

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
Кафедри ЕІС та РК

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри ЕІС та РК
к.т.н., доцент  Д.В. Костенко
“ 12 ” 06 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Розробка електропривода спуско-підйомного пристрою
пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т

Виконав: студент IV курсу, групи 4367ст3
спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

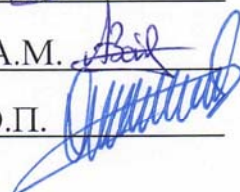
(шифр і назва спеціальності)

Головчак А.Д. 

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. Войтасик А.М. 

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н. Клочков О.П. 

(прізвище та ініціали)

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

Кафедра ЕІС та РК

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(шифр і назва)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор Я.Б. Волянська

“22” “04” 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**
на здобуття ступеня вищої освіти **«бакалавр»**
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Головчаку Артему Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т

Керівник роботи к.т.н., доцент кафедри ЕІС та РК Войтасик А.М.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “22” квітня 2026 року №286-ч

2. Термін подання студентом роботи _____

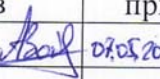
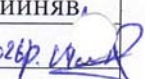
3. Вихідні дані по роботі напруга живлення виконавчих електродвигунів 220 В постійного струму, тип двигунів – двигуни постійного струму зі змішаним збудженням, швидкість підйому/спуску вантажу 0,14 м/с, швидкість пересування крана 0,1-0,5 м/с, висота підняття вантажу 14 м, вантажність спуско-підйомного пристрою 12 т, тривалість включення електропривода 25 %

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Призначення та область застосування електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т. 2 Технічні характеристики елементів електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т. 3 Опис та обґрунтування прийнятих технічних рішень при розробці електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т. 4 Розрахунки, що підтверджують працездатність розробки електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т. 5 Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів (з точним зазначенням назв)

1. Презентаційний матеріал до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр». 2. Мета та задачі роботи. 3. Огляд спуско-підйомних пристроїв, які використовують для підйому та спуску яхт. 4. Загальна характеристика області застосування електропривода пневмоколісного крану (ПК). 5. Основні технічні характеристики моторної яхти *Galeon 360 Fly*. 6. Розробка 3D моделі конструкції СПП ПК. Ч1. 7. Розробка 3D моделі конструкції СПП ПК. Ч2. 8. Технічні характеристики обладнання. Ч1. 9. Технічні характеристики обладнання. Ч2. 10. Електрична принципова схема керування електроприводом спуско-підйомного механізму ПК. 11. Основні технічні характеристики розробки. 12. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП	к.т.н., доцент кафедри ЕІС та РК Войтасик А.М.	23.04.2026р. 	07.05.2026р. 

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Призначення та область застосування	12.03.2026	виконано
2	Технічні характеристики	26.03.2026	виконано
3	Опис та обґрунтування прийнятих технічних рішень	09.04.2026	виконано
4	Розрахунки, що підтверджують працездатність	23.04.2026	виконано
5	Охорона праці	07.05.2026	виконано

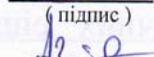
Студент


(підпис)

Головчак А.Д.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Войтасик А.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему «Розробка електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т» відповідає напрямку спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та виконано на 65 аркушах.

Тема кваліфікаційної роботи актуальна і пов'язана з розробкою електропривода спуско-підйомного пристрою призначеного для переміщення вантажів у вигляді моторних яхт на території порту.

В роботі виконано огляд спуско-підйомних пристроїв, які використовують для підйому та спуску яхт. Наведена характеристика області застосування розробки та сформульовані вимоги, щодо роботи електропривода спуско-підйомного пристрою. Представлені основні технічні характеристики розробки.

Розроблено 3D модель конструкції спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т. Відповідно до розрахунків виконано вибір виконавчих електродвигунів та передатних механізмів. Представлені розрахунки пускових та гальмівних моментів. Виконано вибір складового обладнання електропривода спуско-підйомного пристрою. Представлено електричну принципову схему роботи електропривода спуско-підйомного механізму пневмоколісного крана.

Ключові слова: переміщення вантажів, електропривод, система керування, спуско-підйомний пристрій, пневмоколісний кран, тривимірне моделювання.

ABSTRACT

The qualification work «The design of the electric drive of the launch and recovery mechanism for pneumatic wheel crane with a loading capacity of 12 t» corresponds to the direction of specialty «Electricity, electrical and electromechanical» and holds 65 pages.

The theme of the qualification work is relevant and is related to the development of an electric drive for a launch and recovery mechanism designed to move cargo in the form of motor yachts in the port.

The work reviews the launch and recovery mechanisms used for launch and recovery yachts. The scope of the development is described and the requirements for the operation of the electric drive for the launch and recovery device are formulated. The main technical characteristics of the development are presented.

A 3D model of the design of the launch and recovery mechanism of a pneumatic wheel crane with a lifting capacity of 12 tons has been developed. In accordance with the calculations, the selection of executive electric motors and transmission mechanisms has been made. Calculations of starting and braking torques have been presented. The selection of the component equipment of the electric drive for the launch and recovery mechanism has been made. The electrical schematic diagram of the operation of the electric drive for the launch and recovery mechanism of a pneumatic wheel crane is presented.

Keywords: cargo movement, electric drive, control system, launch and recovery mechanism, pneumatic wheel crane, three-dimensional modeling.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	4
Вступ	5
1 Призначення та область застосування електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т	6
1.1 Огляд спуско-підйомних пристроїв, які використовують для підйому та спуску яхт	6
1.2 Загальна характеристика області застосування електропривода пневмоколісного крану	10
1.3 Вимоги до електропривода пневмоколісного крану	13
2 Технічні характеристики елементів електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т	16
2.1 Загальні технічні характеристики електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана	16
2.2 Технічні характеристики редукторних механізмів	17
2.3 Технічні характеристики виконавчих електродвигунів	17
2.4 Технічні характеристики гальм	18
2.5 Технічні характеристики вантажного каната	19
2.6 Технічні характеристики гакової підвіски	20
2.7 Технічні характеристики вантажної стрічки	20
2.8 Технічні характеристики пневматичних шин	21
3 Опис та обґрунтування прийнятих технічних рішень при розробці електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т	22
3.1 Розробка 3D моделі конструкції спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана	22
3.2 Побудова електричної принципової схеми керування електроприводом спуско-підйомного механізму пневмоколісного крану	28

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність розробки електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т	33
4.1 Розрахунок спуско-підйомного механізму	33
4.2 Визначення опорів пересування пневмоколісного крана і параметрів пересувного механізму	40
5 Охорона праці	56
5.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на організм людини при роботі електропривода пневмоколісного крану	56
5.2 Запобіжні заходи проти ураження струмом та пожежі при експлуатації електропривода пневмоколісного крану	59
5.3 Висновок по розділу	62
Висновки	63
Перелік посилань	64

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ДПС – двигуни постійного струму;
ЗЗ – змішане збудження;
КК – командоконтролер;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ГП – гакова підвіска;
ПК – пневмоколісний кран;
ПУЕ – Правила улаштування електроустановок;
СПП – спуско-підйомний пристрій;
ТВ – тривалість включення

ВСТУП

Електроприводи спуско-підйомних пристроїв пневмоколісних кранів здатні повною мірою забезпечити плавне переміщення вантажів у вертикальній площині. Серед різноманіття вантажопідйомної техніки саме пристрої на пневмоколісній базі виділяються своєю мобільністю та маневреністю, що робить їх незамінними в умовах сучасних логістичних центрів та портів. Використання автоматизованого електропривода в таких машинах гарантує дбайливе ставлення до вантажу завдяки стабілізації швидкостей та виключенню різких динамічних навантажень, гарантуючи при цьому можливість оперативного переміщення крана по всій території об'єкта.

З огляду на різнобічну підготовку фахівця спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» мета даної кваліфікаційної роботи – розробка електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі задачі:

- виконати огляд спуско-підйомних пристроїв, які використовують для підйому та спуску яхт;
- навести загальну характеристику області застосування електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крану;
- навести основні технічні характеристики моторної яхти *Galeon 360 Fly*;
- розробити 3D модель конструкції спуско-підйомного пристрою;
- виконати розрахунок всіх застосованих механізмів електропривода крану;
- виконати вибір виконавчого та комплектуючого обладнання;
- навести електричну принципову схему керування електроприводом спуско-підйомного механізму пневмоколісного крану;
- навести основні технічні характеристики розробки.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СПУСКО-ПІДЙОМНОГО ПРИСТРОЮ ПНЕВМОКОЛІСНОГО КРАНА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 12 Т

1.1 Огляд спуско-підйомних пристроїв, які використовують для підйому та спуску яхт

З плином часу кожен власник яхти або судновласник стикається з необхідністю виконання спуску чи підйому судна для проведення технічного огляду, ремонту, профілактичного обслуговування або консервації на зимовий період (рис. 1.1) [1].



Рисунок 1.1 – Проведення планових ремонтних робіт на березі

Проведення таких робіт є важливою складовою забезпечення надійної та довговічної експлуатації моторних і парусних яхт, оскільки дозволяє своєчасно виявляти пошкодження корпусу, виконувати очищення підводної частини судна, ремонт гвинторульового комплексу та інші необхідні технічні операції. Для

реалізації цих завдань застосовуються спеціальні спуско-підйомні пристрої (СПП), які забезпечують безпечне переміщення суден між водою та береговою зоною.

На сьогодні існує значна кількість конструкцій спуско-підйомних пристроїв, що відрізняються за принципом роботи, конструктивним виконанням, вантажопідйомністю та умовами експлуатації [2]. Одними з найбільш поширених є СПП козлового типу (рис. 1.2).

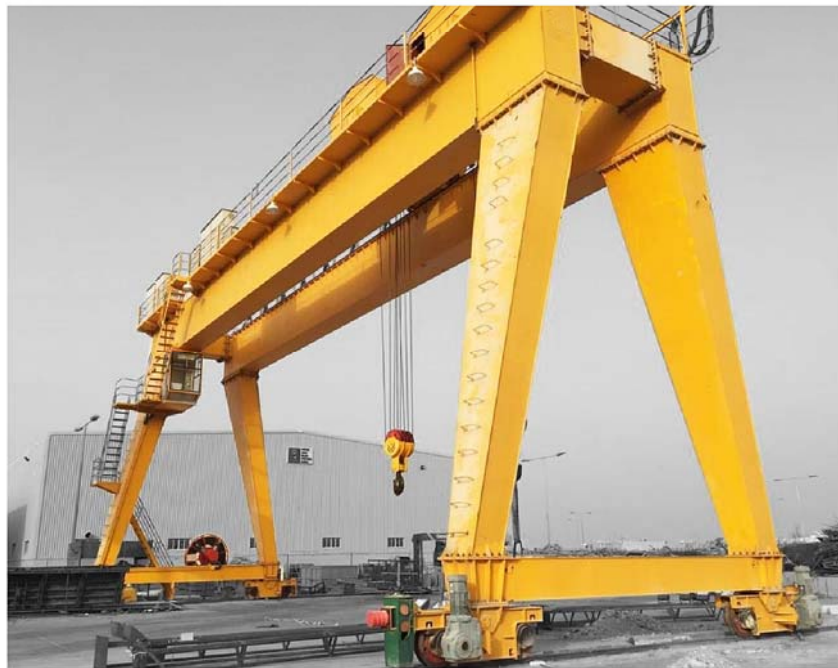


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд СПП козлового типу

Такі пристрої являють собою конструкції, у яких основні несучі елементи спираються на кранові колії за допомогою двох опорних стійок. Переміщення вантажного візка здійснюється рейковими коліями, розташованими на верхній фермі ригеля, або монорельсом, закріпленим на нижній фермі. Конструкція козлового СПП включає чотири опорні візки, два з яких є приводними та оснащуються електродвигуном, гальмом, муфтою, редуктором і ходовими колесами. Вантажопідйомний механізм складається з електродвигуна, редуктора, гальма та канатного барабана і встановлюється на спеціальному візку з направляючими блоками вантажного каната. Для легших конструкцій замість вантажного візка може використовуватись електроталь.

