

**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»**  
**Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій**  
**Кафедра електричної інженерії**

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| _____       | <u>О. КОЛЛАРОВ</u>   |
| (підпис)    | (ініціали, прізвище) |
| «___» _____ | 2022 р.              |

**Кваліфікаційна робота**  
**бакалавра**

на тему Синтез системи керування електроприводу мостового крану.

Виконав: студент 3 курсу, групи ЕЛКЗп-19  
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

|                                                                |          |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| _____                                                          | _____    |
| Світлана ЄГОРЦОВА                                              | (підпис) |
| (ім'я та прізвище)                                             |          |
| Керівник _____                                                 | _____    |
| ст. викл. «ЕлІн», Е. НЄМЦЕВ                                    | (підпис) |
| (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) |          |

|                                                                |          |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| _____                                                          | _____    |
| Рецензент                                                      | (підпис) |
| (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) |          |

Нормоконтроль:

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

|              |          |
|--------------|----------|
| _____        | _____    |
| О. ЛЮБИМЕНКО | Студент  |
| (підпис)     | (підпис) |
| _____        | _____    |
| (дата)       | (дата)   |

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД**  
**«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

**Кафедра електричної інженерії**

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ (О. КОЛЛАРОВ )

«        » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**  
**Світлані ЄГОРЦОВІЙ**

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Синтез системи керування електроприводу мостового крану.

керівник роботи Едуард НЕМЦЕВ, ст. викл. «ЕлІн»  
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 6 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Технічні дані електричного привода мостового крану, схема електричного живлення машин підйому, візка, тролейів дані за номінальними значеннями навантажень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз принципу роботи мостових кранів. Порівняння роботи кранів цього типу із іншими.

2. Розрахунок параметрів електричного привода мостового крану.

3. Дослідження математичної моделі електричної мережі із спроектованим приводом та її аналіз під час перехідних процесів.

4. Виконання заходів, щодо питань з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Дев'ять слайдів у презентаційному матеріалі.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ         | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|----------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Розділ 4.1–4.3 | Е. НЄМЦЕВ, ст. викл.                      |                |                  |
| Розділ 4.4     | О. КОЛЛАРОВ, зав. каф.                    |                |                  |
|                |                                           |                |                  |
| Нормоконтролер | О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.                   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 27 квітня 2022 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.    | Розділ 1                       | 27.04–02.05.22                |          |
| 2.    | Розділ 2                       | 03.05–11.05.22                |          |
| 3.    | Розділ 3                       | 12.05–25.05.22                |          |
| 4.    | Розділ 4                       | 26.05–03.06.22                |          |
| 5.    | Розділ 5 «Охорона праці»       | 01.06–05.06.22                |          |
|       |                                |                               |          |

Студент(-ка) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Світлана ЄГОРЦОВА  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Едуард НЄМЦЕВ  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

С. ЄГОРЦОВА «Синтез системи керування електроприводу мостового крану.» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2022.

У розробленому дипломному проекті був виконаний синтез та побудована модель мостового крану. На досліджуваному крані з метою регулювання частоти обертання використовуються перетворювач частоти, який значно знижує витрати електричної енергії, а також покращує якість перехідних процесів. Глибокий аналіз перехідних процесів у системі дозволила виконати наявна модель, що була побудована у пакеті Simulink програмного комплексу Matlab.

Також використовуючи пакет Step7 було зроблено програму для керування електричним приводом, для цього була використана мова програмування LAD.

Немаловажним під час практичного аналізу стало використання обмежувача вантажопідйомності, адже це суттєво підвищує безпеку експлуатації самого крана а також продовжує терміни його служби.

Була спроектована система електричного живлення цеху. Також розглянуті питання монтажу й технічного обслуговування електричного обладнання мостового крана, вирішені й питання техніки безпеки,

Ключові слова: МОСТОВИЙ КРАН, MATLAB, ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ, РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, STEP7, МОДЕЛЮВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДАТЧИКИ.

## ЗМІСТ

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ                                                           | 7  |
| ВСТУП                                                                               | 8  |
| 1. ПРИНЦИП РОБОТИ МОСТОВИХ КРАНІВ. ОСНОВНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ КРАНІВ ЦЬОГО ТИПУ. | 11 |
| 1.1 Класифікація кранів. Мостовий кран.                                             | 11 |
| 1.2 Основні механізми мостового крану.                                              | 14 |
| 2. АНАЛІЗ РЕЖИМІВ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ МОСТОВОГО КРАНУ.          | 20 |
| 2.1 Аналіз розімкненої системи керування електричним приводом мостового крана.      | 20 |
| 2.2 Виконання векторного управління електричного приводу у замкнутій системі.       | 22 |
| 3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОСТОВОГО КРАНУ ТА ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ                      | 28 |
| 3.1 Розрахунок споживання електричної енергії.                                      | 28 |
| 3.2 Визначення струмів під час режиму короткого замикання в електричній мережі.     | 32 |
| 3.3 Розрахунок тролів та кабельної лінії.                                           | 39 |
| 3.4 Обрання електроапаратів низької напруги.                                        | 41 |
| 3.5 Обрання високовольтного устаткування та виконання захисних уставок.             | 42 |
| 3.6 Розрахунок електрообладнання візка                                              | 44 |
| 4. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ МОСТОВОГО КРАНУ.                         | 47 |
| 4.1 Розробка системи керування режимами та збору параметрів мостового крану.        | 47 |
| 4.2 Створення математичної моделі.                                                  | 49 |
| ВИСНОВКИ                                                                            | 55 |

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                               | 57 |
| ДОДАТОК А «Зауваження контролера з нормування»           | 60 |
| ДОДАТОК Б «Безпека під час експлуатації електроприводу». | 61 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АДФР – асинхронний двигун із фазним ротором;

ВК – векторне керування;

ДТ – датчик температури;

ДН – датчик напруги;

ЕД – електричний двигун;

ЕП – електропривод;

ЗС – змінний струм.

ТВ – тривалість включення;

ПС – постійний струм;

І – інвертор;

СІХ – спеціальна інтегральна схема;

ОМ – обертаючий момент;

## ВСТУП

Мета дипломної роботи – виконати синтез та дослідити процеси та режими мостового крану, виконати моделювання та заходи із підвищення продуктивності мостового крану, зокрема впровадити векторне керування електроприводу.

В даній роботі об'єктом досліджень виступає електромережа мостового крану, яка включає, окрім власне електроприводів самих механізмів переміщення ще й кабельні лінії та лінії виміру параметрів, зокрема температури зовнішнього середовища.

Завдяки розробленій у роботі математичній моделі електроприводу мостового крану відбулося дослідження перехідних процесів, які протікають в електричній мережі. Саме моделювання відбулося завдяки використанню пакету програми Matlab та бібліотеки SimPowerSystems у додатку Simulink.

В наш час притаманна стійка тенденція до використання частотно-регульованих електричних приводів під час роботи кранів на металургійних підприємствах та у суміжних галузях виробництва і в Україні і у світі в цілому. Така особливість може бути пояснена наступним – застосування приводів із регулюванням у кранових машинах дозволяє підвищити значно якісні показники у роботі крана на етапі прискорення. В той же час, плавні характеристики перехідних процесів, які забезпечує частотно-регульований електропривод призводять до вагомого зменшення динамічного навантажень у пристроях кінематичного ланцюгу самого електроприводу. Це дозволяє підвищити строк та надійність роботи механічних елементів крана, також відпадає вимога заміни канатного барабану, редуктора, електродвигуна, гальмівних колодок, а також інших важливих пристроїв під час модернізації кранів [2].

Саме зменшення енергетичного споживання під час роботи крану на 50–60% є головною причиною такого широкого використання електроприводу із

регулюванням у кранових машинах. Така умова досягається завдяки значному зменшенню махових обертових мас лебідки головного підйому крану.

Конструкція мостових кранів, переважно, визначається за їх основним призначенням та специфікою самого технологічного процесу. Проте є ряд вузлів, до прикладу, механізми пересування та підйому, які виконуються переважно одного типу для мостових кранів різних видів. Тож є багато спільного у питаннях обрання та послідууючої експлуатації електричних пристроїв мостових кранів [3-4].

Використання ЧР перетворювачів дозволили застосовувати асинхронні електродвигуни (АД) із короткозамкненим ротором, які мають краще характеристики, завдяки кращій комутації ніж АД із фазним ротором, до яких б довелось звертатися при обрані іншого типу системи керування приводом.

Значення мохового моменту валу у АД з короткозамкненим ротором у декілька разів є меншим за аналогічні кранові АД із фазним ротором, при цьому вартість ЕП зменшується у 3–5 разів, якщо порівнювати із крановими електродвигунами, спеціальною серії [2].

Тож й економічний ефект під час впровадження електроприводу із частотним регулюванням складається із зменшення експлуатаційних витрат та економії електричної енергії.

З метою отримання точної технологічної оцінки ефективності від встановлення електроприводу із частотним регулюванням у мостовому крані, в практичній роботі, пропонується запровадити один із електроприводів крану, а потім за допомогою лічильника виміряти витрати електричної енергії. На основі цих вимірів пропонується дати оцінку динамічних навантажень, різні технічні параметри, а також зручність у керуванні роботи ЕП. У дипломній роботі за це відповідає підсистема виміру, яка є у математичній моделі, вона вимірює показники у реальному часі, та за допомогою запрограмованих виразів розраховує вище зазначені параметри мережі. Перед усім, така підсистема дає змогу наочно переконатися у правильності вибору перетворювача частоти за технічними параметрами [3-4].

Практична значимість проведеного дослідження передбачає новий метод керування електроприводом із додатковим удосконаленням, який здатен підвищити якість та ефективність роботи системи (опрацювання завдання приводом) приблизно 10%.

Структура та обсяг дипломного проекту. Випускна кваліфікаційна робота обсягом 64 машинописних сторінок та відповідно складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, переліку використаних джерел, який складається із 10 найменувань та 2 додатків. Робота містить 25 рисунків та 5 таблиць.

## 1. ПРИНЦИП РОБОТИ МОСТОВИХ КРАНІВ. ОСНОВНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ КРАНІВ ЦЬОГО ТИПУ.

### 1.1 Класифікація кранів. Мостовий кран.

Підйомні крани являють собою типові установки циклічної дії. Найпоширенішими видами сьогодення виступають наступні підйомні крани:

- мостові;
- порталні;
- козлові;
- баштові.

Основні вимоги, що ставляться перед електричним обладнанням кранів наступні:

1) На механізмах кранів необхідно встановлювати обмежувачі ходу, які впливають на електричний ланцюг управління.

2) Робоча напруга електричної мережі, яка живить кран(-и) не повинна перевищувати значення  $U_{\text{жив}}=660$  (В). Тому у відповідності до цього на кранах використовують напругу постійного струму (DC) 220 (В) та 440 (В), або напругу змінного струму (AC) 220 (В), 380 (В) та 660 (В).

3) Якщо за одним й тим же крановим коліям зміщується декілька кранів, чи за одним мостом декілька візків, тоді необхідно передбачити при проектуванні аби кінцеві вимикачі запобігали зіткненню вище згаданих об'єктів [4,6].

Разом із цим важливо відмітити, що кінцеві вимикачі у механізмі підйому обмежують напрям його ходу, проте вони не повинні обмежувати його хід вниз. У той же час, кінцеві вимикачі самого механізму пересування мосту й візка повинні хід обмежувати в обидвох напрямках [5].

4) На потужних мостових чи козлових кранах необхідно передбачати встановлення захисту від перекосу гака.

5) Електричні ланцюги самих кранів повинні бути захищені від режиму коротких замикань, а також перевантажень понад 150–200% від номінального струму, за допомогою максимального струмового реле.

6) Крани, котрі розташовані та працюють на відкритому повітрі, повинні мати у своїй конструкції пристрої, які дозволяють закріпити власне кран та унебезпечити його від сильного вітру.

7) Теплові реле розміщені на кранах не повинні використовуватися, таким чином як кранові електричні двигуни, що розраховані на короткочасний повторний режим та витримують значні перегріву.

8) Всі двері і люки, які ведуть до тролей, необхідно забезпечувати блокувальними вимикачами [2].

У той же час, тролей із зовнішнього боку необхідно виділяти у яскравий колір.

9) Повинно бути передбачене безпечне відключення обслуговуючим персоналом напруги в разі необхідності.

10) У схемі керування кранами необхідно передбачити мінімальні нульові захисту, котрі запобігають самозапуску електричного двигуна вже після закінчення перерви в електричному постачанні.

11) Всі непровідні металеві частини електричного обладнання повинні бути з'єднані із мостом, через рейки із землею.

12) Кранові механізми необхідно забезпечувати гальмом, яке пов'язане із робочим органом. Під час відключенні відповідного електродвигуна сам механізм повинен загальмовуватись [7].

У табл. 1 приведено порівняння різних видів кранів за швидкістю їх механізмів підйому.

Окрім цього вимоги ставляться і до електричного приводу кранових механізмів.

Таблиця 1 – Швидкості механізмів підйому різних видів кранів

| Тип крана                   | Діапазон регулювання швидкості, D | Номінальна швидкість, [м/с] | Швидкість у моменти гальмування чи розгону, [м/с] |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| Портальні монтажні          | (11–13)/1                         | 0.35–0.4                    | 0.035–0.055                                       |
| Мостові, козлові            | (7–10)/1                          | 0.2–0.4                     | 0.04–0.055                                        |
| Козлові судноремонтні       | (35–50)/1                         | 0.45–0.5                    | 0.01–0.02                                         |
| Перевантажувальні портальні | (5–7)/1                           | 1.0–1.2                     | 0.18–0.3                                          |
| Баштові будівельні          | (9–10)/1                          | 0.2–1                       | 0.08–0.1                                          |

Вимоги до електроприводів кранів наступні:

1. Вантаж має рухатися лише за напрямком, який встановлений командним контролером. В разі певних несправностей в системі керування електричним приводом допускається зупинка вантажу.

2. Під час включеного електроприводу механізму підйому (коли він знаходиться у «нульовому положенні»), у випадку виходу із ладу механічного гальма потрібно виконати повільне опускання вантажу завдяки динамічному гальмуванню електропривода змінного струму, у ЕП постійного струму така вимога виконується автоматично.

3. Під час переміщення рукоятки командного контролера за напрямком зменшення швидкості електропривода, показник швидкості не повинен підвищуватись навіть у нетривалий проміжок часу [2].

4. На старті підйому вантажу під час зменшення напруги на затискачах електродвигуна до значення 80–90% від номінального, необхідно виключити можливість спуску власне номінального вантажу.

5. Необхідне обмеження динамічних складових навантаження у елементах механічної частини електричного привода – гальмувань та прискорень.

6. Регулювання значень моменту та швидкості електричного двигуна у відповідності до певного, відомого набору механічних характеристик, тобто регулювання за обраним законом.

7. Використання максимально простих схем електропривода із діапазоном регулювання швидкості щонайменше  $D=7-10$ .

8. Підвищена безпека та надійність експлуатації кранових механізмів. Для захисту електропривода кранових механізмів застосовуються спеціальні комплектні пристрої (КП), а саме захисні панелі, які виконують максимальний, нульовий та кінцевий захист, і крім цього й нульове блокування.

