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 МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ 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 _____ Сушко Максим Віталійович

Київ – 2026

Додаток Д

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ 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)
“____” _____2026 р.

З А В Д А Н Н Я
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Сушко Максим Віталійович
(прізвище, ім’я, по батькові)

Спеціальність 133- Галузеве машинобудування
(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи
Розробка конструкції механізму переміщення мостового крана

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

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 28.05.2026
(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 _____ Сушко М. В..

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ……..…..5
ВСТУП……..……6
РОЗДІЛ 1. Аналіз конструкцій мостових кранів та існуючих різновидів механізмів переміщення вантажу ……8
1.1. Узагальнена характеристика мостових кранів……..8
1.2. Конструкції сучасних мостових кранів……9
1.3. Основні конструктивні компоненти мостових кранів……11
1.4. Режими експлуатації кранів мостового типу……..12
1.5 Аналіз конструктивних типів механізмів переміщення мостових кранів…….13
1.6. Різновиди конструктивних особливостей ходових коліс механізмів переміщення мостових кранів……15
1.7. Причини та типи зношування ходових коліс механізмів переміщення мостових кранів……16
РОЗДІЛ 2. Розробка конструкції ходових коліс механізму переміщення вантажу мостового крана……..20
РОЗДІЛ 3. Технологічний розрахунок конструкції механізму переміщення мостового крана…… 22
3.1. Підбір схеми механізму переміщення мостового крана кінематичної для проведення розрахунку……22
3.2. Дослідження величини сили опору переміщення мостового крана…….23
3.3 Розрахунок необхідної потужності двигуна приводу механізму переміщення і підбір відповідного редуктора……..……..24
3.4. Перевірка обраного двигуна механізму переміщення мостового крана на нагрів…….28
3.5. Вибір конструкції гальмівного пристрою механізму переміщення мостового крана……..32
3.6. Перевірка зчеплення ходових коліс механізму переміщення мостового крана із напрямною рейкою……..34
3.7. Розрахунок ходових коліс механізму переміщення мостового крана……..37
РОЗДІЛ 4 Заходи охорони праці під час експлуатації механізму переміщення мостового крана……..39
4.1. Забезпечення безпеки при експлуатації мостового крана…….39
4.2. Заходи безпеки праці при роботі крана мостового типу……40
4.3. Засоби попередження для обслуговуючого персоналу……..41
4.4. Техніка пожежної безпеки при роботі механізму переміщення мостового крана……..41
4.5. Характеристика електрообладнання при роботі механізму переміщення мостового крана……42
4.6. Освітленість при роботі механізму переміщення мостового крана…….…43
РОЗДІЛ 5 Техніко-економічна оцінка розробленого механізму переміщення мостового крана……..47
ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ…….50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……51
ДОДАТКИ……52

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота та тему: «Розробка конструкції механізму переміщення мостового крана» складається із п’яти розділів (5), що розміщені на п’ятдесяти двох (52) сторінках друкованого тексту формату А4, двадцяти (20) рисунків, однієї (1) таблиці, висновків та одинадцяти (11) джерел використаної літератури, додатків, а також графічної частини.

Розрахунково – пояснювальна записка містить наступні розділи:

- Вступ.
- Аналіз конструкцій мостових кранів та існуючих різновидів механізмів переміщення вантажу.
- Розробка конструкції ходових коліс механізму переміщення вантажу мостового крана.
- Технологічний розрахунок конструкції механізму переміщення мостового крана.
- Заходи охорони праці під час експлуатації механізму переміщення мостового крана.
- Техніко-економічна оцінка розробленого механізму переміщення мостового крана.
- Висновки.
- Список використаних джерел.

Галуззю використання розробленої конструкції є вантажопідіймальне машинобудування.

Ключові слова: мостовий кран, ходові колеса, металоконструкція, пружна вставка, розрахунок, техніка безпеки, економічна ефективність.

ВСТУП

Сучасні мостові крани є одними із базових видів підіймально-транспортуючого обладнання, яке забезпечує внутрішньоцехове та складське переміщення вантажів в широкому діапазоні мас та габаритів. Їх використання є критично важливим при безперервності виробничих процесів у сучасній промисловості, оскільки це дозволяє організувати швидке та контрольоване транспортування матеріалів між технологічними дільницями. В структурі такого обладнання ключову роль відіграє механізм переміщення мостового крана, який забезпечує його переміщення уздовж рейкових шляхів і формує основу просторової мобільності всієї системи.

В процесі експлуатації мостових кранів механізм переміщення зазнає значних статичних та динамічних навантажень, що виникають як під час пуску та гальмування, так і при русі із вантажем змінної маси та довжини гнучкого підвісу. Додаткові навантаження формуються через нерівності колій, перекоси ходових коліс, інерційні аспекти масивних металоконструкцій та коливання вантажу. Всі ці показники висувають підвищені вимоги до точності виготовлення, жорсткості конструкції, якості привідних систем та надійності відповідних ходових елементів. Недостатня ефективність механізму переміщення може призводити до підвищеного зносу рейок та коліс, зниження точності позиціонування крана, а також до виникнення аварійних ситуацій.

Сучасні тенденції розвитку підіймально-транспортуючої техніки спрямовані на вдосконалення кінематичних схем і впровадження більш ефективних приводних рішень, які забезпечують плавність руху, зменшення ударних навантажень та підвищення енергоефективності. Особливу увагу приділяють оптимізації конструкції ходових коліс, використанню частотно-регульованих електроприводів та систем синхронізації роботи двигунів.

Це дозволяє зменшити перекоси конструкції крана під час руху, підвищити стабільність його переміщення та знизити навантаження на несучі елементи. Важливим напрямом удосконалення механізмів переміщення є підвищення їх надійності й ремонтопридатності. Конструктивні рішення повинні забезпечувати простоту обслуговування, можливість швидкої заміни зношених вузлів та тривалий ресурс роботи без втрати експлуатаційних характеристик.

Актуальність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю вдосконалення конструкції механізму переміщення мостового крана з метою підвищення його експлуатаційної надійності, плавності руху та довговічності в умовах інтенсивного промислового використання. Сучасні виробничі умови вимагають від підіймально-транспортуючого обладнання стабільної роботи при змінних навантаженнях та високій інтенсивності експлуатації, що безпосередньо залежить від якості конструктивного виконання механізму переміщення.

Під час розробки конструкції необхідно враховувати комплекс відповідних факторів, що взаємопов’язані, зокрема розподіл навантажень на ходові елементи, умови взаємодії коліс із рейками, жорсткість металоконструкції крана та динамічні характеристики електроприводу. Раціональне поєднання конструктивних параметрів дозволяє забезпечити стабільний рух крана, зменшити рівень вібрацій і підвищити загальну ефективність його роботи в процесі експлуатації.

Отже, розробка конструкції механізму переміщення мостового крана є важливим інженерним завданням, спрямованим на підвищення технічного рівня підіймально-транспортуючого обладнання, покращення його експлуатаційних характеристик і забезпечення надійної роботи за умови сучасного агропромислового виробництва.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МОСТОВИХ КРАНІВ ТА ІСНУЮЧИХ РІЗНОВИДІВ МЕХАНІЗМІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ

1.1. Узагальнена характеристика мостових кранів

Мостові крани, є одними з найпоширеніших різновидів сучасних вантажопідіймального обладнання, що використовується в промисловості, цивільному будівництві, металургії, галузевому машинобудуванні, складських комплексах та відповідних транспортуючих вузлах. Основне призначення мостових кранів полягає в підійманні, переміщенні та опусканні закріплених на гнучкому підвісі вантажів. Загальний вигляд сучасного типу мостового крана, наведено на рис. 1.1 [1].

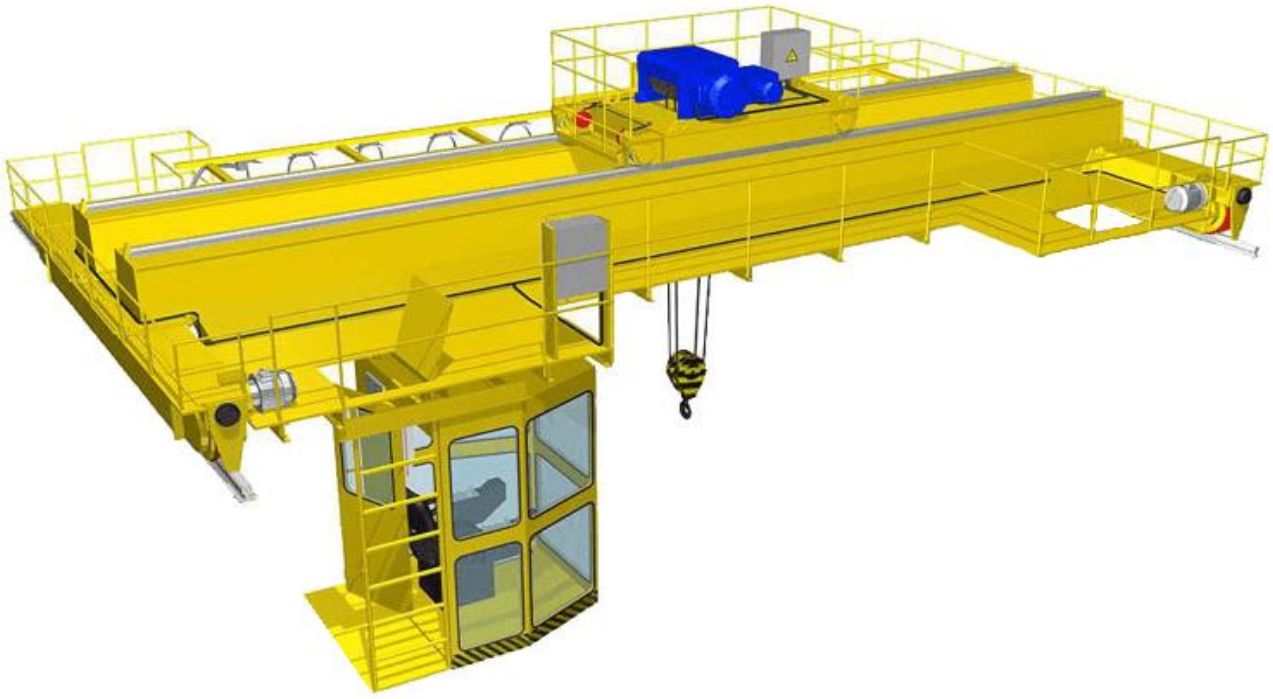


Рис. 1.1. Загальний вигляд мостового крана

Мостові крани являють собою вантажопідіймальні машини, що виконують циклічну дію, конструкція яких складається моста, який переміщується по напрямних коліях, вантажного візка, що пересувається по напрямних кранового моста, механізму підйому вантажу й системи керування. Завдяки такій конструкції мостові крани, дозволяють виконувати переміщення закріпленого на гнучкому підвісі вантажу в трьох взаємно перпендикулярних напрямках: вертикальному, повздовжньому та поперечному [1].

