

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет Конструювання та дизайну

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
конструювання машин і обладнання
_____ проф. В.С. Ловейкін
«_____» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТИЗОВАНОГО
МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ МОСТОВОГО КРАНА

Спеціальність 133-Галузеве машинобудування_____

Гарант освітньої програми

д.т.н., проф. _____

Булгаков В.М.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

PhD., асистент. _____

Стехно О.В.

Виконав _____

Сергієнко Максим Сергійович

Київ – 2026

Додаток Д
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Конструювання машин і обладнання

д.т.н., проф Ловейкін В.С.

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

“ ” 2026р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Сергієнко Максим Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133- Галузеве машинобудування

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи Розробка конструкції

роботизованого механізму підйому вантажу мостового крана

затверджена наказом ректора НУБіП України від “15” квітня 2026р. № 1044“С”

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 28.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, які потрібно розробити:

Перелік графічних документів (за потреби)

Дата видачі завдання “16” квітня 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Стехно О.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Сергієнко М. С.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. Загальні відомості про мостові крани та аналіз конструкцій механізмів підйому вантажу.....	8
1.1. Призначення й сфера використання мостових кранів.....	8
1.2. Типова класифікація мостових кранів.....	9
1.3. Режими експлуатації мостових кранів.....	15
1.4. Існуючі типи конструкцій приводних механізмів підйому вантажу мостових кранів.....	16
РОЗДІЛ 2. Розробка конструкції канатного барабану механізму підйому вантажу.....	19
РОЗДІЛ 3. Розрахунок конструкції роботизованого механізму підйому вантажу мостового крана.....	22
3.1. Кінематичний розрахунок механізму головного підйому вантажу мостового крана.....	22
3.2. Розрахунок тягового каната механізму підйому вантажу мостового крана.....	23
3.3. Розрахунок загальних розмірів канатного барабана механізму підйому вантажу мостового крана.....	26
3.4. Вибір електродвигуна приводу механізму підйому вантажу мостового крана та редуктора.....	29
3.5. Перевірка електродвигуна механізму підйому вантажу.....	31
3.6. Вибір гальмівного пристрою механізму підйому вантажу.....	37
РОЗДІЛ 4. Заходи охорона праці під час експлуатації механізму підйому вантажу мостового крана.....	39
4.1. Загальні положення із техніки безпеки при роботі мостового крана.....	39
4.2. Попередній огляд технічного стану та кранового обладнання.....	42
4.3. Основні вимоги до організації безпечного робочого простору на майданчику.....	44
РОЗДІЛ 5. Техніко-економічне обґрунтування розробленої конструкції механізму підйому вантажу.....	47
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	51
ДОДАТКИ	52

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Сергієнко М.С.			ЗМІСТ				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Стехно О.В									4	52
Реценз.												
Н. Контр.		Ловейкін В.С.							НУБіП України			
Затверд.												

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота та тему: «Розробка конструкції роботизованого механізму підйому вантажу мостового крана» - складається із п'яти розділів (5), що розміщені на п'ятдесяти двох (52) сторінках друкованого тексту формату А4, дев'ятнадцяти (19) рисунків, чотирьох (4) таблиць, висновків та десяти (10) джерел використаної літератури, додатків, а також графічної частини.

Розрахунково – пояснювальна записка містить такі розділи:

- Вступ.
- Загальні відомості про мостові крани та аналіз конструкцій механізмів підйому вантажу.
- Розробка конструкції канатного барабану механізму підйому вантажу.
- Розрахунок конструкції роботизованого механізму підйому вантажу мостового крана.
- Заходи охорона праці під час експлуатації механізму підйому вантажу мостового крана.
- Техніко-економічне обґрунтування розробленої конструкції механізму підйому вантажу.
- Висновки.
- Список використаних джерел.
- Додатки.

Галуззю використання розробленої роботизованої конструкції є вантажопідіймальне машинобудування.

Ключові слова: мостовий кран, механізм підйому, вантаж, канатний барабан, розрахунок, безпека, економічна ефективність.

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сергієнко М.С.			РЕФЕРАТ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Стехно О.В.					5	52
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								

ВСТУП

Сучасний стрімкий розвиток промисловості, галузевого машинобудування, логістики, а також та будівельної галузі супроводжується постійним значним зростанням обсягів навантажувально-розвантажувальних робіт.

Для забезпечення ефективного виконання таких операцій широко застосовуються підйимально-транспортні машини, з-поміж яких важливе місце займають мостові крани. Їх використання дозволяє механізувати процеси переміщення вантажів, підвищити продуктивність праці і скоротити час виконання технологічних операцій. Мостові крани використовуються на промислових підприємствах, у складських комплексах, металургійній та машинобудівній галузях, а також в будівництві, де необхідне швидке та безпечне переміщення вантажів.

В сучасних умовах особливої актуальності набуває питання автоматизації і роботизації виробничих процесів. Традиційні системи керування мостовими кранами мають деякі недоліки, що пов'язані з впливом людського фактору, недостатньою точністю позиціонування вантажу та обмеженими можливостями контролю за роботою механізмів. Окрім того, експлуатація кранів в складних або небезпечних умовах потребує підвищеного рівня безпеки та надійності обладнання. Саме тому впровадження роботизованих механізмів підйому вантажу до конструкції мостових кранів є перспективним напрямом розвитку сучасної підйимально техніки.

Роботизовані системи керування механізмами підйому вантажу дозволяють автоматизувати основні технологічні операції, забезпечити досить точне позиціонування вантажу, знизити динамічні навантаження на металоконструкцію і мінімізувати ризик виникнення аварійних ситуацій.

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Сергієнко М.С.			ВСТУП			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Стехно О. В.								6	52
Реценз.								НУБіП України			
Н. Контр.		Ловейкін В.С.									
Затверд.											

Використання сучасних електроприводів, датчиків контролю положення, програмованих логічних контролерів та систем автоматичного керування сприяє підвищенню ефективності роботи мостових кранів та покращенню умов праці обслуговуючого персоналу. Автоматизація процесів підйому та переміщення вантажів також дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити стабільність виконання технологічних процесів.

Актуальність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю вдосконалення конструкцій механізмів підйому мостових кранів шляхом впровадження роботизованих елементів та сучасних систем керування. Розробка таких механізмів є важливим завданням для підвищення продуктивності вантажопідіймального обладнання, забезпечення безпеки експлуатації та відповідності сучасним вимогам промисловості.

Під час розробки конструкції роботизованого механізму підйому вантажу необхідно враховувати особливості роботи мостового крана, умов експлуатації, характеристики вантажів, вимоги до точності позиціонування та надійності роботи механізму. Важливим аспектом є також забезпечення оптимального співвідношення між конструктивною складністю, ефективністю роботи та економічною доцільністю використання пропонованої роботизованої системи.

Таким чином, розробка конструкції роботизованого механізму підйому вантажу мостового крана є досить актуальним інженерним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню рівня автоматизації виробничих процесів, покращенню технічних характеристик підйомально-транспортного обладнання й підвищенню ефективності його експлуатації.

Даний тематиці присвячена бакалаврська кваліфікаційна робота.

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОСТОВІ КРАНИ ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ

1.1. Призначення й сфера використання мостових кранів

Крани мостового типу рис. 1.1, безпосередньо відносяться до вантажопідіймальних машин, які виконують циклічну дію, призначені для здійснення навантажувально-розвантажувальних операцій, а також транспортуючих операцій в виробничих приміщеннях і на промислових майданчиках відкритого типу [1].

Мостові крани досить широко використовуються у металургії, енергетичній промисловості, деяких логістичних центрах, в суднобудуванні та інших галузях агропромислового комплексу [1].

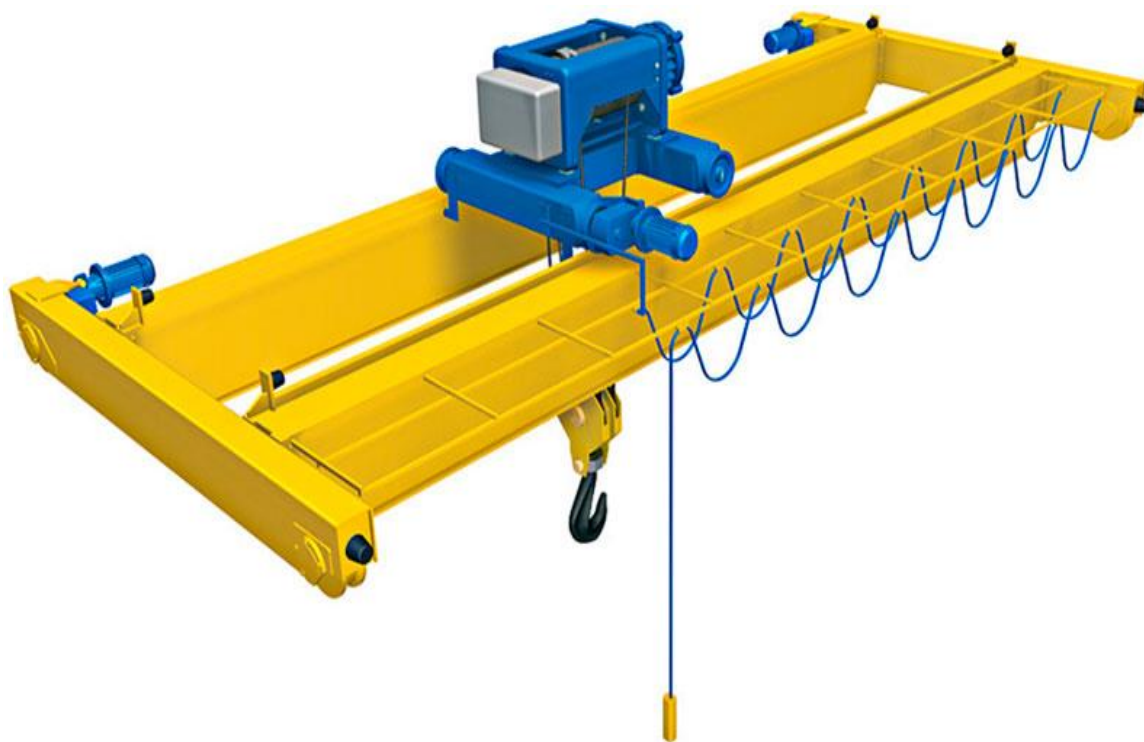


Рис. 1.1. Зображення мостового крана

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 1	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Сергієнко М.С.					8	52
Перевір.		Стехно О.В.						
Реценз.								
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.						НУБіП України		

Основна із ключових переваг, що притаманна мостовим кранам, полягає у можливості переміщувати закріплений на гнучкому підвісі вантаж у межах фактично всієї площі того чи іншого цеху. Можливість переміщувати закріплений на гнучкому підвісі вантаж у межах всієї площі цеху здійснюється завдяки поєднанню наступних видів руху [1-2]:

1. Підйом і опускання вантажу;
2. Переміщення вантажного візка вздовж напрямних рейок моста;
3. Руху самого мостового крана (моста) вздовж напрямних колій.

