

Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки  
кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих  
комплексів

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

«12» 06 2026 р.

# Кваліфікаційна робота

на здобуття рівня вищої освіти

бакалавр

на тему Електрообладнання вітроенергетичної установки

Виконав: студент 4367ст3 групи

**Сергій АНТОНОВ**

(підпис)

Керівник роботи:

Д.Н.Т., професор

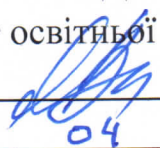
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

**Яна ВОЛЯНСЬКА**

(підпис)

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки  
Кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітня програма Електромеханіка та електроенергетика

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Гарант освітньої програми  
  
«22» 04 2026 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
на здобуття рівня вищої освіти бакалавр**

Студенту Антонову Сергію Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Електрообладнання вітроенергетичної установки

Керівник роботи Волянська Я. Б., проф., д.т.н., проф. каф. ЕІС та РК

Затверджені наказом ректора № \_\_\_\_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

2. Термін виконання роботи 09 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи вітроенергетична установка вітрильного типу потужністю 2кВт; напруга 220/380В; висота щогли 15-20м.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів) розробка механічної конструкції ВЕУ; розрахунок і вибір електрообладнання ВЕУ; перевірка обраного електрообладнання на працездатність та надійність; охорона праці.

5. Перелік презентаційного матеріалу

1. Електрична структурна схема ВЕУ
2. Модель схеми зарядного пристрою для АБ
3. Модель схеми інвертора, що живиться від АБ
4. Графіки вхідних і вихідних параметрів розроблених пристроїв
5. Схема конструкції ВЕУ
6. Зовнішній вигляд ВЕУ вітрильного типу

6. Консультанти розділів роботи

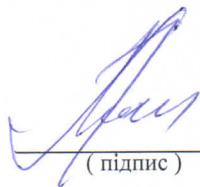
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання 15 вересня 2025 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

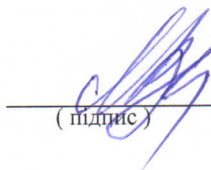
| № з/п | Назва етапів дипломного роботи                                                                                     | Строк виконання етапів роботи    | Примітка |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------|
| 1     | Видача завдання на ДП.                                                                                             | 15.09.2025 р.                    |          |
| 2     | Рубіжний контроль. Чернові варіанти розділів та розширеного змісту ПЗ                                              | 10.02.2026 р.                    |          |
| 3     | Рубіжний контроль. Готовий розширений зміст ПЗ, спецрозділів, 1-3 розділи ПЗ. Розрахунки.                          | 27.03.2026 р.                    |          |
| 4     | Рубіжний контроль. Чернетка повної пояснювальної записки, презентації та доповіді.                                 | 08.05.2026 р.                    |          |
| 5     | Кафедральний захист. Готова, зшита ПЗ, підписана студентом, керівником. Готова презентація та доповідь укр. мовою. | 05.06.2026 р.                    |          |
| 6     | Подання документів на захист.                                                                                      | 09.06.2026 р.                    |          |
| 7     | Захист ДП                                                                                                          | 15.06.2026 р. –<br>27.06.2026 р. |          |

Здобувач

  
(підпис)

Сергій АНТОНОВ  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Яна ВОЛЯНСЬКА  
(прізвище та ініціали)

## **Анотація**

У даній роботі поставлена задача проектування вітроенергетичної установки вітрильного типу потужністю 2кВт.

Для цього треба провести аналіз вітроенергетичного потенціалу України, вивчити умови розташування ВЕУ. Розроблено загальну механічну конструкцію ВЕУ, її електричну структурну схему, розрахувати й обрати електрообладнання ВЕУ. Перевірити обране електрообладнання на працездатність і відповідність умовам роботи ВЕУ.

Вивчено питання технології монтажу та налагодження електрообладнання ВЕУ, охорони праці.

**Ключові слова:** асинхронний електропривод, вітроенергетична установка, електрообладнання, мостовий кран.

## **Abstract**

This paper addresses the task of designing a 2 kW sail-type wind turbine.

To this end, it is necessary to analyze Ukraine's wind energy potential and study the site conditions for the wind turbine. The general mechanical design of the wind turbine and its electrical schematic diagram were developed, and the electrical equipment for the wind turbine was calculated and selected. The selected electrical equipment was tested for operability and compliance with the wind turbine's operating conditions.

Issues related to the installation and commissioning of the wind turbine's electrical equipment, as well as occupational safety, were examined.

**Keywords:** asynchronous electric drive, wind turbine, electrical equipment, bridge crane.

## ЗМІСТ

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....                                                                | 5  |
| ВСТУП.....                                                                                   | 6  |
| 1 ОСНОВИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПІДЙОМУ КРАНА....                                            | 7  |
| 1.1 Принципи роботи електроприводів.....                                                     | 8  |
| 1.2 Типи електродвигунів, що використовуються.....                                           | 11 |
| 1.3 Загальні відомості про мостові крани.....                                                | 18 |
| Висновки до розділу 1.....                                                                   | 21 |
| 2 АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ<br>МОСТОВОГО КРАНУ.....                        | 22 |
| 2.1 Особливості частотно-регульованого кранового електроприводу..                            | 23 |
| 2.2 Розробка структури асинхронного електроприводу механізму<br>підйому мостових кранів..... | 29 |
| 2.3 Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу....                            | 30 |
| Висновки до розділу 2.....                                                                   | 35 |
| 3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ<br>КРАНА.....                                  | 36 |
| 3.1 Вибір електродвигуна.....                                                                | 37 |
| 3.2 Розрахунок параметрів електродвигуна.....                                                | 38 |
| 3.3 Розрахунок природної характеристики електродвигуна.....                                  | 39 |
| 3.4. Розрахунок системи перетворювача частоти.....                                           | 42 |
| 3.5. Вибір перетворювача частоти.....                                                        | 47 |
| Висновки до розділу 3.....                                                                   | 51 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                                         | 52 |
| 4.1 Обґрунтування необхідності розгляду питань з охорони праці.....                          | 53 |
| 4.2 Охорона праці й техніка безпеки при роботі з електроустановками...                       | 54 |
| 4.3 Організація робіт.....                                                                   | 55 |
| 4.4 Охорона праці при виконанні електромонтажних робіт.....                                  | 56 |
| 4.5 Технічне обслуговування апаратної частини.....                                           | 59 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Висновки до розділу 4.....                                                                | 60 |
| 5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....                                                   | 61 |
| 5.1 Обґрунтування необхідності розгляду питань з охорони<br>навколишнього середовища..... | 62 |
| 5.2 Оцінка впливу виробу на навколишнє середовище.....                                    | 63 |
| 5.3 Енергоефективність виробу.....                                                        | 64 |
| 5.4 Утилізація.....                                                                       | 64 |
| Висновки до розділу 5.....                                                                | 65 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                             | 66 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                                                       | 67 |

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АД – асинхронний двигун

АВ – автоматичний вимикач

СК – система керування

ДК – дистанційне керування

ЕД – електродвигун

ЕП – електропривод

КЗ – коротке замикання

ККД – коефіцієнт корисної дії

МК – місцеве керування

МХ – механічна характеристика

ПП – плавний пуск

ПЧ – перетворювач частоти

DTC – direct torque control

## Вступ

Останнім часом запаси нафти і газу практично вичерпані. За оцінками експертів нафти вистачить на 20 років, а газу на 35-40 років. У зв'язку з цим почали розвивати і використати інші джерела енергії: енергію хвиль і води (ГЕС), енергію тепла і сонця (ТЕС), а також енергію вітру (ВЕС). Сюди ж належить також енергія припливів та тепло глибинних шарів Землі – геотермальна енергія.

Нині альтернативна енергетика з використанням нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) стає одним із базових напрямів розвитку технологій у світі, разом з інформаційними та нанотехнологіями вона є важливою складовою нового постіндустріального технологічного укладу.

Наявність невичерпної ресурсної бази та екологічна чистота НВДЕ є визначальними їх перевагами в умовах вичерпання ресурсів органічного палива та зростаючих темпів забруднення довкілля. Окрім того, їх не потрібно видобувати, купувати і транспортувати, позаяк вони є результатом дії сонячного випромінювання на фізичні, хімічні та біологічні процеси, що повсюдно відбуваються на Земній кулі, а з цього випливає їх практична невичерпність та поновлюваність.

На сьогодні частка НВДЕ у виробництві енергії у світі ще є незначною (близько 14%), однак їх потенціал на кілька порядків перевищує рівень світового споживання паливно-енергетичних ресурсів. Темпи зростання обсягів виробництва енергії НВДЕ також відчутно перевищують аналогічні для традиційних видів енергії. Так, у найближчі 10 років прогнозується щорічне зростання світових обсягів виробництва електроенергії традиційної електроенергетики в межах 2,8%, а електроенергії НВДЕ – 9,2%.

В Україні також існує значний потенціал використання НВДЕ (таблиця 1).

Таблиця 1.

Технічно досяжний енергетичний потенціал нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в перерахунку на умовне паливо (млн т у. п.) та обсяги заміщення природних енергетичних ресурсів

|                                                                                     | Сонячна енергетика | Геотермальна енергетика | Мала гідроенергетика | Енергія біомаси | Теплова енергія стічних вод | Теплова енергія ґрунту й ґрунтових вод | Всього | Споживання органічного палива |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------------------|--------|-------------------------------|
| Досяжний енергетичний потенціал                                                     | 6,0                | 12,0                    | 3,0                  | 20,0            | 4,2                         | 13,89                                  | 59,02  | 202,07                        |
| Обсяги заміщення органічного палива за рахунок «великої» гідроенергетики по Україні |                    |                         | 7,0                  |                 |                             | 3,6                                    |        |                               |
| Обсяги заміщення органічного палива за рахунок енергії вітру по Україні             |                    |                         | 15,0                 |                 |                             | 7,4                                    |        |                               |
| Технічно досяжний енергетичний потенціал позабалансових джерел енергії              |                    |                         | 12                   |                 |                             | 4,9                                    |        |                               |
| ВСЬОГО                                                                              |                    |                         | 93                   |                 | 202,07                      | 46                                     |        |                               |

З іншого боку, проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсу використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю призводить

до значних обсягів шкідливих викидів. Значні втрати при транспортуванні, розподілі та застосуванні електроенергії і тепла, а також монопольна залежність від імпорту енергоносіїв ще більш ускладнюють ситуацію на енергетичних ринках країни.

Використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) світова спільнота розглядає як один із найбільш перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення.

Вітроенергетика – це одна з наймолодших енергетичних галузей.

Джерело вітроенергетики – сонце, так як воно є відповідальним за утворення вітру. Атмосфера землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно через неоднорідності її поверхні та різний кут падіння світла в різних широтах в різну пору року. Повітря розширюється та підіймається догори, утворюючи потоки. Там де повітря нагрівається більше ці потоки підіймаються вище та зосереджуються у зонах низького тиску, а холодніше повітря підіймається нижче, створюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого тиску до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря і є тим, що ми називаємо вітром.

Щоб найкраще використати вітряну енергію, важливо досконало розуміти добові та сезонні зміни вітру, зміну швидкості вітру в залежності від висоти над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу та також статистичні дані хоча б за останні 20 років.

Від загальної кількості енергії сонця 1-2% перетворюється на енергію вітру. Ця кількість вп'ятеро перевищує річну світову енергетичну потребу. Сучасна технологія дозволяє використовувати тільки горизонтальні вітри, що розташовані близько до поверхні землі та мають швидкість від 12 до 65 км/год.

Енергія вітру використовується людством віддавна. Одним з найперших винаходів використання вітру було вітрило десь у п'ятому тисячолітті до н.е. У першому сторіччі до нашої ери давньогрецький вчений Герон Александрійський винайшов вітряк, що керував органом.

## 1. ОСНОВИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПІДЙОМУ КРАНА

### 1.1 Принципи роботи електроприводів

Електропривод – це керована електромеханічна система, призначена для перетворення електричної енергії в механічну і навпаки, а також для управління цим процесом. Майже всі процеси, пов'язані з механічною енергією та рухом, здійснюються за допомогою електроприводів. Виключення становлять лише автономні транспортні засоби (автомобілі, літаки, деякі види рухомого складу, судна), що використовують неелектричні двигуни. У невеликій кількості промислових установок застосовуються гідроприводи, а ще рідше – пневмоприводи.

Широке поширення електроприводів пояснюється особливостями електричної енергії: можливістю передавати її на великі відстані, постійною готовністю до використання, легкістю перетворення в інші види енергії. Сьогодні електроприводи використовуються в приладових системах з потужністю від одиниць мікроват до десятків мегават у компресорах на газових станціях. Діапазон частоти обертання також дуже широкий.

Сфера застосування сучасних електроприводів дуже широка: від штучного серця до крокуючого екскаватора, від вентилятора до антени радіотелескопа, від пральної машини до гнучкої виробничої системи. Ця взаємодія з технологічною сферою стимулює розвиток електроприводів, удосконалення їх елементної бази та методології. В свою чергу, розвиток електроприводів позитивно впливає на технологічну сферу, забезпечуючи нові можливості.

З енергетичної точки зору електроприводи є головними споживачами електричної енергії: в розвинених країнах вони споживають більше 60% всієї виробленої електроенергії. В умовах дефіциту енергетичних ресурсів це особливо актуалізує проблему енергозбереження в електроприводах [1].

Електропривод – електромеханічний пристрій, що приводить у рух функціональні органи машин та агрегатів для технологічного виконання процесу.

Електричні приводи складаються з електродвигуна, пристрою перетворення, управління та передачі.

### 1.1.1 Загальна будова електроприводу

З прогресом промислового виробництва електричні приводи зайняли в побуті та на виробництві лідируючу позицію за кількістю електродвигунів та загальної потужності. Розглянемо структуру, типи, класифікацію електроприводів, і вимоги до нього.

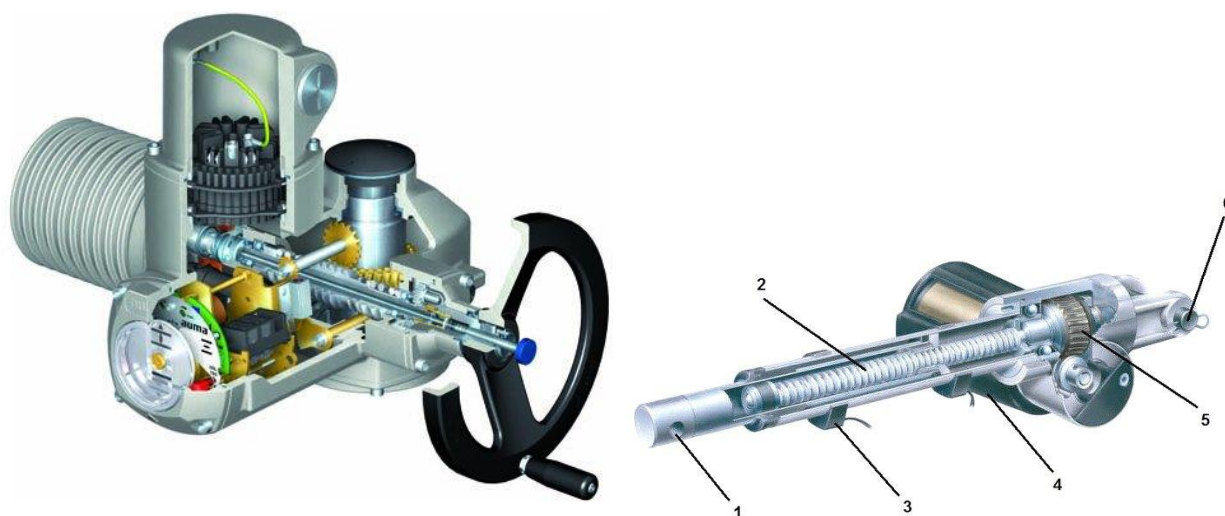


Рисунок 1.1 – Загальна будова електроприводу:

1 - Переднє кріплення; 2 - Гвинтова передача; 3 - Кінцевий датчик; 4 – Електродвигун; 5 - Зубчаста передача; 6 - Заднє кріплення

Функціональні компоненти:

- Р – регулятор для керування електроприводом.
- ЕП – електричний перетворювач для перетворення електроенергії в регульовану величину напруги.
- ЕМП – електромеханічний перетворювач електрики на механічну енергію.
- МП – механічний перетворювач здатний змінювати швидкість та характер руху двигуна.
- КВ - керуючий вплив.

– ВМ – виконавчий механізм.

