

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 бакалавра

Студента Горбатова Дмитра Олександровича
академічної групи 141-16СК-3

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
спеціалізації Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

на тему «Автоматизований електропривод підйомного механізму мостового крану»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Колб А.А.			
розділів:				
Спеціальний 1-3	Колб А.А.			
Економічний				
Охорона праці	Лутс			
Рецензент	Ципленков			
Нормоконтролер	Козачковський			

Дніпро
2019

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
електропривода
(повна назва)

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

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

Студент Горбатов Дмитро Олександрович академічної групи 141-16-СК-3
(прізвище та ініціали) (шифр)
спеціальності _____

спеціалізації _____
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему «Автоматизований електропривод підйомного механізму мостового крану»
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
1. Технологічна частина	1.1 Опис технологічного процесу, призначення механізму 1.2 Технічна характеристика, пристрій і режим роботи 1.3 Технологічні вимоги, що пред'являються до приводу	
2. Автоматизований електропривод	2.1 Розрахунок потужності, вибір двигуна по каталогу і його перевірка на нагрів 2.2 Вибір частотного перетворювача	
3. Дослідження динаміки електропривода	3.1 Модель асинхронного двигуна орієнтована по вектору напруги статора 3.1 Моделювання системи ПЧ-АД в середі MatLab / Simulink, и дослідження перехідних процесів при відрізку діаграми навантаження	
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	4.1 Заходи з техніки безпеки при експлуатації та ремонті електроустаткування крана 4.2 Заходи з протипожежної безпеки при ремонті крана 4.3 Розрахункова заземлення електроустановки	
5. Техніко-економічне обґрунтування проекту	5.1 Вступ до розділу 5.2 Розрахунок капітальних витрат 5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат 5.4 Визначення річної економії від впровадження проекту 5.5 Визначення і аналіз показників економ. ефективності проекту	

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: __ стор. __ рис., __ табл., __ джерел, __ додатків.

Мета роботи: модернізація електропривода головного підйому мостового крану.

У розділі 1 приведено: технологічний процес, принцип роботи, конструкцію мостового крану, сформовані вимоги до електроприводу підйому.

У розділі 2 виконано розрахунок параметрів для вибору двигуна та частотного перетворювача, підбрано необхідні компоненти для реалізації проекту та виконано їх опис.

У розділі 3 методом математичного моделювання в середовищі Simulink виконано моделювання асинхронного двигуна орієнтованого за вектором напруги статора, та відпрацьовано навантажувальну діаграму привода.

У розділі охорони праці виконано аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі з краном, приведені методи їх усунення, виконано розрахунок штучного освітлення цеху.

У економічному розділі виконано розрахунок капітальних та експлуатаційних затрат для модернізації електроприводу підйому.

**МОСТОВИЙ КРАН, ЧАСТОТНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД,
НАВАНТАЖУВАЛЬНА ДІАГРАМА ПЛК.**

					ЕП.ПД.19.15.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: _ стр. __ рис., _ табл., __ источников, _ приложение.

Цель работы: модернизация электропривода главного подъема мостового крана.

В разделе 1 приведены технологический процесс, принцип работы, конструкцию мостового крана, сформированы требования к электроприводу подъема.

В разделе 2 выполнен расчет параметров для выбора двигателя и частотного преобразователя, подобрано необходимые компоненты для реализации проекта и выполнено их описание.

В разделе 4 методом математического моделирования в среде Simulink выполнено моделирование асинхронного двигателя ориентированного по вектору напряжения статора, и отработано нагрузочную диаграмму привода.

В разделе охраны труда выполнен анализ вредных и опасных факторов при работе с краном, приведены методы их устранения, произведен расчет искусственного освещения цеха.

В экономическом разделе выполнен расчет капитальных и эксплуатационных затрат для модернизации электропривода подъема.

**МОСТОВОЙ КРАН, ЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД,
НАГРУЗОЧНАЯ ДИАГРАММА, ПЛК.**

					ЕП.ПД.19.15.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Explanatory note: __ p. __ fig., __ tab., __ sources, __ app.

Objective: upgrading the electric main hoist overhead crane.

Section 1 summarizes the process, operating principles, structure of the bridge crane, formed requirements to the motor lift.

In Section 2 we calculated the parameters for selecting the motor and the inverter, select the required components for the project and carried out their descriptions.

In Section 4, the method of mathematical modeling in Simulink modeled induction motor based on a vector of the stator voltage, and worked out the load chart drive.

Under the analysis of occupational safety and health hazards and injuries when working with the crane, are the methods of their elimination, calculated the artificial lighting shop.

In the economic section, calculated the capital and operating costs for the modernization of the electric lift.

BRIDGE CRANE, FREQUENCY ELECTRIC DRIVE, LOAD CHART, PLC.

					ЕП.ПД.19.15.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Введення.....	6
1. Технологічна частина	
1.1 Опис технологічного процесу, призначення механізму.....	7
1.2 Технічна характеристика, пристрій і режим роботи.....	11
1.3 Технологічні вимоги, що пред'являються до приводу.....	15
2. Автоматизований електропривод	
2.1 Розрахунок потужності, вибір двигуна по каталогу і його перевірка на нагрів...17	
2.2 Вибір частотного перетворювача.....	34
3. Дослідження динаміки електроприводу	
3.1 Модель асинхронного двигуна орієнтована по вектору напруги статора.....	39
3.1 Моделювання системи ПЧ-АД в среде MatLab / Simulink, и дослідження перехідних процесів при відробітку діаграми навантаження.....	43
4. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях	
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників.....	46
4.2 Інженерний технічні заходи щодо охорони праці.....	47
4.3 Розрахункова частина.....	52
4.4 Пожежна профілактика.....	54
4.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	55
5. Техніко-економічне обґрунтування	
5.1 Вступ до розділу.....	57
5.2 Розрахунок капітальних витрат.....	58
5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	62
5.4 Визначення річної економії від впровадження проекту.....	66
5.5 Визначення і аналіз показників економ. ефективності проекту.....	66

					ЕП.ПД.19.15.ВС.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури.....	70
Приложение А.....	71
Приложение Б.....	73

					ЕП.ПД.19.15.ВС.ПЗ	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Розглядаючи усе різноманіття сучасних виробничих процесів, в кожному конкретному виробництві можна виділити ряд операцій, характер яких є загальним для різних галузей народного господарства. До їх числа відносяться доставка сировини і напівфабрикатів до витоків технологічних процесів і міжопераційні переміщення виробів в процесі обробки, навантажувально-розвантажувальні роботи на складах, залізничних станціях і т. д. Механізми, що виконують подібні операції, як правило, універсальні і мають загальнопромислове застосування, в зв'язку, з чим і називаються загальнопромисловими механізмами. Загальнопромислові механізми грають в народному господарстві країни важливу роль. На промислових підприємствах найбільш поширеним і універсальним підйомно-транспортним пристроєм є кран, основним механізмом якого є механізм підйому, який забезпечується індивідуальним електроприводом. Основні механізми таких установок, як правило, мають реверсивний електропривод, розрахований для роботи в повторно-короткочасному режимі. У кожному робочому циклі мають місце несталі режими роботи електроприводу : пуски, реверси, гальмування, що роблять істотний вплив на продуктивність механізму, на ККД установки і на ряд інших чинників. Усі ці умови пред'являють до електроприводу складні вимоги відносно надійності і безпеки. Від технічної досконалості електроприводів значною мірою залежать продуктивність, надійність роботи, простота обслуговування. Кран дозволяє позбавити робітників від фізично важкої роботи, зменшити дефіцит робітників у виробництвах, що відрізняються важкими умовами праці.

					ЕП.ПД.19.15.ВС.ПЗ	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Днк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- **Технологічна частина**

1.1 Опис технологічного процесу, призначення механізму

Електричний мостовий кран вантажопідйомністю 15 тонн встановлений і експлуатується в токарному цеху і на ділянці збірки малих металоконструкцій на Дніпропетровському заводі бурового устаткування. Електричний мостовий кран призначений для навантажувально-розвантажувальних робіт на ділянці, установки і фіксації технологічних складальних одиниць при збірці і зварці малих металоконструкцій. Крани мостового типу є найпоширенішими видами вантажопідйомних машин, вживаних для обслуговування

Общий вид мостового крана приведен на рисунке 1.1.

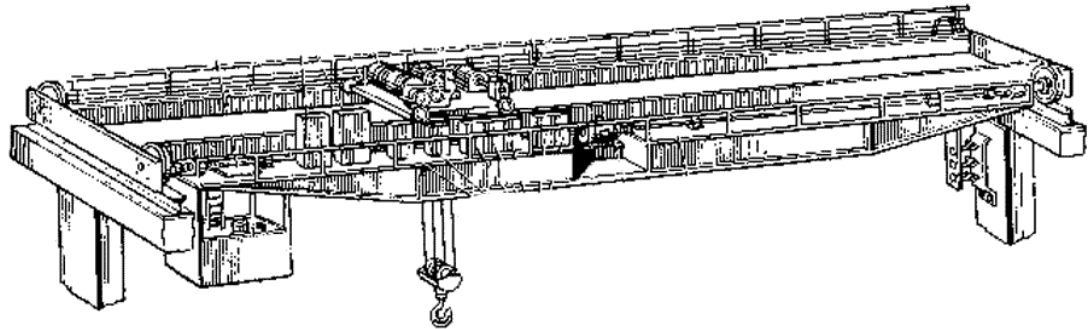


Рисунок 1.1 – Общий вид мостового крана

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

Мостовий кран відноситься до розряду опорних кранів. Міст крану складається з двох просторово жорстких головних балок, які примикають до кінцевих (поперечним) балок, утворюючи з ними в плані раму. У кінцевих балках встановлені ходові колеса крану, що пересуваються по підкранових дорогах. Власна вага моста крану і візка з вантажем передається через кінцеві балки і ходові колеса на підкранову дорогу Як основна конструктивна форма головних балок є коробчата балка з симетрично розташованою рейкою. Горизонтальні допоміжні балки такої конструкції зручні для установки механізму пересування крану, токоведущих тролів і для проходу обслуговуючого персоналу. Мостовий забезпечує три основних робітників руху: під'їм і опускання підвіски крюка, пересування вантажного візка і пересування моста крану.

Обмеження ходу мостового крану по рейкових дорогах здійснюється за допомогою лінійки обмежувальною, встановленою в кінці рейкової дороги, яка впливає на кінцевий вимикач, розташований на провідному візку механізму пересування. В кінці дороги встановлюються тупикові упори.

Механізм підйому вантажу складається з двигуна, вантажного барабана і гальмівного механізму. Механізм підйому закріплений за допомогою болтових з'єднань на візку, який переміщається по рейковій дорозі, закріплений на мосту крану.