Досить широке застосування мостових кранів пояснюється їх високою продуктивністю, надійністю й можливістю обслуговувати досить великі виробничі площі. Вони дають можливість автоматизувати процеси переміщення вантажів та мінімізувати витрати ручної праці [1].

1.2. Конструкції сучасних мостових кранів

Тип конструкції мостових кранів залежить від його безпосереднього призначення, максимальної вантажопідіймальності, відповідних умов експлуатації та типу виробництва. Зазвичай найбільш розповсюдженими є однобалкові та двобалкові мостові крани [2].

До складу однобалкового мостового крану входять:

- головна балка;
- кінцеві балки;
- механізму переміщення;
- електричного тельфера чи талі.

Однобалкові мостові крани зазвичай використовуються для здійснення допоміжних вантажопідіймальних операцій в цехах із відносно невеликою та середньою інтенсивністю виконуваних робіт. Основними перевагами мостових кранів із однією несучою балкою є: відносно невелика маса конструкції; простота обслуговування та монтажу; мінімальна вартість виготовлення; економічність експлуатації [2].

Зображення однобалкового мостового крана наведено на рис. 1.2.

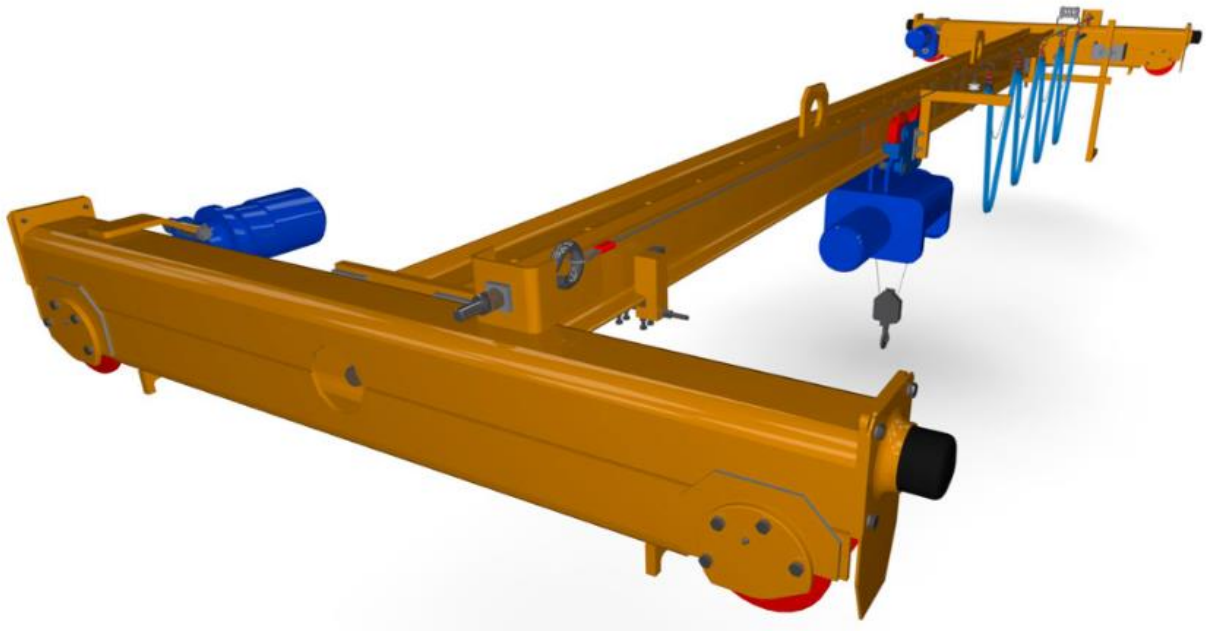


Рис. 1.2. Зображення однобалкового мостового крана

Недоліком однобалкового крана мостового типу є певним чином обмежена вантажопідіймальність і менша жорсткість системи [1-2].

Двобалкові мостові крани мають у своїй конструкції дві головні балки, між котрими розташований вантажний візок. Двобалковий тип конструкції дозволяє забезпечити підвищену жорсткість та виконувати роботи із великими масами закріпленого на гнучкому підвісі вантажу.

Основними перевагами двобалкових кранів мостового типу є:

- велика вантажопідіймальність;
- висока надійність;
- можливість здійснювати роботу в досить тяжких режимах;
- велика висота підіймання закріпленого вантажу.

Двобалкові мостові крани, досить широко використовуються в металургійній промисловості, галузевому машинобудуванні і на складських приміщеннях.

Зображення двобалкового крана мостового типу представлено на рис. 1.3.

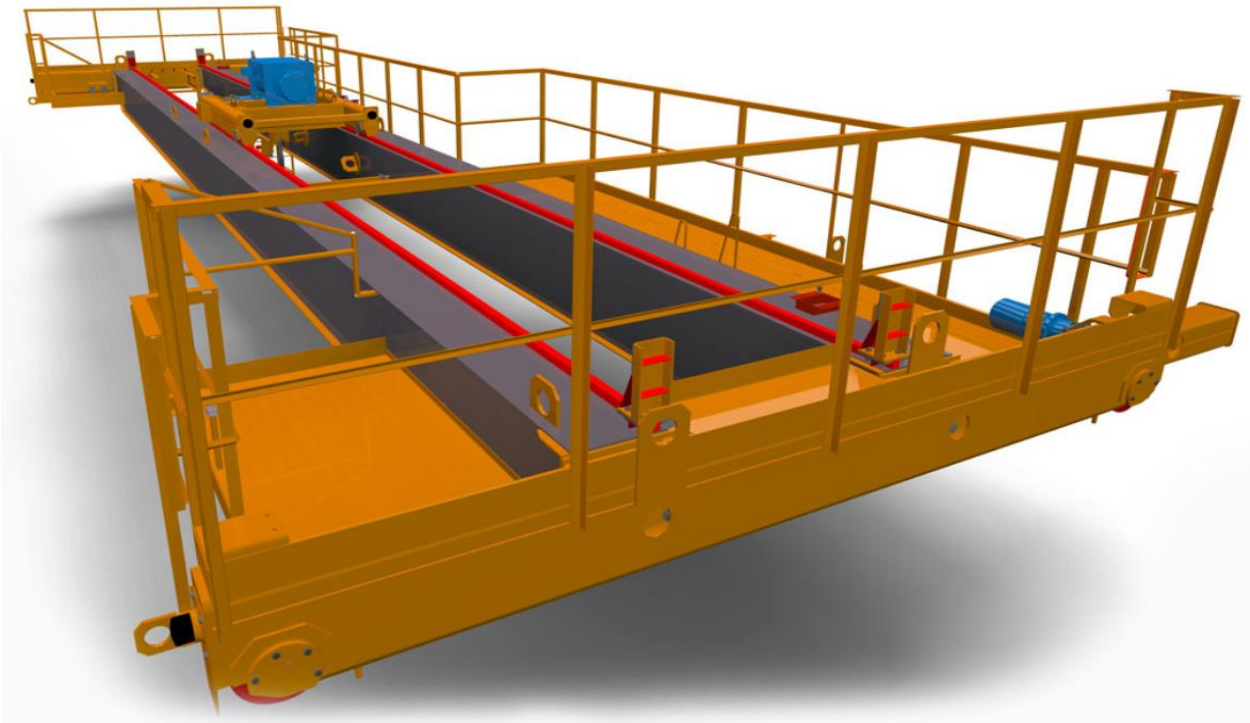


Рис. 1.3. Зображення двобалкового крана мостового типу

1.3. Основні конструктивні компоненти мостових кранів

До ключових конструктивних елементів мостового крана належать: безпосередньо сам міст крана, механізм переміщення, вантажний візок, механізм підйому вантажу та система керування [1-2].

Міст мостового крана виконую несучу конструкцією, що складається із головних та кінцевих балок. Він дозволяє сприймати навантаження від вантажу, а також інших механізмів мостового крана.

Вантажний візок виконує переміщення уздовж кранового мосту за рахунок чого переміщується механізм підйому вантажу. Вантажний візок складається із редуктора, електродвигуна, приводного барабана, конструкції гальмівної системи та канатного механізму. Механізм підйому дозволяє здійснювати вертикальне переміщення вантажу [1-2].

Керування мостовим краном виконується як із безпосередньо самої кабіни машиніста; дистанційно радіо керуванням; за допомогою підвісного пульта керування [1-2].

1.4. Режими експлуатації кранів мостового типу

Режим експлуатації кранів мостового типу характеризується інтенсивністю його роботи та ступенем навантаженості складових його механізмів. Від обраного режиму роботи залежать вимоги до жорсткості конструкції, вибору електродвигунів, конструкції гальмівних механізмів тощо [1-2]..

Згідно із чинними міжнародними і державними стандартами режими роботи мостового крана визначаються:

- загальною кількістю робочих циклів;
- загальною величиною тривалості вмикання механізмів;
- величиною навантаження;
- особливостями умов експлуатації.

Основні режими роботи мостових кранів поділяються на наступні.

Легкому режиму характерна відносно не велика інтенсивність роботи та відповідно малі навантаження. Мостові крани із такими режимами роботи використовуються у ремонтних майстернях та складських приміщеннях.

Середній режим використовуються в механічних й складальних цехах із помірною інтенсивністю виконуваних вантажних операцій [1-2]..

Важкий режим передбачає досить часті пуски, великі навантаження та тривалу роботу механізмів. Застосовується в металургійній промисловості та важкому машинобудуванні.

Досить важкий режим роботи характерний для безперервного виробництва, там де, мостовий кран працює фактично без зупинок та в досить складних умовах експлуатації.

До кранів мостового типу зазвичай висуваються наступні вимоги: висока надійність роботи, безпечність експлуатації, достатня жорсткість та міцність конструкції, плавність пуску роботи механізмів, зручність технічного обслуговування та економічність експлуатації [1-2]..

1.5. Аналіз конструктивних типів механізмів переміщення мостових кранів

Зазвичай сучасні конструкції механізмів переміщення мостових кранів в загальному випадку поділяються на два типи, перший може бути із центральним приводом, а другий має розподільний привід [3-5].

Кінематична схема механізму переміщення мостового крана із центральним приводом наведена на рис. 1.1.