Сучасні мостові крани є невід’ємною складовою сучасного виробництва, завдяки високій універсальності та продуктивності.

1.2. Типова класифікація мостових кранів

Сучасні мостові крани можуть класифікуватися безпосередньо за типом конструкції, особливостями способу встановлення, типом приводу й характером здійснюваних робіт.

За типом конструкції є однобалкові та двобалкові мостові крани. Однобалкові мостові крани (рис. 1.2), мають у своєму складі одну несучу балку, на котрій встановлено пересувний тельфер чи електрична таль. Такої конструкції мостові крани використовуються при переміщенні вантажів середньої або невеликої ваги [1-2].



Рис. 1.2. Зображення однобалкового мостового крана

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Основними перевагами однобалкових типів конструкцій мостових кранів є [1-2]:

- компактність;
- мала металоємкість;
- простота виготовлення;
- зручність при технічному обслуговуванні.

Однобалкові мостові крани досить часто використовуються в ремонтних майстернях, складських приміщеннях і виробничих ділянках.

Двобалкові мостові крани (рис. 1.3), безпосередньо складаються з двох головних балок, які розташовані паралельно одна відносно одної по напрямних яких, здійснює зворотно-поступальний рух вантажний візок.



Рис. 1.3. Зображення двобалкового мостового крана

Система двобалкового мостового крана дає змогу збільшити вантажопідіймальність та підвищити саму жорсткість металоконструкції.

Основними перевагами двобалкових конструкцій мостових кранів є:

- можливість переміщення важких вантажів;
- краща стійкість до дії динамічних навантажень;
- підвищена довговічність;
- змога встановлення додаткового обладнання.

Двобалкові мостові крани встановлюються в цехах та майстернях важкого машинобудування, металургійних комбінатах і збільшених складських комплексах [1-2].

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

В залежності від способу монтування кранових шляхів, сучасні мостові крани поділяються на наступні типи:

- підвісні крани мостового типу;
- опорні крани мостового типу.

В конструкції підвісного мостового крана сам міст кріпиться знизу до рейкових шляхів, що монтуються до несучих конструкцій. Загальний вигляд підвісного мостового крана представлено на рис. 1.4 [1-2].

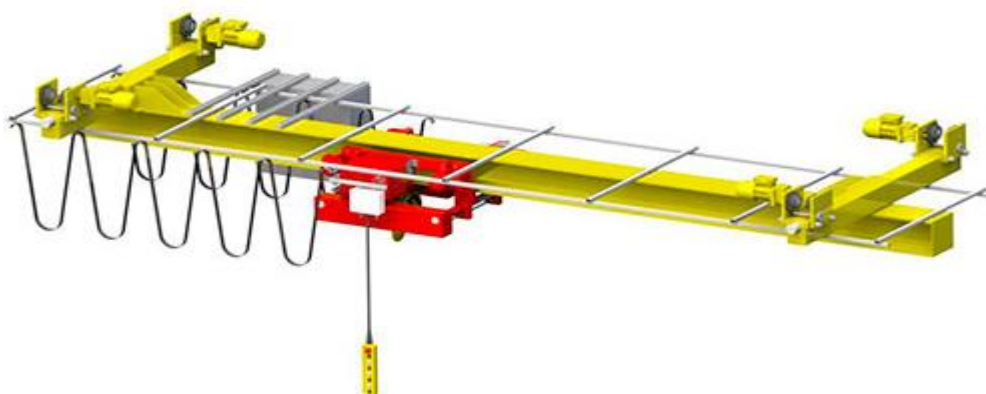


Рис. 1.4. Загальний вигляд підвісного крана мостового типу

У опорному крані мостового типу колеса, опираються на рейки зверху. Дані рейки встановлюються на відповідних колонах (опорах) чи крановій естакаді, котра забезпечує збільшену стійкість та надійність конструкції.

Враховуючи це все, мостові опорні крани здатні транспортувати вантажі значно більшої ваги. Загальний вигляд конструкції опорного крана мостового наведено на рис. 1.5 [1-2].

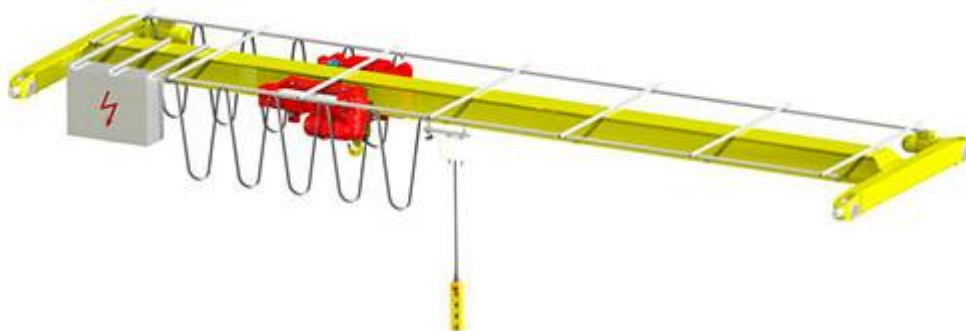


Рис. 1.5. Загальний вигляд конструкції опорного мостового крана

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для здійснення окремих технологічних процесів, використовуються безпосередньо мостові крани спеціального призначення. До таких кранів відносяться наступні, а саме:

- магнітні мостові крани;
- грейферні мостові крани;
- ливарні мостові крани;
- монтажні мостові крани;
- ковальські мостові крани;
- мостові крани контейнерні.

Магнітні мостові крани (рис. 1.6), обладнуються електромагнітами і безпосередньо використовуються для роботи із металевими виробами [1-2].

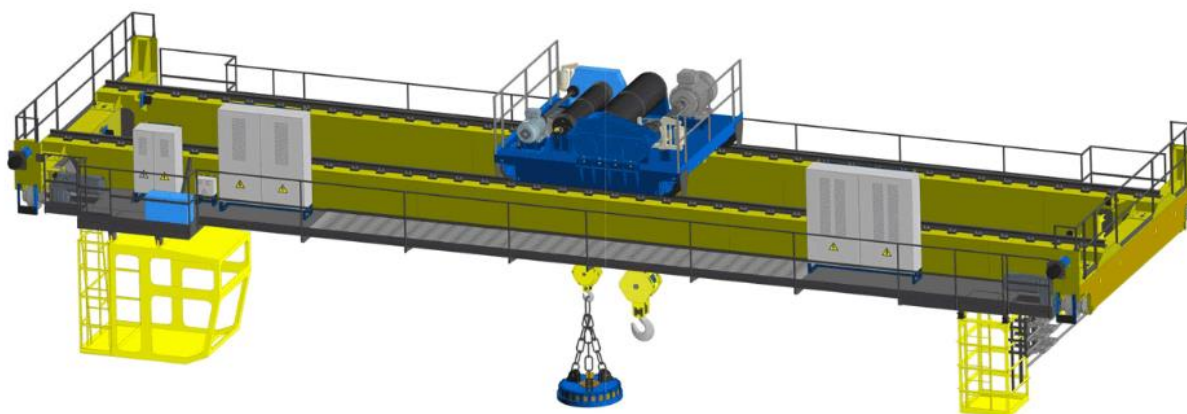


Рис. 1.6. Магнітний мостовий кран

Грейферні мостові крани (рис. 1.7), безпосередньо обладнані різних типів грейферами та застосовуються для транспортування сипких вантажів.



Рис. 1.7. Грейферний мостовий кран

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Мостові ливарні крани (рис. 1.8), зазвичай призначені для роботи із рідким металом на металургійному виробництві.



Рис. 1.8. Мостовий ливарний кран

Контейнерні мостові крани (рис. 1.9) (контейнерний перекидач), безпосередньо призначені для кантування, транспортування та перекидання 20 футових та 40 футових контейнерів, а також для фіксації під кутами 30, 35 та 40 градусів. Це дозволяє забезпечувати навантаження та розвантаження контейнера сипучими матеріалами (зерно, концентрати тощо) [1-2].

Кантувачі досить широко застосовуються у морських портах, терміналах та залізницях. Можуть бути монтовані стаціонарно у ангарах критого типу, відкритих естакадах тощо [1-2].

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рис. 1.9. Мостовий контейнерний кран

До типової конструкція мостових кранів входять цілий ряд взаємопов'язаних механізмів, що забезпечують здійснення вантажопідіймальних операцій [2-4].

Типова несуча частина мостового крана складається з головної і кінцевих балок, які в своєму поєднанні утворюють міст. Міст здатний сприймати статичні і динамічні навантаження під час експлуатації кранового обладнання [2-4].

Мостові крани комплектуються електричними системами керування, які забезпечують:

- плавний рух механізмів мостового крана;
- діапазон регулювання швидкості;
- аварійний захист;
- автоматизований контроль роботи обладнання.

Керування може здійснюватися як із кабіни кранівника так й дистанційно за допомогою пульта керування.

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1.3. Режими експлуатації мостових кранів

Режим експлуатації мостового крана характеризується ступенем його навантаження, яке припадає на обладнання і інтенсивністю його застосування протягом деякого періоду часу [2-4].

Під час визначення режиму роботи мостового крана вираховують:

- частоту вмикання відповідних механізмів;
- загальну кількість робочих циклів;
- величину середньої маси вантажу;
- сумарну тривалість роботи за час зміни.