Виконавчий механізм є пристроєм, який зміщує робочу деталь по сигналу, що надходить від керуючого механізму. Робочими деталями може бути шибери, клапани, засувки, заслінки. Вони змінюють кількість речовини, що надходить на об'єкт [2].

Робочі органи можуть мати поступальний або обертальний рух в певних межах. З участю виробляється вплив на об'єкт. Найчастіше електропривод з виконавчим механізмом складаються з електроприводу, редуктора, датчиків положення та вузла зворотного зв'язку.

Сьогодні електричні приводи модернізуються для зниження їх ваги, ефективності дії, економічності, довговічності та надійності.

Основні характеристики приводів:

- *Статичні* – механічна та електромеханічна характеристика.
- *Механічні* – залежність швидкості обертання з моменту опору. При аналізі динамічних режимів механічні характеристики корисні та зручні.
- *Електромеханічні* – залежність швидкості обертання струму.
- *Динамічні* – залежність координат електроприводу в певний час при перехідному режимі.

Щоб приводи робили якісну роботу, необхідно правильно вибрати електричний двигун. Це створить умови тривалої та надійної роботи, а також підвищить ефективність виробництва.

При підборі електродвигуна для приводу агрегатів доцільно дотримуватися деяких порад щодо:

Вимогам технологічного процесу вибирають двигун з відповідними характеристиками, конструктивного виконання, а також метод фіксації та монтажу.

Міркуванням економії підбирають надійний, економічний і простий двигун, який не потребує великих витрат на експлуатацію, має малу вагу, низьку ціну та невеликі розміри.

Умовам зовнішнього середовища та безпеки підбирають відповідне

виконання двигуна.

Правильний підбір електродвигуна обумовлює техніко-економічні властивості всього приводу, його надійність та тривалий термін роботи [3].

## 1.2 Типи електродвигунів, що використовуються

Електродвигуни – це машини, що перетворюють електричну енергію на механічну. Вони живляться від електричного струму та використовують магнітну силу, створювану струмом, для створення руху.

Електродвигуни є важливим компонентом багатьох промислових та комерційних додатків, що приводять у дію все, від автомобільних двигунів до побутової техніки.

Електродвигуни неймовірно універсальні та бувають різних форм, розмірів та типів, кожен з яких підходить для різних завдань та додатків. У цій статті ми розглянемо різні типи електродвигунів, принцип їхньої роботи та їх різні галузі застосування.

Загальні принципи роботи електродвигунів. Електродвигуни перетворюють електричну енергію в механічну, створюючи магнітне поле, що обертається. Це робиться шляхом пропускання електричного струму через низку котушок, які створюють електромагнітне поле. Це поле взаємодіє з постійними магнітами у двигуні, змушуючи ротор обертатися і тим самим створюючи момент, що крутить. Швидкістю та крутним моментом двигуна можна керувати, змінюючи напругу та струм джерела живлення. Крім того, кількість полюсів та тип обмотки, що використовується у двигуні, можуть впливати на його характеристики [4].

### 1.2.1 Типи електродвигунів, їх функціонал, модифікації та сфери застосування.



*Електродвигуни постійного струму.* Двигуни постійного струму (ДПС) – це роторні електродвигуни, які перетворюють електричну енергію постійного струму на механічну. Двигуни постійного струму зазвичай класифікуються за розміром, напругою, силою струму, швидкістю і крутним моментом. Вони мають магнітне поле, яке взаємодіє з електричним струмом для створення обертового моменту, який може використовуватися для приведення в дію механічних систем, таких як вентилятори, насоси та конвеєрні стрічки. Швидкість двигуна постійного струму можна регулювати шляхом зміни напруги або струму, що подається на нього, що робить їх універсальними та адаптованими для різних застосувань. Загалом двигуни постійного струму є надійним та ефективним варіантом для багатьох промислових та комерційних застосувань.

ДПС працюють за принципом електромагнітної індукції, яка включає взаємодію між магнітним полем і електричним струмом.

Основні компоненти двигуна постійного струму включають статор, ротор, комутатор та щітки.

Статор є нерухомою частиною двигуна та містить електромагніти, що створюють магнітне поле. Ротор є частиною двигуна, що обертається і містить якір, який являє собою котушку з дроту, по якій тече електричний струм. Комутатор - перемикач, що обертається, який з'єднує якір з джерелом живлення. Щітки - це контакти, що проводять, які передають струм між комутатором і якорем.

Двигуни постійного струму бувають різних типів, які відрізняються за конструкцією та принципом роботи. Одним із найпоширеніших типів є щітковий двигун постійного струму, в якому використовуються вугільні щітки для

перемикання полярності електричного струму в обмотках двигуна, що призводить до обертання ротора. Інший тип - безщітковий двигун постійного струму, який використовує електронну комутацію для перемикання полярності та управління швидкістю обертання ротора. Щіткові двигуни постійного струму прості та зручні в управлінні, в той час як безщіткові двигуни постійного струму мають більш тривалий термін служби та більш ефективні [5].



Рисунок 1.2 – Двигун постійного струму

Двигуни постійного струму знаходять широке застосування у різних галузях промисловості завдяки своїй ефективності, довговічності та універсальності. Вони широко використовуються в електромобілях, безпілотниках, 3D-принтерах, промисловому обладнанні та побутовій техніці, системах

опалення, вентиляції та кондиціювання повітря, насосах та конвеєрних стрічках, а також у багатьох інших областях.

Двигуни постійного струму можна адаптувати до різних потреб, регулюючи їхню напругу, струм, швидкість і крутний момент. Безщіткові двигуни постійного струму переважні для механізмів, де потрібна висока ефективність, низьке технічне обслуговування та точне керування. З іншого боку, щіткові двигуни постійного струму підходять для недорогих та малопотужних пристроїв.

*Електродвигуни змінного струму.* Двигун змінного струму (ДЗС) – це електродвигун, що перетворює електричну енергію на механічну. Також, як і двигун постійного, струму він працює за рахунок створення магнітного поля, що обертається в статорі, яке індукуює струм у роторі, змушуючи його обертатися. Ці двигуни відомі своєю ефективністю, надійністю та простотою експлуатації.

ДЗС широко застосовується у різних галузях, від промислового устаткування до побутової техніки. На відміну від двигунів постійного струму, яким потрібний комутатор для перемикання напрямку струму, двигуни змінного струму живляться змінним струмом, який постійно змінює напрямок. Також двигуни змінного струму можуть бути з фіксованою або регульованою швидкістю.

Двигуни змінного струму працюють за рахунок використання змінного струму для створення обертального руху. Змінний струм подається на статор - нерухому частину двигуна через джерело електроенергії. Статор складається з низки електромагнітів, які створюють магнітне поле, коли через них проходить електричний струм. Частота змінного струму визначає швидкість зміни напрямку магнітного поля, що, у свою чергу, приводить в рух ротор - компонент двигуна, що обертається. Ротор зазвичай складається з стрижнів або котушок, що проводять, які взаємодіють з магнітним полем, створюючи силу, що змушує ротор обертатися. Змінюючи частоту змінного струму, можна регулювати швидкість обертання двигуна. Існує кілька різних типів двигунів змінного струму, кожен із яких призначений для певних цілей.



Рисунок 1.3 – Двигун змінного струму

Одним з таких є *синхронний двигун*, який працює з фіксованою швидкістю і зазвичай використовується для вироблення електроенергії та в системах точного керування.

Інший тип - *асинхронний двигун*, який працює на дещо меншій швидкості, ніж синхронний двигун, та використовується у широкому спектрі промислових застосувань. Самі асинхронні електродвигуни поділяються від типу мережі живлення. Виділяють однофазні електродвигуни змінного струму від побутової мережі 220 вольт і трифазні електродвигуни змінного струму від мережі 380/660 вольт. Кожен тип двигуна має свої унікальні характеристики та переваги, що робить їх придатними для застосування у різних галузях.

Двигуни змінного струму є одними з найпоширеніших типів двигунів у світі.

Однією з головних переваг двигунів змінного струму є висока ефективність. Це означає, що вони можуть перетворювати більшу частину електричної енергії в механічну, що робить їх економічно вигіднішими на тривалому періоді часу. Крім того, ці двигуни можуть працювати в широкому діапазоні швидкостей, що робить їх універсальними та відповідними для роботи в різних умовах.

ДЗС часто вибирають за здатність забезпечувати високий крутний момент на низьких швидкостях, що робить їх придатними для механізмів, що вимагають високого пускового моменту, таких як крани та підйомники.

Двигуни змінного струму мають також ряд інших переваг, включаючи зручність в керуванні, надійність, довговічність та занижений рівень шуму.

*Серводвигуни* є одним із найбільш інноваційних типів двигунів і призначені для точного керування рухом приводу. Відрізняються від звичайних двигунів змінного струму тим, що в них вбудований механізм зворотного зв'язку, який дозволяє підтримувати певне положення або швидкість. Серводвигуни широко використовуються в різних промислових додатках, таких як робототехніка, верстати з ЧПУ та автоматизовані виробничі системи, де точне позиціонування та управління мають вирішальне значення.

Серводвигуни працюють із використанням замкнутої системи управління, що включає механізм зворотний зв'язок підтримки певного становища чи швидкості. Ключовим компонентом серводвигунів є сервопривід, який контролює положення та швидкість двигуна. Сервопривід отримує дані про зворотний зв'язок від датчиків, які вимірюють швидкість та положення двигуна, і на основі цих даних регулює швидкість та положення двигуна.

Механізм зворотного зв'язку зазвичай включає енкодер або потенціометр, який надає інформацію про поточне положення або швидкість двигуна, яка потім використовується системою управління для регулювання вихідного сигналу двигуна для переміщення в бажане положення.



Рисунок 1.4 – Серводвигун

Серводвигуни бувають різних типів, кожен з яких призначений для різних сфер застосування. Існує кілька типів серводвигунів, кожен із яких підходить для певних електроприводів. Деякі з найбільш поширених типів включають лінійні серводвигуни, поворотні серводвигуни та лінійно-поворотні серводвигуни.

Лінійні серводвигуни використовуються у

додатках, де потрібне точне переміщення вздовж прямої лінії. Поворотні серводвигуни використовуються в додатках, де потрібне точне обертання навколо осі. Лінійно-поворотні серводвигуни поєднують у собі можливості лінійних та поворотних серводвигунів і використовуються в додатках, де потрібне точне переміщення та обертання.

Також виділяють щіткові та безщіткові сервомотори постійного струму, які використовуються в автоматизації та робототехніці завдяки їхній високій точності та крутному моменту. Інший тип, серводвигун змінного струму, використовується там, де потрібне високошвидкісне позиціонування та високоточне керування. У робототехніці використовуються п'єзоелектричні серводвигуни завдяки їх здатності створювати великі зусилля в дуже малому просторі.

Кожен з цих типів серводвигунів має свої переваги та недоліки, і вибір конкретного типу залежить від вимог конкретної програми.

Серводвигуни знаходять широке застосування у різних галузях промисловості. Вони широко використовуються в робототехніці та верстатах з ЧПУ, де дуже важливі точне позиціонування та керування. Серводвигуни також важливі в області автоматизації, особливо на складальних лініях, де потрібний точний контроль руху. Багато передових виробничих процесів, таких як 3D-друк, покладаються на серводвигуни для точного позиціонування друкувальної головки. Вони також використовуються в імбалах для камер, літальних апаратів та іншої побутової електроніки, оскільки забезпечують високу точність керування рухом. Загалом ефективність та точність серводвигунів роблять їх важливим компонентом сучасних систем автоматизації та управління.

*Крокові двигуни* – це тип безщіткового електродвигуна постійного струму, який ділить повний оберт на кілька рівних кроків. Вони працюють передбачувано та точно, і ними можна керувати для переміщення з невеликим, точним кроком. На відміну від звичайних двигунів постійного струму, крокові двигуни обертаються дискретними кроками, що робить їх особливо придатними для додатків, що потребують точного позиціонування або обертання, таких як 3D-принтери, верстати з ЧПУ та робототехніка. Крокові двигуни бувають різних конфігурацій та

розмірів, що робить їх досить універсальними для використання у широкому спектрі додатків.

Точний рух крокових двигунів досягається з допомогою поділу повного обороту ряд рівних кроків. Однією з переваг крокових двигунів є їхня здатність зберігати своє становище без споживання енергії, що робить їх придатними для утримання вантажу у фіксованому положенні.



Рисунок 1. 5 – Крокові  
електродвигуни

Крокові двигуни працюють на основі «крокових» рухів, тобто вони рухаються від однієї позиції до іншої з певною кількістю кроків між ними. Це дозволяє їм досягти високої точності та контрольованості, що робить їх ідеальними для використання у додатках, де потрібна висока ефективність та швидкість.

Крокові двигуни бувають різних типів, кожен із яких призначений для конкретних застосувань. КД можна розділити на дві широкі категорії: біполярні та уніполярні крокові двигуни.

Біполярні крокові двигуни вимагають більш складної схеми управління, але забезпечують вищий крутний момент і точність.

Уніполярні крокові двигуни простіші в управлінні, але мають нижчий крутний момент і точність.

Інша класифікація крокових двигунів ґрунтується на кількості кроків на оборот. Крокові двигуни високої роздільної здатності забезпечують більш тонке керування за рахунок більшої кількості кроків на оборот, а крокові двигуни низької роздільної здатності мають менше кроків на оборот і зазвичай використовуються для додатків, що не вимагають високої точності переміщення.

Також існує кілька підтипів крокових двигунів, кожен з яких має свої унікальні характеристики і може бути використаний в різних умовах залежно від вимог конкретної програми.

Однокрокові двигуни – це найпростіший і доступніший тип крокових

двигунів, який може використовуватися в широкому діапазоні додатків.

Двокрокові двигуни – це складніший тип крокових двигунів, який може забезпечити більш високу точність і контрольованість, ніж однокрокові двигуни.

Мікрокрокові двигуни - це найточніший і найконтрольованіший тип крокових двигунів, який може використовуватися в додатках, де потрібна висока точність і швидкість переміщення.

Крокові двигуни знаходять широке застосування у різних галузях промисловості завдяки точності переміщення та управління. Завдяки своїй точності та контрольованості, крокові двигуни можуть значно підвищити продуктивність та ефективність додатків, у яких вони використовуються. Вони широко використовуються у верстатах з ЧПУ, 3D-принтерах, робототехніці та системах автоматизації, оскільки забезпечують високоточний та повторюваний рух. Крокові двигуни дуже універсальні та інтегровані в багато сучасних технологій, що робить їх важливим компонентом у різних промислових та споживчих додатках [2].

### 1.3 Загальні відомості про мостові крани

Для переміщення вантажів у просторі використовуються різні підйомні крани. У тому числі й мостові. Вони мають різні захоплюючі пристрої (ківш, магніт та інші). Захоплюючий пристрій може розташовуватись на пересувному візку або талі. Візок переміщається мостом, виготовленим з високоміцної сталі. Таль буває ручна та електрична. Пересувна таль підвішується до каретки (кішки), що рухається двотавровою балкою.

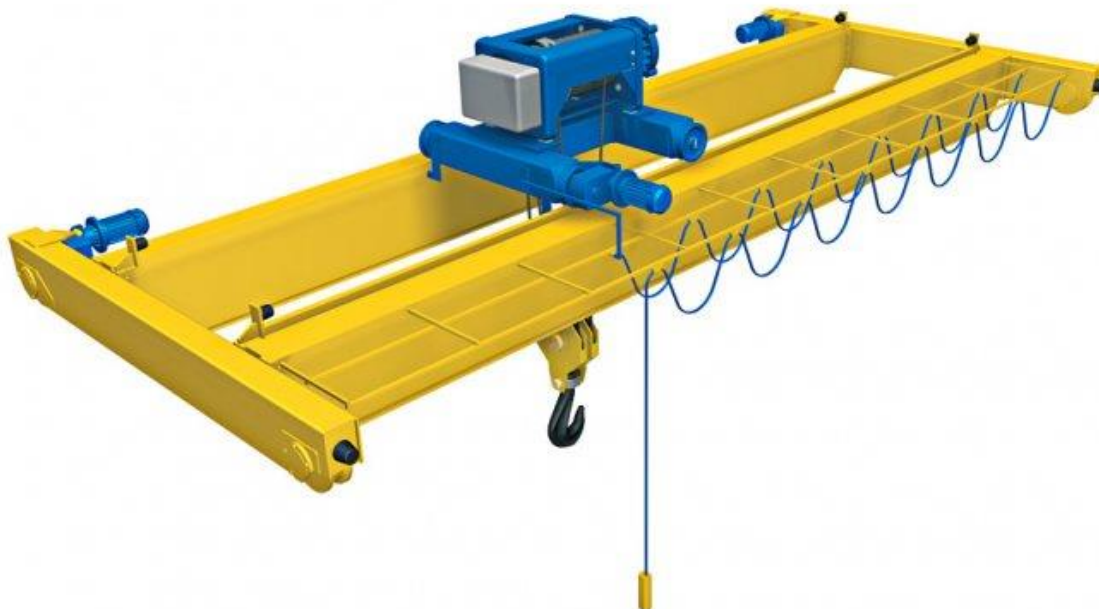


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд двобалочного мостового крана

*Види мостових кранів.* За конструкцією їх класифікують на:

- Підвісні моделі;
- Опорні моделі, які пересуваються рейками, розташованими в нерухомих опорах, і деякі інші.