Широке застосування для спуску та підйому яхт отримали також СПП, виготовлені у вигляді кран-балки (рис. 1.3). Подібні конструкції активно використовуються як берегові або суднові крани в яхт-клубах та на території суднобудівних підприємств [3].



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд СПП у вигляді кран-балки

В таких пристроях вантажна лебідка та вантажна стріла об'єднані в єдину установку, що забезпечує високу продуктивність і надійність роботи. Конструкції СПП цього типу розраховані на вантажопідйомність у межах від 10 до 50 кН при вильоті стріли від 3 до 16 м. Робочі швидкості підйому вантажу, залежно від технічних параметрів, становлять від 0,3 до 0,8 м/с, а швидкість опускання вантажу зазвичай є вищою. Швидкість повороту стріли знаходиться в межах 1 – 2 об/хв. Потужність електродвигунів механізмів підйому та повороту залежить від конструктивних особливостей і типу встановленого електрообладнання [4].

Окрему групу становлять пневмоколісні СПП, які відзначаються високою мобільністю та універсальністю застосування (рис. 1.4). Дані СПП розміщуються на пневмоколісній базі та можуть пересуватися без необхідності використання спеціальних рейкових колій.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд СПП пневмоколісного крана

Найчастіше вони монтуються на шасі серійних вантажних автомобілів і обладнуються стріловими механізмами баштового або стрілового типу [5]. Для забезпечення стійкості під час виконання вантажопідіймальних операцій конструкція передбачає використання виносних опор, установлених на передній і задній частинах рами автомобіля. Завдяки цьому пневмоколісні СПП здатні ефективно працювати з вантажами в різних умовах експлуатації.

Особливістю пневмоколісних СПП є можливість самостійного пересування ґрунтовими дорогами та подолання підйомів із нахилом до 20° . Це дозволяє оперативно переміщувати обладнання між віддаленими об'єктами без потреби у додаткових транспортних засобах або складній підготовці робочого майданчика. Висока мобільність, універсальність та здатність працювати в різних умовах роблять пневмоколісні СПП одним із найбільш ефективних засобів для виконання операцій зі спуску та підйому яхт і маломірних суден [6].

1.2 Загальна характеристика області застосування електропривода пневмоколісного крану

Миколаїв традиційно є одним із провідних центрів суднобудування України, що обумовлено вигідним географічним розташуванням, наявністю кваліфікованих кадрів та розвинутою виробничою інфраструктурою. Значна кількість підприємств регіону спеціалізується на будівництві, ремонті та обслуговуванні маломірних суден, моторних яхт і катерів. У зв'язку з активним розвитком приватного суднобудування та яхтової індустрії зростає потреба у сучасних СПП, здатних забезпечити безпечне та оперативне виконання вантажопідіймальних операцій.

Одним із перспективних підприємств, для якого використання мобільного СПП ПК було б доцільним, є *Nibulon* (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд акваторії *Nibulon*

Компанія має потужну суднобудівно-судноремонтну базу в Миколаєві та активно займається будівництвом і технічним обслуговуванням річкових та прибережних суден. Розширення діяльності підприємства у напрямку

обслуговування маломірного флоту, катерів і моторних яхт потребує впровадження мобільних вантажопідіймальних рішень, які дозволяють здійснювати спуско-підйомні операції без прив'язки до стаціонарних рейкових систем. Використання пневмоколісного крана дозволило б підвищити гнучкість виробничих процесів, скоротити час переміщення суден між стапелем, ремонтними майданчиками та зонами зберігання.

У якості моторної яхти *Galeon 360 Fly* як об'єкта для маніпуляцій з використанням СПП пневмоколісного крана можна розглянути технічні характеристики наведені в табл. 1.1.

Використання запропонованого електропривода СПП пневмоколісного крана вантажопідйомністю до 12 т повністю відповідає вимогам щодо виконання спуску, підйому та транспортування яхт такого класу.

Застосування мобільного пневмоколісного крана для обслуговування моторних яхт типу *Galeon 360 Fly* дозволить значно підвищити ефективність виробничої діяльності підприємства. Зовнішній вигляд яхти представлений на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Моторна яхта *Galeon 360 Fly*

Основні технічні характеристики моторної яхти *Galeon 360 Fly* представлені у вигляді табл. 1.1

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики яхти *Galeon 360 Fly*

Найменування параметра	Значення
Матеріал корпусу	Кевлар
Довжина повна, м	11,37
Довжина корпусу, м	8,54
Ширина, м	3,48
Осадка, м	0,79
Місткість, чел.	10
Вантажопідйомність, т	1,2
Потужність двигуна, кВт	2×147 / 2×221
Тип двигуна	дизель / бензин
Максимальна швидкість, вузлів	32
Круїзна швидкість, вузлів	25
Кількість кают, шт.	2
Кількість спальних місць, шт.	6
Дальність ходу, миль	300
Об'єм паливного баку, л	2×400
Об'єм баку для води, л	350
Маса з двигунами, т	9,6 / 10

На відміну від стаціонарних рейкових СПП, мобільний кран забезпечує можливість оперативного переміщення між різними виробничими зонами, виконання робіт у декількох точках берегової лінії та транспортування яхт до ремонтних ангарів або місць сезонного зберігання. Це особливо важливо в умовах розширення виробничих потужностей та збільшення кількості суден, які одночасно перебувають на обслуговуванні.

1.3 Вимоги до електропривода пневмоколісного крана

Спуско-підйомний механізм ПК повинен являти собою сукупність взаємопов'язаних елементів, які забезпечують безпечну та надійну експлуатацію виконавчого електропривода відповідно до обраного електрообладнання та результатів виконаних технічних розрахунків [7]. Конструкція та параметри електрообладнання мають відповідати вимогам нормативної документації та забезпечувати стабільну роботу крана в усіх передбачених режимах експлуатації.

Напруга кіл керування та автоматики повинна бути не вищою за 400 В змінного струму та 440 В постійного струму. Для підприємств, у яких використовується електромережа напругою 500 В, допускається застосування відповідного рівня напруги для живлення електрообладнання крана. Захист електрообладнання пневмоколісного крана необхідно виконувати відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [8]. Крани з керуванням із кабіни або дистанційного пульта мають оснащуватися звуковою сигналізацією, яка добре сприймається в зоні переміщення крана та відрізняється за тональністю від автомобільного сигналу.

Головні тролєї повинні мати світлову сигналізацію, яка вказує на наявність напруги. У разі секціонування тролейних ліній або наявності ремонтних ділянок світлова індикація встановлюється для кожної окремої секції. Рекомендується застосування сигналізаторів, підключених безпосередньо до тролєїв, у яких лампи світяться за наявності напруги та автоматично вимикаються при її відсутності. Для трифазних мереж використовують окремі лампи на кожну фазу, а для мереж постійного струму – дві паралельно з'єднані лампи. Для збільшення строку служби ламп доцільно застосовувати додаткові резистори, які знижують напругу на їх затискачах приблизно на 10 % від номінального значення.

Прокладання електропроводки на пневмоколісному крані рекомендується виконувати в сталевих трубах або коробах, що забезпечує додатковий механічний захист кабельних ліній. Для первинних кіл слід застосовувати проводи та кабелі з мідними жилами. Допускається використання багатодротових алюмінієвих жил

перерізом не менше 16 мм², однак застосування однодротових алюмінієвих проводів у первинних колах не дозволяється. Для вторинних кіл можуть використовуватись як мідні, так і алюмінієві жили.

У місцях можливого впливу мастильних матеріалів повинні застосовуватись проводи та кабелі з маслостійкою ізоляцією та оболонкою. У разі використання звичайної ізоляції електропроводка має прокладатися в герметичних трубах із відповідними вводами в електрообладнання [9]. Допустимі тривалі навантаження на проводи й кабелі визначаються відповідно до технічних умов і чинних стандартів. Напруга на затискачах електродвигунів і в колах керування під час роботи крана не повинна бути меншою за 85 % номінального значення.

Всі проводи, клемні з'єднання та контакти повинні мати чітке маркування. У випадку використання різних з'єднань їх конструкція має унеможливити неправильне підключення та виключати необхідність застосування спеціального інструменту для роз'єднання. З'єднання, клеми та рознімання повинні розміщуватись у захищених корпусах, шафах або на спеціальних панелях, що запобігає механічним пошкодженням та випадковому контакту працівників із струмовідними частинами.

Номінальна напруга світильників робочого освітлення не повинна перевищувати 220 В змінного струму. У трифазних мережах напругою 380 В і вище живлення освітлення необхідно здійснювати через понижувальні трансформатори. Допускається також підключення світильників до силової мережі шляхом їх з'єднання за схемою «зірка». Для освітлення робочої зони пневмоколісний кран повинен оснащуватись прожекторами або ліхтарями, які забезпечують достатню видимість під час виконання вантажопідіймальних операцій.

Органи керування крана повинні розташовуватись таким чином, щоб оператор мав можливість безперешкодно спостерігати за вантажозахоплювальним органом і вантажем, не залишаючи робочого місця [10]. Напрямок переміщення рукояток і важелів повинен відповідати напрямку руху механізмів крана.

Для підвищення безпечності роботи органи керування необхідно оснащувати графічними символами, які позначають призначення та напрямок руху механізмів.

Система заземлення або занулення пневмоколісного крана повинна виконуватись відповідно до вимог ПУЕ. У більшості випадків достатнім вважається приєднання елементів, що підлягають заземленню, до металоконструкцій крана за умови забезпечення безперервності електричного кола. Якщо електрообладнання встановлене безпосередньо на заземлених металевих конструкціях із зачищеними контактними поверхнями, додаткове заземлення не потрібне. Кранові рейки та металеві конструкції повинні бути надійно електрично з'єднані між собою для створення суцільного заземлювального контуру.

Панелі керування, розташовані в кабіні оператора, повинні бути оснащені захисними оболонками або сітчастими огорожами, які запобігають випадковому доторканню до струмовідних елементів [11]. Установлення резисторів електродвигунів безпосередньо в кабіні керування не допускається, оскільки це може призвести до перегріву, підвищення температури повітря в кабіні та створення додаткової пожежної небезпеки.

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СПУСКО-ПІДЙОМНОГО ПРИСТРОЮ ПНЕВМОКОЛІСНОГО КРАНА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 12 Т

2.1 Загальні технічні характеристики електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана

Загальні технічні характеристики електропривода СПП ПК вантажопідйомністю 12 т наведені у вигляді табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Загальні технічні характеристики електропривода СПП ПК

Найменування параметра	Значення
Вантажопідйомність, т	12
Висота підняття вантажу, м	14
Швидкість підйому/спуску вантажу, м/с	0,14
Швидкість пересування крана, м/с	перша передача – 0,1 друга передача – 0,5
Тривалість включення (ТВ), %	25
Напруга постійного живлення привода, В	220
Виконавчі електродвигуни	ПБС-52 – 4 шт., ПБС-53 – 4 шт.
Застосовані передатні механізми	Ц2-250-1500 – 4 шт., ZF S5-42 – 4 шт.
Типи гальм	ТКТ-200 – 4 шт., ТКТГ-400м – 4 шт.
Вантажний канат	17,5-Г-I-H-1570
Робоча довжина каната, м	65

2.2 Технічні характеристики редукторних механізмів

В якості виконавчих редукторів для механізмів СПП ПК вибрано чотири горизонтальних циліндричних двоступеневих редуктора типу Ц2-250 та чотири двошвидкісні коробки передач типу *ZF S5-42* (рис. 2.2).

