

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра Електропривода

(повна назва)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню бакалавр  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Самойловича Вячеслава Андрійовича  
(ПІБ)

академічної групи 141-16ск-3  
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації<sup>1</sup>

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Автоматизована електромеханічна система механізму підйому мостового крану  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Бородай В.А.			
розділів:				
Технологічна частина	Бородай В.А.			
Автоматизований електропривод	Бородай В.А.			
Дослідження динаміки електропривода	Бородай В.А.			
Економічна частина	Дементьєва Н.В.			
Охорона праці	Лутс І.О.			
<b>Рецензент</b>	Ковальов О.Р.			
<b>Нормоконтролер</b>	Казачковський М.М.			

Дніпро  
2019

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
Електропривода  
(повна назва)

(підпис) М.М. Казачковський  
(прізвище, ініціали)

« 24 » 12 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавр**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту В.А. Самойлович академічної групи 141-16ск-3  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка  
(офіційна назва)

на тему Автоматизована електромеханічна система механізму підйому  
мостового крану,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» 17.04.2019 р. № 626-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
1. Технологічна частина 2. Автоматизований електропривод	Аналіз технологічної установки і формулювання вимог до електропривода. Визначення вхідних даних механізму та розрахунок потужності і вибір комплектного електропривода для асинхронного двигуна.	14.01.2019- 20.01.2019, 13.05.2019 – 19.05.2019
3. Дослідження динаміки електропривода	Обґрунтування вибору системи керування. Вибір і розрахунок структури і регуляторів моделі. Дослідження та аналіз роботи системи електропривода.	20.05.2019- 02.06.2019
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на роботу персоналу. Формулювання рекомендацій, що до усунення небезпеки.	03.06.2019- 09.06.2019
5. Техніко-економічне обґрунтування проекту	Здійснення розрахунку смітної вартості складових системи автоматизованого електроприводу.	03.06.2019- 09.06.2019

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

В.А. Бородай  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 24.12.2018

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)

В.А. Самойлович  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 55 стор., 9 рис., 9 табл., 10 джерел, 4 листа графічної частини.

### Об'єкт розробки.

Модернізація електропривода підйому мостового крану.

### Мета роботи.

Надбання необхідних навичок по технічному рішенню завдань при проектуванні системи автоматизованого електроприводу підйому мостового рейферного крану, економічного обґрунтування при проектуванні електропривода крану та захід з питань охорони праці.

### Загальні відомості щодо проекту.

В проекті зроблений аналіз заходів щодо об'єкту детальної розробки:

- Обґрунтована номінальна потужність двигуна.
- Обрано перетворювач частоти
- Виконаний розрахунок системи автоматичного регулювання і проведено дослідження динаміки електромеханічної системи
- Розроблені заходи щодо охорони праці на виробництві.
- Доведена економічна ефективність впровадження технічних рішень.

МОСТОВИЙ КРАН, МЕХАНІЗМ ПІДЙОМУ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ІНЖЕНЕРНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОХОРОНИ ПРАЦІ, РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.

					ЕП.ПД.19.22.Р.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		3

## ABSTRACT

The explanatory note: 55 pages., 9 figures., 9 tables., 10 references, 4 graphical sheets.

### **The object of detailed development.**

Modernization of the electric lifting device of the bridge crane.

### **Project goal.**

Acquisition of the necessary skills for technical solution of tasks when designing the system of automated electric lifting of a bridge grab crane, economic substantiation at the design of a crane electric drive and a measure on occupational safety.

### **General information about the project.**

The project makes an analysis of activities on the subject of detailed development:

- The rated power of the engine is substantiated.
- The frequency converter and components of the power part of the electric drive are selected.
- Calculation of the automatic control system was carried out and the dynamics of the electromechanical system was studied
- Work on occupational safety at work has been developed.
- Economic efficiency of implementation of technical solutions is proved.

BRIDGE CRANE, LIFTING MECHANISM, ASYNCHRON ENGINE, FREQUENCY CONVERTER ADJUSTABLE ELECTRIC, REGULATED ELECTRIC DRIVE, ENGINEERING RECOMMENDATIONS FOR LABOR PROTECTION, CALCULATION OF ECONOMIC EFFICIENCY.

					ЕП.ПД.19.22.Р.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	7
1.1 Загальні відомості.....	8
1.2 Вимоги до електроприводу кранових механізмів .....	9
1.3 Особливості проєктованого електроприводу .....	10
<b>2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД</b> .....	<b>13</b>
2.1 Розрахунок мостового крану .....	14
2.2 Вибір двигуна, редуктора та гальмівного пристрою .....	16
2.3 Вибір перетворювача .....	22
<b>3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ</b> .....	<b>25</b>
3.1 Загальні відомості про методи частотного управління .....	26
3.2 Розрахунок параметрів векторної системи управління .....	27
<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	<b>35</b>
4.1 Заходи з техніки безпеки при експлуатації та ремонті електроустаткування крана .....	36
4.2 Заходи з протипожежної безпеки .....	38
4.3 Розрахування заземлення електроустановки .....	39
<b>5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ</b> .....	<b>42</b>
5.1 Вступ .....	43
5.2 Розрахунок капітальних витрат .....	43
5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	46
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	<b>54</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	<b>55</b>

					ЕП.ПД.19.22.В.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ВСТУП

Більшість промислових підприємств, які активно використовують електричні вантажопідйомні крани, стикаються з проблемою невідповідності підйомного обладнання сучасним технічним вимогам.

Переважає більшість вантажопідйомних кранів обладнано недорогою для обслуговування системою керування електроприводом на базі релейно-контакторних панелей, яка далека від досконалості, характеризується залежністю швидкості опускання вантажу від його маси, негативно впливає на ресурс роботи механічної частини крана і вимагає значних витрат по підтримці працездатності.

В даний час найбільш широко застосовуються перетворювачі з автономними інверторами напруги. Оскільки в якості джерела живлення використовується 3-х фазна мережу змінного струму, то до складу перетворювача частоти входить 3-х фазний керований або некерований випрямляч. Перетворювач має вбудовану систему керування електропривода з мікропроцесорним управлінням і зовнішнім інтерфейсом, що забезпечує користувачеві широкі можливості практичного застосування.

Метою дипломного проекту є надбання необхідних навичок по технічному рішенню завдань при проектуванні системи автоматизованого електроприводу. Об'єктом проектування в цій роботі є головний привод підйому мостового крану. Завданнями цього проекту є:

- Розрахунок по діаграмі навантаження необхідної потужності електродвигуна і вибір перетворювача частоти
- Розрахунок математичної моделі рівнянь руху механічної частини мостового крану і перетворювача енергії
- Синтез САК електроприводу
- Створення моделі електроприводу
- Розрахунок техніко-економічної ефективності від застосування розробленої системи

					ЕП.ПД.19.22.В.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

					ЕП.ПД.19.22.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		7

## 1.1 Загальні відомості

Краном мостового типу називається кран з вантажозахватним пристроєм, підвішеним до вантажного візка або талі, які переміщуються по рухомій сталевій конструкції (мосту).

Мостовий кран (Рис.1) являє собою міст, що переміщається по

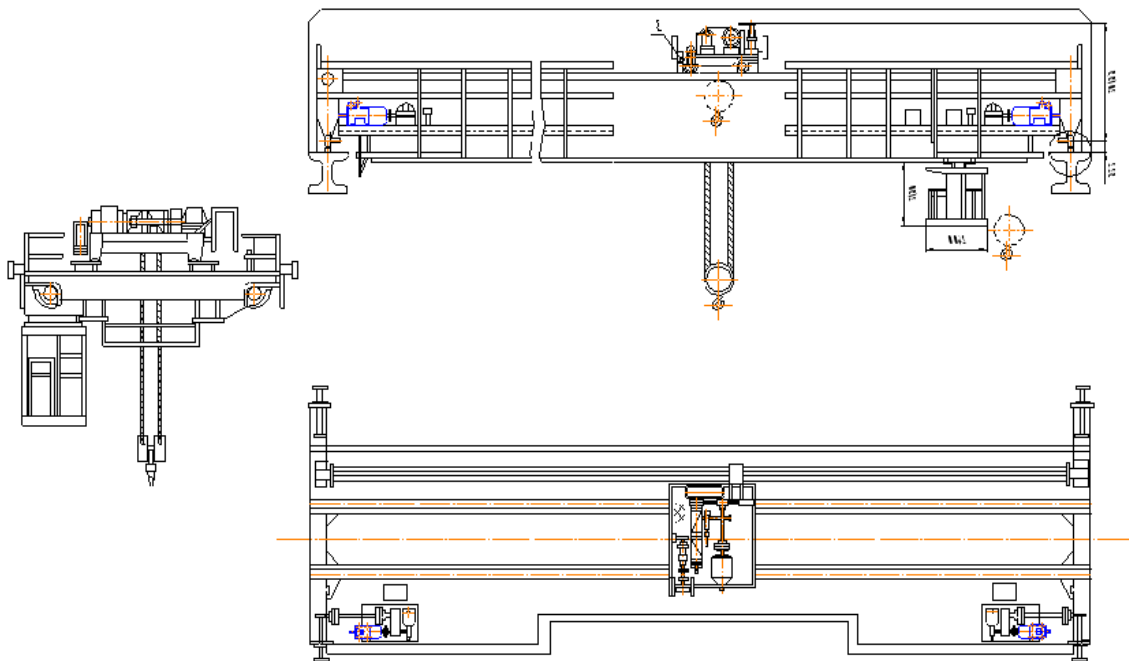


Рис.1.1 – Загальний вигляд мостового крана

кранових коліях на ходових колесах, які встановлені на кінцевих балках. Шляхи укладаються на підкранові балки, які спираються на виступи верхньої частини колони цеху. Механізм пересування крана встановлений на мосту крана. Управління всіма механізмами відбувається з кабіни прикріпленої до мосту крана. Живлення електродвигунів здійснюється за цеховими тролєями. У сучасних конструкціях мостових кранів струмопровід здійснюється за допомогою гнучкого кабелю. Привід ходових коліс здійснюється від електродвигуна через редуктор і трансмісійний вал.

Для приводу кранів характерним є повторно-короткочасний режим роботи, регулювання швидкості, значні перевантаження, часте реверсування, електричне гальмування, значні вібрації, поштовхи, часті пуски, в тому числі пуски під навантаженням і т.д. Все це пред'являє до електроустаткування

					ЕП.ПД.19.22.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		8



основних кранів металургійних цехів ряд специфічних вимог основними з яких є: висока надійність, безперебійність роботи, висока механічна міцність, безпеку обслуговування, простота експлуатації і ремонту, забезпечення плавного пуску і регулювання швидкості.