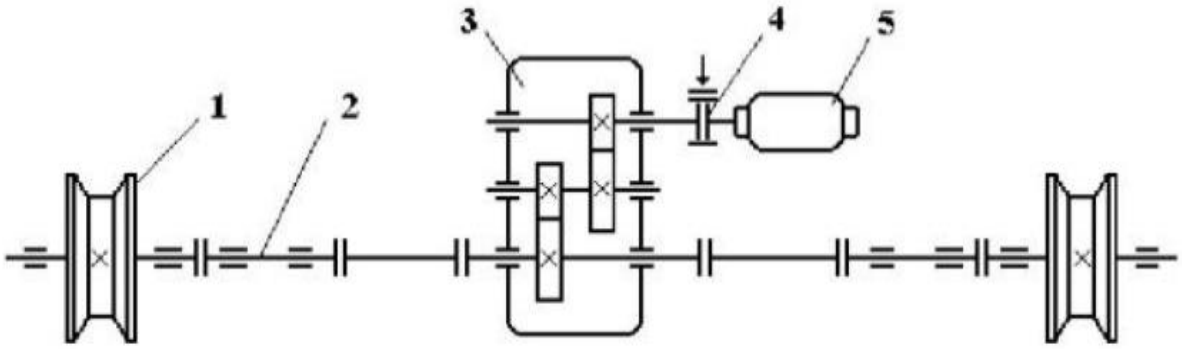
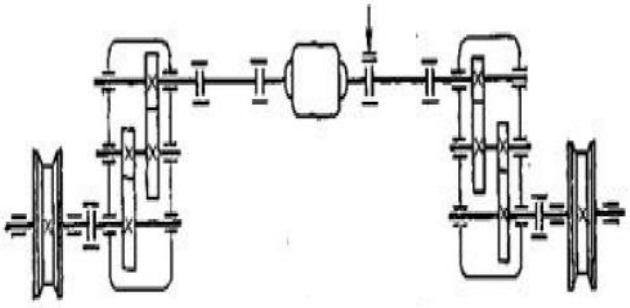
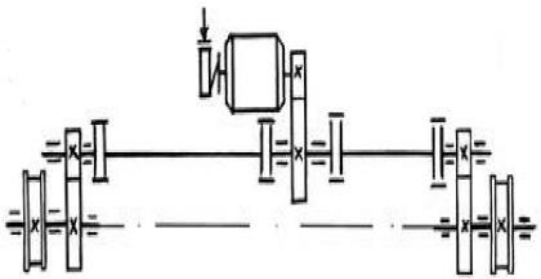


Рис. 1.4. Кінематична схема механізму переміщення мостового крана із центральним приводом: *1* ходове кранове колесо; *2* проміжний вал; *3* редуктор; *4* гальмівний механізм; 5 електродвигун

Окрім того, механізми переміщення мостовий кранів із центральним електроприводом бувають із тихохідним трансмісійним валом (рис. 1.4), швидкохідним трансмісійним валом та середньохідним трансмісійним валом. Кінематичні схеми типових конструкцій механізмів переміщення мостових кранів із швидкохідним та середньохідним трансмісійним валом представлено на рис. 1.5, *а* та *б.*



а



б

Рис. 1.5. Механізм переміщення мостового крана: *а* із швидкохідним; *б* із середньохідним трансмісійними валами

У конструкції такого типу з’єднування валів редуктора та валу ходового колеса здійснюється через відповідні муфти та трансмісійні вали. Даний тип з’єднання негативно впливає на експлуатацію механізму переміщення так як присутність трансмісійного вала суттєво ускладнює виготовлення мостового крана, збільшує його вагу та вимагає суттєвої точності при монтажних операціях [5-8].

Дану проблему можна вирішити шляхом використання роздільного приводу механізму переміщення мостового крана. Кінематична схема роздільного приводу механізму переміщення представлена ра рис. 1.6.

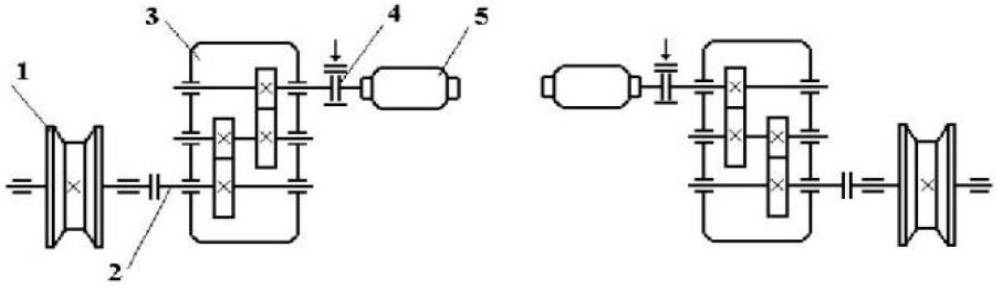


Рис. 1.6. Механізм переміщення з роздільним приводом: *1* ходове колесо; *2* тихохідний вал; *3* редуктор; *4* гальмівний механізм; *5* двигун

У відповідності до цієї кінематичної схеми на кожній кінцевій балці встановлений двигун та ці двигуна пов’язані між собою конструкцією самого мостового крана.

В тих випадках коли навантаження на одну із опор кінцевих балок є меншим в порівнянні із іншою кінцевою балкою, електродвигун балко, що менш навантажена починає швидше обертатися у результаті чого одна опора випереджає іншу [5-8].

В результаті перелічених дій, відповідне навантаження частково передається через металоконструкцію до першого двигуна, в результаті чого знижується частота обертання електродвигуна так як збільшується його навантаження. Разом з тим, електродвигун іншої кінцевої балки розвантажується та його частота обертання збільшується. Це призводить до того, що обидві сторони з певним часом вирівнюються.

У результаті чого, при русі мостового крана із розподіленими приводами відбувається автоматичне перерозподілення відповідного навантаження між обома електродвигунами [5-8].

Система приводу мостового крана із розподіленим електроприводом є економічно доцільною, характеризується доволі не великою масою й простотою конструкції хоч і має два двигуни, два редуктори тощо.

Вагома перевага даної конструкції (рис. 1.6), полягає у відсутності трансмісійного валу, який знижує відповідні навантаження на поздовжні балки мосту і мінімізує горизонтальні бокові сили, котрі виникають між мостовим краном та підкрановими напрямними рейками [3-5].

1.6. Різновиди конструктивних особливостей ходових коліс механізмів переміщення мостових кранів

Сучасна типова конструкція ходових коліс механізмів переміщення мостових кранів, має унеможливлювати ситуацію коли колеса сходять із напрямних рейок [8].

Щоб унеможливити сходження ходових коліс із напрямних рейок мають використовуватися дві бокових реборди, які виконують роль їх направляючих

вздовж напрямних рейок. Зазвичай ходові колеса є циліндричного та конічного типів [7].

На рис. 1.7. зображено циліндричне двохребердне ходове колесо механізму переміщення мостового крана.

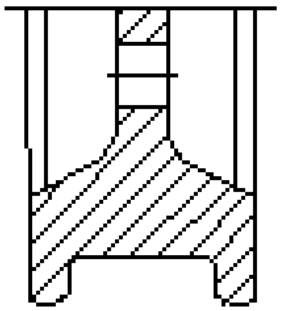


Рис. 1.7. Циліндричне двохребордне ходове колесо механізму переміщення мостового крана

Конічне двохребордне ходове колесо механізму переміщення мостового крана, представлено на рис. 1.8 [7].

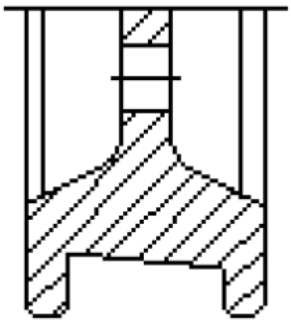


Рис. 1.8. Конічне двохребордне ходове колесо механізму переміщення мостового крана

1.7. Причини ти типи зношування ходових коліс механізмів переміщення мостових кранів

Практична експлуатація механізмів переміщення мостових кранів демонструє, що в досліджуваних системах із роздільним електроприводом тривалість експлуатації ходових коліс є нижчою у порівнянні центральним приводом. Це перш за все пов’язано із тим, що такого різновиду конструкція,

робить мостовий кран більш рухомим саме в горизонтальній площині. Навіть не значні різниці у зусиллях із різних боків можуть призводити до перекосу мостового крана, а це спричиняє частіший контакт реборд ходових коліс із напрямними рейками. Це підвищує їх зношування [7].

Загалом більш ніж 90 % всіх опорних та ходових коліс виходять із ладу по причині саме зношування реборд. На рис. 1.9. представлено зображення зношування реборд ходових коліс механізму переміщення мостового крана.

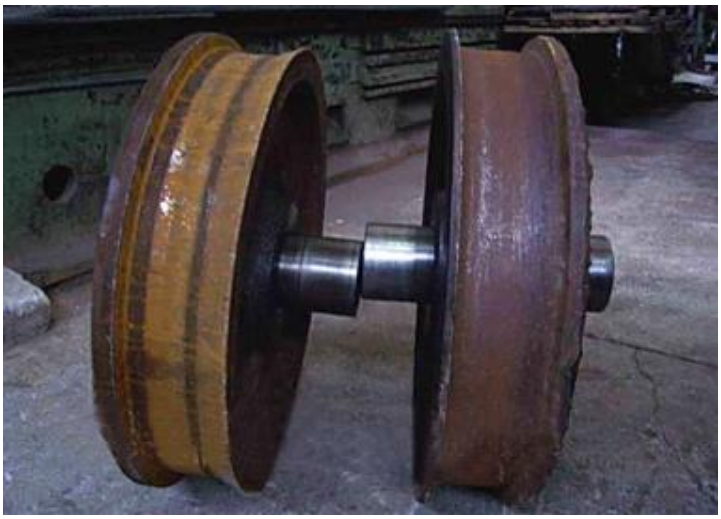


Рис. 1.9. Зображення зношування реборд ходових коліс механізму переміщення мостового крана

На рис. 1.10. наведено зображення зношування реборд ходових коліс механізму переміщення мостового крана у збільшеному вигляді [7].



Рис. 1.10. Зображення зношування реборд ходових коліс механізму переміщення мостового крана в збільшеному вигляді

На зношування ходових та опорних коліс мостових кранів (рис. 1.9 та 1.10), мають вплив не лице певні розбіжності у характеристиках приводів, а й небажані динамічні навантаження, особливо при роботі у досить складних умовах. У такому випадку введення роздільного електроприводу не вирішить проблему зносу коліс мостового крана [6].

Дану проблему, можливо вирішити, шляхом комплексного поєднання роздільного приводу та використанням конічних ходових коліс рис. 1.8. Пропонований підхід вперше було запропоновано Б.С. Ковальський. Потім дана проблематика була розвинена у дослідженнях В.М. Іванова та інших науковців.