Технічні характеристики редукторних механізмів наведено у вигляді табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики редукторів

Найменування параметра	Значення
МЕХАНІЗМ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ – Ц2-250-1500 – 4 шт.	
Потужність підключеного електродвигуна, кВт	5,5
Тип передачі	циліндрична
Передатне відношення редуктора	41,34
Маса, кг	85
МЕХАНІЗМ ПЕРЕСУВАННЯ КРАНА – короб. передач <i>ZF S5-42</i> – 4 шт.	
Потужність підключеного електродвигуна, кВт	8
Тип передачі	циліндрична
Передатне відношення першої передачі	79,2
Передатне відношення другої передачі	395
Маса, кг	400

2.3 Технічні характеристики виконавчих електродвигунів

В якості виконавчих електродвигунів для механізмів СПП ПК вибрано двигуни постійного струму (ДПС) з змішаним збудженням (ЗЗ).

Технічні характеристики вибраних електродвигунів наведено у вигляді табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики ДПС зі ЗЗ

Параметр	Механізми електропривода крана	
	Підйому вантажу	Пересування крана
Тип електродвигуна	ПБС-52	ПБС-53
Кількість, шт.	4	4
Потужність, кВт	5,5	8
Швидкість обертання, об/хв	2200	3000
Момент інерції ротора, кг·м ²	0,109	0,129
Струм статора, А	27	30
Струм ротора, А	22	25
Напруга живлення, В	220	220
Коефіцієнт корисної дії (ККД), %	88	91
Максимальний момент, Н·м	52	56
Маса, кг	140	159

2.4 Технічні характеристики гальм

Для СПП ПК вибрано два типи колодкових гальм:

- без електрогідроприводу;
- з електрогідроприводом.

Основні технічні характеристики вибраних гальм представлені у вигляді табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики гальм

Найменування параметра	Значення
МЕХАНІЗМ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ	
Модель гальм	ТКТ-200
Тип гальм	двоколодкові
Кількість, шт.	4
Гальмівний момент, Н·м	40
МЕХАНІЗМ ПЕРЕСУВАННЯ КРАНА	
Модель гальм	ТКТГ-400м
Тип гальм	двоколодкові з електрогідприводом
Кількість, шт.	4
Гальмівний момент, Н·м	1500

2.5 Технічні характеристики вантажного каната

В якості вантажного каната вибрано тип 17,5-Г-I-H-1570.

Основні технічні характеристики зазначеного каната представлені у вигляді табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики каната типу 17,5-Г-I-H-1570

Найменування параметра	Значення
Конструкція стрічки	6x25
Стандарт	ГОСТ 7665-80
Діаметр, мм	17,5
Розривне зусилля, кН	153,5
Границя міцності, МПа	1570

2.6 Технічні характеристики гакової підвіски

В якості гакової підвіски (ГП) для роботи з вантажем вибрано модель компанії *Konecranes* (рис. 2.6). Технічні характеристики ГП компанії *Konecranes* представлені у вигляді табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики ГП компанії *Konecranes*

Найменування параметра	Значення
Вантажопідйомність, т	5
Кількість задіяних ГП, шт.	4
Кількість роликів, шт.	2
Діаметр роликів, мм	250
Діаметр допустимого каната, мм	16 – 20
Маса гака, кг	12,5

Технічні параметри наведеної ГП повністю задовольняють умовам роботи запропонованого електропривода СПП ПК вантажопідйомністю 12 т.

2.7 Технічні характеристики вантажної стрічки

В якості вантажного стропа для спуску/підйому яхт обираємо вантажну стрічку СТП. Технічні характеристики виробу представлені у вигляді табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики вантажної стрічки СТП

Найменування параметра	Значення
Вантажопідйомність, т	12
Кількість задіяних стрічок, шт.	2
Довжина, м	10
Ширина, м	0,4
Маса, кг	9

Технічні параметри вантажної стрічки відповідають технічним вимогам до підйому/спуску вантажів масою до 12 т.

2.8 Технічні характеристики пневматичних шин

В якості шин для пневматичних коліс застосовуємо модель виробництва *Ascenso* (рис. 2.8). Технічні характеристики шин представлені у вигляді табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики шини *Ascenso*

Найменування параметра	Значення
Розмір шини	420/70 R24
Кількість задіяних шин, шт.	4
Індекс вантажопідйомності / швидкості	130D
Обід	W13
Зовнішній діаметр, мм	1248
Довжина окружності, мм	3733
Рисунок на протекторі	TDR 700
Статичний радіус, мм	569

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИЙНЯТИХ ПРИ РОЗРОБЦІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СПУСКО-ПІДЙОМНОГО ПРИСТРОЮ ПНЕВМОКОЛІСНОГО КРАНА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 12 Т

3.1 Розробка 3D моделі конструкції спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана

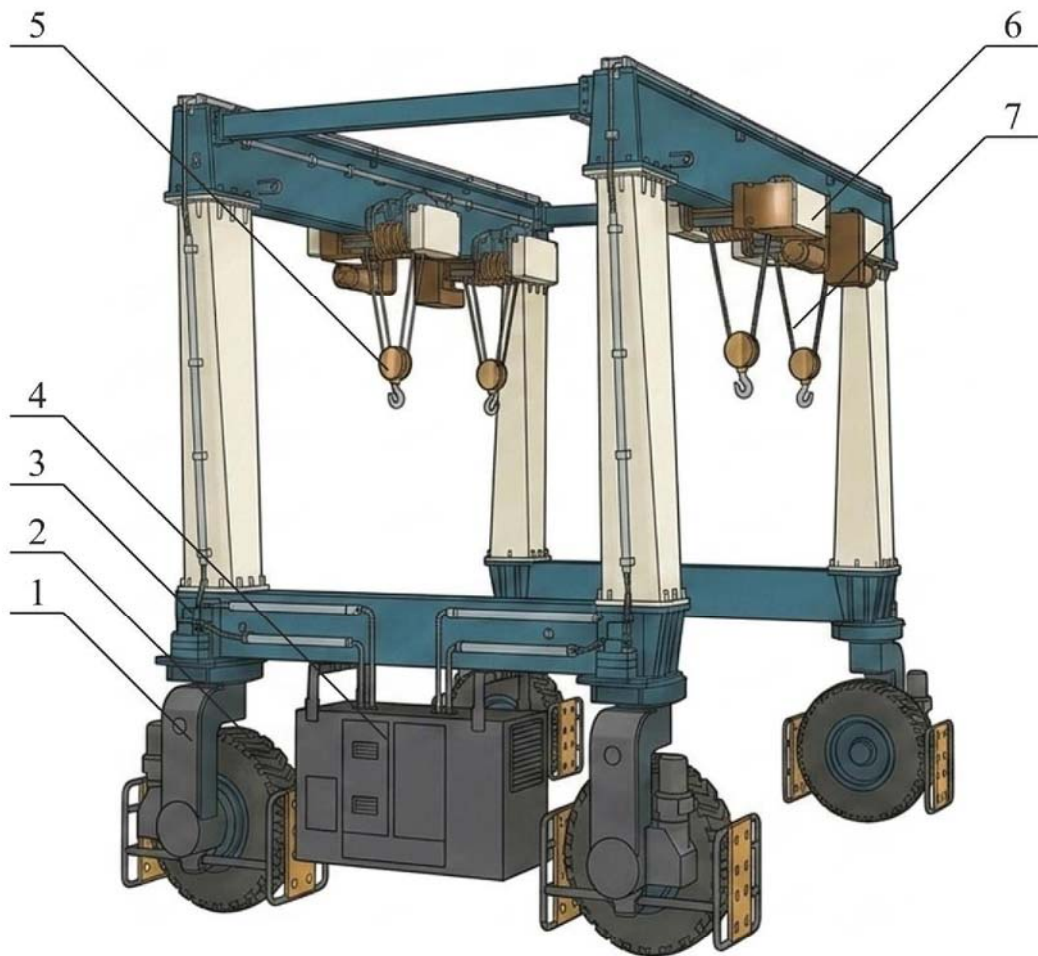
На рис. 3.1 представлено загальний вигляд розробленої 3D моделі конструкції електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крану, що призначений для виконання вантажопідіймальних і транспортно-технологічних операцій у процесі ремонтних та складських робіт. Розробка виконана в програмному середовищі *AutoCAD 3D* та поєднує несучу раму, ходову частину, систему підйому вантажу та механізми керування.

Основою конструкції є рама (3, рис. 3.1), яка виконує функцію головного несучого елемента. На рамі закріплюються всі вузли та агрегати пристрою, включаючи механізми пересування, систему електроживлення та вантажопідіймальне обладнання. Конструкція рами забезпечує необхідну жорсткість і стійкість виробу під час роботи з вантажами номінальною масою до 12 т. Просторове компонування рами також дозволяє рівномірно розподіляти навантаження між опорними елементами ходової частини.

Пересування пристрою здійснюється за допомогою пневматичних коліс (2, рис. 3.1). Використання пневмоколісного шасі забезпечує маневровість і можливість експлуатації крану на різних типах поверхонь, у тому числі на нерівних виробничих майданчиках. Колеса мають амортизаційні властивості, що знижують динамічні навантаження на конструкцію під час руху та транспортування вантажу.

Зміна напрямку руху і орієнтація ходової частини виконуються за допомогою гідравлічного механізму повороту (1, рис. 3.1). Даний механізм забезпечує поворот колісних опор у необхідному напрямку та дозволяє

здійснювати точне маневрування пристроєм в обмеженому просторі. Гідравлічний привід характеризується плавністю роботи та можливістю передавання значних зусиль при мінімальних габаритах виконавчих елементів.



- 1) – гідравлічний механізм повороту; 2) – пневматичне колесо; 3) – рама;
4) – головний розподільчий щит; 5) – захватний пристрій; 6) – вантажна лебідка;
7) – вантажний канат

Рисунок 3.1 – 3D модель конструкції СПП пневмоколісного крана
(вид позаду, ліворуч)

В центральній частині конструкції розміщений головний розподільчий щит (4, рис. 3.1). Він призначений для керування електричними та гідравлічними системами пристрою, розподілу енергії між виконавчими механізмами та забезпечення захисту електрообладнання від перевантажень і коротких замикань.

У верхній частині конструкції встановлено захватний пристрій (5, рис. 3.1), який безпосередньо взаємодіє з вантажем під час виконання підйомно-транспортних операцій. Захватний механізм забезпечує фіксацію та утримання вантажу в процесі його переміщення, а також дозволяє налаштувати пристрій до роботи з різними типами вантажів.

Підйом / спуск вантажу здійснюється чотирма вантажними лебідками (6, рис. 3.1). Вони створюють тягове зусилля для переміщення вантажних канатів та забезпечують контроль швидкості руху вантажу. Конструкція кожної лебідки передбачає можливість плавного регулювання роботи та фіксації вантажу в заданому положенні.

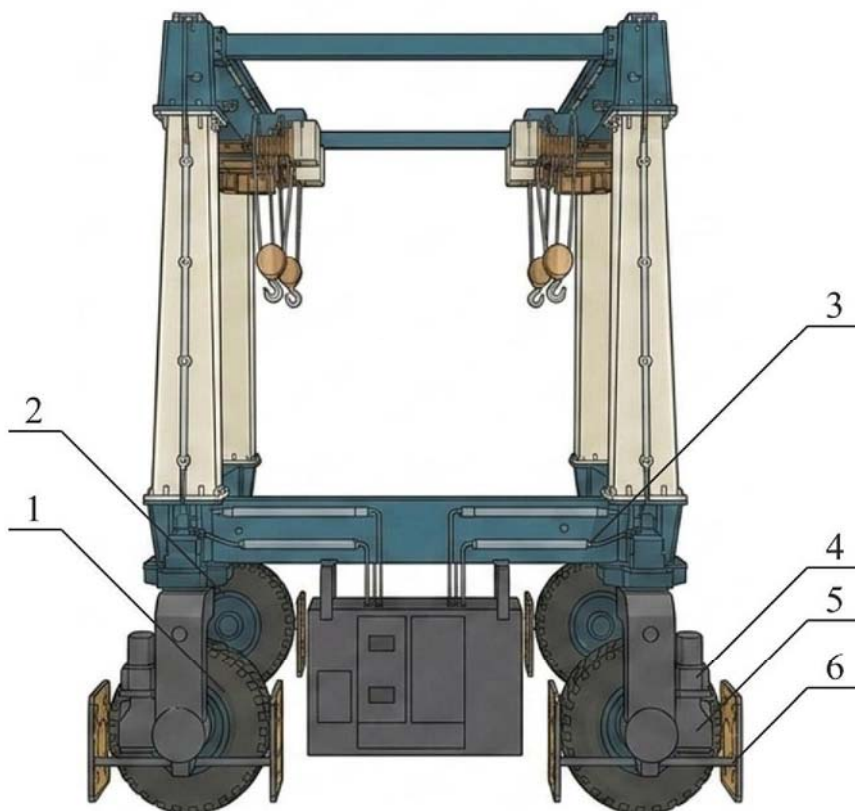
Передавання зусилля від лебідок до вантажозахватних органів здійснюється за допомогою вантажних канатів (7, рис. 3.1). Канат працює на розтяг, забезпечуючи надійне утримання вантажу під час підйому, переміщення та спуску. Розташування канатів та схема запасування забезпечують рівномірний розподіл навантаження між елементами конструкції.