За вагою вантажу, що піднімається, їх класифікують за групами:

- Перша – до 5 тон;
- Друга – до 50 тон;
- Третя – до 300-320 тон.

Залежно від призначення розрізняють:

- Загальні моделі – для стандартних вантажопідйомних робіт;
- Спеціальні моделі.

Залежно від приводу розрізняють:

- З використанням фізичного зусилля оператора для приведення в рух лебідки для виконання поставлених завдань;
- Електричні – використовується енергія електродвигуна.

Залежно від виду руху розрізняють:

- Однобалочні;
- Двобалочні – конструкція надійніша, стійкіша, менше піддається зносу,

вантаж піднімається на велику висоту.

*Особливості конструкції мостових двобалочних кранів.* Мостовий електричний двобалочний кран є конструкцією виконаною у вигляді 2 прогонових балок з вантажопідйомним механізмом (тельфером, лебідкою). Такий тип крана можна використовувати як у відкритих, так і в закритих приміщеннях, за різних кліматичних умов.

Управління краном може здійснюватися з підвісного пульта (з підлоги) за допомогою радіокерування, стаціонарної або пересувної кабіни.

*Особливості конструкції мостових двобалонних кранів*

Мостовий електричний двобалочний кран є конструкцією виконаною у вигляді 2 прогонових балок з вантажопідйомним механізмом (тельфером, лебідкою). Такий тип крана можна використовувати як у відкритих, так і в закритих приміщеннях, за різних кліматичних умов.

Управління краном може здійснюватися з підвісного пульта (з підлоги) за допомогою радіокерування, стаціонарної або пересувної кабіни.

Конструкція мостового двобалкового крана схожа на конструкцію однобалочного. Відмінною є прогонова будова крана. Механізм підйому в силу конструкції крана не підвішується до прогонової балки, а встановлюється на спеціальний крановий візок, що пересувається по пролітній будові спеціальними рейками. Як і сам кран, крановий візок має власні мотор-редуктори, може оснащуватися частотними перетворювачами та кількома швидкостями ходу.

Пересування мостового крана здійснюється рейками встановленими на підкрановий шлях.

Загальна будова, призначення мостових кранів.

Кожна модель має три основні вузли:

- Металоконструкцію – основу, що включає опори та прольоти крана. При проектуванні моделі вибирається перетин – гратчасте або коробчасте;
- Захватний пристрій. Воно буває автоматичне (спредер, пневматичний присос, магніт), механічне (гак);
- Підйомний механізм – лебідка, ланцюг чи канат із закріпленим захватним

пристроєм. Для безпеки експлуатації передбачаються обмежувачі ходу.

Будь-яка модель крана повторює одні й самі операції: фіксується вантаж, переміщається, розвантажується, потім кран повертається у початкове становище.

Мостова конструкція має на кінцях упори – обмежувачі для блокування візка, що переміщається.

Для більшої стійкості, рівномірного розподілу навантаження, балка прольоту має великі та малі діафрагми. Також монтуються спеціальні майданчики, які необхідні для ремонту та обслуговування крана.

Схеми збирання вузлів зазвичай уніфіковані для багатьох типів кранів.

При роботі крана, рейками переміщається візок, вага якого зазвичай становить від 0,2 до 0,4 вантажопідйомності крана.

Пересування відбувається з використанням механізму пересування з циліндровими або конічними колесами. При цьому центральний привід може бути відразу на обидва колеса або роздільний. Механізм має навісний редуктор та гальмо.

*Застосування мостових кранів.* Мостові крани знаходять велике застосування при підйомі вантажів як у приміщеннях, так і на повітрі. Вони можуть працювати в дуже великому діапазоні температур від -20 до +40 С.

Експлуатація кранів не допускається у приміщеннях з великою вологістю, при насиченні атмосфери парами лугів та кислот. Також, не можна їх використовувати у пожежонебезпечному та вибухонебезпечному середовищі. При цьому:

- Ручні підвісні та опорні мостові моделі використовуються за відсутності підведення електроструму або на невеликих за площею ділянках;
- Електричні опорні та підвісні моделі потрібні при частому використанні, у великих приміщеннях, у цехах, на складах;
- Оснащені грейферами моделі, що використовуються при роботі з насипними вантажами;
- Електричні, опорні мостові крани зазвичай використовуються під час підйому вантажів з магнітними властивостями [6].

## Висновки до розділу 1

В даному розділі бакалаврської роботи розглянуто принципи роботи та загальну будову електроприводів. Наведено основні характеристики електродвигунів, які використовуються в електроприводах. Також подано загальні відомості про мостові крани, зокрема їхню класифікацію за конструкцією, вантажопідйомністю, призначенням, типом приводу та характером руху. Описано будову та функціональне призначення мостових кранів. Обґрунтовано доцільність застосування частотно-керованого електроприводу для підвищення енергоефективності та економічності роботи механізму.

## 2 АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ МОСТОВОГО КРАНУ

### 2.1 Особливості частотно-регульованого кранового електроприводу

#### 2.1.1 Електропривод механізму підйому [7].

Механічні характеристики ідеального електроприводу механізму підйому розташовуються у всіх чотирьох квадрантах. рис. 2.1.

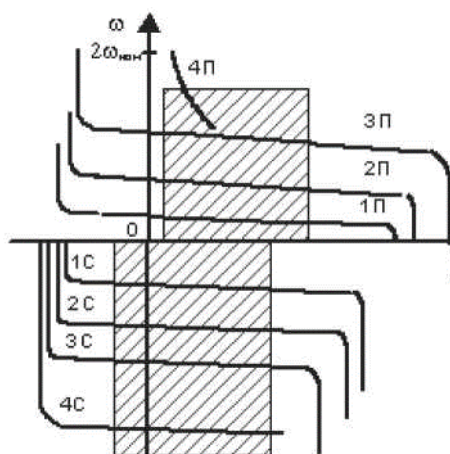


Рисунок 2.1 – Бажані механічні характеристики електроприводу механізму підйому

Головною відмінністю електроприводу механізму підйому є наявність активного (потенційного) характеру моменту навантаження. Активний момент навантаження має один знак, тобто момент, створюваний вагою вантажу, завжди прагне розкрутити механізм у бік спуску. Таким чином, під час підйому вантажу (перший квадрант механічних характеристик) електропривод повинен долати цей момент (працювати в руховому режимі), при роботі в напрямку спуску (четвертий квадрант механічних характеристик) не давати вантажу опускатися в режимі вільного падіння (гальмівний режим). Потенційна енергія вантажу при опусканні повинна або повертатися в мережу живлення (що краще) або розсіюватися у вигляді тепла в спеціальному пристрої. Необхідність забезпечення швидкості, що встановилася, в гальмівному режимі є головною вимогою до електроприводу механізму підйому і є визначальною при виборі структури силового ланцюга.

Крім того, для більшості електроприводів механізму підйому існує так званий режим силового спуску – коли статичний момент, створюваний вагою легкого вантажу або порожнього гака, не долає момент від втрат у механічній частині (редукторі, канатно-блоковій системі). У цьому випадку електропривід працює в руховому режимі з невеликим гальмівним моментом - не більше 10-15% від номінального. Характеристики силового спуску розташовуються у третьому квадранті.

У другому квадранті електропривод не має встановленого режиму і працює тільки в режимі гальмування з найвищих на нижчі швидкості.

Оскільки більшість електроприводів механізму підйому вимагають регулювання швидкості, у кожному квадранті є кілька механічних характеристик. Характеристика 1 у першому квадранті служить в основному для обтягування строп вантажозахоплювального пристрою. Характеристика 2 є проміжною. Працюючи на характеристиці 3 проводиться підйом вантажу з номінальною швидкістю. Характеристики 4, що лежать у першому, третьому та четвертому квадрантах використовуються в електроприводі кранів з великою висотою підйому, перш за все баштових. Працюючи цих характеристиках виробляється підйом і опускання вантажів масою менше номінальної із підвищеною швидкістю.

Найбільший вплив на вибір системи електроприводу та її структуру має характеристика 1, що лежить у третьому та четвертому квадрантах. Швидкість опускання вантажу на цій характеристиці називається посадковою або настановною, визначається технологічними вимогами до крана і є однією з головних характеристик електроприводу механізму підйому.

При активному моменті навантаження завжди виникає небезпека падіння вантажу із загрозою для життя людей та руйнування механізмів. Тому до конструкції як механічної, так і електричної частин правилами “Пристрою та безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів” пред'являються вимоги, спрямовані на безпеку.

Першим є обов'язкове наявність у конструкції механічної частини гальма про “нормально замкнутого типу”, тобто. при відключеному приводі механізм повинен

бути завжди загальмований. Гальмо повинно мати достатній запас гальмівного моменту, що називається «коефіцієнтом запасу гальмування».

Другою вимогою є обов'язкове забезпечення опускання вантажу лише працюючим електродвигуном.

Зазначені вимоги визначають схемні рішення, та побудова силового каналу електроприводу механізму підйому з перетворювачем частоти:

- електропривод повинен забезпечувати достатній запас пускового моменту при максимальному допустимому навантаженні та максимальному допустимому зниженні напруги живлення;
- розгальмовування механічного гальма повинне проводитися тільки після того, як електропривод розвине пусковий момент достатній для підйому вантажу;
- спрацювання будь-якого захисту електроприводу повинно призводити до відключення електроприводу із загальмовуванням механічним гальмом;
- перетворювач частоти повинен бути обладнаний пристроєм рекуперації або розсіювання гальмівної енергії (гальмівний резистор) з потужністю, достатньою для забезпечення опускання вантажу максимальної допустимої маси на номінальній швидкості. Найбільш поширена структурна схема частотного електроприводу механізму підйому крюкового крана загального призначення представлена на рис. 2.2.

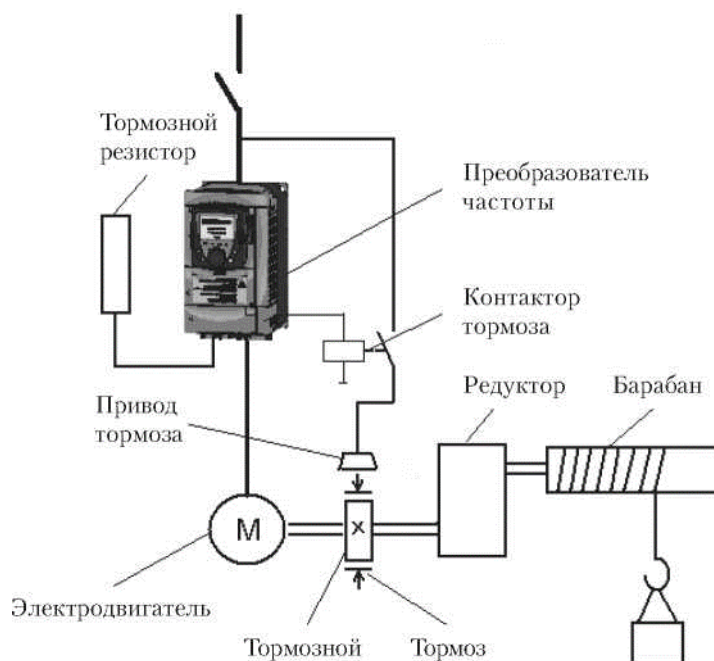


Рисунок 2.2 – Структурна схема електроприводу механізму підйому

Управління електромеханічним (електрогідравлічним) приводом гальма здійснюється контактором, що включає вбудований релейний вихід перетворювача частоти після того, як електродвигун розвине достатній пусковий момент. Для розсіювання енергії гальмування служить гальмівний резистор, хоча може застосовуватися пристрій рекуперації енергії.

Крім того, деякі електроприводи можуть містити датчики швидкості та переміщення.

Крім представленої на рис. 2.2 традиційного компонування механічної частини приводу існує також варіант, при якому механічне гальмо з електромагнітним приводом становить одне ціле з двигуном. Деяке поширення в крановому електроприводі отримали також двигуни з конічним рухомим ротором, гальмування яких проводиться при осьовому переміщенні ротора під дією електромагнітних сил [8].

#### 2.1.2 Електропривод механізмів горизонтального переміщення.

До механізмів горизонтального переміщення відносять механізми пересування кранів та вантажних візків, а також механізми повороту. Всі ці механізми мають реактивний (тобто не залежить від напрямку руху) момент навантаження.

Ідеальний електропривод механізму горизонтального переміщення має забезпечувати жорсткі механічні характеристики (рис. 2.3) у руховому та гальмівному режимах. На відміну від механізму підйому гальмівний режим механізмів горизонтального переміщення займає лише невеликий час циклу і виникає, як правило, при переході з найвищих швидкостей на нижчі.

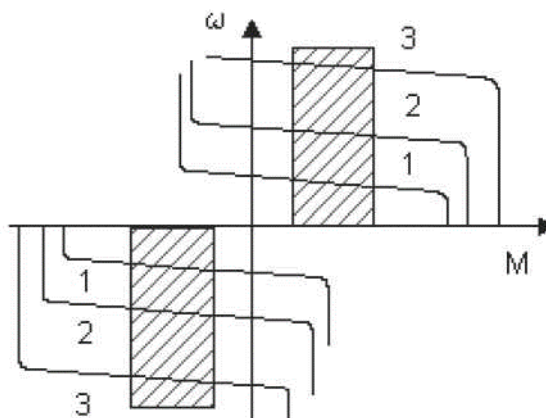


Рисунок 2.3 – механічні характеристики механізму горизонтального переміщення

У гальмівному режимі електропривод механізмів горизонтального переміщення може працювати також при русі під ухил (що буває при несправності рейкових колій) або під час вітру.

Багато механізмів горизонтального переміщення мають великий наведений момент інерції, тому, щоб уникнути підвищених динамічних навантажень на металоконструкції та механізми електропривод повинен обмежувати прискорення при пуску та гальмуванні.

У зв'язку з великим моментом інерції електродвигуни таких механізмів вибираються з урахуванням підвищених пускових втрат, через це статичний момент на валу електродвигунів у режимі, що встановився, не перевищує, як правило, 50% номінального моменту.

Маса вантажу, що переміщується, як правило, надає невеликий вплив на статичний момент електроприводу механізму пересування, т.к. маса металоконструкції крана зазвичай більша за масу вантажу.

Маса вантажу і маса вантажного візка мостового крана вже можна порівняти, а маса вантажного візка баштового крана набагато менша за масу вантажу. Тому маса вантажу, що переміщується, надає значний вплив на завантаження механізмів.

Алгоритм керування гальмом у електроприводах механізмів горизонтального переміщення простіше, ніж у електроприводах механізмів підйому. Через реактивний момент

Навантаження зняття гальма в більшості випадків можна робити, не чекаючи, поки момент електродвигуна зросте до значення статичного моменту. Основною вимогою є накладення гальма при швидкості, близької до нульової, для зниження динамічних навантажень та зменшення зносу гальмівних накладок.

Особливістю електроприводів горизонтального переміщення є те, що більшість їх реалізуються як багаторухові приводи, наприклад, приводи механізмів пересування кранів і механізмів повороту. У цьому випадку електродвигуни можуть харчуватися від одного перетворювача частоти (рис. 2.4), що є найбільш економічним варіантом, так і від індивідуальних перетворювачів, що забезпечують гнучкіше управління крановими механізмами. Можна припустити, що у

багаторухових приводах мостових та козлових кранів загального призначення з невеликими прольотами достатньо одного перетворювача для живлення групи двигунів. В цьому випадку кожен двигун повинен бути обладнаний індивідуальним захистом від перевантаження у вигляді теплового реле (рис. 2.4).

