

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

конструювання машин і обладнання

_____ проф. В.С. Ловейкін

« ____ » _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМА ПОВОРОТУ
СТРІЛОВОГО КРАНА**

Спеціальність 133-Галузеве машинобудування _____

Гарант освітньої програми

д.т.н., проф. _____

Булгаков В.М.

Керівники бакалаврської кваліфікаційної роботи

д.т.н., проф. _____

Ловейкін В.С.

к.т.н., ст. викладач _____

Кадикало І.О.

Виконав

_____ Галайда Артем Олексійович

Київ – 2025

Додаток Д

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Конструювання машин і обладнання

д.т.н., проф

Ловейкін

В.С.

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ ” 2025р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Галайда Артем Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133- Галузеве машинобудування

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи Розробка конструкції механізму повороту стрілового крана

затверджена наказом ректора НУБіП України від “16” грудня 2024р. № 2265“С”

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 27.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, які потрібно розробити:

Перелік графічних документів (за потреби)

Дата видачі завдання “13” лютого 2025р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Ловейкін В.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Кадикало І.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання Галайда А.О.

Зміст

Реферат.....	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Аналіз конструктивних особливостей вантажопідіймальних кранів та їх механізмів	9
Розділ 2. Інженерний розрахунок параметрів механізму повороту стрілового крана	29
Розділ 3. Охорона праці.....	52
Розділ 4. Техніко-економічні розрахунки.....	70
Висновки.....	77
Список літературних джерел.....	80
Додатки.....	84

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЗМІСТ	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Галайда А.О.					4	84
Провер.		Кадикало І.О.						
Реценз.								
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Утверд.					НУБіП України			

Реферат

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: «Розробка конструкції механізму повороту стрілового крана» – складається з чотирьох (4) розділів, що розміщені на вісімдесяти чотирьох (84) сторінках друкованого тексту, чотирнадцяти (14) рисунків, чотирьох таблиць (4), висновків, сорока одного (41) літературного джерела, додатків та графічної частини.

Пояснювальна записка бакалаврської кваліфікаційної роботи містить наступні розділи:

Вступну частину;

Аналіз конструктивних особливостей вантажопідіймальних кранів та їх механізмів;

Інженерний розрахунок параметрів механізму повороту стрілового крана;

Охорона праці;

Техніко-економічні розрахунки.

Ключові слова: стріловий крана, механізм повороту, опорно-поворотний пристрій, привод.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Галайда А.О.			РЕФЕРАТ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		Кадикало І.О.					5	84
<i>Реценз.</i>						НУБіП України		
<i>Н. Контр.</i>		Ловейкін В.С.						
<i>Затверд.</i>								

Вступ

У сучасних умовах розвитку промисловості, транспорту, логістики та будівництва підвищується попит на ефективні засоби механізованого переміщення вантажів, серед яких особливе місце займають вантажопідіймальні машини. До таких технічних засобів належать і стрілові крани, що поєднують високу мобільність, надійність та здатність до виконання точного позиціонування вантажу. Потреба у використанні даного типу підйомної техніки обумовлена широким спектром завдань, які постають перед підприємствами різних галузей — від монтажу металоконструкцій до обслуговування складських площ.

З-поміж основних переваг кранів стрілового типу варто виокремити їхню конструкційну гнучкість, компактність робочої зони, здатність до обертання робочого органа навколо вертикальної осі та адаптованість до умов обмеженого простору. Це робить їх доцільними для застосування на об'єктах, де використання габаритних кранів є технічно неможливим або економічно недоцільним. У процесі експлуатації таких кранів особливу увагу слід приділяти механізму повороту, що виконує функцію змінювання просторового положення вантажної стріли відносно основи. Саме цей вузол визначає маневреність техніки, ефективність вантажопереміщення та загальну працездатність обладнання.

Механізм повороту є одним із ключових елементів у структурі стрілового крана, оскільки забезпечує можливість орієнтування вантажу у горизонтальній площині. Він взаємодіє з іншими функціональними вузлами, зокрема з опорно-поворотним пристроєм, який виступає в ролі передавальної ланки між стійкою (колоною) крана та стрілою. Надійність і точність роботи цього пристрою безпосередньо впливає на стабільність роботи всього

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Галайда А.О.			ВСТУП	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					6	84
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловеїкін В.С.						
Затверд.								

механізму в цілому. При цьому виникає потреба у ретельному конструкторському підході до вибору типу приводу, системи передач, способу кріплення та змащування.

Варто відзначити, що експлуатація стрілових кранів супроводжується рядом технічних труднощів. Однією з поширених проблем є зношування елементів передач (зубчастих коліс, підшипників, опорних кілець), що призводить до підвищення люфту, порушення плавності ходу та зниження точності позиціонування. Також нерідко зустрічаються дефекти, пов'язані з недостатньою жорсткістю конструкції поворотного вузла, або із перевищенням розрахункових навантажень, що викликає деформації й тріщини у несучих елементах. Серед інших несправностей — підвищене тертя в підшипникових опорах, перегрів двигунів приводу, нестабільна робота редукторів, а також порушення в роботі системи гальмування.

Для забезпечення тривалого терміну служби та підвищення експлуатаційної надійності стрілових кранів необхідно впроваджувати інженерні рішення, що сприяють зменшенню навантажень на механізми повороту. Це включає використання більш ефективних мастильних матеріалів, впровадження антивібраційних елементів, а також удосконалення конструктивних характеристик привідних і опорно-поворотних вузлів. Зокрема, заміна застарілих систем відкритих передач на герметизовані редуктори з високим ККД дозволяє значно зменшити втрати потужності та знос механізмів.

У порівнянні з іншими видами підйомних машин, такими як мостові чи козлові крани, стрілові крани демонструють більшу маневреність і адаптованість до нестандартних умов роботи. Їх доцільно застосовувати на ділянках, де необхідно виконувати підйом вантажів на обмеженій площі, з частими змінами напрямку та висоти переміщення. Завдяки своїй конструкції такі крани забезпечують зручний огляд робочої зони, що є особливо важливим при проведенні монтажних робіт, перевантаженні на відкритих майданчиках або обслуговуванні технологічного обладнання.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Механізм повороту, як структурна одиниця, визначає точність орієнтації вантажу та є важливим елементом для реалізації багатофункціональності крана. Його характеристиками визначаються параметри гальмування, швидкість розвороту стріли, а також плавність і рівномірність руху в процесі переміщення вантажу. Виходячи з цього, конструкторський етап, що передбачає вибір кінематичної схеми, визначення навантажень і розрахунок передавальних чисел, потребує особливої уваги з боку інженера-проектувальника.

З огляду на вищевикладене, тема бакалаврської кваліфікаційної роботи, що присвячена розробці конструкції механізму повороту стрілового крана, є актуальною з технічної та експлуатаційної точки зору. Підвищення ефективності цього вузла дозволить оптимізувати роботу всього кранового комплексу, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити рівень безпеки в умовах промислової експлуатації. Практична цінність розробки полягає у можливості її впровадження на підприємствах, що експлуатують стрілові підйомні пристрої, з метою модернізації існуючого обладнання або створення нових зразків техніки відповідно до сучасних вимог галузі.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Розділ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ КРАНІВ ТА ЇХ МЕХАНІЗМІВ

Техніко-функціональні характеристики основних типів вантажопідіймальних машин і сфер їх використання

У галузі машинобудування вантажопідіймальні машини відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного функціонування багатьох технологічних процесів. Їхня здатність переміщувати вантажі у вертикальному та горизонтальному напрямках робить їх незамінними в промисловості, будівництві, логістиці, портах, аграрному секторі та нафтогазовій галузі. Розуміння технічних характеристик та функціональних можливостей різних типів вантажопідіймальних пристроїв дозволяє не лише оптимізувати робочі процеси, але й забезпечити безперебійну експлуатацію обладнання з урахуванням вимог до надійності, продуктивності та безпеки.

До основних критеріїв, за якими класифікують вантажопідіймальні механізми, відносять їх конструктивне виконання, вантажопідйомність, радіус обслуговування, наявність вільного простору, особливості рельєфу місцевості, частота виконання операцій, тривалість циклу підйому-опускання, тип приводу (електричний, гідравлічний, комбінований), режим роботи, характер монтажу (стаціонарний або мобільний) та тип виконуваних операцій, також, вплив мають умови метеоексплуатації, агресивність середовища та необхідність інтеграції обладнання у вже існуючу виробничу структуру. Відповідно до цього, розрізняють широкий спектр вантажопідіймального обладнання: баштові, козлові, мостові, стрілові, кабельні, порталні, а також самохідні крани. Кожен із типів характеризується власними конструктивними

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Галайда А.О.			АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ КРАНІВ ТА ЇХ МЕХАНІЗМІВ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					9	84
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								

рішеннями, залежними від умов застосування.

Класифікаційна диференціація вантажопідіймальних машин проводиться за кількома критеріями: типом опори (пересувні, стаціонарні), способом приводу, видом приводу повороту (фрикційний, зубчастий), характером керування (ручне, дистанційне, автоматизоване), кількістю ступенів свободи та типом застосовуваних тросових або ланцюгових систем. У багатьох випадках для підвищення функціональності обладнання використовуються модульні рішення, що дозволяють швидко змінювати конфігурацію крана залежно від вимог до операційної задачі.

Баштові крани переважно використовуються на будівельних майданчиках для вертикального та горизонтального переміщення будівельних матеріалів. Їхня конструкція забезпечує великий радіус дії та високу точність позиціонування вантажу. Козлові крани зазвичай застосовуються на відкритих майданчиках, зокрема в металургії та логістиці. Мостові крани найбільш ефективні у цехових умовах і забезпечують високий рівень автоматизації вантажопереміщувальних операцій.

Стрілові крани, що стали об'єктом детального аналізу в межах даної роботи, широко застосовуються як у промисловості, так і в аграрному та комунальному секторах. Їх основною перевагою є маневреність і можливість здійснення операцій на обмежених або нерівних ділянках. За типом приводу вони можуть бути оснащені гідравлічними, електричними або комбінованими механізмами. Конструкція таких кранів включає механізми повороту, підйому, телескопування стріли, а також опорно-поворотні вузли.

Відмінною особливістю багатьох типів вантажопідіймальних машин є опора на різні типи елементів: рейкові ходові колії, колеса, гусеничні шасі тощо. Це впливає на мобільність і здатність крана функціонувати в різних середовищах. Механізми підйому, як правило, складаються з барабанів, канатів або ланцюгів, гальмівних пристроїв та виконавчих органів. Надійність цих елементів безпосередньо впливає на загальну працездатність пристрою.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Враховуючи розмаїття вантажопідіймальних механізмів, важливим є також питання правильного вибору обладнання відповідно до умов експлуатації. Зокрема, при роботі в умовах високої вологості або пилу необхідне використання машин з підвищеним ступенем захисту елементів електроприводу. Для агресивних середовищ (наприклад, хімічних підприємств) обираються варіанти з антикорозійним покриттям і ущільненнями. В умовах критично обмеженого простору перевага надається стріловим моделям з телескопічною стрілою або кранам із обертовою платформою.

З технічної точки зору, важливо також розглядати особливості роботи таких елементів, як поворотний механізм, редуктор, опорно-поворотний пристрій, підйомна лебідка, кабіна оператора та стріла. Всі ці вузли мають власні вимоги щодо технічного обслуговування, рівня навантаження, точності налаштувань та матеріалів виготовлення. Зокрема, при проектуванні поворотного вузла важливо забезпечити плавність обертання, мінімізацію люфтів та рівномірний розподіл навантаження через опорне кільце.

Функціональна класифікація вантажопідіймальних машин базується також на режимах їх роботи. Зокрема, визначальним параметром є інтенсивність використання, яка розраховується як добуток вантажопідйомності, висоти підйому та кількості робочих циклів за одиницю часу. Від цього залежить вибір приводу, гальмівної системи, а також конструкція редуктора. У системах з високою інтенсивністю використання доцільно застосовувати безредукторні приводи з частотним регулюванням швидкості, які забезпечують плавний пуск і зменшують зношення механічних елементів.

Особливої уваги заслуговують стрілові крани, які через конструктивну універсальність та адаптивність до різних робочих умов мають високу популярність у промисловості. Поворотна стріла забезпечує можливість маніпулювання вантажем у горизонтальній площині, що істотно розширює функціональність крана. Механізм повороту виконується з використанням

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромеханічних або гідравлічних приводів, які приводять у дію зубчасті передачі, встановлені у редукторі. Надійність роботи поворотного механізму забезпечується точністю обробки зубчастих пар, використанням підшипників кочення та ефективною системою змащення.

У свою чергу, опорно-поворотні пристрої відіграють важливу роль у забезпеченні стабільності конструкції крана під час навантаження. Вони виконують функцію з'єднання між поворотною платформою і нерухомою частиною машини. За типом виконання виділяють кулькові, роликові та комбіновані опорно-поворотні підшипники, які розраховані на сприйняття радіальних, осьових і моментних навантажень. Параметри вибору такого вузла визначаються розмірами платформи, масою вантажу, максимальною швидкістю обертання та експлуатаційними умовами.

Ще одним важливим критерієм є енергоефективність механізмів підйому і повороту. Застосування систем рекуперації енергії при гальмуванні дозволяє зменшити споживання електроенергії та знизити експлуатаційні витрати. У сучасних моделях вантажопідіймальних машин активно впроваджуються інтелектуальні системи моніторингу технічного стану елементів конструкції. Вони базуються на сенсорному аналізі навантаження, вібрацій, температурних режимів, що дає змогу своєчасно виявляти ознаки зносу або дефектів.

Крім того, у багатьох галузях використання підйомного обладнання вимагає відповідності встановленим технічним регламентам, які регламентують безпеку конструкції, граничні навантаження, межі деформацій і рівень захисту від надзвичайних ситуацій. Саме тому під час проектування та експлуатації кранів важливо забезпечити відповідність їхніх параметрів чинним стандартам, таким як ДСТУ, ISO, EN тощо.

Одним із важливих технічних аспектів сучасних вантажопідіймальних систем є автоматизація функціональних процесів. Сучасні моделі кранів комплектуються датчиками положення, обмежувачами перевантаження, системами контролю стійкості та комп'ютеризованими панелями керування.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Завдяки цьому забезпечується підвищення точності робочих маневрів, зменшення ймовірності аварійних ситуацій, а також зростання продуктивності праці.

У контексті надійності та довговічності, доцільним є врахування типових поломок, що виникають у вантажопідіймальних системах: зношування зубчастих пар, порушення герметичності гідросистеми, деформації несучих елементів, перегрів приводів тощо. З метою усунення цих проблем застосовують конструктивні удосконалення, підбір сучасних зносостійких матеріалів, а також розробку удосконалених мастильних систем та засобів амортизації.

Таблиця 1.1. Технічні параметри

Параметр	Типове значення або діапазон
Вантажопідйомність	0,5 – 320 т (для баштових — до 25 т; для гусеничних — до 320 т)
Висота підйому вантажу	3 – 100 м (залежно від типу крана та конструкції стріли)
Швидкість підйому вантажу	0,1 – 60 м/хв
Швидкість повороту стріли	0,1 – 3 об/хв (найчастіше: 0,3 – 1,5 об/хв)
Тип механізму повороту	Електромеханічний, гідравлічний, комбінований
Тип механізму зміни вильоту	Переміщення візка / телескопічне подовження стріли
Швидкість зміни вильоту	2 – 60 м/хв (переміщення візка — до 20 м/хв; телескоп — повільніше)
Діапазон вильоту стріли	2 – 80 м

Огляд класифікацій вантажопідіймальних кранів за конструкційними та експлуатаційними ознаками

У процесі технічного проектування, вибору або модернізації вантажопідіймальних систем критичне значення має грамотне розуміння їх класифікаційних ознак. Поділ кранів на окремі типи дозволяє враховувати

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

технологічні вимоги об'єкта, середовище експлуатації, специфіку виконуваних операцій та рівень мобільності обладнання. У цьому огляді розглянуто ключові класифікаційні підходи до систематизації вантажопідіймальних кранів, орієнтовані на їх конструкційні особливості, типи приводів, мобільність та способи встановлення. Кожна група характеризується відповідним функціональним призначенням, конструктивною схемою і технологічними обмеженнями.

Насамперед, класифікація за конструкційною формою охоплює найбільш поширені типи: мостові, козлові, стрілові, баштові, порталні, консольні та спеціалізовані кранові системи. Мостові крани застосовуються переважно в умовах цехових приміщень або виробничих комплексів, де вони переміщують вантажі у двох напрямках — вздовж мосту та по ньому. Такі системи монтуються на опорні колії та обладнуються вантажним візком. Серед їх переваг — висока точність позиціонування, можливість транспортування габаритних виробів та зниження ручної праці в умовах серійного або масового виробництва.



Рис. 1.1. Мостовий кран

Козлові крани мають подібну конструкцію до мостових, однак замість кріплення до опор будівлі їх рама спирається безпосередньо на ґрунт або бетонну основу через колісні візки. Це забезпечує автономність експлуатації, особливо в умовах відкритих площ, складів або контейнерних терміналів. Серед обмежень — залежність від погодних умов та вимоги до міцності основи для надійної установки рейкових шляхів.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рис. 1.2. Козловий кран

Стрілові крани, зокрема мобільні, автомобільні, гусеничні або самохідні, вирізняються наявністю поворотної башти та стріли, що може змінювати кут нахилу та виліт. Завдяки цим особливостям вони є надзвичайно ефективними в будівництві, монтажі металоконструкцій та навантажувально-розвантажувальних роботах. Водночас складність кінематичних ланцюгів, потреба в точному балансуванні противаг і вища аварійність при порушенні правил експлуатації ставлять перед конструкторами низку вимог до надійності та безпеки поворотних вузлів і приводів.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ

Арк.