Будь-який сучасний вантажопідйомний кран відповідно до вимог безпеки, може мати для кожного робочого руху в трьох площинах наступні самостійні механізми: механізм підйому - опускання вантажу (Рис.1.2)

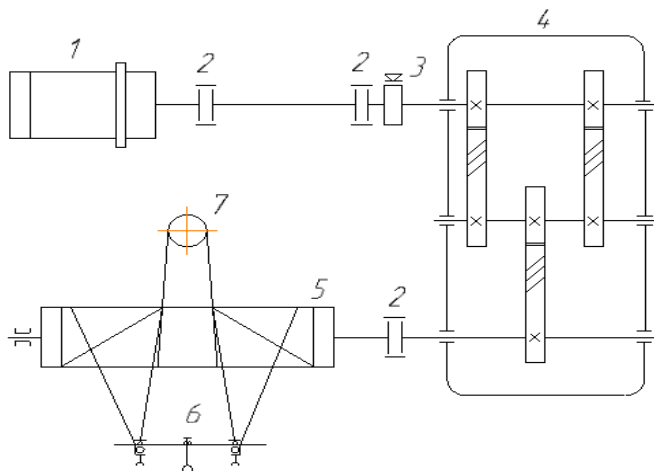


Рис.1.2 – Кінематична схема механізму підйому головного гака: 1 - двигун; 2 - муфта; 3 - гальмо; 4 - редуктор; 5 - барабан; 6 - поліспаст; 7 - нерухомий блок поліспасти.

## 1.2 Вимоги до електроприводу кранових механізмів

Електропривод вантажопідйомних кранів має ряд особливостей, що відрізняють його від електроприводів інших загальнопромислових і спеціальних механізмів :

Механічні характеристики електроприводу розташовані в усіх чотирьох квадрантах; бажано забезпечити плавний перехід приводної електричної машини з режиму двигуна в генераторний режим при спуску.

Особливості, котрі необхідно врахувати при проектуванні електропривода мостового крана:

					ЕП.ПД.19.22.01.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

- Необхідність забезпечення можливості плавної зміни рухового режиму електродвигуна на генераторний під час спуску.
- Експлуатація характеризується невисоким діапазоном, в якому повинна регулюватися швидкість (часто не більше 10: 1 - для однозонного регулювання).
- Невисокі вимоги щодо швидкодії.
- Забезпечення необхідної жорсткості механічних характеристик приводу.

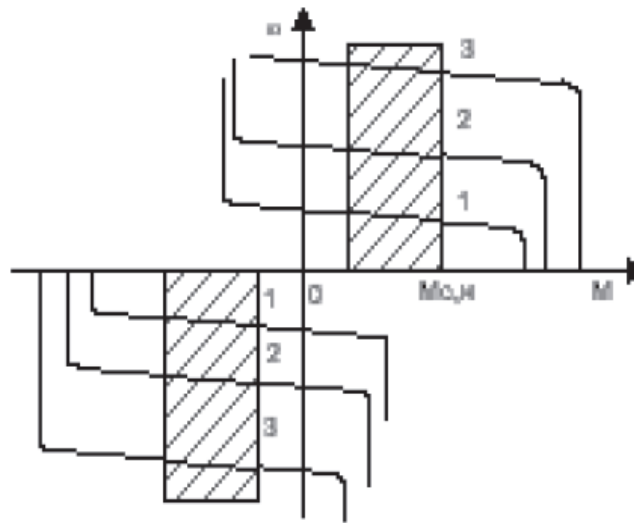


Рис.1.3 – Бажані механічні характеристики електроприводу механізму електропривода механізмів підйому

### 1.3 Особливості електроприводу підйому

Традиційно для кранового електроприводу застосовуються спеціально розроблені серії електродвигунів змінного і постійного струму. За геометрії магнітопроводу, ступеня використання електротехнічних матеріалів, електромеханічним характеристикам і конструктивним виконанням такі електродвигуни істотно відрізняються від двигунів загальнопромислового виконання. Режим роботи електродвигунів в крановому електроприводі характеризується широким зміною навантажень, частими пусками і гальмуваннями, широким діапазоном зміни швидкості нижче і вище номінальної (у електроприводах постійного струму і частотно-регульованих електроприводах). Кранові двигуни розраховані для роботи в повторно-

					ЕП.ПД.19.22.01.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		10

короткочасному режимі, який характеризується тривалістю включення (ПВ) 15, 25, 40 і 60% при тривалості циклу не більше 10 хв. Основним номінальним режимом кранових двигунів змінного струму є ПВ = 40%. Через високі вимоги до динаміки двигунів в перехідних процесах пуску і гальмування і для зниження витрати енергії при цьому двигуни конструюються таким чином, щоб момент інерції ротора був, по можливості, мінімальним. Зниження моменту інерції досягається шляхом зменшення висоти осі обертання при заданій потужності двигуна. Електродвигуни мають підвищений (у порівнянні з електродвигунами загальнопромислового виконання) запас міцності механічних вузлів і деталей. Кріплення пакета ротора на валу завжди проводиться за допомогою шпонки.

Традиційно, основне застосування в кранових електроприводах знаходять асинхронні двигуни з фазним ротором. Регулювання швидкості і моменту в електроприводах з такими двигунами проводиться включенням в ланцюг ротора пускорегулювальних резисторів. Для отримання знижених (посадочних) швидкостей опускання вантажу застосовується режим противключення або різні спеціальні схеми включення (наприклад - динамічного гальмування самозбудженням).

Робота асинхронних двигунів в системах частотного регулювання має свої особливості. Перш за все, при частотному керуванні значно знижуються втрати енергії в двигунах в пуско-гальмівних режимах. Це дозволяє переходити на більш високооборотні електроприводи, і при проектуванні двигунів основну увагу приділяти зниженню втрат в обмотках двигуна в номінальному режимі. При проектуванні двигунів для системи частотного регулювання враховується наступне:

1. Основні співвідношення між геометричними розмірами, прийняті для кранових асинхронних двигунів, зберігаються, оскільки визначальним тут є режим роботи, а не система регулювання.

					ЕП.ПД.19.22.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		11

2. У сучасних частотно-регульованих електроприводах з векторним керуванням механічні характеристики формується системою управління перетворювача. Тому при проектуванні електродвигунів, призначених для роботи тільки з перетворювачами частоти, можна не вживати спеціальні заходи для підвищення перевантажувальної здатності і пускового моменту.

3. Оптимальні частоти обертання двигунів в системах приватного регулювання, як уже було сказано, вище, ніж у звичайних системах, і складають 1900 - 1800 об / хв для легкого і середнього режимів роботи і до 1500 - 800 об / хв - для важкого режиму. Однак при проектуванні слід узгоджувати максимальну частоту обертання розроблювального електроприводу і максимальну допустиму частоту обертання редуктора.

4. Двигуни повинні бути працездатні при підвищенні частоти вихідної напруги перетворювача в 1,5 - 2 рази по відношенню до номінальної частоти.

5. З метою зниження втрат обмотка ротора двигуна заливається чистим алюмінієм або виконується мідної, ковзання при цьому - мінімальне. Регулювання вихідної напруги і частоти двигуна дозволяє оптимізувати використання його активних частин і забезпечити роботу двигуна в режимі мінімальних втрат.

6. Можливе виконання двигунів на нестандартне напруга, відповідне вихідній напрузі перетворювача частоти.

Всі ці заходи, а також оптимальне розмежування зон регулювання, дозволяють при однаковому навантаженні знизити в 1,5 - 1,8 рази потужність двигуна в частотно-регульованому приводі.

					ЕП.ПД.19.22.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		12

## 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

					ЕП.ПД.19.22.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

## 2.1 Розрахунок мостового крану

Розрахувати механізм підйому вантажу електричного мостового крана вантажопідйомністю  $Q = 5$  т. Швидкість підйому вантажу  $v_r = 0,25$  м/с. Висота підйому  $H = 15$  м. Режим роботи - середній, ПВ = 25 % (4 група режиму роботи).

Приймаємо механізм підйому з подвійним двократним поліспастом.

Зусилля в канаті, що набігає на барабан

$$F_6 = \frac{5000 \cdot 9,81}{2 \cdot 2 \cdot 0,99} = 12386 \text{ Н} \quad (2.1)$$

Оскільки обвідні блоки відсутні, за формулою

$$\eta_o = \eta_{\Pi} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - 0,98^2}{1 - 0,98} = 0,99 \quad (2.2)$$

де  $\eta_{\text{бл}} = 0,98$ .

Розрахункове розривне зусилля в канаті при максимальному навантаженні на канат  $F_k = F_6 = 12\,386$  Н та  $k = 5,5$

$$F = 12\,386 \cdot 5,5 = 68\,123 \text{ Н} \quad (2.3)$$

Вибираємо за ГОСТ 2688—80 канат подвійного звивання типу ЛК-Р конструкції 6х19(1 + 6+6/6+1 о.с.) діаметром  $d = 11$  мм, має при маркувальній групі дротів 1764 МПа розривне зусилля  $F = 68\,800$  Н.

Канат вантажний (Г), першої марки (1), з проволоки без покриття (—), правої хрестової завивки (—), непорушний (Н) позначається:

Канат—11—Г—I—Н—1764 ГОСТ 2688—80.

Фактичний коефіцієнт запасу міцності каната

					ЕП.ПД.19.22.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

$$k_{\phi} = \frac{68\,800}{12\,386} = 5,55 > k = 5.5. \quad (2.4)$$

Необхідний діаметр барабана по середній лінії навитого сталевого каната  $D = 11 \cdot 25 = 275$  мм.

Приймаємо діаметр барабана  $D = 300$  мм.

Вибираємо підвіску крюкову типу 1 вантажопідйомністю 5 т, що має блоки діаметром 320 мм з відстанню між блоками  $b = 200$  мм.

Довжина каната, навивається на барабан з одного поліспасти при  $z_1 = 2$ ,  $z_2 = 3$ ,

$$L_k = 15 - 2 + 3,14 - 0,3(2 + 3) = 34,7 \text{ м.} \quad (2.5)$$

Робоча довжина барабана для намотування каната з одного поліспасти при  $t = 12,5$  мм,  $m = 1$  і  $\phi = 1$

$$L_{\phi} = \frac{34,7 \cdot 0,0125}{3,14 \cdot 1(1 \cdot 0,011 + 0,3) \cdot 1} = 0,444 \text{ м.} \quad (2.6)$$

Прийнявши відстань між правою і лівою нарізками на барабані (довжина ненарізаної частини), що дорівнює відстані між струмками блоків в крюкової обоймі, т. е.  $l = b = 0,2$  м, знайдемо повну довжину барабана.

$$L = 2 \cdot L_{\phi} + l = 2 \cdot 0,444 + 0,2 = 1,088 \text{ м.} \quad (2.7)$$

Мінімальна товщина стінки литого чавунного барабана  $b_{\min} = 0,02 \cdot 0,289 + 0,006 \dots 0,01 = 0,012 \dots 0,016$  м = 12...16 мм, где  $D_{\phi} = D - d = 0,3 - 0,011 = 0,289$  м. Приймаємо  $b = 14$  мм.