Від того, який режим експлуатації залежить вибір тих чи інших конструкційних матеріалів, потужності електроприводів й систем безпеки.

Режиму малої інтенсивності характерні досить не велика кількість циклів та несуттєве навантаження. Мостові крани із таким режимом використовуються в складських і ремонтних приміщеннях [2-4].

Мостові крани із режимом середньої інтенсивності експлуатуються у звичайних виробничих умовах із періодичним навантаженням.

Важкий режим мостового крана передбачає часту роботу наявних механізмів під час максимальних навантажень. Такі умови характерні для металургійної а також ливарної промисловості.

Для безперервного режиму мостового крана є характерною постійна робота наявного обладнання із мінімальними перервами. В цьому випадку до механізмів мостового крана висуваються доволі підвищені вимоги щодо зносостійкості та його надійності [2-4].

При проектуванні мостових кранів конструктори приділяють особливу увагу наступним показникам:

- міцність кранової металоконструкції;
- стійкість до вібраційних процесів;
- надійності наявних електроприводів;

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дововічності наявних механізмів;
- безпечності експлуатації.

Для забезпечення ефективної роботи мостовий кран оснащують наступними компонентами:

- кінцевими вимикачами;
- давачами обмеження вантажопідіймальності;
- системами аварійної зупинки;
- блокуванням певних механізмів;
- заземленням.

Використовування сучасних систем автоматизації дасть можливість підвищити ефективність роботи наявного обладнання і мінімізувати ймовірність аварійних ситуацій під час експлуатації мостового крана.

1.4. Існуючі типи конструкцій приводних механізмів підйому вантажу мостових кранів

Загалом існує досить широкий різновид типів конструкцій, приводного механізму підйому вантажу мостового крана. До складу кожної із типових конструкцій входять електродвигун, гальмівний механізм, передавальний механізм (циліндричний редуктор), з'єднувальні механізми (муфти пружно-компенсуючі та жорстко компенсуючі) та канатний барабан[5-7].

Одним із поширених типів конструкції є механізм підйому вантажу на вихідному валі редуктора, якого може бути розміщена жорстко компенсуюча муфта, що з'єднує його з приводним барабаном. Інший різновид приводного механізму відрізняється безпосередньо типом редуктора, конструкція якого на вихідному валу є модифікованою під жорстку муфту, яка з'єднується із канатним барабаном. Окрім того існують модифікації приводних механізмів підйому вантажу у яких наявна циліндрична відкрита передача, що з'єднує вихідний вал редуктора із канатним барабаном приводу. На рис. 1.10,

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

представлена кінематична схема конструкції механізму підйому вантажу на вихідному валі, якої розміщена жорстко компенсуюча муфта [5-7].

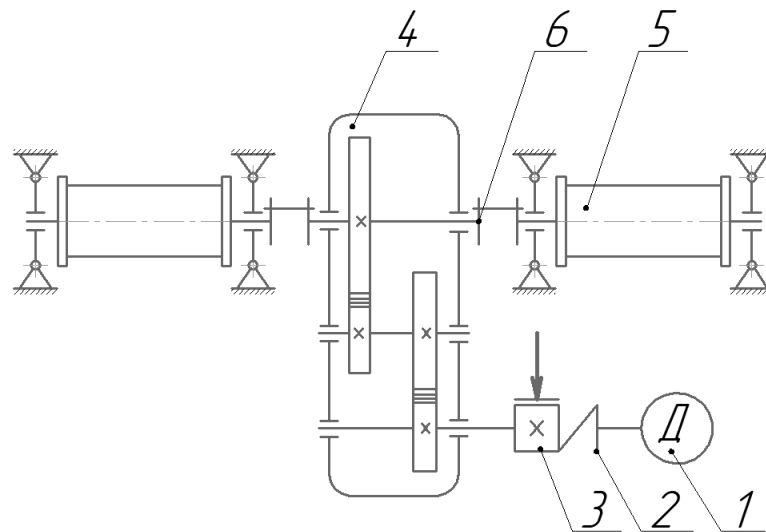


Рис. 1.10. Кінематична схема приводу із жорсткою муфтою: 1 електродвигун; 2 пружно-компенсуюча муфта; 3 гальмівний механізм; 4 редуктор; 5 приводний барабан; 6 жорстка муфта

На рис. 1.11, зображена кінематична схема конструкції досліджуваного механізму підйому із редуктором, вихідний вал, якого модифікований під жорстку муфту дана схема обрана у якості подальших розрахунків.

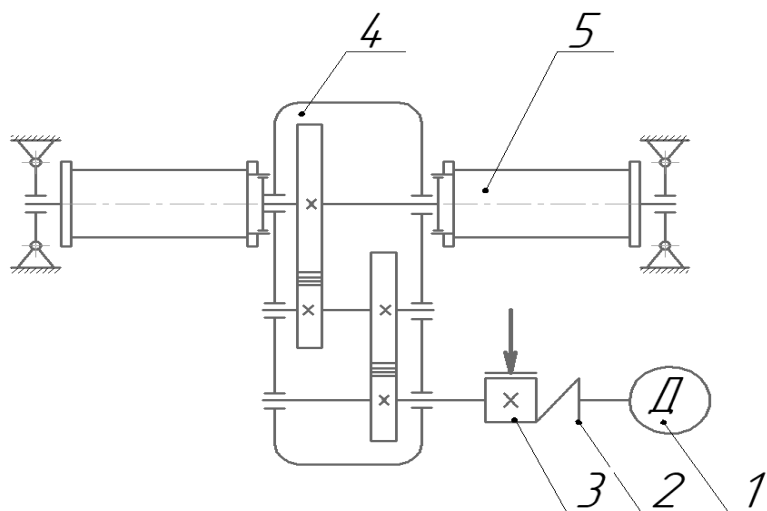


Рис. 1.11. Кінематична схема приводу із редуктором, вихідний вал, якого модифікований під жорстку муфту: 1 електродвигун; 2 пружно-компенсуюча муфта; 3 гальмівний механізм; 4 редуктор; 5 приводний барабан

На рис. 1.12, наведено кінематичну схему досліджуваного механізму підйому вантажу конструкція в конструкції якого наявна циліндрична відкрита передача [5-7].

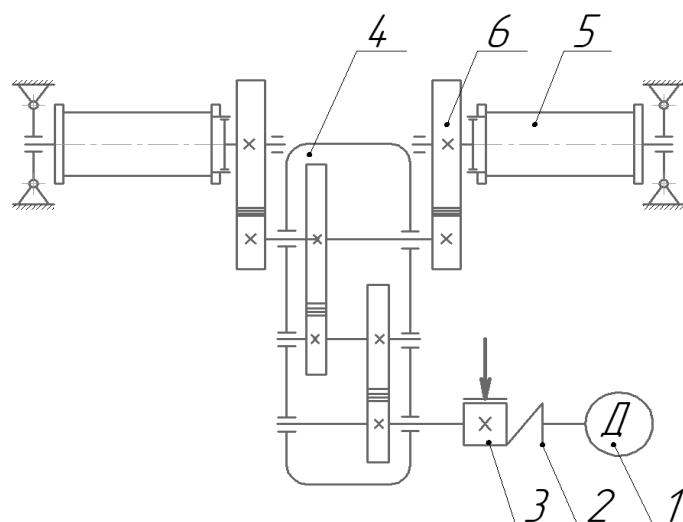


Рис. 1.12. Кінематична схема приводу із циліндричною відкритою передачею: 1 електродвигун; 2 пружно-компенсуюча муфта; 3 гальмівний механізм; 4 редуктор; 5 приводний барабан; 6 циліндрична передача

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ КАНАТНОГО БАРАБАНА МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ

Проведемо розробку конструкції приводного барабана механізму підйому вантажу мостового крана. Із проведеного аналізу загальновідомих конструкцій механізмів підйому вантажу мостових кранів, встановлено, що одним із недоліків таких механізмів полягає у тому, що конструкція канатних барабанів є жорстко закріпленою із вихідним валом редуктора. Тобто наявний жорсткий механічний зв'язок з циліндром приводного барабана механізму підйому вантажу [8].

Існуючий тип конструкції призводить до значних небажаних динамічних навантажень у складових привода механізму підйому вантажу при здійсненні перехідних режимів руху таких як пуск та гальмування [8].

Основна мета розробки конструкції приводу канатного барабана механізму підйому вантажу, полягає у створенні відповідної конструкції канатного барабана, яка дасть змогу утворити відповідний пружний зв'язок між компонентами складових частин барабана [8].

На рис. 2.1, представлено зображення розробленої конструкції приводного барабана механізму підйому вантажу [1]. Розроблена конструкція приводного барабана механізму підйому вантажу (рис. 2.1), складається із приводної муфти 1, виносної опори 2 на, який розміщений інший кінець приводного барабана (в даному випадку пропонується конструкція механізм приводу редуктора, якої модифікований під відповідну муфту). Приводна муфта 1 має відповідні отвори конічної форми, в які встановлюються спеціальні гвинти 3, котрі із одного боку кріпляться до маточини за допомогою гайки 4 та шайби 5 [8].

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2			
Розроб.		Сергієнко М.С.						
Перевір.		Стехно О.В.						
Реценз.								
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.					НУБіП України			
					Літ.	Арк.	Аркушів	
						19	52	

На іншому боці гвинтів 3 (рис. 2.1), встановлено відповідні футеровані гумові вставки циліндричної форми 6. Футеровані гумові вставки, вставляються до відповідних отворів фланця 7, який кріпиться до циліндру канатного барабана 8, через відповідне допоміжне кільце 9 [1].