15



Рис. 1.3. Стрілові крани (мобільні, автомобільні, гусеничні, самохідні)

Баштові крани використовуються переважно на багатоповерхових будівництвах або у щільній міській забудові. Вони мають високий радіус дії за рахунок вертикального стояка (щогли) та горизонтальної поворотної стріли. Ці крани потребують жорсткої фіксації на фундаменті або монтажу до будівельної конструкції. Їх класифікація може здійснюватися додатково за конструкцією стріли (горизонтальна, нахильна, підйомна), способом зміни вильоту (переміщення візка або підйом стріли), а також за методом монтажу (стаціонарний, самопідйомний, приставний).

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рис. 1.4. Баштові крани

Портальні крани призначені для роботи в портах, суднобудуванні та важкій промисловості. Вони мають жорстку раму у вигляді порталу з широкою колією, яка дає змогу одночасно виконувати маневрування вантажів та

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

проходження під краном транспортних засобів. Особливістю є підвищена вантажопідйомність і можливість роботи в умовах обмеженого простору. Однак монтаж і демонтаж таких кранів потребує значних трудовитрат, а їх мобільність обмежена.



Рис. 1.5. Портальні крани

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Залежно від типу приводу, крани поділяють на механізми з ручним керуванням, електромеханічним, гідравлічним або комбінованим приводом. Найбільш поширеними на промислових об'єктах є електропривідні крани, що забезпечують точне дозування зусиль, плавне регулювання швидкості та автоматизоване керування. Гідропривід застосовується у випадках, коли потрібна висока щільність потужності та компактне компонування привідних елементів. Ручні конструкції залишаються актуальними лише для малогабаритного обладнання в умовах обмеженого бюджету.

Рівень мобільності — ще один ключовий параметр, що визначає класифікацію кранового обладнання. За цією ознакою крани розподіляються на стаціонарні, пересувні та мобільні. Стаціонарні системи мають жорстке кріплення до основи й забезпечують високу точність і вантажопідйомність, однак не можуть змінювати місце роботи без демонтажу. Пересувні крани (на рейковому або гусеничному ході) забезпечують більшу гнучкість експлуатації, а мобільні крани (на автомобільному або причіпному шасі) дають змогу оперативно реагувати на зміну виробничих задач або умов монтажу.

Також важливо враховувати спосіб монтажу та демонтажу кранів. Залежно від цього параметра виділяють стаціонарно змонтовані, самопідймальні та приставні конструкції. Наприклад, баштові крани самопідймального типу можуть самостійно збільшувати висоту установки без зовнішнього обладнання, що знижує витрати на додаткову техніку. Приставні варіанти кріпляться до споруд у процесі зведення будівлі та поступово переміщуються разом із ростом висоти.

Кожна з розглянутих класифікацій має прикладне значення в інженерній практиці. Вибір конкретного типу крана залежить від взаємозв'язку таких параметрів, як маса вантажу, висота підйому, геометричні обмеження робочої зони, потреба в частих переміщеннях, швидкість монтажу, вимоги до автоматизації та економічна доцільність застосування. Усі ці аспекти повинні враховуватися при проектуванні систем підйому вантажів, оскільки помилки

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у виборі типу кранового обладнання можуть призвести до зниження ефективності роботи, перевитрат ресурсів або навіть до аварійних ситуацій.

Дослідження кінематичних схем і функціонального призначення поворотних вузлів у конструкції крана

У конструкції вантажопідіймальних кранів механізм повороту відіграє ключову роль у забезпеченні можливості зміни просторового положення вантажу. Для досягнення необхідної гнучкості у маніпулюванні вантажем, у сучасних кранах застосовуються різні кінематичні схеми поворотних вузлів, які визначають функціональні можливості техніки та її ефективність під час експлуатації. Дослідження конструктивної організації та принципів дії поворотних механізмів є необхідною передумовою для підвищення надійності крана та забезпечення його працездатності в складних умовах навантаження.

Основною функцією поворотного вузла є реалізація обертального руху стріли або платформи навколо вертикальної осі. Це дозволяє точно позиціонувати вантаж у горизонтальній площині без необхідності переміщення всієї машини. У залежності від типу крана, умов його експлуатації та вантажопідіймальної здатності, реалізуються різні схеми організації цього елемента. Як правило, поворотний вузол включає механізм приводу, редуктор, опорно-поворотний пристрій (він же поворотне кільце або підшипник) та вузли механічного зчеплення з опорною основою та обертовою частиною.

Кінематичні схеми повороту можуть бути реалізовані з використанням електричних, гідравлічних або комбінованих приводів. У кранах середньої вантажопідіймальності перевага зазвичай надається електромеханічним системам, які забезпечують стабільність, високу точність позиціонування та зручність керування. У важких умовах застосування, зокрема при необхідності високого крутного моменту, доцільно впроваджувати гідроприводи або комбіновані варіанти, де електродвигун активує насос, який створює тиск у гідроциліндрах або гідромоторах.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Важливим конструктивним елементом у складі поворотного вузла є опорно-поворотний пристрій. Це з'єднувальна частина, яка передає крутний момент між платформою, що обертається, і стаціонарною частиною крана. Зазвичай він має вигляд великогабаритного підшипника з зубчастим вінцем, що забезпечує зчеплення з приводним механізмом. Для зменшення тертя, розсіювання енергії та зношування, у таких підшипниках використовуються ролики або кульки, а також мастило, що покращує експлуатаційні показники вузла.

З огляду на функціональні вимоги, поворотний механізм повинен забезпечувати: плавність руху, фіксацію у проміжних положеннях, обмеження зони повороту у визначених межах (наприклад, 270 або 360 градусів), захист від перевантажень та динамічних впливів. Конструкція редуктора у складі поворотного приводу залежить від передавального числа, типу передач (циліндричні, черв'ячні, планетарні) та необхідного обертового моменту. У випадку, коли необхідне точне регулювання швидкості обертання, можуть застосовуватись частотні перетворювачі або варіатори.

Зв'язок між приводом та обертовою частиною крана забезпечується за допомогою муфт, валів та шестерень. Муфти можуть бути пружними або жорсткими, залежно від потреб у компенсації осьових або радіальних зміщень. У деяких варіантах кінематичних схем допускається застосування ланцюгової або пасової передачі, однак у вантажопідіймальних кранах перевага надається зубчастим передачам через їхню міцність і довговічність.

Окрему увагу слід приділити питанням безпеки при експлуатації поворотного вузла. Конструктивне виконання має враховувати можливість аварійного гальмування, наявність кінцевих вимикачів та блокування у разі перевищення допустимого навантаження. Для запобігання самовільному обертанню стріли при зупиненому приводі використовуються механічні або електромагнітні гальма.

У випадках, коли кран працює в умовах підвищеної вітрової або сейсмічної активності, конструкція поворотного механізму має бути

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підсиленою. Такі рішення передбачають використання додаткових підшипників, металевих кожухів, посиленних фланців, та інколи навіть двох паралельних приводів для підвищення надійності та зменшення зносу.

Додатково до конструктивної частини дослідження доцільно проводити кінематичний аналіз роботи поворотного механізму. Це дозволяє визначити залежність між кутовою швидкістю обертання стріли, навантаженням на вузли передачі та ефективністю енергоспоживання. Такий аналіз слугує підґрунтям для прийняття рішень щодо оптимізації передавальних чисел, вибору типу приводу та схеми змащування.

Функціональне призначення поворотного вузла не обмежується лише переміщенням вантажу по горизонтальній площині. У конструкції стрілового крана цей механізм є критично важливим з точки зору маневреності всієї системи, адаптації до просторових обмежень та оперативного реагування на виробничі потреби. Завдяки цьому вузлу зменшується кількість непотрібних переміщень опорної бази крана, підвищується точність виконання вантажопідіймальних операцій та знижується загальне енергоспоживання.

Структура та функціональна роль опорно-поворотних елементів у механізмі обертання

У конструкції вантажопідіймальних машин, зокрема стрілових кранів, ключову роль у забезпеченні стійкості та надійності обертального руху виконує опорно-поворотна система. Цей вузол складається з кількох функціонально взаємопов'язаних елементів, таких як поворотне кільце, підшипникові вузли, напрямні поверхні та засоби кріплення до несучої конструкції. Саме ці складові елементи визначають динамічні характеристики механізму повороту, забезпечують плавність і безпечність обертального переміщення, а також приймають значні навантаження, які виникають у процесі функціонування крана в реальних умовах експлуатації.

Поворотне кільце в загальній структурі механізму повороту виконує роль основного елемента, який поєднує обертову верхню платформу (із стрілою та іншими робочими системами) з нерухомою нижньою частиною

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

крана, що зафіксована на опорній основі або колоні. Цей компонент піддається як радіальним, так і осьовим зусиллям, а також моментам, що виникають при гальмуванні або раптових змін навантаження. Вибір типу поворотного кільця залежить від типу крана, його вантажопідймальності, умов монтажу та частоти обертальних циклів.

Конструктивне виконання поворотного вузла зазвичай передбачає використання спеціалізованих опорно-поворотних підшипників, що поєднують у собі функції опори та направляючої частини. Найчастіше застосовуються підшипники роликового або кулькового типу, які здатні працювати в умовах значних навантажень при відносно невисоких швидкостях обертання. Роликові підшипники демонструють підвищену стійкість до ударних навантажень і краще пристосовані до роботи в умовах значної ексцентричності навантаження. Кулькові ж підшипники забезпечують менший опір обертанню, що особливо корисно при маневрових операціях з малими масами вантажів.

Крім самого підшипника, у поворотному вузлі важливою є система напрямних та ущільнень. Напрямні поверхні можуть бути внутрішніми або зовнішніми, залежно від конфігурації механізму. Вони забезпечують обмеження небажаних коливань та зберігають геометричну точність осьового обертання. Ущільнення ж виконують функцію захисту робочих поверхонь від проникнення пилу, вологи, мастил та агресивних середовищ, які можуть призвести до передчасного зносу або руйнування вузлів тертя.

Важливою конструктивною деталлю є зубчастий вінець, розміщений на зовнішній або внутрішній стороні поворотного кільця. Цей елемент служить для передачі крутного моменту від приводу обертання. Вибір варіанту розміщення зубчастого вінця визначається компонованням приводу та зручністю обслуговування. Наприклад, у кранах із редуктором, розташованим внизу, доцільно застосовувати внутрішнє зачеплення. У той час як для більшості мобільних або баштових кранів переважає зовнішнє розміщення зубчастого вінця.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Передача крутного моменту в поворотному механізмі може здійснюватися через систему редукторів, гідромоторів або електроприводів, що мають відповідні вихідні характеристики з урахуванням зусиль, необхідних для подолання моменту опору. Надійність зчеплення в зоні передачі зусиль забезпечується через точне виготовлення профілю зубців, правильну установку центрацій та наявність регульованих проміжків у зачепленні, що компенсують знос протягом тривалого періоду експлуатації.

До опорно-поворотної системи також входять елементи фіксації та обмеження куту обертання. У низці моделей застосовуються обмежувачі, які не дозволяють здійснювати повний оберт платформи, що є актуальним у випадках, коли присутні об'єкти поблизу зони роботи крана. Крім того, у конструкцію можуть бути включені гальмівні пристрої, що забезпечують фіксацію стріли у необхідному положенні при зупинці механізму або виконанні статичних операцій з вантажем.

З технічної точки зору важливим параметром опорно-поворотного вузла є його вантажна характеристика, яка включає максимально допустиме навантаження в осьовому, радіальному напрямках та на крутний момент. Ці характеристики обов'язково враховуються при проектуванні, оскільки впливають на безпеку експлуатації крана в умовах змінного навантаження. Також розрахунки включають оцінку ресурсу поворотного вузла, який залежить від режиму експлуатації, частоти обертань, температурних коливань і періодичності технічного обслуговування.

Слід зазначити, що опорно-поворотний вузол є об'єктом підвищеної відповідальності. Його несправність може спричинити аварійне обвалення крана або падіння вантажу. Саме тому вимагається точне дотримання норм монтажу, регулярне технічне обслуговування, перевірка ступеня зносу та мастильного режиму. Ряд виробників передбачає систему автоматичного змащування, яка через певні інтервали часу забезпечує подачу мастила в зони тертя, тим самим зменшуючи ризики сухого контакту елементів вузла.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У конструкціях сучасних вантажопідіймальних машин особлива увага приділяється питанню модернізації поворотних систем з метою зменшення маси, підвищення надійності та точності позиціонування. Новітні конструкційні матеріали, зокрема високоміцні леговані сталі, забезпечують підвищену несучу здатність при зменшених геометричних габаритах. Крім того, інтеграція систем контролю стану (датчики вібрації, температури, навантаження) дозволяє реалізувати концепції предиктивного обслуговування, що значно подовжує міжремонтний інтервал.

Функціональна роль опорно-поворотних компонентів у складі поворотного механізму крана полягає не лише у реалізації обертального переміщення, а й у забезпеченні структурної цілісності всієї конструкції під навантаженням. Технічна досконалість цієї системи безпосередньо впливає на продуктивність, надійність та безпечність крана під час його використання в умовах будівельного, вантажного чи промислового виробництва.

Взаємодія механізму повороту з іншими системами стрілового крана та вплив на загальну ефективність вантажопідіймального процесу

Одним із ключових елементів конструкції, що має суттєвий вплив на продуктивність та точність виконання вантажопідіймальних операцій, є механізм повороту. Його взаємодія з іншими складовими крана визначає ефективність усього технологічного циклу під час здійснення переміщень вантажів.

Механізм повороту, як правило, виконує роль приводу обертання поворотної платформи або верхньої частини крана разом із стрілою, кабіною оператора та допоміжними системами. Передача крутного моменту від електродвигуна або гідроприводу до поворотного столу здійснюється за допомогою редукторного блоку, що знижує частоту обертання та збільшує крутний момент, забезпечуючи плавність і стабільність руху. При цьому безпосередня взаємодія поворотного механізму з опорною конструкцією відбувається через поворотне кільце або аналогічний елемент, який передає навантаження на несучі елементи.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однією з основних вимог до механізму повороту є забезпечення точної орієнтації вантажу в горизонтальній площині. Це особливо актуально при виконанні монтажних або вантажно-розвантажувальних робіт у стиснених просторах, де навіть незначне відхилення від заданого напрямку може призвести до порушення безпеки операції. Тому важливу роль відіграє не лише привід повороту, але й взаємодія з іншими частинами крана, які стабілізують положення стріли та забезпечують її стійкість.

Конструкція опорної рами стрілового крана повинна враховувати вплив зусиль, що виникають у точці зчеплення поворотного вузла з базовою частиною. Наявність додаткових підсилюючих елементів у зоні монтажу поворотного механізму знижує ризики деформацій і підвищує довговічність обладнання. Зі свого боку, конструкція стріли впливає на розподіл навантаження під час обертання. Особливо це стосується кранів із телескопічною або гратчастою стрілою, де змінна геометрія створює додаткові вимоги до точності координації з обертальним приводом.

У системах, де передбачена противага, взаємодія між нею та механізмом повороту є критично важливою для забезпечення балансу. Розташування та маса противаги безпосередньо впливають на динамічну стійкість під час обертання стріли з вантажем. Невідповідність між зусиллям, прикладеним до приводу повороту, та моментом інерції платформи може спричинити вібрації або резонансні явища, що негативно позначаються на точності переміщення вантажу.

Залежно від типу приводу — електричного, гідравлічного або комбінованого — змінюється характер взаємодії механізму повороту з іншими системами. Електроприводи потребують точного регулювання за допомогою інверторів та датчиків положення, що ускладнює конструкцію, але підвищує рівень автоматизації. Гідравлічні системи дозволяють реалізувати високий крутний момент при компактних габаритах, проте вимагають додаткового обслуговування.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

На етапі проєктування механізму повороту необхідно враховувати характеристики вузлів, що взаємодіють із ним. Наприклад, синхронізація руху візка, який переміщується вздовж стріли, повинна бути узгоджена з обертанням крана, щоб уникнути перевантажень та забезпечити рівномірний розподіл зусиль. Для цього використовуються електронні системи керування, що зчитують параметри навантаження й координують дію окремих приводів у реальному часі.

Формування кінематичної схеми крана з урахуванням поворотного механізму вимагає глибокого аналізу силових потоків, що виникають під час експлуатації. Будь-які зміни в одній із підсистем крана, зокрема в приводі візка чи підйомному механізмі, повинні бути адаптовані до характеристик обертального вузла. Узгоджена робота всіх частин забезпечує мінімізацію втрат енергії, зниження зносу та підвищення безпеки праці.

Значну увагу варто приділити і системам контролю та діагностики. Датчики положення, моменту та вібрацій дозволяють своєчасно виявити відхилення у роботі механізму повороту. Це особливо важливо у випадках інтенсивного циклу навантажень, коли перевищення граничних параметрів може спричинити пошкодження не лише обертового вузла, але й суміжних частин конструкції.

Інтеграція поворотного механізму з основною системою керування краном забезпечує можливість оптимізації роботи в залежності від зовнішніх умов. Наприклад, у разі вітрового навантаження система може автоматично зменшити швидкість повороту або змінити порядок операцій для збереження стійкості. Такі адаптивні стратегії знижують ризик аварій і дозволяють підвищити загальну продуктивність крана.

Варто врахувати й вплив умов експлуатації. У промислових зонах із підвищеним рівнем пилу, вологості або низьких температур потрібні спеціалізовані компоненти з відповідним ступенем захисту. Це стосується як підшипникових вузлів поворотного елемента, так і елементів приводу, які повинні витримувати тривалі навантаження без втрати функціональності.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

З погляду ефективності вантажопідіймального процесу, взаємодія поворотного механізму з іншими вузлами повинна бути не лише технічно обґрунтованою, але й оптимізованою під конкретний сценарій роботи. У деяких випадках доцільним є застосування обмежувачів повороту, які обмежують робочий діапазон обертання, зменшуючи при цьому навантаження на конструктивні елементи.

У сучасних кранах усе ширше застосовуються цифрові технології, що дозволяють моделювати взаємодію компонентів ще на етапі проектування. Використання CAD/CAM-систем і методів числового моделювання дозволяє оцінити, як зміна технічних характеристик одного вузла впливає на динаміку всієї конструкції. Це сприяє підвищенню надійності готового виробу, а також зменшенню витрат на обслуговування.