Основна суть технічного рішення полягала у на стороні котра збігає кранове колесо рухається по меншому діаметру. Це зменшує його швидкість та автоматично вирівнює положення мостового крана на напрямних рейках.

Система із розподіленим приводом у поєднанні із використанням конічних кранових коліс дозволяє краще долати певні нерівності напрямних колій та компенсувати різницю швидкостей. Проте при тривалій експлуатації механізму переміщення мостового крана у результаті руху кранових коліс у перпендикулярній до руху площині виникає зношування контактної поверхні ходових та опорних коліс механізму переміщення [6].

Типові пошкодження аналогічного характеру притаманні також ходовим та опорним колесам циліндричного типу (рис. 1.7), які також при тривалому контакті із напрямними рейками вони є досить схильними до відповідних пошкоджень.

На рис. 1.11, представлено зображення типового пошкодження опорної поверхні конічного ходового колеса механізму переміщення мостового крана. На рис. 1.12, наведено зображення характерного пошкодження опорної поверхні конічного ходового колеса механізму переміщення мостового крана [6].



Рис. 1.11. Зображення пошкодження опорної поверхні конічного ходового колеса механізму переміщення



Рис. 1.12. Зображення пошкодження опорної поверхні циліндричного ходового колеса механізму переміщення

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ХОДОВИХ КОЛІС МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ МОСТОВОГО КРАНА

Виконаємо розробку типової конструкції опорних коліс опорних коліс механізму переміщення мостового крана. Основні недоліки існуючих конструкцій опорних коліс механізму переміщення мостового крана полягають в тому, що у процесі виконання обслуговуючих робіт присвячених монтажу та демонтажу відповідної пружної вставки виникають значні складної. Відсутні будь які рекомендації, що дозволяли б ефективно виконувати заміну пружної вставки у процесі її зношування [9].

Ще одним із недоліків відомих конструкцій ходових коліс, є те, що в процесі експруатації механізму переміщення мостових кранів виникає значна шумність при констакті зовнішнього кільця та напрямних рейок.

Запропоновано виконати розробку такої конструкції опорних коліс механізму переміщення мостового крана, яка дасть змогу, здійснювати заміну відповідної пружної вставки під час технічного обслуговуваня та планового ремонту, а також дозволить мінімізувати шумність при констакті зовнішнього кільця із відповідними напрямними рейоками [9].

На рисунку 2.1, представлено зображення розробленої конструкції опорного колеса мостового крана [9]. До складу опорного колеса мостового крана (рис. 2.1), входить зовнішнє кільце *1*, у внутрішню частину котрого вмонтована ступінчаста гумова вставка *2*. Відповідна ступінчаста гумова вставка *2* разом з зовнішнім кільцем *1*, встановлена на внутрішній фланець *3* і затиснута відповідною кришкою *4* при допомозі гвинта *5* та гайки *6* із пружиною-шайбою *7* [9].

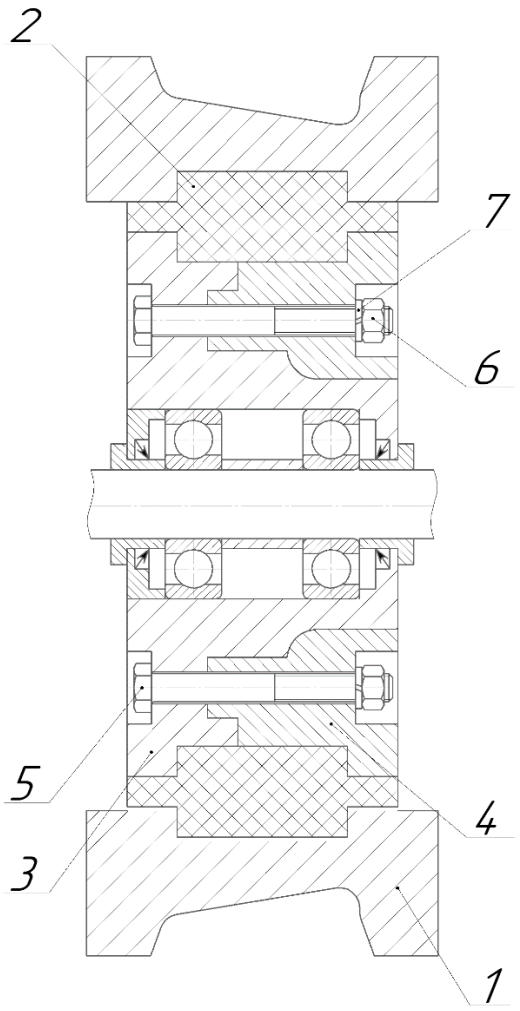


Рис. 2.1. Зображення розробленої конструкції опорного колеса: *1* зовнішнє кільце; *2* ступінчата гумова вставка; *3* внутрішній фланець; *4* кришка; *5* гвинт; *6* гайка; *7* пружина шайба

Монтаж ступінчастої гумової вставки (рис. 2.1) опорного колеса механізму переміщення, відбувається наступним чином. В зовнішнє кільце *1* вкладається гумова вставка *2*. Після чого в середину із одного боку встановлюється *3*, а з іншого кришка *4*. Кришка *4* притаскається до фланця *3* та фіксується за допомогою гвинта *5* гайки *6* та пружини шайби *7*. Демонтаж ступінчастої гумової вставки *2* здійснюється в зворотній послідовності [9].

Монтаж відповідного внутрішнього фланця *3* і кришки *4* дає змогу створити відповідні умови, за яких можливо здійснювати простий демонтаж та монтаж ступінчастої пружної вставки *2* колеса під час технічного обслуговування механізму переміщення мостового крана [9].

РОЗДІЛ 3
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНА

3.1. Підбір схеми механізму переміщення мостового крана кінематичної для проведення розрахунку

Для проведення технологічного розрахунку використаємо кінематичну схему механізму переміщення мостового крана із роздільним приводом. Дана кінематична схема представлена на рис. 3.1.

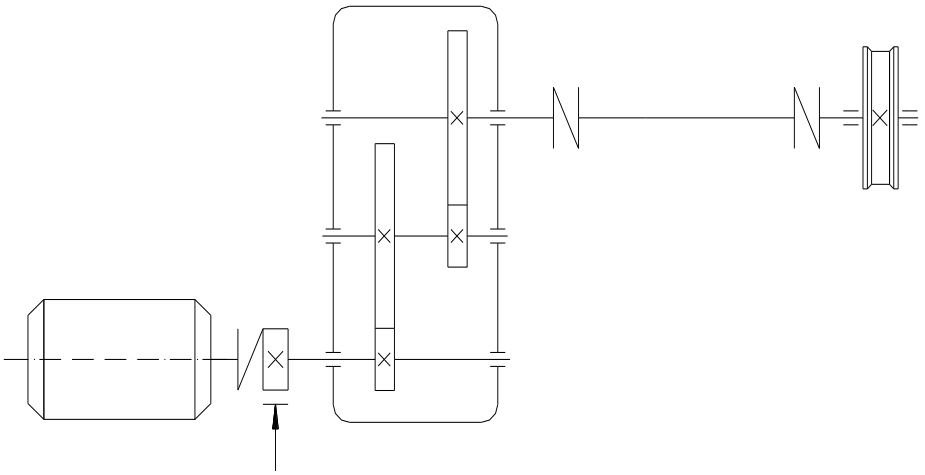


Рис. 3.1 Кінематична схема механізму переміщення мостового крана з роздільним приводом

Вихідний вал електродвигуна кінематичної схеми механізму переміщення (рис. 3.1), через відповідну зубчасту муфту, з’єднаний з вхідним валом редуктора. Конструкція гальмівного механізму знаходиться на вхідному валу редуктора. З'єднання вихідного вала редуктора із валом ходового колеса механізму переміщення здійснюється із допомогою проміжного вала та двох зубчастих муфт.

3.2. Дослідження величини сили опору переміщення мостового крана

Загальна вага мостового крана вантажопідіймальністю 32 т із прогоном в 21 м становить орієнтовно $G_к$ = 500 кН.

Величина опору переміщення мостового крана спричиненого дією від сил тертя і нахилу напрямної колії визначається за наступною залежністю:

$$W = (Q \cdot G_{CT}) \cdot \left(\frac{f \cdot d_0 + 2 \cdot \mu}{D_{x.к.}} \cdot k_1 + a \right), \qquad (3.1)$$

тут f = 0.015, коефіцієнт, що визначає тертя ковзання в роликових підшипниках;

$D_{х.к}$ = 710 мм, величина діаметра ходового колеса, яке береться залежно від величини питомого тиску на колесо і від швидкості переміщення мостового крана;

D_0 величина діаметра цапфи вала ходового колеса, визначається за наступною формулою:

$$d_0 = (0{,}2...0{,}25) \cdot D_{x.к.} = (0{,}2...0{,}25) \cdot D_{x.к.} = 145 \text{ мм}, \qquad (3.2)$$

тут μ = 0,08 коефіцієнт, що враховує величину тертя кочення ходового колеса по напрямній рейці; $k_р$ = 1,5 коефіцієнт, який дозволяє врахувати величину додаткового опору тертя реборд ходового колеса по оголовку напрямної рейки; α = 0,001 величина кута нахилу напрямної колії.

Виконавши підстановку відповідних значень в формулу (3.1) отримуємо величину опору переміщення мостового крана:

$$W = (320000 + 500000) \cdot \left(\frac{0{,}015 \cdot 14{,}5 + 2 \cdot 0{,}08}{71} 1{,}5 + 0{,}001 \right) = 7360 \text{ Н}. \qquad (3.3)$$

3.3. Розрахунок необхідної потужності двигуна приводу механізму переміщення і підбір відповідного редуктора

Потрібну потужність електродвигуна визначаємо з врахуванням відповідних інерційних навантажень. Визначення потрібної потужності виконуємо їх використанням відповідної залежності:

$$N = \frac{W_0 \cdot V_{\hat{e}}}{1000 \cdot 60 \cdot \varphi_{\tilde{n}\aa\eth} \cdot \eta_i}, \qquad (3.4)$$

тут $\varphi_{\tilde{n}\aa\eth}$ = 1,6 коефіцієнт перевантаження електродвигуна (задається попереднім чином);

$\eta_м$ = 0,85 ККД механізму пересування мостового крана;

W_0 опір пересуванню навантаженого мостового крана із врахуванням сил інерції визначаємо за наступною формулою:

$$W_0 = W + 1,2 \cdot \left(m_{\hat{e}} + m_Q\right) \cdot a = 7360 + 1,2\left(50000 + 32000\right) \cdot 0,15 = 22120 \text{ Í}, \qquad (3.5)$$

тут a = (0,1...0,2) м/с^2 величина середнього пришвидшення мостового крана під час перехідного процесу розгону до значення усталеної швидкості;

1,2 коефіцієнт, який враховує інерційні характеристики обертальних мас.