Прийнявши в якості матеріалу барабана чавун марки СЧ 15 ( $\sigma_{ж} = 650$  МПа,  $[\sigma_{сж}] = 130$  МПа), знайдемо напругу стиснення в стінці барабана:

					ЕП.ПД.19.22.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$\sigma_{ж} = \frac{12\,386}{12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 14 \cdot 10^{-3}} = 70,78 \cdot 10^6 \text{Па} = 70,78 \text{МПа} < 130 \text{МПа} \quad (2.8)$$

## 2.2 Вибір двигуна, редуктора та гальмівного пристрою

Статична потужність двигуна при  $\eta = 0,85$

$$P_c = \frac{Q \cdot 9,81 \cdot v_r}{10^3 \cdot \eta} = \frac{5000 \cdot 9,81 \cdot 0,25}{10^3 \cdot 0,85} = 13,46 \text{ кВт}. \quad (2.9)$$

Приймаємо крановий асинхронний двигун з короткозамкненим ротором МТКФ 211-6 з наступними параметрами:

Типорозмір двигуна	Потужність	Частота обертання	Напруга	Ном. струм статора	ККД	Коефіцієнт потужності	Момент інерції	Вага
МТКФ 211-6	P, кВт	n, об/хв	U, В	I, А	$\eta$ , %	$\cos \varphi$	J, кг · м <sup>2</sup>	m, кг
	9	915	380	24	79	0,81	0,44	149

Частота обертання барабана при  $D_{расч} = D = 0,3 \text{ м}$

$$n_6 = \frac{60 \cdot 0,25 \cdot 2}{3,14 \cdot 0,3} = 31,8 \text{ мин}^{-1}. \quad (2.10)$$

Передаточне число привода

$$u = \frac{n}{n_6} = \frac{915}{31,8} = 28,8. \quad (2.11)$$

Розрахункова потужність редуктора при  $k_p = 1$  и  $P = P_c$

$$P_p = 1,0 \cdot 13,46 = 13,46 \text{ кВт}. \quad (2.12)$$

					ЕП.ПД.19.22.02.ПЗ			Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				16



За передаточним числом  $i$  та потужністю вибираємо редуктор циліндричний, двоступеневий, горизонтальний, крановий типорозміру Ц2-300 з передаточним числом  $u_p=32,42$  та потужністю на швидкохідному валу при середньому режимі роботи  $P_p=14,6$  кВт.

Момент статичного опору на валу двигуна в період пуску з урахуванням того, що на барабан навиваються дві гілки каната, при  $\eta_6=0,94$  і  $\eta_{пр}=0,9$

$$M_c = \frac{12\,386 \cdot 2 \cdot 0,3}{2 \cdot 32,42 \cdot 0,94 \cdot 0,9} = 135 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.13)$$

Номінальний момент, що передається муфтою, приймається рівним моменту статичних опорів

$$M_M^{\text{НОМ}} = T_c = 135 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.14)$$

Номінальний момент на валу двигуна за формулою

$$M_{\text{НОМ}} = 9550 \frac{P}{n} = 9550 \frac{9}{915} = 93,9 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.15)$$

Розрахунковий момент для вибору сполучної муфти

$$M_M = 135 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 211 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.16)$$

Виберемо найближчу по необхідному крутному моменту пружну втулочно-пальцеву муфту з гальмівним шківом діаметром  $D_t = 200$  мм і найбільшим переданим крутним моментом  $500$  Н · м.

Момент інерції муфти  $I_M = 0,125$  кг · м<sup>2</sup>. Момент інерції ротора двигуна і муфти  $I = I_p + I_M = 0,225 + 0,125 = 0,35$  кг · м<sup>2</sup>.

Середній пусковий момент двигуна при  $\psi_{\text{мін}}=1,4$ .

					ЕП.ПД.19.22.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$M_{\text{пуск}} = M_{\text{ср}} n = \frac{2.08 + 1.4}{2} 93.9 = 163.4 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.17)$$

де  $\psi_{\text{max}} = \frac{195}{93.9} = 2.08$

Час пуску при підйомі вантажу

$$t_{\text{п}} = \frac{1.1 \cdot 0.35 \cdot 915}{9.55(163.4 - 135)} + \frac{9.55 \cdot 50000 \cdot 0.22^2}{915(163.4 - 135)0.85} = 1.4 \text{ с}. \quad (2.18)$$

Фактична частота обертання барабана за формулою

$$n_{\phi} = \frac{n}{u_p} = \frac{915}{32.42} = 28.2 \text{ мин}^{-1}. \quad (2.19)$$

Фактична швидкість підйому вантажу за формулою

$$v_p^{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\text{расч}} \cdot n_{\phi}}{60u_n} = \frac{3.14 \cdot 0.3 \cdot 28.2}{60.2} = 0.22 \text{ м/с}^2. \quad (2.20)$$

Ця швидкість відрізняється від найближчого значення 0,2 м / с зі стандартного ряду на 10%, що допустимо.

Прискорення при пуску,

$$a = \frac{v_p^{\phi}}{t_{\text{п}}} = \frac{0.22}{1.4} = 0.16 \text{ м/с}^2. \quad (2.21)$$

Оскільки графік дійсної завантаженія механізму підйому не заданий, скористаємося усередненим графіком використання механізму по вантажопідйомності (Рис. 2.1), побудованим на основі досвіду експлуатації

					ЕП.ПД.19.22.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

кранів. Визначимо моменти, що розвиваються двигуном, і час його пуску при підйомі і опусканні вантажу в різні періоди роботи механізму. Згідно з графіком, за час циклу (підйом і опускання вантажу) механізм буде працювати з номінальним вантажем  $Q = 5000$  кг—1 раз, з вантажем  $0,5Q = 2500$  кг — 5 раз, з вантажем  $0,2Q = 1000$  кг—1 раз, з вантажем  $0,05Q = 250$  кг — 3 рази.

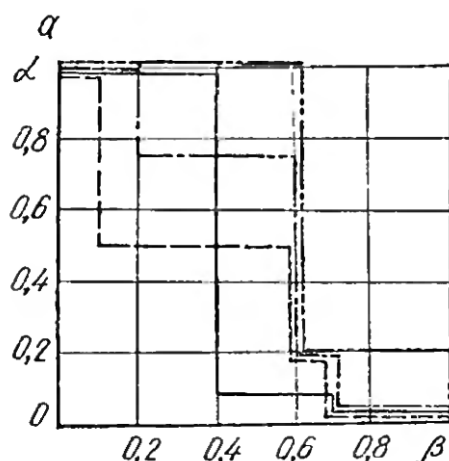


Рис.2.1 – Усереднений графік використання механізму по вантажопідйомності

Результати розрахунків наводяться в табл. 2.1

Табл.2.1 – Момент, що розвиваються двигуном, і час його пуску

Найменування показника	Позначення	Одиниця	Результати розрахунку при масі вантажу, що піднімається, кг			
			5000	2500	1000	250
ККД	$\eta$	-	0,85	0,8	0,65	0,5
Натяг каната у барабані при підйомі вантажу	$F_6$	Н	12 386	6579	3239	1053
Момент при підйомі вантажу	$M_c$	Н·м	135	71,7	35,3	11,5
Час пуску при підйомі	$t_{п}$	с	1.4	0,42	0,29	0,24
Натяг каната у барабані при опусканні вантажу	$F_c^{оп}$	Н	12 195	6478	3189	1036
Момент при опусканні вантажу	$M_c^{оп}$	Н·м	97,4	51,7	25,5	8,28
Час пуску при опусканні	$t_{оп}$	с	0,15	0,18	0,20	0,22

Середня висота підйому вантажу становить 0,5...0,8 номінальної висоти  $H=15$  м. Прийmemo  $H_{cp} = 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 15 = 12$  м.

Тоді час усталеного руху

$$t_y = \frac{H_{cp}}{v_r} = \frac{12}{0,22} = 54,5 \text{ с.} \quad (2.22)$$

Сума часу пуску при підйомі і опусканні вантажу за цикл робіт механізму

$$\sum t_{\pi} = 1,4 + 5 \cdot 0,42 + 1,029 + 3 \cdot 0,24 + 0,15 + 5 \cdot 0,18 + 1 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,22 = 6,42 \text{ с.} \quad (2.23)$$

Загальний час включення двигуна за цикл

$$\sum t = 2(1 + 5 + 1 + 3)t_y + \sum t_{\pi} = 2 \cdot 10 \cdot 54,5 + 6,42 = 1096,42 \text{ с.} \quad (2.24)$$

Середньоквадратичний момент

$$M_{cp} = \sqrt{\frac{M_{cp,n}^2 \sum t_{\pi} + \sum M_c^2 \cdot t_y}{\sum t}} = 60,1 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.25)$$

$$M_{cp} = \sqrt{\frac{163,4^2 \cdot 6,42 + \left( 135^2 + 5 \cdot 71,7^2 + 35,3^2 + 4 \cdot 11,5^2 \right) 54,5}{1096,42}} = 60,1 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Середньоквадратична потужність двигуна

					ЕП.ПД.19.22.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$P_{cp} = \frac{M_{cp} \cdot n}{9550} = \frac{60,1 \cdot 915}{9550} = 5,76 \text{ кВт.} \quad (2.26)$$

Отже, умова  $P_{cp} < P_n$  дотримується.

Момент статичного опору на валу двигуна при гальмуванні механізму

$$M_c^T = \frac{12\,386 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot 0,98 \cdot 0,85}{2 \cdot 32,42} = 95,47 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.27)$$

Необхідний по нормам Держгіртехнагляду момент, що розвивається гальмом, при  $k_T = 1,75$   $T_T = 95,47 \cdot 1,75 = 167 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Вибираємо гальмо ТКТ-300/200 з гальмівним моментом  $M_T = 240 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , діаметром шківів  $D_T = 300 \text{ мм}$ . Регулюванням можна отримати необхідний гальмівний момент  $M_T = 167 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Визначимо час гальмування при опусканні вантажу (при підйомі вантажу цей час буде менше, так як в цьому випадку момент від ваги вантажу і гальмівний момент діють в одному напрямку):

$$t_T = \frac{1,1 \cdot 0,35 \cdot 915}{9,55(167 - 95,47)} + \frac{9,55 \cdot 5000 \cdot 0,22^2 \cdot 0,85}{915(167 - 95,49)} = 0,54 \text{ с.} \quad (2.28)$$

Шлях гальмування механізму підйому вантажу

$$S = \frac{v_{\Gamma}^{\phi}}{1,7} = 0,13 \text{ м.} \quad (2.29)$$

Час гальмування в припущенні, що швидкості підйому і опускання вантажу однакові

					ЕП.ПД.19.22.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$t_T^{max} = \frac{S}{0,5 \cdot v_r^\phi} = \frac{0,13}{0,5 \cdot 0,22} = 1,18c > t_T = 0,54c. \quad (2.30)$$

Уповільнення при гальмуванні

$$a_T = \frac{v_r^\phi}{t_T} = \frac{0,22}{0,54} = 0,4 \text{ м/с}^2 \quad (2.31)$$

### 2.3 Вибір перетворювача

Перетворювальне пристрій виконує функції перетворення електроенергії живильної мережі до таких значень, які необхідні для нормальної роботи приводного двигуна, а також для регулювання швидкості роботи двигуна. Як відомо з усіх способів регулювання і зміни напрямку швидкості, використання перетворювача частоти з векторним керуванням є одним з найсучасніших способів створення швидкодіючого регульованого електроприводу змінного струму. Як перетворювального пристрою прийнятий перетворювач частоти, на базі автономного інвертора напруги на IGBT-транзисторах з векторним керуванням.