Електродвигун механізму підйому сполучений за допомогою муфти з редуктором, вихідний вал якого пов'язаний з барабаном. На барабані навивається трос, зв'язаний через поліспасть з підвіскою крюка.

Обмеження висоти підйому підвіски крюка здійснюється за допомогою кінцевого вимикача механізму підйому.

Підведення живлення до електродвигуна механізму пересування виробляється силовим кабелем.

Кинематическая схема грузовой тележки изображена на рисунке 1.2

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дпк	№ докум.	Підпис	Дата		

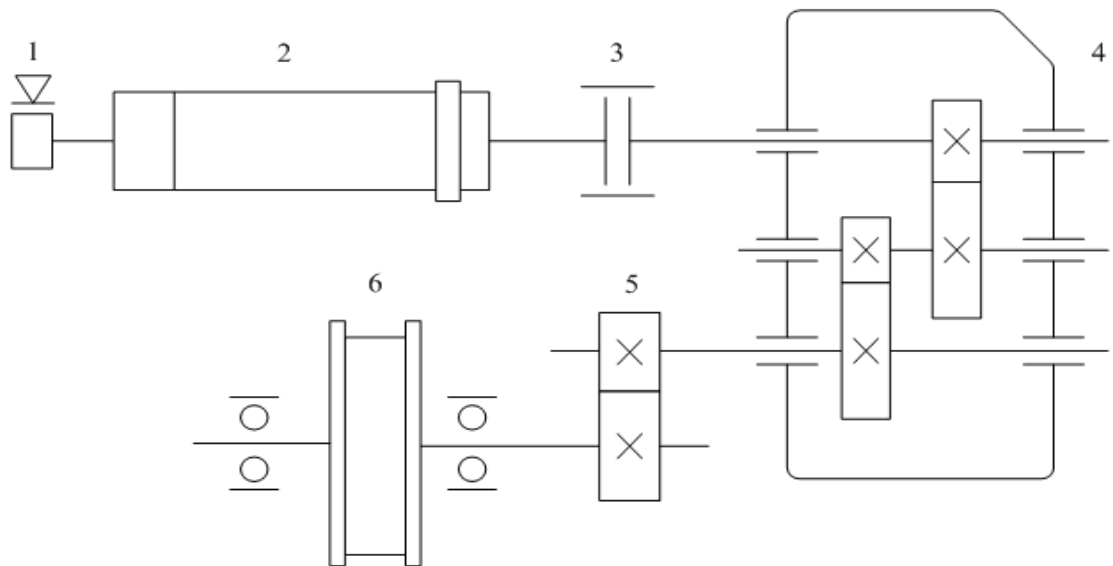


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема механизма

Обозначения на рисунке 1.2:

- 1 – тормоз;
- 2 – двигатель;
- 3 – муфта;
- 4 – редуктор;
- 5 – открытая зубчатая пара;
- 6 – ходовое колесо.

Як компоувальна схема механізму пересування вантажного візка прийнятий механізм з однобічним приводом, в якому використовується вертикальний редуктор. Вживання однобічного приводу є найбільш доцільним в разі використання редуктора з порожнистим тихохідним валом.

Двигун сполучений з вхідним валом редуктора за допомогою втулково-пальцевої муфти з гальмівним шківом. Вихідний вал редуктора сполучений з валами коліс візка за допомогою шліцьового з'єднання, трансмісійних валів і зубчастих муфт. Як сполучні муфти прийняті муфти типа МЗП, які відрізняються більшою надійністю. Для утримання візка на дорогах вибрані двухребордніє колеса.

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Механізм пересування крану виконаний з роздільним приводом. При такого виконання приводу відсутній довгий трансмісійний вал. Кожна кінцева балка моста приводиться в рух своїм приводом. Для утримання крану на дорогах застосовані двухреборніє колеса. Як сполучні муфти застосовані муфти типа МЗП.

Привід кінцевих балок, складається з електродвигуна, муфти, гальма, редуктора, змонтований на окремій рамі і за допомогою муфти сполучений з віссю колеса.

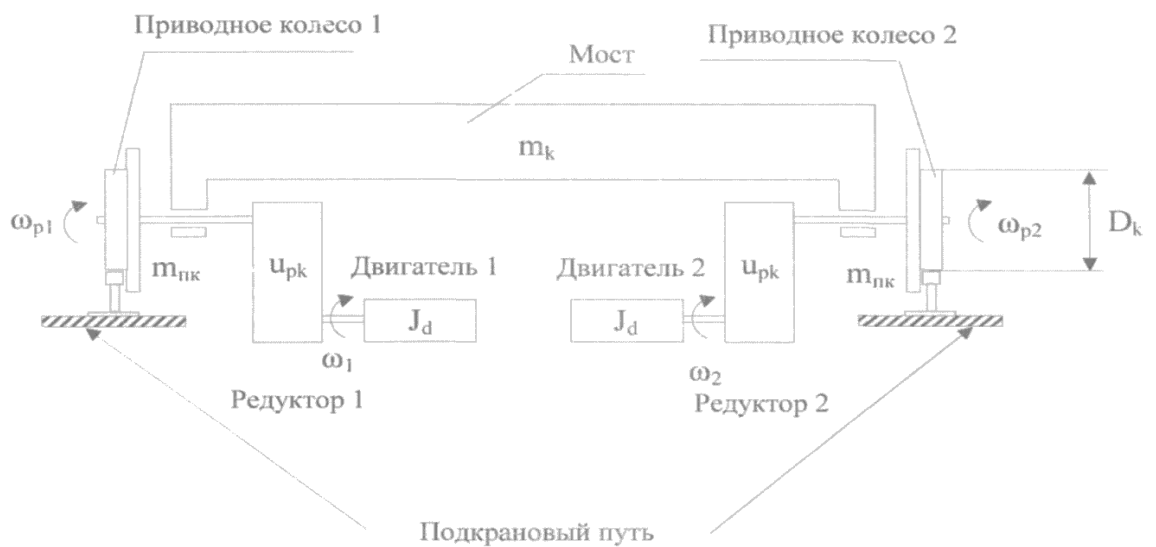


Рисунок 1.3 Кинематическая схема механизма передвижения моста

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

На одному з механізмів пересування встановлений кінцевий вимикач, що обмежує рух моста крану по рейкових дорогах. Колеса і гальмо механізмів пересування моста закриті кожухами. Кінематична схема механізму пересування моста змальована на малюнку 1.3.

1.2 Технічна характеристика, пристрій і режим роботи

Підймальний кран є вантажопідйомною машиною циклічної дії, призначеною для підйому і переміщення вантажу, що утримується вантажозахватним пристроєм (крюк). Він є найбільш поширеною вантажопідйомною машиною, що має вельми всілякого конструктивного виконання і призначення.

Будь-який сучасний вантажопідйомний кран відповідно до вимог безпеки, може мати для кожного робочого руху в трьох площині наступні самостійні механізми: механізм підйому - опускання вантажу, механізм пересування крану в горизонтальній площині і механізми обслуговування зони роботи крану (пересування візка).

Вантажопідйомні машини виготовляють для різних умов використання по мірі завантаження, часу роботи, інтенсивності ведення операцій, міри відповідальності вантажопідйомних операцій і кліматичних чинників експлуатації. Ці умови забезпечуються основними параметрами вантажопідйомних машин. До основних параметрів механізму підйому відносяться: вантажопідйомність, швидкість підйому крюка, режим роботи, висота підйому вантажозахватного пристрою.

Номінальна вантажопідйомність - маса номінального вантажу на крюку або захватному пристрої, що піднімається вантажопідйомною машиною.

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість підйому крюка вибирають залежно від вимог технологічного процесу, в якому бере участь дана вантажопідйомна машина, характеру роботи, типа машини і її продуктивності. Швидкості переміщення вантажів визначають продуктивність і потужність механізмів і вибираються з врахуванням ефективності виконання вантажопідйомних операцій, тобто здобуття необхідного часу операції при найменшій первинній вартості механізмів крану. Вибір оптимальної швидкості є важливим завданням, необхідне вирішення якого може бути знайдене лише на основі обліку чинників продуктивності, витрат енергії, можливості і ефективності регулювання швидкості, а також техніко-економічної оцінки системи регулювання.

За останні роки були проведені дослідження, пов'язані з оптимізацією швидкісних параметрів швидкохідних вантажопідйомних машин. В результаті цих досліджень встановлено, що при підвищенні швидкостей до певних меж продуктивність машин зростає разом з швидкістю, проте при подальшому підвищенні швидкостей може статися зниження продуктивності за рахунок збільшення часу розгону і гальмування механізмів крану.

Аналіз швидкісних параметрів показує, що для кожного виду механізмів (підйому, повороту і горизонтального переміщення) є межі швидкостей, перевершувати які недоцільно.

Швидкості вантажопідйомних механізмів вибираються виходячи з таких передумов:

1. номінальна швидкість визначається умовами технологічного процесу, тобто часом виконання циклу;
2. номінальна швидкість обмежується потужністю живлячої мережі або можливістю установки приводного двигуна певних розмірів;
3. номінальна швидкість є функцією діапазону регулювання при заданій мінімальній швидкості механізму.
4. номінальна швидкість повинна забезпечити найбільшу продуктивність при найменших витратах енергії.

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дпк	№ докум.	Підпис	Дата		

Для всіх перерахованих випадків, окрім першого, граничне значення швидкості не повинно перевищувати встановлених значень, а для четвертого випадку це значення і є шуканим. Для першого випадку швидкість може мати будь-яке необхідне значення, але при цьому слід мати на увазі, що при перевищенні певних значень швидкостей час операції скорочуватися не буде, якщо не будуть застосовані системи із спеціальними параметрами регулювання.

При виборі номінальної швидкості інколи вирішальне значення мають мінімальні швидкості, визначувані технологією переробки всіляких вантажів. В даний час для більшості технологічних процесів переробки вантажів набуті оптимальних значень мінімальних швидкостей для точної установки вантажів. Користуючись цими значеннями, можна при заданій номінальній швидкості встановити необхідні діапазони регулювання швидкості або для відомого і досяжного діапазону регулювання вибрати номінальну швидкість.

Вибір проміжних фіксованих швидкостей, перш за все, залежить від здібностей людини сприйняти різницю швидкостей сусідніх фіксованих положень і на основі сприйняття цієї різниці здійснювати подальші операції управління. Практикою встановлені значення рівнів наростання швидкостей механізмів підйому. Регулювання швидкості механізмів горизонтального переміщення в проміжку між максимальною і мінімальною швидкостями часто здійснюється шляхом зміни інтенсивності розгону або гальмування з врахуванням необхідних прискорень.