Підставивши вираз W_0 в значення (3.2), отримаємо відповідну потрібну потужність електропривода механізму переміщення мостового крана:

$$N = \frac{22120 \cdot 80}{1000 \cdot 60 \cdot 1,6 \cdot 0,85} = 21,7 \text{ кВт}. \qquad (3.6)$$

Загальна потрібна потужність кожного із двох електродвигунів механізму переміщення вантажу становить:

$$N_{\text{ñ}} = 0,6 \cdot N = 0,6 \cdot 21,7 = 13 \text{ кВт.} \quad (3.7)$$

За відповідним каталогу [3] обираємо електродвигун із фазовим ротором типу MTF 311-6 номінальною потужністю $N_д$ = 13 кВт, $n_д$ = 935 об/хв, момент інерції ротора становить $J_р$ = 0,229 кг·м^2, максимальний момент на валу двигуна складає $M_{мах}$ = 320 Н·м. Зображення обраного електродвигуна наведено на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Зображення асинхронного електродвигуна типу MTF 311-6

Для з'єднання вихідного вала електродвигуна із вхідним валом редуктора використаємо втулко-пальцеву муфту у модифікації із гальмівним шківом діаметром 200 мм, максимальним моментом інерції $J_м$ = 0,08 кг·м^2. Загальний вигляд, муфти МУВПТ-200 наведено на рис. 3.3.



Рис. 3.3.Загальний вигляд муфти втулко-пальцевої МУВПТ-200

Розрахуємо потрібне передавальне чисто редуктора механізму переміщення мостового крана за наступною формулою:

$$i_{ð} = \frac{n_{ä}}{n_{õ.ê}} = \frac{935}{35,9} = 26,0, \qquad (3.8)$$

тут $n_{х.к}$ кількість обертів ходового колеса за одну хвилину визначається за наступною залежністю:

$$n_{õ.ê} = \frac{V_{ê}}{\pi \cdot D_{õ.ê}} = \frac{80}{3,14 \cdot 0,71} = 35,9 \text{ î á/õâ.} \qquad (3.9)$$

Розрахункова потужність редуктора механізму переміщення становить:

$$N_{ð} = K \cdot N_{ñò} = 2,25 \cdot 6,9 = 15,5 \text{ ê Âò}, \qquad (3.10)$$

тут

$$N_{ñò} = 0,6 \frac{W \cdot V}{1000 \cdot 60 \cdot \eta} = 0,6 \frac{7360 \cdot 80}{1000 \cdot 60 \cdot 0,85} = 6,9 \text{ ê Âò.} \qquad (3.11)$$

З відповідного каталогу [3] оберемо циліндричний двоступінчастий редуктор типу Ц2-300. Відповідний тип редуктора має наступні характеристики. Передаточне числом $i_р = 24,9$. Даний редуктор при 1000 об/хв передає потужність величиною до $N = 18,3$ кВт.

Зображення циліндричного двоступінчастого редуктора типу Ц2-300 наведено на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Зображення циліндричного двоступінчастого редуктора типу Ц2-300

Використовуючи наступну залежність, визначимо фактичну швидкість обертання ходового колеса:

$$n_{\text{õ}} = \frac{n_{\text{ä}}}{i_{\text{ð}}} = \frac{935}{24,9} = 37,6 \text{ î á/õâ.} \qquad (3.12)$$

У результаті, фактична швидкість переміщення мостового крана визначається за наступною формулою:

$$V_{\text{êð}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{õ.ê}} \cdot n_{\text{õ}}}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,71 \cdot 37,6}{60} = 1,4 \text{ ì /c.} \qquad (3.13)$$

3.4. Перевірка обраного двигуна механізму переміщення мостового крана на нагрів

Перевірку двигуна мостового крана на нагрівання виконаємо у відповідності до завантаження електродвигуна протягом всього циклу за відповідним еквівалентним моментом:

$$M_{å} = \sqrt{\frac{M_{ñð.ï}^2 \sum t_{ï} + \sum M_{ñ}^2 \cdot t_{ó}}{T_{ö}}} \ , \qquad (3.14)$$

тут $M_{ср.п}$ середньопусковий момент електродвигуна механізму переміщення;

$M_с$ величина моменту статичного опору, яка зведена до вала електродвигуна;

$\Sigma\ t_п$ сумарний термін розгону механізму переміщення за увесь цикл;

$\Sigma\ t_у$ сумарний термін усталеного руху механізму в циклі;

$T_ц$ увесь термін циклу.

Номінальний момент електродвигуна становить:

$$M_{í} = 9550\frac{N_{ä}}{n_{ä}} = 9550\frac{13}{935} = 133 \ \text{Н·м.} \qquad (3.15)$$

Середньопусковий момент електродвигуна двигуна визначається за наступною залежністю:

$$M_{ñð.ï} = \frac{M_{ï.min} + M_{ï.max}}{2} = \frac{146 + 272}{2} = 209 \ \text{Н·м,} \qquad (3.16)$$

тут $M_{п.min}$ мінімальний пусковий момент електродвигуна в процесі розгону:

$$M_{ï.min} = 1{,}1 \cdot M_{í} = 1{,}1 \cdot 133 = 146 \ \text{Н·м;} \qquad (3.17)$$

$M_{\text{п.max}}$ максимальний момент електродвигуна у процесі розгону становить:

$$M_{\text{ï .max}} = 0,85 \cdot M_{\max} = 0,85 \cdot 320 = 272 \quad \text{Н·м.} \tag{3.18}$$

Загальний термін розгону механізму переміщення визначається за відповідним виразом:

$$M_{\text{ñð.ï}} = M_{\text{ñ}} + M'_{\text{ç.í}} + M''_{\text{ç.í}} \,. \tag{3.19}$$

Величина моменту статичного опору, яка зведена до вала двигуна, при навантаженому мостовому крані визначається (для одного привода):

$$M_{\text{ñ}} = \frac{W}{2} \cdot \frac{D_{\text{ò.ê.}}}{2 \cdot i_{\text{ð}} \cdot \eta_{\text{ì}}} = \frac{7360}{2} \cdot \frac{0,71}{2 \cdot 24,9 \cdot 0,85} = 61,7 \text{ Í} \cdot \text{ì} \,. \tag{3.20}$$

Момент сил інерції від поступально-рухомих мас закріпленого на гнучкому підвісі вантажу m_Q й мостового крану m_G, зведених до вала двигуна:

$$M'_{\text{ç.í}} = \frac{\left(m_Q + m_G\right) D^2_{\text{ò. ê.}} \cdot n_{\text{ä}}}{2 \cdot 38,2 \cdot i^2_{\text{ð}} \cdot \eta_{\text{ì}} \cdot t_{\text{ï}}} = \tag{3.21}$$

$$= \frac{\left(32000 + 50000\right) \cdot 0,71^2 \cdot 935}{2 \cdot 38,2 \cdot 24,9^2 \cdot 0,85 \cdot t_{\text{ï}}} = \frac{960}{t_{\text{ï}}} \,,$$

тут $t_{\text{п}}$ величина терміну розгону (пуску) до усталеного значення.

Момент на валу електродвигуна, що виникає від обертальних мас ротора електродвигуна і муфти визначається за наступною залежністю:

$$M''_{\text{ç.í}} = \beta \cdot \frac{J \cdot n_{\text{ä}}}{9,55 \cdot t_{\text{ï}}} = 1,2 \cdot \frac{0,309 \cdot 935}{9,55 \cdot t_{\text{ï}}} = \frac{36}{t_{\text{ï}}}, \tag{3.22}$$

тут β = 1,2 коефіцієнт, що враховує маси, які обертаються на інших валах механізму переміщення мостового крана;

J – момент інерції ротора електродвигуна і муфти, величина якого становить:

$$J = J_{\text{ð}} + J_{\text{ì}} = 0,229 + 0,08 = 0,309 \text{ кг·м}^2. \quad (3.23)$$

Виконавши підстановку знайдених величини до виразу (3.19), встановимо термін розгону електродвигуна при номінальному навантаженні:

$$t_{\text{ï}} = \frac{960 + 36}{209 - 61,7} = 6,76 \text{ ñ}. \quad (3.24)$$

Разом з тим, визначимо термін розгону електродвигуна для ненавантаженого мостового крана:

$$M_{\text{ñ}.0} = 37,6 \text{Í} \cdot \text{ì}; \quad (3.25)$$

$$M'_{\text{ç}\text{ï}.0} = \frac{585}{t_{\text{ï}.0}}; \quad (3.26)$$

$$t_{\text{ï}.0} = \frac{585 + 36}{209 - 37,6} = 3,62 \text{ ñ}. \quad (3.27)$$

Сумарний термін циклу роботи механізму переміщення мостового крана становить:

$$T_{\text{ö}} = \alpha \cdot \left(t_{\text{ï}} + t_{\text{ï}.0} + t_{\text{ò}} + t_{\text{ò}.0} \right) + 2 \cdot t_{\text{Ó}}, \quad (3.28)$$

де α = 0,85 коефіцієнт, котрий враховує погіршення умов охолодження при перехідних процесах (пуску й гальмування);

$t_{т.0}$, $t_{п.0}$ відповідно термін гальмування зі вантажем та без його; обираємо $t_т = t_п = 6{,}76$ с, $t_{т.0} = t_{п.0} = 3{,}62$ с.

Сумарний термін усталеного руху визначається за залежністю:

$$t_{ó} = \frac{L}{V_{ê.ô}} = \frac{8}{1,4} = 5,7\ ñ, \tag{3.29}$$

тут $L = 8$ м відстань, яка пройдена при усталеному русі механізму переміщення крана [3].

У такому випадку:

$$T_{ö} = 0,85 \cdot (6,76 \cdot 3,62) \cdot 2 + 2 \cdot 5,7 = 29\ ñ. \tag{3.30}$$

Підставивши всі отримані величини до виразу (3.17), отримаємо:

$$M_{å} = \sqrt{\frac{209^2 (6,76 + 3,62) + (61,7^2 + 37,6^2) \cdot 5,7}{29}} = 129\ Í \cdot ì. \tag{3.31}$$

При перехідному процесі гальмування $M_c = 0$.

Еквівалентна потужність обраного електродвигуна становить:

$$N_{å} = \frac{M_{å} \cdot n_{ä}}{9550} = \frac{129 \cdot 935}{9550} = 12,6 < 13\ ê\hat{A}ò. \tag{3.32}$$

В такому разі обраний раніше електродвигуна, повністю задовольняє умови нагріву.