9. Формування динамічних спеціальних режимів в деяких видах кранів – автоматичне гальмування коливань вантажів на перевантажувачах й баштових кранах, синхронізація опору у потужних козлових кранів.

10. Підвищене значення точності зупинки для ряду кранових установок (наприклад, контейнерні крани), з метою необхідного застосування позиційних електропривода [3-4].

11. Плавність регулювання швидкості та жорсткість механічної характеристики підйомного механізму.

Жорсткість механічних характеристик електроприводу виступає важливим параметром для механізмів підйому із змінним статичним моментом, а особливо при роботі на низьких значеннях швидкості. Плавність у регулюванні швидкості дозволяє зменшувати ударні значення навантажень на власне механізми підйому під час гальмування у кінці спуску чи підйому [8].

## 1.2. Основні механізми мостового крану.

В дипломному проекті розглядається електрична частина мостового крану, приклад якого наведений на рис. 1.1.

Мостовий кран має такі основні механізми:

- механізм підйому вантажу;
- механізм переміщення візку;
- механізм переміщення мосту.



Рисунок 1.1 – Мостовий кран під час експлуатації, вид із електричними приводами

Значення напруги електричних двигунів, перетворювачів, які установлюються на мостових кранах та трансформаторів, повинна бути не більшою за 10 (кВ), при цьому відбувається застосування напруги значенням понад 1000 (В), яке слід знайти за розрахунками. При цьому напруга ланцюгів керування та автоматики не є вищою за 440 (В) постійного струму та за 380 (В) змінного струму [3].

Сучасні вантажопідйомні мостові крани у відповідності до вимог забезпечення безпеки, для кожного робочого переміщення (руху) повинна мати у трьох площинах такі самостійні механізми:

– механізм опускання та підйому вантажу (принцип зображено на рис. 1.2);

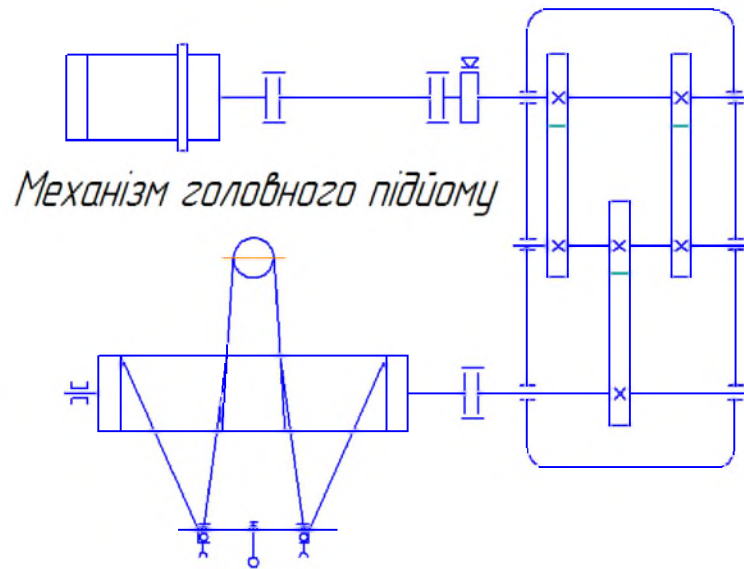


Рисунок 1.2.а – Механізм опускання та підйому вантажу

– механізм переміщення мостового крану у горизонтальній площині (принцип наведено на рис. 1.2)

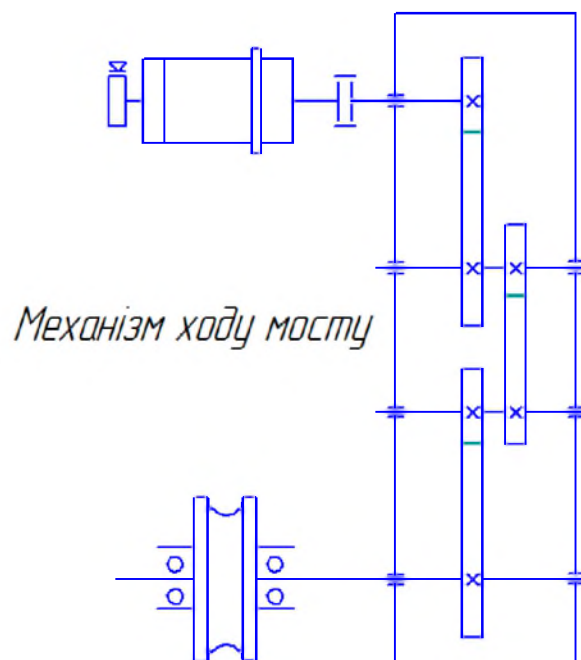


Рисунок 1.2.б – Механізм переміщення мостового крану у горизонтальній площині

– механізми із обслуговування робочої зони мостового крану, а саме пересування візка (принцип дії показано на рис. 1.2.в).

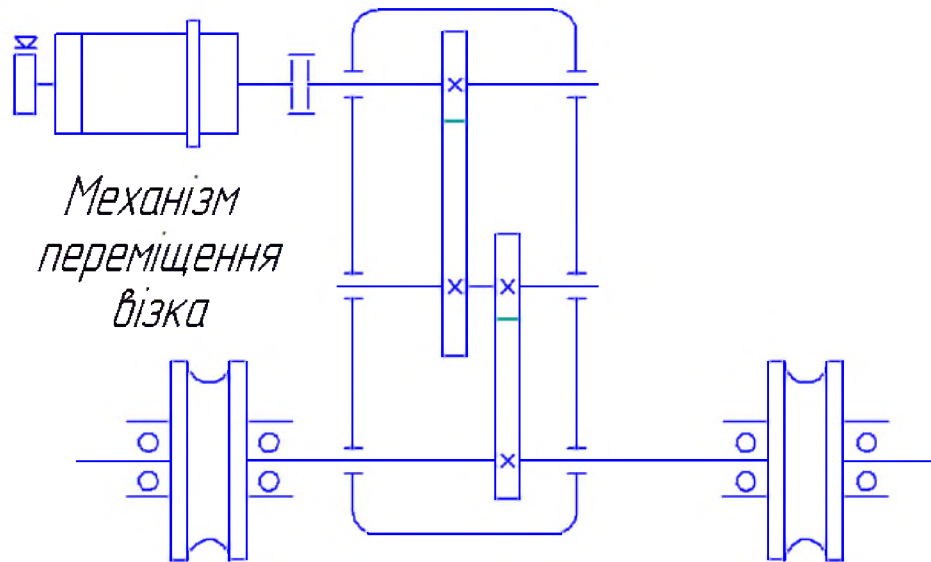


Рисунок 1.2.в – Механізми із обслуговування робочої зони мостового крану

Для кранового електроприводу традиційно використовуються спеціальні виконані серії електродвигунів постійного чи змінного струму. За геометрією магнітопроводу, електромеханічними характеристиками, ступенями застосування електротехнічних матеріалів, а також конструктивним виконанням такі двигуни істотно відрізняються від загальнопромислового виконання електродвигунів [6].

Двигуни кранів розраховані на роботу в повторному, короткочасному режимі, який характеризується великою тривалістю включення (ТВ) – 20, 30, 45 та 60% під час тривалості циклу не більше 10-15 хвилин. Основним номінальним режимом кранових електродвигунів змінного струму виступає  $ТВ = 40\%$ .

Режим роботи електродвигунів в крановому приводі може характеризуватися широкою зміною навантажень, гальмуваннями та частими пусками, широким діапазоном у зміні значень швидкостей вище та нижче за номінальну [5].

Електродвигуни кранів мають підвищений запас за міцністю механічних вузлів, а також деталей. В ЕД кріплення ротора на валу завжди виконується за допомогою шпонки.

Використовують, зазвичай, у кранових електроприводах АДФР. Регулювання моменту й швидкості в такому ЕП виконується із включенням у ланцюг ротора регулюючих резисторів пуску. Для отримання посадкових (знижених) швидкостей під час опускання вантажу використовується режим включення у протифазі чи різноманітні спеціальні схеми включення, до прикладу, динамічне гальмування із самозбудженням.

Також у ЕП потужністю до 30-40 кВт використовують модифікації кранових АД із короткозамкненим ротором, які мають, низькі номінальні значення швидкостей та, як правило, не вимагають їх регулювання. Крім цього, існують певні модифікації кранових електродвигунів у три та двошвидкісному виконанні [9].

Такі електродвигуни розраховані на отримання живлення від промислової електромережі стандартним значення напруги 220 або 380 (В) та при значенні частоти у 50 (Гц).

Проте це ще не означає те, що вони не в змозі працювати й у складі електроприводів із частотним регулюванням, однак в наш час розробляються спеціальні серії власне АД і кранових у тому числі, які оптимізовані для роботи у енергосистемах із частотним регулюванням.

Тож можна зробити висновок, що кранові електродвигуни сьогодні умовно можна розділити на АД із фазним та короткозамкненим ротором, які призначені для живлення з промислової електромережі й короткозамкнені АД для електроприводу із частотним регулюванням.

На рис. 1.3 представлено побудовану схему досліджуваного мостового крану та його основного електрообладнання у тривимірному просторі із нанесенням габаритних розмірів.

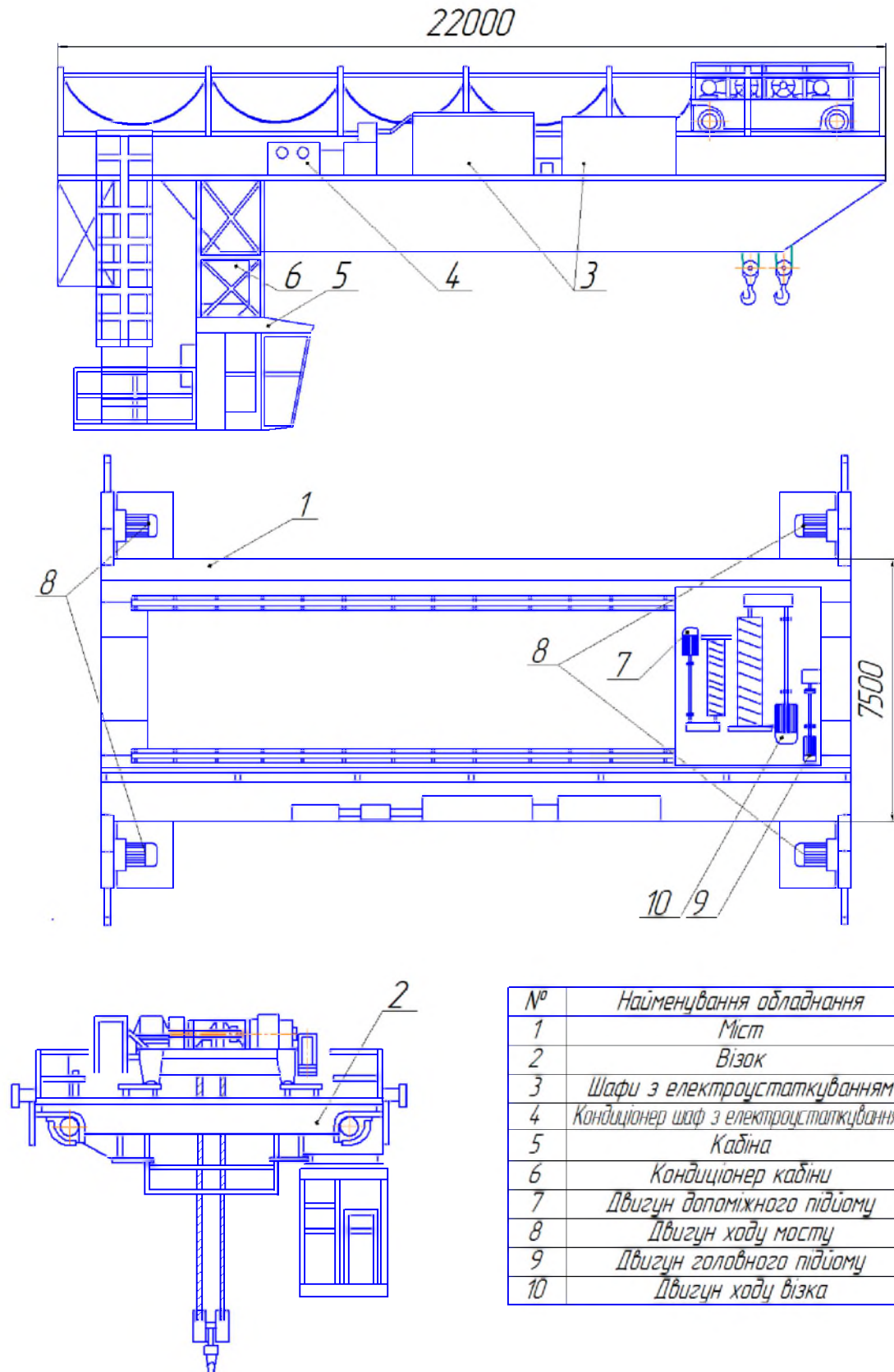


Рисунок 1.3 – Графічне зображення мостового крану та його основного електрообладнання у тривимірному просторі із нанесенням габаритних розмірів

## 2. АНАЛІЗ РЕЖИМІВ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ МОСТОВОГО КРАНУ.

### 2.1 Аналіз розімкненої системи керування електричним приводом мостового крана.

В об'єкті, який досліджується – електропривод мостового крана, застосовується частотне регулювання за кутовою швидкістю. В перетворювачах частоти, які використовують в даному випадку, виконується векторне керування (рис. 2.1.а).

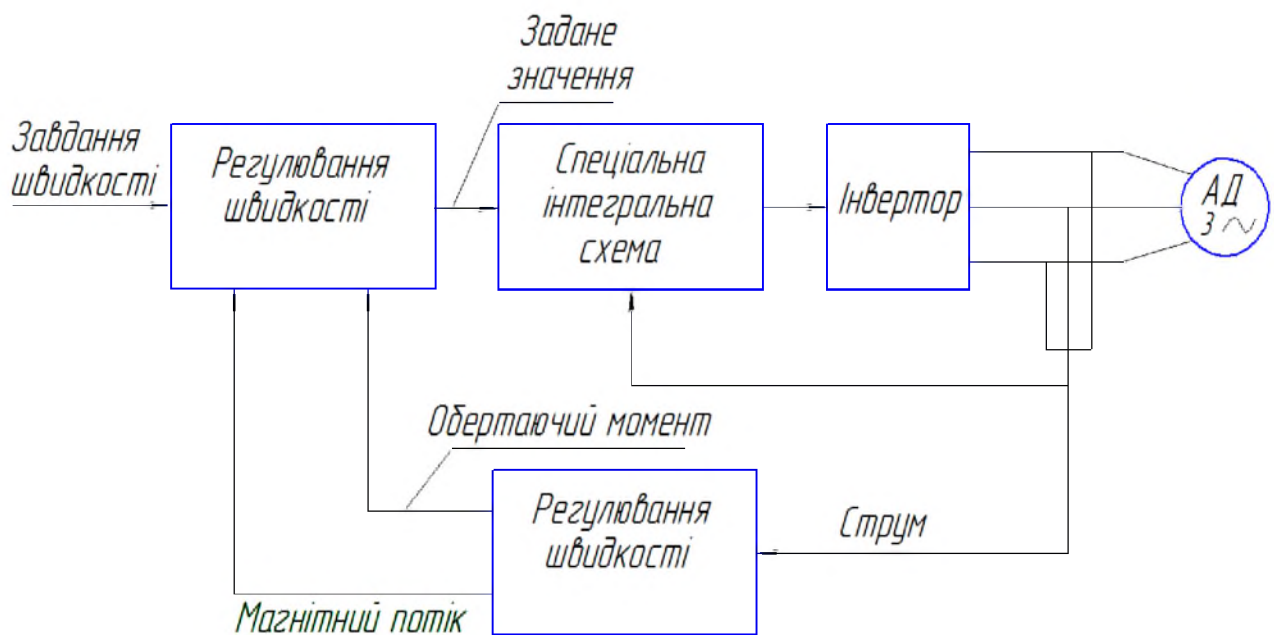


Рисунок 2.1.а Векторне керування у розімкнутій системі електричного приводу

Векторне керування потребує вимір параметрів та величини, а також просторового положення потокозчеплення вектора ротора чи статора безпосередньо завдяки відповідним датчиків чи опосередковано із використанням математичної моделі асинхронного електродвигуна [6].