Поворотний механізм у конструкції стрілового крана не є ізольованим функціональним блоком. Його робота невід’ємно пов’язана з рядом інших елементів, включаючи опору, стрілу, противагу, приводи, а також системи керування й стабілізації. Саме узгодженість дій між усіма цими частинами визначає рівень ефективності та безпеки функціонування вантажопідіймальної машини в цілому.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Розділ 2

ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ СТІЛОВОГО КРАНА

У процесі проектування та експлуатації стрілових поворотних кранів ключовим етапом є обчислення силових навантажень, які виникають під час функціонування механізмів, зокрема при повороті стріли та піднятті вантажів. Ці розрахунки є визначальними при доборі потужності приводного вузла, забезпеченні стабільності крана та гарантуванні безпечної роботи оператора.

Конструкційна схема баштового стрілового крана із жорстко закріпленою центральною колоною охоплює декілька основних елементів. До її складу входять наступні структурні вузли: стаціонарна опора або колона (поз. 12), яка є центральною частиною всієї конструкції; стріла (поз. 11), що виконує функцію навантаження та подачі вантажу; система поліспасти (поз. 10), яка дозволяє здійснювати підйомно-опускні операції; розтяжка для стабілізації стріли (поз. 9); верхня опора у вигляді цапф радіально-упорного типу (поз. 8); система стабілізації противагової частини (поз. 7), включаючи тросову розтяжку; баластна частина (поз. 6), яка формує противагу основній масі стріли та вантажу; противагова консоль (поз. 5), що компенсує дію зовнішніх сил; підйомний механізм (поз. 4); поворотний пристрій, який інтегрує редуктор або гідравлічний привід (поз. 3); опорна основа у вигляді плити (поз. 2), яка анкерується на фундаменті (поз. 1).

Зазначена конструкція зображена на схемі (рис. 2.1) і відповідає вимогам щодо вантажопідйомних пристроїв баштового типу. Такий підхід дозволяє досягти як високої жорсткості системи, так і здатності до виконання складних вантажопереміщувальних операцій.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Галайда А.О.			ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ СТІЛОВОГО КРАНА		
Перевір.		Кадикало І.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Ловейкін В.С.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Аркушів
						29	84
					НУБіП України		

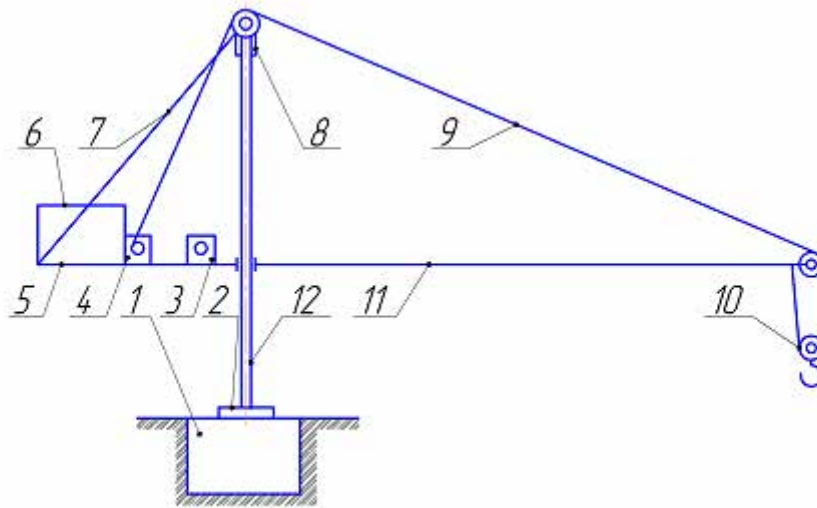


Рис. 2.1 Схема стрілового поворотного крана з нерухомою колоною

Детальніше варто зупинитися на нижній опорі (рис. 2.2), яка виконує функцію забезпечення поворотної дії крана. Вона складається з кільцевої рами або обойми (поз. 1), по якій розміщені роликові опори (поз. 2). Саме ці ролики здійснюють переміщення по круговій направляючій навколо колони при обертанні верхньої частини крана. У місцях кріплення стріли та противагової консолі передбачені шарнірні з'єднання, які компенсують кутові деформації при русі.

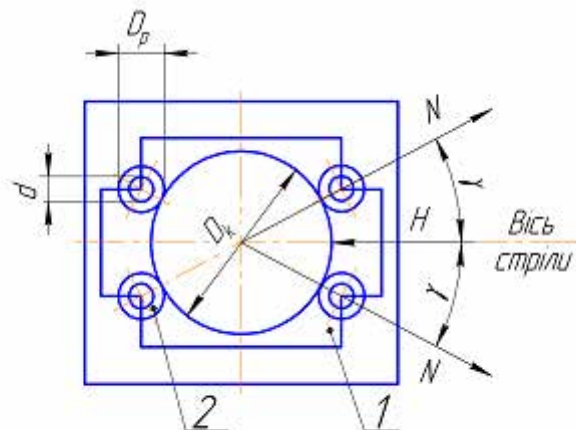


Рис. 2.2 Схема нижнього опорно-поворотного вузла

До поворотної частини крана прикладаються значні зовнішні сили, зокрема вага вантажу, який транспортується, а також горизонтальні компоненти вітрового навантаження. У свою чергу, на опорну структуру діють сили, пов'язані із масою стріли, механізмів, противаги та інших елементів, закріплених на поворотній платформі. У результаті створюється комплексна

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

система навантаження, яку необхідно враховувати під час проєктування приводу та добору відповідних елементів для досягнення потрібної потужності та моменту.

Колона, яка є центральною опорою конструкції, встановлюється у гнізді опорної плити. Остання, у свою чергу, жорстко фіксується на залізобетонному або металевому фундаменті за допомогою анкерних з'єднань. Важливим моментом є виконання всіх монтажних робіт із дотриманням нормативів точності, адже навіть незначне відхилення від вертикалі або неправильна установка анкерів може призвести до втрати стійкості крана при динамічних навантаженнях.

Щодо конструктивного виконання колон, вони можуть бути виготовлені за трьома основними технологіями: методом лиття, кування або зварного складання з профільованих елементів, зазвичай у вигляді ґратчастої структури. Кожен варіант має свої переваги залежно від умов експлуатації, навантажень, що передбачаються, і конструкційної висоти об'єкта. Наприклад, зварні ґратчасті колони є легшими, але потребують більшого контролю якості зварних швів, тоді як ковані забезпечують вищу міцність при компактності.

Противагова система — невід'ємний конструктивний компонент баштового стрілового крана. Основне її завдання — зниження згинального моменту, що виникає в колоні під дією ексцентричного розташування вантажу відносно осі повороту. Використання контрбалансу дозволяє не лише забезпечити кращу стійкість під час виконання операцій підйому, але й зменшити навантаження на поворотний механізм.

Привідні вузли підйомного і поворотного механізмів у кранах із фіксованою колоною реалізуються на основі аналогічних принципів, що й у кранах із поворотною колоною. Різниця полягає у способі передавання крутного моменту і конструкції кріплення. Механізми можуть мати як електромеханічний, так і гідравлічний тип приводу. Обчислення сили опору здійснюється шляхом урахування маси вантажу, коефіцієнтів тертя в поліспахах, а також моменту інерції поворотної частини. При цьому для

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

коректного добору потужності електродвигуна необхідно виконати динамічну модель системи та врахувати змінність навантажень під час типового циклу роботи.

Для виконання інженерного аналізу стрілового баштового крана з жорстко закріпленою опорною колоною, передусім необхідно задати вихідні розрахункові параметри, які характеризують експлуатаційні умови та основні технічні характеристики механізму. Основою для проведення технічних розрахунків є наступні дані: номінальна вантажопідйомність обладнання Q становить 3 тонни, при цьому висота H , на яку здійснюється підйом вантажу, складає 8 метрів. Максимальна відстань по горизонталі від осі обертання до центру ваги піднятого вантажу, тобто виліт гака A , дорівнює 5,6 метра.

Швидкість вертикального переміщення вантажу становить 0,25 метра за секунду. Частота обертання крана навколо вертикальної осі визначена на рівні 1,8 оберти на хвилину. Виходячи з характеру виконуваних операцій та інтенсивності експлуатації, визначено режим роботи крана як 4-й. Передбачено підключення до трифазної електричної мережі з номінальною напругою 220/380 вольт.

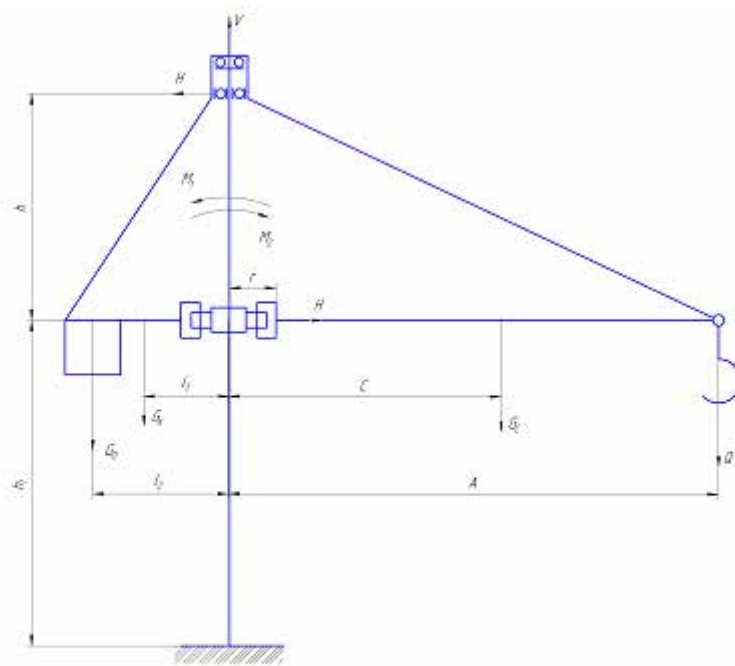


Рис. 2.3 Розрахункова схема крана із непухомою колоною

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Розрахункова конструктивна схема крана (рис. 2.3) включає наступні основні вузли: масивна нерухома опора у вигляді колони, яка зазвичай виконується як зварна трубчаста конструкція або із застосуванням литих чи кованих елементів. До колони шарнірно кріпиться стріла крана, яка служить для виведення вантажу у горизонтальній площині, а також противагова консоль, що забезпечує баланс сил і зменшення згинального моменту на вертикальну стійку. Механізм підйому вантажу розташований на стрілі, у той час як поворотний пристрій змонтований у верхній частині колони.

Для забезпечення плавності обертання стріли навколо осі колони, в її нижній частині передбачена опора на роликовому кільці, де ролики вільно перекочуються по кільцевій поверхні підстави. Зусилля, які виникають під час експлуатації, діють як на обертову частину (стріла, поліспаст, вантаж, противага), так і на опорні вузли, внаслідок чого відбувається навантаження, як вертикального, так і горизонтального характеру. Уся конструкція фіксується до фундаментної основи за допомогою анкерних з'єднань, що забезпечують стійкість та знижують ризики деформацій при дії робочих навантажень.

Параметри елементів конструкції визначаються за допомогою нормативних співвідношень. Вага стріли обчислюється як частка від вантажопідйомності:

$$G_c = (0,10 \dots 0,15)Q = 0,10 \cdot 30 = 3кН;$$

Маса противагової консолі встановлюється як 1,4 від ваги стріли, тобто:

$$G_k = (1,4 \dots 1,5)G_c = 1,4 \cdot 3 = 4,2кН;$$

Відстань між підшипниками визначається співвідношенням

$$h = (0,45 \dots 0,6)A = 0,45 \cdot 5,6 = 2,52м;$$

Відстань від осі верхнього підшипника до площини фундаменту складає:

$$h_1 = H + (0,5 \dots 0,6) = 8 + 0,5 = 8,5м;$$

Центри ваги окремих частин поворотного механізму мають координати:

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$l_1 = (0,35 \dots 0,38)A = 0,35 \cdot 5,6 = 1,96\text{м};$$

$$l_2 = (0,42 \dots 0,45)A = 0,42 \cdot 5,6 = 2,352\text{м};$$

$$c = (0,5 \dots 0,55)A = 0,5 \cdot 5,6 = 2,8\text{м}.$$

Після визначення геометричних параметрів переходять до розрахунку вертикального навантаження на опорний підшипник верхньої опори, яке є сумарною вагою елементів, що обертаються:

$$V = Q + G_c + G_k + G_{\Pi};$$

де G_{Π} — маса противаги, необхідна для забезпечення рівноваги конструкції.

З метою досягнення мінімального навантаження на колону під час циклів з номінальним вантажем та без нього, застосовується умова рівноваги, яка враховує переважання часу роботи у ненавантаженому стані. У такому разі момент відносно вертикальної осі визначається як:

$$M_1 = -1,5M_2.$$

де M_1 — сумарний момент у стані з піднятим вантажем, а M_2 — у холостому режимі.

У навантаженому стані, загальний момент визначається як:

$$\begin{aligned} M_1 &= QA + G_c \cdot c - G_k \cdot l_1 - G_{\Pi} \cdot l_2 = \\ &= 3 \cdot 5,6 + 0,3 \cdot 2,8 - 0,42 \cdot 1,96 - G_{\Pi} \cdot 2,35 = 16,817 - 2,352G_{\Pi}. \end{aligned}$$

У режимі без навантаження обчислення виглядає так:

$$\begin{aligned} M_2 &= G_c \cdot c - G_k \cdot l_1 - G_{\Pi} \cdot l_2 = \\ &= 0,3 \cdot 2,8 - 0,42 \cdot 1,96 - G_{\Pi} \cdot 2,35 = 0,017 - 2,352G_{\Pi}. \end{aligned}$$

Підставляючи значення у рівняння умови рівноваги:

$$\begin{aligned} 16,817 - 2,352G_{\Pi} &= -1,5 \cdot 0,017 - 2,352G_{\Pi}; \\ 16,817 - 2,352G_{\Pi} + (0,017 - 2,352G_{\Pi}) \cdot 1,5 &= 0. \end{aligned}$$

Однак це суперечить первинному значенню, тому перевірка ітерацією дає уточнене значення $G_{\Pi} \approx 28,64$ кН. З урахуванням цього уточнення повне вертикальне навантаження на верхній підшипник визначається як:

$$V = 30 + 3 + 4,2 + 28,64 = 60,04\text{кН}.$$

У ході аналізу динамічного навантаження на конструктивні елементи

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стрілового крана з нерухомою колоною особливу увагу приділяють визначенню горизонтальної реакції, яка виникає в результаті впливу зовнішніх сил, насамперед, сили ваги вантажу, маси стріли та противаги. Для цього застосовується рівняння моментів відносно осі А, що проходить через центр опори. Умова рівноваги $\sum M_A = 0$ дозволяє обчислити горизонтальну складову реакції, яка в даному випадку дорівнює:

$$H = \frac{QA + G_c \cdot c - G_{II} \cdot l_2 - G_k \cdot l_1}{h} =$$

$$= \frac{30 \cdot 5,6 + 3 \cdot 2,8 - 28,64 \cdot 2,35 - 4,2 \cdot 1,96}{2,52} = 40 \text{ кН.}$$

Виходячи з величини повного вертикального навантаження V , що дорівнює 60,04 кН, проводиться розрахунок навантаження, яке прикладається до опорного підшипника. Враховуючи коефіцієнт запасу міцності $k_6 = 1,4$, отримуємо значення R_{vp} :

$$R_{vp} = k_6 \cdot V = 1,4 \cdot 60,04 = 84 \text{ кН,}$$

Аналогічно, визначається зусилля, яке діє на радіальний підшипник верхньої опори:

$$G_p = k_6 \cdot H = 1,4 \cdot 40 = 56 \text{ кН.}$$

Після обчислення навантажень проводиться підбір типів підшипників, які мають бути встановлені в опорах. Для сприймання осевого навантаження застосовується упорний підшипник типу 8310Н із статичною вантажопідйомністю 90кН, а для радіального навантаження вибрано підшипник 313 зі статичною вантажопідйомністю 56 кН.

З метою оцінки опору повороту стрілової частини конструкції виконується обчислення загального статичного моменту, який складається з моментів тертя у всіх опорних вузлах, а також моментів, викликаних вітровим навантаженням та можливим нахилом колони:

$$\sum M_{ст} = \sum M_T + M_B + M_{укл},$$

Момент тертя у верхньому радіальному підшипнику визначається за формулою:

$$\sum M_T = M_T(d_1) + M_T(d_2) + M_{Т.н.о.}$$

$$M_T(d_1) = H \cdot f \cdot \frac{d_1}{2} = 40000 \cdot 0,015 \cdot \frac{0,1025}{2} = 30,75 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$d_1 = \frac{d+D}{2} = \frac{65+140}{2} = 102,5 \text{ мм} = 0,1025 \text{ м,}$$

де d_1 -середній діаметр підшипника; $f=0,015 \dots 0,02$ - зведений коефіцієнт тертя шарикопідшипника.