Пришвидшення при перехідному процесі розгону із номінальним вантажем $Q = 32$ т становить:

$$a_1 = \frac{V_{ê}}{t_{ï}} = \frac{1,4}{6,76} = 0,21\ ì/c^2; \tag{3.33}$$

без вантажу, тобто за умови $Q = 0$.

$$a_2 = \frac{V_{\hat{e}}}{t_{\ddot{i}.0}} = \frac{1,4}{3,62} = 0,39 \text{ ì /ñ}^2. \quad (3.34)$$

3.5. Вибір конструкції гальмівного пристрою механізму переміщення мостового крана

При перехідному процесі гальмування мостового крана необхідно погасити величину кінетичної енергії рухомих, а також обертових мас. Тривалість гальмування $t_{гал}$ приймаємо рівною часу пуску $t_П$.

Значення величини гальмівного моменту $M_{гал}$ визначимо за допомогою відповідної залежності:

$$M_{\tilde{a}\grave{a}\ddot{e}} = M'_{\ddot{i}.\tilde{a}\grave{a}\ddot{e}} + M''_{\ddot{i}.\tilde{a}\grave{a}\ddot{e}} - M_{\tilde{n}\grave{o}}. \quad (3.35)$$

Значення $M_{гал}$ визначаємо при ненавантаженому мостовому крані.

Динамічний момент, спричинений від дії маси мостового крана (без вантажу), що зведений до вала гальмівного механізму (3.10), визначається:

$$M'_{\ddot{i}.\tilde{a}\grave{a}\ddot{e}} = M'_{\ddot{i}.0} \cdot \eta_{\grave{i}}^2 = \frac{585}{t_{\tilde{a}\grave{a}\ddot{e}}} \cdot 0,85^2 = \frac{585}{3,62} \cdot 0,85^2 = 116 \text{ Í } \cdot \text{ì}. \quad (3.36)$$

А динамічний момент від дії всіх обертальних мас (3.8):

$$M''_{\ddot{i}.\tilde{a}\grave{a}\ddot{e}} = M''_{\ddot{i}.0} = \frac{36}{3,62} = 9,9 \text{ Í } \cdot \text{ì}. \quad (3.37)$$

Величина опору від дії сил тертя і ухилу в процесі гальмування становить:

$$W_{\text{ñò}} = G_{\text{ê}} \left(\frac{f \cdot d_{\text{ö}} + 2 \cdot \mu}{D_{\text{õ.ê}}} - 0,001 \right) = \tag{3.37}$$

$$= 5 \cdot 10^5 \left(\frac{0,015 \cdot 14,5 + 2 \cdot 0,08}{71} - 0,001 \right) = 2158 \text{Í} .$$

При процесі гальмування $k_{\text{р}}$ становить 1.

Величина момент опору, що приведений до вала гальмівного механізму (для одного гальма), визначається за наступною залежністю:

$$M_{\text{ñò}} = \frac{W_{\text{ñò}}}{2} \cdot \frac{D_{\text{õ.ê}}}{2 \cdot i_{\text{ð}}} \eta_{\text{ì}} = \frac{2158}{2} \cdot \frac{0,71}{2 \cdot 24,9} \cdot 0,85 = 13 \text{ Í} \cdot \text{ì} . \tag{3.38}$$

Підставивши всі знайдені величини до виразу (3.13) матимемо:

$$M_{\text{ãàë}} = 116 + 9,9 - 13 = 112,9 \text{ Í} \cdot \text{ì} . \tag{3.39}$$

Обираємо гальмівний механізм типу ТКТГ-200, гальмівний момент може бути відрегульований у діапазоні від 100 до 300 Нм. Зображення гальмівного механізму ТКТГ-200, представлено на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Зображення гальмівного механізму типу ТКТГ-200

Для з’єднання вихідного вала циліндричного редуктора із валом ходового колеса розробленого механізму через відповідний проміжний вал, використаємо дві зубчасті муфти МЗ-14. Загальний вигляд муфти МЗ-14, наведено на рис. 3.6.



Рис. 3.6. Загальний вигляд муфти МЗ-14

3.6. Перевірка зчеплення ходових коліс механізму переміщення мостового крана із напрямною рейкою

При перехідних пуску і гальмування мостового крана може виникати ситуація коли спостерігається прослизання приводних ходових коліс відносно напрямної рейки, це призводить до інтенсивного зношення приводних коліс.

Перевірку зчеплення необхідно виконувати для мостового крана, що є ненавантажений, а саме для ходового приводного колеса, із мінімальним опорним тиском.

Мінімальний опорний тиск визначаємо за схемою, що зображена на (рис. 3.7).

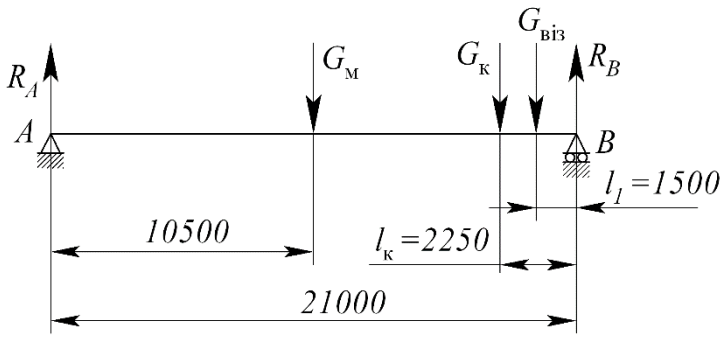


Рис. 3.7. Відповідна розрахункова схема

На (рис. 3.7) наведено $G_{\text{віз}}$ = 120000 Н вага вантажного візка;

$G_{\text{к}}$ = 20000 Н загальна вага кабіни;

$G_{\text{м}}$ = 380000 Н вага відповідного моста, $G_{\text{ì}} = G_{\text{êð}} - G_{\text{â}^3\text{ç}} - G_{\text{ê}}$.

Тиск на ходові колеса опори А R_A = 200714 Н.

Тиск на привідне колесо становить:

$$R = \frac{R_{\text{À}}}{2} = \frac{200714}{2} = 100357\ \text{Í}\ . \qquad (3.40)$$

Величина буксування (проковзування) колеса при процесі розгону мостового крана буде відсутньою, якщо виконується відповідна умова:

$$\frac{P_{\text{ç÷}}}{P_{\text{з}\text{ì}} + W_{\text{ð}}} \geq K\,, \qquad (3.41)$$

тут $P_{\text{зч}}$ сила зчеплення ходового колеса із напрямною рейкою:

$$P_{\text{ç÷}} = R \cdot f = 96500 \cdot 0{,}2 = 19300\,\text{Í}\ ; \qquad (3.42)$$

$P_{\text{ін}}$ сили інерції від мас, які обертаються і поступово рухаються, що зведені до обода ходового колеса мостового крана;

$W_{\text{р}}$ опір від сил тертя та ухилу колії;

$K \geq 1{,}2$ коефіцієнт запасу зчеплення.

Для визначення значення $W_{\text{р}}$ необхідно використовувати вираз (3.1), тут замість $(Q+G_{\text{ê}})$ треба підставити величину R. У такому разі отримаємо:

$$W_{\text{ð}} = 900\ \text{Í}\ . \tag{3.43}$$

Для визначення $P_{\text{ін}}$ потрібно використовувати вирази (3.8) й(3.10):

$$P_{\text{з}\text{í}} = \left(M'_{\text{з}\text{í}} + M''_{\text{з}\text{í}}\right)\frac{i_{\text{ð}}}{R_{\text{ð.\,ê.}}} = \left(\frac{585}{3,62} + \frac{36}{3,62}\right)\frac{24,9}{0,355} = 12032\ \text{Í}\ . \tag{3.44}$$

Підставивши одержані значення у вираз (3.17), маємо наступну нерівність:

$$\frac{20071}{12032+900} = 1,55 > 1,2. \tag{3.45}$$

В такому разі, зчеплення приводних коліс із напрямною рейкою у процесі розгону забезпечується.

Подібну перевірку необхідно виконувати приу процесі гальмування мостового крана.

Проковзування ходових коліс в процесі гальмування (поява юзу) буде відсутнім, якщо виконується відповідна умова:

$$\frac{P_{\text{ç÷}}}{P_{\text{з}\text{í}\ .\text{ãàë}} - W_{\text{ãàë}}} \geq K\,. \tag{3.46}$$

Обираємо час гальмування таким, який дорівнює часу розгону механізму. Отримаємо наступний вираз:

$$P_{\text{з}\text{í}\ .\ \text{ãàë}} = \left(M'_{\text{з}\text{í}\ .\ \text{ãàë}} + M''_{\text{з}\text{í}\ .\ \text{ãàë}}\right)\frac{i_{\text{ð}}}{R_{\text{ð.\,ê.}}} = (116+9,9)\frac{24,9}{0,355} = 8831\ \text{Í}\ . \tag{3.47}$$

Для визначення $W_{гал}$ у формулу (3.44) підставимо $G_к = R = 100357$ Н (при $W_{гал} = 433$ Н).

Підставимо знайдені величини в відповідний вираз (3.46) матимемо:

$$\frac{20071}{8831-433} = 2,39 > 1,2\,. \qquad (3.48)$$

3.7. Розрахунок ходових коліс механізму переміщення мостового крана

Для двореберних коліс з відповідними циліндричним ободом застосуємо сталь марки 65Г із твердістю поверхні кочення у діапазоні НВ 320–350 (по ГОСТ 1050-80). Величина ширини поверхні кочення є рівною 110 мм. Для подібних коліс обираємо напрямну рейку КР 70 із круглою голівкою та радіусом R_1=40 мм.

Ефективне напруження (у МПа) для точкового контакту визначається за методом, який запропоновав професором Б.С. Ковальський:

$$\sigma_{å} = k \cdot k_f \cdot 10^{-2} \sqrt[3]{\frac{R_{B\max} \cdot E^2}{R_1^2}} \le [\sigma_{å}], \qquad (3.49)$$

тут k коефіцієнт, який залежить від відношення $R_2/R_1 < 1$; R_1 є більший із радіусів R та $R_{X.K}$; R_2 менший ($R_{X.K}$ радіус ходового колеса мостового крана, R радіус округлення головки рейки); k_f коефіцієнт, який враховує вплив сил тертя на роботу ведучого і веденого ходових коліс мостового крана обираємо залежно від групи режиму роботи механізму переміщення).