При виборі перетворювача частоти необхідно керуватися наступними вимогами:

- висока надійність при будь-яких режимах роботи;
- великий діапазон регулювання;
- простота системи управління;
- мінімально можлива вартість.

В якості перетворювача електроенергії вибираю перетворювач частоти ALTIVAR 71 французької фірми Schneider Electric.

Перетворювачі частоти Altivar 71 / ATV71 призначені для двигунів потужністю від 0,37 до 630 кВт з чотирма типами мережевого живлення:

- однофазне, 200 - 240 В, от 0,37 до 5,5 кВт

						ЕП.ПД.19.22.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			22

- трифазне, 200 - 240 В, от 0,37 до 75 кВт;
- трифазне, 380 - 480 В, от 0,75 до 500 кВт;
- трифазне, 500 - 690 В, от 1,5 до 630 кВт.

Дана серія перетворювачів частоти дозволяє управляти за допомогою алгоритму векторного керування потоком (CVF) асинхронними двигунами в розімкнутій і замкнутій системи регулювання швидкості і синхронними двигунами з синусоїдальною Е.Д.С. в розімкнутій системі.

При мережевому живленні а 200 - 240В і а 380 - 480В пропонується функціональна гамма частотних перетворювачів, що дозволяє управляти синхронними двигунами з синусоїдальною Е.Д.С. в замкнутій системі регулювання швидкості.

Вибір перетворювача частоти необхідно здійснювати відповідно до номінальної електричної потужності і номінального струму двигуна.

Розрахункова потужність перетворювача:

$$P = \frac{P_H}{\eta_d} = \frac{9}{0,79} = 11,39 \text{ кВт.} \quad (2.32)$$

Розрахунковий струм двигуна:

$$I_H = \frac{P_H}{3 \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{9}{3 \cdot 380 \cdot 0,81} = 9,74 \text{ А.} \quad (2.33)$$

За каталогом вибираємо перетворювач частоти «ATV71HD15N4».

Таблиця 2.3 – Номінальні дані перетворювача

Потужність перетворювача	Ном. напруга живлення	Частота живлення	Лінійний струм	Кількість фаз живлення	Ном. струм вихідний	Макс. перехідний струм
кВт	В	Гц	А	-	А	А
15	380...480	50...60	48	3	33	54,5

Даний перетворювач забезпечує наступні режими роботи та управління приводних машин і механізмів:

- плавний пуск;
- тривалу роботу в заданому діапазоні частот обертання і навантажень;
- гальмування і зупинку;
- захист електричного і механічного обладнання в аварійних і позаштатних режимах.

Ефективність застосування такого електроприводу обумовлена:

- високою якістю статичних і динамічних характеристик;
- високими енергетичними показниками;
- гнучкою налаштуванням робочих параметрів і режимів;
- розвиненим інтерфейсом і адаптивністю до різних зовнішніх систем управління і автоматизації;
- високою технагляду готовністю;
- простотою і зручністю управління і обслуговування.

Схема підключення перетворювача частоти Altivar71 та електродвигуна MTKF 211-6 представлена на Рис. 2.2:

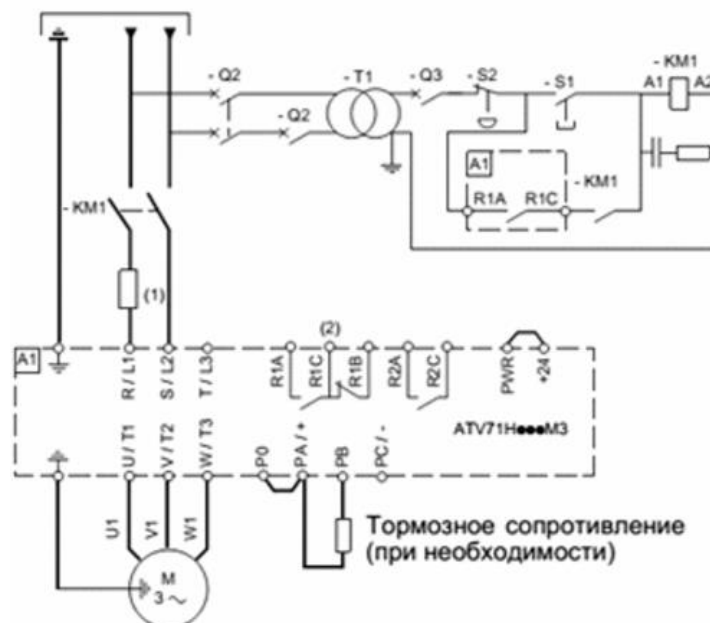


Рис.2.2 – Схема підключення перетворювача частоти та електродвигуна



### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

					ЕП.ПД.19.22.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

### 3.1 Загальні відомості про методи частотного управління

Відомі кілька методів частотного управління, які дозволяють вирішити різні завдання при регулюванні швидкості і зміни моменту, серед яких два основних - векторний і скалярний.

Кожен з них має свої характерні особливості, на яких слід зупинитися більш докладно. Особливість скалярного управління полягає в його поширеності, а область застосування пов'язана з приводами насосів і вентиляторів. Крім цього, частотні перетворювачі зі скалярним методом управління використовують там, де важливо підтримувати певний технологічний параметр. Їм може бути, наприклад, тиск у трубопроводі. Зміна амплітуди, а також частоти напруги живлення виступає в якості основного принципу, на якому ґрунтується даний метод. При цьому використовується закон  $U / f = \text{const}$ . Найбільший діапазон для регулювання швидкості складає 1:10. Додаткові особливості скалярного методу полягають у властивій йому легкості при реалізації. Існує також і недолік, який полягає в тому, що немає можливості точно регулювати швидкість обертання валу. Ще одна особливість - на валу двигуна частотний перетворювач зі скалярним керуванням не дає можливості контролювати момент.

Векторний метод управління синхронними і асинхронними двигунами забезпечує формування не тільки гармонійних струмів та напруги фаз, але і забезпечує управління магнітним потоком ротора або моментом на валу електродвигуна. Таке управління застосовується в разі, коли в процесі експлуатації навантаження може змінюватися на одній і тій же частоті, тобто немає чіткої залежності між моментом навантаження і швидкістю обертання, а також у випадках, коли необхідно отримати розширений діапазон регулювання частоти при номінальних моментах.

Системи векторного керування поділяються на два класи - без датчика і зі зворотним зв'язком. Застосування без датчика систем можливо, у випадках, коли швидкість змінюється не більше ніж 1: 100, а точність підтримки становить не більше ніж  $\pm 0,5\%$ . При вихідних аналогічних показниках і

					ЕП.ПД.19.22.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

діапазоні регулювання 1: 1000 і точності  $\pm 0,01\%$  прийнято використовувати системи зі зворотним зв'язком.

Стосовно завдання, що вирішується в проекті і обліку особливостей роботи механізму обраний векторний метод управління як найбільш придатний. Перевагами даного методу є швидкість реакції щодо зміни навантаження, а в області малих частот обертання двигуна характеризується плавністю, відсутністю ривків. Позитивною відмінністю векторного управління є забезпечення на валу двигуна при нульовій швидкості номінального моменту, а також регулювання швидкості з високою точністю.

### 3.2 Розрахунок параметрів векторної системи управління

Структурна схема векторної системи управління швидкості асинхронного двигуна в системі відліку, пов'язаної з вектором потокозчеплення ротора  $\Psi_2$  представлена на малюнках 3.1 і 3.2.

З рис.3.2 видно, що об'єкт управління характеризується наявністю нелінійних перехресних зв'язків.

Для їх компенсації в систему автоматичного регулювання вводяться нелінійні зв'язки, які відтворюють функціональні залежності, зворотні залежностям об'єкта управління каналами управління. Це забезпечує задані динамічні характеристики системи автоматичного регулювання, а в деяких випадках і її стійкість.

Силовий перетворювач представлений двома безперервними аперіодичними ланками в системі відліку, пов'язаної з вектором потокозчеплення ротора. Тому при моделюванні відсутня необхідність здійснювати пряме і зворотне перетворення координат, які в дійсності присутні в реальному електроприводі.

Наведені на рисунках змінні розраховуються виходячи з параметрів асинхронного двигуна наступним чином:

Розрахунок параметрів САР і моделювання проводимо у відносних одиницях.

					ЕП.ПД.19.22.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

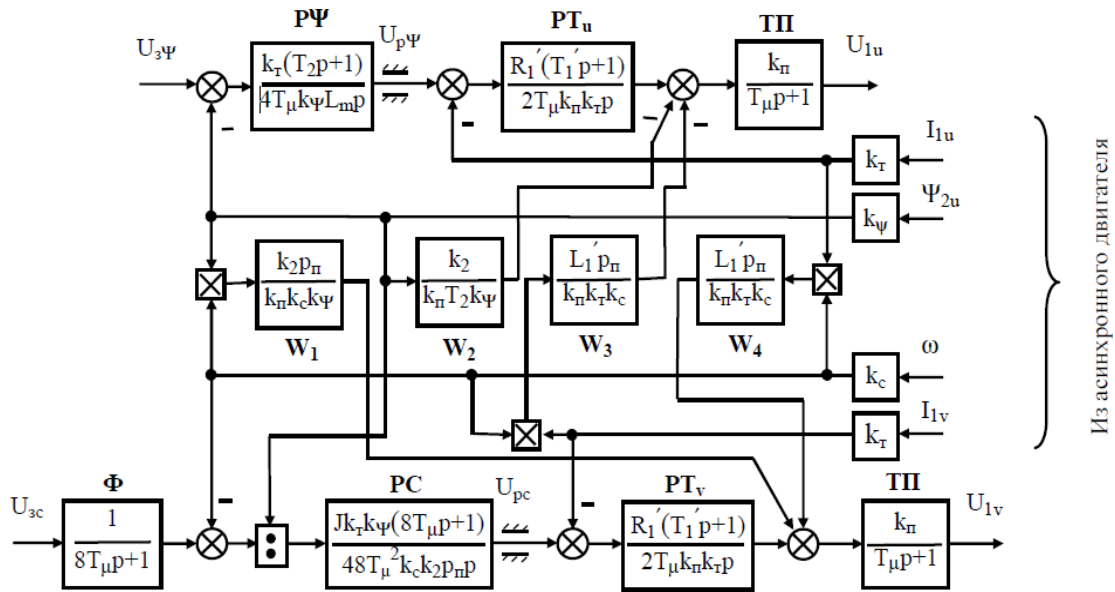


Рис.3.1– Структурна схема векторної системи керування швидкістю асинхронного двигуна