Продуктивність і число включень під час вантажопідйомних машин нерозривно пов'язані з швидкісними параметрами. Продуктивність машин відповідає часу завершення операції по переробці вантажу. Скорочення часу однієї операції при певній траєкторії руху вантажу визначає підвищення продуктивності машини. Кожна машина може мати фактичний або умовний цикл проведення вантажопідйомної операції.

Під повним циклом вантажопідйомної операції слід мати на увазі застроповку вантажу, вибір слабкого місця каната, підйом вантажу і його

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщення в необхідну крапку, спуск і установку вантажу, расстроповку я зворотне переміщення для початку нової операції. При цьому механізми вантажопідйомного пристрою мають мінімально необхідне обов'язкове число включень. Проте з різних причин протягом циклу оператор виробляє ще ряд додаткових включень, пов'язаних з недосконалістю системи регулювання, коливаннями вантажу на гнучкій підвісці, недостатнім досвідом управління і тому подібне. Кількість таких додаткових включень може в 2-4 рази перевищити число необхідних включень.

Важливим завданням розробки високоефективних вантажопідйомних машин є наближення фактичного числа включень до мінімально необхідному. В даний час найбільш якісні системи регулювання дозволяють забезпечити виконання операцій з середнім числом включень лише в 1,5 разу великим мінімально необхідного, тоді як найбільш масові системи параметричного регулювання вимагають до 20-30 включень на один цикл переміщення вантажу що в 5-6 разів перевищує мінімально необхідне число включень. Число включень в годину в різних механізмів може складати від 40-60 при режимі Л; до 500-600 - для режиму ВТ. При створенні і освоєнні виробництва систем управління, що забезпечують стійкі швидкості з широким діапазоном їх зміни, відбувається загальна тенденція зниження числа включень механізмів при одночасному підвищенні продуктивності перевантажувальних робіт.

Режим роботи вантажопідйомних машин циклічний. Цикл складається з переміщення вантажу по заданій траєкторії і повернення у вихідне положення для нового циклу:

1. Підйом номінального вантажу з номінальною швидкістю на розрахункову висоту;
2. Пауза (перемещение груза в заданное место);
3. Опускання номінального вантажу з розрахункової висоти на нульову відмітку з номінальною швидкістю;
4. Пауза (разгрузка);

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Підйом порожнього крюка на розрахункову висоту з підвищеною швидкістю;
6. Пауза (перемещение крана в исходное положение);
7. Опускання порожнього крюка з розрахункової висоти на нульову відмітку з підвищеною швидкістю;
8. Пауза (загрузка).

1.3 Технологічні вимоги, що пред'являються до приводу

В даний час до електроприводу механізмів крану складаються на основі конкретного технологічного процесу цеху, умов і режиму роботи крану. У теж час технологічні вимоги визначають правильний вибір системи електроприводу механізмів крану. Електроустаткування механізмів кранів повинне відповідати як загальним, так і спеціальним технологічним вимогам . До загальних вимог відносяться:

- надійність;
- безперебійність;
- економічність;
- безпека експлуатації;

До спеціальних вимог відносяться:

- діапазон і плавність регулювання кутової швидкості електродвигуна;
- прискорення і уповільнення вантажу, що транспортується, без розгойдування в мінімально можливий час;
- забезпечення необхідної жорсткості механічних характеристик приводу;
- великі пускові моменти при чіпанні з місця;
- велика частота включень в годину;
- точність установки;
- реверсування двигуна;

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

- на перших положеннях підйому двигун повинен розвивати такий пусковий момент, щоб унеможлиблювалося спуску номінального вантажу при напрузі живлячої мережі 90% номінального і в теж час бажана мінімальна швидкість складала при найменшому навантаженні не більше 30% номінального значення;

- Система електричного гальмування повинна мати необхідний запас, що забезпечує надійне уповільнення вантажу, рівного 125% номінального, при напрузі живлячої мережі 90% номінального;

- рух вантажу повинен відбуватися лише в напрямі, встановлюване командоапаратом, навіть при несправностях в схемі, в останньому випадку вантаж може залишатися нерухомим.

					ЕП.ПД.19.15.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Автоматизований електропривод

2.1 Розрахунок потужності, вибір двигуна по каталогу і його перевірка на нагрів

Метою розрахунку є вибір приводного електродвигуна по довіднику і перевірка його по перевантажувальній здатності і за умовами здійсненності пуску механізму підйому мостового крану. Вихідними даними є технічні характеристики мостового крану з таблиці 2.1 .

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики мостового крану в умовах токарного цеху ООО «Дніпропетровський завод бурового устаткування».

Найменування	Значення	Ед.измерен.
Вантажопідйомність головного крюка	15	т
Висота підйому головного крюка	10	м
Вага головного крюка	0,7	т
Діаметр барабана лебідки головного крюка	510	мм
Швидкість підйому	0,18	м/с
ККД механізму	0,8	-
Довжина приміщення цеху	50	м
Ширіна приміщення цеху	30	м
Режим роботи крану середній	ПК	-
Число циклів в годину	9	-

Розрахуємо максимальну статичну потужність електродвигуна, для підйому номінального вантажу по наступній формулі :

$$P_c = \frac{10^3 (m_z + m_0) \cdot 9,81 \cdot V_n}{1000 \cdot \eta_n}$$

где m_z - маса піднімаемого груза, т;

m_0 - маса грузозахватного устройства, т;

V_n - скорость подъема, м/с;

η_n - коэффициент полезного действия механизма;

$$P_c = \frac{10^3 (15 + 0,7) \cdot 9,81 \cdot 0,18}{1000 \cdot 0,8} = 34,54 \text{ кВт}$$

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо попередню потужність електродвигуна і вибір його по каталогу. Попередня потужність електродвигуна:

$$P'_{\text{пред.}} = K \cdot P_c$$

где K – коефіцієнт, що враховує циклічність роботи механізму $= 0,8$

$$P'_{\text{пред.}} = 0,8 \cdot 34,54 = 27,632 \text{ кВт}$$

Орієнтовна тривалість включення:

$$ПВ_{op} = \frac{K_i \cdot t_p}{t_{ц}} \cdot 100\%$$

где K_i - кількість операцій в перебігу одного циклу $K_i = 4$;

t_p - час однієї операції (підйому або спуску), с;

$t_{ц}$ - час циклу, с;

$$t_p = \frac{H}{V_n}$$

где H - висота под'їма, м;

$$t_{ц} = \frac{3600}{N_c}$$

где N_c - число циклов в час;

$$t_{ц} = \frac{3600}{9} = 400$$

$$t_p = \frac{10}{0,18} = 55,5$$

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$ПВ_{op} = \frac{4 \cdot 55,5}{400} \cdot 100\% = 55\%$$

Знаходимо остаточно попередню потужність електродвигуна при каталожній тривалості включення. Електродвигуна, призначеного для роботи в повторно-короткочасному режимі, випускають с $ПВ_{кат.} = 15;25;40;60$;

$$P_{пред.} = P'_{пред.} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{op}}{ПВ_{кат.}}} = 27,632 \cdot \sqrt{\frac{55}{60}} = 26,45 \text{ кВт}$$

Частотою обертання ω_n об/мін електродвигуна задаємося по каталогу. По значеннях $P_{пред.}$ і ω_n по каталогу вибираємо двигун типа МТФ, МТН або НМТ дотримуючи умову, що номінальна потужність має бути рівна або дещо більше (до 20%) попередньою $P_{пред.}$, т.е. $P_n \geq P_{пред.}$

Згідно з умовою викладеного вище вибираємо електродвигун по каталогу типа МТН512-8, паспортні дані якого занесені в таблицю 2.2

Таблица 2.2 - Технічні дані асинхронного електродвигуна типа МТН512-8

Тип електро-двигателя	P_n [кВт]	η_n [об/мин]	ω_n [рад/с]	I_c [А]	U_c [В]	$I_{рн}$ [А]	$U_{рн}$ [В]	$\frac{M_{max}}{\omega_n}$	M_{max} [Нм]	$J_{дв}$ [кг·м ²]	ПВ %
МТН 512-8	31	715	4,8	79	380	63	304	9,56	1370	1,42	60

Розраховуємо номінальний момент двигуна.

$$M_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{\omega_n}$$

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

где P_n - потужність вибраного двигуна по каталогу, кВт; ω_n – кутова швидкість обертання вибраного двигуна, рад/с; Маючи значення частоти обертання n_n об/мін рахуємо кутову швидкість по формулі:

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

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 715}{30} = 74 \text{ рад/с}$$

$$M_n = \frac{10^3 \cdot 31}{74,8} = 414,4 \text{ Нм}$$

Розраховуємо діаграму навантаження приводу. Діаграма навантаження електродвигуна будується на підставі рівняння руху електроприводу $M\text{-кодом} = M_c + M_{дин}$. Як видно з приведенного рівняння, для побудови діаграми навантаження електродвигуна $M\text{-коду} = \omega(t)$ необхідно мати графік зміни в часі приведених статичних моментів $M_c = f(t)$, т.е. діаграму навантаження механізму підйому мостового крану і графік зміни в

часі динамічного моменту $M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt}$, для определения которого необходимо знать график изменения угловой скорости электродвигателя $\omega = f(t)$ и приведённый момент инерции J .

Сума алгебри статичних і динамічних моментів дає графік зміни сумарного моменту на валу електродвигуна, тобто діаграму навантаження електродвигуна. Статичні моменти, приведені до валу електродвигуна при підйомі номінального вантажу:

$$M_{нг} = \frac{10^3 (m_g + m_o) \cdot 9,81 \cdot D_6}{2i \cdot \eta_m}$$

где m_g - масса груза, т;

m_o - маса вантажозахватного пристрою, т;

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

D_{δ} - діаметр барабана, м;

η_n - коефіцієнт полезного действия механізма;

i - передавальне відношення редуктора і поліспасти.

$$i = \frac{\omega_n \cdot D_{\delta}}{2V_n}$$

$$i = \frac{74,8 \cdot 0,51}{2 \cdot 0,18} = 105,8 \text{ Нм}$$

где ω_n – угловая скорость вращения электродвигателя, рад/с;

V_n – скорость подъёма, м/с;

$$M_{nz} = \frac{10^3 (15 + 0,7) \cdot 9,81 \cdot 0,51}{2 \cdot 105,8 \cdot 0,8} = 464 \text{ Нм}$$

Статичні моменти, приведені до валу електродвигуна при гальмівному спуску номінального вантажу:

$$M_{cz} = \frac{10^3 (m_z + m_o) \cdot 9,81 \cdot D_{\delta} \cdot \eta_n}{2i}$$

$$M_{cz} = \frac{10^3 (15 + 0,7) \cdot 9,81 \cdot 0,51 \cdot 0,8}{2 \cdot 105,8} = 297,8 \text{ Нм}$$

Статичні моменти, приведені до валу електродвигуна при підйомі порожнього вантажозахватного пристрою:

$$M_{no} = \frac{10^3 \cdot m_o \cdot 9,81 \cdot D_{\delta}}{2i \cdot \eta_o}$$

где η_o – коефіцієнт корисної дії механізму при даному навантаженні.