Основу ходової системи пневмоколісного крана становлять поворотні електроприводні колеса (1, рис. 3.2). Вони забезпечують зміну напрямку руху пристрою та дозволяють виконувати маневрування в обмежених виробничих умовах. Наявність індивідуального електроприводу для кожного колеса підвищує покращує прохідність конструкції. Поворотний механізм забезпечує необхідний кут відхилення коліс для реалізації руху по складній траєкторії.

Неповоротні електроприводні колеса (2, рис. 3.2) виконують функцію основних опорних та тягових елементів ходової частини. Вони гарантують стійкість конструкції під час руху та сприймають основну частину навантаження від маси пристрою і транспортованого вантажу. Використання електроприводу дозволяє забезпечити плавний запуск, регулювання швидкості руху та зниження механічних втрат у процесі експлуатації.

Для забезпечення роботи гідравлічної системи в конструкції передбачено гідравлічні канали (3, рис. 3.2). Їх призначення це подавання робочої рідини до виконавчих механізмів та передавання енергії між гідравлічними елементами

системи. Конструкція каналів реалізує герметичність, стійкість до тиску та надійну роботу обладнання в різних режимах експлуатації.



- 1) – поворотні колеса; 2) – неповоротні колеса; 3) – гідравлічний канал;
4) – електродвигун; 5) – редуктор; 6) – захисний щит

Рисунок 3.2 – 3D модель конструкції СПП пневмоколісного крана
(вид зліва)

Приведення ходової частини у рух здійснюється електродвигунами (4, рис.3.2). Електродвигуни перетворюють електричну енергію у механічну, яка надалі передається на колісні механізми. Застосування електричного приводу дозволяє знизити рівень шуму під час тривалої експлуатації.

Передавання крутного моменту від електродвигуна до коліс здійснюється через редукторні механізми (5, рис.3.2). Вони зменшують частоти обертання та одночасне збільшення крутного моменту, необхідного для переміщення пристрою з вантажем.

Для захисту елементів ходової частини та приводу від механічних пошкоджень у конструкції передбачено захисні щити (6, рис. 3.2) у кількості по 2 шт. на кожне колесо. Вони запобігають потраплянню сторонніх предметів у робочу зону механізмів, а також виконують функцію додаткового захисту персоналу під час експлуатації обладнання. Наявність захисного щита підвищує безпеку роботи та сприяє збільшенню ресурсу основних вузлів пристрою.

Загальні габаритні розміри пневмоколісного крана становлять 12000×9520×14340 мм.

На рис. 3.3 показано процес маневрування крана та функціонування системи керування ходовою частиною під час зміни напрямку руху.

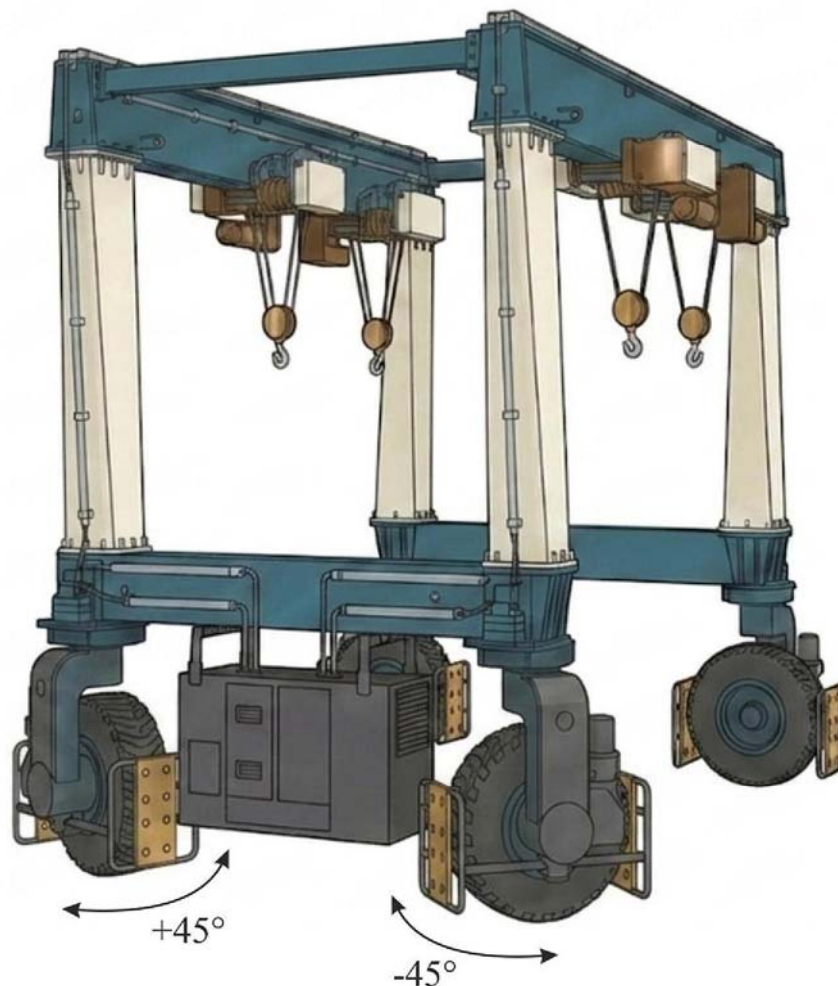
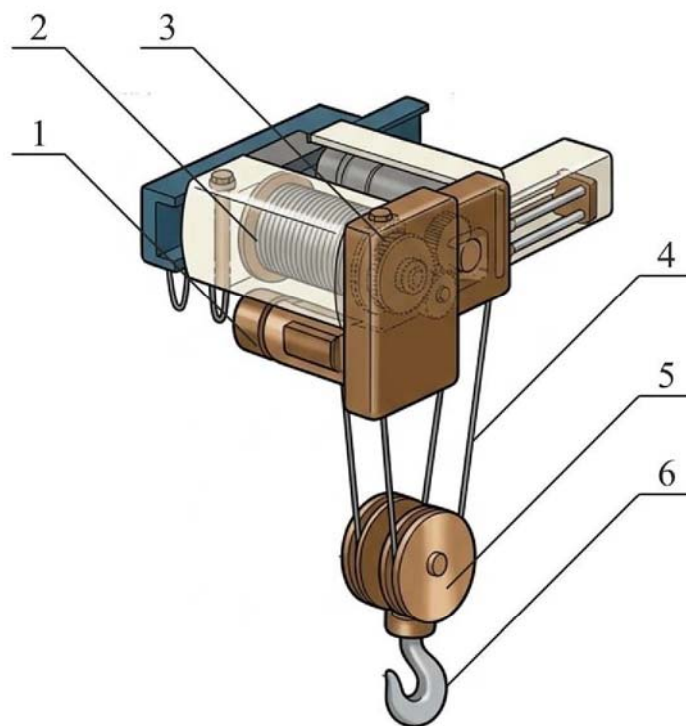


Рисунок 3.3 – 3D модель конструкції СПП пневмоколісного крана
під час повороту електроприводних коліс
(вид позаду, ліворуч)

В представленій конструкції два передні електроприводні колеса є ведучими та обладнані механізмом повороту, який функціонує за допомогою гідравлічного приводу. Система забезпечує синхронний поворот коліс у горизонтальній площині в межах 90° , що відповідає максимальному відхиленню на 45° вліво та на 45° вправо відносно поздовжньої осі пристрою. Поворот коліс здійснюється шляхом подавання робочої рідини до гідравлічних виконавчих механізмів, які створюють необхідне зусилля для зміни положення поворотних вузлів.

Інші два електроприводні колеса встановлені на крані є веденими та не оснащені механізмом повороту. Їх основна функція полягає у забезпеченні опори конструкції, сприйнятті навантажень від маси пристрою та вантажу, а також підтримання руху під час маневрування.

На рис. 3.4 представлено окремо 3D модель електроприводного СПП.



- 1) – електродвигун; 2) – барабан; 3) – редуктор; 4) – вантажний канат;
5) – блок; 6) – гак

Рисунок 3.4 – 3D модель конструкції СПП пневмоколісного крана

Основою енергетичного забезпечення механізму виступає електродвигун (1, рис. 3.4), який перетворює електричну енергію в механічну обертальну дію. Обертальний момент від вала двигуна передається на редуктор (3, рис. 3.4), який виконує функцію зниження частоти обертів при одночасному збільшенні крутного моменту, необхідного для подолання сили тяжіння вантажу.

Вихідний вал редуктора жорстко з'єднаний з барабаном (2, рис. 3.4), що виконує намотування або змотування вантажного каната (4, рис. 3.4) залежно від обраного режиму роботи – підйому чи спуск. Канат проходить через систему поліспада, важливою частиною якого є рухомий блок (5, рис. 3.4). Використання блоку дозволяє значно знизити зусилля, що діє на канат та барабан, забезпечуючи кратність поліспада для роботи з номінальною масою 12 т. Кінцевою ланкою кінематичного ланцюга є гак (6, рис. 3.4), призначений для безпосереднього захоплення вантажу або кріплення допоміжних вантажозахоплювальних пристроїв. Вся конструкція поєднана в корпус, який не переміщується по напрямних балках крана, а є статичним. Таким електроприводним механізми задіяно чотири, що дозволяє безпечно не лише піднімати об'єкти, але й переміщувати їх у межах транспортувальної зони.

3.2 Побудова електричної принципової схеми керування електроприводом спуско-підйомного механізму пневмоколісного крана

Схема керування електроприводом спуско-підйомного механізму пневмоколісного крана призначена для забезпечення надійного пуску, плавного регулювання швидкості, реверсування та гальмування двигуна постійного струму (рис. 3.5). Живлення схеми здійснюється від мережі постійного струму напругою 220 В. Електропривод забезпечує роботу спуско-підйомного механізму вантажу, а також створює необхідні умови для безпечної експлуатації крана [12].

Керування електроприводом здійснюється за допомогою командоконтролера (КК), який має сім фіксованих положень [13]. Три положення відповідають режиму «Підйом», три – режиму «Спуск», а одне є нульовим. Рукоятка командоконтролера після переведення в певне положення утримується в ньому до наступного перемикання оператором.

Після ввімкнення рубильників $QS1$ і $QS2$ напруга подається на паралельну обмотку збудження LM та контактор динамічного гальмування KD . При появі струму в колі збудження спрацьовує реле контролю поля KAH , яке контролює наявність струму збудження двигуна. Контакт цього реле готує коло живлення реле нульового захисту KVN . Пуск двигуна можливий лише після встановлення командоконтролера в нульове положення. У цьому режимі реле KVN спрацьовує та своїм контактом шунтує контакт $SM1$, створюючи умови для подальшого вмикання схеми.