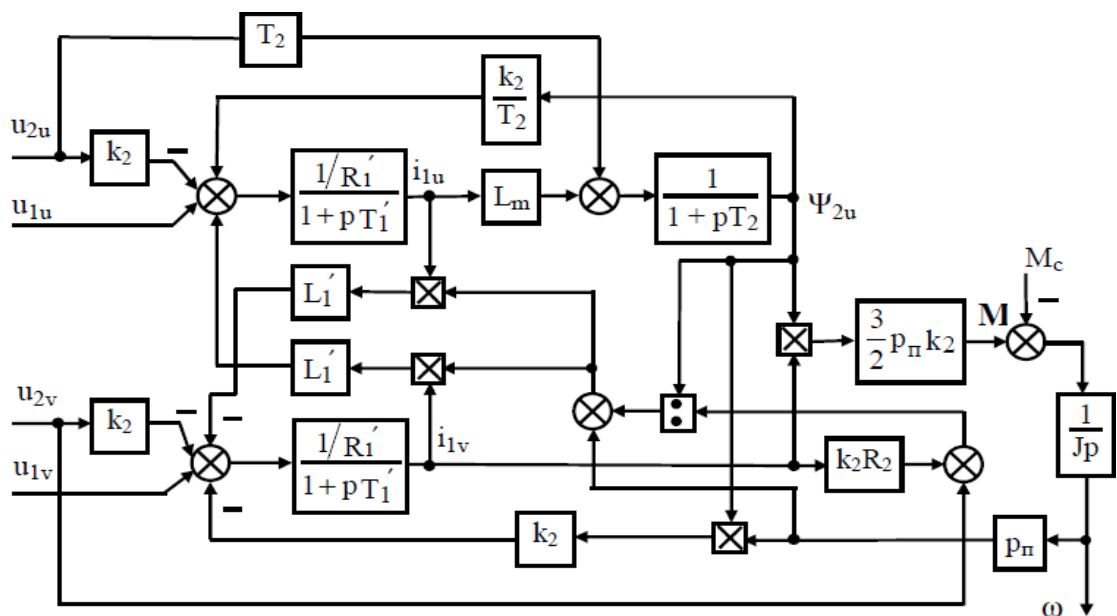


Рис.3.2 – Структурна схема АД в системі відліку, пов'язаної з вектором потокозчеплення ротора  $\Psi_2$

Параметри ланок, використовувані в моделі :

Базовий опір:

$$Z_b = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot I_r} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 30} = 7.313 \text{ Ом}$$

Опори в ланцюзі статора:

$$R_{1b} = R_1 \cdot Z_b = 0.755 \cdot 7.313 = 5.521 \text{ Ом}$$

$$X_{1b} = X_1 \cdot Z_b = 1.05 \cdot 7.313 = 7.679 \text{ Ом}$$

Опори в ланцюзі ротора:

$$R_{2b} = R_2 \cdot Z_b = 1.62 \cdot 7.313 = 11.847 \text{ Ом}$$

$$X_{2b} = X_2 \cdot Z_b = 1.02 \cdot 7.313 = 7.459 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму:

$$k_t = \frac{U_b}{2 \cdot I_r} = \frac{10}{60} = 0.167$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_c = \frac{U_b}{w_{drive}} = \frac{10}{87.92} = 0.114$$

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора:

$$k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0.187}{0.211} = 0.887$$

Постійна часу ротора:

					ЕП.ПД.19.22.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0.211}{1.62} = 0.13 \text{ c}$$

Номінальне потокозчеплення:

$$\psi_r = \frac{I_r}{I_r \cdot 1.5 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2 \cdot 2p} = \frac{30}{30 \cdot 1.5 \cdot \sqrt{2} \cdot 0.887 \cdot 3} = 0.089$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по потокозчепленню:

$$k_\psi = \frac{U_b}{\psi_r} = \frac{10}{0.089} = 112.922$$

Передаточна функція регулятора швидкості :

$$W_{sc} = \frac{J \cdot k_\psi \cdot k_t \cdot (8 \cdot T_\psi \cdot p + 1)}{48 \cdot T_\mu^2 \cdot k_c \cdot k_2 \cdot p_n}$$

Тоді пропорційна частина РШ :

$$W_{sc} \Pi(p) = \frac{J \cdot k_\psi \cdot k_t}{6 \cdot T_\mu^1 \cdot k_c \cdot k_2 \cdot p_n} = \frac{0.44 \cdot 112.922 \cdot 0.167}{6 \cdot 0.001 \cdot 0.114 \cdot 0.887 \cdot 6} = 2279.524$$

Інтегральна частина:

$$W_{sc} \text{И}(p) = \frac{J \cdot k_\psi \cdot k_t}{48 \cdot T_\mu^2 \cdot k_c \cdot k_2 \cdot p_n}$$

$$W_{sc} \text{И}(p) = \frac{0.44 \cdot 112.922 \cdot 0.167}{48 \cdot 0.000001 \cdot 0.114 \cdot 0.887 \cdot 6} = 284940,46$$

					ЕП.ПД.19.22.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Передаточна функція регулятора потокозчеплення

$$W_{p\psi}(p) = \frac{k_t \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_\mu^1 \cdot k_\psi \cdot L_m \cdot p_n}$$

Пропорційна частина регулятора потокозчеплення

$$W_{p\psi\Pi}(p) = \frac{k_t \cdot T_2}{4 \cdot T_\mu^1 \cdot k_\psi \cdot L_m} = \frac{0.167 \cdot 0.13}{4 \cdot 0.001 \cdot 112.922 \cdot 0.187} = 0.257$$

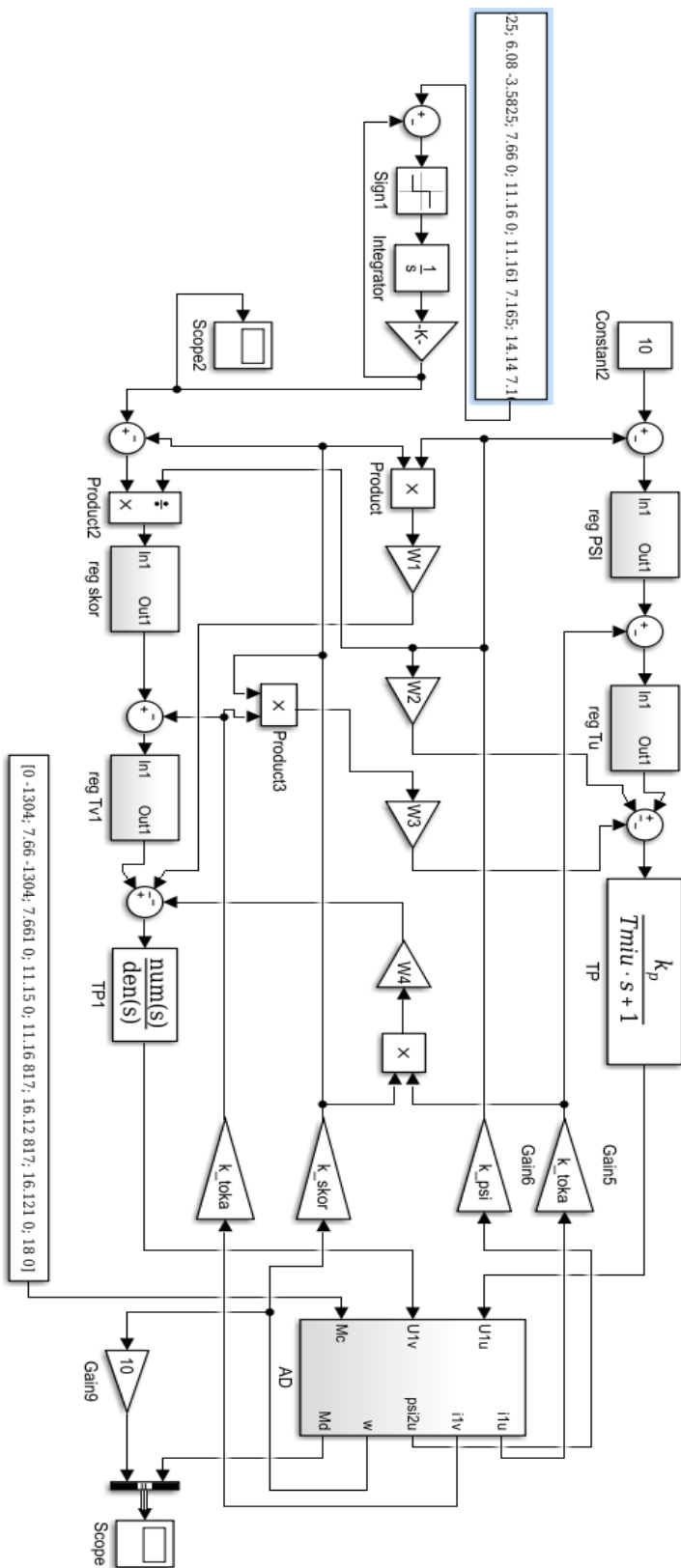
Інтегральна частина регулятора потокозчеплення

$$W_{p\psi\text{И}}(p) = \frac{k_t \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_\mu^1 \cdot k_\psi \cdot L_m} = \frac{0.026 \cdot (0.13 + 1)}{4 \cdot 0.001 \cdot 112.922 \cdot 0.187} = 0.515$$

### 3.3 Розробка моделі електроприводу і результати моделювання

					ЕП.ПД.19.22.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Рис. 3.3 – Модель електроприводу у середовищі MATLAB/Simulink



Модель асинхронного двигуна в Simulink представлена на Рис 3.4.