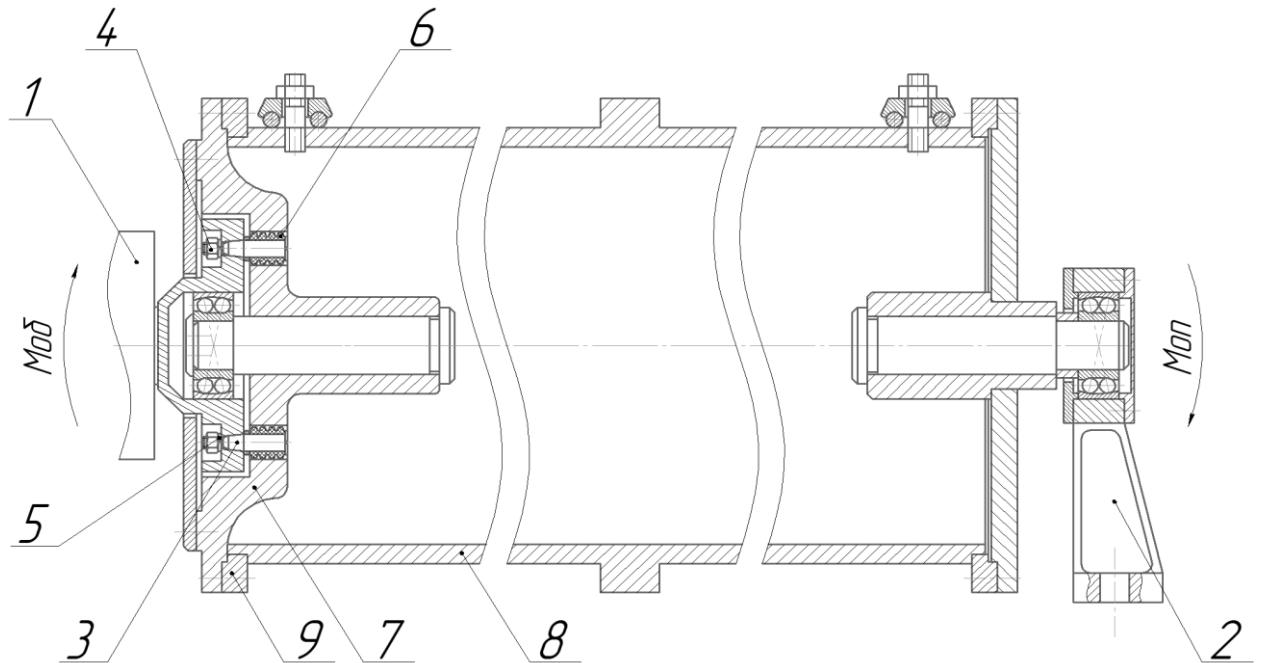


Рис. 2.1. Зображення розробленої конструкції канатного барабана механізму підйому вантажу мостового крана: $МоД$ обертовий момент; $МоП$ момент опору; 1 приводна муфта; 2 виносна опора; 3 спеціальні гвинти; 4 гайка; 5 шайба; 6 футерована гумова вставка; 7 фланець; 8 циліндр приводного барабана; 9 допоміжне кільце

Експлуатація розробленого канатного барабана механізму підйому (рис. 2.1), виконується наступним чином. При роботі досліджуваного механізму, здійснюється передача обертового моменту $МоД$ від редуктора через приводну муфту 1 в якій закріплено спеціальної форми гвинти 3 до футерованих гумових вставок циліндричної форми 6 [8].

Футеровані гумові вставки циліндричної форми 6, встановлені у отвори фланця 7 та за своєю специфікою, є схильними до зминання при дії на них статичного моменту опору та сили опору від ваги закріпленого на гнучкому підвісі вантажу $МоП$, котрий діє на циліндр приводного барабана 8 [1].

Технічне рішення розробленої конструкції приводного барабана механізму приводу підйому вантажу, полягає у встановленні відповідних футерованих гумових вставок 6 між приводною муфтою 1 та фланцем 7 канатного барабана розробленого механізму [8].

Розроблена конструкція приводного барабана механізму підйому вантажу дозволяє мінімізувати величину небажаних динамічних навантажень, що виникають у компонентах його приводу під час перехідних режимів пуску та гальмування системи. Це дозволить підвищити термін служби роботизованого механізму підйому вантажу мостового крана [8].

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ РОБОТИЗОВАНОГО МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ МОСТОВОГО КРАНА

3.1. Кінематичний розрахунок механізму головного підйому вантажу мостового крана

Кінематичний розрахунок головного підйому закріпленого вантажу необхідно розпочати із вибору відповідного типу поліспада. Підбір кратності поліспада визначається із вантажопідймальності мостового крана та загальною компоновкою його вантажного візка.

Рекомендована кратність поліспада у залежності від вантажопідймальності мостового крана зведена до табл.3.1

Таблиця 3.1 Величина кратності поліспада u в залежності від вантажопідймальності мостового крана

Тип поліспада	u при вантажопідймальності мостового крана, т				
	0÷1	2÷6	10÷15	20÷30	40÷50
Здвоєний	2	2	2;3	3;4	4;5
Простий	1	2	--	--	--

В рамках даної бакалаврської роботи застосуємо поліспаст кратністю $u = 4$ для розрахунку механізму підйому вантажу. Кінематична схема досліджуваного механізму підйому вантажу із кратністю поліспада $u = 4$ наведена на рис. 3.1.

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сергієнко М.С.			РОЗДІЛ 3	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Стехно О.В.					22	52
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								

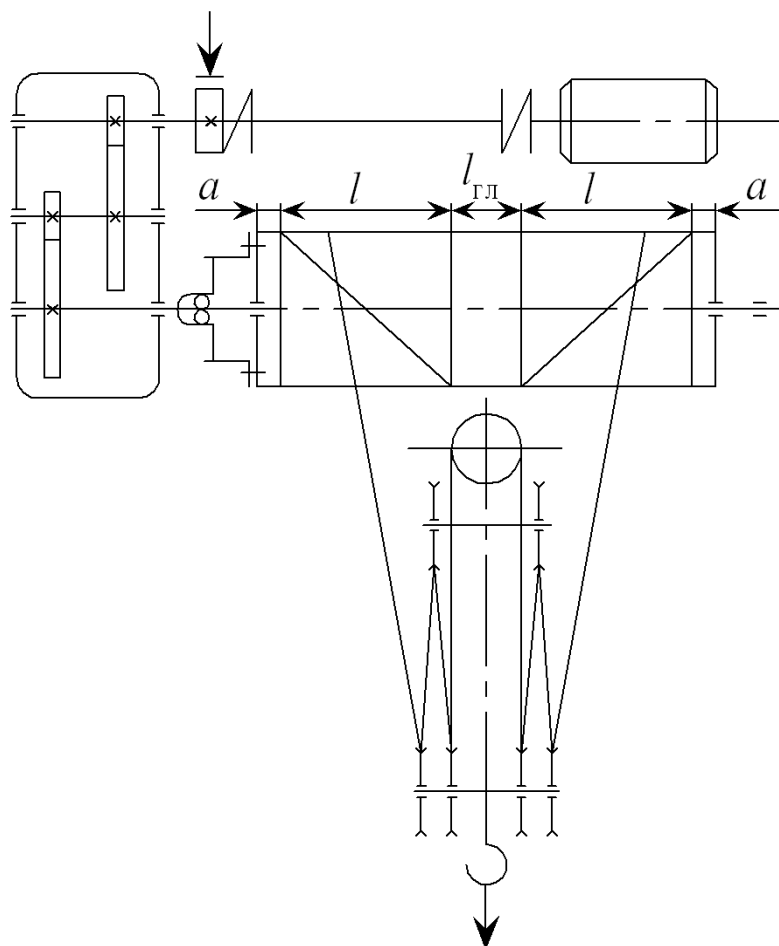


Рис. 3.1. Кінематична схема механізму підйому вантажу мостового крана

3.2. Розрахунок тягового каната механізму підйому вантажу мостового крана

Визначаємо мінімально можливий діаметр тягового каната d , мм за наступною залежністю:

$$d = N \cdot \sqrt{S} = 0.101 \cdot \sqrt{41841} = 20.66 \text{ мм}, \quad (3.1)$$

тут N мінімальний коефіцієнт вибору тягового каната механізму підйому вантажу; S максимальний натяг тягового каната у Н.

Виконаємо розрахунок значення величини S використовуючи наступну залежність:

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$C = \sqrt{\frac{Z_D}{K''} \cdot \frac{1}{R_0}} = \sqrt{\frac{5.6}{0.33 \cdot 1666}} = 0.101, \quad (3.2)$$

де K'' – емпіричний коефіцієнт мінімального розривного навантаження тягового каната досліджуваної конструкції; для звичайно застосовуваних у ВПМ канатів розмірами від 6х19 до 6х37 із органічним осердям він становить $K'' = 0,330$; з металевим осердям – $K'' = 0,356$ (див. ІСО 2408);

R_0 – мінімальна межа міцності на розтягання дротів тягового каната, Н/мм² (у вантажопідйомних машинах застосовують канати з $R_0 = 1568$ Н/мм² та $R_0 = 1666$ Н/мм²);

Z_P – мінімальний фактичний коефіцієнт використання, що залежить від класифікаційної групи (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Величина значення коефіцієнтів для Z_P

Класифікаційна група механізму підйому вантажу			Z_P
Режим роботи	за ІСО 4301 / 1	ГОСТ 25835	
Л	М1	1М	3,15
Л	М2	1М	3,35
Л	М3	1М	3,55
Л	М4	2М	4,0
Л	М5	3М	4,5
С	М6	4М	5,6
Т	М7	5М	7,1
ВТ	М8	6М	9,0

Максимальний натяг тягового каната визначається за наступною залежністю:

$$C = \frac{Q}{m \cdot \eta_i} = \frac{32000}{8 \cdot 0.9506_i} = 41841 \text{ Н}, \quad (3.3)$$

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де η_i ККД поліспада канатно блокової системи; m кількість відповідних ниток, на яких підвішений вантаж. Величина m визначається за наступною залежністю:

$$m = u \cdot a = 4 \cdot 2 = 8. \quad (3.4)$$

тут a загальна кількість ниток, які збігають із канатного барабана.

Визначимо ККД поліспада при збіганні тягового каната із рухомого канатного блоку:

$$\eta_n = \frac{1 - \eta_{\delta}^u}{(1 - \eta_{\delta}) \cdot u} = \frac{1 - 0.97^4}{(1 - 0.97) \cdot 4} = 0.956, \quad (3.5)$$

тут η_{δ} ККД канатного блока при урахуванні жорсткості тягового каната, який для блока на підшипниках кочення становить $\eta_{\delta} = 0.97 \dots 0.98$, а на підшипниках ковзання $\eta_{\delta} = 0.96 \dots 0.95$.