Аналогічно обчислюється момент у нижньому опорно-поворотному вузлі:

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$M_T(d_1) = V \cdot f \cdot \frac{d_2}{2} = 60040 \cdot 0,015 \cdot \frac{0,064}{2} = 28,82 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$d_2 = \frac{50 + 78}{2} = 64 \text{ мм} = 0,064 \text{ м}.$$

З урахуванням сили N , що діє на ролики, та їх геометричних параметрів. Значення N при куті $\gamma = 30^\circ$ становить:

$$\begin{aligned} N &= H \cdot \frac{1}{2 \cos \gamma} = 4000 \cdot \frac{1}{2 \cos 30^\circ} = \\ &= 40000 \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,866} = 22640 \text{ Н}. \end{aligned}$$

З урахуванням коефіцієнта тертя ковзання $f = 0,2$, розміру ролика $d_0 = 35$ мм, його довжини $l_p = 100$ мм, та розрахункових діаметрів $D_p = 105$ мм, $D_k = 300$ мм, загальний момент тертя у вузлі:

$$\begin{aligned} M_{\text{т.н.о.}} &= 2N \left[\frac{f \cdot d_0}{D_p} + \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_k} \right) \cdot K \right] \frac{D_k}{10^3} = \\ &= 2 \cdot 22640 \left[\frac{0,2 \cdot 35}{105} + \left(\frac{1}{105} + \frac{1}{300} \right) \cdot 0,3 \right] \cdot \frac{300}{10^3} = 958 \text{ Н} \cdot \text{м}, \end{aligned}$$

У разі застосування підшипників кочення зменшення тертя дає змогу отримати

$$\begin{aligned} M'_{\text{т.н.о.}} &= 2N \left[\frac{f' \cdot d_0'}{D_p} + \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_k} \right) \cdot K \right] \frac{D_k}{10^3} = \\ &= 2 \cdot 22640 \left[\frac{0,02 \cdot 54}{105} + \left(\frac{1}{105} + \frac{1}{300} \right) \cdot 0,3 \right] \cdot \frac{300}{10^3} = 192 \text{ Н} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

Це знижує сумарний момент тертя до:

$$\sum M_T' = 30,75 + 28,82 + 195,79 = 255 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Крім механічного опору, конструкція крана піддається аеродинамічному навантаженню. Момент, зумовлений вітром, розраховується для окремих елементів крана (стріли, вантажу, противаги) з урахуванням площі під вітрове навантаження, швидкісного тиску ($q = 125$ Па), коефіцієнтів K , c , Ψ та їх відстаней до осі обертання.

$$\begin{aligned} M_K &= 1,41 \cdot 125 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot \frac{5,6}{2} - 1,76 \cdot 125 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,35}{2} = \\ &= 292,9 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

$$M_G = A_l \cdot q \cdot K \cdot c \cdot A = 6,2 \cdot 125 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 5,6 = 5425 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Сумарне вітрове навантаження:

$$M_B = 292,9 + 5425 = 5717,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Окремо враховується можливий перекис колони на кут $\beta = 1^\circ 12'$, що створює додатковий момент нахилу:

$$M_{\text{укл}} = [Q \cdot A + G_C \cdot c - G_K \cdot l_1 - G_{\text{П}} \cdot l_2] \cdot \sin\beta = \\ = [3 \cdot 5,6 + 0,3 \cdot 2,8 - 0,42 \cdot 1,96 - 2,864 \cdot 2,352] \cdot 0,02 = 0,203 \text{ т} \cdot \text{м} = 1991 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Сумарне статичне навантаження, що діє на систему.

$$\sum M_{\text{ст}} = 25,54 + 583,07 + 203 = 811,602 \text{ кГ} \cdot \text{м} = 8116 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Враховуючи результати попередніх розрахунків, загальна величина статичного моменту опору обертання для всіх компонентів крана складає 811,602 кГ·м, що еквівалентно 8116 Н·м.

Для забезпечення стабільної роботи механізму необхідно визначити потужність, яку повинен забезпечувати привід.

$$N = \frac{\sum M_{\text{ст}} \cdot n_{\text{кр}}}{975 \cdot \eta_{\text{мех}}},$$

де $n_{\text{кр}}$ - частота обертання крана; $\eta_{\text{мех}}$ - загальний ККД привода механізму.

ККД розрахований, як добуток окремих елементів: муфти, планетарного редуктора, конічної і циліндричної передач:

$$\eta_{\text{мех}} = \eta_{\text{м}} \times \eta_{\text{пл.ред.}} \times \eta_{\text{кон}} \times \eta_{\text{цил.}}$$

$$\eta_{\text{мех}} = 0,985 \times 0,95 \times 0,95 \times 0,97 = 0,86.$$

Підставивши значення:

$$N = \frac{811,602 \cdot 1,8}{975 \cdot 0,86} = 1,74 \text{ кВт}.$$

Беручи до уваги можливість виникнення інерційних навантажень, слід обрати електродвигун з запасом потужності. Відповідно до цього критерію обирається асинхронний двигун серії МТФ011-6 із фазним ротором. Його номінальна потужність становить 1,7кВт при тривалості вмикання 25%, кількість обертів — 850об/хв, максимальний обертовий момент — 40Н·м, момент інерції ротора — 0,02125кг·м², маса двигуна — 51кг.

Загальне передавальне число редукторного вузла визначається співвідношенням швидкості обертання валу двигуна до частоти обертання крана:

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$U_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{к}}} = \frac{850}{1,8} = 472,2;$$

$$U_{\text{заг}} = U_{\text{пл.р.}} \times U_{\text{к}} \times U_{\text{ц}},$$

Це число розкладається на добуток передавальних чисел трьох послідовно з'єднаних передач: планетарної, конічної та циліндричної. Враховуючи задані передавальні числа: $U_{\text{пл.р.}}=50$; $U_{\text{к}}=2,36$; $U_{\text{ц}}=4$.

Для перевірки відповідності електродвигуна заданим умовам експлуатації необхідно звести момент опору до вала двигуна:

$$M_{\text{с.д.}} = \frac{\sum M_{\text{СТ}}}{U_{\text{заг}} \cdot \eta_{\text{мех}}} = \frac{8116,02}{472 \cdot 0,86} = 19,99 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Порівнюючи це значення з номінальним моментом двигуна, розрахованим за формулою:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{1700}{88,96} = 19,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо коефіцієнт перевантаження:

$$\Psi = \frac{M_{\text{с.д.}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{1,999}{1,95} = 1,025.$$

Враховуючи графік теплового навантаження (рис. 2.4), при значенні $\Psi=1,025$, коефіцієнт відносної тривалості пуску дорівнює $t_{\text{ПВ}} \approx 2,8$.

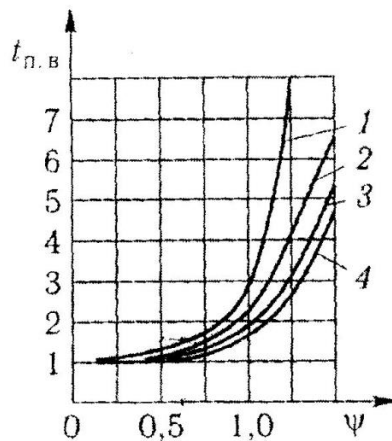


Рис 2.4 Графік для визначення відносної тривалості пуску приводів із двигунами з фазним ротором
(1- $M_{\text{мах}} = 200\%$; 2 – 250%; 3 – 275%; 4 – 300%)

Для оцінки часу пуску обчислюється зведений момент інерції всіх мас, що обертаються або на які передається обертання в період розгону механізму:

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$J_{зв} = J_M + J_B + J_C + J_K + J_{\Pi}$$

$$J_{зв} = \delta(J_p + J_{M.Г.}) + \left(m_B \cdot A^2 + m_C \frac{r^2 + rA + A^2}{3} + m_K \cdot l_1^2 + m_{\Pi} \cdot l_2^2 \right) + \frac{1}{U_{заг}^2 \cdot \eta_{мех}},$$

Підставляючи числові значення:

$$J_{зв} = 1,2(0,021 + 0,075) + \left(3000 \cdot 5,6^2 + 300 \frac{0,255^2 + 0,255 \cdot 5,6 + 5,6^2}{3} + 420 \cdot 1,96^2 + 2864 \cdot 2,352^2 \right) + \frac{1}{472^2 \cdot 0,86} = 0,714 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Тоді час пуску визначається як:

$$t_{\Pi} = t_{\Pi B} \frac{J_{зв} \cdot \omega}{M_{ном}},$$

$$t_{\Pi} = 2,8 \cdot \frac{0,714 \cdot 88,96}{19,1} = 9,3 \text{ с.}$$

Порівнюючи цей час із тривалістю повороту крана при куті 90° , тобто $1/4$ оберту:

$$t_p = \frac{60}{4 \cdot n_K} = \frac{60}{4 \cdot 1,8} = 8,3 \text{ с.}$$

Визначаємо їх співвідношення:

$$\frac{t_{\Pi}}{t_p} = \frac{9,3}{8,3} = 1,12.$$

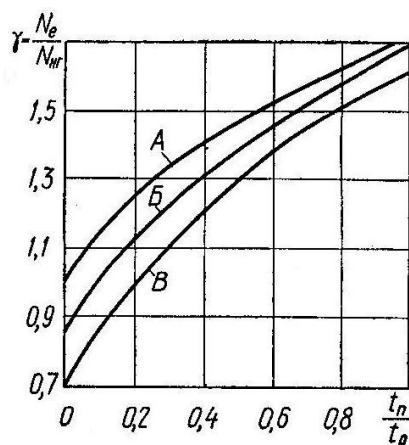


Рис. 2.5. Графік впливу пускових режимів на еквівалентну потужність:
 А – механізм пересування та повертання; Б – механізм пересування візка;
 В – механізму підйому.

					01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

З графіка (рис. 2.5) при $t_p/t_p = 1,12$ та кривій А, визначаємо коефіцієнт $\gamma=1,7$, що використовується для обчислення еквівалентної потужності:

Необхідна потужність двигуна:

$$P_{н.в.} = \frac{M_{с.д.} \cdot \omega}{102} = \frac{1,999 \cdot 88,96}{102} = 1,74 \text{ кВт.}$$

$$P_e = P_{н.в.} \cdot \gamma = 1,74 \cdot 1,7 = 2,958 \text{ кВт.}$$

Для забезпечення температурного режиму двигуна визначається його номінальна потужність при $TВ = 25\%$:

$$P_{25} = 0,75 \cdot P_e = 0,75 \cdot 2,258 = 2,2 \text{ кВт.}$$

Враховуючи отримані результати, необхідно обрати більш потужний двигун МТФ012-6 із наступними характеристиками: потужність — 2,7кВт, $n_{дв}=840\text{об/хв}$, $M_{дв.мах}=57\text{Н}\cdot\text{м}$, $J_p=0,02875\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Загальне передаточне число для нової конфігурації визначається аналогічно:

$$U_{заг} = \frac{n_{ном}}{n_k} = \frac{840}{1,8} = 466,6;$$

$$U_{заг} = U_{пл.р.} \times U_k \times U_{ц},$$

із складовими: $U_{пл.р.}=50$, $U_k=2,33$, $U_{ц}=4$.

Аналіз теплового режиму для нового двигуна дає:

$$M_{с.д.} = \frac{\sum M_{СТ}}{U_{заг} \cdot \eta_{мех}} = \frac{8116,02}{466,6 \cdot 0,86} = 20 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{2700}{87,92} = 30,7 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$\Psi = \frac{M_{с.д.}}{M_{ном}} = \frac{20}{30,7} = 0,65.$$

$$t_{п} = t_{пв} \frac{J_{зв} \cdot \omega}{M_{ном}},$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк. 40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$J_{зв} = 1,2(0,02875 + 0,075) + \left(3000 \cdot 5,6^2 + 300 \frac{0,255^2 + 0,255 \cdot 5,6 + 5,6^2}{3} + 420 \cdot 1,96^2 + 2864 \cdot 2,352^2 \right) + \frac{1}{466,6^2 \cdot 0,86} = 0,738 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$t_n = 1,55 \cdot \frac{0,738 \cdot 87,92}{30,7} = 3,28 \text{ с.}$$

$$t_p = \frac{60}{4 \cdot n_k} = \frac{60}{4 \cdot 1,8} = 8,3 \text{ с.}$$

$$\frac{t_n}{t_p} = \frac{3,28}{8,3} = 0,395.$$

$$\gamma = 1,4$$

$$P_{н.в.} = \frac{M_{сд.} \cdot \omega}{1000} = \frac{20 \cdot 87,92}{1000} = 1,7 \text{ кВт.}$$

$$P_e = P_{н.в.} \cdot \gamma = 1,7 \cdot 1,4 = 2,38 \text{ кВт.}$$

$$P_{25} = 0,75 \cdot P_e = 0,75 \cdot 2,38 = 1,8 \text{ кВт.}$$

Потужність обраного двигуна (2,7 кВт) з достатнім запасом відповідає вимогам до нагріву та динамічних навантажень при повороті крана.

Для остаточної перевірки виконання умов запуску розраховується пусковий момент:

$$M_n = M_{с.д.} + M_d$$

$$M_n = 19,6 + 19,78 = 39,38 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\Psi = \frac{M_n}{M_{ном}} \leq [\Psi],$$

$$\Psi = \frac{39,38}{30,7} = 1,28;$$

$$[\Psi] = \frac{M_{п \max} + M_{ном}}{2 \cdot M_{ном}} = \frac{57 + 30,7}{2 \cdot 30,7} = 1,43;$$

1,28 < 1,43 → умова дотримується.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Кінематичний аналіз механізму повороту та обґрунтування вибору типу редуктора

Після проведення комплексу розрахункових операцій, що передбачають визначення потужності приводу, уточнення значення повного передаточного числа, оцінки загального коефіцієнта корисної дії, а також підбору конкретної моделі електродвигуна та перевірки його на відповідність умовам нагріву й механічного перевантаження, переходять до наступного етапу — здійснення кінематичного розрахунку поворотного механізму. Основна мета цього етапу полягає у визначенні робочих характеристик обертальних елементів, включно з потужністю, кутовою швидкістю обертання та величиною обертового моменту, які виникають на вхідному та вихідному валах передачі. Це дозволяє не лише коректно оцінити навантаження на кожен ланку приводу, а й встановити відповідність між енергетичними параметрами електроприводу та механічними характеристиками виконавчих органів.

У межах цього розрахункового підрозділу аналізуються умови, за яких функціонує поворотний вузол крана, особливо враховуючи змінність навантаження в умовах старту, гальмування та усталеного обертання. Визначення крутного моменту на валу з урахуванням розподілу навантаження та обертових мас дає змогу встановити точні значення реакцій, що виникають у передачах, та забезпечити їхній правильний добір. Крім того, це дозволяє уникнути перевантажень у найбільш навантажених ланках кінематичного ланцюга.

На підставі отриманих даних розраховується крутний момент, який передається через вали, починаючи з електродвигуна і закінчуючи вихідною ланкою механізму, яка безпосередньо приводить у рух поворотну платформу. Розрахунок базується на відомих значеннях потужності двигуна, частоти обертання, а також враховує всі коефіцієнти перетворення енергії в системі.

$$P_I = P_{дв.н} = 2,7 \text{ кВт};$$

$$\omega_I = \omega_{дв.н} = 87,92 \text{ с}^{-1};$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$P_{II} = P_I \cdot \eta_{\text{муф.}} = 2,7 \cdot 0,985 = 2,66 \text{ кВт};$$

$$w_{II} = w_I = 87,92 \text{ с}^{-1};$$

$$P_{III} = P_{\text{двI}} \cdot \eta_{\text{муф.}} = 2,7 \cdot 0,985 = 2,66 \text{ кВт};$$

$$w_{III} = w_I = 87,92 \text{ с}^{-1};$$

$$P_{IV} = P_I \cdot \eta_{\text{муф.}} \cdot \eta_{\text{ред.пл.}} = 2,7 \cdot 0,985 \cdot 0,95 = 2,53 \text{ кВт};$$

$$w_{IV} = \frac{w_I}{u_{\text{ред.пл.}}} = \frac{87,92}{50} = 1,8 \text{ с}^{-1};$$

$$P_V = P_I \cdot \eta_{\text{муф.}} \cdot \eta_{\text{ред.пл.}} \cdot \eta_{\text{кон}} = 2,7 \cdot 0,985 \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 2,4 \text{ кВт};$$

$$w_V = \frac{w_I}{u_{\text{ред.пл.}} \cdot u_{\text{кон}}} = \frac{87,92}{50 \cdot 2,33} = 0,76 \text{ с}^{-1};$$

$$P_{VI} = P_I \cdot \eta_{\text{муф.}} \cdot \eta_{\text{ред.пл.}} \cdot \eta_{\text{кон}} \cdot \eta_{\text{цпл}} = 2,7 \cdot 0,985 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,97 = 2,33 \text{ кВт};$$

$$w_{VI} = \frac{w_I}{u_{\text{ред.пл.}} \cdot u_{\text{кон}} \cdot u_{\text{цпл}}} = \frac{87,92}{50 \cdot 2,33 \cdot 4} = 0,19 \text{ с}^{-1}.$$

$$T_I = 10^3 \left(\frac{P_I}{w_I} \right) = 10^3 \left(\frac{2,7}{87,92} \right) = 30,7 \text{ Нм};$$

$$T_{II} = 10^3 \left(\frac{P_{II}}{w_{II}} \right) = 10^3 \left(\frac{2,66}{87,92} \right) = 30,25 \text{ Нм};$$

$$T_{III} = 10^3 \left(\frac{P_{III}}{w_{III}} \right) = 10^3 \left(\frac{2,66}{87,92} \right) = 30,25 \text{ Нм};$$

$$T_{IV} = 10^3 \left(\frac{P_{IV}}{w_{IV}} \right) = 10^3 \left(\frac{2,53}{1,8} \right) = 1405,6 \text{ Нм};$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$T_V = 10^3 \left(\frac{P_V}{w_V} \right) = 10^3 \left(\frac{2,4}{0,76} \right) = 3157,9 \text{ Нм};$$

$$T_{VI} = 10^3 \left(\frac{P_{VI}}{w_{VI}} \right) = 10^3 \left(\frac{2,33}{0,19} \right) = 12263 \text{ Нм}.$$

У результаті уточнення передаточного відношення, що становить приблизно 50, було прийнято рішення про доцільність використання двоступінчастого планетарного редуктора типу ЗП - 25М. Цей редуктор, що показаний на рисунку 2.6, оптимально відповідає технічним вимогам щодо передавальної здатності та геометричних габаритів, а також забезпечує необхідний момент на виході при відносно компактній масо-габаритній характеристиці. Модель ЗП-25М характеризується номінальним крутним моментом T_2 , що дорівнює $95 \text{ Н} \cdot \text{м}$, а передаточне число U знаходиться в межах 50 одиниць, що ідеально узгоджується з вимогами до поворотного вузла крана.