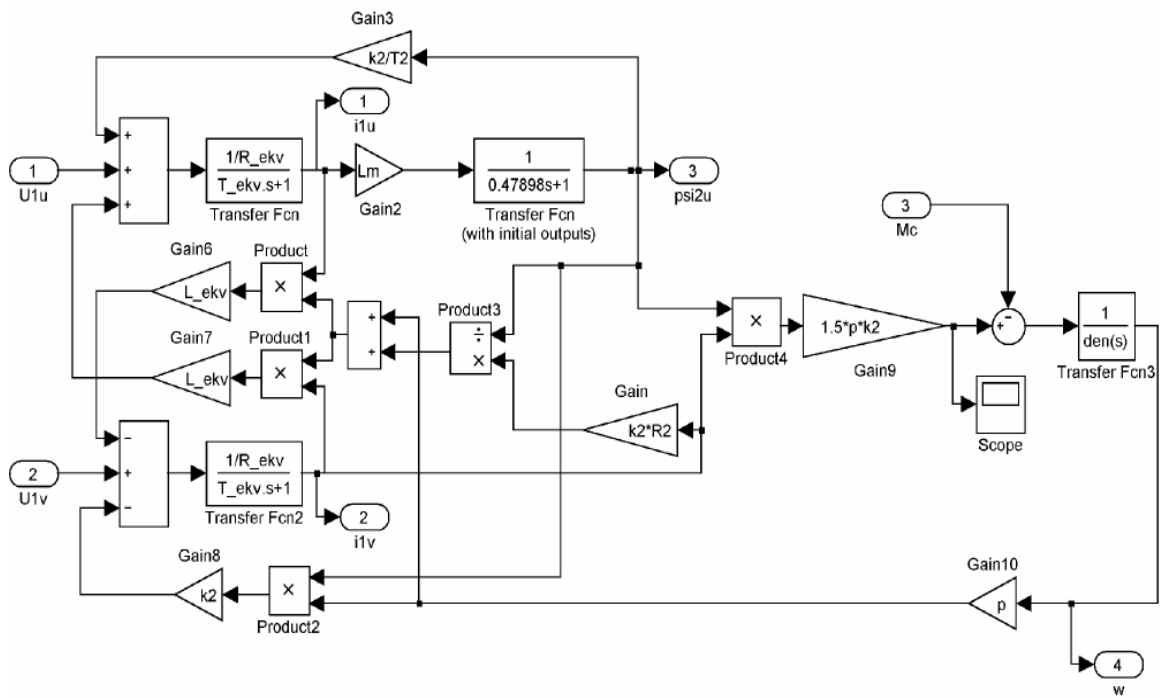


Рис.3.4 Модель асинхронного двигуна в Simulink

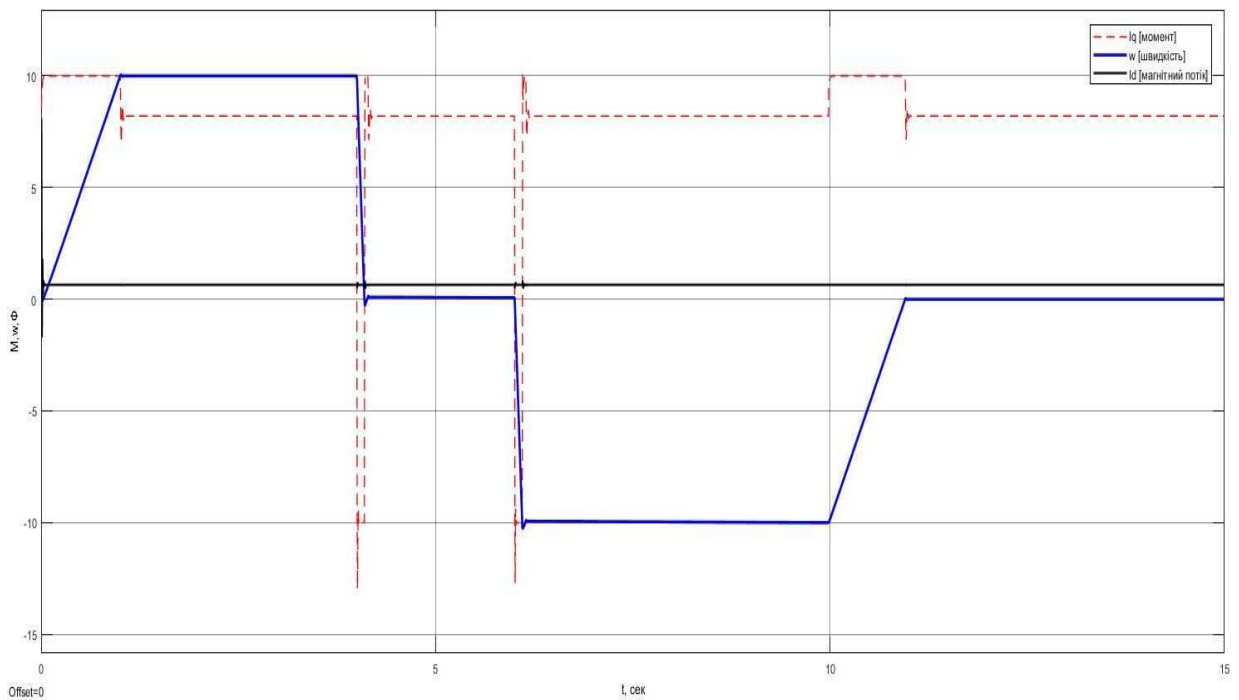


Рис. 3.5 – Графіки перехідних процесів

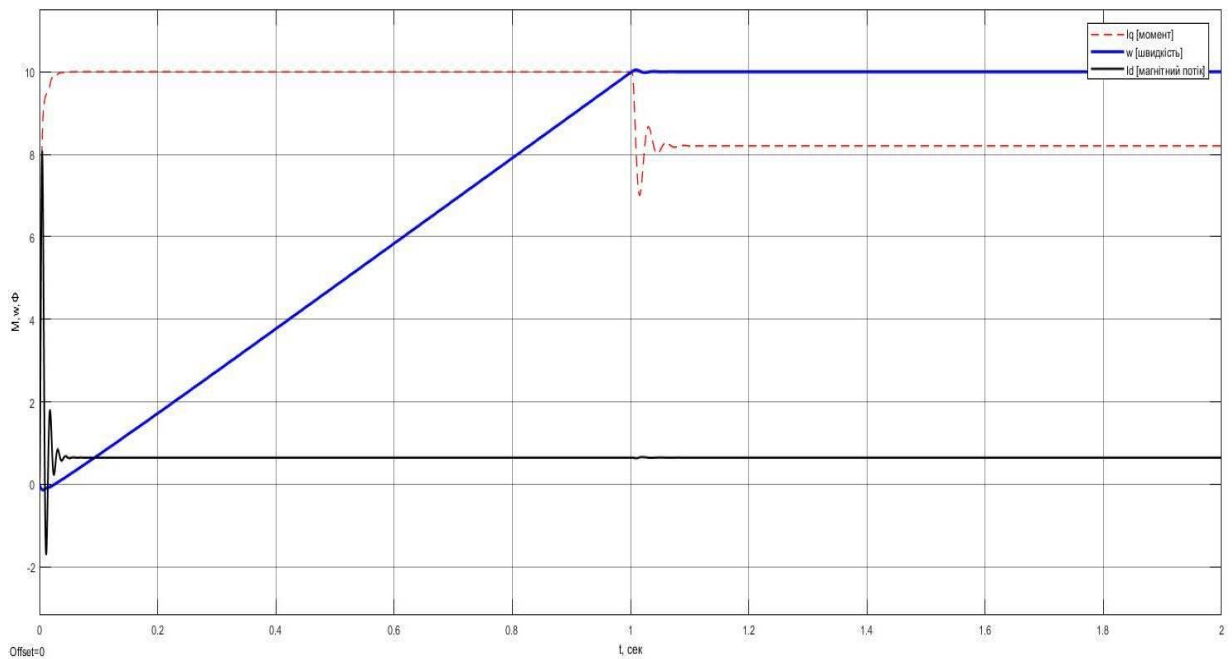


Рис. 3.6 – Графіки перехідних процесів при пуску двигун

Висновок:

Аналізуючи графіки перехідних процесів швидкості та моментів можна зробити наступні висновки:

Отримана система управління відповідає заявленим вимогам п.1.3. Діапазон регулювання задовольняє технологічної необхідності. Динаміка перехідних процесів відповідає необхідним.

В цілому результати моделювання підтверджують працездатність спроектованої системи електроприводу.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

					ЕП.ПД.19.22.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

#### 4.1 Заходи з техніки безпеки при експлуатації та ремонті електроустаткування крана

Для забезпечення електробезпеки потрібно застосовувати окремо або в поєднанні такі технічні способи та засоби:

- а) захисне заземлення;
- б) занулення;
- в) малу напругу (до 36 В);
- г) захисне відключення;
- д) ізоляцію струмовідучих частин;
- е) огорожувальні пристрої;
- ж) попереджувальну сигналізацію;
- з) блокування, знаки безпеки; засоби захисту і запобіжні пристосування.

До роботи з електроустановками допускаються особи, не мають медичних протипоказань та пройшли інструктаж, навчання безпечним методам праці і перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади.

Проводити роботи з струмоведучими частинами, які знаходяться під напругою та поблизу них повинні не менш ніж двоє працюючих.

Електромонтери, електрослюсарі та інші особи, що проводять ремонт, налагодження та випробування електрообладнання, електропроводки та допоміжних пристроїв мостових кранів, повинні мати кваліфікаційну групу ІІІ.

Основні заходи з електробезпеки спрямовані на те, щоб повністю виключити електротравми. Це досягається таким пристроєм електроустановки, при якому її струмоведучі частини недоступні для випадкового дотику завдяки їх огороженню, розташуванню на недоступній висоті, блокуваннях і т. д.

Важливим заходом, що забезпечує електробезпеку обслуговуючого персоналу, є захисне заземлення або занулення металевих неструмоведучих

					ЕП.ПД.19.22.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

частин електрообладнання. Відповідно до Правил устрою електроустановок захисним заземленням, виконуваних для забезпечення електробезпеки, називається навмисне металеве з'єднання із заземлюючим пристроєм елементів електроустановок, що нормально не знаходяться під напругою. Занулення в електроустановках і мережах напругою до 1000 В — це навмисне електричне з'єднання металевих елементів установки, нормально ізольовані від частин, що знаходяться під напругою (корпуси електроустаткування, сталеві труби електропроводок та ін.), з глухозаземленою нейтралю генератора або трансформатора в мережах змінного струму, а також з глухозаземленої середньою точкою в трипровідних мережах постійного струму з нульовим проводом.

Захисне заземлення при пошкодженні ізоляції і переході напруги на частини металевої конструкції електроустановки автоматично відключає пошкоджене електрообладнання або знижує напругу на частинах конструкції до безпечного значення.

Заземлення металоконструкцій мостових кранів і встановленого на них електроустаткування можна виконувати через підкранові шляхи. Заземлення візків на кранах забезпечується контактом через рейки і ходові колеса. Приєднання заземлюючого проводу до рейковим шляхам крана повинно виконуватися за допомогою зварювання, а приєднання до корпусів електродвигунів, апаратів і т. п. — болтовими з'єднаннями, які забезпечують надійність контакту (контргайки, контрлящіе шайби).

Індивідуальні захисні засоби (ізоляційні килимки, рукавички, калоші, штанги) та застосування струму напругою 12 В для переносних ламп забезпечують безпеку роботи з електроустановками.