Для підйомних і тягових канатів при одношаровому навіванні й нарізних канавках рекомендуються канати типу ЛК-Р (6х19 ГОСТ 2688-80) та ЛК-З (6х25 ГОСТ 7665-80) при $D/d \geq 18$ у особливо обмежених габаритних умовах, а також ЛК-РО (6х36 ГОСТ 7668-80) при $D/d \geq 20 \dots 24$ в нормальних, а також $D/d \geq 16 \dots 18$ у особливо обмежених габаритних умовах, при, яких D діаметр барабана за віссю тягового каната.

Використаємо тяговий канат подвійної звивки дротів по типу ЛК-Р 6х19 із одним органічним осердям із діаметром 21 мм ГОСТ 2688-80. Розривне зусилля якого становить $F_p = 241000$ Н.

Виконаємо перевірку тягового каната на розривне зусилля:

$$F = S \cdot Z_p = 41811 \cdot 5.6 = 234310 \text{ Н}. \quad (3.6)$$

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті перевірки встановлено, що $F_p = 241000 > F = 234310 \text{ Н}$.

Умова міцності тягового каната на розривне зусилля виконується.

3.3. Розрахунок загальних розмірів канатного барабана механізму підйому вантажу мостового крана

Для початку проведемо розрахунки мінімального діаметра канатного барабана механізму підйому вантажу:

$$D_1 \geq h_1 \cdot d = 20 \cdot 21 = 420 \text{ мм.} \quad (3.7)$$

На наступному етапі виконаємо розрахунок відповідних барабанних блоків, за наступною залежністю:

$$D_2 \geq h_2 \cdot d = 22,4 \cdot 21 = 470,4 \text{ мм.} \quad (3.8)$$

На сам кінець розрахуємо діаметр вирівнювальних блоків, які виміряні по середині лінії тягового каната, що навивається за наступною залежністю:

$$D_3 \geq h_3 \cdot d = 16 \cdot 21 = 336 \text{ мм.} \quad (3.9)$$

В виразах (3.7) – (3.9) параметри h_1 , h_2 та h_3 , означають коефіцієнти вибору канатного барабана, блоків та вирівнювальних блоків відповідно.

Величини параметрів h_1 , h_2 та h_3 у залежності від груп механізмів наведено у таблиці 3.1.

Діаметр канатного барабана обираємо дещо більший, ніж розрахунковий, тому що чим він більший, тим менше зношуються тяговий канат та барабан. Однак при цьому не потрібно його занадто збільшувати, щоб значно не зростали габарити приводного механізму.

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3. Коефіцієнти вибору h_1 , h_2 та h_3 .

Класифікаційна група механізму	Коефіцієнти вибору діаметра		
	барабана h_1	блока h_2	блока h_3
1М	11,2	12,5	11,2
1М	12,5	14,0	12,5
1М	14,0	16,0	12,5
2М	16,0	18,0	14,0
3М	18,0	20,0	14,0
4М	20,0	22,4	16,0
5М	22,4	25,0	16,0
6М	25,0	28,0	18,0

Обираємо $D_1 = 525$ мм, $D_2 = 525$ мм, $D_3 = 420$ мм.

Форму і відповідні розміри профілю канавки при вертикальному положенні блока беремо за даними, наведеними за наступним посиланням [r].

Блоки виготовляють із сірого чавуну марок СЧ 415-32, СЧ 418-36, сталі марки 45Л, магнієвого сплаву марки МЛ-5-Т4.

У рамках кваліфікаційної роботи застосуємо чавун СЧ 415-32.

Сумарна довжина канатного барабана (рис. 3.1) становить:

$$L_6 = 2l + l_{\text{гл}} + 2a, \quad (3.10)$$

тут l довжина нарізки на одній половині канатного барабана; $l_{\text{гл}}$ довжина ненарізаної частини канатного барабана між гілками правої й лівої нарізок, мм; a довжина частини канатного барабана, що необхідна для закріплення кінця тягового каната, (застосуємо не менш 3÷4 кроків від нарізки).

Визначимо кількість витків нарізки на одній половині канатного барабана:

$$Z = \frac{H \cdot u}{\pi \cdot D_1} + (1,5 \dots 2) = \frac{12 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,525} + 2 = 31,12, \quad (3.11)$$

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де 1,5...2 кількість запасних витків, необхідних для зменшення натягу тягового каната в місці його кріплення до канатного барабана.

Для даного розрахунку застосуємо $Z = 31$.

У такому випадку

$$l = Z \cdot t = 31 \cdot 24 = 744 \text{ мм}, \quad (3.12)$$

тут t є крок нарізки, що призначається залежно від діаметра канатного каната.

При $d = 21$ мм $t = 24$ мм.

Довжина середньої ненарізаної частини канатного барабана $l_{\text{гл}}$ залежить від відстані між осями канавок крайніх блоків підвіски b , від довжини між осями канатного барабана та блоків підвіски в її крайньому верхньому положенні h_{min} і припустимого кута відхилення каната від вертикалі α :

$$l_{\text{гл}} = b - h_{\text{min}} \cdot \text{tg} \alpha \text{ мм}. \quad (3.13)$$

Так як величина h_{min} може бути визначена тільки після закінчення компоновки вантажного візка, то попередньо можна застосовувати довжину $l_{\text{гл}} = b = 200$ мм, що забезпечить нормальне набігання канату в самому верхньому положенні підвіски.

Загальна довжина канатного барабана визначається за формулою:

$$l_{\text{о}} = 2 \cdot 744 + 200 + 8 \cdot 24 = 1880 \text{ мм}. \quad (3.14)$$

Відношення довжини канатного барабана до його діаметра повинне бути менше, ніж 3, для запобігання збільшенню згинального моменту канатного барабана. Якщо дане відношення більше, ніж 3, в такому випадку треба збільшити діаметр канатного барабана і перерахувати його довжину.

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Вибір електродвигуна приводу механізму підйому вантажу мостового крана та редуктора

Потужність електродвигуна, яка необхідна для підйому вантажу із сталою швидкістю $V_{\text{вант}}$, визначається за наступним виразом:

$$N = \frac{Q \cdot V_{\text{ВАНТ}}}{1000 \cdot 60 \cdot \eta_m} = \frac{32000 \cdot 10}{1000 \cdot 60 \cdot 0.9} = 59.26 \text{ кВт}, \quad (3.15)$$

де $\eta_m = 0.9$ ККД механізму підйому вантажу.

З каталогу обираємо найбільш близький двигун менший за потужністю із подальшою його перевіркою на тривалість пуску та за умовою нагріву.

Прийmemo електродвигун МТН 512-8, який має потужність $N = 45$ кВт при групі режиму роботи 4М, $n_{\text{дв}} = 695$ об/хв, максимальний момент на валу двигуна становить 1400 Н·м, момент інерції ротора $J_p = 1,45$ кг·м², діаметр вихідного вала $d = 70$ мм. Загальний вигляд обраного електродвигуна наведено на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Загальний вигляд електродвигуна МТН 512-8 механізму підйому вантажу

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для з'єднання електродвигуна із проміжним валом оберемо зубчасту муфту МЗ-2 з максимальним обертальним моментом 1400 Н·м, моментом інерції $J_m = 0,1195 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $d = 70 \text{ мм}$. Вибір муфти здійснюємо по крутному моменту електродвигуна й за діаметром його вихідного вала. Зображення зубчастої муфти МЗ-2 наведено на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Зображення зубчастої муфти МЗ-2

Редуктор для механізму підйому вантажу обираємо за числом обертів вхідного вала із урахуванням групи режиму роботи, потужності, що підводиться до редуктора, і передавального числа редуктора i_p (у даному випадку $n_{вх} = n_{дв}$):

$$i_p = \frac{n_n}{n_6} = \frac{695}{24.25} = 28.66, \quad (3.16)$$

де n_6 частота обертання барабана:

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_6 = \frac{V_{\text{ВАНТ}} \cdot u}{3.14 \cdot D_B} = \frac{10 \cdot 4}{3.14 \cdot 0.525} = 24.25. \quad (3.17)$$

За каталогом із умов компоновки механізму підйому вантажу обираємо редуктор Ц2-650 із передавальною потужністю 83,5 кВт при $n = 750$ об/хв, групі режиму роботи 4М, передаточному числі 32,42 із тихохідним валом за схемою М. Загальний вигляд редуктора Ц2-650, представлено на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Загальний вигляд редуктора Ц2-650

3.5. Перевірка електродвигуна механізму підйому вантажу

У період пуску електродвигун механізму підйому переборює статичний момент опору від вантажу та сил тертя у елементах механізму M_c , момент опору $M_{\text{ін.1}}$ від сил інерції поступально-рухомих мас та $M_{\text{ін.2}}$ від сил інерції обертально-рухомих мас привода:

$$M_n = M_c + M_{\text{ін.1}} + M_{\text{ін.2}}. \quad (3.18)$$

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_n = \frac{Q \cdot D_B}{2 \cdot u \cdot i_p \cdot n_m} = \frac{32000 \cdot 0.525}{2 \cdot 4 \cdot 32.42 \cdot 0.9} = 720 \text{ Нм.} \quad (3.19)$$

В рівнопришвидшеному режимі розгону динамічний момент буде становити:

$$M_{IH.1} = \frac{m_Q \cdot D_B \cdot V_{BAHT}}{2 \cdot u \cdot i_p \cdot n_m \cdot t_p} = \frac{3.14 \cdot 0.525 \cdot 0.192}{2 \cdot 4 \cdot 32.42 \cdot 0.9 \cdot 0.77} = 18.7 \text{ Нм.} \quad (3.20)$$

$$V_{BAHT} = \frac{\pi \cdot D_B \cdot n_1}{2 \cdot u \cdot i_p} = \frac{3.14 \cdot 0.525 \cdot 695}{60 \cdot 4 \cdot 32.42} = 0.147 \text{ м/с.} \quad (3.21)$$

тут V_{BAHT} швидкість підйому вантажу;

m_Q маса закріпленого вантажу;

t_p час розгону механізму до величини усталеного значення.