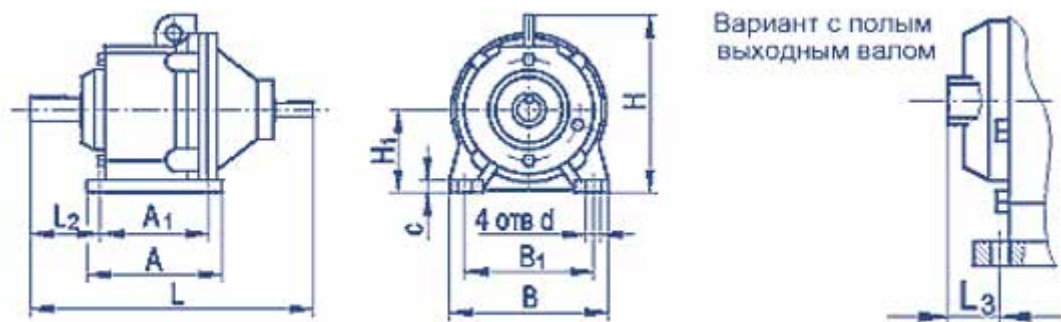


Рис. 2.6 Загальний вигляд планетарного редуктора

Цей тип редуктора забезпечує високу стабільність роботи при змінних режимах навантаження, стійкий до граничних динамічних впливів, що можуть виникати при раптовій зміні напрямку обертання або під час гальмування. Його конструктивна компоновка дозволяє інтегрувати вузол без суттєвих змін у габаритах приводу та з урахуванням існуючих отворів для кріплення.

Розрахунок параметрів гальмівного механізму та обґрунтування вибору моделі гальма

У процесі визначення оптимальної конструкції гальмівної системи для поворотного механізму баштового крана, першочергово необхідно встановити

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

базові кінематичні умови його гальмування. Враховуючи динаміку роботи поворотного вузла, доцільно прийняти орієнтовну тривалість процесу зупинки стріли t_r , яка в даному випадку становить 5 секунд. За цих умов обчислюємо кутове уповільнення обертання стріли, що виражається як:

$$E_r = \frac{\omega_k}{t_r} = \frac{0,188}{5} = 0,038 \text{ с}^{-1}.$$

Беручи до уваги довжину вильоту стріли $A = 5,6\text{м}$, розраховуємо величину лінійного уповільнення на її кінці, яка визначається добутком кутового уповільнення на довжину важеля:

$$a = E_r \cdot A,$$

$$a = 0,038 \cdot 5,6 = 0,2 \text{ м/с}^2.$$

Це значення характеризує гальмівний вплив у проекції на зовнішню точку конструкції.

Далі виконуємо обчислення повного гальмівного моменту, який має бути створений на валу електродвигуна, для забезпечення зупинки поворотного механізму.

$$M_r = M_{в.г.} + M_{\beta.г.} + M_{д.г.} + M_r',$$

Загальний момент M_r включає в себе декілька складових: $M_{в.г.}$ та $M_{\beta.г.}$ (сумарний момент від зовнішніх навантажень вітрового тиску та дії сили, викликані відхиленням колони від вертикального положення); $M_{д.г.}$ (механічна складова, пов'язана з гальмуванням маси приводу); M_r' (переданий момент тертя від опорно-поворотного вузла).

Конкретні значення для кожної з перелічених складових: $M_{в.г.} = 583,07 \text{ кг}\cdot\text{м}$ (момент, зумовлений тиском вітру на конструкцію та вантаж); $M_{\beta.г.} = 203 \text{ кг}\cdot\text{м}$ (момент, викликаний відхиленням осі колони).

Загальна величина зводиться через передаточне число механізму повороту $u_3 = 466,6$ і механічний ККД $\eta_{\text{мех}} = 0,86$:

$$M_{в.г.} + M_{\beta.г.} = \frac{M_{в.г.} + M_{\beta.г.}}{u_3 \cdot \eta_{\text{мех}}}$$

$$M_{в.г.} + M_{\beta.г.} = \frac{583,07 + 203}{466,6 \cdot 0,86} = 1,959 \text{ кг} \cdot \text{м} = 19,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Момент інерційного гальмування, який виникає внаслідок уповільнення рухомих мас механізму, розраховується за формулою:

$$M_{д.г.} = \frac{I_{зв} \cdot \omega}{t_r} = \frac{0,738 \cdot 87,92}{5} = 12,977 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Додаткова складова гальмівного моменту зумовлена тертям у сфері підшипників поворотного вузла:

$$M'_T = M_T \cdot \frac{1}{u_s \cdot \eta_{мех}} = 250,5 \cdot \frac{1}{466,6 \cdot 0,86} = 0,63 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Після підсумовування всіх компонентів отримаємо загальну необхідну величину гальмівного моменту:

$$M_T = 19,2 + 12,977 + 0,63 = 32,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для реалізації гальмування з відповідним запасом безпеки та можливістю регулювання моменту було обрано колодковий гальмівний механізм змінного струму типу ТКТ-200/100, який розрахований на створення гальмівного моменту до 40Н·м. Це дозволяє не лише покрити обчислену потребу, а й забезпечити стабільність гальмування при можливих варіаціях зовнішніх умов або частковому зношенні фрикційних елементів.

Після повного завершення фази уповільнення, яке здійснюється за допомогою електродвигуна, активується гальмо, що забезпечує утримання поворотного механізму в зупиненому стані.

У процесі **проектування відкритої циліндричної прямозубої передачі** здійснюється ряд розрахункових процедур, які спрямовані на забезпечення її надійності, довговічності та відповідності умовам експлуатації. Для виконання всіх необхідних розрахунків спочатку задаються вихідні параметри, зокрема: потужність $P_v=2,4\text{кВт}$, яка передається ведучим валом (тобто валом шестерні), кутова швидкість обертання цього вала $w_v=0,76\text{рад/сек}$, задане передаточне число $u=4$, а також момент сили $T_v=3157,9\text{Нм}$, що виникає на валу ведучого елемента.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Як орієнтовний строк експлуатації редукторної передачі приймається нормативна тривалість служби, яка відповідає технічним вимогам до обладнання даного класу.

$$t = 40000 \text{ год.}$$

Матеріал для виготовлення ведучого колеса, тобто шестерні, приймається сталь Ст45 зі здійсненням нормалізаційної термічної обробки, що забезпечує показник твердості по Брінеллю у межах від 167 до 217 НВ. В якості матеріалу зубчастого колеса, що буде веденим, доцільно обрати сталь Ст35Л, яка також підлягає нормалізації з отриманням твердості близько 143НВ.

Для подальших розрахунків слід визначити кількість циклів зміни напруження у контакті зубів за весь час служби передачі. Кількість повних циклів навантаження розраховується на основі кутових швидкостей обертання відповідних валів (позначених ω_1 та ω_2 для шестерні й колеса відповідно), а також загальної тривалості експлуатації у годинах. У випадку, коли в зачепленні одночасно бере участь лише одна пара зубців, коефіцієнти a_1 і a_2 приймаються рівними одиниці.

$$N_{\Sigma 1} = 572,4 \cdot \omega_1 \cdot t \cdot a_1 = 572,4 \cdot 0,76 \cdot 40000 \cdot 1 = 17400960;$$

$$N_{\Sigma 2} = 572,4 \cdot \omega_2 \cdot t \cdot a_1 = 572,4 \cdot 0,19 \cdot 40000 \cdot 1 = 4350240.$$

Важливим етапом є встановлення величин коефіцієнтів довговічності матеріалів елементів зубчастої пари.

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{\Sigma}}},$$

Для цього використовується базове число циклів навантаження, що приймається за стандартне для випробувань на втомну міцність.

$$N_{FO} = 4 \cdot 10^6$$

$$K_{FL1} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{\Sigma 1}}} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{17400960}} = 0,783 < 1;$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{FL2} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{\Sigma 2}}} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{4350240}} = 0,986 < 1.$$

Далі визначаються границі витривалості на згин зубів шестерні та колеса у вигляді допустимих напружень, що відповідають базовому рівню циклів.

$$\sigma_{FO1} = 1,8 \cdot HB = 1,8 \cdot 200 = 360 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{FO2} = 1,8 \cdot HB = 1,8 \cdot 143 = 257,4 \text{ МПа}.$$

Зазначені величини розраховуються окремо для кожного елемента та коригуються на реальне еквівалентне число змін навантаження відповідно до прийнятих формул.

$$\sigma_{F\Sigma 1} = 1,8 \cdot K_{FL1} \cdot \sigma_{FO1} = 1,8 \cdot 1 \cdot 360 = 648 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{F\Sigma 2} = 1,8 \cdot K_{FL2} \cdot \sigma_{FO2} = 1,8 \cdot 1 \cdot 257,4 = 463,32 \text{ МПа}.$$

З метою підвищення надійності передачі, у розрахунках приймається коефіцієнт запасу міцності, що залежить від типу навантаження.

$$S_{F1} = 1,8 ; \quad S_{F2} = 2,3.$$

$$\sigma_{FP1} = \frac{\sigma_{F\Sigma 1}}{S_{F1}} = \frac{648}{1,8} = 360 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{FP2} = \frac{\sigma_{F\Sigma 2}}{S_{F2}} = \frac{463,32}{2,3} = 201,4 \text{ МПа}.$$

Для реверсивного режиму роботи, характерного для кранового обладнання, допустимі напруження знижуються на 25%, оскільки враховується зміна напрямку дії сил у циклічному режимі.

$$\sigma_{FP1} = 360 \cdot 0,75 = 270 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{FP2} = 201,4 \cdot 0,75 = 151,05 \text{ МПа}.$$

Далі виконується вибір передаточного співвідношення між кількістю зубів шестерні та колеса.

$$Z_1 = 18; \quad Z_2 = Z_1 \cdot u = 18 \cdot 4 = 72.$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Після цього проводиться розрахунок коефіцієнтів форми зубів, що дозволяє отримати співвідношення міцності зубців обох елементів передачі на вигин.

$$Y_{F1} = 4,18 \qquad Y_{F2} = 3,61$$

для шестерні $\frac{\sigma_{FP1}}{Y_{F1}} = \frac{360}{4,18} = 86;$

для колеса $\frac{\sigma_{FP2}}{Y_{F2}} = \frac{151,05}{3,61} = 42.$

Для визначення модуля зачеплення використовують співвідношення:

$$m_t = 12,6 \cdot \sqrt[3]{Y_F \cdot \frac{T_1 \cdot \gamma}{\psi_{Bd} \cdot Z_1^2 \cdot \sigma_{FP}} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV}}$$

Воно базується на допустимому навантаженні та геометричних характеристиках зубців. При цьому враховуються: коефіцієнт довжини зуба, коефіцієнт зносу (приймається для 10% допустимого зношування), коефіцієнт нерівномірності навантаження по довжині зачеплення, а також динамічне навантаження, що виникає внаслідок вібрацій та ударів під час експлуатації.

$$m_t = 12,6 \cdot \sqrt[3]{3,61 \cdot \frac{3157,9 \cdot 1,25}{0,9 \cdot 18^2 \cdot 151,05} \cdot 1,25 \cdot 1,4} = 10,4 \text{ мм.}$$

Після розрахунку модуля зубчастого зачеплення приймається його округлене значення із стандартного ряду:

$$m_t = 10 \text{ мм.}$$

На основі цього значення визначаються діаметри ділільних кіл шестерні та колеса, що є базовими для побудови креслень та конструювання передачі.

$$d_1 = Z_1 \cdot m_t = 18 \cdot 10 = 180 \text{ мм};$$

$$d_2 = Z_2 \cdot m_t = 72 \cdot 10 = 720 \text{ мм.}$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Важливим етапом також є визначення ширини зубчастого вінця обох елементів: для шестерні та для зубчастого колеса.

$$b_2 = \psi_{Bd} \cdot d_1 = 0,9 \cdot 180 = 162 \text{ мм};$$

$$b_1 = b_2 + (3 \dots 5) = 162 + 3 = 165 \text{ мм}.$$

Ці розміри мають суттєвий вплив на здатність передачі витримувати навантаження на згин.

$$\sigma_F = Y_F \frac{F_{t1} \cdot \gamma}{b \cdot m_t} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV} \leq \sigma_{FP};$$

Далі виконується перевірка зубців передачі на міцність за напруженнями вигину. Для цього визначається окружна сила, що передається в зачепленні, виходячи з моменту сили та діаметра ділильного кола.

$$F_{t1} = \frac{2T}{d_1} 10^3 = \frac{2 \cdot 3157,9}{180} \cdot 10^3 = 35088 \text{ Н}.$$

Потім розраховується напруження згину та порівнюється з допустимим значенням, щоб впевнитися у працездатності та безпечності конструкції.

$$\sigma_F = 3,61 \frac{3157,9 \cdot 1,25}{162 \cdot 10} \cdot 1,25 \cdot 1,4 = 15,4 \leq \sigma_{FP2} = 151,05 \text{ МПа}.$$

На завершальному етапі оцінюється, чи не перевищує розраховане робоче напруження допустимий рівень для обраних матеріалів, умов роботи та режиму експлуатації. У випадку позитивного результату можна вважати, що розрахована передача відповідає вимогам технічної міцності та забезпечить довготривалу безаварійну експлуатацію в умовах динамічного навантаження, характерного для обладнання машинобудівного або будівельного призначення.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

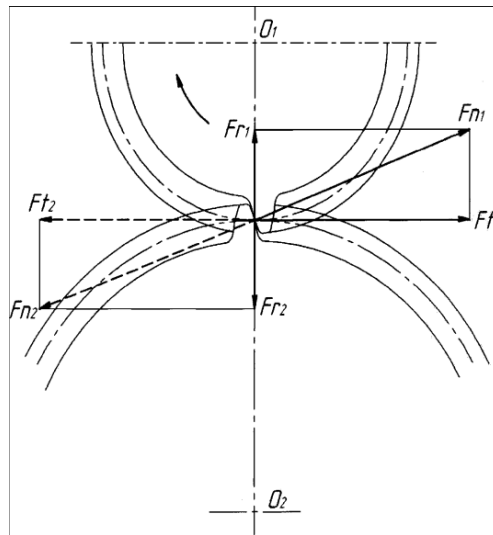


Рис. 2.7 Сили, що діють у циліндричній відкритій передачі

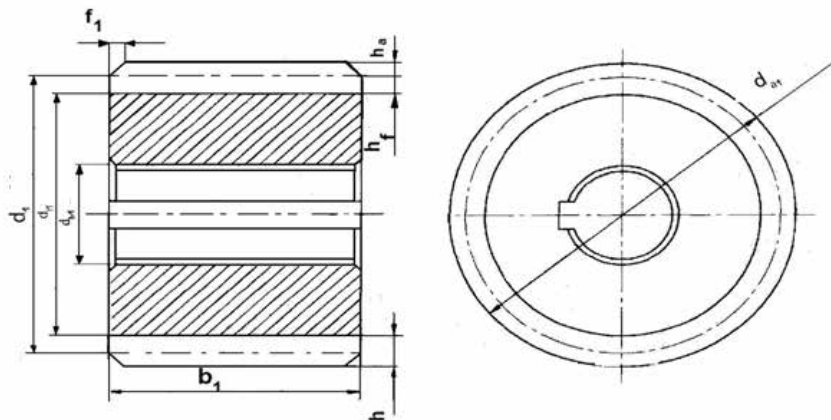


Рис. 2.8 Ескіз шестерні прямозубої

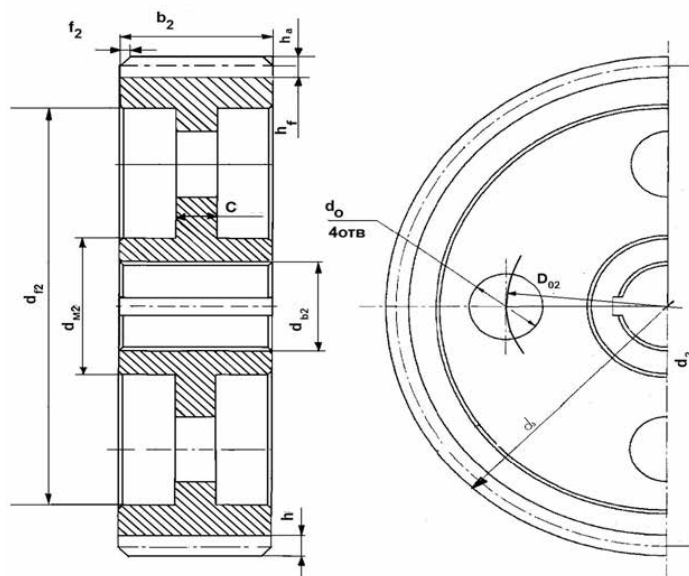


Рис. 2.9 Ескіз прямозубого колеса

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Розділ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

Законодавче та нормативно-технічне забезпечення охорони праці

Одним із ключових напрямів забезпечення безпечної експлуатації стрілових баштових кранів є суворе дотримання нормативно-законодавчих положень, що регламентують охорону праці на виробництві. У зв'язку з високим рівнем небезпеки, притаманним вантажопідіймальній техніці, законодавча база вимагає системного підходу до проектування, монтажу, технічного обслуговування та експлуатації таких механізмів, із постійним контролем їх технічного стану та кваліфікації персоналу.

Законодавчі акти, що є базовими для регламентації охорони праці, охоплюють, як загальні принципи організації безпечної праці, так і специфічні технічні норми щодо експлуатації підйомно-транспортного обладнання. Основоположним документом, що має юридичну силу в національному масштабі, виступає Закон України "Про охорону праці". Він встановлює обов'язки роботодавця щодо створення безпечних умов праці, відповідальність за порушення вимог техніки безпеки, а також права працівників у сфері охорони праці. Цей документ слугує фундаментом для подальшого розвитку технічних регламентів і методичних настанов, які безпосередньо застосовуються на виробництві при експлуатації стрілових кранів.