Частотні перетворювачі, які використовуються та досліджуються в даному мостовому крані, на практиці мають вбудовану модель електродвигуна,

що робить десятки перерахунків за секунду показники параметрів електричного двигуна. Потрібні вхідні параметри для розрахунку являють собою миттєві значення напруги електродвигуна від спеціалізованої інтегральної схеми та значення струму двигуна від датчиків, тобто виміряне за зворотнім зв'язком. Магнітний потік електродвигуна та момент на валу, який обертається, розраховуються у схемі на основі паспортних параметрів, що вказані у заводській таблиці електродвигуна.

На програмований логічний контролер (ПЛК) потрапляють дані параметрів, що підлягають регулюванню, через шини даних.

Перший режим (режим «0») виконує регулювання частоти у розімкнутій системі (рис. 2.1.6). В цьому режимі регулювання за частотою, у розімкнутій системі  $f$  електродвигуна відповідає значенню сигналу  $f_{\text{зад}}$  (задана частота). В той же час  $f_{\text{фк}}$  (фактична частота) обертання вала двигуна залежить від величини навантаження. При цьому у режимі регулювання за частотою застосовується векторний перерахунок необхідний для підтримки намагнічування на заданому рівні [7].

У режимі «1», відбувається управління за струмом. В цьому режимі керування за струмом у розімкнутій системі значення струму електродвигуна відповідає значення заданому сигналу.

Керування електричним двигуном за струмом виконується при низьких частотах у мережі, наприклад меншим за 10–15 (Гц). Електродвигун управляється за значенням напруги, коли в системі спостерігаються вищі частоти. Під час управління за струмом при низьких частотах значення швидкість електродвигуна практично від навантаження не залежить.

На рис. 2.1.6 продемонстроване векторне керування, яке застосовується у розімкненій системі електропривода.

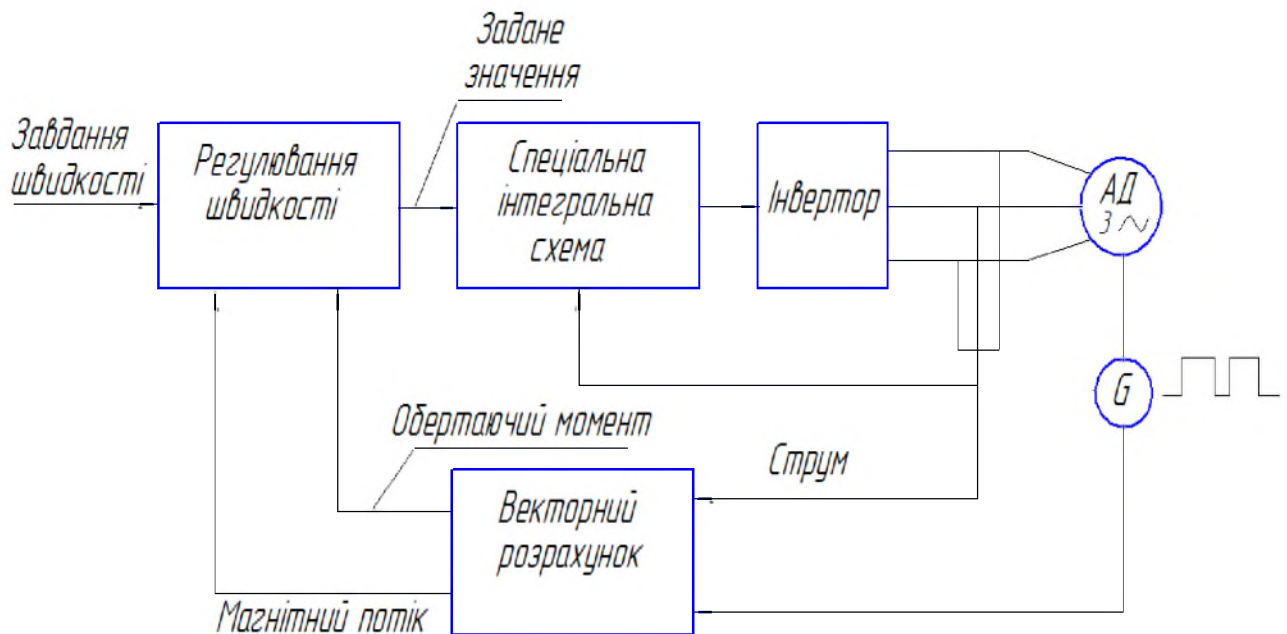


Рисунок 2.1.б – Векторне керування, яке застосовується у розімкненій системі електропривода

## 2.2 Виконання векторного управління електричного приводу у замкнутій системі.

Під час векторного управління у замкнутій системі, яка представлена на рис. 2.2. також застосовується розрахункова модель електродвигуна. Якщо виконати порівняння цієї схеми із схемою, яка застосовувалася для попереднього, векторного управління у розімкнутій системі, то вона є простішою. Дана схема полегшується, оскільки є додаткові входні дані та параметри та існує у системі сигнал від диференціального імпульсного датчика. Дане вимірювання застосовується як сигнал за зворотним зв'язком у розрахунковій моделі електричного двигуна [5].

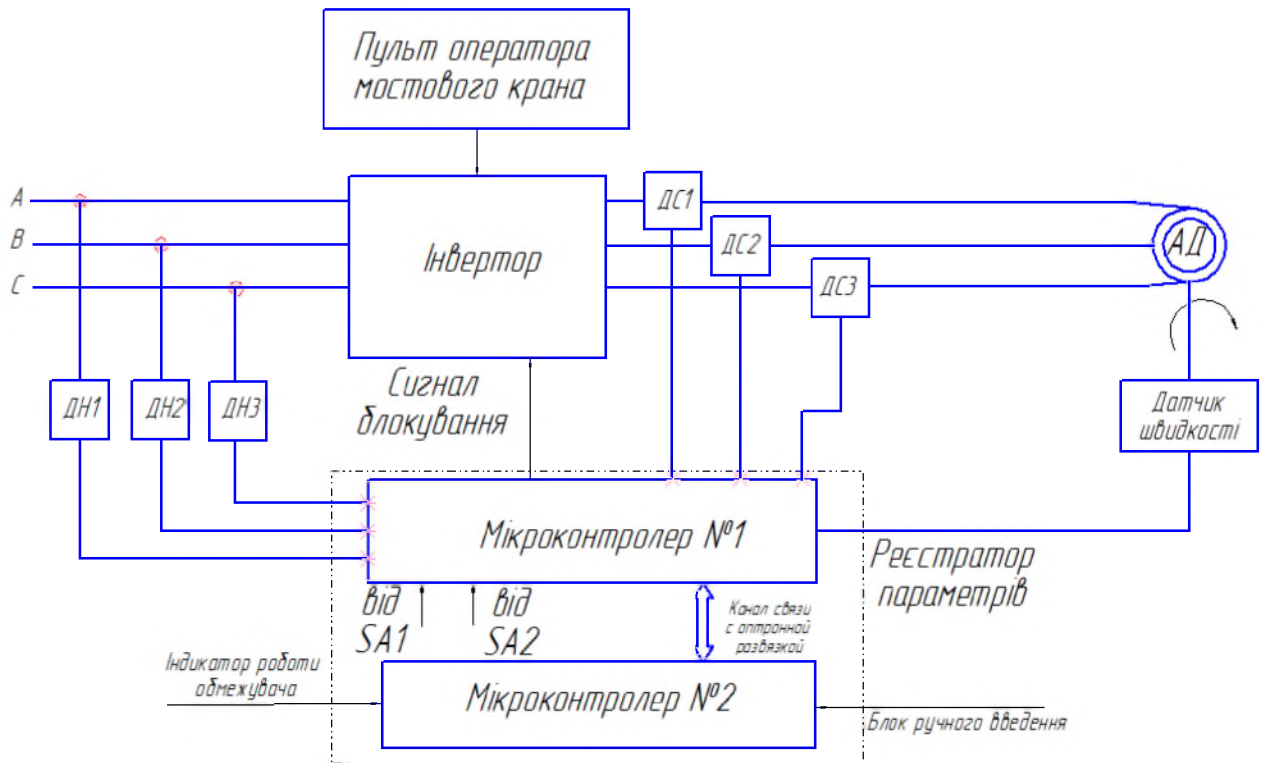


Рисунок 2.2 – Векторне керування, яке застосовується у замкнутій системі електропривода

Регулювання за швидкістю виконується у режимі «3». В цьому режимі регулювання за швидкістю у замкнутій системі значення кутової швидкості обертання валу електродвигуна відповідає заданому сигналу швидкості. Перетворювачі частоти керують значення частоти електродвигуна та завдяки цієї функції, компенсують ковзання, що залежить від навантаження. Компенсація параметру ковзання, яка утримує практичну швидкість обертання ротору, не є залежним від навантажувальних умов. Під час регулювання показника швидкості у замкнутій системі існує можливість досягати нульової швидкості при повному значенні обертаючого моменті. У досліджуваній системі застосовується інкрементний імпульсний датчик з метою забезпечення високого значення швидкодії та точності за швидкістю, також для забезпечення мінімальних швидкостей. Для контролю швидкості застосовується сигнал датчика імпульсів [4].

Виконання контролю за обертаючим моментом валу електродвигуна відбувається у режимі «4». Крутний момент на валу підтримується рівним до значення заданого сигналу при цьому режимі контролю. Від характеру та умов навантаження залежить в більшій мірі швидкість обертання валу електродвигуна, так до прикладу, двигун без навантаження (у холостому ході) буде працювати весь час із максимальним значенням швидкості. У межах регульованих діапазонів мінімальних та максимальних швидкостей обмежується цей параметр із метою захисту, в перше чергу від механічних проблем та аварій.

У ході аналізу тематики даної роботи, а саме умов роботи мостового крану, було відмічено, що двигун в електроприводі може працювати із перевантаженням за температурою, що в свою чергу, призводить до погіршення роботи самого ЕД. Тож із цього вирішено приділити увагу кліматичним особливостям роботи ЕД, аби унеможливити протікання аварійних процесів в системі.

Так на рисунку 2.3 представлена структурна схема використання моноблочного кондиціонера із метою охолодження шафи із електричним обладнанням.

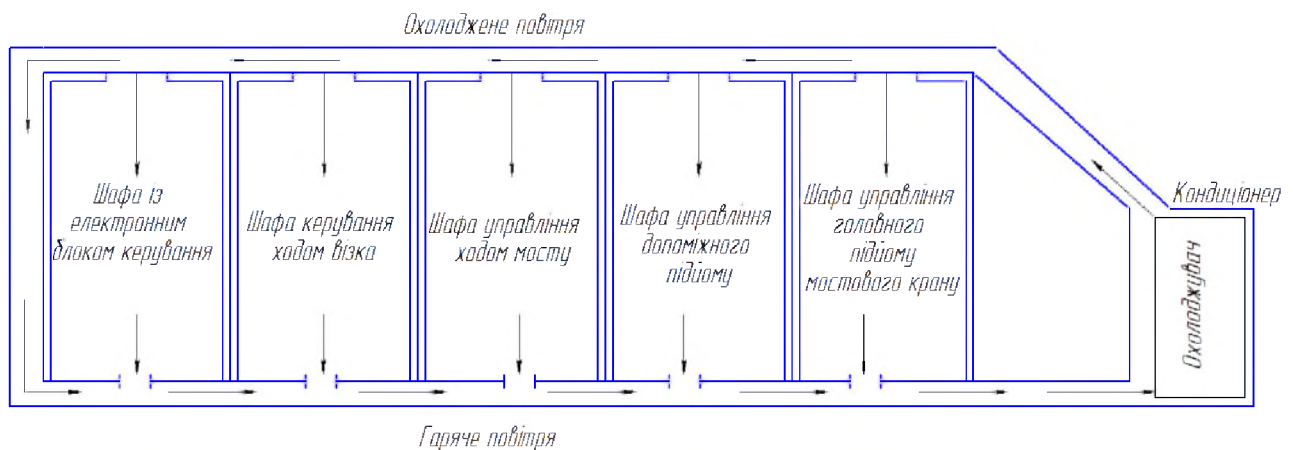


Рисунок 2.3– Схема використання моноблочного кондиціонера для охолодження шаф із електрикою

Застосування такої схеми обумовлено прагненням контролювати значенням температури робочої середовища у зоні встановлення електрообладнання мостового крану та має наступні етапи, які необхідно впровадити під час проектування самого пристрою:

- 1) встановити у кожний перетворювач частоти (ПЧ) датчик температури (ДТ);
- 2) встановити у шафі з обладнанням моноблочний кондиціонер із великою потужністю;
- 3) для здійснення живлення електроенергією ЕД власне кондиціонера необхідно встановити додатковий перетворювач частоти, який регулюватиме значення за кутовою швидкістю обертання електродвигуна та в залежності від даних, які надходять від датчика температури [5].

Також передбачається встановлення ДТ на кожен перетворювач частоти, встановлення на кожен шафу із електричним обладнанням вентиляторів із перетворювачами частоти.

У відповідності до першого пункту планування була побудована принципова електрична схема асинхронного двигуна із інвертором або перетворювачем (П1) та чотири датчики температури (ДТ1-4), які відслідковують кліматичні особливості роботи електродвигуна мостового крану. Ця схема представлена на рис. 2.4.