При виборі тривалості розгону приводу механізму необхідно зважати на рекомендації для пришвидшень: для кранів монтажних, що транспортують рідкі метали, $a \leq 0,1$ м/с; для кранів механіко-збиральних цехів $a \leq 0,2$ м/с; для кранів металургійних цехів $a \leq 0,5$ м/с; для грейферних кранів $a \leq 0,8$ м/с; для кранів, що виконують масові перевантажувальні роботи, $a \leq 0,6...0,8$ м/с:

$$t_p = \frac{V_{BAHT}}{a} = \frac{0.147}{6.2} = 0.74 \text{ с.} \quad (3.22)$$

$$M_{IH.2} = c \cdot \frac{J_1 \cdot n_1}{9.55 \cdot t_p} = c \cdot \frac{2.945 \cdot 695}{9.55 \cdot 0.74} = 348 \text{ Нм,} \quad (3.20)$$

тут $c = 1,15...1,25$ коефіцієнт, який враховує вплив маси приводу механізму підйому на другому, третьому валах тощо;

J_1 – момент інерції обертальних елементів приводу, що розташовані на першому валу (ротора двигуна J_p , з'єднувальної муфти J_{M1} та муфти з гальмівним шківом J_{M2}).

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для кранів вантажопідйомністю до 16 т можна орієнтовно взяти муфту з гальмівним шківом 300 мм, для більшої вантажопідйомності 400 мм. Момент інерції приводу становить:

$$J_1 = J_{\delta} + J_{i1} + J_{i2} = 1,45 + 0,1195 + 1,375 = 2,945 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (3.21)$$

$$M_i = 720 + 18,7 + 348 = 1087 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.22)$$

Номінальний момент двигуна на валу двигуна становить:

$$\dot{I}_i = 9550 \frac{N}{n} = 9550 \frac{45}{695} = 618 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.23)$$

Розрахунковий коефіцієнт перевантаження відносно номінального моменту на валу двигуна становить:

$$\Psi_{\delta} = \dot{I}_i / \dot{I}_i = 1087 / 618 = 1,76. \quad (3.24)$$

Допустимий коефіцієнт перевантаження становить:

$$\Psi_{\ddot{a}} = M_{i \cdot \max} / M_i = 1190 / 618 = 1,93, \quad (3.25)$$

де $M_{i \cdot \max} = 0,85 \cdot M_{\max} = 0,85 \cdot 1400 = 1190 \text{ Нм}$ максимальний пусковий момент у процесі розгону механізму підйому.

При правильному виборі двигуна $\Psi_{\delta} < \Psi_{\ddot{a}}$. Отже, двигун за пусковим режимом вибраний правильно.

Усі двигуни, крім двигунів постійного струму послідовного та змішаного збудження, перевіряються на нагрів за еквівалентним середньоквадратичним моментом:

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\dot{I}_{\dot{a}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot (t_{\delta 1} + t_{\delta 2} + t_{\delta 3}) + t_{\delta} \cdot (M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 + M_4^2)}{\ddot{I} \cdot \hat{A} \cdot t_{\delta}}}, \quad (3.26)$$

тут t_{p1}, t_{p2} час розгону при підйомі вантажу та вантажозахоплювального органу відповідно; t_{p3}, t_{p4} час розгону при опусканні вантажу та вантажозахоплювального пристрою відповідно; t_y середня тривалість роботи електродвигуна у секундах із відповідною усталеною швидкістю; M_1, M_2 обертальні моменти на валу електродвигуна при підйомі номінальної ваги закріпленого вантажу, вантажозахоплювального пристрою; M_3, M_4 обертальні моменти на валу електродвигуна під час опускання вантажу і вантажозахоплювального пристрою відповідно; ПВ відносна тривалість вмикання (1М-3М – ПВ-15 %; 4М-25 %; 5М-40 %; 6М-60 %); $t_{\text{ц}}$ середня тривалість циклу роботи механізму підйому.

Відносна середня тривалість робочого циклу мостових кранів може бути наступною: для цехів механічних 145...240 с; збиральних 120...145 с; ремонтних 180...240 с; ливарних 120...145 с.

Обертальний момент у процесі підйому номінального вантажу становить:

$$M_1 = M_c = 720 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.27)$$

Обертальний момент під час процесу підйому вантажозахоплювального пристрою визначається за наступним виразом:

$$\dot{I}_2 = \frac{G \cdot D_{\dot{a}}}{2 \cdot u \cdot i_D \cdot \eta'_i} = \frac{16000 \cdot 0,525}{2 \cdot 4 \cdot 32,42 \cdot 0,5} = 64,8 \text{ Ї} \cdot \dot{\text{і}}, \quad (3.28)$$

де G вага вантажозахоплювального пристрою: $G = 0,05Q = 0,05 \cdot 320000 = 16000 \text{ Н}$.

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η'_m ККД частково навантаженого механізму підйому вантажу (прийmemo $\eta'_m = 0,5$).

Обертальний момент під час процесу опускання номінального вантажу становить:

$$\dot{I}_3 = \frac{Q \cdot D_a \cdot \eta_i}{2 \cdot u \cdot i_\delta} = \frac{320000 \cdot 0,525 \cdot 0,9}{2 \cdot 4 \cdot 32,42} = 583 \text{ Ї} \cdot \text{і} . \quad (3.29)$$

У процесі опускання вантажозахоплювального пристрою номінальний момент становить:

$$\dot{I}_4 = \dot{I}_{\text{оадо}} - \frac{G \cdot D_a}{2 \cdot u \cdot i_\delta} = 32,4 - \frac{16000 \cdot 0,525}{2 \cdot 4 \cdot 32,42} = 0, \quad (3.30)$$

де $M_{\text{терт}}$ момент від сил тертя в механізмі підйому вантажу:

$$\dot{I}_{\text{оадо}} = \dot{I}_2 \cdot (1 - \eta'_i) = 64,8 \cdot (1 - 0,5) = 32,4 \text{ Ї} \cdot \text{і} . \quad (3.31)$$

Тривалість розгону системи до номінальної швидкості складає:

$$\begin{aligned} t_{\delta 1} &= \frac{1}{M_i - M_n} \cdot \left[(1,1 \dots 1,2) \cdot \frac{J_1 \cdot n_{\text{аа}}}{9,55} + \frac{Q \cdot D_a^2 \cdot n_{\text{аа}}}{38,2 \cdot i_\delta^2 \cdot u^2 \cdot \eta_i} \right] = \\ &= \frac{1}{1087 - 720} \cdot \left[1,2 \cdot \frac{2,945 \cdot 695}{9,55} + \frac{320000 \cdot 0,525^2 \cdot 695}{38,2 \cdot 32,42^2 \cdot 4^2 \cdot 0,9} \right] = 0,99 \text{ с} \end{aligned} \quad (3.32)$$

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$t_{\delta 2} = \frac{1}{1087 - 64,8} \cdot \left[1,2 \cdot \frac{2,954 \cdot 695}{9,55} + \frac{16000 \cdot 0,525^2 \cdot 695}{38,2 \cdot 32,42^2 \cdot 4^2 \cdot 0,5} \right] = 0,26 \text{ с}; \quad (3.33)$$

$$t_{\delta 4} = \frac{1}{1087} \cdot \left[1,2 \cdot \frac{2,954 \cdot 695}{9,55} + \frac{16000 \cdot 0,525^2 \cdot 695}{38,2 \cdot 32,42^2 \cdot 4^2 \cdot 0,5} \right] = 0,25 \text{ с}. \quad (3.34)$$

Час пуску при процесі опускання вантажу заданої маси $t_{\delta 3}$ візьмемо умовно таким, який дорівнює нулю через дії великого рухомого моменту, який дорівнює сумі максимального моменту електродвигуна та моменту від вантажу на гнучкому підвісі.

$$\dot{I}_{\text{а}} = \sqrt{\frac{1087^2 (0,99 + 0,26 + 0,25) + 10,93(720^2 + 64,8^2 + 583^2)}{0,25 \cdot 200}} = 473 \text{ А}. \quad (3.35)$$

Визначимо середню тривалість усталеної роботи електродвигуна із постійною швидкістю за одну операцію, що становить:

$$t_{\text{с}} = \frac{t_{\text{в}} \cdot \dot{I}_{\text{а}} - (t_{\delta 1} + t_{\delta 2} + t_{\delta 3}) - 4t_{\text{аае}}}{4} = \quad (3.36)$$

$$= \frac{200 \cdot 0,25 - (0,99 + 0,26 + 0,25) - 4 \cdot 1,2}{4} = 10,93 \text{ с},$$

де $t_{\text{гал}}$ час гальмування механізму, застосуємо в попередньому розрахунку для групи режиму роботи 1М÷3М 1 с, 4М 1,2 с, 5М÷6М 1,5 с.

Еквівалентна потужність електродвигуна становить:

$$N_{\text{а}} = \frac{M_{\text{а}} \cdot n_{\text{аа}}}{9550} = \frac{473 \cdot 695}{9550} = 34,4 \text{ кВт}. \quad (3.37)$$

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір двигуна вважається задовільним, якщо $N_e < N_{дв}$:

$$N_e = 34,4 \text{ кВт} < N_{дв} = 45 \text{ кВт}. \quad (3.38)$$

Умова при виборі електродвигуна виконується.

3.6. Вибір гальмівного пристрою механізму підйому вантажу

Гальмівний момент механізму підйому вантажу мостового крана становить:

$$M_{галь} = k_{галь} \cdot M_{с} = 1,75 \cdot 583 = 1020 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.39)$$

тут $k_{галь}$ коефіцієнт запасу гальмування (для групи режиму роботи механізму підйому вантажу становить 1М...3М 1,5; 4 М 1,75; 5М 2; 6М 2,5).

За одержаним значенням (3.39) обираємо гальмівний механізм ТКТГ 400, який здатний розвивати гальмівний момент до 1500 Нм. Загальний вигляд гальмівного механізму наведено на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Загальний вигляд гальмівного механізму ТКТГ 400

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Для з'єднання швидкохідного вала редуктора з проміжним валом застосуємо зубчасту муфту МЗ-4 з гальмівним шківом 400 мм, яка може передати обертальний момент 5750 Нм. Загальний вигляд якої наведено на рис. 3.6.