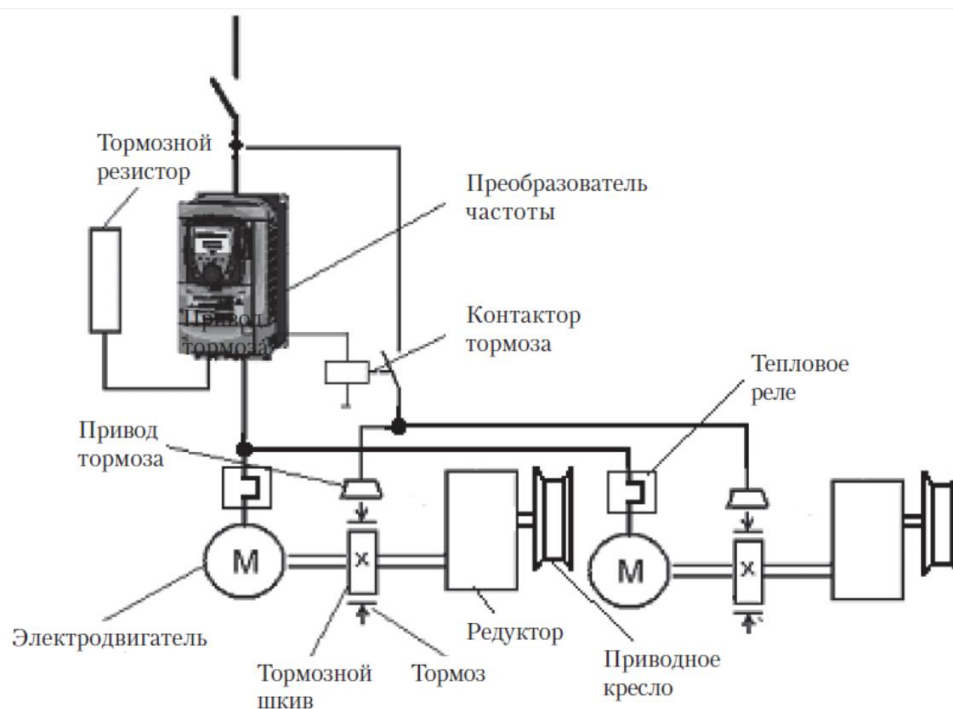


Рисунок 2.4 – Структурна схема електроприводу механізму пересування

Живлення двигунів від індивідуальних перетворювачів є доцільним для приводів механізмів пересування мостових та козлових кранів з великими прольотами. У цьому випадку завдяки більшій гнучкості управління можливе забезпечення вирівнювання навантаження між двигунами за схемою «ведучий-відомий», синхронізації руху приводів з метою усунення перекосу моста крана і т.д.

Найбільш складними з точки зору організації управління є електроприводи механізмів повороту кранів, особливо з верхнім розташуванням поворотної будови. Наявність пружних металоконструкцій, широкий діапазон зміни статичного моменту та моменту інерції суттєво ускладнюють керування такими механізмами. Загальний підхід до побудови таких електроприводів поки що не вироблений, і практично кожна фірма кранобудівної має свій варіант реалізації такого приводу.

Слід зазначити, що у кранових приводах, особливо для механізмів підйому, важливим є питання забезпечення гальмівних режимів роботи приводів. При переході двигуна в режим гальмування, наприклад при спуску вантажу або інтенсивному гальмуванні крана або візка, енергія гальмування може гаситися на гальмівних резисторах або рекуперуватися в мережу за допомогою спеціальних модулів.

## 2.2 Розробка структури асинхронного електроприводу механізму підйому мостових кранів

В даний час для переважної більшості вантажопідіймальних кранів в електроприводах їх механізмів раціональним є використання асинхронного електроприводу як найбільш простого, дешевого і надійного [10]. Однак на сьогодні недостатньо приділено уваги розробкам із забезпечення живучості асинхронного електроприводу мостових кранів за відмов його елементів.

Електропривод механізму підйому є основним інформативним технічним пристроєм, який характеризує навантаження на кран, а також визначає зв'язок між параметрами двигуна механізму підйому крана і масою вантажу, що піднімається.

У зв'язку з цим актуальним є розробка структури та дослідження асинхронного електроприводу механізму підйому мостових кранів з підвищеною безпекою та живучістю як єдиної електромеханічної системи в комплексі з сучасною системою безпеки на базі мікроконтролерного пристрою [2]. При цьому мікроконтролер повинен виконувати не лише функції захисту електроприводу від небезпечних виробничих впливів та реєстрації параметрів крана, а й функції керування електроприводом, діагностики стану конструкцій, відповідальних вузлів та агрегатів у процесі роботи крана [3].

Мета роботи полягає у дослідженні асинхронного електроприводу механізму підйому крана мостового типу та розробці практичних рекомендацій щодо забезпечення його безпеки та живучості.

Зроблено аналіз технічних рішень та способів забезпечення безпеки та живучості нерегульованих та частотно-регульованих асинхронних електроприводів механізмів підйому крана [2, 3]. В результаті визначено спосіб керування із забезпеченням живучості частотно-регульованого електроприводу механізму підйому мостового крана, що забезпечує роботу трифазного асинхронного двигуна в аварійному двофазному режимі на основі алгоритму відновлення. Розроблено схему його реалізації.

Запропонований спосіб управління дозволяє забезпечити пуск асинхронного двигуна в заданому напрямку. Кидки струму в обох фазах в момент перемикання структури електроприводу суттєво залежать від часу діагностики аварійної ситуації, що має бути не більше 10 мс.

### 2.3 Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу

Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу із забезпеченням живучості в аварійному двофазному режимі наведено на рис. 2.5.

Перетворювач частоти зі ланкою постійного струму виконаний у вигляді окремих напівмостових осередків ПЯ<sub>А</sub>, ПЯ<sub>В</sub>, ПЯ<sub>С</sub>. Контроль у фазах асинхронного двигуна забезпечується датчиками струмів ДТ<sub>1</sub>, ДТ<sub>2</sub>, ДТ<sub>3</sub>. Для виявлення фази, що відмовила, в схемі передбачений блок діагностики напівмостових осередків, що складається з датчиків стану, які виробляють три біти відмови а, в, с, що надходять в систему управління для відключення фази, що відмовила, і реалізації алгоритму відновлення, який передбачений у керуючому мікроконтролері. Мікроконтролер формує завдання на фазні струми  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ . Система управління дозволяє стабілізувати частоту обертання валу асинхронного двигуна АТ, обчислювати масу вантажу, що піднімається, а також безперервно вести діагностику підшипникового вузла приводного двигуна і виявити початок руйнування металоконструкції крана.

На рис. 2.6 наведено функціональну схему системи управління частотно-регульованого асинхронного електроприводу із забезпеченням живучості [11].

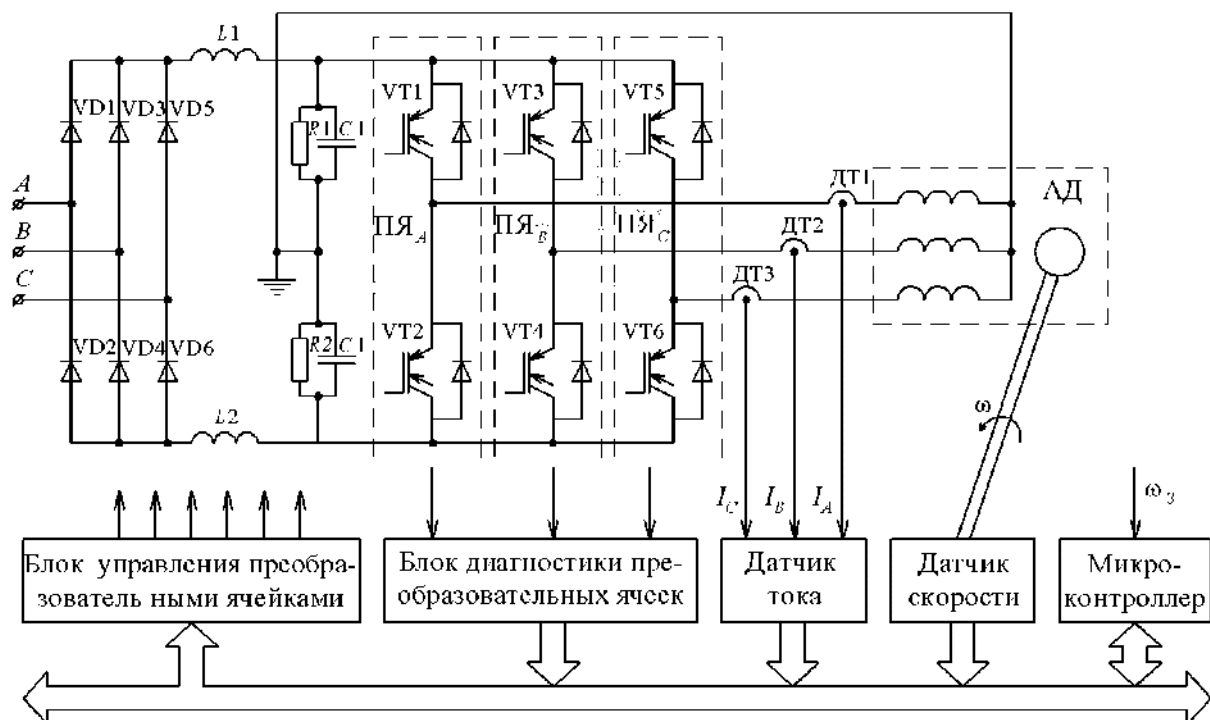


Рисунок 2.5 – Функціональна схема частотно-регульованого асинхронного електроприводу

Завдання на струми у фазах асинхронного двигуна (АД) формуються функціональним перетворювачем (ФП), через відповідні регулятори струму (РТ) і надходять на свій канал регулювання перетворювача частоти (ПЧ), а задана частота обертання валу двигуна контролюється датчиком швидкості (ДС) і передається елемент порівняння. Розмір неузгодженості швидкості надходить на регулятор швидкості (РС) [12].

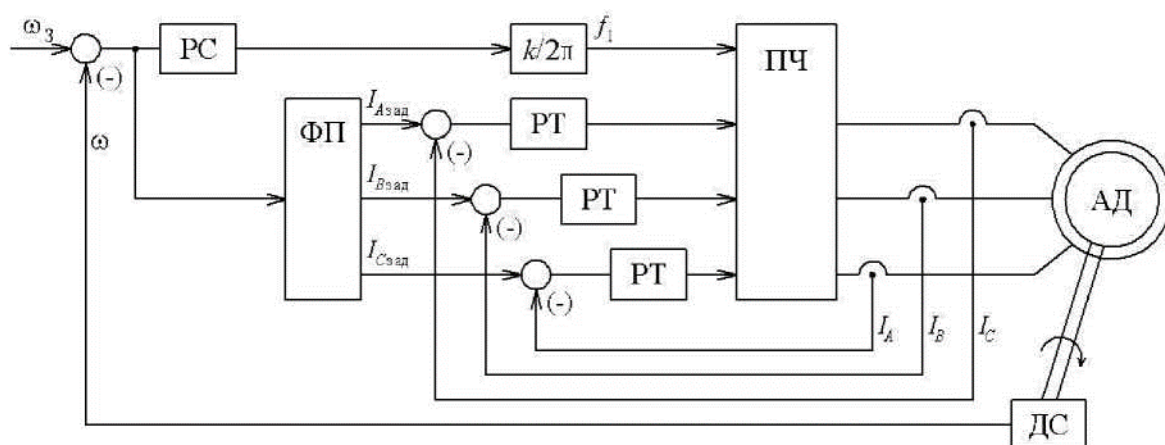


Рисунок 2.6 – Функціональна схема системи управління частотно-регульованого асинхронного електроприводу

Розроблено математичну модель для дослідження у різних режимах роботи асинхронного електроприводу механізму підйому крана. Модель відрізняється тим, що в ній враховуються: пружний характер механічної частини крана; насичення асинхронного двигуна; наявність перетворювального пристрою.

При складанні математичної моделі були прийняті такі припущення: втрати стали нехтуючи малі; фазні обмотки симетричні та зрушені на кут  $2/3\pi$ , рад; повітряний зазор рівномірний; ротор симетричний; мережа живлення - нескінченно великий потужності. Також будемо вважати, що реальна розподілена обмотка замінюється зосередженою, а сила, що намагнічує, її буде дорівнює намагнічує силі реальної обмотки [13].

Математичний опис асинхронного двигуна зроблено в трифазній нерухомій системі координат  $\alpha, \beta, \gamma$ .

Система диференціальних рівнянь, що описує електромагнітні процеси у статорі та роторі двигуна [14]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_A = R_s \cdot i_A + \frac{d\Psi_A}{dt}; \\ U_B = R_s \cdot i_B + \frac{d\Psi_B}{dt}; \\ U_C = R_s \cdot i_C + \frac{d\Psi_C}{dt}; \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 0 = R_r \cdot i_a + \frac{d\Psi_a}{dt} + (\Psi_b - \Psi_c) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3}; \\ 0 = R_r \cdot i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} + (\Psi_c - \Psi_a) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3}; \\ 0 = R_r \cdot i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} + (\Psi_a - \Psi_b) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $U_A, U_B, U_C$  – миттєві значення фазних напруг статора;  $i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c$  – миттєві значення струмів фаз статора та ротора відповідно;  $R_s, R_r$  – активні опори статора та ротора;  $p_n$  – число пар полюсів асинхронного двигуна;  $\omega$  – частота обертання валу двигуна;  $\Psi_A, \Psi_B, \Psi_C, \Psi_a, \Psi_b, \Psi_c$  – миттєві значення потокозчеплень фаз статора та ротора.

Потокозчеплення для всіх фаз [15]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi_A = L_{SA} i_A - \frac{1}{2} L_m i_B - \frac{1}{2} L_m i_C + L_m i_a - \frac{1}{2} L_m i_b - \frac{1}{2} L_m i_c; \\ \Psi_B = -\frac{1}{2} L_m i_A + L_{SB} i_B - \frac{1}{2} L_m i_C - \frac{1}{2} L_m i_a + L_m i_b - \frac{1}{2} L_m i_c; \\ \Psi_C = -\frac{1}{2} L_m i_A - \frac{1}{2} L_m i_B + L_{SC} i_C - \frac{1}{2} L_m i_a - \frac{1}{2} L_m i_b + L_m i_c; \\ \Psi_a = L_m i_A - \frac{1}{2} L_m i_B - \frac{1}{2} L_m i_C + L_{RA} i_a - \frac{1}{2} L_m i_b - \frac{1}{2} L_m i_c; \\ \Psi_b = -\frac{1}{2} L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2} L_m i_C - \frac{1}{2} L_m i_a + L_{RB} i_b - \frac{1}{2} L_m i_c; \\ \Psi_c = -\frac{1}{2} L_m i_A - \frac{1}{2} L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2} L_m i_a - \frac{1}{2} L_m i_b + L_{RC} i_c. \end{array} \right. \quad (2)$$

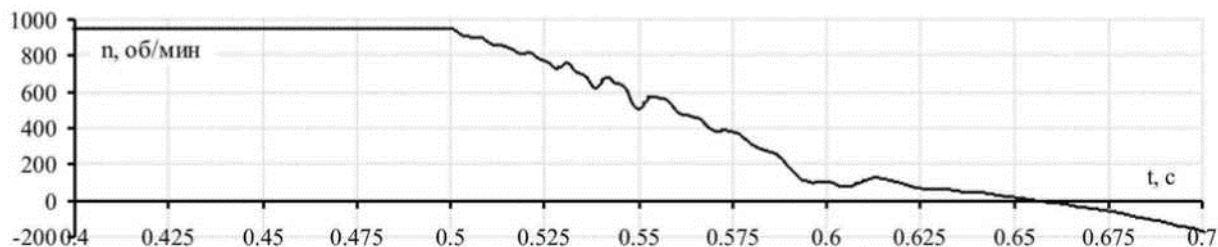
де  $L_m$  – максимальна наведена взаємна індуктивність між фазами статора та ротора;  $L_{SA}, L_{SB}, L_{SC}, L_{RA}, L_{RB}, L_{RC}$  – індуктивності фаз статора та ротора відповідно.