До спеціалізованих нормативно-правових актів належать правила, інструкції та стандарти, розроблені відповідно до специфіки роботи з вантажопідіймальними машинами. Зокрема, значну роль відіграють нормативні акти, такі як НПАОП (Нормативно-правові акти з охорони праці),

					01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 027 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Галайда А.О.			ОХОРОНА ПРАЦІ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					52	84
Реценз.								
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.						НУБіП України		

які містять вимоги до конструктивних характеристик обладнання, порядку проведення технічного огляду, допуску до експлуатації та умов роботи на об'єктах підвищеної небезпеки. Для стрілових баштових кранів передбачені окремі розділи, що визначають вимоги до механізмів повороту, обмежувачів навантаження, стійкості конструкції та динамічної надійності під час обертання.

Особливе значення в системі технічного регулювання має впровадження стандартів, гармонізованих із міжнародними вимогами. Серед них ключовими є ДСТУ — національні стандарти України, а також стандарти ISO, які використовуються для уніфікації процедур оцінки відповідності, технічної діагностики та безпечного обслуговування механізмів. ДСТУ EN ISO 12100, що стосується принципів машинобудівного проектування з урахуванням безпеки, слугує орієнтиром для розробників стрілових кранів у частині зменшення техногенних ризиків і передбачає заходи з уникнення аварій при проектуванні обертових елементів.

Ще однією важливою ланкою у структурі забезпечення охорони праці є галузеві регламенти, які деталізують загальні вимоги з урахуванням специфіки роботи в певних умовах: у будівництві, суднобудуванні, енергетиці чи на промислових підприємствах. Галузеві стандарти, зокрема, визначають гранично допустимі навантаження на поворотні вузли, вимоги до точності керування рухомими частинами, критерії допустимого зносу та допустимих коливань при виконанні вантажопідіймальних операцій. У практиці функціонування стрілових баштових кранів це безпосередньо впливає на розроблення технічних регламентів проведення діагностики та регламентного обслуговування, зокрема механізму повороту.

Окрім загальних технічних вимог, діючі нормативні документи акцентують увагу на обов'язковому проведенні навчання та атестації персоналу, допущеного до обслуговування та керування стріловими кранами. НПАОП передбачає вимогу щодо проходження працівниками попереднього та періодичного медичного огляду, а також первинного, повторного та

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

позапланового інструктажу з техніки безпеки. Оператори кранів, відповідальні за виконання обертальних операцій, мають володіти знаннями про граничні технічні параметри поворотного механізму, порядок дій у разі аварійної ситуації та правила використання засобів індивідуального захисту.

Серед технічних засобів, що регламентуються нормативною базою, варто виділити такі елементи, як обмежувачі повороту, механічні стопори, сигнальні пристрої та аварійні вимикачі. Встановлення таких елементів є обов'язковим для зменшення ймовірності виникнення позаштатних ситуацій, пов'язаних із перевищенням допустимого кута повороту або навантаження на стрілу. Регламентується також порядок проведення перевірки функціонування цих елементів із фіксованою періодичністю.

Важливе місце займає й нормативно-технічне забезпечення у сфері електробезпеки при експлуатації приводів поворотного механізму. Законодавство вимагає відповідності електрообладнання встановленим класам захисту, наявності заземлення, перевірки опору ізоляції, а також дотримання правил при роботі в умовах підвищеної вологості чи температури. Для кранів, що працюють у потенційно вибухонебезпечних зонах, додатково передбачаються вимоги до вибухозахищеного виконання електроприводів, що також закріплено в стандартах ISO та ДСТУ.

Не менш значущим компонентом нормативної структури є технічні умови щодо розміщення кранів на будівельному або виробничому майданчику. Документи передбачають розрахунок мінімальних безпечних відстаней до об'єктів інфраструктури, зон обертання стріли, меж вантажопідіймального майданчика, а також до ліній електропередачі. Визначення цих відстаней здійснюється відповідно до вимог ДБН та чинних будівельних стандартів, що взаємодіють із нормами охорони праці в частині безпеки території проведення вантажних робіт.

Ідентифікація небезпечних факторів і оцінка ризиків

У процесі експлуатації стрілових баштових кранів важливе місце займає системна ідентифікація потенційно небезпечних і шкідливих чинників,

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

особливо під час функціонування поворотного механізму. Такий підхід дає змогу мінімізувати ризики травмування персоналу, виходу з ладу елементів обладнання та зниження загальної надійності технологічного процесу переміщення вантажів. У цьому контексті, на першому етапі слід виявити усі джерела потенційної небезпеки, які можуть виникати під час обертання стріли та взаємодії поворотного вузла з іншими функціональними системами крана.

До основних небезпечних факторів, що характерні для поворотного механізму, відносять: механічні ураження внаслідок обертання платформи, можливість заклинювання рухомих елементів при перевищенні допустимих навантажень, надмірні вібраційні впливи, які передаються на несучі конструкції, а також перевантаження на редуктори й підшипникові вузли внаслідок нерівномірного навантаження. Особливу увагу необхідно звертати на наявність незбалансованого моменту сили при зупинці або старті повороту, що може призвести до перекидання кранової установки в умовах нерівного ґрунту або високої парусності стріли.

Шкідливі фактори також включають в себе підвищений рівень шуму від роботи механічних передач, нагрів елементів редуктора внаслідок тривалого навантаження, що створює несприятливі умови для обслуговуючого персоналу, а також вплив електромагнітних полів у зоні дії електроприводів. На стадії ідентифікації ризиків обов'язковим є врахування сукупного впливу зовнішніх умов експлуатації, таких як вітрове навантаження, температурні перепади, пилове середовище та висока вологість, які можуть істотно впливати на ефективність і безпечність поворотного механізму.

Оцінка рівня ризику кожного фактору здійснюється з урахуванням імовірності його виникнення та ступеня впливу на персонал або обладнання. Використовується методика матричного аналізу ризиків, яка дозволяє ранжувати небезпеки та формувати пріоритетні напрямки заходів для їх усунення. Наприклад, високий ризик виходу з ладу зубчастої передачі при тривалому перевантаженні вимагає підвищеної уваги до режимів роботи

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

приводу, регулярного контролю рівня змащення та температури корпусу редуктора.

Типовими аварійними ситуаціями, що виникають при порушеннях у функціонуванні поворотного механізму, є: раптове зупинення стріли через заїдання зубчастого зачеплення, пробуксовування приводу при недостатній фіксації або зносі шліцьового з'єднання, порушення герметичності підшипникового вузла з втратою мастильного матеріалу, відрив елементів кріплення при динамічних перевантаженнях. Усі ці випадки супроводжуються ризиком неконтрольованого переміщення вантажу, травмуванням робітників, пошкодженням вантажу або зруйнуванням частин конструкції крана.

Для запобігання нещасним випадкам, пов'язаним із зазначеними ситуаціями, доцільно впроваджувати низку організаційних і технічних заходів. У сфері організаційної безпеки важливе місце займає систематичне проведення інструктажів, перевірок знань правил техніки безпеки, а також допуск до роботи виключно сертифікованих фахівців з відповідною кваліфікацією. Крім того, доцільно впроваджувати контрольні листи перевірки технічного стану механізмів перед початком зміни, що дає змогу своєчасно виявляти ознаки зносу або відхилення від нормальної роботи.

У частині технічних заходів особливу увагу слід приділити впровадженню сучасних систем моніторингу параметрів роботи поворотного механізму, які забезпечують оперативне виявлення перевантаження, перегріву або вібраційних аномалій. Використання датчиків моменту, систем візуалізації стану вузлів, обмежувачів кута повороту та граничного моменту суттєво знижує імовірність аварійних ситуацій. Технічне обслуговування повинно включати регулярну перевірку ступеня зносу шестерень, опорних підшипників, ступеня люфту в з'єднаннях, стану електроприводів і якість змащування.

Додатково рекомендовано використовувати вібродіагностику та тепловізійний контроль для попереднього виявлення несправностей, які не виявляються візуально. Також важливо впроваджувати системи сигналізації,

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

які попереджають оператора про наближення до граничного положення поворотної платформи або перевищення дозволеної швидкості обертання.

Під час експлуатації в реальних умовах, коли стріловий кран функціонує в обмеженому просторі або поблизу будівель, ідентифікація зон підвищеної небезпеки набуває критичного значення. Необхідно мати чітко визначені межі допустимого обертання стріли, які повинні бути візуально позначені на місцевості. Наявність осіб у зоні дії поворотної платформи має бути виключена шляхом організаційних обмежень та відповідного маркування території.

Загалом, комплексна оцінка ризиків і формування системи протиаварійного захисту для поворотного механізму стрілового крана базується на принципах системного підходу, інтеграції нормативних вимог, реального аналізу експлуатаційних навантажень та можливостей конструкції. Забезпечення дотримання вимог охорони праці в цій частині істотно впливає не лише на безпечність персоналу, а й на тривалість безаварійної експлуатації кранового обладнання.

Пожежна безпека при експлуатації стрілового баштового крана

Застосування стрілових баштових кранів у різних галузях промисловості супроводжується ризиками виникнення пожеж через наявність джерел запалювання, зосереджених у компонентах електрообладнання, гідравлічної системи та під час технічного обслуговування. Забезпечення належного рівня пожежної безпеки при експлуатації крана передбачає чітке дотримання нормативів, періодичний технічний контроль, а також використання сертифікованих засобів пожежогасіння, що відповідають специфіці технічного обладнання.

Електропривод стрілового баштового крана, зокрема механізм повороту, є одним із основних джерел потенційної пожежонебезпеки. Його робота супроводжується утворенням теплового навантаження в елементах живлення, що при несправності ізоляції, короткому замиканні чи перегріванні обмоток може стати ініціатором займання. Високий струм, характерний для моментів

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

пуску двигуна, додатково збільшує ймовірність порушення термічного балансу в електросистемі. Тому стан електрокабельних трас, справність контакторів, пускачів, а також герметичність шаф керування повинні постійно контролюватися.

Гідравлічні вузли, у разі наявності, наприклад, у механізмах зміни вильоту стріли або гальмуванні, також виступають потенційним джерелом загоряння, особливо при витіканні робочої рідини. Масла, які використовуються у гідросистемах, при контакті з розігрітими поверхнями або відкритими електроконтактами здатні займатися навіть без відкритого полум'я. Через це вузли гідроприводів мають бути захищені від перегріву, а з'єднання — ущільнені для недопущення протікань.

Комплексне забезпечення пожежної безпеки передбачає наявність на крановій установці сертифікованих засобів пожежогасіння. Мінімальним стандартом є встановлення порошкових або вуглекислотних вогнегасників, здатних оперативно ліквідувати загоряння в електрообладнанні без ризику пошкодження ізоляції. Вони мають бути розташовані у доступних місцях — поблизу шаф керування, на майданчику оператора, а також поблизу зони розміщення джерел живлення. Заборонено використовувати водяні засоби гасіння в зонах, де присутні відкриті електропристрої. Відповідно до норм, кількість вогнегасників визначається з урахуванням площі робочої зони та категорії пожежонебезпеки обладнання.

Крім індивідуальних вогнегасників, у виробничих умовах доцільним є оснащення об'єктів, де працюють крани, системами колективного пожежогасіння. Це можуть бути модулі автоматичного пожежного реагування, які спрацьовують при підвищенні температури або виявленні диму. У разі виявлення пожежі повинна бути чітко відпрацьована інструкція дій кранівника та обслуговуючого персоналу. Вона включає послідовність відключення живлення, евакуацію, інформування відповідальних осіб, активацію систем пожежогасіння та, за потреби, ліквідацію осередку займання.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Одним з ключових заходів профілактики є проведення регулярних інструктажів персоналу, а також навчань із практичного використання засобів пожежогасіння. Згідно з вимогами чинного законодавства, кожен працівник, допущений до роботи з баштовим краном, повинен пройти первинний, повторний та позаплановий інструктаж із питань пожежної безпеки. Особи, відповідальні за технічний стан обладнання, мають періодично перевіряти терміни придатності вогнегасників та комплектність пожежних постів.

Експлуатація стрілового баштового крана супроводжується ризиками не лише загоряння окремих вузлів, а й розповсюдження вогню на конструктивні елементи будівель, особливо в умовах закритих виробничих приміщень або при наявності легкозаймистих матеріалів поблизу зони роботи. З цієї причини зона дії крана має бути очищеною від горючих матеріалів, а при неможливості — ізольованою вогнезахисними екранами. Встановлення тимчасових бар'єрів з негорючих матеріалів особливо актуальне при виконанні монтажних чи ремонтних робіт із використанням пальників або зварювального обладнання.

Контроль за пожежною безпекою при експлуатації стрілових кранів також включає періодичний технічний огляд усіх елементів, що можуть слугувати джерелом займання. До таких належать: електропроводка, мотор-редуктори, кабельні муфти, гідравлічні насоси та клапани, сигнальні пристрої. У процесі технічного обслуговування перевіряється температура нагріву корпусів електродвигунів, відсутність слідів нагару, задимлення або оплавлення ізоляційних елементів. Будь-які виявлені ознаки перегріву або корозії контактів вимагають негайного усунення шляхом заміни дефектного обладнання.

Особливої уваги потребують з'єднання силових кіл, оскільки ослаблені контакти можуть призвести до підвищеного переходного опору та, відповідно, локального перегріву. При тривалій роботі крана за умов високих навантажень ці ділянки здатні до самозаймання. Тому всі електромонтажні з'єднання повинні бути періодично перевірені спеціалізованими засобами діагностики (термозйомка, мультиметрія, випробування на пробій ізоляції).

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Ще одним аспектом пожежної безпеки є дотримання технології проведення технічного обслуговування. Зокрема, при змащенні рухомих елементів або заміні робочих рідин, залишки мастильних матеріалів, що потрапили на гарячі частини механізмів, повинні бути ретельно усунені. Заборонено зберігати легкозаймисті речовини у безпосередній близькості до трансформаторів, пускових панелей або гальмівних резисторів.

Крім того, при встановленні та демонтажі стрілових баштових кранів, особливо за допомогою допоміжних підйомних пристроїв, необхідно враховувати не лише технічну, а й пожежну безпеку. У разі порушення вимог до обґрунтованої організації монтажного майданчика, може виникнути контакт крана з лініями електропередач, що створює реальну загрозу займання.

Сучасна нормативна база в Україні містить чіткі вимоги щодо пожежної безпеки вантажопідіймальних кранів. Основними документами, які регламентують ці питання, є: Правила пожежної безпеки в Україні (наказ МВС №1417), НПАОП 0.00-1.28-10, а також галузеві стандарти та ДСТУ з пожежної безпеки виробничого обладнання. Вимоги цих документів мають бути втілені не лише у проектній документації, а й у щоденній практиці експлуатації крана.

Окремо варто відзначити питання пожежної безпеки при роботі крана в нічний час або в умовах обмеженої видимості. Відсутність належного освітлення, неконтрольоване нагромадження пального сміття та слабка візуальна індикація небезпечних зон можуть істотно підвищити ризик виникнення пожежі. В таких умовах особливо важливо дотримуватись протипожежного режиму, включаючи перевірку готовності вогнегасників, цілісність вогнезахисних накладок і працездатність сигнальних ламп.

Сигнальні засоби та регламентовані процедури взаємодії персоналу при керуванні баштовим краном

Організація безпечного та ефективного виконання вантажопідіймальних операцій за допомогою баштових кранів неможлива без чітко налагодженої комунікаційної системи між оператором крана та іншими працівниками, які

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

беруть участь у технологічному процесі. Через особливості конструкції та масштабність дії баштового крана, оператор у багатьох випадках не має прямої візуальної видимості робочої зони, що зумовлює необхідність використання стандартних сигналів, як візуальних, так і звукових. Система сигналізації виступає критично важливою складовою організаційно-технічного забезпечення охорони праці на майданчику, де використовується стріловий кран баштового типу.

З метою уніфікації процесу подачі команд та забезпечення однозначного сприйняття керівних вказівок між кранівником та сигнальником (або іншими учасниками процесу) впроваджено нормативно регламентований перелік сигналів. Їх використання дозволяє мінімізувати ймовірність помилкового трактування вказівок та уникнути потенційно небезпечних ситуацій, пов'язаних із неправильним переміщенням вантажів або неконтрольованими переміщеннями елементів стріли.

Відповідно до чинних норм охорони праці, кожне підприємство, яке експлуатує вантажопідіймальні крани, зобов'язане впровадити систему сигналів згідно з вимогами ДСТУ або галузевих стандартів. Вона охоплює ручну (жестову), світлову, звукову та радіозв'язкову сигналізацію. Усі учасники кранівного процесу мають бути навчено і атестовано на знання стандартів подачі сигналів і дотримання послідовності дій у штатних та аварійних режимах.

Однією з найбільш розповсюджених форм є ручна сигналізація. Вона реалізується за допомогою стандартних жестів, виконуваних сигнальником або уповноваженим працівником, зазвичай з використанням прапорців або одягу контрастного кольору. Жести мають бути чіткими, виразними та виконуватись у визначеному полі зору машиніста крана. Особливо важливо дотримуватись цього правила у ситуаціях, коли крановий оператор не має можливості вести прямий візуальний контроль за вантажем або зоною його розміщення.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Звукова сигналізація реалізується через клаксон, дзвінок або інші пристрої, що передають короткі сигнали визначеної кількості або тривалості. Як правило, один короткий сигнал означає “підняти вантаж”, два короткі — “опустити вантаж”, тривалий — “стоп”. Усі звукові сигнали повинні мати уніфіковане трактування та виключати варіативність інтерпретації. У випадках експлуатації баштових кранів у зоні підвищеного шуму або на великій відстані доцільно застосовувати засоби електронного чи радіозв’язку.

Останніми роками значного поширення набули системи радіозв’язку, що забезпечують двосторонню комунікацію між оператором та сигнальним працівником. Такі пристрої повинні бути сертифікованими, захищеними від перешкод та мати резервне живлення. Обов’язковим є встановлення каналів зв’язку, які не перетинаються з частотами інших виробничих пристроїв, аби уникнути хибних команд.