Після переведення рукоятки командоконтролера, наприклад у третє положення «Підйом», спрацьовують контактори KL і KMB . Через пускові резистори якір двигуна підключається до мережі живлення, що обмежує величину пускового струму. Одночасно контактор KMB розмикає коло контактора динамічного гальмування KD , вмикає реле блокування KB та підключає реле противовмикання KPB паралельно якорю двигуна і частині зовнішнього опору.

В момент пуску через силове коло проходить значний струм, унаслідок чого на пускових резисторах виникає падіння напруги, достатнє для спрацювання реле KPB та реле прискорення $KT1$ і $KT2$. Після спрацювання реле прискорення їх контакти тимчасово розривають кола котушок контакторів прискорення $KU1$ і $KU2$. Контакт реле KPB подає живлення на котушку контактора KP , який закорочує ступінь противовмикання та одночасно шунтує котушку реле $KT1$. У результаті утворюється демпфуючий контур, що сповільнює спадання магнітного потоку реле та забезпечує необхідну витримку часу.

Після закінчення витримки часу спрацьовує контактор $KU1$, який закорочує перший ступінь пускового опору. Через певний проміжок часу аналогічно спрацьовує контактор $KU2$, що закорочує другий ступінь пускового резистора.

Після виведення всіх пускових опорів двигун переходить на природну механічну характеристику. Опір противовмикання $R_{пр}$ у процесі пуску виконує функцію додаткового ступеня обмеження струму.

В процесі розгону двигуна, коли електрорушійна сила якоря досягає приблизно $E_{я} \approx (0,6 - 0,7) \cdot U_n$ спрацьовує реле динамічного гальмування KV . Це реле своїм контактом підготовляє коло живлення реле блокування KB . Одночасно інший контакт реле KV розмикає коло котушки контактора KMB , однак контактор не відключається, оскільки живлення його котушки підтримується через реле KB .

При переведенні командоконтролера в нульове положення або при спрацюванні захисту контактори KL і KMB знеструмлюються, а двигун відключається від мережі. Після цього отримує живлення котушка контактора KD , який підключає до якоря двигуна резистор динамічного гальмування $R_{дг}$. У цьому режимі двигун працює як генератор, а кінетична енергія механізму розсіюється на гальмівному резисторі у вигляді тепла. Гальмування триває до повної зупинки двигуна.

Для реверсування двигуна рукоятку командоконтролера переводять у відповідне положення «Спуск». Під час проходження через нульове положення короткочасно відключається контактор KL , а також знеструмлюються контактори KMB , KP , $KU1$ і $KU2$. Якщо швидкість двигуна ще достатньо велика, спочатку починається процес динамічного гальмування. Після зниження швидкості до певного значення реле KV відключається, внаслідок чого знеструмлюється реле блокування KB . Після цього замикається його контакт у колі контактора KMH , який підключає якорь двигуна до мережі з протилежною полярністю через зовнішні опори. Двигун переходить у режим противовмикання.

На початку гальмування противовмиканням напруга на котушці реле KPH близька до нуля, тому воно не спрацьовує. Це забезпечується правильним вибором точки підключення котушки реле до зовнішнього опору. У процесі подальшого зменшення швидкості напруга на котушці реле KPH збільшується, і при швидкості, близькій до нульової, реле спрацьовує. Після цього включається контактор KP , який закорочує ступінь противовмикання та забезпечує перехід

двигуна на пускову реостатну характеристику. Двигун починає розгін уже у напрямку «Спуск», тобто відбувається його реверсування.

Якщо команда на реверс подається при невеликій швидкості двигуна, коли реле *KV* ще не втягнуте, гальмування виконується лише режимом протитримання без попереднього динамічного гальмування.

В схемі передбачено комплекс електричних захистів, які забезпечують безпечну роботу електропривода. Захист силового кола здійснюється максимальними струмовими реле *KA1* і *KA2* та плавким запобіжником *FU1*. Для запобігання небезпечному збільшенню швидкості обертання двигуна при обриві кола збудження застосовано реле *KAN*, увімкнене послідовно з обмоткою збудження. Нульовий захист, реалізований реле *KVN*, відключає двигун при зникненні або значному зниженні напруги та запобігає самовільному повторному пуску двигуна після відновлення живлення. Захист обмотки збудження від перенапруг забезпечується резистором R_r та діодом *VD*. Кола керування захищені плавким запобіжником *FU2*.

В схемі також реалізовані необхідні блокування. Реле блокування *KB* виключає можливість одночасного увімкнення контакторів *KMB* і *KMH*, що могло б призвести до короткого замикання силового кола. Крім того, за допомогою розмикальних блок-контактів контакторів *KMB* і *KMH* виключається можливість увімкнення контактора динамічного гальмування *KD* у той момент, коли якір двигуна підключений безпосередньо до мережі.

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СПУСКО-ПІДЙОМНОГО ПРИСТРОЮ ПНЕВМОКОЛІСНОГО КРАНА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 12 Т

4.1 Розрахунок спуско-підйомного механізму

Статична потужність електродвигуна

$$P = \frac{G \cdot v}{4 \cdot \eta_m},$$

де $G = 118$ кН – вага вантажу.

Тоді

$$P = \frac{118 \cdot 0,14}{4 \cdot 0,86} = 4,8 \text{ кВт.}$$

Для механізмів підймання слід вибирати електродвигуни постійного струму з незалежним або змішаним збудженням, які мають досить жорсткі механічні характеристики [14].

Будемо застосовувати чотири вантажні лебідки разом з електродвигуном типу ПБС-52 постійного струму закритого виконання з природним охолодженням і змішаним збудженням $P = 5,5$ кВт, $n = 2200$ об/хв, ($\omega = 230$ рад/с), $TВ = 25\%$, $I_p = 0,109$ кг·м².

Швидкість намотування каната на барабан

$$v_k = v \cdot u,$$

$$v_k = 0,14 \cdot 5 = 0,7 \text{ м/с.}$$

Частота обертання барабана

$$n_6 = \frac{60 \cdot v_k}{\pi \cdot D},$$

$$n_6 = \frac{60 \cdot 0,7}{3,14 \cdot 0,24} = 55,7 \text{ об/хв.}$$

Передатне число редуктора

$$u_p = \frac{n}{n_6},$$

$$u_p = \frac{2200}{55,7} = 39,5.$$

За каталогом на кожну лебідку для режиму роботи 4-ї групи при частоті обертання вхідного вала 2200 об/хв вибираємо редуктор Ц2-250-1500 з передатним числом $u_p = 41,34$ для потужності 5,5 кВт.

Фактична швидкість підймання

$$v_{\phi} = 0,14 \cdot \frac{39,5}{41,34} = 0,134 \text{ м/с.}$$

Тривалість пуску механізму на підймання (опускання) номінального вантажу та на опускання визначається за одним і тим самим виразом, лише враховується знак впливу «+», або «-» [15].

Отож, тривалість пуску механізму

$$t_{\Pi} = \frac{I_{\text{зв}} \cdot \omega}{M_{\text{п.сп}} \mp M_{\text{ст}}},$$

де $I_{\text{зв}}$ – зведений до вала електродвигуна момент інерції механізму під час пуску та гальмування при підйманні вантажу.

Кутова швидкість ротора

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 2200}{30} = 230 \text{ рад/с.}$$

Тоді

$$I_{\text{зв}} = \delta \cdot (I_{\text{р}} + I_{\text{м}}) + \frac{m_{\text{в}} \cdot D^2}{4 \cdot u_{\text{м}}^2 \cdot \eta_{\text{м}}},$$

де $\delta = 2,4$ – коефіцієнт, який ураховує обертові маси, що не розміщені на валу двигуна;

$I_{\text{р}} = 0,109 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції ротора;

$I_{\text{м}} = 0,002 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції муфти;

$m_{\text{в}} = 3000 \text{ кг}$ – маса вантажу, що надходить на один з чотирьох двигунів;

$D = 0,24 \text{ м}$ – діаметр барабана по центру каната;

$\eta_{\text{м}} = 0,86$ – ККД механізму;

$u_{\text{м}}$ – передатне число механізму.

Передатне число механізму визначаємо з виразу

$$u_m = u \cdot u_p,$$

$$u_m = 5 \cdot 41,34 = 207 \text{ кН.}$$

Отже

$$I_{зв} = 2,4 \cdot (0,056 + 0,012) + \frac{2500 \cdot 0,304^2}{4 \cdot 255^2 \cdot 0,87} = 0,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Середній пусковий момент електродвигуна

$$M_{п.ср} = \frac{M_{\max} + 0,78 \cdot M_{\text{н}}}{2},$$

$$M_{п.ср} = \frac{5,3 \cdot M_{\text{н}} + 0,78 \cdot M_{\text{н}}}{2},$$

$$M_{п.ср} = \frac{33,5 + 0,78 \cdot 23,9}{2} = 26,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номінальний момент електродвигуна

$$M_{\text{н}} = \frac{P}{\omega},$$

$$M_{\text{н}} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{230} = 23,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статичний момент від ваги вантажу на валу двигуна

$$M_{\text{ст}} = \frac{G \cdot D}{2 \cdot u_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{м}}},$$

$$M_{\text{ст}} = \frac{30000 \cdot 0,24}{2 \cdot 207 \cdot 0,86} = 20,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким чином, тривалість пуску на підймання вантажу становитиме

$$t_{\text{п}} = \frac{0,311 \cdot 230}{26,1 - 20,2} \approx 12 \text{ с}.$$

Зведений до вала електродвигуна момент інерції механізму в період пуску та гальмування при опусканні вантажу

$$I_{\text{зв.оп}} = \delta \cdot (I_{\text{р}} + I_{\text{м}}) + \frac{m_{\text{в}} \cdot D^2}{4 \cdot u_{\text{м}}^2} \cdot \eta_{\text{м}},$$

$$I_{\text{зв.оп}} = 2,4 \cdot (0,109 + 0,02) + \frac{300 \cdot 0,24^2}{4 \cdot 207^2} \cdot 0,86 = 0,31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Статичний момент на валу двигуна при опусканні вантажу

$$M_{\text{ст.оп}} = \frac{GD}{2 \cdot u_{\text{м}}} \cdot \eta_{\text{м}},$$

$$M_{\text{ст.оп}} = \frac{30000 \cdot 0,24}{2 \cdot 207} \cdot 0,86 = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тривалість пуску на опускання вантажу

$$t_{\text{п}} = \frac{0,31 \cdot 230}{26,1 + 15} \approx 1,7 \text{ с.}$$

Прискорення під час пуску приводу:

– на підіймання

$$a = \frac{v}{t_{\text{п}}},$$

$$a = \frac{0,14}{12} \approx 0,012 \text{ м/с}^2,$$

– на опускання вантажу

$$a = \frac{0,14}{1,7} \approx 0,08 \text{ м/с}^2.$$

4.1.1 Розрахунок гальмівного моменту та вибір типу гальм

Момент у період гальмування

$$M_{\text{Г}} = k_{\text{Г}} \cdot M_{\text{ст.Г}},$$

де $k_{\text{Г}} = 1,75$ – коефіцієнт запасу гальмування для режиму роботи 4-ї групи;

$M_{\text{ст.Г}}$ – статичний момент на валу двигуна в період гальмування при опусканні вантажу

$$M_{\text{ст.Г}} = M_{\text{ст.оп}} = 15 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

За каталогом вибираємо двоколодкові гальма типу ТКТ-200 з найбільшим гальмівним моментом $M_{\Gamma} = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$, відрегульованим на розрахунковий гальмівний момент [16].

Тривалість гальмування при опусканні вантажу

$$t_{\Gamma} = \frac{I_{\text{зв.}\Gamma} \cdot \omega}{M_{\Gamma} - M_{\text{ст.}\Gamma}},$$

$$t_{\Gamma} = \frac{0,31 \cdot 230}{40 - 15} \approx 3 \text{ с.}$$

Підіймальний механізм гальмується електродвигуном, а гальма вмикаються лише в момент повного зупинення механізму.

