Проведене моделювання дозволяє з достатньою точністю відтворити просторову поведінку балки та характер її прогину під дією робочих навантажень, що свідчить про адекватність обраної розрахункової моделі та її відповідність реальним умовам експлуатації.

Запропонована методика, яка поєднує побудову тривимірної геометричної моделі, виконання скінченно-елементного аналізу та подальшу інтерпретацію результатів, може бути рекомендована як універсальний

інженерний інструмент для проєктування та перевірки міцності різних типів навантажених балкових елементів. Використання такого підходу підвищує точність прогнозування роботи конструкцій, сприяє оптимізації їх геометричних параметрів і загальному підвищенню ефективності процесу проєктування металоконструкцій у машинобудуванні та суміжних галузях.

У межах роботи також розроблено комплекс організаційних заходів з охорони праці для оператора консольного крана. За допомогою методу побудови «дерева відмов і помилок оператора» проведено математичну обробку моделі ймовірностей виникнення аварій, травматизму, катастроф та інших небезпечних подій під час експлуатації крана.

Комплексна оцінка економічної доцільності застосування різних варіантів консольних балок показала, що найбільш ефективним з економічної точки зору є профіль консольної балки, виконаний із таврового профілю в поєднанні з трубою за умови однакової маси. Використання двотаврового профілю виявилось менш вигідним через його більшу металоємність. Конструкція балки з листового металу та двох кутників є економічно необґрунтованою для консольних кранів із малою металоємністю, тоді як застосування балки з двох швелерів призводить до значного збільшення маси і без додаткового конструктивного обґрунтування є недоцільним для використання в консольних балках.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондарев В.С. та ін. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підймальних і транспортувальних машин.- К.: Вища школа, 2009.-734с.
2. Бутко Д.А., Луценков В.Л., Лехман С.Д. Практикум з охорони праці. - К.: Урожай, 1995. – 144 с.
3. Гряник Т.М. та ін. Охорона праці. – К.: Урожай, 1997. – 272 с.
4. ДБН В.2.6–198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. – К.: Мінрегіон України, 2014.
5. ДБН В.1.2–2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінрегіон України, 2014.
6. ДБН В.1.2–14–2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіон України, 2009.
7. Депутат О. П., Коваленко І. В., Мужик І. С. Цивільна оборона. – Львів. : Афіша, 2001. – 236 с.
8. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. – К.: Вища школа, 1993.- 413 с.
9. Клименко Ф. Є. Металеві конструкції: навч. підруч. / Ф. Є. Клименко, В. М. Барабаш, Л. І.Стороженко. — Львів: Світ, 2002. — 311 с.
10. Коруняк П.С., Баранович С.М. Підйомно-траспортні машини. Лабораторний практикум- ЛНАУ, 2005.
11. Маслак О. І. Економіка промислового підприємства навч. посіб. / О. І. Маслак, Л. Д. Воробйова. — К. : ЦУЛ, 2016. — 172 с.
12. 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.
13. Опір матеріалів: Навч. посіб. для студентів ВНЗ. Рекомендовано МОН / Шваб'юк В. І. — К., 2009. — 380 с.
14. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.

15. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В.О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навч. посібн. / за ред. І.П.Пістуна. Ч. І. Львів: Тріада плюс, 2017. 620 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.