Результуючий вираз для електромагнітного моменту у трифазній системі координат набуде вигляду:

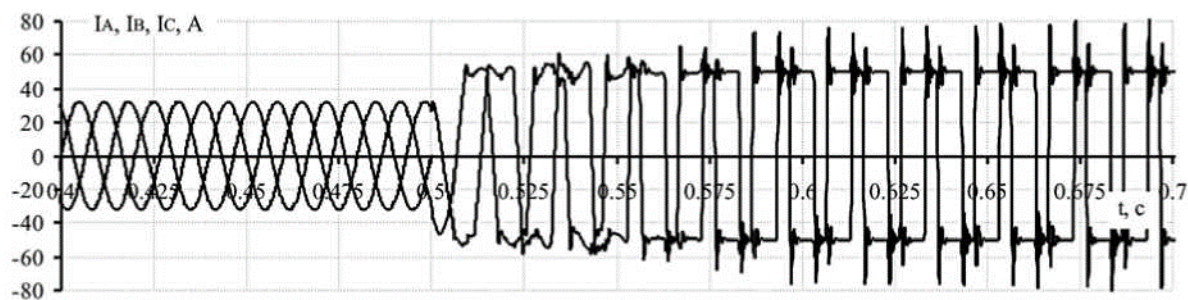
$$M = p_n \frac{\sqrt{3}}{2} L_m \left[ (i_A i_c + i_B i_a + i_C i_b) - (i_A i_b + i_B i_c + i_C i_a) \right]. \quad (3)$$

Розроблена математична модель асинхронного електроприводу механізму підйому мостового крана дозволила дослідити електропривод як у нормальних, так і в аварійних режимах роботи типу «обрив фази».

На рис. 2.3 показані часові діаграми перехідних процесів швидкості (а) та струму (б) аварійного режиму роботи асинхронного електроприводу.



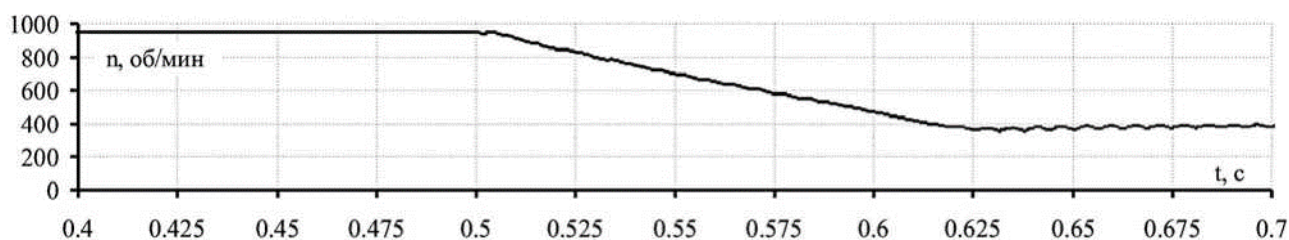
а



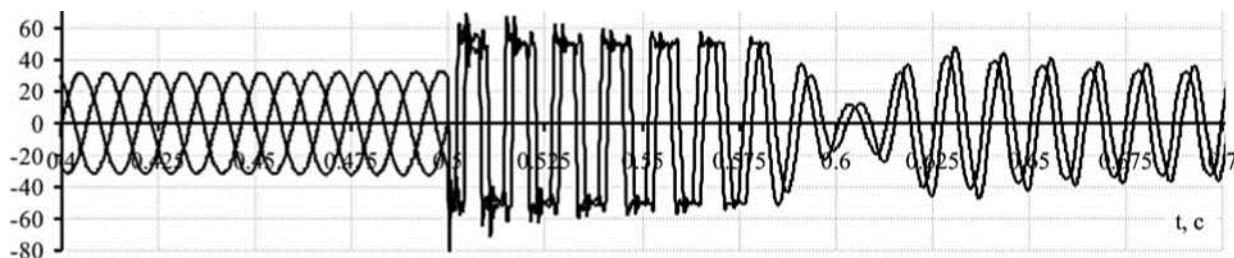
б

Рисунок 2.7 – Часові діаграми перехідних процесів швидкості (а) та струму (б) аварійного режиму роботи асинхронного електроприводу

На рис. 2.8 показані часові діаграми перехідних процесів швидкості (а) та струму (б) аварійного режиму роботи асинхронного електроприводу з активізацією алгоритму відновлення.



а



б

Рисунок 2.8 – Часові діаграми перехідних процесів швидкості (а) та струму (б) аварійного режиму роботи асинхронного електроприводу з активізацією алгоритму відновлення

В аварійному двофазному режимі за рахунок активізації алгоритму відновлення частота двигуна стабілізується на зниженій швидкості і забезпечує

живучість електроприводу. Це дозволяє уникнути аварійної ситуації через можливий силовий спуск, що видно з рис. 2.3 а.

Кидки струму в обох фазах в момент перемикання структури електроприводу суттєво залежать від часу діагностики аварійної ситуації, що має бути не більше 10 мс.

Для усунення помилки, що вноситься відхиленнями параметрів мережі живлення від номінальних, при визначенні маси вантажу, що піднімається, рекомендовано введення поправочних коефіцієнтів по напрузі  $k_u$  і по частоті  $k_f$  мережі живлення.

Схема дозволяє забезпечити пуск двигуна в заданому напрямку. Результати моделювання свідчать про адекватність розробленої моделі процесів, що відбуваються в електромеханічній системі [2].

## Висновки до розділу 2

У другому розділі цієї роботи розглянуто особливості частотно-регульованого кранового електроприводу для механізмів підйому та вертикального переміщення. Представлено механічні характеристики електроприводу підйомного механізму.

Розроблено структуру асинхронного електроприводу механізму підйому мостових кранів, а також наведено його електричну та функціональну схеми.

Створено математичну модель асинхронного електроприводу підйомного механізму мостового крана, яка враховує пружні властивості механічної частини, насичення асинхронного двигуна, наявність перетворювального пристрою та дає змогу аналізувати роботу електроприводу як у нормальному, так і в аварійному режимах.

### 3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ КРАНА

#### 3.1. Вибір електродвигуна

Під час модернізації кранових електроприводів розробники та виробники часто обирають традиційні кранові електродвигуни зі спеціальними роторами, заповненими сплавом підвищеної стійкості, щоб забезпечити високий момент при частих запусках. Для забезпечення належного теплового режиму вживаються заходи зі зниження пускових струмів, що збільшує витрати на активні матеріали. Це призводить до зростання ваги та вартості двигуна. Ізоляційна система та підшипники стандартних двигунів не призначені для роботи з частотними перетворювачами, що призводить до передчасного виходу з ладу обмоток статора, плавлення роторних стрижнів, руйнування підшипників та датчиків положення, які використовуються в електроприводі головного підйому. Система керування стає неоптимальною через потребу в потужніших частотних перетворювачах та більших двигунах. Очевидно, що для частотно-регульованого електроприводу потрібні спеціалізовані двигуни. [12].

Для електроприводу механізму підйому крана вибираємо асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором кранової серії типу 4МТКМ225L6У2, адаптований для роботи від перетворювача частоти, де:

4 – порядковий номер серії;

МТ – позначення серії;

М – модернізований;

L – настановний розмір за довжиною станини;

6 – кількість пар полюсів;

У2 – кліматичне виконання.

Технічні дані електродвигуна наведено у таблиці 2.

Таблиця 3.1. Технічні дані двигуна 4МТКМ225L6У2

| Типорозмір двигуна | Потужність<br>$P_2$ , кВт | Синхронна<br>частота<br>обертання<br>$n_0$ , об/хв | При номінальному навантаженні         |                     |                            |
|--------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------------|
|                    |                           |                                                    | частота<br>обертання<br>$n_H$ , об/хв | ККД<br>$\eta_H$ , % | $\cos \varphi_H$           |
| 4МТКМ225L6У2       | 55                        | 1000                                               | 940                                   | 87                  | 0,822                      |
| $M_{\text{макс}}$  | $M_{\text{пуск}}$         | $I_{\text{пуск}}$                                  | $J_{\text{дв}}$ , кг·м <sup>2</sup>   | Ступінь<br>захисту  | Кліматичне<br>виготовлення |
| 2200 Н·м           | 2100 Н·м                  | 820 А                                              | 1,02                                  | IP54                | У2                         |

Примітка:

1 Технічні характеристики наведено для основного режиму роботи S3 (ПВ = 40%).

2 Діапазон зміни частоти живлення – від 5 до 150 Гц.

### 3.2. Розрахунок параметрів електродвигуна [13]

Синхронна кутова частота обертання двигуна

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 104.712 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номінальне ковзання двигуна

$$s_H = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0} = \frac{1000 - 940}{1000} = 0.06$$

Номінальна частота обертання двигуна

$$\omega_{\text{дв н}} = \frac{n_{\text{ном}}}{9.55} = \frac{940}{9.55} = 98.429 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номінальний момент двигуна

$$M_{\text{дв н}} = \frac{P_H \cdot 1000}{\omega_{\text{дв}}} = \frac{55000}{98.429} = 558.777 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначимо кратність максимального та пускового моменту двигуна

$$m_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{дв н}}} = \frac{2200}{558.777} = 3.937;$$

$$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{дв н}}} = \frac{2100}{558.777} = 3.758.$$

та кратність пускового струму

$$k_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1\text{H}}} = \frac{820}{115.404} = 7.105.$$

### 3.3. Розрахунок природної характеристики електродвигуна [2, 4, 5]

Природна механічна характеристика асинхронного двигуна:

$$\begin{aligned}
 M(S, f_1) &= \frac{3 \cdot \left[ U_{1\Phi\text{H}}^2 \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1\text{H}}} \right)^2 \right]^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \frac{f_1}{f_{1\text{H}}} \cdot S \cdot \left[ \left( X_{\text{KH}} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{H}}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2}{S \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{H}}}} \right)^2 \right]} = \\
 &= \frac{3 \cdot \left[ 220^2 \cdot \left( \frac{f_1}{50} \right)^2 \right]^2 \cdot 0.128}{104.712 \frac{f_1}{50} \cdot S \cdot \left[ \left( 0.124 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left( 0.13 + \frac{0.128}{S} \right)^2 + \left( \frac{0.13 \cdot 0.128}{S \cdot 7.067 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]} \\
 \omega(s, f) &= \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{H}}} \cdot (1 - s).
 \end{aligned}$$

Природна механічна характеристика двигуна  $\omega = f(M)$  при  $f_1 = f_{1\text{H}} = 50$  Гц наведено на рис 3.1.

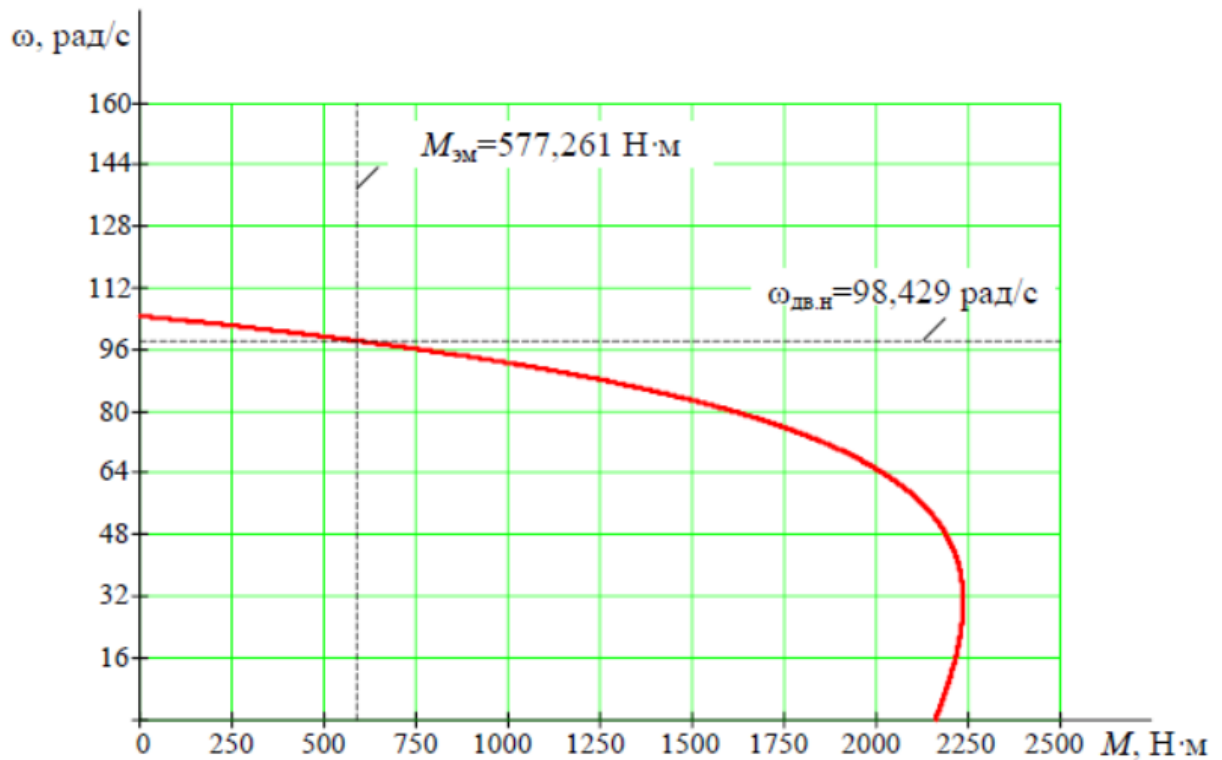


Рисунок 3.1 – Природна механічна характеристика АД

За результатами розрахунку механічної характеристики знайдено значення електромагнітних моментів двигуна: номінального  $M_{\text{ем н}} = 577,261 \text{ Нм}$ ; пускового  $M_{\text{ем п}} = 2163,834 \text{ Нм}$ ; критичного  $M_{\text{ем к}} = 2244,8 \text{ Нм}$ ;  $\omega_{\text{к}} = 31,697 \text{ рад/с}$ .

За отриманими результатами визначаємо

- кратність пускового моменту

$$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{ем п}}}{M_{\text{ем н}}} = \frac{2163.834}{577.261} = 3.748;$$

- кратність максимального (критичного) моменту

$$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{ем к}}}{M_{\text{ем н}}} = \frac{2244.8}{577.261} = 3.878;$$

- критичне ковзання

$$s_{\text{к}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{к}}}{\omega_0} = \frac{104.7 - 31.697}{104.7} = 0.697.$$

Природні електромеханічні характеристики двигуна  $I_1(s, f_1)$  та  $I_2'(s, f_1)$

розраховуються за виразами:

$$\begin{aligned}
 I_1(s, f_1) &= \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \cos \varphi_2(s, f_1)}; \\
 I_2'(s, f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}} = \\
 &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\left(0.13 + \frac{0.128}{s}\right)^2 + \left(0.124 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0.13 \cdot 0.128}{s \cdot 7.067 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)^2}}; \\
 I_0(f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0.13^2 + (0.052 + 7.057)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2}} \\
 \sin \varphi_2(s, f_1) &= \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \cdot X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \cdot 0.124}{\sqrt{\left(0.13 + \frac{0.128}{s}\right)^2 + \left(0.124 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} \\
 \omega(s, f) &= \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - s).
 \end{aligned}$$

За результатами розрахунку, на рисунку 3.2, побудовані природні електромеханічні характеристики)  $\omega(I_1)$ ,  $\omega(I_2)$  при  $f_1 = f_{1H} = 50$  Гц.

За результатами розрахунку електромеханічної характеристики  $\omega(I_1)$  знайдені значення струму холостого ходу (намагнічування)  $I_0 = 30,897$  А, номінального струму  $I_H = 103,734$  А і пускового струму двигуна  $I_H = 783,318$  А.