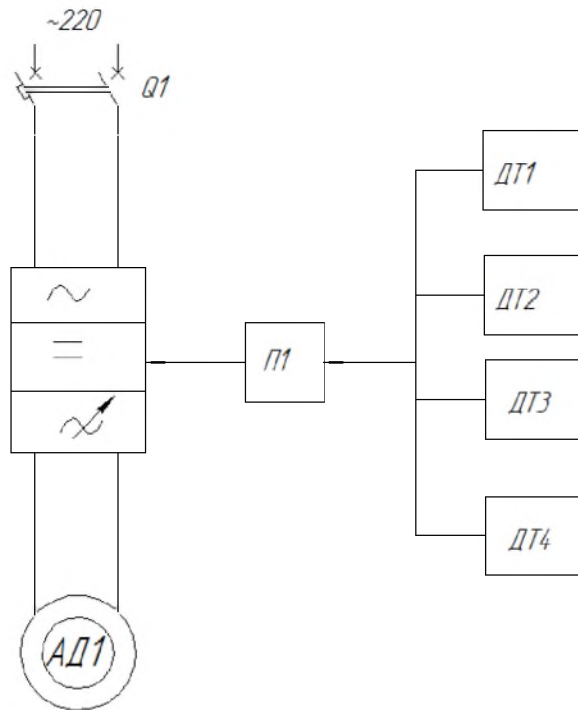


Рисунок 2.4 – Принципова електрична схема виконаного асинхронного електродвигуна із інвертором

У відповідності із другим етапом розглянутого впровадження у роботу схеми рис. 2.3, а саме встановлення потужного моноблочного кондиціонера, дахового типу, була побудована відповідна структурна схема, що наведена на рис. 2.5

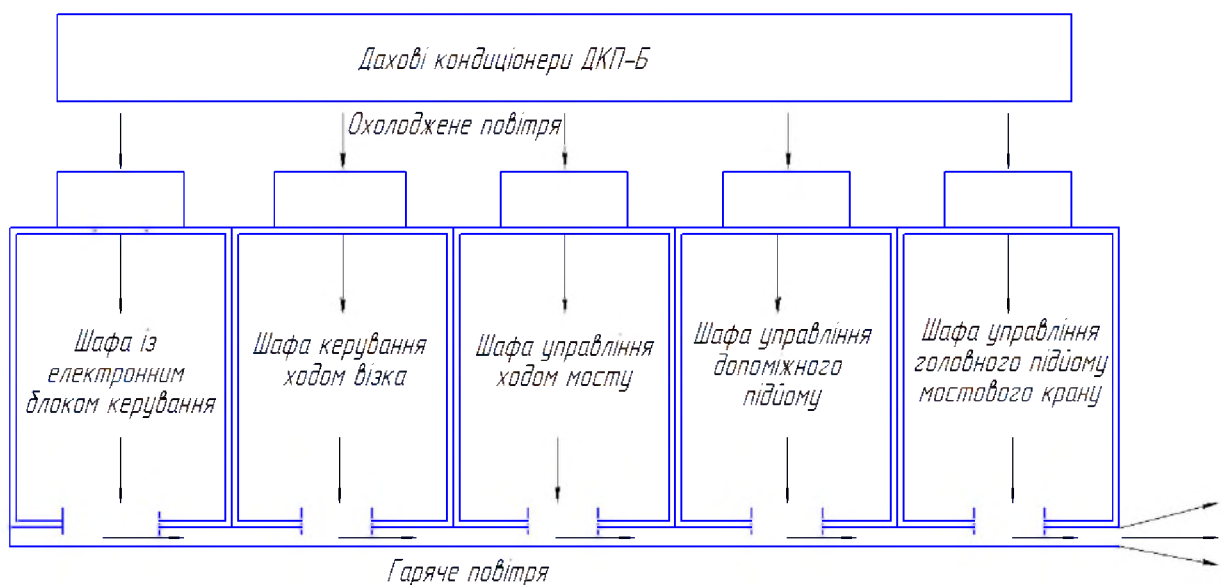


Рисунок 2.5– Структурна схема використання дахового кондиціонера для охолодження шаф із електрикою

А у відповідності до останнього пункту, який передбачає встановлення датчик температури на кожен перетворювач частоти та встановлення на кожную шафу обладнання із перетворювачами частоти була виконана принципова схема рис. 2.6 .

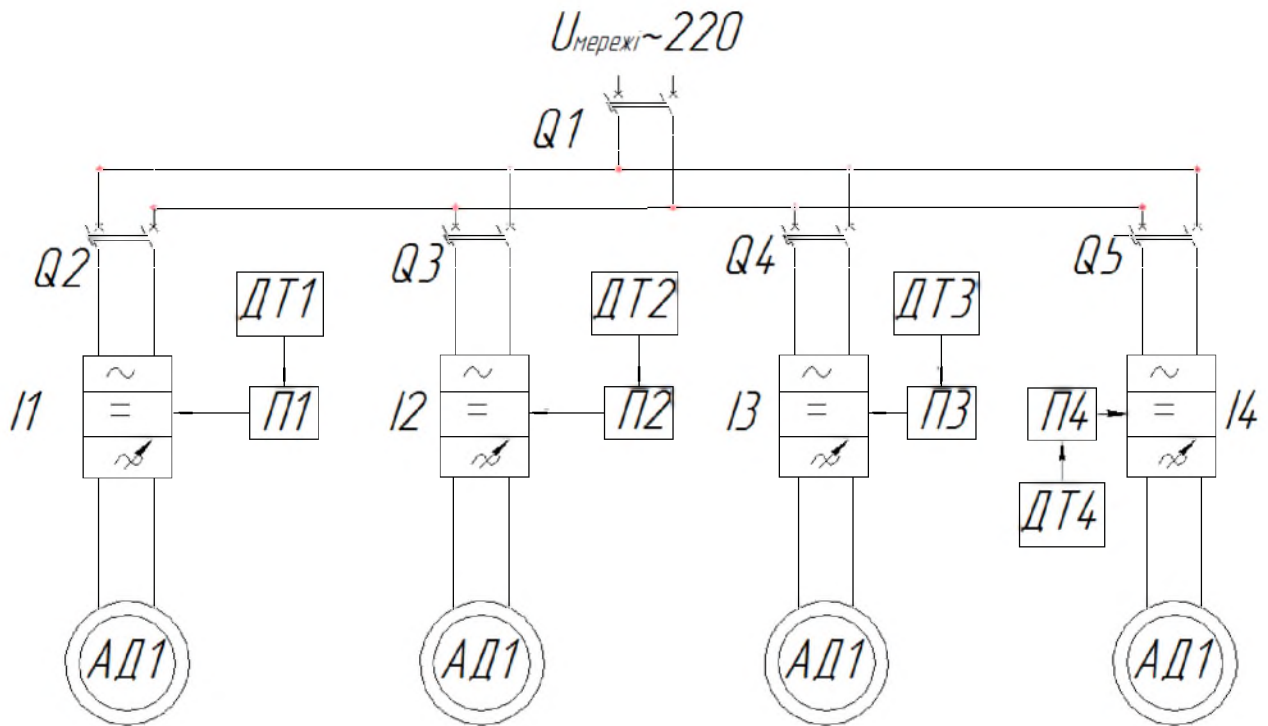


Рисунок 2.6 – Електрична схема асинхронних електродвигунів мостового крану із перетворювачами та датчиками температури

### 3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОСТОВОГО КРАНУ ТА ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ

#### 3.1 Розрахунок споживання електричної енергії.

Від нерухомої тролейної лінії до електричного двигуна передача електроенергії виконується шляхом встановлення зйомників струму на пересувних деталях механізмів.

У розглянутому підйомному крані застосовують перетворювачі частоти, які й виступають вони у ролі основних приймачів електричної енергії, тоді електродвигуни у кожній технологічній ланці будуть мати наступні параметри та відповідну назву:

- Процес пересування візка ЕП із  $P_{\text{ном}} = 8,5$  кВт.
- Механізм для виконання ходу мосту ЕП із  $P_{\text{ном}} = 75$ кВт.
- Забезпечення допоміжного підйому, ЕП із  $P_{\text{ном}} = 42$  кВт;
- Виконання головного підйому –  $P_{\text{ном}} = 110$ кВт;

Сам тип крану приймаємо КМЕ16, який зображено на рис.



Рисунок 3– Вигляд Мостового крану КМЕ16,

Отже, головні технічні параметри електричних приймачів приведено у табл. 3.1

Таблиця 3.1 - Технічні параметри електричних приймачів

| Назва                          | $P_{\text{ном}}, \text{кВт}$ | Кількість | $\sum P_{\text{ном}}, \text{кВт}$ | $\cos \varphi$ | $\text{tg} \varphi$ | $K_i$ |
|--------------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------------|----------------|---------------------|-------|
| КМЕ16 ГП-110                   | 110                          | 2         | 220                               | 0,513          | 1,75                | 0,221 |
| КМЕ16 ДМ-42                    | 42                           | 2         | 84                                |                |                     |       |
| КМЕ16 ХМ-75                    | 75                           | 2         | 150                               |                |                     |       |
| КМЕ16 ПВ-8,5                   | 8,5                          | 2         | 17                                |                |                     |       |
| Електричне освітлення          | 9.6                          | 1         | 9.6                               | 0.972          | 0.333               | 0.91  |
| Сталевоз (самохідна платформа) | 17                           | 2         | 34                                | 0.645          | 1.175               | 0.352 |
| Тельфер електричний            | 7,5                          | 2         | 15                                | 0,522          | 1,732               | 0.211 |
| Зварювальний трансформатор     | 1,5                          | 2         | 3                                 | 0,362          | 2,584               | 0,351 |

• Значення  $\cos \varphi$ ,  $\text{tg} \varphi$ ,  $k_i$  – визначаються виходячи із паспортних даних електричних апаратів

Після цього можна перейти до визначення потужності та вибору типу знижувального трансформатору на ділянці.

Спочатку необхідно розрахувати за (3.1) значення середньозваженого

коефіцієнту потужності під час фактичного навантаження:

$$\cos \varphi_{сер} = \frac{P_{см} \cdot \cos \varphi_{см} + P_{м.к} \cdot \cos \varphi_{м.к} + P_{св.т} \cdot \cos \varphi_{св.т} + \dots}{\sum P_{ном}} \quad (3.1)$$

$$\frac{\dots + P_t \cdot \cos \varphi_t + P_{осв} \cdot \cos \varphi_{осв}}{\sum P_{ном}}$$

Підставляючи значення табл. 3.1 у вираз (3.1) отримуємо (3.2).

$$\cos \varphi_{ср} = \frac{15 \cdot 0.645 + (220 + 84 + 150 + 17) \cdot 0.5\dots}{484.5} \quad (3.2)$$

$$\frac{\dots + 3 \cdot 0.362 + 15 \cdot 0.522 + 9.6 \cdot 0.972}{484.5} = 0.523$$

Далі потрібно знайти розрахункову потужність за допомогою методу коефіцієнту попиту електричної енергії:

$$S_{т.р} = \frac{\sum K_c \cdot P_{ном}}{\cos \varphi_{ср}} \quad (3.3)$$

Підставивши значення із (3.2) та табл. 3.1:

$$S_{т.р} = \frac{0.8 \cdot 484.5}{0.525} = 762(\kappa BA) \quad (3.4)$$

За розрахованою величиною обирається близьке більше, стандартне (із каталогу) значення за потужністю трансформатора, у відповідності із виконаним розрахунком (3.1-3,4) обираємо трансформатор типу ТМ –  $\frac{1000}{10}$ .

Проте ще під час попереднього конструювання було визначено електричної схеми, що більшість споживачів системи буде належити до приймачів першої категорії електрики, тому згідно із нормами живлення у тих електричних приймачів має відбуватися від декількох вводів, і тому доцільно буде використовувати два трансформатори, як за нормами, проте меншої потужності, а саме - 630кВА.

Тому у цеху варто розмістити 2 трансформатори ТМ  $\frac{630}{10}$  із наступними технічними характеристиками які приведені у табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Параметри трансформатора типу ТМ  $\frac{630}{10}$

| $S_{тр}, \text{кВА}$ | $U_1, \text{кВ}$ | $U_2, \text{кВ}$ | $U_{кз}, \%$ | $P_{кз}, \text{кВт}$ | $P_{хх}, \text{кВт}$ | $i_{хх}, \%$ |
|----------------------|------------------|------------------|--------------|----------------------|----------------------|--------------|
| 630                  | 10               | 0,4              | 5,5          | 7,6                  | 1,56                 | 2            |

Враховуючи з того, що значення  $\cos \varphi_{cp} = 0.525$  за відповідними тригонометричними таблицями Брадіса  $\operatorname{tg} \varphi_{cp} = 1.65$ .

Далі варто визначити розрахункове значення реактивної потужності за виразом (3.5)

$$Q_{роз} = \operatorname{tg} \varphi \cdot P_{ном} \quad (3.5)$$

Підставивши у (3.5) значення із табл. 3.1-3.2:

$$Q_{роз} = 1.65 \cdot 484.5 = 805(\text{кВАр}) \quad (3.5)$$

Розрахувати значення за реактивною потужністю, що можуть пропустити трансформатори при повному активному навантаженні (3.6):

$$Q_{1p} = \sqrt{(N_{mp} \cdot S_{нт} \cdot \beta)^2 - P_{роз}^2} \quad (3.6)$$

де  $\beta = 0.8$  розраховується у (3.6).

$$Q_{1p} = \sqrt{(2 \cdot 630 \cdot 0.8)^2 - 484.5^2} = 886 (\text{кВАр}) \quad (3.7)$$

Компенсуючи потужність варто визначити за (3.8).

$$Q_{роз} - Q_{1p} = Q_{ком} \quad (3.8)$$

Підставляючи значення отримуємо:

$$Q_{ком} = 802 - 886 = -84 (\text{кВАр}) \quad (3.9)$$

Виходячи із виконаного розрахунку, необхідно зробити наступний висновок: компенсуючі пристрої можливо у цеху не застосовувати.

3.2 Визначення струмів під час режиму короткого замикання в електричній мережі.

Початкові параметри для розрахунку наведені у табл. 3.3.

Таблиця – 3.3 Вхідні параметри розрахунку

| Вхідний параметр | Початкове значення |
|------------------|--------------------|
| $S_{е.м.}$       | 300 [МВА]          |
| $S_{Т1}$         | 65 [МВА]           |
| $u_{к.з1}$       | 10.5 [%]           |

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| $u_{к.32}$           | 5.5 [%]   |
| $U_{ПЛ}$             | 115 [кВ]  |
| $U_{КЛ}$             | 10.5 [кВ] |
| $L_{ПЛ}=12\text{км}$ | 15 [км]   |
| $L_{КЛ}=12\text{км}$ | 3 [км]    |

Після цього можна скласти розрахункову схему, рис. 3.1

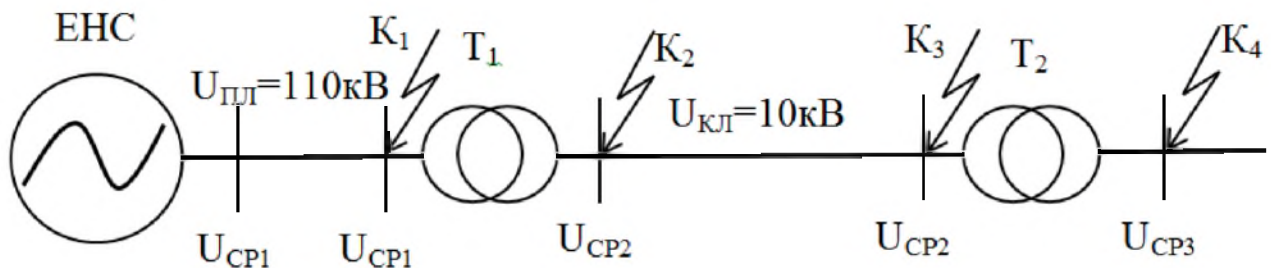


Рисунок 3.1 – Побудована схема для розрахунку

А у відповідності із розрахунковою схемою, надалі необхідно навести й складену схему заміщення.