Визначається по кривих $\eta_o = f(K_3)$, $\eta_o = 0,1$

Коефіцієнт навантаження визначається по формулі:

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_3 = \frac{m_o}{m_z + m_o}$$

$$K_3 = \frac{0,7}{15 + 0,7} = 0,04$$

$$M_{no} = \frac{10^3 \cdot 0,7 \cdot 9,81 \cdot 0,51}{2 \cdot 105,8 \cdot 0,1} = 165,5 \text{ Нм}$$

Статичні моменти, приведені до валу електродвигуна при спуску порожнього вантажозахватного пристрою:

$$M_{co} = \frac{10^3 \cdot m_o \cdot 9,81 \cdot D_{\phi}}{2i} \cdot (2\eta_o - 1),$$

$$M_{co} = \frac{10^3 \cdot 0,7 \cdot 9,81 \cdot 0,51}{2 \cdot 105,8} \cdot (2 \cdot 0,1 - 1) = -13,2 \text{ Нм}$$

Значення M_{co} може бути як позитивним, так і негативним. Для приводів, в яких момент інерції не залежить від кута повороту, приведеною до валу електродвигуна динамічний момент знаходиться з рівняння:

$$M_{дин.} = J_{\phi} \cdot \frac{d \cdot \omega}{d \cdot t}$$

де $\frac{d \cdot \omega}{d \cdot t}$ - прискорення або уповільнення ротора електродвигуна, рад/с²;

J_{ϕ} - приведений до валу електродвигуна еквівалентний момент інерції системи при роботі з вантажем і без вантажу, т.е. $J_{\phi T}$ и $J_{\phi 0}$

Визначуваний приведений до валу електродвигуна еквівалентний момент інерції системи при роботі з вантажем:

$$J_{\phi 2} = K \cdot (J_{\phi 0} + J_{\phi ш} + J_{\phi M}) + J_{н.д.г.}$$

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

где $K = 1,15$ - коефіцієнт, момент інерції редуктора і барабана, що враховує приблизно;

$J_{дв}$ - момент інерції електродвигуна (по каталогу), $кгм^2$;

$J_{ш}$ - момент інерції гальмівного шківа, $кгм^2$;

$J_{м}$ - момент інерції муфти і швидкохідного валу редуктора, $кгм^2$;

В ряду случаев $J_{ш}$ и $J_{м}$ определяют приближенно в долях от момента инерции ротора электродвигателя:

$$J_{ш} = 0,3 \cdot J_{дв}$$

$$J_{ш} = 0,3 \cdot 1,42 = 0,42 \text{ кгм}^2$$

$$J_{м} = 0,15 \cdot J_{дв},$$

$$J_{м} = 0,15 \cdot 1,42 = 0,21 \text{ кгм}^2$$

$J_{п.д.г.}$ – момент інерції поступально-рухомих елементів інерції, приведений до валу електродвигуна

$$J_{п.д.г.} = \frac{10^3 \cdot (m_z + m_o) \cdot V_n^2}{\omega_n^2},$$

$$J_{п.д.г.} = \frac{10^3 \cdot (15 + 0,7) \cdot 0,18^2}{74,8^2} = 0,09 \text{ кгм}^2$$

где V_n – швидкість підйому, м/с;

ω_n – кутова швидкість обертання електродвигуна, рад/с;

$$J_{эс} = 1,15 \cdot (1,42 + 0,42 + 0,21) + 0,09 = 2,44 \text{ кгм}^2$$

Визначуваний приведений до валу електродвигуна еквівалентний момент інерції системи при роботі без вантажу:

$$J_{эо} = K \cdot (J_{дв} + J_{ш} + J_{м}) + J_{п.д.г.}$$

где $J_{п.д.о.}$ – момент інерції поступально-рухомих елементів системи без врахування ваги вантажу, приведений до валу електродвигуна;

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$J_{n.d.o.} = \frac{10^3 \cdot m_o \cdot V_n^2}{\omega_n^2}$$

$$J_{n.d.o.} = \frac{10^3 \cdot 0,7 \cdot 0,18^2}{74,8^2} = 0,004 \text{ кгм}^2$$

$$J_{\Sigma o} = 1,15 \cdot (1,42 + 0,42 + 0,21) + 0,004 = 2,36 \text{ кгм}^2$$

Динамічний момент системи при підйомі вантажу:

$$M_{дин.} = J_{\Sigma z} \cdot \frac{2 \cdot i \cdot a_{cp.}}{D_{\delta}},$$

$$M_{дин.} = 2,44 \cdot \frac{2 \cdot 105,8 \cdot 0,2}{0,51} = 202,4 \text{ Нм}$$

Розрахунок середнього пускового моменту двигуна.

Знаючи величину статичних і динамічних моментів, можна визначити середній пусковий момент, що розвивається електродвигуном при підйомі вантажу по формулі:

$$M_{ср.п.} = M_{пг} + M_{дин}$$

$$M_{ср.п.} = 464 + 202,4 = 666,4 \text{ Нм}$$

Обычно $M_{ср.п.}$ не повинно перевищувати $(1,7 \div 2) \cdot M_H$

Визначення часу розгону при підйомі вантажу:

$$t_{p.nz} = J_{\Sigma z} \cdot \frac{\omega_{кон} - \omega_{нач}}{M_{срп} - M_{nz}}$$

где $\omega_{кон}$ и $\omega_{нач}$ - відповідно кінцеве і початкове значення кутової швидкості, $\omega_{кон} = \omega_H$, $\omega_{нач} = 0$, рад/с;

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

Середній час пуску для механізму підйому зазвичай знаходиться от 1 до 5 с;

$$t_{p.лз} = 2,44 \cdot \frac{74,8 - 0}{666,4 - 464} = 0,9 \text{ с};$$

Визначення часу розгону при гальмівному спуску.

Двигун працює в режимі електронного гальма (гальмівний спуск) і вантаж прискорюється під дією власної ваги, тобто розгін системи відбувається під дією моменту, рівного $M_{сг}$ і визначається по формулі:

$$t_{p.сз} = J_{эз} \cdot \frac{\omega_{кон} - \omega_{нач}}{M_{сз}}$$

$$t_{p.сз} = 2,44 \cdot \frac{74,8 - 0}{297,8} = 0,61 \text{ с}$$

Визначення часу розгону при підйомі вантажозахватного пристрою:

$$t_{p.по} = J_{эо} \cdot \frac{\omega_{кон} - \omega_{нач}}{M'_{срп} + M_{по}}$$

где $M'_{срп} = (1,15 \div 1,25) \cdot M_H$

M_H – середній пусковий момент при підйомі і опусканні вантажозахватного пристрою.

$$M'_{срп} = 1,2 \cdot 414,4 = 497,28 \text{ Нм}$$

$$t_{p.по} = 2,36 \cdot \frac{74,8 - 0}{497,28 + 165,5} = 0,26 \text{ с}$$

Визначення часу розгону при спуску вантажозахватного пристрою:

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{p.co.} = J_{\text{зо}} \cdot \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{M'_{\text{спн}} + M_{\text{со}}},$$

$$t_{p.co.} = 2,36 \cdot \frac{74,8 - 0}{497,28 + (-13,2)} = 0,36 \text{ с}$$

Визначення часу гальмування.

Схеми управління електродвигунами механізмів підйому передбачають екстрене накладення механічних гальм при відключенні статора електродвигуна від мережі. У зв'язку з цим для механізмів підйому електричне гальмування електродвигуна можна не враховувати.

Час гальмування для різних режимів визначається з врахуванням моменту, що розвивається лише механічним гальмом.

Момент тормоза M_T определяется максимальным статическим моментом $M_{c.макс}$, приведенным к тормозному валу (обычно это вал электродвигателя) и коэффициент запаса K_T

$$M_T = K_T \cdot K_{c.макс}$$

где $M_{c.макс}$ – максимальный статичний момент на гальмівному валу

$$M_{c.макс} = M_{сг} \text{ Нм};$$

K_T - коэффициент запаса.

Коефіцієнт має наступні значення:

- для легкого режиму роботи = 1,5;
- для середнього режиму роботи = 1,75;
- для важкого режиму роботи = 2;
- для вельми важкого режиму роботи = 2,5;

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

При цьому механізми підйому кранів, що транспортують рідкий метал, отруйні і вибухові речовини, повинні мати два гальма. Коефіцієнт запасу кожного з них має бути не менше 1,25.

$$M_T = 1,75 \cdot 297,8 = 521,15 \text{ Нм}$$

По розрахованому значенню M_T вибираємо гальмо з номінальним гальмівним моментом рівним або дещо більше, чем M_T , т.е. $M_{HT} \geq M_T$.

Час гальмування при підйомі вантажу:

$$t_{m.n.z.} = J_{\text{эз}} \cdot \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{M_m + M_{c2}}$$

$$t_{m.n.z.} = 2,44 \cdot \frac{74,8 - 0}{521,15 + 297,8} = 0,22 \text{ с}$$

Час гальмування при спуску вантажу:

$$t_{m.c2.} = J_{\text{эз}} \cdot \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{M_m - M_{c2}}$$

$$t_{m.c2.} = 2,44 \cdot \frac{74,8 - 0}{521,15 - 297,8} = 0,81 \text{ с}$$

Час гальмування при підйомі вантажозахватного пристрою:

$$t_{m.no.} = J_{\text{эо}} \cdot \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{M_m + M_{co}}$$

$$t_{m.no.} = 2,36 \cdot \frac{74,8 - 0}{521,15 + (-13,2)} = 0,34 \text{ с}$$

Час гальмування при спуску вантажозахватного пристрою:

$$t_{m.co.} = J_{\text{эо}} \cdot \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{M_m - M_{co}}$$

$$t_{m.co.} = 2,36 \cdot \frac{74,8 - 0}{521,15 - (-13,2)} = 0,33 \text{ с}$$

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

где $\omega_{\text{нач}}$ – швидкість, з якою починається режим гальмування;

$\omega_{\text{кон}}$ – швидкість, при якій закінчується режим гальмування.