4.1.2 Перевірка електродвигуна на пусковий момент

Умова правильності вибору електродвигуна: середній пусковий момент двигуна має бути більшим за момент, який виникає під час пуску, тобто

$$M_{\text{п.ср}} \geq M_{\text{п}},$$

де $M_{\text{п.ср}} = 26,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – визначений раніше, тоді

$$M_{\text{п}} = M_{\text{ст}} + M'_{\text{д}} + M''_{\text{д}},$$

де $M_{\text{ст}} = 20,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – статичний момент від ваги вантажу, зведений до вала двигуна (визначений раніше);

$M'_{\text{д}}$ – динамічний момент мас, що рухаються лінійно і визначається з виразу

$$M'_{\text{д}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot R^2 \cdot \omega}{4 \cdot u_{\text{м}}^2 \cdot \eta_{\text{м}} \cdot t_{\text{п}}},$$

$$M'_d = \frac{3000 \cdot \left(\frac{0,24}{2}\right)^2 \cdot 230}{4 \cdot 207^2 \cdot 0,86 \cdot (12 + 1,7)} = 0,005 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамічний момент обертових мас

$$M''_d = \delta \cdot (I_p + I_m) \cdot \frac{\omega}{4 \cdot t_{\pi}},$$

де $\omega = 230$ рад/с – частота обертання ротора на першому пусковому ступені.

Отже

$$M''_d = 2,4 \cdot (0,109 + 0,02) \cdot \frac{230}{4 \cdot (12 + 1,7)} = 4,51 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким чином, пусковий момент становить

$$M_{\pi} = 20,2 + 0,005 + 4,51 = 24,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тоді отримаємо $M_{\pi, \text{ср}} = 26,1 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\pi} = 24,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$, а це означає, що вибрані електродвигуни разом з редукторами задовольняють умову перевірки на пусковий момент.

4.2 Визначення опорів пересування пневмоколісного крана і параметрів пересувного механізму

Опір пересуванню крана визначають для прямолінійного та криволінійного шляхів, при цьому враховується сума всіх опорів, що впливають на рух крана.

Тоді, опір пересуванню крана

$$F = F_{\text{пр}} + F_{\text{кр}} + F_y + F_v,$$

де $F_{\text{пр}}$ – опір рухові по прямій;

$F_{\text{кр}}$ – опір рухові на криволінійному шляху;

F_y – опір рухові на уклоні;

F_v – опір рухові від дії вітру на вантаж і кран.

Опір рухові по прямій визначають для таких доріг і умов роботи

а) м'який пісок з уклоном $3,5^\circ$, без вантажу

$$F_{\text{пр}} = f + G_k \cdot \cos \alpha,$$

де $f = 0,35$ – коефіцієнт опору пересуванню;

$G_k = 157$ кН – повна вага крана.

Тоді

$$F_{\text{пр}} = 0,35 + 157 \cdot 0,998 = 54,8 \text{ кН.}$$

б) асфальтована дорога з уклоном 10° , без вантажу

$$F_{\text{пр1}} = 0,015 \cdot 157 \cdot 0,998 = 2,35 \text{ кН.}$$

в) суха ґрунтова дорога з уклоном $3,5^\circ$, з номінальним вантажем

$$F_{\text{пр2}} = 0,015 \cdot (157 + 30) \cdot 0,998 = 2,8 \text{ кН.}$$

г) м'який пісок з уклоном 10° , з вантажем $0,25 \cdot G_{\max}$

$$F_{\text{прз}} = 0,35 \cdot (157 + 0,25 \cdot 157) \cdot 0,985 = 67,7 \text{ кН.}$$

Опір на м'якому піщаному криволінійному шляху при роздільному приводі ведучих коліс або за наявності диференціала

$$F_{\text{кр}} = \varphi_{\text{зч}} \cdot \frac{\rho}{R} \cdot G_{\text{к}},$$

де $\varphi_{\text{зч}} = 0,55$ – коефіцієнт зчеплення в процесі пересування;

$\rho = 0,03$ м – зведене плече прикладення сил тертя на ділянці контакту колеса з ґрунтом;

$R = 7$ м – радіус повороту крана за зовнішнім колесом.

Отже

$$F_{\text{кр}} = 0,55 \cdot \frac{0,03}{7} \cdot 157 = 0,37 \text{ кН.}$$

Опір пересуванню на уклоні шляху

– кран з вантажем, $\alpha = 10^\circ$ і $\alpha = 3^\circ$

$$F_y = (G_{\text{к}} + G) \cdot \sin \alpha,$$

$$F_y = (157 + 0,25 \cdot 157) \cdot 0,174 = 34,1 \text{ кН.}$$

$$F_y = (157 + 30) \cdot 0,05 = 9,35 \text{ кН.}$$

– кран без вантажу, $\alpha = 10^\circ$ і $\alpha = 3^\circ$

$$F_y = 157 \cdot 0,174 = 27,3 \text{ кН},$$

$$F_y = 157 \cdot 0,05 = 7,85 \text{ кН}.$$

Опір силам вітру, що діють на кран:

– з вантажем масою m_B

$$F_B = F_K + F_G,$$

$$F_B = A_K \cdot q \cdot k \cdot c \cdot \psi + A_G \cdot q \cdot k \cdot c,$$

де $A_K = 7,5 \text{ м}^2$, $A_G = 10 \text{ м}^2$ – площі крана і вантажу;

$q = 0,125 \text{ кПа}$ – тиск вітру на кран у робочому стані;

k – коефіцієнт збільшення вітрового тиску по висоті;

c – аеродинамічний коефіцієнт обтікання;

ψ – коефіцієнт перевантаження:

– без вантажу

$$F_K = 1,68 \text{ кН},$$

– з вантажем масою $0,25 \cdot m_B$ опір

$$F_B = 3,71 \text{ кН}.$$

Визначаємо потужності електродвигуна для розрахункових випадків руху крану без вантажу по м'якому піску з нахилом 3° та 10° .

Також, визначаємо потужності електродвигуна для розрахункових випадків руху крану з вантажем по сухій ґрунтовій дорозі з нахилом 3° та м'якому піску з нахилом 10° . З урахуванням мінімальної $0,1$ м/с і максимальної $0,6$ м/с швидкостей пересування крана

$$P_p = \frac{F \cdot v_k}{\eta_m},$$

$$P_p = \frac{54,8 \cdot 0,5}{0,86} = 31,9 \text{ кВт.}$$

$$P_p = \frac{2,35 \cdot 0,5}{0,86} = 1,37 \text{ кВт,}$$

$$P_p = \frac{2,8 \cdot 0,1}{0,86} = 0,326 \text{ кВт,}$$

$$P_p = \frac{67,3 \cdot 0,1}{0,86} = 7,83 \text{ кВт.}$$

Вибираємо двигун постійного струму типу ПБС-53 зі змішаним збудженням $P = 8$ кВт, $n = 3000$ об/хв, ($\omega = 314$ рад/с), $I_p = 0,129$ кг·м².

Частота обертання ходових коліс:

— максимальна

$$n_{\max} = \frac{60 \cdot v_k}{\pi \cdot D_k},$$

$$n_{\max} = \frac{60 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 1,26} = 7,58 \text{ об/хв,}$$

— мінімальна

$$n_{\min} = \frac{60 \cdot 0,1}{3,14 \cdot 1,26} = 1,52 \text{ об/хв.}$$

Передатне число:

— мінімальна

$$u_{\min} = \frac{n}{n_{\max}},$$

$$u_{\min} = \frac{3000}{7,58} = 396,$$

— максимальне

$$u_{\max} = \frac{3000}{1,52} = 1973.$$

Вибираємо кінематичну схему механізму пересування, яка складається з електродвигуна, двошвидкісної коробки передач. Тоді передатне число першої передачі коробки передач

$$u_1 = \frac{u_{\min}}{u_{3.м}},$$

$$u_1 = \frac{396}{5} = 79,2,$$

– другої передачі

$$u_2 = \frac{1973}{5} = 395,$$

де $u_{зм} = 5$ – передатне число заднього (переднього) моста.

Обираємо одну двошвидкісну коробку передач *ZF S5-42*.

Визначаємо гальмівний момент для режимів двигуна при русі крану без вантажу по м'якому піску з нахилом 10° та руху крану з вантажем м'якому піску з нахилом 10° за заданим шляхом гальмування і сповільненням (у середньому беремо $a_r = 1 \text{ м/с}^2$) або за тривалістю гальмування

$$t_r = \frac{v_k}{a_r},$$

$$t_r = \frac{0,5}{1} = 0,5 \text{ с},$$

$$t_r = \frac{0,1}{1} = 0,1 \text{ с}.$$

Для даних режимів t_r беремо відповідно 0,5 і 0,1 с.

Гальмівний момент на валах ходових коліс

$$M_r = M_{вг} + M_{у.г} + M_{д.г} - M_{т}.$$

Визначаємо моменти для режиму руху крану без вантажу по м'якому піску з нахилом 10°

– від сил вітру

$$M_{\text{в.г}} = F_{\text{к}} \cdot \frac{D}{2},$$

$$M_{\text{в.г}} = 1,68 \cdot \frac{1,26}{2} = 1,06 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

– від сил, зумовлених уклоном,

$$M_{\text{у.г}} = F_{\text{у}} \cdot \frac{D_{\text{к}}}{2},$$

$$M_{\text{у.г}} = 9,35 \cdot \frac{1,26}{2} = 5,89 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Динамічний момент (при нейтральному положенні важеля коробки передач)

$$M_{\text{д.г}} = \frac{m_{\text{к}} \cdot D_{\text{к}}^2}{4} \cdot \frac{\omega_{\text{к}}}{t_{\text{г}}},$$

де $m_{\text{к}} = 16000 \text{ кг}$ – маса крана;

$D_{\text{к}} = 1,26 \text{ м}$ – діаметр ходових коліс;

$\omega_{\text{к}}$ – кутова швидкість ходових коліс, що визначається з виразу

$$\omega_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{max}}}{30},$$

$$\omega_{\text{к}} = \frac{3,14 \cdot 1,52}{30} = 0,159 \text{ рад/с},$$

Тоді

$$M_{д.г} = \frac{16000 \cdot 1,26^2}{4} \cdot \frac{0,793}{0,5} = 10,1 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Таким чином, величини $M_{г}$ становитиме

$$M_{г} = 1,06 + 5,89 + (10,1 - 2,77) = 14,3 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Гальмівний момент для режиму руху крану з вантажем по сухій ґрунтовій дорозі з нахилом 3° визначаємо, як і для режиму руху крану без вантажу по м'якому піску з нахилом 10°

$$M_{в.г} = 3,41 \cdot \frac{1,26}{2} = 2,15 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$M_{у.г} = 27,3 \cdot \frac{1,26}{2} = 17,2 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$M_{д.г} = \frac{(30000 + 16000) \cdot 1,26^2}{4} \cdot \frac{3,14 \cdot 1,52}{30 \cdot 0,4} = 3 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$M_{т} = 8,2 \cdot \frac{1,26}{2} = 5,17 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Отже

$$M_{г} = 2,15 + 17,2 + (3 - 5,17) = 17,2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

За розрахунковий гальмівний момент беремо момент з урахуванням коефіцієнта запасу не нижче ніж 1,25. Вибираємо гальмо з мінімальним гальмівним моментом

$$M_r = 40 \cdot 1,25 \approx 21,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Установлюючи гальмо на інших валах, треба розрахункові моменти звести до відповідного вала з урахуванням передатного числа і ККД.

Зубчасті передачі, вали тощо розраховуємо згідно з рекомендаціями спеціальної літератури.

Прискорення під час пуску і гальмування мають обмежуватись умовами уникнення буксування привідних (гальмових) коліс

$$\alpha_{\max} \leq \frac{F_3}{m_k} \cdot (\mu_0 + f_{\min}) \pm \frac{F}{m_k},$$

де $F_3 = 85 \text{ кН}$ – навантаження на привідні колеса (заднє та переднє);

$\mu_0 = 0,4$ – коефіцієнт опору коченню колеса по дорозі;

$F = F_{\text{пр1}} = 2,35 \text{ кН}$ – опір пересуванню крана у разі гальмування опір від уклону і тертя беремо зі знаком «мінус»;

$m_k = 16 \text{ т}$ – маса крана.