Під час огляду і чищення резисторів їх слід знеструмити. Так як в більшості випадків резистори поставляються і монтуються відкритими, тобто що знаходяться під напругою. Температура елементів резистора при роботі настільки висока, що дотик до їх поверхні може викликати сильний опік. Знеструмити можна тільки відключенням головного рубильника. Постанова

					ЕП.ПД.19.22.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

контролера в нульове положення не є надійним засобом відключення, так як частина проводів може виявитися невідключеною.

При ремонті двигуна він повинен бути відключений всіма наявними в його ланцюзі апаратами (рубильниками, магнітним пускачем, контролером) і запобіжники повинні бути зняті. Якщо двигун, знімається для ремонту, то кінці від'єднаних кабелів слід заізолювати. На що включають пристроях вивішуються попереджувальні плакати і приймаються заходи, попереджуючі помилкове включення

#### 4.2 Заходи з протипожежної безпеки

У виробничих умовах, а також при виконанні ремонтно-монтажних робіт при порушенні протипожежних заходів не виключено виникнення вогнищ загоряння, які можуть перетворитися на пожежу.

На пожежо - і вибухонебезпечних ділянках підприємства вивішується попереджувальний плакат «Курити забороняється». Паління дозволяється тільки в спеціально відведених місцях, де є урни або бочки з водою для недопалків. У цих місцях встановлюють напис «Місце для куріння». На багатьох передових підприємствах взяли більш рішучі заходи. Перед входом встановили плакат «На території заводу палити заборонено».

Пожежа на крані особливо небезпечний: немає шляху для відступу при розвитку пожежі, і допомога важко чинити з-за великої висоти крана. Пожежі на кранах іноді виникають внаслідок несправностей електрообладнання.

Для гасіння пожежі на крані застосовують сухий вогнегасник типу ОУ-2, з сталевим балон з вуглекислим газом, стиснутим до 17 МПа.

Крім вогнегасників типу ОУ-2 можна застосовувати вогнегасники ОУ-5 та ОУ-8 з місткістю балона 5 і 8 л, які за конструкцією і принципом дії не відрізняються від ОУ-2.

Застосовувати пінні рідинні вогнегасники на кранах неприпустимо, тому що струмінь піни проводить струм і може викликати ураження електричним струмом людини, що працює з вогнегасником. Крім того, піна

					ЕП.ПД.19.22.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

містить їдкі речовини і при попаданні на працюючих може призвести до опіків шкіри і псування одягу.

При будь-якому заpalенні на крані треба негайно вимкнути головний рубильник і приступити до гасіння вогню.

### 4.3 Розрахування заземлення електроустановки

Заземлення - це навмисне електричне з'єднання з землею, або її еквівалентом, металевих неструмоведучих частин електроустановок, які можуть опинитися під напругою у зв'язку з пробоем ізоляції на корпус.

Згідно ПУЕ, для забезпечення електробезпеки, всі металеві частини електрообладнання, по яких не повинен проходити струм повинні бути заземлені.

4.2.1 Визначаю струм замикання на землю;

$$I_3 = \frac{3 \cdot U_{\phi}}{350} (3,5 I_{\text{к.л.}} + I_{\text{в.л.}}), \text{ А} \quad (4.1)$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга мережі  $U_{\phi}=380\text{В}$ , кВ;  $I_{\text{к.л.}}$  – довжина електрично зв'язаних кабельних ліній,  $I_{\text{к.л.}}=4,2$  км;  $I_{\text{в.л.}}$  – довжина електрично зв'язаних повітряних ліній,  $I_{\text{в.л.}}=12$  км.

$$I_3 = \frac{3 \cdot 380}{350} (3,5 \cdot 4,2 + 12) = 50,2, \text{ А}$$

4.2.2 Визначаю значення опору заземлення  $R_3$ . За ПУЕ визначається в залежності від напруги,  $660\text{В} > U > 380\text{В}$ ,  $R_3 = 4$  Ом.

Опір природного заземлювача  $R_{\text{п}} = 17,5$  Ом.

4.2.3 Визначається необхідний опір штучних заземлювачів;

$$R_{\text{и}} = \frac{R_{\text{п}} \cdot R_{\text{пуз}}}{R_{\text{п}} - R_{\text{пуз}}}, \quad (4.2)$$

					ЕП.ПД.19.22.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$R_{и} = \frac{R_{п} \cdot R_{пуэ}}{R_{п} - R_{пуэ}} = \frac{17,5 \cdot 4}{17,5 - 4} = 5,18 \text{ Ом}$$

4.2.4 Вибираю виносний тип заземлюючого пристрою, на підставі даних про об'єкт, що захищається, і значень  $R_{и}$ ,  $\rho$ .

4.2.5. Вибираю стрижневі електроди і попередньо розміщують їх на плані об'єкта, що захищається.

Як вертикальні заземлювачі варто використовувати сталеві стрижні діаметром 35 мм, довжиною 3 м. Верхній кінець вертикального заземлювача повинен бути занурений на 0,7 м від поверхні землі. Як горизонтальні заземлювачі варто використовувати круглу сталь діаметром 10 мм.

4.2.6 Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту для однорідного ґрунту;

$$\rho_{роз} = \rho_{вим} \cdot \Psi, \text{ Ом}\cdot\text{м} \quad (4.3)$$

де  $\rho_{вим}$  - питомий опір ґрунту,  $\rho_{вим} = 1,5 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;

$\Psi$  - кліматичний коефіцієнт,  $\Psi = 1,5$ .

$$\rho_{роз} = 150 \cdot 1,5 = 225, \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

4.2.7 Визначаю опір одиночного вертикального заземлювача;

$$R_{в} = \frac{\rho_{роз}}{2\pi l} \cdot \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0+1}{5t_0-1} \right), \text{ Ом} \quad (4.4)$$

де  $t_0 = 0,7 \text{ м}$  – мінімальна відстань від землі до вертикального електрода;

$l$  – довжина вертикального заземлювача,  $l = 3 \text{ м}$ ;

$d$  – діаметр вертикального заземлювача,  $d = 0,035 \text{ м}$ .

$$R_{в} = \frac{225}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,035} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,7 + 1}{5 \cdot 0,7 - 1} \right) = 63,93, \text{ Ом}$$

					ЕП.ПД.19.22.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Визначаємо опір горизонтального електрода;

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{роз}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{d \cdot t}, \text{ Ом} \quad (4.4)$$

де  $t=0.7$  м – мінімальна відстань від землі до вертикального електрода;

$l$  – довжина горизонтального заземлювача,  $l = 25$  м;

$d$  – діаметр горизонтального заземлювача,  $d = 0.035$  м.

$$R_{\Gamma} = \frac{225}{2 \cdot 3,14 \cdot 25} \cdot \ln \frac{25^2}{0,035 \cdot 0,7} = 9,73 \text{ Ом}$$

Тоді розрахунковий опір заземлювача буде визначений за формулою;

$$R = \frac{R_{\text{в}} R_{\Gamma}}{R_{\text{в}} \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \eta_{\text{в}} \cdot n}, \text{ Ом} \quad (4.5)$$

де  $\eta_{\Gamma} = 0.75$  – коефіцієнт використання горизонтального смугового електрода;

$\eta_{\text{в}} = 0.74$  – коефіцієнт використання вертикального смугового електрода;

$n = 10$  – кількість вертикальних заземлювачів.

$$R = \frac{63,93 \cdot 9,73}{63,93 \cdot 0,75 + 9,73 \cdot 0,74 \cdot 10} = 5,18 \text{ Ом}$$

Отримане значення опору порівнюється з необхідним опором штучного заземлювача, визначеним за формулою (4.2). Значення майже збігаються, що є задовільним результатом розрахунків.

					ЕП.ПД.19.22.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

## 5. Техніко-економічне обґрунтування

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		42

## 5.1 Вступ

Метою даного розділу дипломного проекту є розрахунок економічних показників технічного рішення щодо модернізації електропривода головного підйому мостового крану. Суть технічного рішення полягає у впровадженні перетворювача частоти замість релейно-контакторної системи регулювання. Впровадження частотного регулювання електроприводів (ЧРП) дозволяє:

- підвищити надійність роботи систем
- автоматизувати виробництво

Застосування пристроїв плавного регулювання частоти обертання двигунів дає ряд додаткових переваг, а саме:

- плавний пуск і зупинку двигуна виключає шкідливу дію перехідних процесів в технологічному устаткуванні
- пуск двигуна здійснюється при струмах, обмежених на рівні номінального значення, що підвищує довговічність двигуна та знижує вимоги до потужності живлячої мережі.
- можлива модернізація діючих технологічних агрегатів без заміни основного устаткування і практично без перерв в його роботі.

Для обґрунтування економічної доцільності пропонованого в дипломному проекті обладнання необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розрахунок капітальних інвестицій
2. Розрахунок експлуатаційних витрат
3. Розрахунок і аналіз показників економічної ефективності

## 5.2 Розрахунок капітальних інвестицій

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати визначаються за формулою;

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$K_{\Pi} = K_{об} + Z_{тзс} + Z_{м(н)}, \text{ грн} \quad (5.1)$$

де  $K_{об}$  – витрати на придбання обладнання, грн;

$Z_{тзс}$  – витрати пов'язані з транспортно-заготівельними роботами, грн;

$Z_{м(н)}$  – витрати на монтаж та наладку обладнання, грн;

Транспортно-заготівельні і складські витрати розраховуємо згідно цін кур'єрської фірми «DeGruz». Всі ціни на доставку обладнання були вираховані на сайті – <https://degruz.com>

Доставка зі складу в Києві до Дніпра складає:

Для електродвигуна ціна за доставку буде становити  $Z_{тздв} = 1620$ , грн.

Для частотного перетворювача ціна за доставку буде становити  $Z_{тзспч} = 840$ , грн.

Для редуктора ціна за доставку буде становити  $Z_{тзср} = 830$ , грн.

Отже, витрати пов'язані з транспортно-заготівельними роботами будуть становити;

$$Z_{тзс} = Z_{тздв} + Z_{тзспч} + Z_{тзср}, \text{ грн} \quad (5.2)$$

$$Z_{тзс} = 1620 + 840 + 830 = 3290, \text{ грн}$$

Витрати на монтаж та наладку обладнання визначаються за формулою;

$$Z_{м(н)} = T_{ч} \cdot t_{м} \cdot Ч_{п}, \text{ грн} \quad (5.3)$$

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		



Повні капітальні витрати становлять:

$$K_{\pi} = 81988 + 1260 + 3290 = 86538, \text{ грн}$$

### 5.3. Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за визначений період (наприклад, рік), що виражені у грошовій формі.

Річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування знаходяться по формулі:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_{\text{пр}} + C_e + C_{\text{ін}}, \text{ грн} \quad (5.4)$$

де  $C_a$  – амортизаційні відрахування, грн.