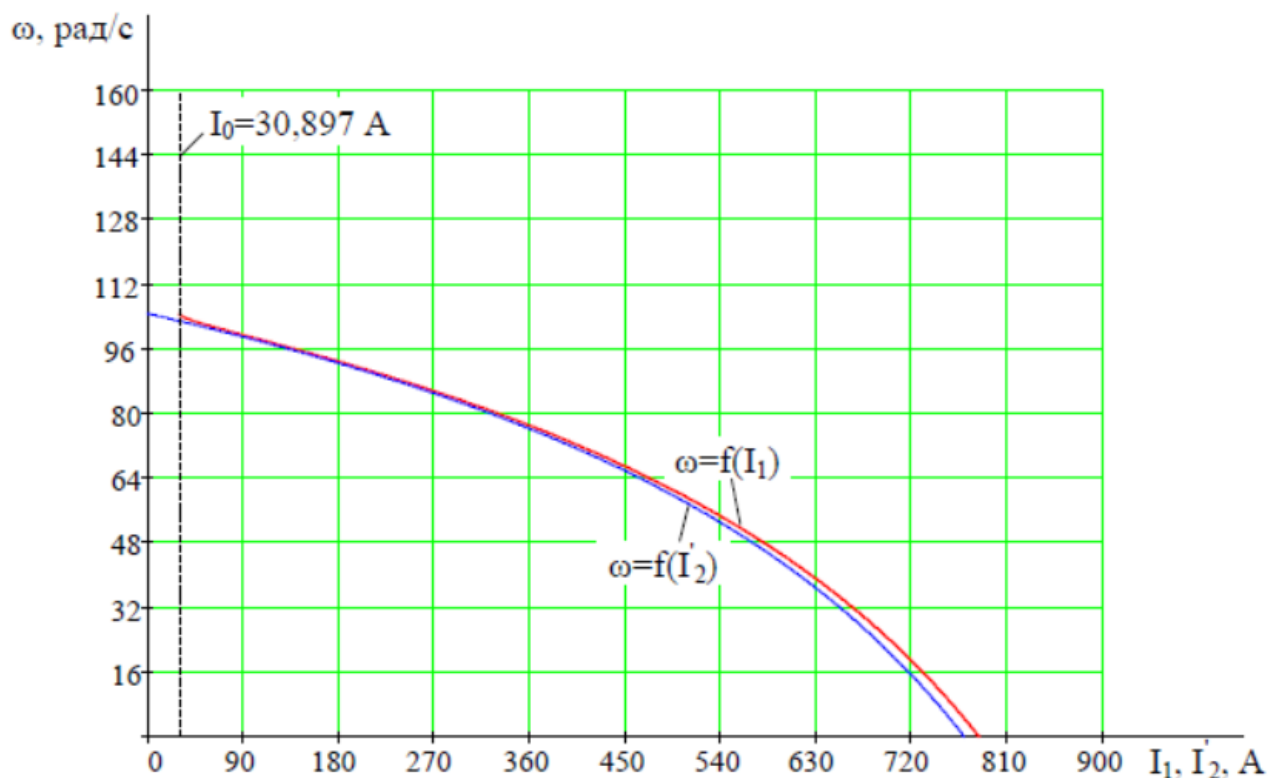


Рисунок 3.2 – Природні електромеханічні характеристики АД  $\omega(I_1)$ ,  $\omega(I_2)$

За отриманими результатами визначаємо кратність пускового струму

$$k_i = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}} = \frac{783.318}{103.734} = 7.5$$

Параметри розрахункових механічної та електромеханічної характеристик двигуна виявилися близькими до наведених у таблиці 1.1 довідкових параметрів двигуна.

### 3.4. Розрахунок системи перетворювача частоти

#### 3.4.1. Визначення максимальної і мінімальної частоти інвертора.

Максимальну робочу частоту інвертора, що відповідає максимальній робочій швидкості  $\omega = \omega_{\text{р.макс}} = 90,254$  рад/с за максимальної навантаженні  $M = M_{\text{с1макс}} = 712,073$  Нм, визначаємо шляхом рішення щодо частоти  $f_1$  рівняння

$$M = \frac{3 \cdot \left[ U_{1\Phi H} \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 \right]^2 \cdot R'_2}{\left( \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} - \omega \right) \cdot \left[ \left( X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} - \omega} \cdot \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 \right]};$$

Приймаємо найближче ціле значення частоти інвертора  $f_{\text{імакс}} = 47$  Гц.

Мінімальну робочу частоту інвертора визначаємо з умови забезпечення заданого діапазону регулювання швидкості  $D = 10$ :

$$f_{\text{імін}} = \frac{f_{\text{імін}}}{D} = \frac{47}{10} = 4.7 \text{ Гц.}$$

Прийmemo  $f_{\text{імін}} = 5$  Гц.

3.4.2. Розрахунок механічних та електромеханічних характеристик розімкнутої системи. Механічна характеристика  $M = f(s, f_1)$  розімкнутої системи ПЧ-АД при частотному регулюванні розрахована, для значення вихідний частоти інвертора  $f_1 = f_{\text{імакс}} = 47$  Гц, і наведена на рисунку 3.3.

Електромеханічна характеристика  $I_1 = f(s, f_1)$  розімкнутої системи ПЧ-АД при частотному регулюванні розрахована за виразами (2)–(5) для частоти  $f_1 = f_{\text{імакс}} = 47$  Гц наведено на рисунку 3.4, у вигляді залежності  $\omega = f(I_1)$ .

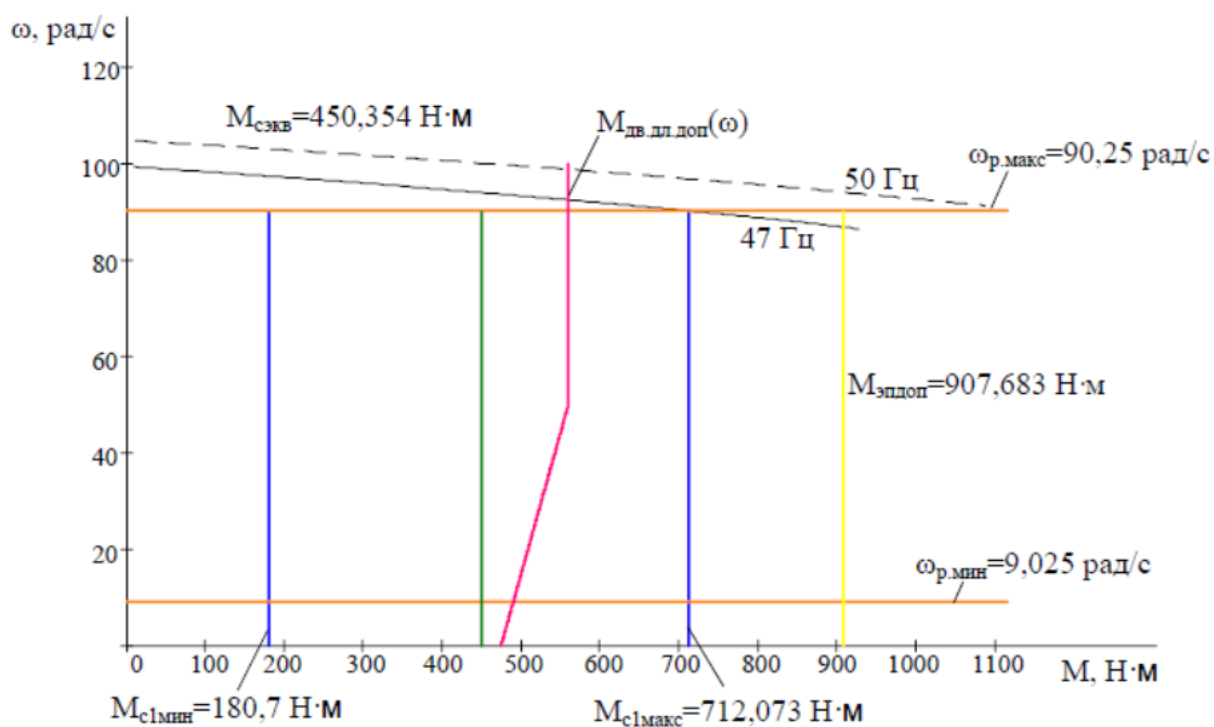


Рисунок 3.3 – Механічні характеристики розімкнутої системи електроприводу та навантаження

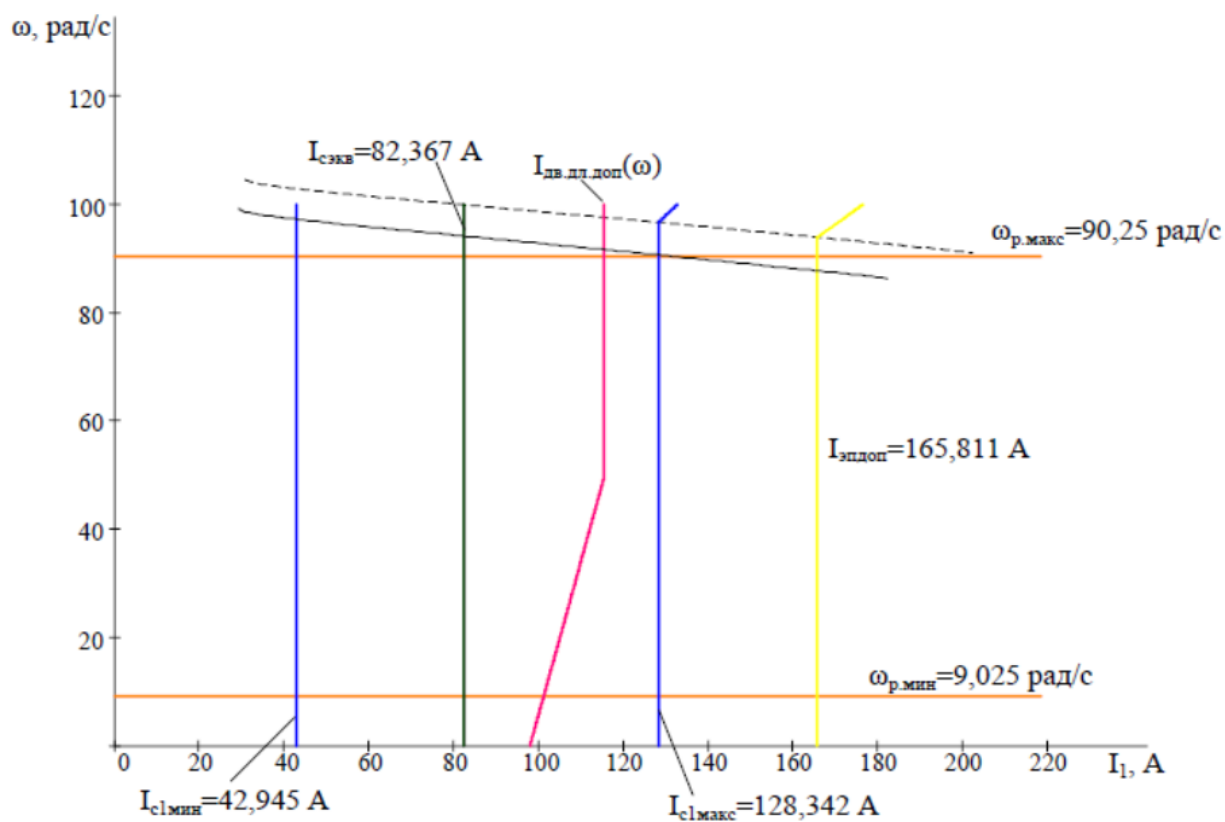


Рисунок 3.4 – Електромеханічні характеристики розімкнутої системи електроприводу та навантаження

3.4.3. Перевірка на відповідність обраного двигуна. В площині механічних характеристик  $\omega = f(M)$ , побудовано наступні характеристики:

- характеристика максимального статичного моменту при підйомі максимального вантажу  $M_{c1\max}(\omega) = \text{const} = 712.073 \text{ Нм}$ ;
- характеристика мінімального статичного моменту при підйомі мінімального вантажу  $M_{c1\min}(\omega) = \text{const} = 180.769 \text{ Нм}$ ;
- характеристика еквівалентного статичного моменту

$$M_{c1\text{екв}}(\omega) = \text{const} = M_{c1\max} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 712.073 \cdot \sqrt{0.4} = 450.354 \text{ Нм},$$

де: ПВ = 0.4 – тривалість включення.

Характеристика максимального динамічного моменту електропривода  $M_{\text{сп дод}}(\omega) = \text{const}$ , що розрахована виходячи з умови обмеження прискорення на допустимому рівні:

$$M_{\text{сп дод}}(\omega) = \text{const} = M_{c1\max} + M_{\text{дин дод}} = 712.073 + 195.61 = 907.683 \text{ Нм},$$

де:  $a_{\text{доп}} = 0.2 \div 0.3 \text{ м/с}^2$  – допустиме прискорення, приймаємо  $a_{\text{доп}} = 0.2 \text{ м/с}^2$ ;

$$M_{\text{дин дод}}(\omega) = J_e \cdot a_{\text{доп}} \cdot \frac{\omega_{\text{роб макс}}}{V_{\text{макс}}} = 1.355 \cdot 0.2 \cdot \frac{90.25 \cdot 60}{7.5} = 195.61 \text{ Нм}.$$

- характеристика протяжно-допустимого моменту двигуна  $M_{\text{дв пр.доп}}(\omega)$ :

$$M_{\text{дв пр.доп}}(\omega) = M_{\text{дв.н}} \cdot \left( 0.85 + \frac{0.15 \cdot \omega}{0.5 \cdot \omega_{\text{дв н}}} \right), \text{ при } \omega \leq 0.5 \cdot \omega_{\text{дв н}};$$

$$M_{\text{дв пр.доп}}(\omega) = M_{\text{дв н}}, \text{ при } 0.5 \cdot \omega_{\text{дв н}} < \omega < \omega_{\text{дв н}}.$$

Розраховані та побудовані в площині електромеханічних характеристик  $\omega = f(I_1)$  наступні характеристики:

- характеристика статичного струму  $I_{c1\max}(\omega) = \text{const} = 128,342 \text{ А}$ , що відповідає статичному моменту при підйомі максимального вантажу, розрахована за виразами (2)–(5) при  $f_1 = f_{1н} = 50 \text{ Гц}$  для значення ковзання  $s = 0,7675$ , визначеного шляхом розв'язання рівняння (7) при  $M = M_{c1\max} = 712,073 \text{ Нм}$ ;

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \left[ X_{KH}^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]};$$

– характеристика статичного струму  $I_{c1\min}(\omega) = \text{const} = 42.9 \text{ А}$ , відповідна статичному моменту при підйомі мінімального вантажу, розрахована за виразами (2)–(5) при  $f_1 = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$  для значення ковзання  $s = 0.01731$ , визначеного шляхом вирішення рівняння (7) при  $M = M_{c1\min} = 180.769 \text{ Нм}$ ;

– характеристика еквівалентного статичного струму  $I_{c\text{ екв}}(\omega) = \text{const} = 82,367 \text{ А}$ , що відповідає еквівалентному статичному моменту, розрахована за виразами (2) – (5) при  $50 \text{ Гц}$  для значення ковзання  $s=0,04559$ , визначеного шляхом вирішення рівняння (7) при  $M = M_{c\text{ екв}} = 450.354 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;

– характеристика протяжно-допустимого струму двигуна:  $I_{\text{дв.пр.доп}}(\omega)$ :

$$I_{\text{дв пр доп}}(\omega) = I_{\text{дв н}} \cdot \left( 0.85 + \frac{0.15 \cdot \omega}{0.5 \cdot \omega_{\text{дв н}}} \right), \text{ при } \omega \leq 0.5 \cdot \omega_{\text{дв н}};$$

$$I_{\text{дв пр доп}}(\omega) = M_{\text{дв н}}, \text{ при } 0.5 \cdot \omega_{\text{дв н}} < \omega < \omega_{\text{дв н}}.$$

– характеристика максимально допустимого струму електроприводу  $I_{\text{еп,доп}}(\omega) = \text{const} = 165,811 \text{ А}$ , що відповідає максимальному динамічному моменту, розрахована за виразами (2)-(5) при  $f_1 = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$  для значення ковзання  $s = 0,10305$ , визначеного шляхом рішення рівняння (7) при  $M = M_{\text{еп,доп}} = 907,683 \text{ Нм}$ .

Аналіз, наведених на рисунках 3.3 та 3.4, механічних та електромеханічних характеристик електроприводу та навантаження показує, що

$$I_{\text{дв.пр.доп}}(\omega) > I_{c\text{ екв}};$$

$$M_{\text{дв.пр.доп}}(\omega) > M_{c\text{ екв}},$$

отже, при вибраному електродвигуні асинхронний частотно-регульований електропривод забезпечує заданий діапазон регулювання швидкості.

### 3.5. Вибір перетворювача частоти

Для кранового частотно-регульованого електроприводу потрібні перетворювачі частоти, спеціально адаптовані до застосування в вантажопідіймальних кранах і мають необхідні функціональні можливості:

- функція керування гальмом призначена для видачі сигналу на відкриття гальма при досягненні двигуном необхідного моменту та сигналу накладання гальма при зниженні швидкості до мінімального рівня. Для коригування зняття гальма може використовуватися функція вимірювання ваги.
- функція підйому з підвищеною швидкістю. Максимальна швидкість підйому визначається автоматично залежно від маси вантажу.
- функція обмеження моменту електродвигуна з формуванням бажаної механічної характеристики у руховому та генераторному режимах.
- функція формування заданого темпу розгону та гальмування.