Тоді отримаємо

$$\alpha_{\max} \geq \frac{85}{16} \cdot (0,4 + 0,015) - \frac{2,35}{16};$$

$$\alpha_{\max} \geq 2,06 \text{ м/с}^2.$$

4.2.1 Визначення тривалості пуску

Для крана з вантажем

$$t_{\Pi} = \frac{I_{\text{зв}} \cdot \omega}{M_{\text{п.ср}} - M_{\text{ст}}},$$

де $I_{\text{зв}}$ – момент інерції для одного механізму, зведений до вала двигуна

$$I_{\text{зв}} = \delta \cdot (I_{\text{р}} + I_{\text{м}}) + \frac{(m_{\text{в}} + m_{\text{к}}) \cdot R_{\text{к}}^2}{u_{\text{max}}^2 \cdot \eta_{\text{м}}},$$

$$I_{\text{зв}} = 2,4 \cdot (0,129 + 0,46) + \frac{(3000 + 16000) \cdot 0,63^2}{1973^2 \cdot 0,86} = 1,42 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Кутова швидкість ротора ω

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/с}.$$

Середній пусковий момент двигуна

$$M_{\text{п.ср}} = \frac{4 \cdot M_{\text{н}}}{2},$$

де $M_{\text{н}}$ – номінальний момент.

Номінальний момент визначаємо з виразу

$$M_{\text{н}} = \frac{P}{\omega},$$

$$M_{\text{н}} = \frac{8000}{314} = 25,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Таким чином, середній пусковий момент двигуна

$$M_{\text{п.ср}} = \frac{4 \cdot 25,5}{2} = 51 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Статичний момент на валу двигуна

$$M_{\text{ст}} = \frac{F \cdot D_{\text{к}}}{2 \cdot u_{\text{max}} \cdot \eta_{\text{м}}},$$

де $F = 18965 \text{ Н}$ – опір рухові.

Тоді

$$M_{\text{ст}} = \frac{18965 \cdot 1,26}{2 \cdot 1973 \cdot 0,86} = 7,04 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тоді тривалість

$$t_{\text{п}} = \frac{1,42 \cdot 314}{51 - 7,04} = 10,1 \text{ с}.$$

Відповідно тривалість пуску крана без вантажу для розрахункового режиму руху крана без вантажу по м'якому піску з уклоном 10°

$$t_{\Pi} = \frac{I_{3B} \cdot \omega}{M_{\Pi.ср} - M_{ст}},$$

$$t_{\Pi} = \frac{1,42 \cdot 314}{51 - 20,7} = 14,7 \text{ с.}$$

де додатково

$$I_{3B} = \delta \cdot (I_p + I_M) + \frac{m_K \cdot D_K^2}{4 \cdot u_{\max}^2 \cdot \eta_M},$$

$$I_{3B} = 2,4 \cdot (0,129 + 0,46) + \frac{16000 \cdot 1,26^2}{4 \cdot 1973^2 \cdot 0,86} = 1,42 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$M_{ст} = \frac{F \cdot D_K}{4 \cdot u_{\max} \cdot \eta_M},$$

$$M_{ст} = \frac{55845 \cdot 1,26}{4 \cdot 1973 \cdot 0,86} = 20,7 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Тоді прискорення під час пуску

$$a = \frac{v_K}{t_{\Pi}},$$

$$a = \frac{0,5}{10,1} \approx 0,05 \text{ м/с}^2.$$

Відповідно максимально допустиме прискорення $a_{\max} = 2,5 \text{ м/с}^2$ істотно більше за отримане $a = 0,05 \text{ м/с}^2$. Отже, буксування під час пуску не буде.

4.2.2 Перевірка електродвигуна механізму пересування на пусковий момент Умови правильності вибору

$$M_{\text{п.ср}} \geq M_{\text{п}},$$

де $M_{\text{п.ср}}$ – середньопусковий момент електродвигуна.

Пусковий момент, який виникає на валу двигуна

$$M_{\text{п}} = M_{\text{ст}} + M'_{\text{д}} + M''_{\text{д}},$$

де

$$M'_{\text{д}} + M''_{\text{д}} = \frac{I_{\text{зв}} \cdot \omega}{t_{\text{п}}},$$

$$M'_{\text{д}} + M''_{\text{д}} = \frac{1,42 \cdot 314}{4 \cdot 10,1} = 11 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Отже, пусковий момент становить

$$M_{\text{п}} = 20,7 + 11 = 31,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Після підстановки цих значень дістанемо нерівність $31,7 < 51$, отже, вибраний електродвигун витримає перевірку за моментом для швидкості 0,5 м/с.

Якщо гальмо встановлюють не на колесах, а на валу двигуна, то гальмівний момент має бути достатнім для утримання крана на прямолінійній ділянці твердої дороги з найбільшим уклоном 10° .

Таким чином, гальмівний момент

$$M_{\Gamma} = M_{\text{в.}\Gamma} + M_{\text{у.}\Gamma} + M'_{\text{д.}\Gamma} + M''_{\text{д}} - M_{\text{т}},$$

$$M_{\Gamma} = \frac{(F_{\text{к}} + F_{\text{у}}) \cdot D_{\text{к}}}{2 \cdot u_{\text{max}} \cdot \eta_{\text{м}}} + \frac{m_{\text{к}} \cdot R_{\text{к}}^2 \cdot \omega}{2 \cdot u_{\text{max}}^2 \cdot \eta_{\text{м}} \cdot t_{\Gamma}} + \delta \cdot (I_{\text{п}} + I_{\text{м}}) \cdot \frac{\omega}{t_{\Gamma}} - \frac{F_{\text{пр1}} \cdot D_{\text{к}}}{2 \cdot u_{\text{max}} \cdot \eta_{\text{м}}},$$

$$M_{\Gamma} = \frac{(1680 + 27300) \cdot 1,26}{2 \cdot 1973 \cdot 0,86} + \frac{16000 \cdot 0,63^2 \cdot 314}{2 \cdot 1973^2 \cdot 0,4 \cdot 0,86} + 2,4 \cdot (0,129 + 0,46) \times \\ \times \frac{314}{0,4} - \frac{2,35 \cdot 1,26}{2 \cdot 1973 \cdot 0,86} = 1121 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

За каталогом вибираємо гальма типу ТКТГ-400м з гальмівним моментом по 1500 Н·м.

Тривалість гальмування при $I_{\text{зв}} \times \frac{\omega}{t_{\Gamma}} > M_{\text{ст.}\Gamma}$

$$t_{\Gamma} = \frac{I_{\text{зв}} \cdot \omega}{M_{\Gamma} + M_{\text{ст.}\Gamma}},$$

де $I_{\text{зв.}\Gamma} = I_{\text{зв}} = 1,42 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – зведений до вала двигуна момент інерції в період гальмування механізму;

$M_{\Gamma} = 1121 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – момент гальма;

ω – кутова швидкість, що визначається виразом

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ (рад/с)}.$$

Статичний момент під час гальмування $M_{\text{ст.Г}}$, визначається виразом

$$M_{\text{ст.Г}} = \frac{(F_{\text{в}} + F_{\text{у}}) \cdot D_{\text{к}}}{2 \cdot u_{\text{max}} \cdot \eta_{\text{м}}} - \frac{F_{\text{пл}} \cdot D_{\text{к}}}{2 \cdot u_{\text{max}} \cdot \eta_{\text{м}}},$$

$$M_{\text{ст.Г}} = \frac{(1680 + 27300) \cdot 1,26}{2 \cdot 1973 \cdot 0,86} - \frac{2,35 \cdot 1,26}{2 \cdot 1973 \cdot 0,86} = 10,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тоді

$$t_{\text{г}} = \frac{1,42 \cdot 314}{2 \cdot 1121 + 10,8} \approx 0,2 \text{ с},$$

Відповідно, прискорення становитиме

$$a_{\text{г}} = \frac{v}{t_{\text{г}}},$$

$$a_{\text{г}} = \frac{0,5}{0,2} = 2,5 \text{ м/с}^2 \leq [a_{\text{г}}] = 2,5 \text{ м/с}^2.$$

Щоб запобігти юзу, гальмування механізму здійснюється електродвигуном, а гальма замикаються тільки в момент його повної зупинки [17].

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на організм людини при роботі електропривода пневмоколісного крану

Під час експлуатації електропривода СПП ПК виникає широкий спектр небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть становити загрозу для життя та здоров'я працівників як у штатному режимі роботи, так і у випадках порушення нормальних умов експлуатації [18]. Основну небезпеку становлять механічні фактори, пов'язані з виконанням підйимально-транспортних операцій.

В процесі роботи крана можливе падіння вантажу, зіткнення елементів конструкції або перекидання машини внаслідок недостатньої стійкості, перевантаження, перевищення допустимого вантажного моменту чи неконтрольованого руху механізмів. Значний ризик створюють несподівані переміщення вантажу, неправильне використання вантажозахоплювальних пристроїв, помилки під час монтажу канатів, а також одночасна робота декількох кранів у спільній зоні. Небезпечними є також удари вантажем по працівниках, неконтрольоване опускання вантажу через несправність гальмівних систем і недостатня механічна міцність окремих вузлів та деталей крана.

Додаткову загрозу становлять механічні небезпеки, пов'язані безпосередньо зі складовими частинами СПП ПК, рухомими деталями, вантажами, що переміщуються та вантажозахоплювальними органами. В процесі експлуатації працівники можуть зазнавати травм через гострі крайки, ріжучі елементи, виступаючі частини конструкції або елементи, які перебувають під дією потенційної чи кінетичної енергії. Небезпечними наслідками є здавлювання, порізи, відсікання кінцівок, захоплення одягу чи частин тіла рухомими механізмами, проколювання, удари та розбризкування рідин під високим тиском.

У разі порушення безпечних відстаней або втрати стійкості окремих елементів можливі падіння працівників з крана чи ковзання під час пересування по конструкції.

Суттєву небезпеку під час роботи електропривода становлять електричні фактори [19]. Контакт працівника з частинами, що перебувають під напругою, або з елементами, які опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, може призвести до електротравм, опіків чи смертельного ураження електричним струмом. Небезпека посилюється у разі наближення до високовольтних елементів, виникнення коротких замикань, перевантажень, електростатичних процесів чи удару блискавки. Крім безпосереднього впливу електричного струму, раптовий електрошок може стати причиною падіння працівника або втрати контролю над інструментом і обладнанням.

Під час роботи крана можливий вплив термічних небезпек, пов'язаних із контактом із нагрітими або переохолодженими поверхнями, дією полум'я, вибухами чи тепловим випромінюванням. Робота в умовах високих або низьких температур може спричиняти опіки, обмороження, перегрів організму або інші фізіологічні порушення. Додатковим негативним фактором є шум, який супроводжує роботу механізмів крана та електропривода. Тривалий вплив підвищеного рівня шуму здатний викликати погіршення слуху, втому, стрес, зниження концентрації уваги та порушення координації рухів. Крім того, шум ускладнює сприйняття попереджувальних сигналів і мовної комунікації між працівниками.

Небезпечним фактором є також виробнича вібрація, яка впливає на організм кранівника та обслуговувального персоналу. Тривалий вплив вібрації може призводити до захворювань судинної та нервової систем, порушення кровообігу, ураження суглобів і загального погіршення стану здоров'я. Окрім цього, під час роботи СПП ПК можливе виділення шкідливих речовин у вигляді пилу, парів, газів або аерозолів, які здатні проникати в організм через органи дихання, шкіру чи слизові оболонки. Особливу небезпеку становлять легкозаймисті та вибухонебезпечні речовини, що можуть спричинити пожежі або вибухи.