Тут для 1М÷3М – k_f =1; 4М – k_f = 1,04÷1,06; 5М – k_f = 1,06÷1,1;

$$k = 0,09 \cdot \sqrt[9]{\frac{R_1^4}{R_2^4}} = 0,09 \cdot \sqrt[9]{\frac{0,4^4}{0,355^4}} = 0,0945; \qquad (3.50)$$

E зведений модуль пружності системи:

$$E = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} = 2{,}1 \cdot 10^5 \text{ Ì Ï à}, \qquad (3.51)$$

E_1 й E_2 модулі пружності матеріалів приводного колеса і напрямної рейки у МПа: $E_1 = E_2 = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа для сталі:

$$\sigma_{å} = 0{,}0945 \cdot 1{,}04 \cdot 10^{-2} \sqrt[3]{\frac{428571 \cdot \left(2{,}1 \cdot 10^5\right)^2}{0{,}4^2}} = 482 \text{ Ì Ï à} < \left[\sigma_{å}\right] = 690 \text{ Ì Ï à}; \qquad (3.52)$$

$R_{B\max}$ = 428571 Н реакція для опори B для навантаженого крана (рис. 3.7), по центру балки діє відповідне навантаження величиною ($G_м + Q + G_{віз}$).

Для сталі 65Г за умови гартуванням із подальшим відпуском НВ 260 $[\sigma]$= 690 МПа.

РОЗДІЛ 4
ЗАХОДИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНА

4.1. Забезпечення безпеки при експлуатації мостового крана

Під час роботи крана на оператора впливає низка виробничих факторів, які поділяються на небезпечні, що можуть призвести до травмування, та шкідливі, які здатні викликати розвиток професійних захворювань. Класифікація та вимоги до таких факторів визначаються згідно з положеннями стандарту ДСТУ 12.0.003-74 [10-11].

Рівень безпеки при виконанні вантажопідіймальних операцій значною мірою залежить від конструктивних особливостей підіймально-транспортного обладнання, а також його відповідності чинним нормативним документам і правилам охорони праці, що регламентуються органами Держпраці.

До небезпечних фізичних факторів відносять рухомі механізми та машини, вантажі, що переміщуються у просторі, вантажопідіймальні пристрої, а також незахищені обертові або рухомі елементи обладнання (наприклад, передачі, вали, різальні вузли тощо). Крім того, небезпеку становлять частинки матеріалів, які можуть відлітати під час роботи, електричний струм, а також нагріті поверхні обладнання чи оброблюваних матеріалів [10-11].

До шкідливих фізичних факторів, що негативно впливають на стан здоров’я працівника, належать несприятливі мікрокліматичні умови робочої зони (підвищена або знижена температура), надмірна вологість, підвищена швидкість руху повітря, високий рівень шуму, вібрації та ультразвуку.

Також до цієї групи відносять різні види випромінювання теплове, інфрачервоне, електромагнітне та іонізуюче.

Окремо слід відзначити забруднення повітря пилом і шкідливими газами в робочому середовищі [10-11].

4.2. Заходи безпеки праці при роботі крана мостового типу

Під час роботи крана можливе виникнення аварійних ситуацій, таких як обрив вантажного каната, сходження крана з рейкової колії або його неконтрольований рух під дією сильного вітру. Подібні інциденти становлять значну небезпеку та можуть призвести до тяжких наслідків.

Для запобігання самовільному переміщенню крана в умовах підвищеної швидкості вітру конструкцією передбачаються спеціальні протиугінні пристрої, які фіксують кран і перешкоджають його зміщенню.

Додатково обладнання оснащується системами сигналізації, зокрема звуковими сповіщувачами та світловими індикаторами, що вмикаються при досягненні швидкості вітру 20 м/с і більше, інформуючи персонал про небезпечні умови роботи [10-11].

Для зниження ризику обриву каната під час підйому вантажу використовується обмежувач вантажопідіймальності. Він автоматично вимикає механізм підйому у випадках перевищення допустимої маси вантажу більш ніж на 10%. Крім того, цей пристрій реагує на перевантаження канатів, яке може виникати через зміщення центру ваги грейфера. Також передбачено обмежувач висоти підйому, який запобігає підйому вантажу вище встановлених меж.

Для недопущення сходження крана з рейкової колії на кінцях шляхів встановлюються кінцеві вимикачі механізму пересування. Їх робота полягає у завчасному відключенні електроприводу ще до контакту ходових коліс з упорами. При цьому відстань спрацювання розраховується таким чином, щоб враховувати приблизно половину гальмівного шляху крана [10-11].

4.3. Засоби попередження для обслуговуючого персоналу

З метою попередження нещасних випадків та своєчасного інформування працівників, які перебувають поблизу працюючого крана, під час його пересування автоматично вмикається звуковий сигнал попередження. Аналогічне сповіщення активується і при русі вантажного візка.

Для зниження ризику перебування персоналу на конструкціях, по яких переміщується кран, передбачено систему автоматичного блокування дверей на час роботи обладнання, що унеможливлює несанкціонований доступ у небезпечну зону [10-11].

Безпечний доступ до основних вузлів і механізмів крана забезпечується за допомогою спеціально облаштованих майданчиків, драбин та огороджувальних конструкцій. Усі ці елементи виготовлені відповідно до вимог нормативних документів, затверджених органами нагляду, та відповідають встановленим технічним стандартам.

З метою виключення випадкового контакту працівників із рухомими частинами обладнання всі виступаючі елементи механізмів і електрообладнання надійно закриті захисними кожухами та огородженнями.

4.4. Техніка пожежної безпеки при роботі механізму переміщення мостового крана

До основних факторів пожежної небезпеки, які можуть становити загрозу для працівників, відносять відкриті джерела полум’я, іскроутворення, підвищену температуру повітря та поверхонь обладнання, а також утворення токсичних газів і диму. Додаткову небезпеку становить зниження концентрації кисню в повітрі, а також наявність частинок матеріалів, що можуть виділятися під час роботи будівельних конструкцій, машин і механізмів [10-11].

Для забезпечення пожежної безпеки мостового крана передбачено комплекс технічних рішень. Зокрема, органи керування розміщуються у герметичних захисних корпусах, а електродвигуни виконуються із необхідним рівнем захисту від впливу зовнішніх факторів. У нормальних умовах експлуатації температура обмоток електродвигуна (з урахуванням 10% перевантаження по струму) не перевищує 140 °С, тоді як температура зовнішньої поверхні двигуна обмежується рівнем до 100 °С [10-11].

Електроприводи крана обладнуються системами плавного регулювання швидкості, що дозволяє зменшити навантаження на гальмівні механізми та підтримувати температуру гальмівних колодок у допустимих межах. Для резисторних елементів використовуються типові конструкції, які забезпечують максимальне нагрівання активних частин не вище 185 °С.

Для оперативного гасіння можливого загоряння в кабіні оператора передбачено вуглекислотний вогнегасник, який ефективно застосовується при пожежах електрообладнання та електропроводки.

4.5. Характеристика електрообладнання при роботі механізму переміщення мостового крана

Мостовий кран обладнаний електродвигуном. Живлення обладнання здійснюється від електричної мережі напругою 6 кВ з ізольованою нейтраллю.

Відповідно до вимог «Правил улаштування електроустановок» (ПУЕ) для забезпечення електробезпеки передбачено комплекс захисних заходів:

- конструкція обладнання забезпечує захист персоналу від випадкового контакту зі струмопровідними частинами шляхом застосування ізоляції та спеціальних захисних кожухів [10-11];
- для електроприладів другого класу захисту використовується подвійна ізоляція, яка складається з основної та додаткової;
- з урахуванням того, що приміщення управління належать до пожежонебезпечної зони категорії П-IIа, обладнання має ступінь захисту IP44;

- конструктивні та схемні рішення спрямовані на запобігання ураженню електричним струмом через металеві частини обладнання, які можуть опинитися під напругою в аварійних ситуаціях;
- відповідно до вимог ГОСТ 12.1.030-81 (2001), у приміщеннях керування застосовується система занулення.

Даний мостовий кран вантажопідйомністю 80 тонн експлуатується в умовах сталеплавильного цеху при напрузі мережі 380 В і частоті струму 50 Гц. Небезпека ураження електричним струмом може виникнути внаслідок пошкодження ізоляції, обриву провідників або оголення струмопровідних елементів. Під час проведення огляду чи технічного обслуговування обладнання обов'язковою вимогою є попереднє відключення рубильника.

Відсутність захисних огороджень на струмопровідних шинах, а також несправність сигнальних ламп, що вказують на наявність напруги, створюють підвищену небезпеку виникнення електротравм. Проходження електричного струму через організм людини може спричинити термічні опіки та електролітичні ураження тканин [10-11].

Для підвищення рівня електробезпеки мостові крани обладнуються системою захисного заземлення, яка забезпечує з'єднання металевих частин конструкції із землею та знижує ризик ураження струмом при пошкодженні ізоляції. Основним елементом захисту електричних кіл є автоматичні вимикачі з високою комутаційною здатністю, які забезпечують швидке відключення живлення у разі аварійних режимів роботи [10-11].

4.6. Освітленість при роботі механізму переміщення мостового крана

Виробничі приміщення, як правило, проєктуються з урахуванням вимог до природного освітлення відповідно до чинних нормативів. Роботи, що виконуються із застосуванням мостового крана, належать до V розряду точності із показником [10-11].

Система штучного освітлення поділяється на робочу та аварійну. Під час експлуатації мостового крана в умовах виробничого цеху незалежно від контрастності об’єктів або кольору фону рівень робочого освітлення повинен становити не менше 14 лк, тоді як аварійне освітлення має забезпечувати освітленість на рівні 0,5 лк. Для робочого освітлення використовуються лампи типу 4Н-СМТ, а для аварійного лампи 6Л-ПУ-65 [10-11].

Конструкція мостового електричного крана складається з вузлів і деталей, які можуть ремонтуватися або замінюватися. Зокрема, зубчасті напів муфти та гальмівні накладки допускають відновлення, тоді як підшипники та сталеві канати зазвичай підлягають повній заміні.

Під час експлуатації кран може перебувати у чотирьох технічних станах: справному, працездатному, несправному та непрацездатному. У справному стані обладнання виконує всі основні та допоміжні функції, включаючи забезпечення можливості проведення ремонтних робіт. Працездатний стан означає, що кран здатний виконувати свої основні функції, хоча окремі елементи можуть мати незначні дефекти [10-11].

Важливим фактором довговічності кранового обладнання є захист металевих конструкцій від корозії. У виробничих приміщеннях, де використовуються кокс, кам’яне вугілля, антрацит або хімічні речовини, металоконструкції крана зазнають впливу агресивного середовища через наявність сірчистих сполук та інших хімічно активних речовин. Для запобігання корозійному руйнуванню пошкоджені поверхні фарбують спеціальними захисними матеріалами. Найбільш ефективними вважаються сучасні полімерні покриття, які мають вищу стійкість і довговічність порівняно з традиційними олійними фарбами.