Дороги, пройдені вантажем або вантажозахватним пристроєм під час пусків і гальмувань:

- при підйомі вантажу:

$$S_{p.nz.} = \frac{V_n}{2} \cdot t_{p.nz.}$$

$$S_{p.nz.} = \frac{0,18}{2} \cdot 0,9 = 0,081 \text{ м}$$

$$S_{m.nz.} = \frac{V_n}{2} \cdot t_{m.nz.}$$

$$S_{m.nz.} = \frac{0,18}{2} \cdot 0,22 = 0,019 \text{ м}$$

где V_n - скорость подъёма груза, м/с;

$t_{p.nz.}$ - час розгону при підйомі вантажу, с;

$t_{m.nz.}$ - час гальмування при підйомі вантажу, с;

- при спуску вантажу:

$$S_{p.cz.} = \frac{V_n}{2} \cdot t_{p.cz.}$$

$$S_{p.cz.} = \frac{0,18}{2} \cdot 0,61 = 0,054 \text{ м}$$

$$S_{m.cz.} = \frac{V_n}{2} \cdot t_{m.cz.}$$

$$S_{m.cz.} = \frac{0,18}{2} \cdot 0,81 = 0,072 \text{ м}$$

- при підйомі вантажозахватного пристрою:

$$S_{p.no.} = \frac{V_n}{2} \cdot t_{p.no.}$$

$$S_{p.no.} = \frac{0,18}{2} \cdot 0,26 = 0,0234 \text{ м}$$

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{m.no.} = \frac{V_n}{2} \cdot t_{m.no.}$$

$$S_{m.no.} = \frac{0,18}{2} \cdot 0,34 = 0,030 \text{ м}$$

- при спуску вантажозахватного пристрою:

$$S_{p.co.} = \frac{V_n}{2} \cdot t_{p.co.}$$

$$S_{p.co.} = \frac{0,18}{2} \cdot 0,36 = 0,0324 \text{ м}$$

$$S_{m.co.} = \frac{V_n}{2} \cdot t_{m.co.}$$

$$S_{m.co.} = \frac{0,18}{2} \cdot 0,33 = 0,029 \text{ м}$$

Дороги, пройденні вантажем або вантажозахватним пристроєм із сталою швидкістю:

- при підйомі вантажу

$$S_{y.пг} = H - S_{p.пг} - S_{т.пг.}$$

$$S_{y.пг} = 10 - 0,081 - 0,019 = 9,9 \text{ м}$$

- при спуску вантажу

$$S_{y.сг} = H - S_{p.сг.} - S_{т.сг.}$$

$$S_{y.сг} = 10 - 0,054 - 0,072 = 9,874 \text{ м}$$

- при підйомі вантажозахватного пристрою

$$S_{y.по} = H - S_{p.по.} - S_{т.по.}$$

$$S_{y.по} = 10 - 0,0234 - 0,030 = 9,946 \text{ м}$$

- при спуску вантажозахватного пристрою

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{y.co} = H - S_{p.co.} - S_{r.co.}$$

$$S_{y.co} = 10 - 0,0324 - 0,029 = 9,938 \text{ м}$$

Час роботи із сталою швидкістю і час паузи:

- при підйомі вантажу

$$t_{y.nz.} = \frac{S_{y.nz.}}{V_n}$$

$$t_{y.nz.} = \frac{9,9}{0,18} = 55 \text{ с}$$

- при спуску вантажу

$$t_{y.cz.} = \frac{S_{y.cz.}}{V_n}$$

$$t_{y.cz.} = \frac{9,874}{0,18} = 54,8 \text{ с}$$

- при підйомі вантажозахватного пристрою

$$t_{y.no.} = \frac{S_{y.no.}}{V_n}$$

$$t_{y.no.} = \frac{9,946}{0,18} = 55,25 \text{ с}$$

- при спуску вантажозахватного пристрою

$$t_{y.co.} = \frac{S_{y.co.}}{V_n}$$

$$t_{y.co.} = \frac{9,938}{0,18} = 55,21 \text{ с}$$

Час паузи:

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_n = \frac{t_y - \sum t_p}{4}$$

где t_n – время цикла, с;

$\sum t_p$ - сумарний час роботи, с;

$$\sum t_p = t_{p,пг} + t_{y,пг} + t_{г,пг} + t_{p,сг} + t_{y,сг} + t_{г,сг} + t_{p,по} + t_{y,по} + t_{г,по} + t_{p,со} + t_{y,со} + t_{г,со}$$

$$\sum t_p = 0,9 + 55 + 0,22 + 0,61 + 54,8 + 0,81 + 0,26 + 55,25 + 0,34 + 0,36 + 55,21 + 0,33 = 224,09 \text{ с}$$

$$t_n = \frac{400 - 224,09}{4} = 43,97 \text{ с}$$

Будуємо швидкісну і навантаження діаграму електроприводу (рисунок 2.1)

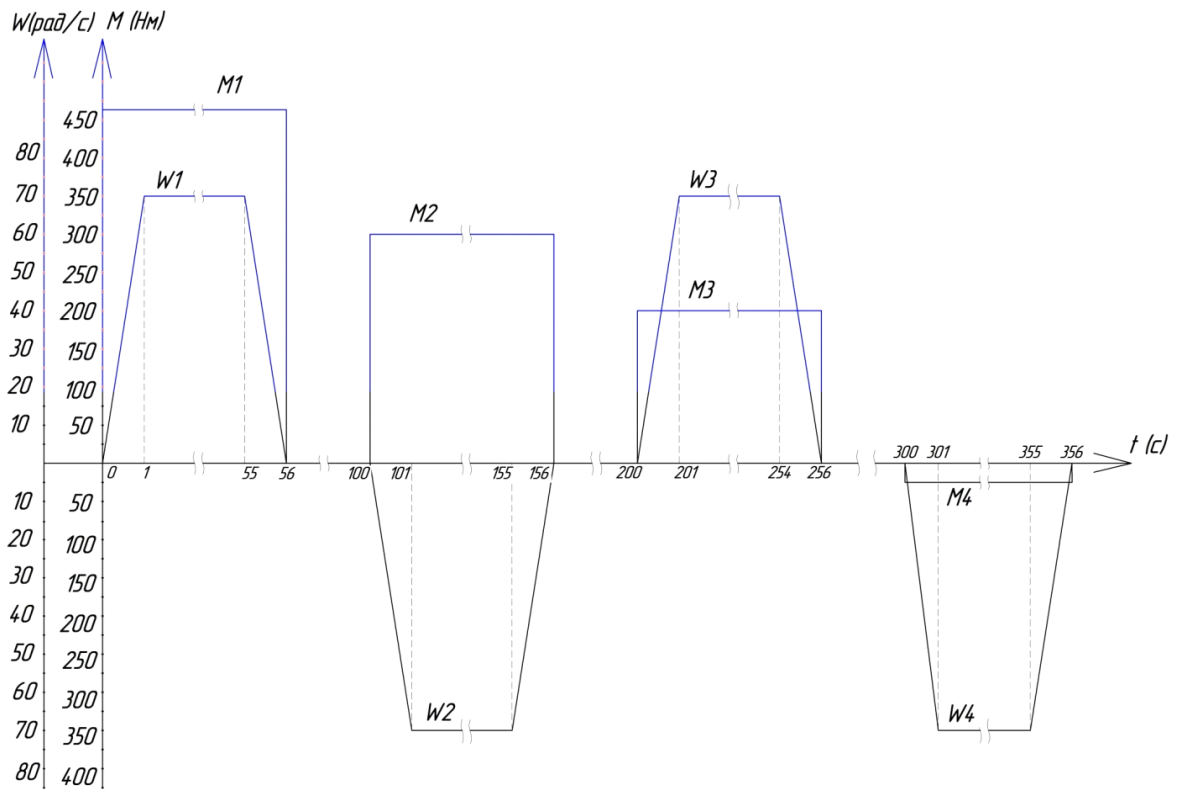


Рисунок 2.1 – Швидкісна і навантаження діаграми механізму

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевіряємо заздалегідь вибраного двигуна по умові нагріву і перевантажувальної здатності.

Фактична тривалість включення

$$ПВ\%_{\phi} = \frac{t_{p.nz} + t_{y.nz} + t_{p.cz} + t_{y.cz} + t_{p.no} + t_{y.no} + t_{p.co} + t_{y.co}}{t_u} * 100,$$

$$ПВ\%_{\phi} = \frac{0,9 + 55 + 0,61 + 54,8 + 0,26 + 55,25 + 0,36 + 55,21}{400} * 100 = 55,5\%$$

Розрахунковий еквівалентний момент:

$$M_{\text{эп.}} = \sqrt{\frac{M_{c.pn}^2 \cdot t_{p.nz} + M_{nz}^2 \cdot t_{y.nz} + M_{cz}^2 \cdot t_{p.cz} + M_{cz}^2 \cdot t_{y.cz} +}{t_{p.nz} + t_{y.nz} + t_{p.cz} + t_{y.cz} +} + \frac{M_{c.pn}^2 \cdot t_{p.no} + M_{no}^2 \cdot t_{y.no} + M_{c.pn}^2 \cdot t_{p.co} + M_{co}^2 \cdot t_{y.co}}{t_{p.no} + t_{y.no} + t_{p.co} + t_{y.co}}},$$

$$M_{\text{эп.}} = \sqrt{\frac{666,4^2 \cdot 0,9 + 464^2 \cdot 55 + 297,8^2 \cdot 0,61 + 297,8^2 \cdot 54,8 +}{0,9 + 55 + 0,61 + 54,8 +} + \frac{666,4^2 \cdot 0,26 + 165,5^2 \cdot 55,25 + 497,28^2 \cdot 0,36 + (-13,2)^2 \cdot 55,21}{0,26 + 55,25 + 0,36 + 55,21}}$$

$$M_{\text{эп.}} = \sqrt{\frac{18872056,16}{222,39}} = 291,3 \text{ Нм}$$

Еквівалентний момент, відповідний тривалості включення вибраного електродвигуна.

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\text{э}} = M_{\text{эп}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{ф}}}{ПВ_{\text{кат}}}} = 291,3 \cdot \sqrt{\frac{55,5}{60}} = 280,1 \text{ Нм}$$

Якщо еквівалентний момент рівний або декілька менше номінального, то вибраний електродвигун проходить по нагріву, т.е.

$$M_{\text{э}} \leq M_{\text{н}} \quad (2.60)$$

$$280,1 \leq 414,4 \quad (2.60)$$

Як видно з рівняння вибраний електродвигун проходить по нагріву.

Перевірку на перевантажувальну здатність виробляємо по умові:

$$1,3 \cdot M_{\text{макс.нагр}} \leq (0,8 \div 0,85) \cdot M_{\text{макс.дв}}$$

где

$M_{\text{макс.нагр}}$ – максимальний момент з діаграми навантаження;

$M_{\text{макс.дв}}$ – максимальний момент електродвигуна;

В даному випадку:

$$1,3 \cdot 666,4 \leq 0,825 \cdot 1370$$

$$866,32 \leq 1130,25$$

Як видно з умови вибраний електродвигун проходить по перевантажувальній здатності.