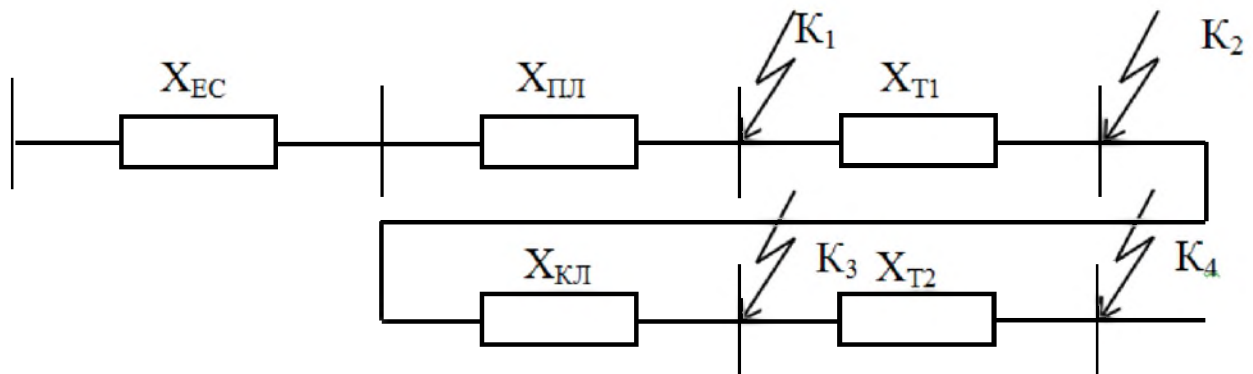


Рисунок 3.2 – Розроблена схема заміщення

Для виконання розрахунку попередньо необхідно задатися до базисних умов, як у (3.10)

$$S_{\phi} = 1000 \text{ (MVA)} \quad (3.10)$$

Після цього варто визначити опір енергетичної системи (3.11-3.12):

$$x_{e.c} = \frac{S_{\delta}}{S_{e.c}} \quad (3.11)$$

$$x_{e.c} = \frac{1000}{300} = 3.33(в.о.) \quad (3.12)$$

де  $S_{e.c}$  – потужність загальної енергосистеми.

$S_{\delta}$  – базисне значення потужності.

Далі розраховуємо значення опору повітряної лінії (ПЛ) за (3.13)

$$x_{ПЛ} = \frac{S_{\delta}}{U_{ПЛ}^2} \cdot x_0 \cdot l \quad (3.13)$$

де  $x_0 = 0.4$  – питомий опір лінії, паспортне значення з [3] (Ом/км).

$$x_{ПЛ} = \frac{1000}{115^2} \cdot 0,4 \cdot 12 = 0.365(в.о.) \quad (3.13)$$

Для визначення опору двухобмоткового трансформатору варто застосовувати (3.14)

$$x_{T1} = \frac{u_{к.з}(\%)}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{HT}}, \quad (3.14)$$

$$x_{T1} = \frac{1000}{65} \cdot \frac{10.5}{100} = 1.633(в.о.) \quad (3.15)$$

Звідси (3.14) розраховуємо й опір кабельної лінії за (3.16):

$$x_{KL} = \frac{S_{\delta}}{U_{KL}^2} \cdot x_0 \cdot l = \frac{1000}{10,5^2} \cdot 0,08 \cdot 2,5 = 1,84 (в.о.) \quad (3.16)$$

Слідуючи далі за схемою рис. 3.2 необхідно розрахувати опір двухобмоткового трансформатору підстанції цеху за (3.17)

$$x_{T2} = \frac{S_{\delta}}{S_{HT}} \cdot \frac{u_{кз}(\%)}{100} = \frac{1000}{0,63} \cdot \frac{5,5}{100} = 87,35 (в.о.) \quad (3.17)$$

Надалі, працюючи із схемою заміщення рис. 3.2 варто визначити для кожної точки к.з. еквівалентний опір.

Спершу визначимо еквівалентний опір енергосистеми та повітряної лінії за (3.18)

$$x_{екв1} = x_{EC} + x_{ЛЛ} = 3,33 + 0,365 = 3,695 (в.о.) \quad (3.18)$$

Далі до (3.18) необхідно додати опір зовнішнього трансформатора.

$$x_{екв2} = x_{екв1} + x_{T1} = 3,695 + 1,641 = 5,336 (в.о.) \quad (3.19)$$

Тепер до (3.19) необхідно додати опір кабельної лінії:

$$x_{екв3} = x_{екв2} + x_{KL} = 5,336 + 1,82 = 7,156 (в.о.) \quad (3.20)$$

І у кінці розрахунку еквівалентного опору потрібно врахувати у (3.20) опір трансформатору цеха.

$$x_{екв4} = x_{екв3} + x_{T2} = 7.156 + 87.5 = 94.66 \text{ (в.о.)} \quad (3.21)$$

Визначенню базисних струмів у кожній точці присвячені (3.22-3.24).

Так для визначення базисного струму у точці К1 справедливим буде вираз (3.22).

$$I_{B1} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{ПЛ}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5.05 \text{ (кА)} \quad (3.22)$$

Для розрахунку базисного струму у точці К2 та К3 використовується однаковий вираз (3.23), адже струм у цих точках у відповідності до рис. 3.1 однаковий.

$$I_{B2} = I_{B3} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{КЛ}} = \frac{1000}{10.5 \cdot \sqrt{3}} = 56 \text{ (кА)} \quad (3.23)$$

Для точки К4 вираз аналогічний до (3.23), проте змінюється значення напруги на 0.4 кВ.

$$I_{B4} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{КЛ}} = \frac{1000}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 1445 \text{ (кА)} \quad (3.24)$$

Після отримання базисних струмів можна визначити й трифазні струми к.з. у відповідних точках за (3.25-3.28).

Для точки К1:

$$I_{к.з.1}^{(3)} = \frac{I_{\delta 1}}{x_{екв1}} = \frac{5.05}{3.695} = 1.385 \text{ кА;} \quad (3.25)$$

Для точки К2:

$$I_{к.з.2}^{(3)} = \frac{I_{\bar{6}2}}{x_{екв2}} = \frac{56}{5.336} = 10.62 \text{ кА} \quad (3.26)$$

Для точки К3:

$$I_{к.з.3}^{(3)} = \frac{I_{\bar{6}3}}{x_{екв3}} = \frac{1445}{7.156} = 7.82 \text{ кА} \quad (3.27)$$

Для точки К4:

$$I_{к.з.4}^{(3)} = \frac{I_{\bar{6}4}}{x_{екв4}} = \frac{1445}{94.66} = 15.27 \text{ кА} \quad (3.28)$$

Тепер за аналогію до струму трифазного к.з. варто визначити й струми двофазного к.з. за (3.29-3.32).

Для точки К1:

$$I_{к.з.1}^{(2)} = \frac{I_{к.з.1}^{(3)}}{\sqrt{3}} = \frac{1.385}{\sqrt{3}} \approx 0.8 \text{ кА} \quad (3.29)$$

Для точки К2:

$$I_{к.з.2}^{(2)} = \frac{I_{к.з.2}^{(3)}}{\sqrt{3}} = \frac{10.62}{\sqrt{3}} \approx 6.1 \text{ кА}; \quad (3.30)$$

Для точки К3:

$$I_{к.з.3}^{(2)} = \frac{I_{к.з.3}^{(3)}}{\sqrt{3}} = \frac{7.82}{\sqrt{3}} \approx 4.5 \text{ кА}; \quad (3.31)$$

Для точки К4:

$$I_{к.з.4}^{(2)} = \frac{I_{к.з.4}^{(3)}}{\sqrt{3}} = \frac{15.27}{\sqrt{3}} \approx 8.9 \text{ кА}; \quad (3.32)$$

І останнім пунктом розрахунку режиму к.з. є визначення струмів однофазного к. з. за (3.33-3.36).

Для точки К1:

$$I_{к.з.1}^{(1)} = \frac{I_{к.з.1}^{(2)}}{\sqrt{3}} = \frac{I_{к.з.1}^{(3)}}{3} = \frac{0.8}{\sqrt{3}} = 0.459 \text{ кА} \quad (3.33)$$

Для точки К2:

$$I_{к.з.2}^{(1)} = \frac{I_{к.з.2}^{(2)}}{\sqrt{3}} = \frac{I_{к.з.2}^{(3)}}{3} = \frac{6.1}{\sqrt{3}} = 3.48 \text{ кА} \quad (3.34)$$

Для точки К3:

$$I_{к.з.3}^{(1)} = \frac{I_{к.з.3}^{(2)}}{\sqrt{3}} = \frac{I_{к.з.3}^{(3)}}{3} = \frac{4.5}{\sqrt{3}} = 2.58 \text{ кА} \quad (3.35)$$

Для точки К4:

$$I_{к.з.4}^{(1)} = \frac{I_{к.з.4}^{(2)}}{\sqrt{3}} = \frac{I_{к.з.4}^{(3)}}{3} = \frac{8.9}{\sqrt{3}} = 5.15 \text{ кА} \quad (3.36)$$

### 3.3 Розрахунок тролів та кабельної лінії.

Перетин кабелів, проводів й шин обирається із урахуванням наступних вимог:

- Кабелі, дроти та шини не повинні перегріватися понад допустиме значення температури під протікання ними розрахункового струму за навантаженням [7].

- Кабелі, дроти й шини обов'язково повинні мати достатнє значення механічної міцності для поточного виду електромережі.

- Відхилення за напругою затискачів електричних приймачів не можуть перевищувати «-2.5»–«2.5» % для навантаження освітлення і для силової «-5»–«5» % [3].

- Апарати виконання для захисту повинні виконувати захист всіх ділянок електричної мережі в режимі коротких замикань.

Кабельна мережа складається:

- із високовольтного магістрального кабелю напругою 10 (кВ) поміж трансформатор Т1 й цеховим трансформатором

- низьковольтного кабелю, яка подає живлення до тролей.

Тому варто приділити увагу питанню розгляду й обранню високовольтного кабелю.

Необхідно нагадати, що обрання високовольтного кабелю відбувається за термічною стійкістю та номінальним струмом [4].

Розпочнемо із визначення за номінальним струмом (3.37).

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{U_{ном}} = \frac{630}{10 \cdot \sqrt{3}} = 36,42 \text{ (A)} \quad (3.37)$$

За (3.38) розраховуємо переріз кабелю:

$$\frac{I_{ном}}{j} = s \quad (3.38)$$

де  $j$  – показник економічної густини струму,  $[A/mm^2]$ .

$$s = \frac{36.42}{1.2} = 30.35 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (3.39)$$

За даними каталогу [7] приймаємо кабель із ізоляцією та номінальним струмом (150 А).

Обраний кабель перевіряємо за (3.40) на термічну стійкість:

$$s_{m.c} = \frac{10^3 \cdot \sqrt{t_{откл}} \cdot I_{к.з}^{(3)}}{C_T} \quad (3.40)$$

де  $C_T$  – коефіцієнт, який знаходиться у прямій залежності від допустимої температури.

$$s_{m.c} = \frac{10^3 \cdot \sqrt{0.12} \cdot 7.72}{85} = 31.65 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (3.41)$$

Через те, що  $31,65 < 35$ , тоді обраний кабель за умовами термічної стійкості повністю відповідає.

Вибір перерізу кабелю за вищою напругою за допустимими втратами напруги виконують за умови виконання нормованих рівнів за напругою на затискачах найбільш потужного й віддаленого електричного приймача ділянки за (3.42) [9].

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot \cos \phi_{cp} \cdot L \cdot I_p}{\Delta U_d \cdot \gamma}, \quad (3.42)$$

де:  $I_p$  – розрахунковий струм приймачів струму [А].

$\gamma$  – значення питомої провідності міді,  $\frac{М}{Ом \cdot мм^2}$  приймається вираз

$\gamma = 50 \frac{М}{Ом \cdot мм^2}$ , яке відповідає параметру температурі кабельних жил приблизно 65 (°C).

$\cos(\phi_{cp})$  – коефіцієнт середньозваженої потужності електричних приймачів підстанції.

$L$  – довжина кабельної лінії високої напруги [м].

$\Delta U_d$  – допустима потеря напряжения в высоковольтном кабеле, 150 [В].

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot 2500 \cdot 36,3 \cdot 0,515}{150 \cdot 50} = 11,95 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (3.43)$$

Виходячи із виконаного розрахунку можна дослідити, що кабельний провід, який було попередньо обраний за економічною густиною струму та термічною стійкістю, виконаний перевірці задовольняє за втратами напруги.

### 3.4 Обрання електроапаратів низької напруги.

Вибір електричного апарату здійснюється за його функціональним призначенням, родом струму і напруги та величиною потужності.

У якості ввідного апарату й апаратів усієї ліній, що відходять приймаємо автоматичні вимикачі, що забезпечують функції комутації силових ланцюгів та захисту електричного приймача, та захисту мереж від перевантаження й короткого замикання. Для ввімкнення, відключення ремонтних секцій

необхідно прийняти рубильники типу РБН-350. Вставки розчіплювачів струмів розраховують за наступним співвідношенням:

– для одиночних силових струмових розчіплювачів:

а) уставка струму розчіплювачів  $I_{роз} \geq 1.25 \cdot I_{ном}$

б) струм уставки електродинамічного розчіплювача  $I_{ед} \geq 1.22 \cdot (I_{max} + I_{пуск})$  для електричних приймачів силового типу, групових.

Згідно із [7, 10] автомати серії «ВА» мають достатній для даних умов значення коефіцієнту чутливості.

Тож для системи із розподіленою електричною енергією у цеху можна встановити розподільну шафу (ШК 85) із вимикачем вступу ВС-51-40 (із ручним керуванням).

3.5 Обрання високовольтного устаткування та виконання захисних уставок.

Комплексні розподільчі пристрої обирають із урахуванням номінального значення струму напруги, номінальною напругою усіх споживачів й перевіряють на граничний струм відключення. Після виконання аналізу був зроблений висновок, що поставлені вимоги задовольняє осередок типу КСВ 365, із параметри які приведені в таблиці 3.4.

Виходячи із параметрів представлених у табл. 3.4 залишилось визначити деякі додаткові номінальні значення захисту устаткування.

Таблиця 3.4 – Параметри осередку КСВ-365

| Номинальний<br>струм<br>вимикача<br>навантаження,<br>А | Номинальний<br>струм камер із<br>запобіжником,<br>А | Струм<br>термічної<br>стійкості,<br>кА | Час<br>протікання<br>струму<br>термічної<br>стійкості, с | Струм<br>електродинамічної<br>стійкості, кА |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 500                                                    | 30-125                                              | 12                                     | 5.5                                                      | 42.5                                        |

Так визначити значення струму спрацьовування для МТЗ (максимального струмового захисту), можна завдяки виразу (3.44):

$$I_{cp} = \frac{I_{p.m.} \cdot k_0}{k_{TT} \cdot k_{пв}}, \quad (3.44)$$

де: –  $k_0$  – коефіцієнт відстроювання, який стає рівним для максимального струмового захисту  $1.03 \div 1.25$ , а для струмової відсічки (СВ)  $1.1 \div 1.45$ ;

–  $k_{пв}=0.82$  – коефіцієнт повернення реле, який визначається за паспортним даними;

–  $k_{TT}=18$  – коефіцієнт струму трансформації трансформаторів.