Перед виведенням крана в ремонт усі працівники, залучені до виконання ремонтних робіт, повинні бути ознайомлені з відповідними інструкціями та вимогами безпеки. Рішення про виведення обладнання в ремонт приймає особа, відповідальна за його технічний стан [10-11].

Ремонт механічного та електричного обладнання проводиться з метою забезпечення безперервної та безпечної роботи крана. Найбільш поширеною є система планово-попереджувального ремонту, що виконується через встановлені інтервали експлуатації незалежно від ступеня фактичного зношення вузлів [10-11].

Перед початком ремонтних робіт кран обов’язково відключають від електромережі, вимикають рубильник і вилучають ключ. На пусковому пристрої вивішують попереджувальний плакат із написом «Не вмикати працюють люди», який може бути знятий лише після завершення робіт відповідальною особою.

Якщо на одній крановій колії експлуатується декілька кранів, обладнання, що перебуває в ремонті, додатково фіксують тимчасовими тупиковими упорами та позначають сигнальними прапорами або світловими ліхтарями [10-11].

Усі пробні включення механізмів у процесі ремонту або після його завершення дозволяються тільки за погодженням та у присутності відповідальної особи. Після завершення ремонту дозвіл на подальшу експлуатацію крана надає особа, відповідальна за його справний технічний стан, із внесенням відповідного запису до журналу експлуатації.

Ремонтні роботи поділяються на поточні, середні та капітальні. Поточний ремонт включає перший, другий та річний види обслуговування. Планові огляди зазвичай виконують у неробочий час або у вихідні дні. Під час огляду перевіряють стан підшипників, кріплень муфт, зубчастих передач і ходових коліс, регулюють гальмівні механізми, контролюють рівень мастила в редукторах та усувають дрібні несправності [10-11].

Перший поточний ремонт передбачає очищення вузлів від пилу та забруднень, заміну зношених деталей, перевірку електрообладнання, заміну щіток електродвигунів, контроль гальмівних магнітів і вимірювання опору ізоляції. У разі потреби замінюють мастило, а двигуни очищують стисненим повітрям.

Другий і річний поточні ремонти додатково включають усунення дефектів, виявлених оператором під час експлуатації обладнання.

Середній ремонт передбачає часткове розбирання редукторів та електродвигунів, заміну підшипників, перевірку стану тросів і їх кріплень, контроль повітряних зазорів та ремонт електроапаратури. Після завершення ремонту всі механізми змащують і перевіряють правильність роботи та з'єднань.

Окремі запасні частини можуть бути відновлені, тоді як інші підлягають повній заміні. Капітальний ремонт включає комплексну заміну основних вузлів і механізмів, хоча при своєчасному проведенні середніх ремонтів необхідність у капітальному ремонті може значно відтерміновуватися.

Середній ремонт виконується безпосередньо на місці експлуатації або в ремонтній майстерні, тоді як капітальний ремонт, як правило, здійснюється у спеціалізованих ремонтних цехах.

Підготовка до проведення ремонту є важливим етапом організації робіт. Вона включає складання дефектної відомості, підготовку необхідних запасних частин, інструментів та кріпильних елементів. Недостатня підготовка може спричинити затримки виконання робіт і тривалий простій обладнання.

Для скорочення часу ремонту на багатьох підприємствах застосовується вузловий метод заміни деталей, який дозволяє оперативно змінювати окремі вузли без повного розбирання механізму.

Ремонт електрообладнання переважно виконується в електротехнічних цехах, тоді як безпосередньо на крані проводяться лише нескладні роботи, наприклад заміна ізоляції кабельних наконечників або ремонт пускачів і електромагнітів. Роботи, пов'язані з ремонтом кранових резисторів, виконуються виключно в спеціалізованих приміщеннях кваліфікованими фахівцями [10-11].

РОЗДІЛ 5
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНА

Проведемо економічну оцінку для розробленої конструкції механізму переміщення мостового крана. Для цього відповідні вихідні дані, зведемо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту

Показник	**Значення**
Вантажопідіймальність, т	32
Швидкість переміщення, м/хв	80
Кількість електродвигунів, шт	2
Потужність одного електродвигуна, кВт	13
Сумарна встановлена потужність, кВт	26
Річний фонд праці	2500
Маса механізму переміщення	3500
ККД базового механізму переміщення	0.84
ККД розробленого механізму переміщення	0,91
Вартість тарифу на електроенергію, кВт · год/грн	6

На стадії проєктування вартість виготовлення визначається укрупненим методом за питомою вартістю одного кілограма металоконструкції та комплектуючих.

Приймаємо орієнтовану вартість виготовлення:

$$C = 180, \text{ грн/кг.} \qquad (5.1)$$

Тоді загальна вартість виготовлення нового механізму переміщення вантажу буде становити:

$$C_2 = 3500 \cdot 180 = 630000, \text{ грн.} \quad (5.2)$$

Для базового варіанту механізму переміщення приймаємо:

$$C_1 = 540000, \text{ грн} \quad (5.3)$$

Розрахуємо додаткові вкладення на впровадження нової системи:

$$K = C_2 - C_1 = 630000 - 540000 = 90000, \text{ грн.} \quad (5.4)$$

Річне споживання електроенергії базовим механізмом становить:

$$W_1 = N \cdot t = 26 \cdot 2500 = 65000, \text{ кВт/год.} \quad (5.5)$$

Для розробленої конструкції механізму із урахуванням підвищення ККД, річне споживання електроенергії становить:

$$W_2 = W1 \cdot 0.84/0.91 = 65000 \cdot 0.84/0.91 = 65000, \text{ кВт/год.} \quad (5.6)$$

Різниця економії електроенергії становить:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 650000 - 600000 = 5000, \text{ кВт/год.} \quad (5.7)$$

Загальна економія електроенергії становить:

$$E_c = \Delta W \cdot T = 5000 \cdot 6 = 30000, \text{ кВт/год.} \quad (5.8)$$

Застосування удосконаленої конструкції дозволяє знизити динамічні навантаження на ходові колеса, редуктори та елементи приводу. Це сприяє збільшенню міжремонтного періоду та скороченню витрат на технічне обслуговування.

Приймаємо очікувану річну економію:

$$Er = 18000, \text{ грн/рік.} \tag{5.9}$$

Сумарний річний економічний ефект для нової системи становить:

$$E = Ec + Er = 30000 + 18000 = 48000, \text{ грн/рік.} \tag{5.10}$$

Термін повернення додаткових інвестицій визначається відношенням капітальних витрат до річного економічного ефекту:

$$T_{ок} = K/E = 90000/48000 = 1.88 = 1.9 \text{ року.} \tag{5.11}$$

При цьому коефіцієнт економічної ефективності складає:

$$E_к = 1/ T_{ок} = 1/1.9 = 0.53 = 53 \text{ %.} \tag{5.12}$$

Проведена техніко-економічна оцінка показала, що запропонований механізм переміщення мостового крана із вантажопідйомністю 32 т забезпечує зниження експлуатаційних витрат за рахунок підвищення енергоефективності та зменшення витрат на технічне обслуговування. Річний економічний ефект становить 48 тис. грн, а необхідні додаткові капіталовкладення 90 тис. грн.

Розрахунковий термін окупності складає 1.9 року, що відповідає вимогам до сучасних технічних рішень у сфері вантажопідіймального обладнання. Отримані результати підтверджують економічну ефективність і доцільність впровадження розробленої конструкції в експлуатацію.

ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Бакалаврська кваліфікаційна робота тема якої «Розробка конструкції механізму переміщення мостового крана» висвітлена на п’яти розділах.

В розділі один представлені узагальнені характеристики типових мостових кранів та їх найбільш розповсюджені конструкції і режими експлуатації. Виконано аналіз конструкцій приводів механізмів переміщення мостових кранів, різновидів конструктивних особливостей їх ходових коліс. Особливу увагу приділено причинам та типам зношування ходових коліс мостових кранів.

У другому розділі проведено розробку опорних коліс мостових кранів, що дозволить мінімізувати зношення ходових коліс і безпосередньо ефективно виконувати заміну відповідної пружної вставки, яка входить до конструкції опорних коліс мостового крана.

В розділі три проведено розрахунок компонентів конструкції механізму переміщення мостового крана. Виконано підбір схеми приводу та проведено кінематичний розрахунок, досліджено величину сили опору переміщення мостового крана, обрано електродвигун редуктор та відповідні муфти (втулко-пальцеві та зубчасті). Виконано підбір та розрахунок конструкції гальмівного механізму, перевірку зчеплення ходових коліс та безпосередньо розрахунок опорних коліс мостового крана

У четвертому розділі представлено заходи охорони праці при експлуатації механізму переміщення мостового крана. Наведено засоби попередження для обслуговуючого персоналу, техніку пожежної безпеки, характеристику електрообладнання, вимоги до освітленості тощо.

В розділі п’ять проведено техніко-економічну оцінку розробленої конструкції механізму переміщення мостового крана. Встановлено, що безпосередній термін окупності розробленої конструкції становить 1.9 роки.

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. Григоров О. В., Губський С. О. Вплив Механізму пересування мостового крана на ресурс металоконструкції. Національний технічний університет «Харківський політехнічний Інститут». Вестник ХНАДУ. 2012. Вип. 57. С. 296-299.
4. Є.Д. Слепужніков, Н.М. Фідровська, І.С. Варченко Механізми пересування мостових кранів: монографія – Харків: НУЦЗУ, 2019. С. 124.
5. Стрижак В. В. Особливості виникнення і усунення перекосів мостових кранів з роздільним частотно-регульованим приводом механізму пересування. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія. Галузеве машинобудування, будівництво. 2012. Вип. 1. С. 61-66.
6. Ходове колесо крана: пат. 143406 Україна. № 202001326; заявл. 27.02.2020; опубл. 27.07.2020, Бол. № 14. 5 с.
7. Кранове колесо: пат. 73207 Україна. № 201204212; заявл. 04.04.2012; опубл. 10.09.2012, Бюл.№ 17. 5 с.
8. Колесо ходове кранове з пружним кільцем, розташованим в ободі: пат. 98454 Україна. № 201412674; заявл. 25.11.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8. 4 с.
9. Кранове колесо із пружною вставкою: пат. 145167 Україна. № 202003668; заявл. 18.06.2020; опубл. 26.11.2020, Бюл. № 22. 4 с.
10. 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).
11. 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).

ДОДАТКИ

					01.09.КР.1044”С”2026.04.15.038.ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Сушко М.В.			ДОДАТКИ	Літ.	Арк. 52 / Аркушів 52
Перевір.		Стехно О.В.					
Реценз.						НУБіП України	
Н. Контр.		Ловейкін В.С.					
Затверд.							