Функція гальмування електроприводу за допомогою гальмівного резистора або блоку рекуперації. Економічний ефект від впровадження модулів рекуперації збільшується: зі збільшенням потужності електроприводів, різких гальмуваннях інерційних механізмів, а також при опусканні вантажу на велику глибину (ліфти, шахтні підйомники). Враховуючи думку про низьку ефективність рекуперації для систем зі струмом споживання до 100 А [7], а також відносно високу вартість модулів рекуперації та складність впровадження, прийнято рішення використовувати гальмівний резистор.

3.5.1. Параметри перетворювача частоти. З урахуванням перелічених вище вимог вибираємо перетворювач частоти *Dyna-Hoist V (vector) 55 F 34-A*, призначений для кранового електроприводу:

55 – вихідна потужність, кВт;

*F* – напруга живлення 380-500 В;

34 – серія;

*A* – із зовнішнім резистором.

Параметри перетворювача частоти зведені до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Параметри перетворювача частоти

| Тип                     | Параметри мережи живлення |           | Вихідна частота | Вихідний струм |                        |
|-------------------------|---------------------------|-----------|-----------------|----------------|------------------------|
|                         | $U_{л}, В$                | $f_c, Гц$ | $f_i, Гц$       | $I_{ин}, А$    | $I_{ин макс}, А (60с)$ |
| Dyna-Hoist<br>55 F 34-A | 380-500                   | 50/60     | 0-120           | 150            | 225                    |

Загальні технічні дані перетворювача частоти серії Dyna-Hoist V (vector) 55 F 34-A:

- мережа живлення:  $(380-500) \pm 10\%$ ;  $(50-60) Гц \pm 5\%$ , 3 фази;
- перевантаження по струму:  $2,5I_{н}$  – протягом 2 с;
- діапазон регулювання швидкості:
  - розімкнена система, векторне керування  $s_n \div 100\%$ ;
  - замкнута система, векторне керування  $0 \div 100\%$ ;
- максимальна похибка підтримання частоти обертання (розімкнена система)  $0,01 \omega_n$  в діапазоні швидкостей  $0,1 \cdot \omega_n < \omega < \omega_n$  і  $1/3 \cdot s_n$  у діапазоні швидкостей  $0,1 \cdot \omega_n < \omega < \omega_n$ ;

Інші блоки: порт послідовного зв'язку RS485.

Захисту:

- електронний тепловий захист двигуна від навантаження  $2,8 \cdot I_{дв.н}$ ;
- тепловий захист перетворювача;
- контроль напруги проміжного ланцюга постійного струму;
- захист перетворювача від короткого замикання на клеммах двигуна;
- захист від втрати фази відключенням перетворювача;
- захист від несправності заземлення на клеммах двигуна.

Довкілля:

- максимальна відносна вологість  $(5 - 93)\%$  ;
- температура довкілля від мінус 40 до плюс 60 °С;
- максимальна висота над рівнем моря 1000 м.

3.5.2. Перевірка на відповідність перетворювача частоти. На рис. 3.5 у площині електромеханічних характеристик побудовані характеристики

навантаження та характеристики перетворювача частоти

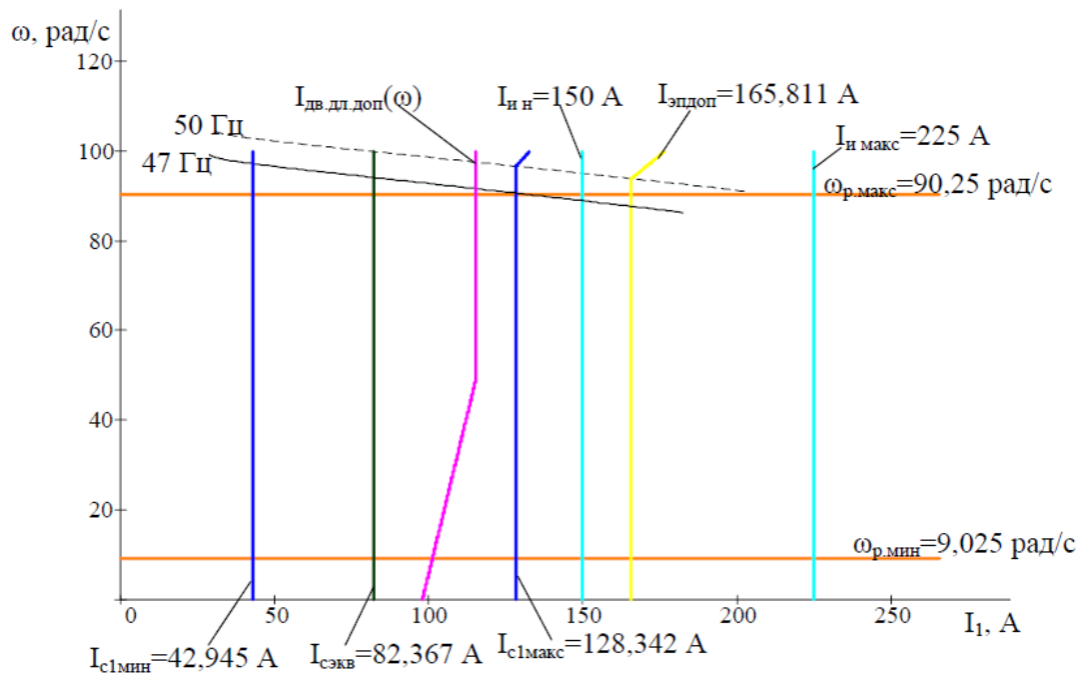


Рисунок 3.5 – Електромеханічні характеристики розімкнутої системи електроприводу, перетворювача та навантаження

Умови перевірки правильності вибору перетворювача частоти

$$I_{с\text{ экв}}(\omega) < I_{ин};$$

$$I_{с1\text{ макс}}(\omega) < I_{и\text{ макс}};$$

$$I_{еп\text{ доп}}(\omega) < I_{и\text{ макс}}.$$

Аналіз наведених на рис. 3.6 електромеханічних характеристик розімкнутої системи електроприводу, характеристик перетворювача частоти та навантаження показує, що всі три умови виконуються, отже, перетворювач обраний правильно.

2.5.3. Перевірка забезпечення заданої сфери роботи. Визначимо максимальну робочу частоту інвертора з умови забезпечення максимального моменту електроприводу під час підйому максимальної робочої швидкості. Вирішивши щодо частоти рівняння (6) при  $\omega = \omega_{р\text{ макс}} = 90.254 \text{ рад/с}$ ,  $M = M_{эп\text{ доп}}$ , і остаточно приймаємо значення максимальної частоти інвертора  $f_{и\text{ макс}} = 49 \text{ Гц}$ .

На рис. 3.6 наведено граничні механічні характеристики  $\omega = f(M)$  розімкнутої системи електроприводу при частотному регулюванні для значень

частоти  $f_1 = 47.50$  Гц і характеристики навантаження:

- характеристики статичного моменту під час підйому
- максимального вантажу

$$M_{c1\max}(\omega) = \text{const} = 712.073 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- порожнього вантажозахоплюючого пристрою

$$M_{c1\max}(\omega) = \text{const} = 180.769 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- характеристики статичного моменту під час спуску:

- максимального вантажу

$$M_{c2\max}(\omega) = \text{const} = 411.541 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- порожнього вантажозахоплюючого пристрою

$$M_{c2\min}(\omega) = \text{const} = -8.219 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- характеристика максимального моменту

$$M_{\text{еп доп}}(\omega) = \text{const} = 907.683 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

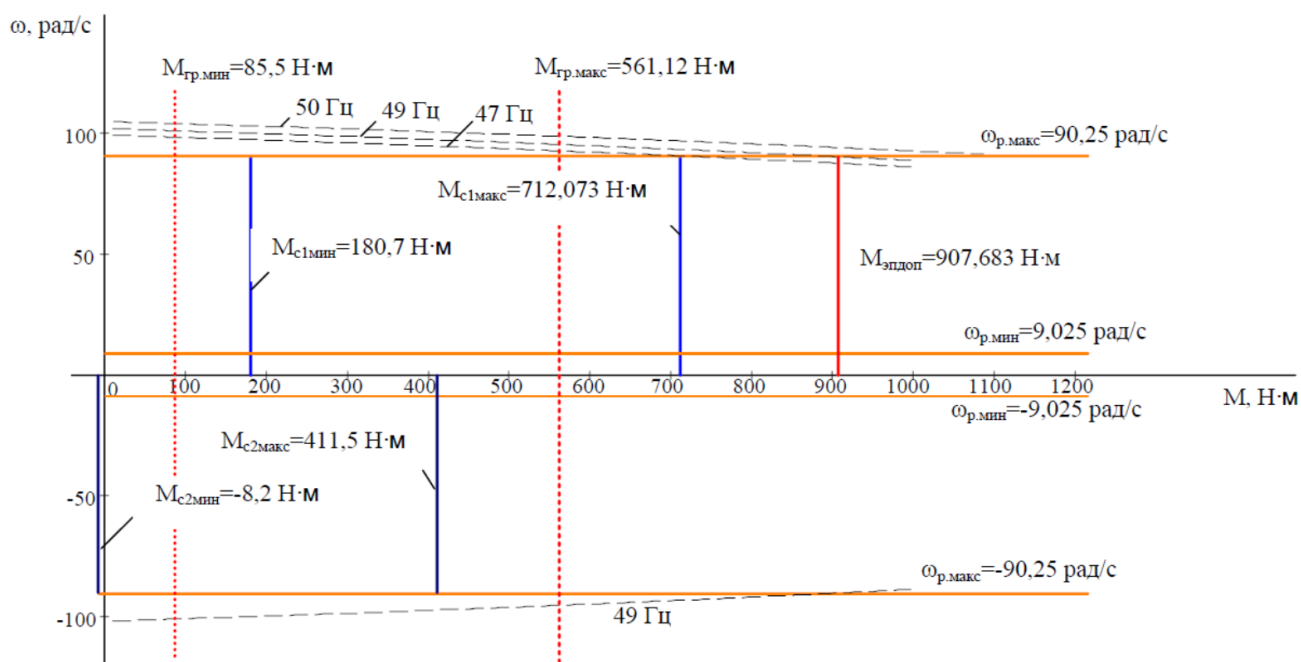


Рисунок 3.6 – Механічні характеристики розімкнутої системи електроприводу при частотному регулюванні та характеристики навантаження

Наведені на рис. 3.6 характеристики доводять, що за вибраних умов електропривод із частотним регулюванням забезпечує задану область роботи.

### Висновки до розділу 3

У цьому розділі бакалаврської роботи проведено аналіз і обґрунтовано вибір основних компонентів електроприводу, зокрема електродвигуна та частотного перетворювача.

Для електроприводу підйомного механізму крана обрано асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором кранової серії 4МТКМ225L6У2, адаптований для роботи з частотним перетворювачем. Розраховано та побудовано його природні механічні й електромеханічні характеристики.

Оскільки для частотно-регульованого кранового електроприводу необхідний спеціалізований перетворювач частоти з відповідним функціоналом, було обрано модель Dyna-Hoist V 55 F 34-A, призначену для застосування у вантажопідіймальних кранах.

У роботі проведено розрахунки, які підтверджують відповідність обраних електродвигуна та перетворювача вимогам електроприводу.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Обґрунтування необхідності розгляду питань з охорони праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я й працездатності людей у процесі праці (ст. 1 Закону "Про охорону праці"). Як правовий інститут охорона праці – це чималий комплекс правових норм.

Розділ розроблений на підставі наступних нормативних документів:

- закон України «Про охорону праці» у редакції №229-IV від 21.11.2002 р.;
- зміни до Закону України «Про охорону праці»;
- «Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з охорони праці» 2005 р.;
- ДБН А 2.2-3-2012 «Склад і зміст проектної документації для будівництва» (Додаток Е);
- правила з техніки безпеки й протипожежної охорони, викладені в інструкціях для експлуатації устаткування заводів-виготовлювачів;
- ГОСТ 12.4.125-83 «Захисні пристрої»;
- ГОСТ 12.2.062-81 «Огородження захисні»;
- НПАОП 41.0-1.01-79 (НАОП 9.0.00-1.01-79) «Правила техніки безпеки при експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених місць».

Основним споживачем електроенергії є ЕД. Живлення розроблюваної САК здійснюється від запобіжників, встановлених в існуючому розподільному пристрої 0,4 кВ на лініях, що відходять. Живлення ЕД здійснюється від САК, встановленої на місце шаф, що демонтуються.

## 4.2 Охорона праці й техніка безпеки при роботі з електроустановками

Відповідальність за організацію експлуатації електроустановок несе керівник підприємства, на балансі якого воно перебуває.

Наказом адміністрації, із числа ІТП енерготерміну, призначається особа, відповідальна за електрогосподарство, яка зобов'язана забезпечити виконання ПТЕ й ДНАОП 0.00-1-1-98 при експлуатації електроустановок споживачів.

Оперативне обслуговування електроустаткування здійснювати відповідно до вимог розділу 2.2 «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

При монтажі встаткування й електродолів 0,4кВ і 0,23кВ повинні дотримуватися загальні правила техніки безпеки в будівництві згідно СНіП ІІІ-4-80, правила виробництва робіт в електроустановках згідно СНіП 3.05.06-85.

Роботи з монтажу, налагодження, технічного обслуговування, експлуатації електроустаткування, ставляться до робіт з підвищеною небезпекою (Перелік робіт з підвищеною небезпекою Державного комітету України по нагляду за охороною праці №123 від 30.11.1993 р.), і повинні проводитися тільки спеціально навченим персоналом, що мають допуск до таких робіт, що пройшли інструктаж.

Монтаж, налагодження й введення в експлуатацію САК, згідно схеми підключення, повинні бути виконані з урахуванням вимог безпеки до заземлення встаткування, опору й міцності електричної ізоляції відповідно до вимог таких документів:

- ДЕРЖСТАНДАРТ 12.3.019;
- ДНАОП 0.00-1.21;
- СНіП 3.05.06;
- ДНАОП 0.00-1.32

До монтажу, налагодження й експлуатації САК повинен допускатися персонал, який пройшов навчання на відповідність правилам експлуатації й має

групу допуску по електробезпеці не нижче — до 1000 В, знає принцип роботи, монтажу й експлуатації, пройшов інструктаж з охорони праці.

Роботи з демонтажу й монтажу насосних агрегатів, що живлять їх кабельні лінії і комутаційної апаратури в електрощитовій вести тільки при відключеній напрузі.

Роботи з підключення проєктованих ел. проводок вести при відключеній напрузі в присутності представників служби, що експлуатує електричні мережі насосної станції.

Не допускається знаходження людей під елементами, що в процесі монтування, до установки й закріплення в кінцеве положення.

Для захисту обслуговуючого персоналу від поразки електричним струмом передбачається автоматичне відключення живлення й вирівнювання потенціалів усіх металевих частин електроустаткування, які нормально не перебувають під напругою, шляхом приєднання до головної заземлювальної шини (ГЗШ).

САК відповідає вимогам ДЕРЖСТАНДАРТ 12.2.007.0, ДЕРЖСТАНДАРТ 22789, ДЕРЖСТАНДАРТ 21130, ДЕРЖСТАНДАРТ 14254.

САК відповідає вимогам пожежної безпеки відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 12.1.004 [10].

#### 4.3 Організація робіт

До монтажних робіт дозволяється приступати тільки при наявності ППР, погодженого зі службами техніки безпеки монтажних організацій і іншими зацікавленими організаціями, згідно існуючого положення.

Роботи вести, дотримуючись погоджених умов.

При виконанні монтажних робіт необхідно керуватися й строго дотримувати вимог:

- ПУЕ вид. 6 «Правила пристрою електроустановок»;
- СНіП III-4-80 «Техніка безпеки в будівництві»;

- Посібник з обліку вимог техніки безпеки при виробництві монтажних робіт;
- Правила пожежної безпеки при виробництві будівельно - монтажних робіт.

Перед початком демонтажних робіт і робіт з підключення розроблюваного встаткування до ВРП насосної станції необхідно знеструмити контакти приєднання КЛ-0,4кВ у ВРП. Виклик представників енергопостачальної організації обов'язковий.

При провадженні робіт вжити заходів по забезпеченню безпеки людей і автотранспорту й дотриманню нормованих ПУЕ габаритів.

Роботи вести тільки при відключеній напрузі.

Увага! При виконанні земляних і монтажних робіт строго дотримувати СНіП 3.02. 01-87, СНіП III-4-80 і ППР розроблений підрядною організацією.