Підставивши визначені параметри у (3.44) отримуємо (3.45).

$$I_{cp} = \frac{44 \cdot 1.25}{18 \cdot 0.82} = 4.55(A) \quad (3.45)$$

Далі знайдемо й величину СВ:

$$I_{CB} = \frac{I_{к3}^{(3)} \cdot k_0}{k_{TT}} \quad (3.46)$$

$$I_{omc} = \frac{7.74 \cdot 1.5}{18} = 0,645(\kappa A) \quad (3.47)$$

У кінці обрання пристрої релейного захисту відбувається перевірка за коефіцієнтом чутливості, що виконується виходячи із урахуванням умови (3.48-3.49).

$$\frac{I_{\kappa 4}^{(2)}}{I_{cp}} \geq 1.5 \quad (3.48)$$

$$\frac{I_{\kappa 4}^{(2)}}{I_{cp}} = \frac{8250}{645} = 12.79. \quad (3.49)$$

Тож виконавши перевірку  $12.79 > 1.5$ , визначаємо, що коефіцієнт чутливості знаходиться у межах норми.

### 3.6 Розрахунок електрообладнання візка

Переріз електрообладнання візка або тролів обирають за номінально допустимим значенням струму із перевіркою власне дроту на витрату напруги. Обирають провід по всій довжині переміщення механізму. Тролейна (візкова) електромережа характеризується короткочасним, повторним режимом роботи і тому обирати обладнання візка на допустиме нагрівання необхідно за значенням еквівалентної сили струму чи, як її ще називають, розрахункова сила тривалого струму  $I_{роз}$ .

Тоді розрахунковий струм визначається за :

$$I_{роз} = k_c \cdot P_{ном} + k_1 \cdot P_3 \quad (3.50)$$

де: –  $P_3$  – сума номінальних потужностей основних потужних струмоприймачів, [кВт];

–  $k_1=0.25$  – коефіцієнт попиту основних потужних струмоприймачів;

–  $P_{\text{НОМ}}$  – значення суму номінальних потужностей решти електричних двигунів, [кВт];

За значенням сили струму  $I_{\text{роз}}$  обирають переріз тролів при виконанні умови (3.51)

$$I_{\text{роз}} < I_{\text{д}} \quad (3.51)$$

де: –  $I_{\text{д}}$  – значення сили струму за допустимим нагріванням.

Тоді при підстановці відповідних значень у (3.50), вираз набуде вигляду:

$$I_p = 0.2 \cdot 206 + 0.25 \cdot 211 = 93.95 \text{ (A)} \quad (3.52)$$

Приймаємо для встановлення у лінії тролей провід із сталі для спеціальних кранових установок із наступними розмірами профілю розміром –  $55 \times 55 \times 6 \text{ мм}^2$ , значення питомого опору  $r_0=0.355 \text{ (Ом/км)}$ .

Після основного розрахунку можна виконати перевірку за втратами напруги. Втрата за значенням напруги на один метр довжини проводу тролей залежить від значення максимального пускового струму ( $I_{\text{мах.пуск}}$ ). для різноманітних профілів сталі, це значення можливо визначити із довідника [8].

В розглянутому випадку  $\Delta U=0.215 \text{ (В/м)}$ .

Тоді фактична втрата напруги у троліях:

$$\Delta U_{\phi} = l \cdot \Delta U \quad (3.53)$$

де: –  $l$  – довжина проводів у троліях.

$$\Delta U_{\phi} = 72.5 \cdot 0,21 = 15.225 \text{ (В)} \quad (3.54)$$

Тоді відносне значення втрати напруги у трелеях буде визначатися за виразом (3.55).

$$\Delta U_{\phi}(\%) = \frac{\Delta U_{\phi} \cdot 100\%}{U_{ном}} \quad (3.55)$$

$$\Delta U_{\phi}(\%) = \frac{15.225 \cdot 100\%}{380} \approx 4.0\%$$

Припустима втрата напруги не має перевищувати 3–5(%), тож попередньо прийнята за струмом трелейна електрична лінія для підходить для досліджуваного кранової установки.

#### 4. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ МОСТОВОГО КРАНУ.

4.1 Розробка системи керування режимами та збору параметрів мостового крану.

У відповідності до розглянутих у другому розділі роботи електропривода та встановлені у кожній ланці датчика температура була виконана структурна схема роботи підпрограми для виконання керування самим електроприводом. Завдяки бінарним сигналам на початок та кінець руху – E 0.0. та E 0.1 та сигналам на дозвіл руху (E 0.6) та гальмування (E 0.7) є можливість керувати рухом електричного привода, а завдяки сигнали від датчика температури(E 0.2) є можливість обмежувати роботи електричного привода у випадку виходу за робочий діапазон температур.

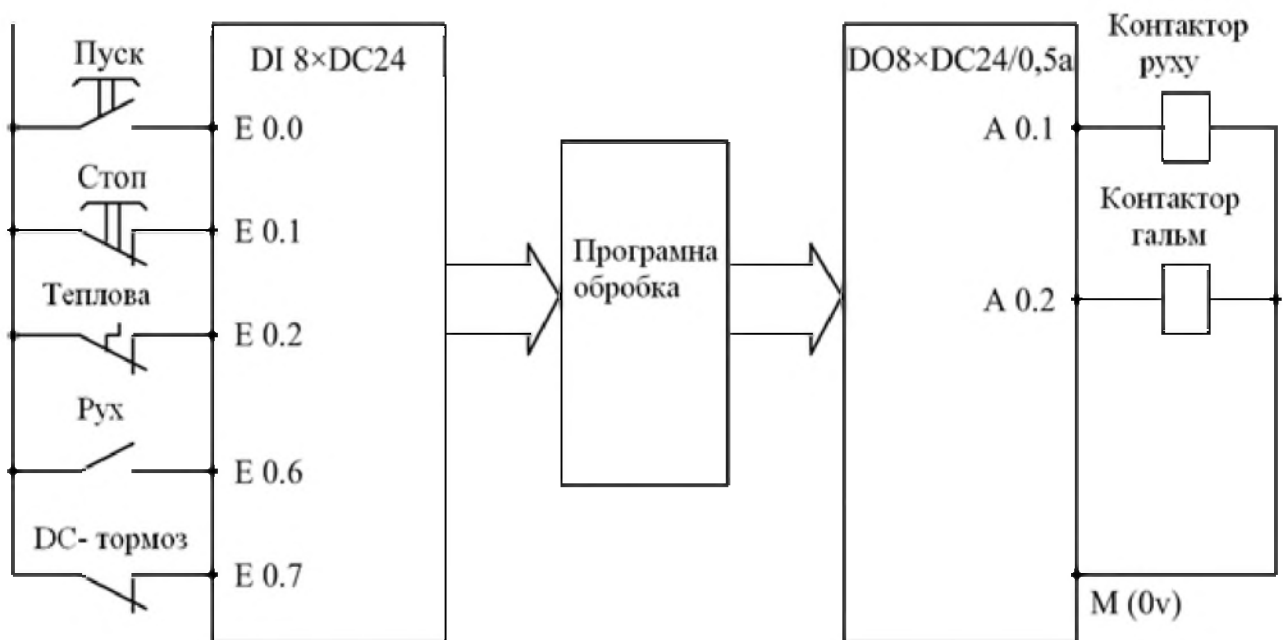


Рисунок 4.1 – Структурна схема програми керування рухом та динамічним гальмуванням (DC) асинхронного двигуна. Являє собою мову програмування

LAD

Після створення структурної схеми була спроектована й програма управління (рис. 4.2) рухом й динамічним гальмуванням (DC) асинхронного електричного двигуна, яка була створена в середовищі Step7 та написана мовою програмування FBD.

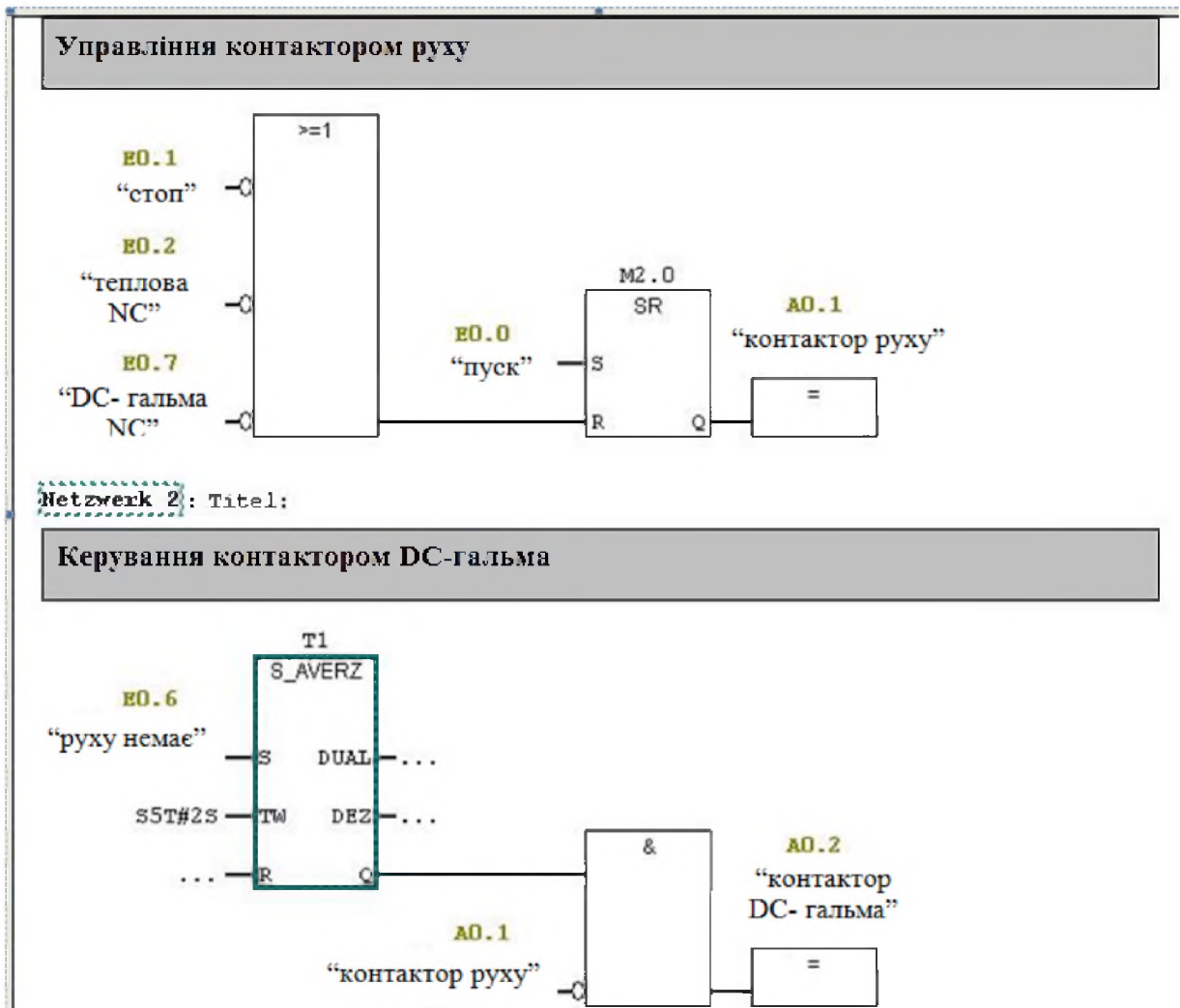


Рисунок 4.2 – Програма управління рухом та динамічним гальмуванням (DC) асинхронного електричного двигуна. Написана мовою програмування FBD (FUP)

В розділі 2 та 3 були показані різні електричні та структурні схеми приводів мостового крану, на рис 4.3 представлена повна структурна схема роботи досліджуваної машини.

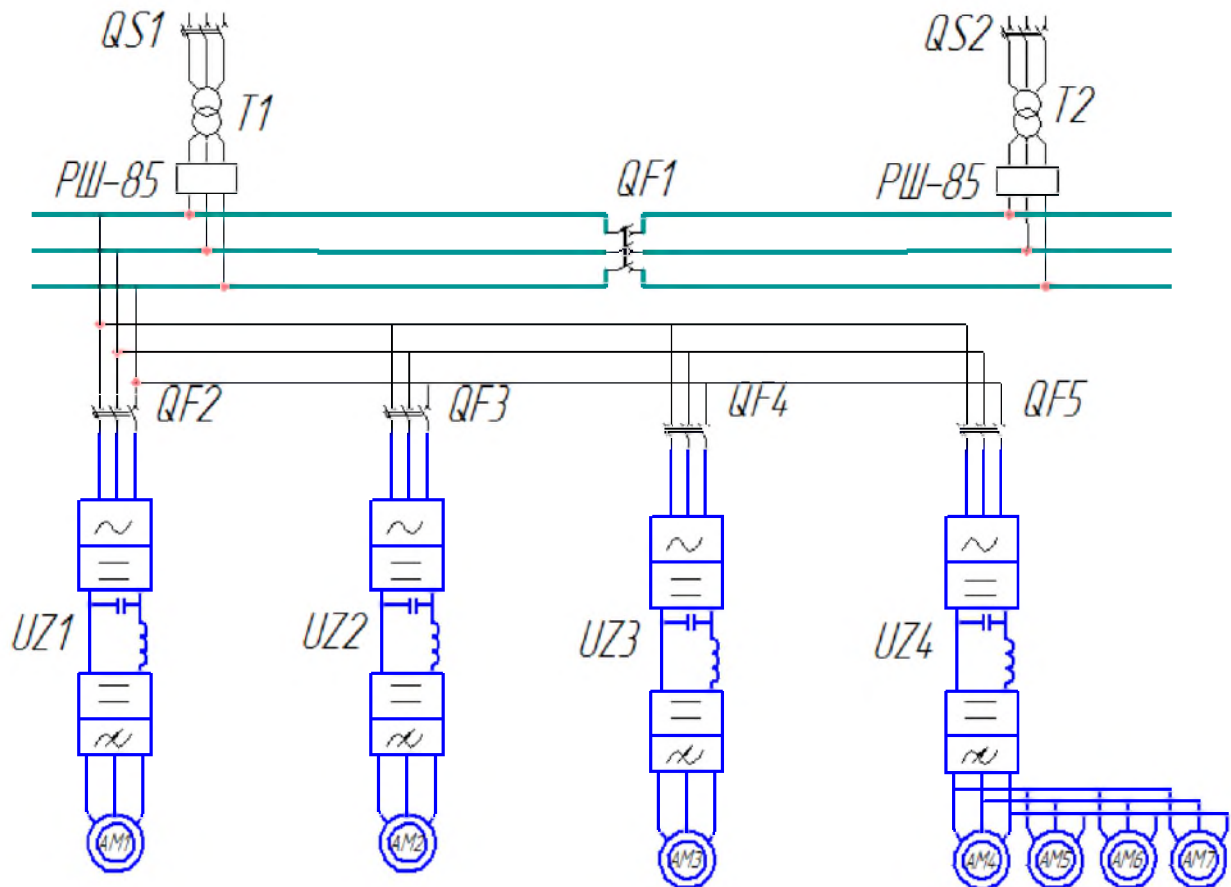


Рисунок 4.3 – Структурна схема роботи досліджуваного електричного приводу мостового крану

#### 4.2 Створення математичної моделі.

Для виконання моделювання роботи електроприводу мостового крану була створена математична модель у додатку Matlab. Через те, що кран має декілька однотипних приводів було вирішено дослідити роботу ЕП, який відповідає за рух крану.