2.2 Вибір частотного перетворювача

Протягом багатьох років компанія Schneider Electric укріплює свої позиції в області краностроєння, і сьогодні вона є одним з основних виробників сучасних засобів автоматизації і електроустаткування, призначених для вживання в системах управління підйомно-транспортним устаткуванням:

- Програмовані логічні контролери і засоби розподілу введення/виводу.
- Засоби людино-машинного інтерфейсу і супервізорного управління (SCADA).

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

- Преобразовательная техніка для електродвигунів змінного струму.
- Пускозахисна і комутаційна апаратура.
- Датчики і кінцеві вимикачі.
- Корпуси апаратних шаф і пристрою для їх вентиляції і обігріву.

В даний час в пропозиції компанії по приводній техніці ключове місце займає перетворювач частоти Altivar 71, який оснащений всіма необхідними функціями по управлінню підйомно-транспортними механізмами (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд частотного перетворювача Altivar 71

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Технічні дані частотного перетворювача

ATV71HD45M3X

Найменування	Значення
Потужність двигуна	45 кВт
Лінійний струм	167 А
Вихідна частота приводу	0.1...500 Гц
Номінальна напруга живлення	200...240 V (- 15...10 %)
Число фаз мережі	3 фази
Повна потужність	61.1 кВт·А
Призначення виробу	Асинхронные электродвигатели

Більшість сучасних електроприводів кранів виконана на основі асинхронних двигунів з фазним ротором, які управляються силовими контроллерами або низьковольтними комплектними пристроями. Основною гідністю таких електроприводів є простота їх використання, низька вартість і ремонтпридатність. Проте ці електроприводи не позбавлені і вельми істотних недоліків. Ось деякі з них:

- Неможливість здобуття посадочної швидкості в електроприводах механізмів підйому з силовими контроллерами;
- Відсутність режиму силового спуску порожнього крюка і легких вантажів в електроприводах механізмів підйому з низьковольтними комплектними пристроями;
- Відсутність електричного гальмування в електроприводах механізмів пересування;
- Низька зносостійкість релейно-контакторної апаратури;
- Великі втрати енергії при пуску і гальмуванні електроприводів в інтенсивному режимі роботи.

Резюмуючи вищесказане, можна передбачити, що багато електроприводів кранів не відповідають сучасним вимогам. Частенько промислові підприємства, де встановлені крани, змінюють технологію виробництва і номенклатуру продукції, що випускається, роблять

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	ДПК	№ докум.	Підпис	Дата		

перепланування виробничих і складських приміщень. В результаті цього мостовий кран, спочатку призначений для обслуговування складу металу, може, наприклад, використовуватися для точних монтажних операцій, а крани, керовані з кабіни, перекладаються на управління з підлоги і ін. Модернізація електроприводів кранів частенько обумовлена необхідністю виконання вимог, що пред'являються до сучасних кранів. В даний час найбільш оптимальним варіантом при модернізації і створенні нових електроприводів є використання частотно-регульованого асинхронного електроприводу. Вживання перетворювачів частоти (ПЧ) серії Altivar 71 завдяки вбудованим прикладним функціям дозволяє легко інтегрувати їх в електропривод підйомно-транспортних машин. Перетворювачі частоти серії Altivar 71 забезпечують повністю безконтактне управління двигунами і плавне високоякісне регулювання частоти обертання у всьому діапазоні. Плавність регулювання приводить до істотного зменшення навантаження на механічну частину крану, що, у свою чергу, знижує аварійність і збільшує термін служби крану. Швидкість електроприводу може бути адаптована до кожного конкретного технологічного процесу, що дозволяє підвищити продуктивність крану. Крім того вживання перетворювачів частоти Altivar 71 дозволяє отримати по деяких оцінках до 30% економії електроенергії.

Векторне управління асинхронним електродвигуном в перетворювачах серії Altivar 71 може здійснюватися без датчика швидкості по вектору струму і вектору напруги. Останній спосіб може використовуватися при живленні паралельно включених двигунів від одного перетворювача. Також допускається використання векторного управління із зворотним зв'язком за швидкістю, і скалярного управління. Крім того, така модифікація ATV71, як ATV71...383, володіючи всіма можливостями базової моделі, може також управляти синхронними двигунами з синусоїдальною електрорушійною силою в замкнутому приводі, які все ширше застосовуються замість асинхронних двигунів для таких підйимальних механізмів, як ліфти.

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дпк	№ докум.	Підпис	Дата		

Преобразователь серии Altivar 71 забезпечує просте і швидке програмування за допомогою макроконфігурацій, відповідних різним видам вживання. При цьому будь-яка з конфігурацій залишається такою, що повністю модифікується. Для зручності програмування, контролю і діагностики перетворювач поставляється із знімним графічним терміналом (8 строк по 24 символа). Діапазон регулювання швидкості може досягати 100:1 при векторному управленні без використання датчика швидкості. Це особливо важливо при модернізації, коли використовується вже встановлений двигун, що не має вбудованого датчика швидкості. Слід зазначити, що для більшості кранів мостового типу максимально необхідний діапазон не перевищує 20:1.

У перетворювачі частоти Altivar 71 реалізовані такі прикладних функцій для механізмів кранів як:

- Підйом вантажів з підвищеною швидкістю;
- Вибір слабкого місця вантажного каната;
- Управління гальмом адаптоване для приводів вертикального і горизонтального переміщень;
- Контроль стану гальма;
- Функція мультідвигатель/мультіконфігурація для вживання одного ПЧ в багато-рухових приводах кранів;
- Контроль перевищення заданої швидкості, обертання у зворотному напрямі, перевантаження.

Прикладна функція під'їм з підвищеною швидкістю дозволяє оптимізувати циклограму роботи крану. В цьому випадку максимальна швидкість підйому і опускання визначається автоматично залежно від маси вантажу. При цьому легкі вантажі і порожній крюк переміщаються з більшою швидкістю, чим вантажі, близькі до номінального.

Функція управління гальмом видає сигнал на відкриття гальма (після досягнення двигуном необхідного моменту) і сигнал накладення гальма (при зниженні швидкості до мінімального рівня).

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

Існують різновиди функції для механізмів підйому і горизонтального переміщення вантажу. Для коректування струму зняття гальма залежно від ваги вантажу може використовуватися функція весоізмерення, при цьому задіюється зовнішній датчик маси вантажу (наприклад із складу обмежувача вантажопідйомності).

					ЕП.ПД.19.15.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Дослідження динаміки електроприводу

3.1. Модель асинхронного двигуна орієнтована по вектору напруги статора

Асинхронна машина трифазну обмотку на роторі і статорі. Обмотки підключені до симетричним джерелом напруги. Математичний опис такої машини базується на відомих законах. Рівняннях рівноваги ЕДС на обмотках статора і ротора базується на другому законі Кирхгофа.

Для статора:

$$\left. \begin{aligned} u_A &= R_A i_A + \frac{d\psi_A}{dt}, \\ u_B &= R_B i_B + \frac{d\psi_B}{dt}, \\ u_C &= R_C i_C + \frac{d\psi_C}{dt}. \end{aligned} \right\}$$

Для ротора:

$$\left. \begin{aligned} u_a &= R_a i_a + \frac{d\psi_a}{dt}, \\ u_b &= R_b i_b + \frac{d\psi_b}{dt}, \\ u_c &= R_c i_c + \frac{d\psi_c}{dt}. \end{aligned} \right\}$$

У вище приведених рівняннях фігурує миттєва напруга, струми і потокосцеплення статора і ротора, а також активні опори обмоток. Зазвичай обмотки виконуються симетричними, тому $R_A=R_B=R_C=R_s$ - активний опір обмотки статора, $R_a=R_b=R_c=R_R$ – активний опір роторної обмотки.

Другим використовуваним законом є закон Ампера, який зв'язує потокосцеплення обмоток із струмами, що протікають по обмоткам.

Для статора:

					ЕП.ПД.19.15.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\left. \begin{aligned} \psi_A &= L_{AA}i_A + L_{AB}i_B + L_{AC}i_C + L_{Aa}i_a + L_{Ab}i_b + L_{Ac}i_c, \\ \psi_B &= L_{BA}i_A + L_{BB}i_B + L_{BC}i_C + L_{Ba}i_a + L_{Bb}i_b + L_{Bc}i_c, \\ \psi_C &= L_{CA}i_A + L_{CB}i_B + L_{CC}i_C + L_{Ca}i_a + L_{Cb}i_b + L_{Cc}i_c. \end{aligned} \right\}$$

Для ротора:

$$\left. \begin{aligned} \psi_a &= L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c, \\ \psi_b &= L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c, \\ \psi_c &= L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c. \end{aligned} \right\}$$

Тоді симетричні рівняння для визначення потокосцеплень показують, що потокосцеплення кожної обмотки залежить від струмів у всіх обмотках; ці залежності виявляються через взаємоіндукцію. В уравнениях (1.3) и (1.4) L_{AA} , L_{BB} , L_{CC} , L_{aa} , L_{bb} , L_{cc} , є власними індуктивностями відповідних обмоток, все остальніє- взаємоіндуктивностями між відповідними обмотками.

Третім законом, лежачим в основі аналізу, є другий закон Ньютона - закон рівноваги моментів на валу машини:

$$J \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_c,$$

где J (кг·м²) — момент інерції на валу машини, що враховує інерційність як самої машини, так і приведеної до валу інерційності робочого механізму і редуктора, ω_m (рад/с)- кутова швидкість валу машини, \vec{M}_c (Н·м) - момент робочого механізму, приведений до валу двигуна.

Нарешті, четвертим і останнім законом, лежачим в основі аналізу машини, є закон, сформульований Ленцем, як правило лівої руки. Цей закон зв'язує векторні величини моменту, потокосцеплення і струму:

$$\vec{M} = k(\vec{\psi} \times \dot{i}).$$

В конечном виде уравнения обобщённой асинхронной машины имеют вид :

					ЕП.ПД.19.15.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\left. \begin{aligned}
 \vec{u}_S &= R_S \dot{i}_S + \frac{d\vec{\psi}_S}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_S, \\
 \vec{u}_R &= R_R \dot{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - p\omega_m) \vec{\psi}_R, \\
 \vec{\psi}_S &= L_S \dot{i}_S + L_m \dot{i}_R, \\
 \vec{\psi}_R &= L_m \dot{i}_S + L_R \dot{i}_R, \\
 M &= \frac{3}{2} p \cdot k \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_i \times \dot{i}_k), \\
 J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_C.
 \end{aligned} \right\}$$

У тій, що обертається з відносною кутовою швидкістю ω_k в системі координат з речовою віссю “x” і уявною віссю “y”, рівняння (1.7) в операторній формі запишуться у вигляді:

$$\left. \begin{aligned}
 u_{Sx} &= r(1 + T'_S s) i_{Sx} - \omega_K L'_S i_{Sy} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{Rx} - k_R p \omega_m \psi_{Ry}, \\
 u_{Sy} &= r(1 + T'_S s) i_{Sy} + \omega_K L'_S i_{Sx} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{Ry} + k_R p \omega_m \psi_{Rx}, \\
 0 &= -k_R R_R i_{Sx} + \frac{1}{T_R} \psi_{Rx} + s \psi_{Rx} - (\omega_k - p \omega_m) \psi_{Ry}, \\
 0 &= -k_R R_R i_{Sy} + \frac{1}{T_R} \psi_{Ry} + s \psi_{Ry} + (\omega_k - p \omega_m) \psi_{Rx}, \\
 m &= 1.5 p k_R (\psi_{Rx} i_{Sy} - \psi_{Ry} i_{Sx}), \\
 J s \omega_m &= M - M_H.
 \end{aligned} \right\}$$

Структурна схема АКЗ і її модель залежить від вибору базового вектора $[U]$, який визначає швидкість обертання координат. За базовий вектор береться той, який при аналізі поєднується з однією з осей системи координат.