Рис. 3.6. Загальний вигляд муфти МЗ-4

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЗАХОДИ ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ МОСТОВОГО КРАНА

4.1. Загальні положення із техніки безпеки при роботі мостового крана

Організація охорони праці під час використання мостового крана є ключовою складовою безпечного виконання вантажопідіймальних робіт, особливо на будівельних майданчиках промислового та аграрного призначення. Формування ефективної системи безпеки передбачає не лише дотримання встановлених технічних вимог, але й системне впровадження норм охорони праці, а також якісну підготовку працівників, які обслуговують і експлуатують кранове обладнання [9-10].

Відповідно до вимог безпеки, до роботи з мостовим краном допускаються виключно працівники, які пройшли спеціалізоване навчання, мають чинне посвідчення, успішно пройшли медичний огляд та повністю засвоїли інструкції з охорони праці. Оператор крана повинен добре орієнтуватися в технічних характеристиках обладнання, а також чітко знати порядок безпечного запуску, зупинки та особливості експлуатаційних режимів [9-10].

Перед початком кожної робочої зміни обов'язково проводиться огляд технічного стану крана як візуально, так і шляхом перевірки його основних функцій. Особливій перевірці підлягають основні вузли: підйомна лебідка, гальмівна система, електродвигун, редуктор, а також пристрої, що обмежують вантажопідіймальність тощо [9-10].

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Сергієнко М.С.			РОЗДІЛ 4				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Стехно О.В.									39	52
Реценз.									НУБіП України			
Н. Контр.		Ловейкін В.С.										
Затверд.												

Окрему увагу приділяють стану сталевих канатів, правильності їх намотування на канатний барабан, відсутності пошкоджень гака та надійності його замкового механізму [9-10].

Організація охорони праці на будівельних майданчиках, де використовується мостовий кран, повинна базуватися на врахуванні планування розміщення відповідної будівельної техніки, забезпеченні безперешкодного руху транспортних засобів, чіткому позначенні небезпечних зон, а також впровадженні ефективної системи попереджувальних сигналів. Для недопущення потрапляння сторонніх осіб до зони роботи крана, ділянки переміщення вантажів підлягають обов'язковому огороженню згідно з вимогами проекту організації будівництва [9-10].

Кожен мостовий кран має бути забезпечений експлуатаційною інструкцією, яка затверджується відповідальним технічним керівництвом підприємства. Машиніст крана повинен мати постійний доступ до документації, що містить дані про допустимі навантаження, регламент змащування, порядок проведення технічного обслуговування, періодичність оглядів та перелік дозволених ремонтних робіт. Усі випадки виникнення аварійних або позаштатних ситуацій підлягають обов'язковій фіксації з подальшим аналізом причин їх виникнення та розробкою профілактичних заходів [9-10].

Щодо технічного обслуговування, воно передбачає регулярну перевірку складових систем, особливо в умовах змінних кліматичних факторів, підвищених навантажень та вібраційних впливів.

Металеві конструкції крана повинні своєчасно очищатися від слідів корозії, тріщин, деформацій і забруднень мастильними матеріалами. Рухомі вузли необхідно систематично змащувати, а у разі виявлення зношених елементів здійснювати їх заміну відповідно до встановлених технічних характеристик [9-10].

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливе значення має контроль справності електричних систем крана. Усі електричні з'єднання повинні виконуватися відповідно до діючих електромонтажних норм і стандартів, ізоляція кабелів має бути неушкодженою, а система заземлення справною і надійною. Експлуатація крана суворо забороняється у разі виявлення іскріння, перегріву електрообладнання, сторонніх шумів в роботі електродвигунів або появи запаху перегрітої ізоляції [9-10].

Для забезпечення ефективної взаємодії між оператором крана та працівниками, що знаходяться на землі, використовуються уніфіковані сигнали управління. Вони можуть передаватися як за допомогою радіозв'язку, так і через візуальні засоби комунікації. Усі учасники вантажопідіймального процесу зобов'язані використовувати єдину систему сигналів, що дозволяє уникнути неправильного трактування команд та забезпечує узгодженість і безпеку виконання робіт [9-10].

До функціональних обов'язків особи, відповідальної за охорону праці, належить організація регулярного проведення інструктажів, контроль рівня засвоєння працівниками правил техніки безпеки, а також нагляд за дотриманням встановленого порядку експлуатації кранового обладнання.

Усі заходи повинні здійснюватися відповідно до вимог чинного законодавства України, зокрема нормативних документів ДНАОП, ДСТУ, ГОСТ та інших регламентів, що визначають правила безпечної роботи вантажопідіймальних машин та механізмів.

Важливе місце займає належна організація дій у разі виникнення аварійних або надзвичайних ситуацій. Машиніст крана повинен чітко знати алгоритм дій при відмові гальмівної системи, обриві вантажного каната, втраті керування мостовим механізмом або появі ознак задимлення електрообладнання. Крім того, усі працівники мають бути проінформовані щодо порядку евакуації, розташування засобів пожежогасіння, аптечок першої допомоги, аварійних виходів та електрощитових [9-10].

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2. Попередній огляд технічного стану та кранового обладнання

Попередній технічний огляд та перевірка працездатності кранового обладнання є обов'язковою складовою підготовчого етапу перед його введенням в експлуатацію, особливо під час виконання технологічних робіт на об'єктах спеціального призначення. Комплекс контрольних заходів, що здійснюється до запуску мостового крана, включає всебічну оцінку його механізмів, вузлів і конструктивних елементів, які визначають безпечність роботи підйомного обладнання [9-10].

На початковому етапі здійснюється перевірка загального стану металевих конструкцій, зокрема моста.

Візуальний огляд доповнюється контролем зварних з'єднань, болтових кріплень, а також стану антикорозійного покриття. Елементи, що мають ознаки зносу, деформації або пошкодження, підлягають обов'язковій заміні до початку експлуатації [9-10].

Далі проводиться діагностика підйомного механізму, до складу якого входять електродвигун, редуктор, гальмівна система та барабан зі сталевим канатом. Під час перевірки електродвигуна оцінюється відсутність сторонніх шумів, перегріву та стабільність роботи. Окремо контролюється стан підшипників і наявність достатнього змащення. Гальмівний вузол повинен забезпечувати надійну фіксацію барабана після вимкнення живлення без самовільного прокручування [9-10].

Редукторний механізм перевіряється на відсутність люфтів у зубчастих передачах, герметичність корпусу та рівень мастила. Поява витоків оливи може свідчити про зношення ущільнювальних елементів або надмірні навантаження в процесі попередньої експлуатації. Канатний барабан повинен забезпечувати рівномірне укладання каната по всій ширині, а сам сталевий трос має бути без обривів, заломів, розпускання та корозійних пошкоджень. Кількість обірваних дротів не повинна перевищувати допустимі значення, встановлені нормами безпеки.

					01.09.КР.1044"С"2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступним кроком є перевірка систем автоматичного захисту, включаючи обмежувачі вантажопідймальності, кінцеві вимикачі, пристрої обмеження висоти підйому та сигнальні системи. Ці елементи відіграють важливу роль у запобіганні перевантаженню конструкції, неконтрольованому руху вантажу або виходу моста за допустимі межі. Їх налаштування має відповідати технічній документації та умовам конкретного монтажного майданчика [9-10].

Окрему увагу приділяють перевірки електричної частини мостового крана. До неї входять кабельні лінії, пульти керування, комутаційні пристрої, система заземлення та аварійного відключення живлення. Ізоляція проводів повинна бути цілою, без механічних пошкоджень і слідів перегріву. Аварійна система зупинки повинна спрацьовувати миттєво та надійно, незалежно від режиму роботи обладнання.

Також перевіряється справність системи зв'язку між оператором крана та працівниками на землі. Використовувані сигнали радіо або візуально-акустичні мають бути чіткими, однозначними та зрозумілими для всіх учасників процесу. За відсутності стабільного зв'язку або взаєморозуміння запуск мостового крана забороняється [9-10].

Важливою частиною огляду є оцінка стану підкранових шляхів і монтажного майданчика. Поверхня повинна бути рівною, щільною та без просідань або перепадів висоти, які можуть спричинити порушення стабілізації крана або виникнення додаткових навантажень. Також перевіряється наявність заземлення.

Під час підготовки до роботи перевіряється наявність усієї необхідної технічної документації, включаючи сертифікати відповідності та акти випробувань. Відсутність таких документів є підставою для заборони експлуатації обладнання.

Завершальним етапом є пробний запуск механізму підйому без вантажу. Така перевірка дозволяє виявити можливі вібрації, сторонні шуми, заклинювання або нестабільність роботи вузлів. Також оцінюється плавність

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи механізмів, реакція на команди керування та коректність усіх функціональних режимів [9-10].

4.3. Основні вимоги до організації безпечного робочого простору на майданчику

Формування безпечного робочого середовища на майданчику є однією з основних передумов ефективного використання підйомно-транспортного обладнання, зокрема мостових кранів, що застосовуються в аграрній сфері.

Дотримання вимог нормативно-технічної документації з охорони праці дозволяє суттєво знизити ризик виробничого травматизму та забезпечити стабільну роботу техніки в межах встановлених навантажень.

Першочерговим заходом є чітке функціональне зонування території майданчика. Необхідно виокремити зони роботи мостового крана, складування матеріалів, переміщення працівників та транспортні маршрути. Межі цих ділянок повинні бути чітко позначені за допомогою огорожень, сигнальних стрічок, дорожніх знаків і захисних конструкцій. Доступ сторонніх осіб до зон виконання вантажопідіймальних робіт або монтажу обладнання має бути суворо обмежений відповідно до вимог безпеки [9-10].

Важливою умовою безпечної експлуатації мостового крана є належний стан будівлі для його встановлення. Організація руху на будівельному майданчику повинна враховувати логістику переміщення вантажів. Маршрути транспортування слід планувати таким чином, щоб мінімізувати перетин із пішохідними зонами та шляхами пересування персоналу. Перевага надається прямолінійним маршрутам із хорошою видимістю та мінімальною кількістю поворотів. У місцях перетину потоків встановлюються попереджувальні знаки та сигнальні пристрої.