#### 4.4 Охорона праці при виконанні електромонтажних робіт

##### 4.4.1 Загальні положення

До виконання робіт з монтажу силових мереж допускаються робітники не молодше 18 років, які пройшли:

- попередній медичний огляд і визнані здатними виконувати електромонтажні роботи на висоті;
- навчання в навчальних закладах для виконання робіт з підвищеною небезпекою (у професійно-технічних училищах, навчально-курсівних комбінатах, центрах підготовки й перепідготовки робочих кадрів, в організаціях) за затвердженою програмою;
- навчання й перевірку знань з електробезпеки;
- спеціальне навчання й атестацію з питань пожежної безпеки;
- вступний інструктаж у службі охорони праці;
- первинний інструктаж безпосередньо на робочому місці.

Електромонтажники можуть бути допущені до виконання робіт тільки після проведення його персоналом організаційно-технічних заходів, передбачених нарядом-допуском.

Робітники повинні бути проінструктовані щодо розпорядку на робочому місці, порядку переміщення по території об'єкта, про місця відпочинку під час технологічних і обідньої перерв, порядку закінчення роботи.

Перед початком робіт здійснюється первинний інструктаж по безпечному виконанню робіт з основної й суміжної професій і ознайомлення із правилами надання першої допомоги.

Допущені повинні виконувати тільки ті роботи, по безпеці виконання яких вони проінструктовані безпосередньо керівником.

Роботи на висоті (при підйомі над поверхнею вище, ніж 1,3 м) виконуються тільки з лісів або помостів.

#### 4.4.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

Керівник робіт зобов'язаний:

- перевірити ступінь готовності будівельних робіт;
- оцінити виробничі умови, можливість взаємодії з іншими будівельно-монтажними організаціями відповідно до плану виконання робіт (ПВР);
- можливість застосування машин, механізмів, пристосувань, місця їх установки й порядок проїзду; безпечного застосування піротехнічного інструменту й подачі електричних конструкцій, електротехнічних апаратів і інших блоків;
- погодити з відповідними представниками й внести, за необхідністю, уточнення у ПВР;
- ознайомити працюючих із ПВР і технологічними картами на всі види робіт;
- здійснити первинний інструктаж;
- видати наряд-допуск на виконання робіт підвищеної небезпеки зі здійсненням цільового інструктажу й записом у журналі реєстрації інструктажів з

питань охорони праці. Підписи, інструктуючих й інструктованих осіб у журналі обов'язкові;

– попередити працюючих, що приєднання й від'єднання від мережі оснащення, механізмів, інструмента, інвентарних шаф і т.п. (крім оперативного включення й вимикання) в умовах будівельного майданчика виконуються тільки службою експлуатації власника електромережі, якщо немає іншої письмової домовленості із власником.

Робітник перед початком робіт повинен:

– одержати необхідні для виконання робіт засоби індивідуального захисту, інструкції, інструмент, пристосування, перевірити їхню комплектність і справність;

– переконатися в наявності огороження небезпечних зон, у які можуть потрапити люди, а також знаків безпеки й відповідних написів;

– підготувати робоче місце, забрати зайві матеріали й предмети, звільнити проходи, вивести сторонніх осіб з небезпечної зони.

#### 4.4.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

Забороняється виконувати роботи, пов'язані з експлуатацією тимчасових або постійних електричних мереж замовника, й приєднувати електричні механізми, інструменти, зварювальне устаткування й т.п. до апаратури, що перебуває під напругою. Ці роботи повинен виконувати експлуатаційний персонал підприємства.

Необхідно виконувати вказівки працівників служби охорони праці діючого підприємства.

Не дозволяється використовувати діючі трубопроводи й оснащення, а також технологічні (будівельні) конструкції для кріплення технологічного й монтажного оснащення без узгодження із представниками підприємства, відповідальними за правильну їх експлуатацію.

Виконувати роботи, пов'язані з використанням відкритого вогню, необхідно після оформлення дозволу на виконання вогневих робіт.

#### 4.4.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Не залишати робоче місце до надійного закріплення монтуємого оснащення. Від'єднати від електромережі механізми й устаткування, які застосовувалися під час роботи. Звільнити робоче місце від зайвих предметів. Покласти інструмент і устаткування у відведене для них місце. Віднести спецодяг та інші засоби індивідуального захисту в приміщення, призначене для їхнього зберігання.

#### 4.4.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку аварійної ситуації (загоряння або вибух горючих рідин і газів, розрив стропа, монтажних петель, підвищеної загазованості й т.п.) припинити роботу. Відгородити небезпечну зону, вийти з неї, не допускати в неї сторонніх осіб. Повідомити про аварійну ситуацію або нещасний випадок керівника робіт. Якщо є потерпілі, надати їм першу медичну допомогу; при необхідності викликати швидку медичну допомогу.

#### 4.5 Технічне обслуговування апаратної частини

**УВАГА!** Усі роботи з технічного обслуговування та ремонту проводяться при вимкнутій напрузі живлення.

Види й періодичність технічного обслуговування встановлюються відповідно до правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і діючих галузевих норм.

Обсяг ТО регламентується щорічними планами й календарними графіками (графік планово-запобіжного ремонту ПЗР) підприємства (організації), і затверджуються особою, відповідальною за електрогосподарство підприємства (організації).

Порядок виконання технічного обслуговування:

- очистити від пилу, бруду та вологі всі апарати, вузли й деталі;
- зробити обслуговування встановлених у щиті апаратів, приладів та пристроїв за інструкціями на ці вироби;

– перевірити затягування гвинтових затискачів та у випадку ослаблення затягти:

- контактні з'єднання шин і кабелів;
- приєднання до апаратів, приладів, клемних блоків і вивідних затискачів;
- кріплення апаратів, приладів, проводів, клемних блоків і інших вузлів та деталей.
- перевірити стан контактних поверхонь заземлень і затягування гвинтових затискачів. Контактні поверхні повинні бути чистими, контактні затискачі повинні бути добре затягнуті.

#### Висновки до розділу 4

В даному розділу були розглянуті:

- основні відомості про охорону праці;
- охорона праці й техніка безпеки під час експлуатації електрообладнання;
- організація робіт при виконанні монтажу та демонтажу електрообладнання;
- охорона праці при виконанні електромонтажних робіт.

## 5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1 Обґрунтування необхідності розгляду питань з охорони навколишнього середовища

Охорона навколишнього природного середовища є системою державних і суспільних заходів, направлених на збереження, відтворювання і раціональне використання природних ресурсів і поліпшення природного середовища, і є частиною прикладної екології [13].

Відносини у галузі охорони навколишнього природного середовища в Україні регулюються Законом України № 1268-ХІІ від 26.06.91р. «Про охорону навколишнього природного середовища», а також розроблюваними відповідно до нього земельним, водним, лісовим законодавством, законодавством про надра, про охорону атмосферного повітря, про охорону і використання рослинного і тваринного світу та іншим спеціальним законодавством.

В міру прискорення темпів науково-технічного прогресу дія людей на природу стає все більш могутньою. І в даний час воно вже сумирно із дією природних чинників, що приводить до якісної зміни співвідношення сил між суспільством і природою. На сучасному етапі людство поставлено перед чинником виникнення в природі незворотних процесів, нових шляхів переміщення і перетворення енергії і речовини. В природу втручається все більше і більше нових речовин, чужих їй, часом сильно токсичних для організмів. Частина з них не включається в природний круговорот і нагромаджується в біосфері, що приводить до небажаних екологічних наслідків.

Накопичення промислових відходів сприяє підвищенню захворюваності людей і тварин, прискоренню корозії машин і металевого устаткування, зниженню врожайності сільськогосподарських культур і продуктивності тваринництва, прискореному і нераціональному використуванню природних ресурсів і енергії, погіршенню багатьох властивостей екологічних систем, загибелі деяких унікальних природних територіальних комплексів, зникненню окремих видів тварин і рослин.

## 5.2 Оцінка впливу виробу на навколишнє середовище

При введенні в експлуатацію САК вплив на навколишнє середовище будуть носити локальний характер і не призведе до істотних змін його стану [14].

САК розроблена з урахуванням вимог:

- Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- Закону України «Про пожежну безпеку»;
- Закону України «Про охорону праці»;
- СНіП II-12-77 «Будівельні норми й правила»;
- ДБН А.2.2-1-2003 «Проектування. Состав і зміст матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні й будівництві підприємств, будинків і споруджень. Основні положення проектування».

САК є системою, при роботі якої відсутні експлуатаційні відходи, стоки й викиди димових газів.

Шум від системи керування не перевищує норм, установлених у ДЕРЖСТАНДАРТ 23511 та ГОСТ 12.1.003, і не виявляє небезпечного впливу.

Принцип роботи САК виключає можливість виникнення ультразвуку, електромагнітних і іонізуючих випромінювань.

Ергономічність і безпека органів управління відповідає ГОСТ 12.2.033, ГОСТ 12.2.064, ГОСТ 12.4.040 та ДСТУ DE60204-1-2004.

Для підтвердження стійкості до перешкод, що виникають при протіканні електричних процесів, система, що включає в себе перетворювач частоти (з додатковими пристроями, якщо вони істотні), екрановані кабелі керування, блок керування з потенціометром, кабель двигуна й двигун, була піддана відповідним до випробувань на вплив перешкод.

Випробування проводилися у відповідності з наступними базовими стандартами:

- EN 61000-4-2 (IEC 61000-4-2): Електростатичні розряди (ESD). Відтворення електростатичних розрядів, пов'язаних із присутністю людини;

– EN 61000-4-3 (IEC 61000-4-3): Випромінювання, створюване проникаючим електромагнітним полем, з амплітудною модуляцією. Відтворення впливів радіолокаційного та мобільного встаткування й засобів зв'язку;

– EN 61000-4-4 (IEC 61000-4-4): Імпульсні перехідні процеси. Відтворення перешкод, пов'язаних з комутацією контакторів, реле й подібних пристроїв;

– EN 61000-4-5 (IEC 61000-4-5): Перехідні процеси з кидками напруги. Відтворення перехідних процесів, зв'язаних, наприклад, з ударом блискавки поблизу установок;

– EN 61000-4-6 (IEC 61000-4-6): Синфазні перешкоди ВЧ–перешкоди. Відтворення впливу радіопередаючого встаткування, підключеного до сполучних кабелів.

### 5.3 Енергоефективність

Основна ідея розробки САК полягає саме в зниженні енергоспоживання устаткування й втрат під час експлуатації електроприводу. Застосування частотно-регульованих електроприводів в системах, насамперед, дозволяє істотно знизити споживання електроенергії електроприводами (у середньому до 35%). При зниженні споживання електроенергії знижуються втрати при її транспортуванні та виробництві, тобто знижуються також і шкідливі викиди під час виробництва електричної енергії від не відновлювальних енергоресурсів (нафта, вугілля, природний газ), що позитивно впливає на екологію як на місцевому рівні, так і в глобальному масштабі [15].

### 5.4 Утилізація

За рахунок регулювання частоти обертання ЕД підтримується постійний тиск знижується вірогідність аварійних ситуацій, зменшуються втрати та з'являється можливість збільшення часу експлуатації устаткування приблизно в 2-3 рази, що як наслідок приводить до уникнення швидкої утилізації.

Перед тем як приступити до утилізації, щоб уникнути ризику поразки електричним струмом, слід відключити станцію від мережі електроживлення.

Устаткування, що містить електричні компоненти, не можна утилізувати разом з побутовими відходами. Його слід утилізувати по окремій категорії відходів разом з електричними й електронними компонентами відповідно діючим місцевим нормам і правилам.

Переробку промислових відходів проводять на спеціальних полігонах, створюваних відповідно до вимог СНіП 2.01.28-85 і призначених для централізованого збору знешкодження і поховання токсичних відходів промислових підприємств, НДІ й установ.

#### Висновок до розділу

Усі технічні рішення зменшують ступінь ризику виникнення аварійних ситуацій і забезпечують підвищення надійності об'єкта. На підставі вищевикладеного, ступінь екологічного й санітарного ризику від електроприводу мостового крану в межах допустимих норм та вимог.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі розв'язано науково-прикладне завдання, пов'язане з розробкою керованого електропривода для мостового крана.

Розглянуто принципи роботи та загальну будову електроприводів, а також наведено короткі характеристики типів електродвигунів, що застосовуються в них. Описано основні відомості про мостові крани, зокрема їхню класифікацію за конструкцією, вантажопідйомністю, призначенням, типом приводу та способом руху. Обґрунтовано необхідність використання частотно-керованого електропривода для підвищення економічної та енергетичної ефективності. Детально розглянуто особливості частотно-регульованого кранового електропривода механізмів підйому та вертикального переміщення, а також механічні характеристики привода механізму підйому.

Розроблено структуру асинхронного електропривода механізму підйому мостових кранів, представлено електричну та функціональну схеми частотно-регульованого привода.

Створено математичну модель асинхронного електропривода механізму підйому, що враховує пружні властивості механічної частини крана, насичення асинхронного двигуна, наявність перетворювального пристрою та дає змогу досліджувати роботу привода в нормальних і аварійних режимах.

Виконано вибір основних елементів електропривода, зокрема електродвигуна та частотного перетворювача. Для механізму підйому крана обрано асинхронний електродвигун серії 4МТКМ225L6У2 із короткозамкненим ротором, адаптований для роботи з частотним перетворювачем. Розраховано та побудовано його природні механічні й електромеханічні характеристики.

Оскільки для частотно-регульованого електропривода крана потрібен спеціально адаптований перетворювач частоти, було обрано модель Dyna-Hoist V 55 F 34-A, розроблену для кранових електроприводів. Проведені розрахунки підтвердили відповідність обраного двигуна та перетворювача поставленим вимогам.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електропривод і автоматика. Отримано з:  
<https://pmoapv.udau.edu.ua/assets/files/2021/lekcii/elektroprivod-i-avtomatizaciya-lz.pdf>
2. Електродвигуни та виконання. Отримано з:  
<https://tmmotor.ua/news/tipy-elektrovdigatelej-i-ih-ispolzovanie>
3. Панкратов А.І. Системи керування електроприводами. Видання 2: Навч. посібник. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 225 с.
4. specialist. 2016. «Мостовий кран купити – двобалковий, однобалковий КЗПТО». Отримано з: <https://kzpto.com.ua/uk/mostovi-krani/>
5. Видмиш, А. А., Ярошенко, Л. В. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
6. Автоматизований електропривод ч. 2 [Електронний ресурс]: навчальний посібник /В.І. Теряєв. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 204 с.
7. Технічна колекція. ЗАО «Schneider Electric».
8. «Як регулювати оберти асинхронного електродвигуна за допомогою частотного перетворювача». Отримано з: <https://ukrprommotor.com.ua-/blog/yak-regulyuvati-oberti-asinhronnogoelektrovdiguna-za-dopomogoyu-chastotnogo-peretvoryuvacha>
9. Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г. Лисенко В.П. Електропривод: підручник (за ред. Лавріненка Ю.М.). – К.: вид-во Лір-К., 2009. – 504 с
10. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Частотне керування асинхронним приводом: Методичні вказівки. – Ніжин.: 2011. – 98 с.
11. Усольцев А.А. Частотне керування асинхронними двигунами. Навчальний посібник з дисциплін електромеханічного циклу. - СПб: СПбГУ ІТМО, 2006. - 94 с.
12. Зеленов А. Б. Теорія електропривода. Методика проектування електроприводів: Підручник /А.Б.Зеленов. – Луганськ: «Ноулідж», 2010.– 670 с.

13. Колб Ант., Колб А.А. Теорія електроприводу: навчальний посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.
14. Попович М.Г. Теорія електропривода. К.: Вища школа, 1993.– 496с.
15. Булгар В. В. Теорія електроприводу збірник задач. /ОНПУ – Одеса: Поліграф, 2006 – 408 с.
16. СНіП 3.05.06-85 Електротехнічні пристрої. Отримано з: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4682](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4682)
17. Про охорону праці. Офіційний вебпортал парламенту України. Отримано з: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>
18. База нормативних документів. Отримано з: <http://csm.kiev.ua/nd/nd.php?z=%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%-A2+22789&st=0&b=2>
19. Про охорону навколишнього природного середовища. Отримано з: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12>
20. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99. Отримано з: <https://zakon.rada.gov.ua/go/va037282-99>
21. Ергономіка. Загальний підхід, принципи та концепції. Отримано з: <http://shop.uas.org.ua/ua/ergonomika-zagal-nij-pidhid-principi-ta-koncepcii.html>
22. ДСТУ EN IEC 61000-4-3:2021 Електромагнітна сумісність. Частина 4-3. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до радіочастотних електромагнітних полів (EN IEC 61000-4-3:2020, IDT; IEC 61000-4-3:2020, IDT). Отримано з: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=96887](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=96887)