Так якщо за базовий вектор прийняти вектор \vec{u}_S , то система координат обертається з швидкістю ω_1 рівній кутовій частоті напруги

					ЕП.ПД.19.15.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

живлення. Крім того, якщо поєднати вектор \bar{u}_s з віссю x системи координат, що обертається, то в рівняннях слід прийняти $u_{sx} = U_1$, $u_{sy} = 0$.

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= r(1 + T'_S s) i_{Sx} - \omega_1 L'_S i_{Sy} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{Rx} - k_R p \omega_m \psi_{Ry}, \\ 0 &= r(1 + T'_S s) i_{Sy} + \omega_1 L'_S i_{Sx} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{Ry} + k_R p \omega_m \psi_{Rx}, \\ 0 &= -k_R R_R i_{Sx} + \frac{1}{T_R} \psi_{Rx} + s \psi_{Rx} - (\omega_1 - p \omega_m) \psi_{Ry}, \\ 0 &= -k_R R_R i_{Sy} + \frac{1}{T_R} \psi_{Ry} + s \psi_{Ry} + (\omega_1 - p \omega_m) \psi_{Rx}, \\ m &= 1.5 p k_R (\psi_{Rx} i_{Sy} - \psi_{Ry} i_{Sx}), \\ J s \omega_m &= M - M_H. \end{aligned} \right\}$$

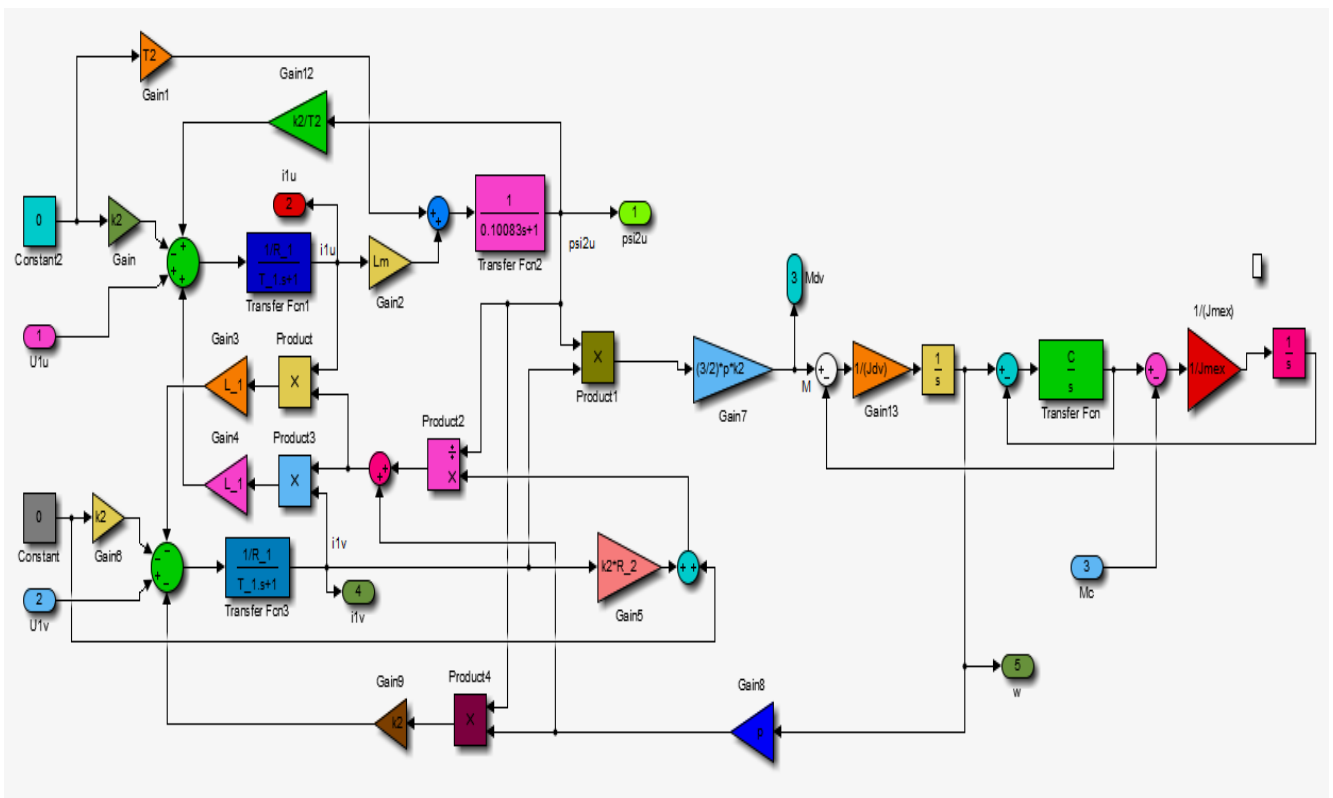


Рисунок 3.1 - Модель асинхронного двигуна

3.2 Моделювання системи ПЧ-АД в среде MatLab / Simulink, и дослідження перехідних процесів при відробітку діаграми навантаження.

На рисунку 3.2 представлена модель векторного управління асинхронним двигуном.

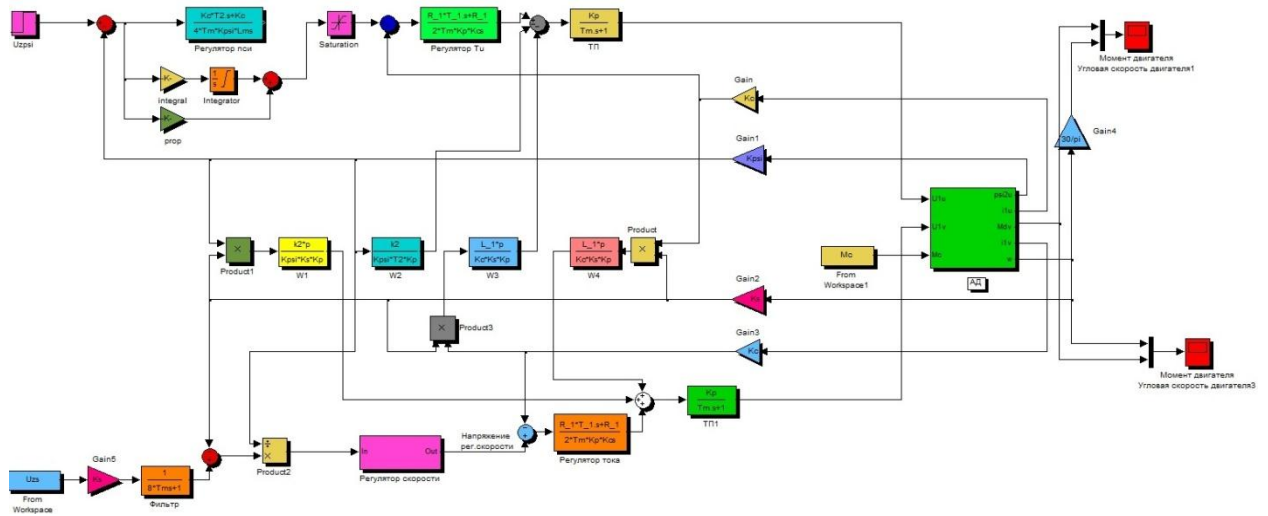


Рисунок 3.2 - Модель векторного управління асинхронним двигуном.

Розрахунок коефіцієнтів і параметри моделі дивися додаток Б.
В результаті моделювання було отримане наступні графіки:

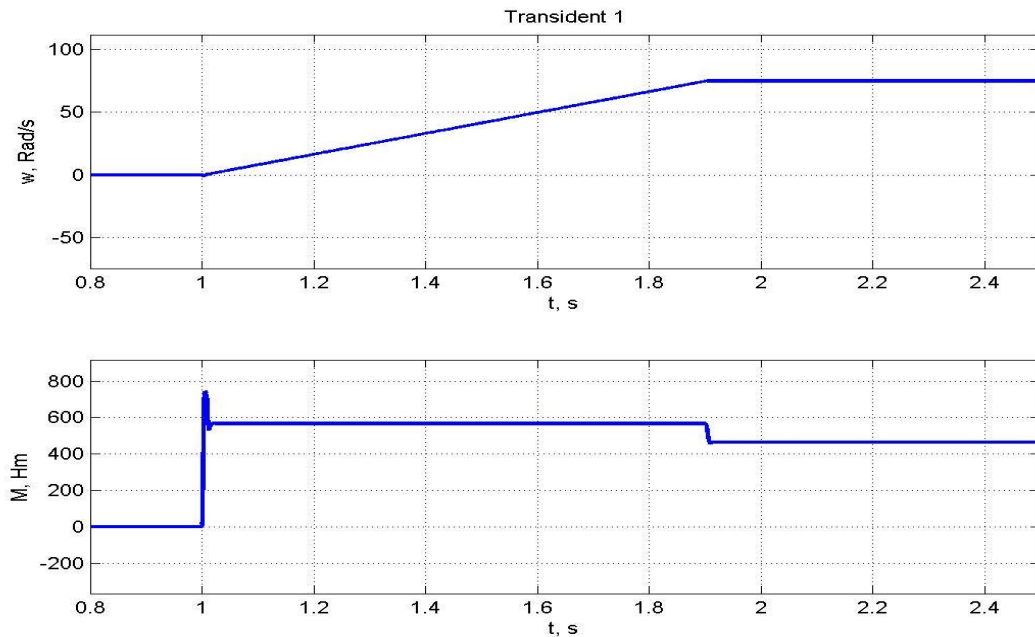


Рисунок 3.3 – Графік зміни швидкості і моменту при пуску двигуна при підніманні вантажу.