Важливо наголосити, що безперервність і точність комунікації є критичними під час виконання операцій повороту башти крана. Саме в ці моменти механізм повороту піддається змінним динамічним навантаженням, а вантаж, що переміщується по дузі, створює непередбачувані моменти інерції. Відсутність узгоджених дій або некоректна передача інформації може призвести до перекидання конструкції, втрати вантажу, зіткнення з іншими об’єктами або людьми.

Невід’ємною складовою ефективною сигналізації є чіткий розподіл ролей і повноважень. Сигнальник має бути призначений розпорядженням відповідальної особи, пройти відповідне навчання та мати посвідчення. Відповідно до правил, тільки одна особа має право подавати керівні сигнали оператору крана, і тільки вона відповідає за коректність команд. У разі аварійної ситуації дозволено подавати екстрений сигнал будь-яким працівником, але після усунення небезпеки управління знову передається сигнальнику.

Контроль за функціональністю системи сигналізації покладається на особу, відповідальну за технічний стан вантажопідіймального обладнання. Усі

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

елементи, що задіяні в комунікаційному ланцюгу, повинні регулярно перевірятись на справність. Особливу увагу приділяють шоломам з вбудованими гарнітурами, переносним радіостанціям, а також панелям керування зі світловими або звуковими індикаторами.

У нормативних документах передбачено вимогу щодо дублювання основних команд — наприклад, жестова сигналізація може супроводжуватись звуковою. Такий підхід дозволяє уникнути непорозумінь у випадках, коли один із каналів передавання інформації порушено через технічні або зовнішні фактори.

Забезпечення якісної комунікації також передбачає дотримання дисципліни персоналу. Заборонено подавати неправдиві або пробні сигнали, використовувати засоби зв'язку не за призначенням або вести сторонні розмови через технічні канали. Усі сигнали мають відповідати установленому регламенту та бути зафіксовані в посадовій інструкції працівників.

У разі змін у розміщенні кранової техніки, оновлення робочої зони або зміни персоналу повинна проводитись інструктажна підготовка, яка включає тренування з обміну сигналами. Рекомендується відпрацювання типових сценаріїв: переміщення вантажу в обмеженій зоні, аварійна зупинка, робота під сильним боковим вітром, порушення зв'язку тощо. Впровадження таких заходів позитивно впливає на координацію команди та знижує ризик виникнення надзвичайних ситуацій.

У сучасних умовах, з огляду на тенденції автоматизації, розробляються програмовані модулі, які автоматично розпізнають сигнали і видають відповідні команди. Вони функціонують на основі заздалегідь заданих протоколів, проте наразі ще не здатні повністю замінити людську участь у критичних сценаріях. Тому роль сигналу як елемента взаємодії між людиною та машиною залишається ключовою.

Для підприємств, які систематично експлуатують баштові крани, рекомендовано розробити внутрішні регламенти сигналізації, адаптовані до специфіки виробництва, і періодично оновлювати їх згідно з новими

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

нормативними актами. Крім того, у разі запровадження нових моделей кранів або оновлення систем керування, необхідно адаптувати відповідні сигнальні інструкції до особливостей нового обладнання.

З огляду на складність вантажопідіймальних процесів, які виконує баштовий кран, комунікаційна система виступає не просто допоміжним елементом, а обов'язковою частиною функціональної структури безпечної експлуатації. Її ефективність прямо впливає на цілісність вантажів, тривалість циклу переміщення, навантаження на вузли повороту та інші механізми, а головне — на життя та здоров'я персоналу.

Організаційно-технічні вимоги до робочого місця кранівника та внутрішній контроль дотримання норм охорони праці

У процесі експлуатації баштового стрілового крана надзвичайно важливу роль відіграє забезпечення відповідних умов праці для оператора, оскільки саме від його дій залежить точність, безпека та продуктивність вантажопідійомних операцій. Професійна діяльність кранівника відбувається в умовах підвищеного ризику, що обумовлює необхідність суворого дотримання вимог охорони праці. До ключових напрямів безпечної організації експлуатації крана належать створення ергономічно обґрунтованого та безпечного робочого місця оператора, постійний контроль за його технічним станом, а також упровадження системи внутрішнього моніторингу виконання вимог безпеки на виробничому об'єкті.

Конструкція кабіни кранівника має відповідати сучасним ергономічним стандартам. Для забезпечення тривалого перебування оператора в кабіні без перевантаження зорового та опорно-рухового апарату, крісло повинно бути регульованим за висотою та кутом нахилу спинки. Панель керування розміщується у зоні досяжності сидячого оператора без необхідності суттєвих поворотів корпусу або перенапруги верхніх кінцівок. Додатково, якість оглядовості із кабіни є критично важливим параметром. З цією метою у сучасних кранах застосовуються панорамні вікна, ударостійке скління з антибліковим покриттям, а в окремих випадках — відеосистеми огляду.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Особливу увагу слід приділяти забезпеченню комфортного мікроклімату в кабіні. В умовах високих або низьких температур зовнішнього середовища рекомендовано застосовувати системи обігріву та кондиціонування, здатні підтримувати задані параметри температури і вологості. Крім того, вентиляція повинна бути організована таким чином, щоб запобігати накопиченню шкідливих речовин у повітрі — наприклад, пилу, парів мастильних матеріалів або продуктів згоряння.

У процесі роботи оператор крана зазнає дії низки фізичних факторів — вібрацій, шуму, електромагнітного випромінювання. Згідно з нормами, передбачено обмеження допустимого рівня шумового навантаження в межах 80 дБ. Для його зниження передбачається застосування шумоізолюючих матеріалів при внутрішньому оздобленні кабіни, а також використання ущільнювальних елементів у стиках конструкції. Вібраційні коливання мають бути зменшені за рахунок амортизовувальних елементів, зокрема в сидіннях і панелі керування. Електромагнітний захист реалізується шляхом заземлення обладнання та застосування екранованих кабелів.

Технічна справність кабіни, засобів керування, а також пристроїв комунікації повинна перевірятись перед кожною зміною. В обов'язки працівника служби охорони праці або відповідального за технічний стан устаткування входить візуальний огляд кабіни, перевірка герметичності вікон, функціональності опалення, вентиляції, сигналізації, стану проводки та пристроїв радіозв'язку. Порушення цих вимог може призвести до непридатності обладнання до експлуатації або створення умов, які негативно впливають на стан здоров'я оператора.

Контроль за організацією безпечної експлуатації крана включає також ведення обліку інструктажів з охорони праці. Усі особи, допущені до виконання робіт на висоті або до управління крановим устаткуванням, зобов'язані пройти відповідний інструктаж і бути зареєстрованими у журналі. Внесення записів повинно здійснюватись систематично, із зазначенням дати, змісту інструктажу, прізвища особи, яка його провела, та підпису працівника,

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

що прослухав. Відсутність запису прирівнюється до відсутності інструктажу та є підставою для недопуску до робіт.

Особливо слід наголосити на вимогах щодо допуску до висотних робіт. Усі оператори, які обслуговують баштові крани, повинні мати медичний висновок про придатність до роботи на висоті, пройти спеціалізоване навчання та атестацію, а також бути забезпечені індивідуальними засобами захисту. Контроль за наявністю та технічним станом ЗІЗ (каска, страхувальні пояси, сигнальні жилети тощо) здійснюється як перед початком зміни, так і в ході технічних оглядів обладнання.

Організація внутрішнього контролю за дотриманням норм охорони праці реалізується через створення на підприємстві служби або відповідальної особи, що координує діяльність у сфері безпеки. Одним із основних елементів такої системи є аудит — як плановий, так і позаплановий. Під час перевірок аналізується стан робочих місць, відповідність умов праці встановленим нормам, виявляються порушення та розробляються заходи для їх усунення.

Крім технічного стану кабіни, аналізується і наявність інструкцій, інформаційних матеріалів, плакатів із правилами безпечної експлуатації крана. Зокрема, в кабіні має бути закріплений перелік сигналів, правила використання засобів зв'язку, інструкція з дій у разі виникнення аварійної ситуації. Також обов'язковою є наявність засобів зв'язку — внутрішнього переговорного пристрою або радіозв'язку для оперативної взаємодії з наземним персоналом.

У випадку виявлення порушень у сфері охорони праці відповідальність покладається, як на працівника, що допустив порушення, так і на його безпосереднього керівника. Порядок дисциплінарної відповідальності визначається положенням підприємства. Одним із дієвих заходів профілактики є щомісячне проведення технічних зборів або нарад з аналізом виявлених порушень, розглядом інцидентів, що сталися, та визначенням напрямів вдосконалення системи безпеки.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Враховуючи високий ступінь ризику при роботі баштового крана, особливу увагу слід приділяти постійному вдосконаленню умов праці оператора. Сучасні тенденції передбачають оснащення кабін інтелектуальними системами, які дозволяють контролювати параметри навколишнього середовища, передавати дані про вібрації, перевантаження, температуру, вологість, рівень освітлення. Такі системи дають змогу оперативно виявляти відхилення та впливати на їх усунення ще до виникнення критичної ситуації.

Ідентифікація небезпечних зон при обертанні стрілового крана та аналіз впливу динамічних навантажень на його стійкість і безпечну експлуатацію

У процесі експлуатації стрілових баштових кранів надзвичайно важливим аспектом безпечної роботи є виявлення потенційно небезпечних зон, які виникають під час обертання поворотної частини машини. Залежно від конструктивних особливостей крана, швидкісних параметрів обертання та конфігурації робочої зони, утворюються просторові області, у межах яких існує підвищена ймовірність виникнення небезпечних ситуацій. Ці зони формуються за рахунок переміщення вантажу, коливань конструкційних елементів, а також можливих перевищень граничних навантажень, що впливають на динамічну рівновагу крана.

Під час обертання поворотної частини крана з вантажем на гаку утворюється траєкторія переміщення вантажу, яка несе потенційний ризик для обслуговуючого персоналу, будівельних об'єктів і техніки в зоні дії механізму. Визначення меж такої зони базується на радіусі дії стріли, максимальній довжині вантажозахоплювального пристрою, висоті підйому вантажу, а також можливих непередбачених змін у русі внаслідок раптової зупинки або втрати стабільності. Для ідентифікації цих зон використовують комплексну оцінку схеми розміщення крана, умов експлуатації, характеристик вантажу та можливих сценаріїв його поведінки при транспортуванні.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Також необхідно враховувати ефект вітрового навантаження, який, з урахуванням великої вітрової поверхні стріли та вантажу, значно впливає на положення вантажу під час обертання. У разі неврахування цих впливів оператор може зіткнутись із неконтрольованими коливаннями або обертанням вантажу, що призводить до створення нових, динамічно змінних небезпечних зон.

З метою зниження рівня ризику імовірності ураження працівників, які перебувають поблизу крана, необхідно чітко розмежовувати робочу зону за допомогою технічних засобів, таких як огороження, сигнальні стрічки, індикатори безпеки. Крім того, рекомендовано впроваджувати автоматизовані системи контролю за положенням вантажу та зоною його переміщення, що дозволяє оперативно реагувати на зміну умов експлуатації та запобігати потраплянню сторонніх осіб у зону дії крана.

Окрему увагу варто приділяти аналізу динамічних навантажень, які виникають у системі при спільній дії механізмів обертання, підйому вантажу та переміщення візка по стрілі. Під час гальмування, прискорення або зміни напрямку обертання крана виникають додаткові інерційні навантаження, які можуть призвести до відхилення стріли, виникнення коливань конструктивних елементів і зміщення центру ваги. У випадку перевищення критичних значень динамічних навантажень існує ризик втрати стійкості опорної конструкції, що є однією з найпоширеніших причин аварійних ситуацій при експлуатації стрілових кранів.

Особливої уваги потребує оцінка стійкості крана в перехідних режимах, тобто в момент запуску або зупинки механізму повороту. У ці моменти відбувається короткочасне нерівномірне розподілення навантаження на опори або опорно-поворотний пристрій, що викликає складні внутрішні навантаження. Для виявлення критичних режимів застосовують методи моделювання динаміки крана, в яких враховуються параметри жорсткості елементів, демпфування в місцях з'єднання, а також часові характеристики запуску приводів.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Профілактичні заходи щодо недопущення виникнення аварійних ситуацій включають регулярну діагностику технічного стану механізмів обертання, перевірку гальмівних систем, калібрування та налаштування обмежувачів моменту та кута обертання. Доцільним є впровадження датчиків контролю вібрацій, які дозволяють виявити початкові ознаки розбалансування або зносу опорних елементів.

З метою підвищення безпеки експлуатації рекомендується враховувати вплив температурних змін, вітрового навантаження, динаміки рухомих елементів та зносу опорних вузлів. Залежно від конкретного типу баштового крана доцільно адаптувати алгоритми оцінки стійкості з урахуванням його вантажопідйомності, довжини стріли, типу фундаменту та умов розміщення.

Ключовими елементами, що забезпечують збереження стійкості конструкції в умовах дії змінних навантажень, є правильно підібрані опори, стабільний фундамент, жорсткість з'єднань, а також узгоджена робота всіх приводів крана. Будь-яка розбалансованість або відставання в роботі механізмів створює передумови до виникнення динамічних відхилень, які в разі недостатньої компенсації можуть трансформуватися в резонансні коливання чи навіть призвести до перекидання конструкції.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Розділ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

В умовах сучасного виробництва, коли питання раціонального використання ресурсів та оптимізації витрат набувають першочергового значення, аналіз економічної ефективності є ключовим етапом при впровадженні нових технологічних рішень на підприємствах, зокрема мікропідприємствах. Економічна оцінка передбачає комплексний підхід, який охоплює не лише капітальні інвестиції, а й усі експлуатаційні витрати, пов'язані з функціонуванням нової технології протягом її життєвого циклу.

Основними вихідними параметрами для розрахунку ефективності є повна сума капіталовкладень, які включають: вартість закупівлі нового технічного обладнання з урахуванням логістичних витрат на його транспортування, організацію монтажу і налагоджувальних процедур; витрати на модернізацію існуючих технічних засобів, які будуть функціонально об'єднані з новим устаткуванням; а також витрати, пов'язані з будівництвом або технічним переоснащенням виробничих приміщень, необхідних для стабільного функціонування нововведення. Окремо враховуються кошти на проектно-конструкторські роботи, що мають безпосередній зв'язок із впровадженням нової техніки.

У складі поточних експлуатаційних витрат, які виникають у процесі безперервної експлуатації нової техніки, обов'язково враховуються: витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу з обов'язковими нарахуваннями до відповідних фондів соціального призначення; витрати на придбання пального, мастильних матеріалів, запасних частин, технічної води та електроенергії; сума амортизаційних відрахувань, необхідних для забезпечення планового

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Галайда А.О.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.				70	84
Реценз.					НУБіП України		
Н. Контр.		Ловейкін В.С.					
Затверд.							

відновлення основних засобів виробництва; а також витрати загально-виробничого характеру, пов'язані з утриманням інфраструктури.

Під час технічного обслуговування та ремонтних робіт виникає потреба в деталізованому обліку витрат не лише за економічними елементами, але й з урахуванням конкретних видів технічних операцій. Наприклад, витрати на проведення щоденного технічного обслуговування включають витрати на обтирочні матеріали та мастильні, оплату праці відповідного персоналу та інші супутні загально-виробничі витрати. При виконанні планових технічних оглядів першої та другої категорії (ТО1 і ТО2) до витрат додаються суми, що витрачаються на оплату праці ремонтного персоналу, вартість витратних матеріалів, у тому числі мастил і запасних елементів.

З метою реального оцінювання ефективності впровадження нових технологій доцільно брати до уваги інформацію про результати діяльності підприємства за період, який передував модернізації. Таке порівняння дозволяє виявити реальні економічні вигоди від впровадження, включно зі скороченням витрат на обслуговування, зменшенням простоїв обладнання, збільшенням продуктивності тощо.

Наприклад, при застосуванні новітніх засобів механізації в зоні поточного ремонту автотранспортних засобів на підприємстві, де здійснюються роботи зі зняття та встановлення важких елементів автомобілів (наприклад, коробок передач, ресор або редукторів), використання кранового обладнання з вантажопідйомністю до 3 тонн дозволяє значно зменшити трудовитрати на кожну операцію. В результаті, рівень фізичного навантаження на працівників знижується, а тривалість виконання складальних робіт скорочується щонайменше у два-три рази, що в свою чергу сприяє скороченню часу простою техніки в зоні обслуговування та підвищує коефіцієнт її випуску на маршрут.

Впровадження технічного засобу, такого як планетарний редуктор у систему поворотного механізму стаціонарного крана в умовах ремонтного підрозділу підприємства, має чітко виражений економічний ефект. Кран,

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оснащений таким редуктором, виконує широке коло монтажних-демонтажних операцій, забезпечуючи необхідну точність позиціонування та надійність роботи. Враховуючи обмеження вантажопідйомності, яка становить до 3 тонн, передбачено, що обслуговуватимуться лише ті транспортні одиниці, споряджена маса яких не перевищує вказане значення.

Окрім технічного ефекту, який полягає у зменшенні трудомісткості робіт, скороченні строків ремонту та зменшенні аварійності, значну роль відіграє і соціальна складова. Формування стійких стимулів до якісного виконання обов'язків тісно пов'язане з належною системою оплати праці. Відповідно до трудового законодавства та внутрішньої політики підприємства, оплата праці має структуру, яка включає як основну заробітну плату, так і додаткові види грошових заохочень.

Основна частина заробітної плати працівника визначається на підставі тарифної сітки або посадових окладів, а також залежить від обсягу та складності виконаних завдань. Додаткові виплати можуть включати компенсаційні надбавки, преміальні за досягнення високих виробничих результатів, а також інші форми матеріального заохочення, передбачені колективними угодами.

У випадках виконання монтажних або налагоджувальних робіт, особливо під час впровадження нової техніки, створюється спеціалізована бригада технічного персоналу. До її складу зазвичай входять інженери-конструктори, інженери з експлуатації, електротехніки, механіки, майстри виробничої ділянки та інші фахівці, які мають досвід у роботі з відповідними видами обладнання. Робота такої команди потребує чіткого планування, погодженості дій, дотримання технологічних інструкцій та стандартів охорони праці.