На рис. 4.4 показана математична модель досліджуваного електричного приводу із векторним керуванням. Варто додати, що принцип роботи інших електроприводів у системі буде схожа із досліджуваним, відрізняться буде тільки за параметрами та завданнями вхідними.

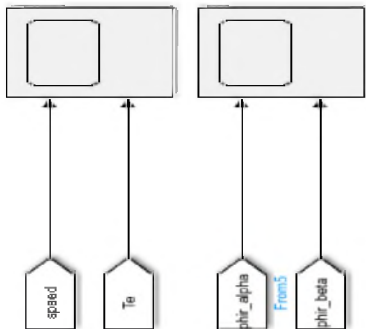


Рисунок 4.4 – Модель досліджуваного електричного привода

Промодельовавши роботи електричного приводу (рис. 4.4) були отримані характеристики перехідного процесу. До речі, розроблена модель дозволяє досліджувати роботи ЕП у декількох режимах:

- режим без навантаження, режим холостого ходу;
- режим із навантаженням, номінальний режим;
- можливі аварійні режими, наприклад коротке замикання.

Під час розгляду режимів роботи найбільшу увагу було приділено номінальному режиму із накидом навантаження. Загальна осцилограма залежностей вихідного струму у трьох фазах, швидкості двигуна та моменту наведена на рис.4.5.

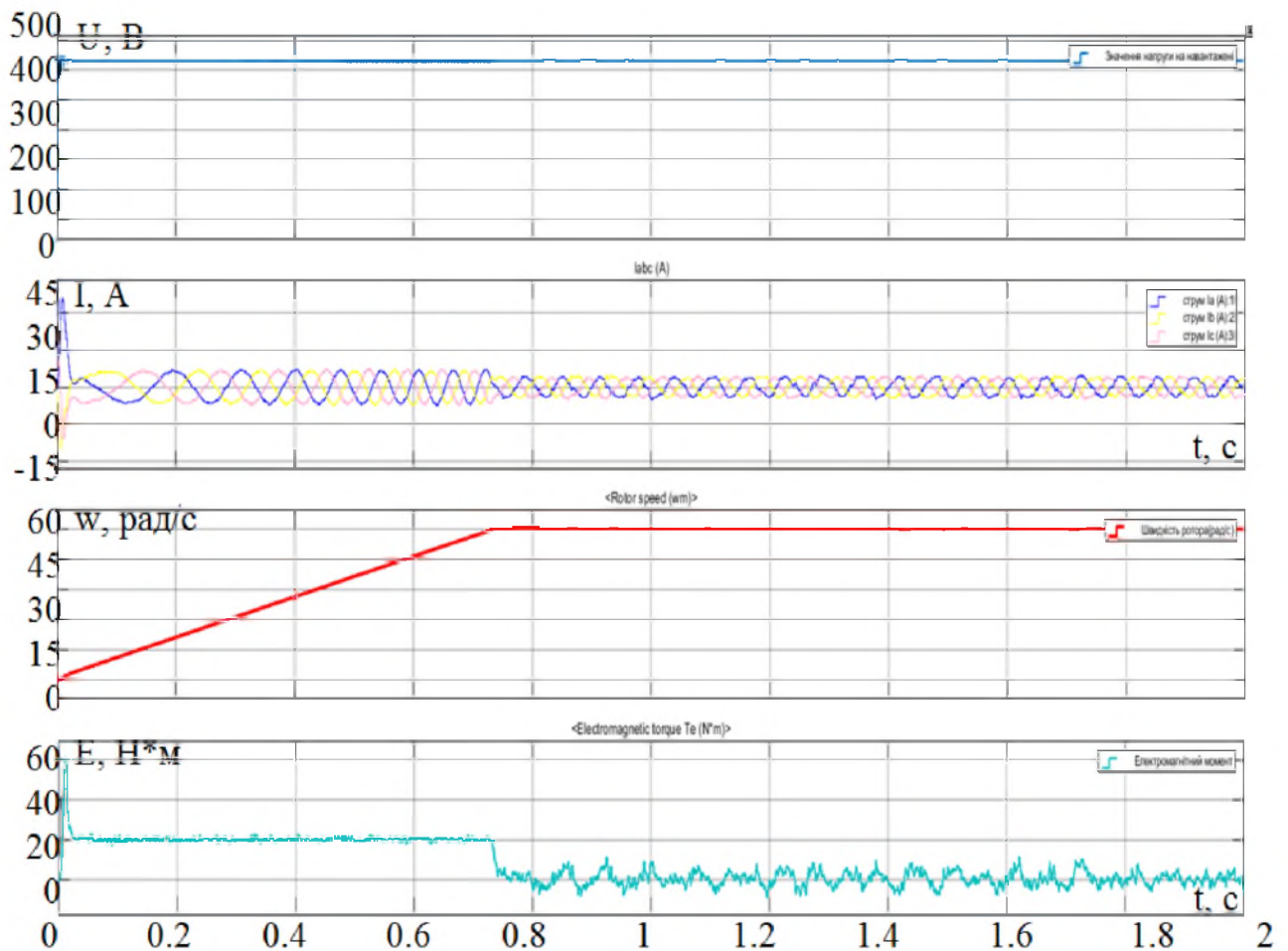


Рисунок 4.5 – Осцилограма залежностей  $U(t)$ ,  $I(A)$ ,  $w(\text{рад/с})$ ,  $E(\text{Н*м})$

Окремо було порівняно роботу інвертора та контролеру напруги. Так на рис. 4.6 була наведено осцилограму вхідного значення напруги на інверторі.

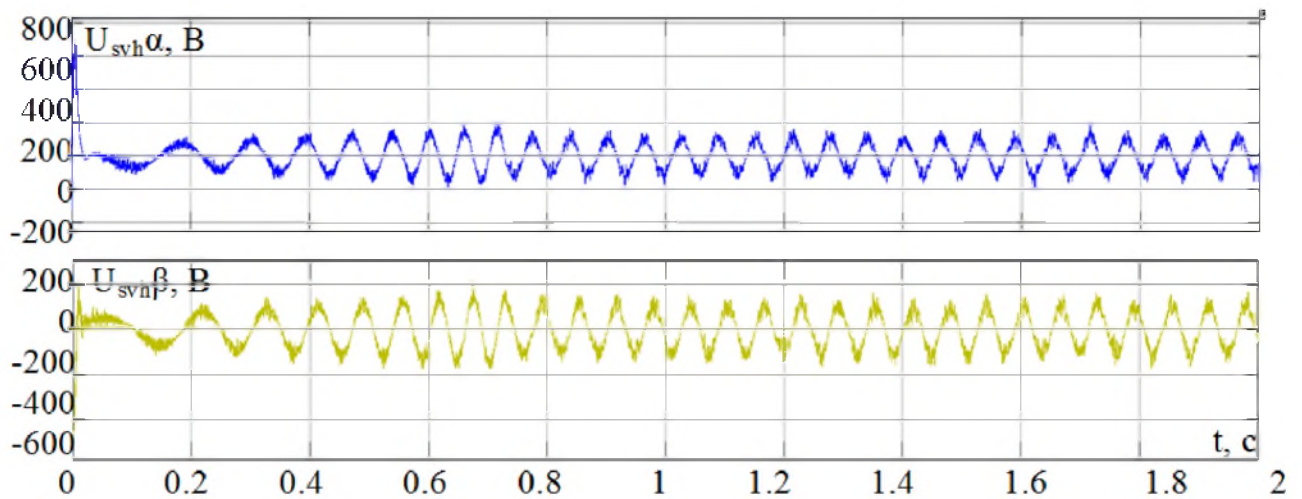


Рисунок 4.6 – Вхідне значення напруги на інвертор

А вже на рис. 4.7 представлено осцилограму вихідного значення напруги електропривода із векторним керуванням. Якщо порівнювати дві осцилограми поміж собою, то можна помітити і те як інвертор працює у якості трансформатора і те, найбільш важливе його призначення – при нестабільній роботі на вході (за рахунок вищих напруг), дозволяє отримувати більш стабільні сигнали на виході.

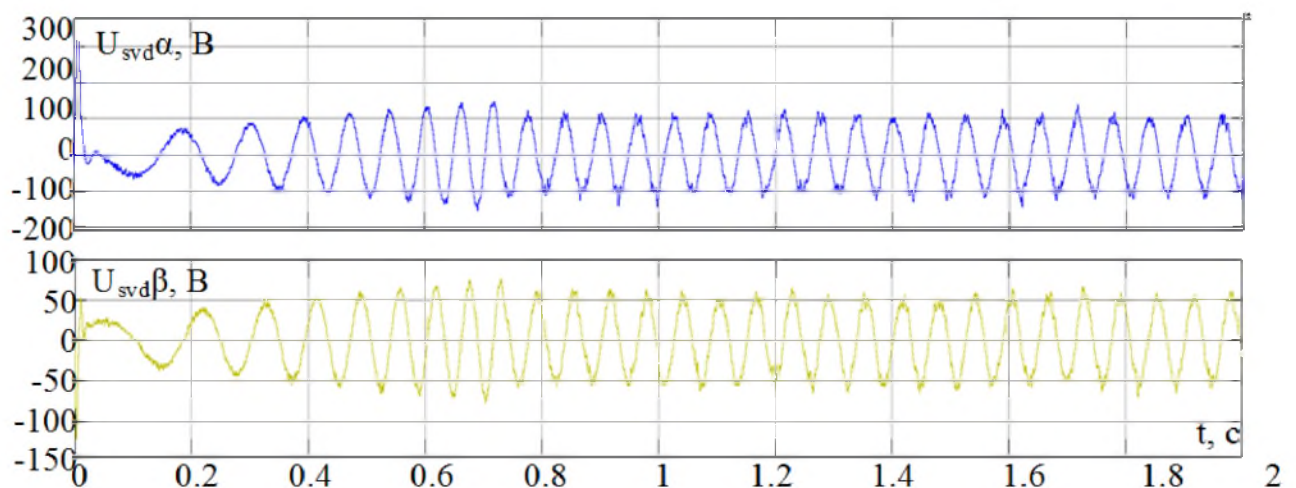


Рисунок 4.7 – Вихідне значення напруги електропривода із векторним керуванням

Керування за потоком ротора по координатах  $d$  та  $q$  зображено на рис. 4.8.

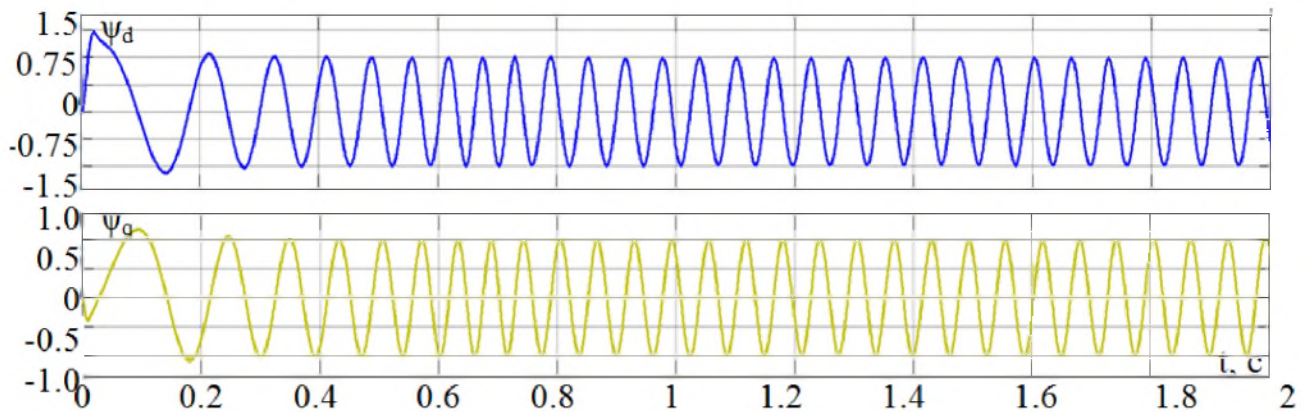


Рисунок 4.8 – Осцилограма керування за потоком по координатах  $d$  та  $q$

На рис. 4.9 наведено осцилограми струму за координатами  $\alpha$  та  $\beta$ .

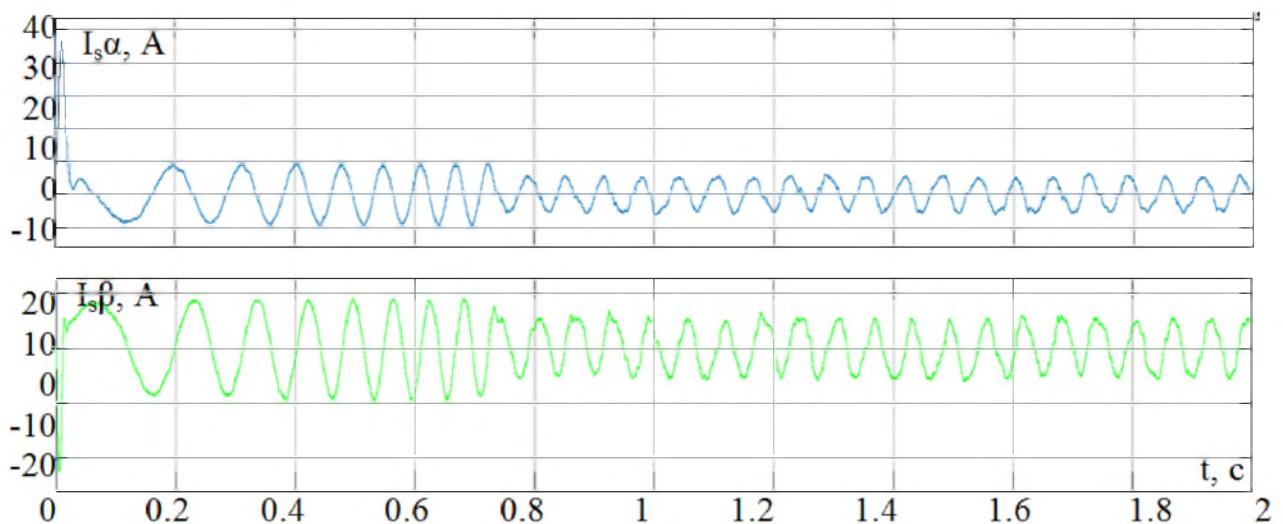


Рисунок 4.9 – Осцилограма струму за координатами  $\alpha$  та  $\beta$ .