Важливе значення мають ергономічні фактори. Незручна робоча поза, надмірне фізичне навантаження, недостатнє освітлення або нераціональне розміщення органів керування та приладів контролю негативно впливають на працездатність кранівника та можуть спричинити помилки в управлінні. Психоемоційне навантаження, стрес і втома також підвищують імовірність аварійних ситуацій. Небезпека посилюється у випадках несподіваного запуску механізмів, раптового збільшення швидкості руху, відмов систем керування чи перебоїв енергопостачання.

Серйозну загрозу створюють дефекти складання та монтажу крана, а також поломки, що виникають у процесі експлуатації через втому металу, критичне спрацювання деталей, корозію або надмірні деформації. Падіння інструментів, деталей конструкції чи особистих речей працівників також належить до поширених небезпечних факторів. Під час руху крана ризик виникає через надмірну швидкість переміщення, недостатню ефективність гальмування, значні коливання вантажу або рух машини без належного контролю з боку кранівника.

Небезпечні фактори безпосередньо пов'язані і з робочим місцем кранівника [20]. Недостатній огляд робочої зони, незручне сидіння, підвищений рівень шуму та вібрації, відсутність належного освітлення чи засобів евакуації можуть спричинити виникнення аварійних ситуацій. Особливо небезпечними є пожежі в кабіні, недостатня вентиляція або накопичення шкідливих газів. Водночас неправильне розміщення органів керування чи недосконала конструкція системи управління можуть призводити до помилкових дій оператора.

Окрему групу ризиків становлять небезпеки, пов'язані з джерелами енергії та їх передаванням між механізмами крана, а також вплив зовнішніх факторів. Вітрові навантаження, ожеледиця, сніг, грозові розряди або сейсмічні явища можуть суттєво погіршувати стійкість і безпечність роботи СПП ПК. Додатковою проблемою є можливість несанкціонованого запуску обладнання, відсутність або несправність попереджувальних сигналів, а також недостатньо повні інструкції з експлуатації та охорони праці для кранівника ПК, що підвищує ризик виникнення нещасних випадків під час експлуатації електропривода СПП ПК.

5.2 Запобіжні заходи проти ураження струмом та пожежі при експлуатації електропривода пневмоколісного крану

Електрообладнання СПП ПК, а також його монтаж, система струмопроводів, освітлення, заземлення та інші засоби електробезпеки повинні відповідати вимогам ПУЕ та чинних нормативних документів. Умови експлуатації електрообладнання мають відповідати групам М3 та М4 згідно з установленими нормативними вимогами, що забезпечує надійну та безпечну роботу обладнання в умовах виробничого середовища [21].

Електрообладнання, розташоване на СПП ПК, повинно мати ступінь захисту не нижче *IP44*, що гарантує захист від проникнення твердих частинок і вологи. Живлення крана від зовнішньої електромережі здійснюється через ввідний пристрій у вигляді рубильника, автоматичного вимикача або іншого комутаційного апарата з ручним чи дистанційним приводом. Якщо ввідний пристрій розташований поза кабіною або у відкритій кабіні керування, він повинен замикатися на замок у вимкненому стані та мати чіткі позначення положень «Виключено» і «Включено».

Для запобігання несанкціонованому керуванню краном захисна панель обладнується індивідуальним контактним замком із ключем-маркою, що виключає можливість подачі напруги на кран сторонніми особами. У разі розміщення захисної панелі поза кабіною допускається дублювання ключа-марки на панелі керування в кабіні. При цьому захисна панель підлягає обов'язковому пломбуванню.

Система керування електродвигунами повинна забезпечувати безпечний режим роботи та унеможливлювати самозапуск електродвигунів після відновлення електроживлення, запуск двигунів із порушенням установленної схеми прискорення, а також пуск електроприводів через контакти пристроїв безпеки. Такий підхід дозволяє мінімізувати ризик аварійних ситуацій та пошкодження обладнання.

Кабіна кранівника має бути оснащена електричним освітленням відповідно до нормативних вимог. Кола освітлення та сигнальних пристроїв повинні живитися до ввідного пристрою через окремі вимикачі. До ввідного пристрою можуть також підключатися системи зв'язку, крановий підйомник, загороджувальні вогні, повітроочисні фільтри та опалювальні прилади для обігрівання електрообладнання. Освітлювальні прожектори робочої зони повинні вмикатися самостійними вимикачами, розташованими в кабіні та на порталі або естакаді.

З метою забезпечення електробезпеки забороняється використовувати металоконструкції крана як струмопроводи для кіл із напругою понад 25 В. Вантажозахоплювальні органи та інші елементи крана, які за умовами технологічного процесу перебувають під напругою, не підлягають заземленню. У такому випадку вони повинні бути ізольовані від заземлених частин не менше ніж трьома ступенями ізоляції, причому опір кожного ступеня має становити не менше 10 МОм. Ізоляція електрообладнання та електропроводки повинна бути розрахована на можливість прикладання до неї напруги від вантажу у випадку пошкодження або перекриття захисної ізоляції. Контроль стану ізоляції виконується під час повного технічного огляду спеціалізованою лабораторією, яка має відповідний дозвіл на проведення таких робіт.

Органи керування СПП ПК повинні бути виконані таким чином, щоб забезпечувати зручність роботи кранівника у сидячому положенні та не обмежувати огляд вантажу і вантажозахоплювального органа. Напрямок руху рукояток, важелів і джойстиків має відповідати напрямку руху механізмів. Умовні позначення напрямків повинні зберігатися протягом усього строку експлуатації обладнання. Окремі положення органів керування мають фіксуватися, причому зусилля фіксації в нульовому положенні повинно бути більшим, ніж в інших положеннях. У системах із безступінчатим регулюванням допускається фіксація лише нульового положення.

Кнопки реверсивного пуску механізмів повинні мати електричне блокування, яке унеможливорює одночасне ввімкнення реверсивних кіл. Органи керування, призначені для роботи з підлоги, повинні автоматично повертатися у нульове положення після відпускання. Робота механізмів допускається лише за умови постійного утримання кнопки або рукоятки в робочому положенні.

У разі наявності декількох постів керування обов'язково передбачається блокування, яке виключає можливість одночасного керування краном із різних місць. Для механізмів з індивідуальним нульовим захистом допускається не включати контакти нульового блокування в коло контактора захисної панелі, але в кабіні при цьому має бути передбачена світлова індикація ввімкнення та вимкнення панелі керування.

Лебідки з електричним приводом повинні оснащуватися нормально закритими гальмами, які автоматично спрацьовують при вимиканні приводу. Коефіцієнт запасу гальмування повинен бути не менше двох. Передача руху від електродвигуна до барабана має здійснюватися лише через зубчасті або черв'ячні передачі. Використання пасових, фрикційних передач, а також кулачкових і фрикційних муфт не допускається через недостатню надійність і безпечність таких рішень.

Для забезпечення стійкості під час роботи лебідки мають бути надійно закріплені на фундаменті або обладнані баластом, розрахованим на дію подвійного робочого навантаження [22]. Стаціонарні електричні лебідки повинні бути обладнані кінцевими вимикачами, які автоматично вимикають електродвигун при досягненні крайніх положень вантажозахоплювального пристрою.

Після встановлення, перед введенням в експлуатацію та надалі не рідше одного разу на 12 місяців лебідки підлягають повному технічному огляду. Під час статичних випробувань навантаження повинно перевищувати номінальне тягове зусилля на 50 %, а під час динамічних випробувань – на 10 %. Технічний огляд СПП ПК включає візуальний контроль, перевірку роботи на холостому ході, а також статичні й динамічні випробування.

Статичне випробування СПП проводиться навантаженням, що перевищує номінальну вантажопідіймальність ПК на 100 %, тоді як динамічне випробування виконується з перевантаженням на 10 %, що дозволяє оцінити працездатність, надійність та безпечність роботи обладнання в умовах експлуатації.

5.3 Висновки по розділу

В даному розділі кваліфікаційної роботи був проведений аналіз основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що виникають під час експлуатації електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана. Сформульовані запобіжні заходи проти ураження струмом та пожежі при експлуатації електропривода пневмоколісного крану.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи виконано розрахунок електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана вантажопідйомністю 12 т, а саме його механізму спуску/підйому вантажу. Наведено технічні характеристики розробленого електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана та основних його складових елементів.

На основі виконання математичних розрахунків в кваліфікаційній роботі підтверджено працездатність розробленого електропривода спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крана. Виконано розробку 3D моделі конструкції спуско-підйомного пристрою. Побудовано електричну принципову схему керування електроприводом спуско-підйомного механізму пневмоколісного крана з застосуванням двигунів постійного струму зі змішаним збудженням. Виконано визначення опорів пересуванню пневмоколісного крана і необхідних параметрів пересувного механізму. Наведені розрахунки редукторних та гальмівних механізмів. Реалізовано вибір складового обладнання спуско-підйомного пристрою пневмоколісного крану та виконано перевірки їх відповідності умовам роботи його електропривода.

Всі прийняті технічні рішення супроводжуються відповідними розрахунковими формулами, побудованими рисунками та сучасними інформаційними джерелами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Яцун В.В., Джирма С.О., Яцун В.В., Горпинченко О.В. Вантажопідйомна, транспортуюча та транспортна техніка: навчальний посібник. – Кропивницький: 2020. – 126 с.
2. Козуб Ю.Г., Маслійов С.В. Підйомно-транспортні машини: підручник. – Старобільськ: 2018. – 277 с.
3. Tong Wei. Mechanical design of electric motors. – CRC Press, 2014. – 737 p.
4. Хмара Л.А., Колісник М.П., Голубченко О.І. Будівельні крани. Конструкція та експлуатація: підручник. – Київ: 2001. – 294 с.
5. Sen Paresh. Principles of electric machines and power electronics, Third editions. – Wiley, 2013. – 642 p.
6. Василега П.О. Електротехнологічні установки: навчальний посібник. – Суми: 2010. – 548 с.
7. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів: НПАОП 0.00-1.01-07. – Київ: 2007. – 312 с.
8. Правила улаштування електроустановок. Міненерговугілля України, 5-те видання, перероблене й доповнене. – Київ: 2014. – 793 с.
9. Пижов В.М., Красношапка Н.Д., Островерхов М.Я.. Електропривод: Механіка електроприводу. Електромеханічне перетворення енергії та електромеханічні властивості двигунів постійного струму: навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.
10. Білюк І.С., Гаврилов С.О., Савченко О.В., Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю. Системи керування електроприводів: навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2023. – 172 с.
11. ДСТУ 2313-93. Електроприводи. Терміни та визначення.

12. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. – Харків: 2012. – 340 с.

13. Василега П.О., Муріков Д.В. Електропривод робочих машин: підручник. – Суми: 2022. – 290 с.

14. Бондарев В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П., Бондарев С.В., Горбатенко Ю.П., Барабанов В.Я. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: підручник. – Київ: 2009. – 734 с.

15. Видмиш А.А., Ярошенко Л.В. Основи електропривода. Теорія та практика: навчальний посібник, Ч.1. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.

16. ДСТУ 2848-94. Апарати електричні комутаційні. Основні поняття. Терміни та визначення

17. ДСТУ ІЕС 60898-1:2005. Устаткування електричне допоміжне. Автоматичні вимикачі для захисту від надструмів побутового та аналогічного застосування.

18. Лавріненко Ю.М., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г., Савченко В.В., Голодний І.М. Основи електропривода: підручник. – Київ: 2017. – 524 с.

19. Божко С.В., Пересада С.М., Печеник М.В., Толочко О.І. Цифрове керування електромеханічними системами: підручник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітньою програмою «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 149 с.

20. Лут М.Т., Радько І.П., Ковтун П.М., Окушко О.В. Охорона праці (електробезпека) : навчальний посібник. – Київ: 2017. – 355 с.

21. Вовк Ю.Я., Вовк І.П. Охорона праці в галузі: навчальний посібник. – Тернопіль: 2015. – 172 с.

22. Попов С.В., Бучинський М.Я., Гнітько С.М., Чернявський А.М.. Теорія механізмів технологічних машин: підручник. – Київ: 2020. – 268 с.