У процесі визначення економічної доцільності впровадження нових технічних засобів, зокрема для обґрунтування інвестицій у модернізацію кранового обладнання, важливу роль відіграє точний розрахунок витрат, пов'язаних із оплатою праці як виробничого персоналу, так і інженерно-

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічного складу. Обчислення відповідних фондів заробітної плати, що представлені у таблицях 4.1 і 4.2, дозволяє отримати деталізоване уявлення про розподіл трудових ресурсів і витрати на їх забезпечення.

Таблиця 4.1 Розрахунок фонду оплати праці робітників

Професія	Чисельність робітників	Розряд	Тарифний оклад, грн.	Фонд робочого часу 1 роб., днів.	Заробітна плата, грн.
Електромонтер	1	4	4058	5	922,27
Зварювальник	1	4	4058	2	368,90
Слюсар	1	4	4058	5	922,27
Всього	3	-	-	-	2213,44

Таблиця 4.2 Розрахунок фонду оплати праці ІТП та службовців

Посада	Чисельність працівників	Посадний оклад, грн.	Фонд робочого часу, дні	Заробітна плата за виконану роботу, грн.
Інженер конструктор	1	15000	5	3409,09
Майстер	1	5000	5	1136,36
Всього	2	-	-	4545,45

Так, згідно з вихідними даними, було враховано чисельність персоналу, їх тарифні або посадові оклади, фонд відпрацьованих днів одним працівником і відповідну заробітну плату за виконану роботу. У складі робітників розглянуто три ключові спеціальності: електромонтер, зварювальник і слюсар. Кожен із них відпрацював певну кількість днів (5, 2 і 5 відповідно), а їх тарифний оклад на місяць склав 4058 грн. Виходячи з добового розрахунку оплати, було визначено сумарну зарплату кожного працівника, що в загальному дорівнює 2213,44 грн. У групі інженерно-технічних працівників були враховані інженер-конструктор (із посадовим окладом 15000 грн/міс) та майстер (із окладом 5000 грн/міс), кожен з яких відпрацював по 5 днів. Розрахунки денного заробітку проводились із урахуванням місячної кількості робочих днів — 22.

$$Z_{1 \text{ день}} = \frac{15000}{22} = 681,82 \text{ грн/день.}$$

$$Z_T = 681,82 \cdot 5 = 3409,90 \text{ грн.}$$

Зокрема, денна ставка інженера-конструктора становила 681,82 грн, що за п'ятиденний робочий тиждень дало заробітну плату 3409,09 грн.

Аналогічним чином розрахована зарплата майстра дорівнює 1136,36 грн, а сукупний фонд оплати ІТП — 4545,45 грн.

Загальний фонд основної заробітної плати для всього персоналу був визначений як сума зарплат з таблиць, тобто 6758,89 грн.

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{табл.1}} + Z_{\text{табл.2}} = 2213,44 + 4545,45 = 6758,89 \text{ грн.}$$

Відповідно до норм чинного законодавства, додаткова заробітна плата, що включає доплати, надбавки, премії та інші стимули, розраховується як 20% від основної.

$$C = 20\% \cdot Z_{\text{осн}} = 0,2 \cdot 6758,89 = 1351,78 \text{ грн.}$$

Таким чином, ця сума становить 1351,78 грн.

Повна сукупність витрат на оплату праці включає обидва складники — основну та додаткову зарплату, що в підсумку дорівнює 8110,67 грн.

$$Z_{\text{опл}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}} = 6758,89 + 1351,78 = 8110,67 \text{ грн.}$$

Крім витрат на оплату праці, суттєве значення мають експлуатаційні витрати, включаючи технічне обслуговування та ремонт основного технологічного обладнання. Для розрахунку витрат на технічне обслуговування застосовувався норматив у розмірі 10% від повної вартості кранового обладнання, яка дорівнює 2541240 грн.

$$V_{\text{ТО}} = K_{\text{обл}} \cdot 0,1,$$

$$V_{\text{ТО}} = 2541240 \cdot 0,1 = 254124 \text{ грн.}$$

Отже, витрати на ТО становлять 254124 грн.

Для розрахунку витрат на споживання електроенергії:

$$V_{\text{ел}} = P_{\text{ел.дв.}} \cdot D_p \cdot t_p \cdot K_z \cdot V_{\text{кл}},$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Тут були враховані наступні показники: номінальна потужність приводу (2,7 кВт), кількість робочих днів на рік (256), тривалість щоденної роботи (8 год), коефіцієнт завантаження (0,25) і вартість електроенергії (4,32 грн/кВт·год). За наведеними даними отримано суму витрат на електроенергію — 5971,97 грн.

$$V_{ел} = 2,7 \cdot 256 \cdot 8 \cdot 0,25 \cdot 4,32 = 5971,97 \text{ грн.}$$

Окремо було здійснено нарахування амортизаційних витрат на відновлення основних фондів, які прийняті у розмірі 12% від балансової вартості обладнання.

$$V_{ам} = 0,12 \cdot K_{об} = 0,12 \cdot 2541240 = 304948,8 \text{ грн.}$$

У підсумку, величина амортизаційних відрахувань становить 304948,80 грн. Усі ці складники формують загальні експлуатаційні витрати, величина яких складає 310920,77 грн.

$$V_{заг} = 5971,97 + 304948,8 = 310920,77 \text{ грн.}$$

Значну частину витрат також формує технічне обслуговування та ремонтні роботи, що були оцінені за формулою:

$$P_{обсл.} = K_{обл} \cdot a,$$

де коефіцієнт a прийнятий на рівні 0,7.

$$P_{обсл.} = 2541240 \cdot 0,7 = 1778868 \text{ грн.}$$

Таким чином, ці витрати становлять 1778868 грн.

Для економічного аналізу капітальні вкладення, що є вартістю придбання і монтажу обладнання, приводяться до експлуатаційних витрат за допомогою коефіцієнта ефективності — 0,12.

$$K_B = K_{обл} \cdot 0,12 = 2541240 \cdot 0,12 = 304948,8 \text{ грн.}$$

Результуюча величина складає 304948,80 грн.

У фінальній частині розрахунків визначається річний економічний ефект, що показує рівень прибутковості реалізованого проекту.

$$E_{эф.} = П_D - E_{БВ}^P - K_B,$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Формула розрахунку включає очікуваний прибуток (1500000 грн), зменшений на загальні експлуатаційні витрати (310920,77 грн) та капітальні вкладення (304948,80 грн).

$$E_{\text{еф.}} = 1500000 - 310920,77 - 304948,8 = 884130,43 \text{ грн.}$$

У результаті отримаємо економічний ефект у розмірі 884130,43 грн.

Для оцінки періоду окупності витрат на реалізацію проекту використовується співвідношення вартості обладнання до розрахованого економічного ефекту.

$$T_{\text{ок.}} = \frac{K_{\text{обл.}}}{E_{\text{еф.}}},$$

$$T_{\text{ок.}} = \frac{2541240}{884130,43} = 2,9 \text{ р.}$$

При вартості кранового комплексу в 2541240 грн термін окупності склав 2,9 року, що свідчить про достатню інвестиційну привабливість реалізованого технічного рішення.

Таблиця 4.3. Основні техніко-економічні показники

№	Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
1	Початкові капітальні витрати	$K_{\text{обл}}$	2541240	грн
2	Витрати на технічне обслуговування і ремонт	$V_{\text{ТО}}$	254124.0	грн
3	Витрати на електроенергію	$V_{\text{ел}}$	5971.97	грн
4	Амортизаційні відрахування	$V_{\text{ам}}$	304948.8	грн
5	Сукупні (загальні) експлуатаційні витрати	$V_{\text{заг}}$	310920.77	грн
6	Приведені капітальні вкладення	$K_{\text{в}}$	304948.8	грн
7	Очікуваний прибуток	$\Pi_{\text{д}}$	1500000.0	грн
8	Річний економічний ефект, грн	$E_{\text{еф}}$	884130.43	грн
9	Термін окупності, років	$T_{\text{ок}}$	2.9	років

Висновки

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи, присвяченої розробці конструкції механізму повороту стрілового крана, було проведено комплексне технічне дослідження, спрямоване на вдосконалення одного з ключових вузлів вантажопідіймальної техніки. У межах роботи було всебічно вивчено конструктивні особливості вантажопідіймальних кранів, охоплено питання функціонування їх основних механізмів, зокрема механізму обертання стріли, який виконує важливу функцію у забезпеченні мобільності кранової установки.

На етапі попереднього аналізу було здійснено класифікацію типових конструкцій вантажопідіймальних машин відповідно до їх експлуатаційного призначення, що дало змогу встановити оптимальні області застосування кожного з типів кранів. Розглянуто основні технічні параметри і призначення баштових, мостових, козлових, порталних та інших типів вантажопідіймальних механізмів, що дозволило оцінити рівень уніфікації їх конструктивних рішень та перспективи вдосконалення поворотного вузла на прикладі стрілового крана.

У роботі було розглянуто ключові класифікаційні підходи до поділу вантажопідіймальних кранів за конструкційними та функціональними ознаками, включаючи мобільність, тип стрілового обладнання, спосіб керування та конструкцію підкранового шляху. Особливу увагу приділено аналізу кінематичних схем механізмів обертання, зокрема їх впливу на ефективність обертального руху та навантаження на привідні компоненти. З урахуванням функціональної ролі опорно-поворотних пристроїв у загальній структурі крана, було здійснено дослідження взаємозв'язку між механізмом повороту та іншими робочими елементами, що безпосередньо впливають на

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Галайда А.О.			ВІСНОВКИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					77	84
Реценз.								
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								
						НУБіП України		

зниження циклічних втрат часу при переміщенні вантажів.

Особлива увага приділялася інженерним розрахункам, які включали в себе визначення необхідного обертального моменту на виході з редуктора, а також розрахунок опорних навантажень, що виникають під час експлуатації стріли. У процесі підбору приводу було обґрунтовано вибір електродвигуна з урахуванням потужності, швидкісних характеристик і режиму роботи. Для реалізації обертання було запропоновано використання відкритої циліндричної прямозубої передачі, яка має достатній рівень надійності при відносно простому технічному обслуговуванні. Розрахунки на міцність та зносостійкість основних елементів передачі дозволили підтвердити працездатність обраної конструкції в межах навантажень, характерних для даного типу обладнання.

Крім того, окремо виконано вибір типу редуктора та розраховано його передавальне число, що забезпечує необхідне передатне відношення між електродвигуном та виконавчим органом. Обґрунтовано застосування гальмівного механізму для фіксації положення стріли в заданому секторі робочої зони. Проведено детальний розрахунок гальмівного моменту та вибір моделі гальма з урахуванням експлуатаційних умов.

У контексті забезпечення належного рівня безпеки, у роботі було проаналізовано нормативно-законодавчу базу щодо охорони праці на підприємствах, що експлуатують вантажопідіймальні крани. Проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що виникають під час обертання стріли, зокрема динамічні навантаження, вібраційні коливання та можливість контакту із забороненими зонами. Запропоновано рекомендації щодо організації робочого місця кранівника відповідно до вимог безпеки праці та запровадження сигнально-командних процедур під час спільної роботи обслуговуючого персоналу.

Розглянуто питання ідентифікації зон підвищеної небезпеки при експлуатації поворотного механізму, з урахуванням розрахованого радіуса дії стріли та потенційної зони вилітів вантажу. Обґрунтовано доцільність

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлення обмежувальних пристроїв та датчиків контролю обертання. Вивчено вплив динамічного навантаження на стійкість конструкції у разі різких змін напрямку обертання, що дозволило сформулювати пропозиції щодо зменшення коливань та запобігання аварійних ситуацій.

У техніко-економічній частині проекту були виконані необхідні обчислення для оцінки ефективності впровадження розробленої конструкції. Зокрема, було проаналізовано структуру витрат на оплату праці основних виконавців проекту, проведено розрахунок експлуатаційних витрат, включаючи витрати на електроенергію, технічне обслуговування, ремонт та амортизацію. Розраховано загальний обсяг капіталовкладень, необхідних для реалізації конструкції, та визначено строк її окупності на основі очікуваного економічного ефекту від зменшення простоїв техніки та підвищення продуктивності робочого процесу.

Загалом, реалізація конструктивних рішень, запропонованих у межах кваліфікаційної роботи, сприяє покращенню функціональних характеристик стрілового крана, зниженню витрат на його обслуговування, підвищенню надійності та безпеки експлуатації. Робота охоплює як теоретичні аспекти, так і практичні розрахунки, що підтверджують доцільність реалізації проектової модернізації.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Список літературних джерел

1. [Мала гірнича енциклопедія](#). В 3-х т. / За ред. [В. С. Білецького](#). — Донецьк: Донбас, 2004.
2. Дубровський, О. І. Підйомно-транспортні машини: посібник для ВНЗ. Донецьк: ДонНУ, 2012.
3. Степигін В.І., Чортов Є.Д., Єлфімов С.А. Проектування підйомно-транспортних установок: навч. допомога. - М.: Машинобудування, 2005. - 288 с.
4. Підйомно-транспортні машини (конспект лекцій для студентів механічних спеціальностей) / В.М. Савенков, В. Ю. Тимохіна, Ю.В. Тимохін,— Донецьк: ДонІЗТ, 2013. – 178 с.
5. Підйомно-транспортні машини: Підручник.— К. : Вища шк., 1993.— 413 с
6. Гольдберг, Д. Е. Основи проектування підйомно-транспортних машин. Київ: Вища школа, 2010.
7. Конспект лекцій до вивчення дисципліни "Будівельна техніка" (для студентів рівня підготовки «Бакалавр» напряму підготовки 0921 «Будівництво») Авт. Качура А.О. – Харків: ХНАМГ, 2007 – 101 с.
8. Курган, Г. М., і Столяренко, В. В. Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. Харків: НТУ "ХПІ", 2015.
9. Ярошенко В.Ф., Мазоренко Д.І. Підйомно-транспортні машини. Програма для сільськогосподарських вищих навчальних закладів із спеціальності «Механізація сільськогосподарського виробництва» .- К., Вища шк., 1995.-12с.
10. Гончарук О.М. Вантажопідйомна, транспортуюча та транспортна техніка/ О.М. Гончарук, В.М. Стрілець. – Рівне: НУВГП, 2006. – 346 с.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Галайда А.О.			СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					80	84
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Лоеєйкін В.С.						
Затверд.								

11. Правила виконання кінематичних схем. Позначення умовні графічні в схемах. Елементи кінематики. (Стандарт кафедри)/ Упор. Б. В. Орловський, В. О. Пищиков, Арабінова Н.С. - .: КНУТД. – 2003. -32 с.
12. Атлас конструкцій підйомно-транспортних машин. Навчальний посібник. ч.І. Крани і кранові механізми, Харків 2008.
13. Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
14. Анурьев В.И. – Справочник конструктора – машиностроителя в 3-х томах – М.:Машиностроение .-1979.
15. Бондарев В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П., Бондарев С.В., Горбатенко Ю.П. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин - К.: Вища шк., 2009, 734 с.
16. Иванченко Ф.К. Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин. – К.: Вицшк., 1988. – 424 с.
17. Розрахунок механізму повороту стрілових кранів. Методичні вказівки, послідовність розрахунків та довідкові дані для самостійної роботи з ПТМ студентів. Виробництво НУБіП України. Київ 2010.
18. Иванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. – К.: Вища школа, 1991– 576 с.
19. Методические разработки «Расчёт открытых конических прямозубых передач». Украинская сельскохозяйственная академия, 1981.
20. Ловейкін В.С., Рибалко В.М., Ромасевич Ю.О., Матухно Н.В., Ляшко А.П., Деталі машин. Друге видання. Навчальний посібник. К.: «Компрінт», 2020. 736 с.
21. Методичні вказівки «Расчёт открытых цилиндрических прямозубых передач», Київ 1981.
22. Курмаз Л.В. Основи конструювання деталей машин: навчальний посібник. Харків: Видавництво «Підручник НТУ «ХП». 2010. 532 с.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

23. Любін М.З., Берник П.С. Механізація транспортуючих та вантажопідійомних робіт. Частина 1. – Київ-Вінниця.: Урожай, 1996. – 191 с.
24. Павлище В. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. Львів: Афіша, 2003. — 560 с.
25. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. – Львів.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006. – 195 с.
26. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0784-07/#Text>
27. Лехман С.Д., Целинський В.П., Козирев С.М., Матохнюк Л.О., Бокотей А.Г. Довідник з охорони праці в сільському господарстві. – К.: Урожай, 1990. – 400 с.
28. Березуцький В.В. Основи охорони праці: Навчальний посібник. – Х.: Факт, 2005. – 480 с.
29. Тарасов В.К. Безпека технологічних процесів і обладнання : навчально-методичний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 169 с.
30. НПАОП 0.00-1.80-18 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. [Чинний від 2018—04—10]. Київ : Міністерство соціальної політики України, 2018.
31. ГОСТ Р 12.4.026-2001 «Знаки безпеки».
32. <https://zakon.rada.gov.ua>
33. ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Промислова безпека у будівництві. Основні положення»;
34. НПАОП 0.00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт»;
35. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
36. НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників»;

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

37. Гарнець В.М., Безух А.В. Методологія створення машин: Навчальний посібник.- К.:”Хай-Тек Прес”, 2010. - 376с.
38. <https://oblikbudget.com.ua/article/16484-posadovi-okladi-za-ets-2024-tarifna-sitka>
39. <https://buhgalter.com.ua/dovidnik/posadovi-okladi-za-ets/posadovi-okladi-za-yets-2024/>
40. <https://viramaks.ibud.ua/ua/company-prais/bashennyy-bezogolovochnyy-kran-fari-ssg1000-3-t-b-u-viramaks-9299133>
41. <https://yasno.ua/electricity-b2b>

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

ДОДАТКИ

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 027 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84