На рис. 4.10 наведена швидкісна характеристика електричного приводу. І саме за нею видно, що під час накиду навантаження на  $t=1(c)$ , система завдяки обраному контуру регулювання, унеможливує виникнення помилки на відповідного кидка у роботі електричного приводу, що дуже важливо під час роботи мостового крану. Це свідчить про те, що обраний тип керування ЕП задовольняє поставленим вимогам.

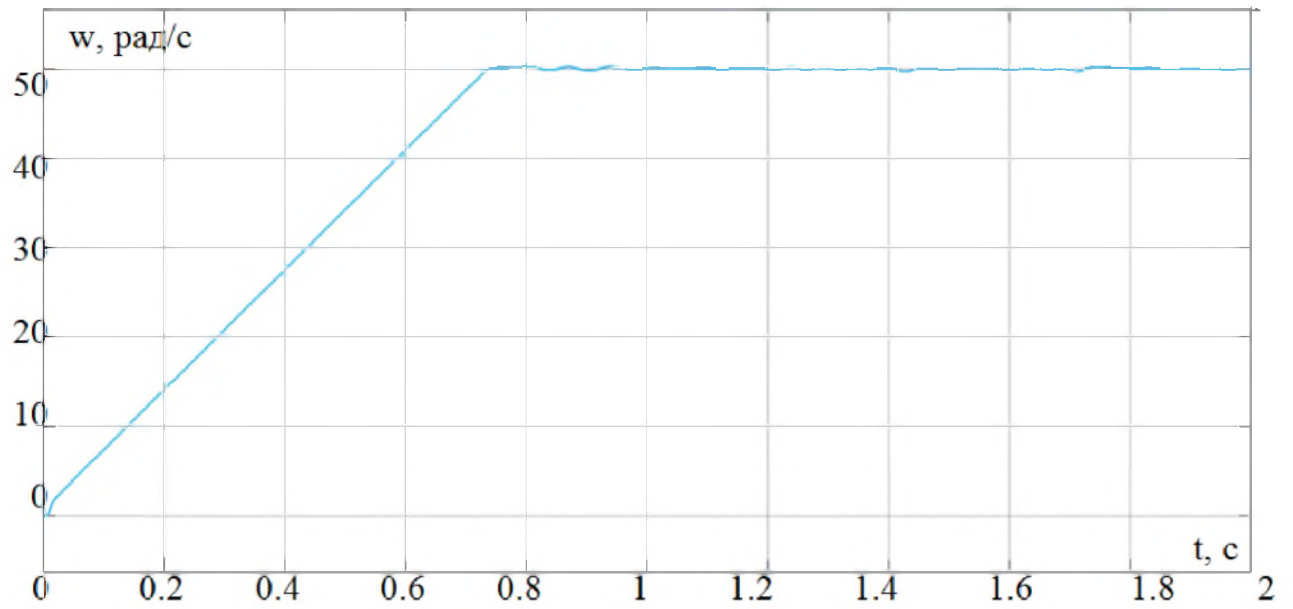


Рисунок 4.10 – Швидкісна характеристика електричного приводу

## ВИСНОВКИ

В представленій роботі виконане дослідження режимів роботи електроприводів механізмів мостового крану із метою покращення продуктивності системи в цілому. Це вдалося зробити завдяки використанню електричних асинхронних двигунів із векторним керуванням.

Для виконання поставленої мети на початку дослідження були порівнянні між собою різні види промислових кранів, відмічені переваги та недоліки від їх застосування у системі. Оскільки метою роботи було дослідження електрообладнання саме мостового крану, то перший розділ містив порівняння різних двигунів електроприводів, які застосовують саме у даному типі робочої машини.

У другому розділі акцент було зроблено на застосуванні у системі електропривода із векторним керуванням замкнутого типу, за допомогою програм для креслення були зроблені структурні схеми проєктованого крану, а також зауважено та вирішено суттєву проблему, яка стосується експлуатації обладнання у електричних шафах мостового крану. Так із метою контролю за значенням температури робочої середовища в зоні установки електричного обладнання мостового крану була розроблена схема та основні етапи впровадження цієї схеми у життя на практиці. Ці етапи містять наступні позиції:

- встановити в кожен ланку із перетворювач частоти разом й датчик температури ;
- встановити в шафі із електрообладнанням моноблочний кондиціонер великої потужності
- встановити додатковий перетворювач частоти, що буде регулювати значення за кутовою швидкістю обертання привода в залежності від параметрів датчика температури.

В третьому розділі відбувався розрахунок усього електричного обладнання мостового крану такого, як, наприклад, приводи візку, крюка, переміщення, а також лінії живлення високої напруги та низької, лінії живлення тролей.

Четвертий розділ було присвячено моделювання процесів в електроприводі візка мостового крану. За допомогою програми Matlab були досліджені перехідні процеси під час пуску, розгону, номінальної швидкості та гальмуванні. Запропонований у роботі метод керування електроприводом із додатковим удосконаленням здатен підвищити якість опрацювання завдання приводом на 8-10%.

Також увагу було спрямовано на питання керування електричним приводом, для цього застосовувався пакет Step7 та мова програмування LAD.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Л.Д. Костинюк, “Моделювання електроприводів”, навчальний посібник / Костинюк Л.Д., Паранчук Я.С., Мороз В.І. — м. Львів : Видавництво "Львівська політехніка", 404 с. — 2004 р.
2. М.В. Постнікова, С.О. Квітка, «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Проектування внутрішньої силової розподільчої мережі. Частина 1. Вибір та перевірка пуско-захисної апаратури» – метод. вказівки – м Мелітополь: ТДАТУ, 2018 р. – 76 с.
3. Г.О.Іванов, П.М. Полянський «Розрахунок механізму пересування крану чи візка» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. [https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/7005/1/16-pruchirnomor\\_17-19-2020.pdf](https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/7005/1/16-pruchirnomor_17-19-2020.pdf) Дата звернення: 27.04.22
4. «Розрахунок пересувних механізмів мостового крана» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://budtehnika.pp.ua/7492-rozrazhunok-mehanzmv-peresuvannya-mostovogo-krana.html> Дата звернення: 28.04.22
5. «Побудова регулювальних, фазових та зовнішніх характеристик тиристорного перетворювача. Розрахунок характеристик тиристорного перетворювача» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. [https://studbooks.net/1922415/matematika\\_himiya\\_fizika/raschyot\\_harakteristik\\_tiristornogo\\_preobrazovatelya](https://studbooks.net/1922415/matematika_himiya_fizika/raschyot_harakteristik_tiristornogo_preobrazovatelya) Дата звернення: 30.04.22
6. «Елементна база та схемотехніка пристроїв силової електроніки, реверсивні тиристорні перетворювачі» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://leg.co.ua/knigi/raznoe/elementnaya-baza-i-shemotehnika-ustroystv-silovoy-elektroniki-5.html> Дата звернення: 02.05.22
7. «Перетворювачі частоти база та схемотехніка пристроїв силової електроніки» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://leg.co.ua/knigi/raznoe/elementnaya-baza-i-shemotehnika-ustroystv-silovoy-elektroniki-4.html> [elektroniki-5.html](https://leg.co.ua/knigi/raznoe/elementnaya-baza-i-shemotehnika-ustroystv-silovoy-elektroniki-5.html) Дата звернення: 05.05.22

8. Ф.К. Іванченко, В. І. Ширяєв, В. М., Гребений «Розрахунки машин і механізмів прокатних цехів», м. Київ: Вища школа, р. 1994. – 455 с.

9. І.С. Шевченко, «Системи автоматизованого електропривода виробничих установок» – навчальний посібник, ІСДО, м. Київ, 1994, 256 с.

10. А.А. Богорад, А.Т. Загузін «Мостові крани та їх експлуатація» , Навчальний посібник для технічних вузів. – Вища школа, 1984. - 184 с.

ДОДАТОК А.  
«ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО  
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ»

Студентки Світлани ЄГОРЦОВОЇ\_ групи ЕЛКзп – 19

| Призначення<br>документа | Документ | Умовні<br>позначення | Зміст зауваження |
|--------------------------|----------|----------------------|------------------|
|                          |          |                      |                  |

Дата \_\_\_\_\_

Підпис \_\_\_\_\_

(ПІБ)

## ДОДАТОК Б

## «Безпека під час експлуатації електроприводу»

Для безперебійної та надійної роботи електричних двигунів обслуговуючий персонал виконує правила їх зберігання, транспортування, монтажу та експлуатації, які виходять з основних організаційно-технічних заходів і засобів щодо запобігання електротравм регламентованих **НПАОП 40.1-1.21-98** «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживача».

Двигуни, отримані з заводів, зберігають в заводській упаковці; двигуни, що були у вжитку, зберігають після ретельного очищення їх від бруду, іржі і консервації за допомогою мастила.

Вибухозахисні поверхні захищаються від випадкових пошкоджень дерев'яними щитками.

Перед пуском електродвигуна перевіряють справність його механічної частини, відсутність механічних пошкоджень, наявність і відповідність знаків виконання майбутнім умовам роботи, відповідність типу та характеристики необхідним, наявність комплектності та мастила в підшипниках.

Якщо двигун тривалий час не працював, за допомогою мегомметра перевіряють якість ізоляції обмотки по відношенню до землі та між фазами.

Для перевірки якості ізоляції двигунів. Використовуємо мегомметр на напругу 500-1000 В, а для двигунів з  $R_{ном} > 1000 \text{ В}$  - мегомметр на 2500 В. Якість ізоляції вважається задовільною згідно правила захисту від статичної напруги прописані у **НПАОП 0.00-1.29-97** «Правила захисту від статичної напруги».

При монтажі електродвигунів приділяється особлива увага на надійність і відповідність фундаменту (при окремій установці двигуна); співвісність валів електродвигуна і машини; надійність і міцність кріплення електродвигуна.

### **Заходи безпеки при ремонтних і монтажних роботах.**

Основними вимогами техніки безпеки під час експлуатації електричних машин є:

- стійкість під час переміщення та роботи;
- механічна міцність окремих деталей та частин;
- огорожа усіх рухомих частин, що обертаються, і повна справність електричних машин.

Стійкість електричних машин досягається завдяки правильній установці на міцний фундамент й відповідним кріпленням до фундаменту. Під час монтажу стаціонарної машини ретельно перевіряється кріплення до фундаменту, після чого перевіряється й стійкість усієї конструкції.

Категорично забороняється знімати огорожі на ходу чи працювати без них навіть нетривало. Огорожа встановлюється також на межі небезпечних зон, куди можуть відлетіти частини деталі інструменту, який зламався, чи відходи оброблюваного матеріалу.

Заміна та перевірка мастила, чищення та ремонт машини проводиться тільки при повній зупинці й відключенні її від двигуна та при знятті напруги через відповідний вимикач. Всі рухомі частини машини повинні надійно застопорені.

При технічному обслуговуванні і ремонті збагачувального устаткування необхідно керуватися Єдиною системою планово-запобіжного ремонтів і раціональної експлуатації технологічного устаткування фабрики та підприємства. У комплексі планово-запобіжної системи фабрики входять поточний і капітальний ремонт, а також міжремонтне технічне обслуговування.

Норми міжремонтного періоду необхідно строго дотримуються, тому що при їх порушенні збільшується небезпека аварійного стану, яке приводить до створення аварій та травмонебезпечної, для обслуговуючого персоналу, ситуації.

Найважливіший принцип забезпечення безпеки під час ремонту устаткування:

- правильна організація проведення ремонтних робіт, зокрема системи допусків (дозволів та нарядів) на проведення небезпечних робіт. Ця система підвищує відповідальність керівників підприємства або виробництва за підготовку робочого місця й проведення самої роботи.

Перед проведенням ремонту виділяємо осіб, відповідальних за підготовку і здачу устаткування в ремонт, визначаємо безпосередніх виконавців ремонтних робіт.

Також ремонтним роботам, окрім оформлення спеціальної технічної документації, передують ще й складання плану організації на проведення цих робіт.

При ремонті устаткування потрібно припинити подачу матеріалу, і відключити двигун. Відключають устаткування чергові електрослюсарі по заявках виробників робіт із записом часу відключення в оперативний журнал диспетчера.

Під час відключення знімаються запобіжники чи розривається силовий ланцюг за допомогою автомата. На панелі слід розмістити вішається плакат: «Не включати! Працюють люди ».

Перед розбором устаткування, яке підлягає ремонту, перш за все варто підготувати майданчик, де будуть вестися роботи, щоб забезпечити безпечні й зручні умови праці. Також майданчик обладнаний вантажопідйомними механізмами.

Безпечну та безаварійну роботу під час ремонту й монтажу устаткування забезпечує виконання наступних умов:

- кваліфікаційний інструктаж по техніці безпеки членів бригади;
- усунення впливу шкідливих й небезпечних виробничих чинників на робочому місці і ремонтному майданчику;
- правильна розстановка робочих відповідно до їх спеціалізації, досвідом роботи і з урахуванням психологічної сумісності;

– забезпечення виконавців робіт справними і безпечними ремонтними інструментами, вантажопідйомними засобами, допоміжними інструментами та апаратами електрозварювань.

Основний об'єм робіт по техніці безпеки доводиться на підготовчий період. У цей період вибираємо тип вантажопідйомних машин, вантажозахватні пристосування (вантажні стропи, траверси, монтажні захоплення) з урахуванням маси і габаритів переміщуваного вантажу; пристосування для стійкого зберігання вмонтованих та ремонтваних елементів устаткування і оснащення.

Зона монтажних робіт захищена і в ній повинні бути вивішені попереджувальні плакати. Із зони дії вантажопідйомних механізмів винесені електричні дроти. У місця виробництва монтажних робіт під укладання деталей та вузлів варто групувати їх так, аби при їх збірці не доводилося витягувати одні деталі з-під інших.

Перед подачею сигналу оператором «про підйом устаткування» стропальник переконується, що на нім не залишені які-небудь предмети, інструменти та пристосування.

Забороняється:

- стояти біля натягнутого канату і усувати дефекти при намотуванні троса на барабан лебідки;
- піднімати та переміщати підйомними механізмами устаткування із людьми, які знаходяться в ньому (або на ньому);
- залишати на крюку підйомного механізму грузнув в підвішеному стані під час перерви на роботі;
- різко перемикаати хід лебідки на зворотний; надягати канат на ролики і блоки у разі його сходу.

Для прискорення, полегшення і збільшення ступеня безпеки робіт такелажів при ремонті застосовуємо пересувні підйомні пристрої: блоки, поліспасти, талі, електротельфери, а для підйому вантажу на невелику висоту – домкрати, гідравлічні підйомники.

Важливий чинник безпеки під час ремонтних роботах – розміщення того обслуговуючого персоналу, який працює на висоті. До запобіжних засобів, що забезпечують безпеку роботи на висоті, відносяться запобіжні пояси і канати для страхування. Як трос для страхування дозволяється застосовувати сталевий канат діаметром не менше 8 мм, прядивний канат діаметром не менше 20 мм.

При ремонті забороняється користуватися несправним інструментом, класти і залишати на механізмах інструмент і інші предмети.