Окрему увагу слід приділити організації простору проліту моста крана. Необхідно дотримуватися нормативних безпечних відстаней до будівель, інженерних мереж, інших кранів і працівників. У випадках, коли повне

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дотримання відстаней є неможливим, застосовуються додаткові технічні засоби безпеки, кінцеві вимикачі або дистанційні системи блокування.

Роботи повинні виконуватися за умови достатнього рівня освітлення. У вечірній або нічний час, а також за недостатньої природної освітленості необхідно використовувати стаціонарні або переносні джерела світла. При цьому освітленість робочих поверхонь повинна відповідати нормативним вимогам, що забезпечують безпечне виконання вантажних операцій. Оператор мостового крана має чітко контролювати положення вантажу, гака та рух персоналу в небезпечній зоні [9-10].

З метою зниження ризиків, пов'язаних із погодними умовами, доцільно здійснювати постійний моніторинг метеорологічних показників. У разі перевищення допустимої швидкості вітру або інших несприятливих умов роботи крана всі вантажопідіймальні операції мають бути негайно припинені, а обладнання переведене у безпечний стан.

На будівельному майданчику також повинні бути організовані засоби аварійного доступу, пункти пожежогасіння, аптечки першої допомоги та чітко визначені евакуаційні шляхи. Усі ці елементи необхідно маркувати відповідно до вимог нормативних документів, зокрема стандартів кольорового та знакового позначення безпеки [9-10].

Працівники мають бути забезпечені повним комплектом засобів індивідуального захисту, включаючи каски, захисне взуття, рукавиці, сигнальні жилети та інші необхідні засоби залежно від характеру виконуваних робіт. Перебування на майданчику без відповідного захисного екіпірування не допускається. Крім того, всі працівники повинні пройти інструктаж з охорони праці з обов'язковою фіксацією результатів у відповідному журналі.

Важливим елементом безпечної організації робіт є дотримання вимог до технічного обслуговування обладнання. Повинен бути забезпечений доступ до систем електроживлення, заземлення та захисту від перенапруг і коротких замикань. Підключення електрообладнання допускається лише через сертифіковані захисні пристрої.

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Сучасний підхід до безпеки передбачає використання систем дистанційного контролю параметрів роботи крана, таких як навантаження, положення візка та вібраційні навантаження. Інформація з таких систем повинна бути доступною як оператору, так і відповідальним особам служби охорони праці, а також зберігатися для подальшого аналізу.

Крім виробничих зон, важливо передбачити належні санітарно-побутові умови для працівників. На території будівництва мають бути облаштовані місця для відпочинку, прийому їжі, санітарні вузли та приміщення для зберігання одягу [9-10].

Усі ці об'єкти повинні відповідати санітарним нормам, бути захищеними від впливу зовнішнього середовища та забезпечувати належний рівень комфорту.

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ

Проведемо розрахунок економічної ефективності для розробленої конструкції механізму підйому вантажу мостового крана. На початку розрахунку занесемо до таблиці 5.1, відповідні вихідні дані для розрахунку.

Таблиця 5.1. Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Вантажопідіймальність, т	32
Швидкість підйому, м/хв	10
Потужність електродвигуна, кВт	45
Річний фонд праці	2500
Маса механізму	5000
ККД базового механізму	0.89
ККД розробленого механізму	0,90
Вартість електроенергії, кВт · год/грн	6

Визначення загальної вартості виготовлення для машинобудівних виробів на стадії дипломного проектування, відбувається через сумарну масу конструкції.

Приймемо середньо вартість виготовлення:

$$C_m = 180, \text{ грн/кг.} \quad (5.1)$$

В такому випадку вартість розробленого механізму буде становити:

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Сергієнко М.С.			РОЗДІЛ 5				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Стехно О.В.									47	52
Реценз.									НУБіП України			
Н. Контр.		Ловейкін В.С.										
Затверд.												

$$C_2 = 5000 \cdot 180 = 900000, \text{ грн.} \quad (5.2)$$

Для аналога серійного виробництва приймаємо:

$$C_1 = 780000, \text{ грн} \quad (5.3)$$

Розрахуємо додаткові капіталовкладення:

$$K = C_2 - C_1 = 900000 - 780000 = 120000, \text{ грн.} \quad (5.4)$$

Проведемо розрахунок річного споживання електроенергії.

Для базового механізму становить:

$$W_1 = N \cdot t = 45 \cdot 2500 = 112500, \text{ кВт/год.} \quad (5.5)$$

Для розробленої конструкції механізму становить:

$$W_2 = W_1 \cdot 0.82/0.90 = 112500 \cdot 0.82/0.90 = 102500, \text{ кВт/год.} \quad (5.6)$$

Економія електроенергії становить:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 112500 - 102500 = 10000, \text{ кВт/год.} \quad (5.7)$$

Сумарна економія електроенергії становить:

$$E_c = \Delta W \cdot T = 10000 \cdot 6 = 60000, \text{ кВт/год.} \quad (5.8)$$

Сумарна економія витрат на ремонт становить за рахунок:

- зниження навантаження на редуктор;

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- застосування покращених підшипників;
- оптимізації канатного поліспаста;
- зменшення динамічних навантажень.

Приймаємо економію:

$$Er = 25000, \text{ грн/рік.} \quad (5.9)$$

Загальний річний економічний ефект становить:

$$E = Ec + Er = 25000 + 6000 = 85000, \text{ грн/рік.} \quad (5.10)$$

Сумарний термін окупності становить:

$$T_{ок} = K/E = 120000/85000 = 1.4 \text{ року.} \quad (5.11)$$

При цьому коефіцієнт економічної ефективності складає:

$$E_k = 1/ T_{ок} = 1/1.4 = 0.71 = 71 \%. \quad (5.12)$$

У результаті розробленої конструкції механізму підйому вантажу мостового крана вантажопідйомністю 32 т досягнуто підвищення ККД з 0,82 до 0,90 і зниження експлуатаційних витрат.

Річний економічний ефект становить 85 тис. грн. Додаткові капітальні вкладення складають 120 тис. грн. Термін окупності проєкту дорівнює 1,41 року, що є хорошим показником для вантажопідіймального обладнання.

Отриманий коефіцієнт економічної ефективності 0,71 підтверджує економічну доцільність впровадження розробленої конструкції.

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Бакалаврська кваліфікаційна робота тема якої «Розробка конструкції роботизованого механізму підйому вантажу мостового крана» представлена у п'яти розділах розрахунково пояснювальної записки.

У розділі один представлено класифікацію сучасних типів мостових кранів їх призначення, режими роботи та сфера безпосереднього використання. Окрім того наведено типові конструкції кінематичних схем приводних механізмів підйому вантажу мостових кранів.

У два розділі наведено розробку конструкції приводного механізму підйому вантажу мостового крана. Запропоновано розробити конструкцію приводного барабана механізму підйому вантажу, яка дає змогу утворити відповідний пружний зв'язок між компонентами його складових частин у результаті чого відбувається зменшення небажаних динамічних навантажень у конструкції механізму підйому під час перехідних процесів руху.

В розділі три виконано розрахунок конструкції роботизованого механізму підйому вантажу мостового крана. Виконано кінематичний розрахунок, розрахунок тягового каната за результатами якого обрано канат ЛК-Р 6х19. Проведено розрахунок загальних розмірів канатного барабана, вибір електродвигуна, редуктора, муфт та конструкції гальмівного механізму.

У четвертому розділі наведено заходи охорони праці під час експлуатації механізму підйому вантажу мостового крана. Представлено загальні положення техніки безпеки, рекомендації із попереднього огляду крана, основні вимоги до організації безпечного робочого простору тощо.

У розділі п'ять виконано техніко-економічне обґрунтування розробленої роботизованої конструкції механізму підйому вантажу мостового крана. Встановлено, що максимальний термін окупності складає 1.4 роки.

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Сергієнко М.С.			ВИСНОВКИ				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Стехно О.В.									50	52
Реценз.									НУБіП України			
Н. Контр.		Ловейкін В.С.										
Затверд.												

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вантажопідйомні машини : навч. посіб. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/34643> (дата звернення: 21.04.2026).
2. Будівельні крани (конструкції, технічні характеристики, вибір та експлуатація). URL: <https://pgasa.dp.ua/literatures/zbirniki-naukovih-prats-erm/> (дата звернення: 20.04.2026).
3. Інтернет ресурс – [https://uk.wikipedia.org/wiki/Мостовий кран](https://uk.wikipedia.org/wiki/Мостовий_кран).
4. Атлас конструкцій підйомно-транспортних машин. Навчальний посібник. Ч.І. Крани і кранові механізми. Харків 2008.
5. Моделювання динаміки механізмів вантажопідйомних машин. [Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Діктерук М.Г., Пастушенко С.І.]. Київ-Миколаїв: РВВ МДАУ, 2004. С. 286.
6. Механізм підйому вантажопідйомного крана для транспортування довгомірних вантажів: пат. 67732 Україна. № 201106991; заявл. 03.06.2011; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5. 3 с.
7. Механізм підйому ливарного крана: пат. 87867 Україна. № 201309649; заявл. 02.08.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4. 4 с.
8. Канатний барабан із пружними вставками: пат. 147361 Україна. № 202003663; заявл. 18.06.2020; опубл. 06.05.2021, Бюл. № 18. 4 с.
9. Крайнюк О. В., Богатов О. І. Охорона праці : навч. посіб. Харків : ХНАДУ, 2022. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/edac2a33-3001-41c2-8f82-4a6e8ab5a9cd> (дата звернення: 21.05.2026).
10. Вимоги охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів. URL: <https://pro-op.com.ua/article/930-pravila-ohoroni-prats-pd-chas-ekspluatats-vantajopdymalnih-kranv> (дата звернення: 21.05.2026).

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Сергієнко М.С.						
Перевір.		Стехно О.В.					51	52
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								

ДОДАТКИ

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.036.ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Сергієнко М.С.			ДОДАТКИ				Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Стехно О.В.									52	52
Реценз.									НУБіП України			
Н. Контр.		Ловейкін В.С.										
Затверд.												