$C_z$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.

$C_c$  - Єдиний соціальний внесок, грн.

$C_{\text{пр}}$  - Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж, грн.

$C_e$  - Вартість втрат електроенергії, грн.

$C_{\text{ін}}$  - Інші витрати, грн.

#### 5.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Для того, щоб знайти амортизаційні відрахування, нам спочатку потрібно знайти амортизаційну вартість, яка знаходиться за формулою:

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Phi_a = \Phi_{\pi} - Л, \text{ грн} \quad (5.5)$$

де  $\Phi_{\pi}$  – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів,  $Л=0$ .

Далі знаходимо норму амортизації, норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$На = \frac{\Phi_{\pi} - Л}{\Phi_{\pi} \cdot T_{\pi}} \cdot 100, \% \quad (5.6)$$

де  $T_{\pi}$  – термін корисного використання (амортизаційний період), для вибраного обладнання  $T_{\pi}=5$  років.

Після чого визначаємо річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$АО = \frac{\Phi_{\pi} \cdot На}{100}, \text{ грн} \quad (5.7)$$

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається для проектного варіанту, що розраховується в даному дипломному проекті та для базового, взятого на основі цього самого обладнання, але до впровадження засобів автоматизації, тобто не враховуємо ціну перетворювача частоти та редуктора. Розрахункові дані заносимо до таблиці 5.2 .

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо амортизаційну вартість для проектного та базового варіантів;

$$\Phi_{\text{ап}} = 86538 - 0 = 84823, \text{ грн}$$

$$\Phi_{\text{аб}} = 25800 - 0 = 25800, \text{ грн}$$

Знаходимо норму амортизації для проектного та базового варіантів;

$$\text{Нап} = \frac{86538 - 0}{86538 \cdot 5} \cdot 100 = 20, \%$$

$$\text{Наб} = \frac{25800 - 0}{25800 \cdot 5} \cdot 100 = 20, \%$$

Визначаємо амортизаційні відрахування АО для проектного та базового варіантів;

$$\text{АОп} = \frac{86538 \cdot 20}{100} = 17307,60, \text{ грн}$$

$$\text{АОб} = \frac{25800 \cdot 20}{100} = 5160, \text{ грн}$$

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		



Таблиця 5.2 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування	Капітальні інвестиції, тис. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн.
Проектний варіант	84,8	20	17,3
Базовий варіант	25,8	20	5,1

### 5.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Основна заробітна плата працівників – це винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки).

Фонд заробітної плати буде однаковий, як за проєктованими даними так і за базовими, тому фонд заробітної плати не визначається.

### 5.3.3 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок визначається на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати, так як заробітна плата не розраховувалась – то і єдиний соціальний внесок також не визначається.

### 5.3.4. Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування і мереж включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтникам і визначаються за фактичними даними підприємства або укрупнено у відсотках до капітальних витрат :

- для підстанцій (у тому числі електроустаткування) – 1%.

Отже, річні витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування становлять (грн);

$$C_{\text{пр}} = K_{\text{п}} \cdot 0.01, \text{ грн} \quad (5.14)$$

$$C_{\text{пр.п}} = 86538 \cdot 0.01 = 865,38, \text{ грн}$$

Так як після впровадження засобів автоматизації, для роботи електропривода були створені більш комфортні умови, то і витрати на обслуговування і поточний ремонт будуть нижчими приблизно на 60% від витрат за базовими даними. Витрати за базовими даними будуть:

$$C_{\text{пр.б}} = 865,38 + 519,22 = 1384,60, \text{ грн}$$

### 5.3.5 Розрахунок вартості втрат електроенергії

Вартість витрат електроенергії об'єктом проектування протягом року визначається за формулою (грн):

$$C_{\text{е.пр}} = W_{\text{р.пр}} \cdot C_{\text{е}} = 8064 \cdot 1.68 = 13547,52, \text{ грн} \quad (5.15)$$

$$C_{\text{е.баз}} = W_{\text{р.баз}} \cdot C_{\text{е}} = 17280 \cdot 1.68 = 29030,40, \text{ грн}$$

де  $W_{\text{р}}$  – річні втрати електроенергії, кВт·годин;

$C_{\text{е}}$  – тариф на електроенергію, грн./кВт·годин.

Ціна електроенергії для I класу споживачів станом на 20.05.2019 складає 1.68 грн / кВт · год

Річні втрати електроенергії  $W_{\text{р}}$ , (кВт·годин) визначаються по формулі:

$$W_{\text{р.пр.}} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 4,2 = 8064 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (5.16)$$

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{p.баз.} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 9 = 17280 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де  $t_d = 20$ - кількість робочих днів в місяць.

$t_h = 8$ - кількість робочих годин в зміну.

$t_n = 12$ - кількість місяців на рік.

$P_n$  - потужність електродвигуна.

#### 5.2.6. Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати на охорону праці, на спецодяг тощо. Відповідно до практики ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

Так як фонд заробітної плати не розраховується – то і інші витрати не визначаються.

Після розрахунку всіх складових експлуатаційних витрат ми можемо визначити річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування та за базовими даними:

$$C_{пр.} = 17307,6 + 865,38 + 13547,52 = 31720,50, \text{ грн}$$

$$C_б. = 5160 + 1384,6 + 29030,40 = 35575 \text{ грн}$$

Повна річна економія від впровадження варіанту визначається:

$$\mathcal{E} = \Delta П + \Delta C = 13869 + 3854,5 = 17723,5 \text{ грн} \quad (5.17)$$

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		51

де  $\Delta\Pi$  - повний річний прибуток.

$\Delta C$  - економія (перевитрата) на експлуатаційних витратах, знаходиться за формулою.

$$\Delta C = C_{\sigma} - C_{np} = 35572 - 31720,5 = 3854,5 \text{ грн.} \quad (5.18)$$

### 5.3. Визначення річної економії від впровадження об'єкту проектування.

Оцінка економічної ефективності що розглядаються в дипломному проекті технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення і аналізу наступних показників :

- а) Розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат  $E_p$ ;
- б) Терміну окупності капітальних витрат  $T_p$ ;

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат  $E_p$  показує, скільки гривень додаткового прибутку приносить одна гривна капітальних витрат :

$$E_p = \frac{\mathcal{E}}{Kn} \quad (5.19)$$

$$E_p = \frac{17723,5}{86538} = 0,204$$

де  $\mathcal{E}$  - загальна річна економія від впровадження об'єкту проектування, тисяч грн.;

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$  показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження варіанту :

$$T_p = \frac{K}{\mathcal{E}} = \frac{86538}{17723,5} = 4,8 \text{ роки} \quad (5.20)$$

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

Проект капітальних вкладень визнається доцільним за умови

$$E_p > E_k$$

Визначаємо нормативне значення коефіцієнта ефективності виходячи з прийнятної для підприємства індивідуальної норми прибутковості :

$$E_n = 1/T_{оч}$$

$$E_n = 1/5 = 0,2$$

де  $T_{оч} = 5$  - очікуваний, прийнятний для підприємства термін окупності капітальних вкладень, років.

При цьому варіант визнається економічно доцільним за умови

$$E_p > 1/T_{оч}$$

$$0,204 > 0,2$$

Результати техніко-економічного обґрунтування ефективності впровадження результатів дипломного проекту оформляю у вигляді таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Порівняльна оцінка техніко-економічних показників

№ п/п	Найменування	Од. виміру	Базовий варіант	Проектний варіант	Зміна в порівнянні з базовим варіантом, грн
1	Капітальні витрати	грн.	25800	86538	-60738
2	Експлуатаційні витрати	грн.	35575	31720,50	3854,5
3	Річна економія	грн.		3854,5	
4	Розрахунковий коефіцієнт	од.		0,204	
5	Термін окупності	років		4,8	
6	Економія електроенергії	кВт·год	29030,40	13547,52	15482,88

### **Висновок:**

Річна економія від модернізації пропонованого устаткування складає 3854,5 гривень, розрахунковий коефіцієнт ефективності складає 0,204 і розрахунковий термін окупності капітальних вкладень складає 4,8 року.

Не зважаючи на те, що при впровадженні прийнятих технічних даних, щодо автоматизації об'єкта, ми витратили значно більше коштів на електричне обладнання, ми можемо спостерігати значну економію споживання електроенергії та зниження витрат на поточний ремонт та технічне обслуговування об'єкта, чого ми і хотіли досягти.

### **ВИСНОВКИ**

У дипломному проекті було розраховано автоматизований електропривод, а саме: обрано відповідний вимогам двигун та перетворювач частоти.

У проекті була розрахована система автоматичного керування. На базі цих розрахунків створена модель електропривода, з якої зняті характеристики перехідних процесів.

У відповідному розділі розглянуті питання щодо охорони праці, прийняті рішення щодо усунення небезпечних факторів.

У розділі економіки шляхом розрахунків встановлена доцільність обраної техніки.

Аналізуючи все вищезазначене можна сказати, що в дипломі була доведена доцільність використання розглянутої системи автоматичного керування.

					ЕП.ПД.19.22.05.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		54

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Розрахунки вантажопідіймальних і транспортних машин. Іванченко Ф. К., Бондарєв В. С., Колесник Н. П., Барабанов В. Я. 1978 р
2. Вешевській С.Н. Характеристики двигунів в електроприводі. М.: Енергія, 1977. - 432 с.
3. Зирянова, О. Б. Розрахунки механізмів кранів для лісових вантажів, навчальний посібник А. Б. Зирянова, О. Г. Кучумів, Е. Н. Корепанова. Урал. держ. лесотехн. ун-т. - Єкатеринбург: УГЛТУ, 2009. - 120 с.: іл.
4. Колб А.А., Колб А.А. Теорія електропривода: Навч. посібник. Д.: НГУ. - 2006.
5. ATV71 Керівництво по установці 55-630 кВт V3
6. Технічна колекція Schneider Electric. Випуск № 12. Проектування електроприводів кранових механізмів.
7. Охорона праці в Галузі електротехніки та електромеханіки: навч. посібник / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін; за ред. В.І. Голінька. Д.: Національний гірничий університет, 2011. - 235 с.
8. Методичні вказівки до Виконання курсового проекту з нормативної дисципліни «Теорія електропривода» для студентів напрямку 0922 "Електромеханіка" / Упорядник О. А. Колб - Дніпропетровськ: НГУ, 2010. - 35 с.
9. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломної роботи для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» / Укладачі: Л.В. Тимошенко, І.В. Шереметьєва - Дніпропетровськ: НГУ, 2015. - 15 с.
10. Іванов-Смоленський А.В. Електричні машини / Іванов-Смоленський А.В. У 2 т. - М.: МЕІ. - 2006. - Т.2. - 543 с.

					ЕП.ПД.19.22.П.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		55