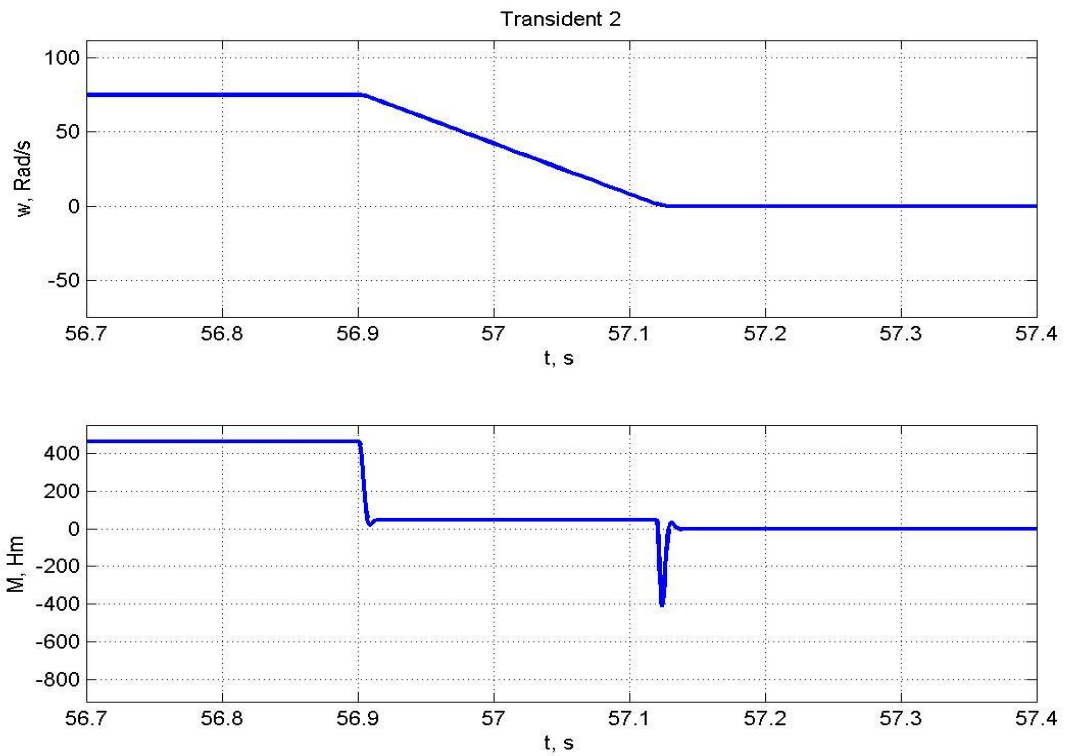


Рисунок 3.4 – Графік зміни швидкості і моменту при гальмуванні двигуна при підніманні вантажу.

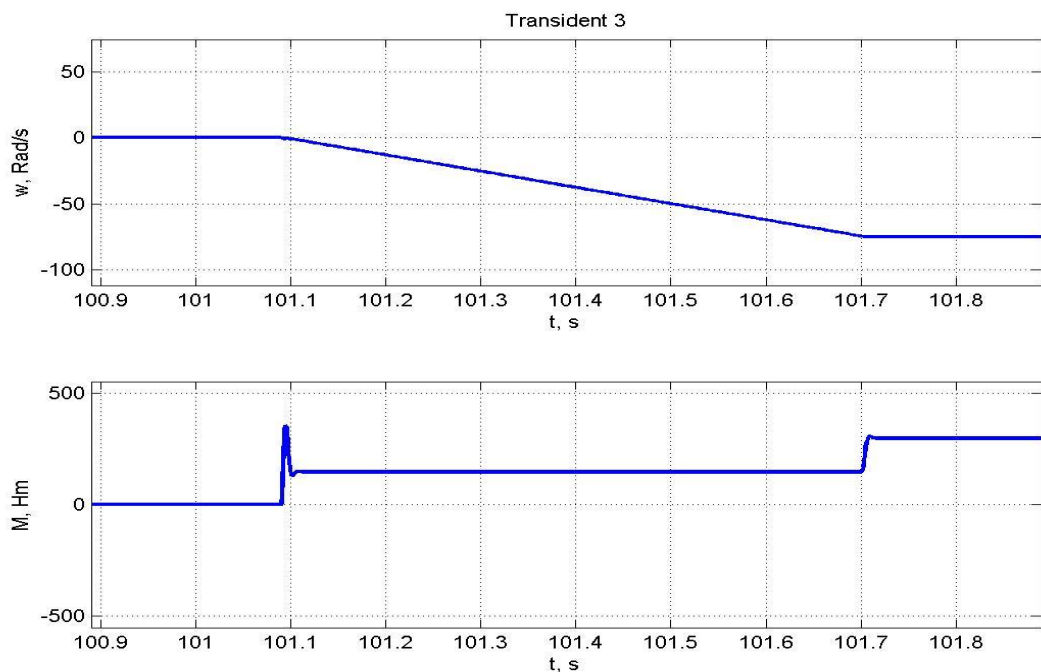


Рисунок 3.5 – Графік зміни швидкості і моменту при пуску двигуна при опусканні вантажу.

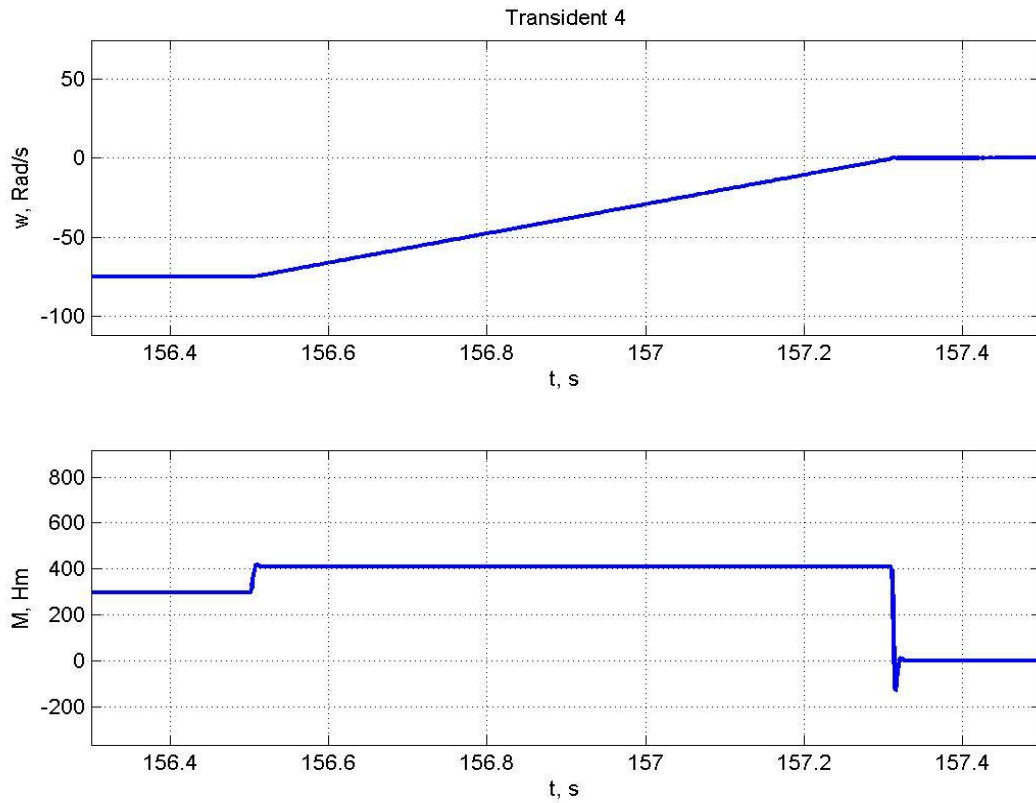


Рисунок 3.6 – Графік зміни швидкості і моменту при гальмуванні двигуна при опусканні вантажу.

					ЕП.ПД.19.15.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

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

					ЕП.ПД.19.15.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

					ЕП.ПД.19.15.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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. Постановка 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 при експлуатації та ремонті електроустаткування крана

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.

					ЕП.ПД.19.15.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

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

При будь-якому запаленні 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;

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

де U_{ϕ} – фазна напруга мережі $U_{\phi}=380\text{В}$, кВ; $I_{к.л.}$ – довжина електрично зв'язаних кабельних ліній, $I_{к.л.}=4$ км; $I_{в.л.}$ – довжина електрично зв'язаних повітряних ліній, $I_{в.л.}=10$ км.

$$I_3 = \frac{3 \cdot 380}{350} (3,5 \cdot 4 + 10) = 48 \text{ А}$$

					ЕП.ПД.19.15.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

4.2.3 Визначається необхідний опір штучних заземлювачів;

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

$$R_{\text{и}} = \frac{17 \cdot 4}{17 - 4} = 5,23 \text{ Ом}$$

4.2.4 Вибирається тип заземлюючого пристрою, виносний на підставі даних про об'єкт, що захищається, і значень $R_{\text{ув}}$, ρ .

4.2.5. Вибираються електроди стрижневі і попередньо розміщують їх на плані об'єкта, що захищається (Рисунок 4.1)

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;

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

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

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

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

4.2.7 Визначаю опір одиночного вертикального заземлювача;

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

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

l – довжина вертикального заземлювача, $l = 2 \text{ м}$;

					ЕП.ПД.19.15.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

d – діаметр вертикального заземлювача, $d = 0.020$ м.

$$R_B = \frac{225}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{0,020} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,7 + 2}{5 \cdot 0,7 - 2} \right) = 60,24 \text{ Ом}$$

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;

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

де $\eta_\Gamma = 0.75$ – Коефіцієнт використання горизонтального смугового електрода;

$\eta_B = 0.74$ – 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.19.15.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата		

Приложение Б

```

clc;
clear;
C = 100000; % коеф. жорсткості
Pn = 31000; % Номінальна потужність (Вт)
Un = 220; % номінальна фазна напруга електродвигуна, В
nn = 710; % Номінальна швидкість (об/хв)
Jdv = 2.03; % Інерція двигуна (кгм^2)
display('Інерція двигуна (кгм^2)');
display(Jdv);
KKD = 0.845; % номінальний ККД двигуна
cosf = 0.68; % номінальний коефіцієнт потужності електродвигуна
s = 0.0467; % ковзання
Xm = 3;
display(Xm);
% Параметри схеми заміщення в номінальному режимі
R1 = 0.202; display(R1);
X1 = 0.313; display(X1);
R_2 = 0.102; display(R_2);
X_2 = 0.231; display(X_2);
%-----
f = 50; % частота живильної мережі
w0 = 2 * pi * f; % кутова частота живлячої мережі, рад/с
%p=3000/nn; % число пар полюсів електродвигуна
p = 4;

Wmax=(pi*nn)/30; % максимальна швидкість обертання двигуна, рад/с
display('максимальна швидкість обертання двигуна, рад/с'); display(Wmax);
Inf=Pn/(3*Un*KKD*cosf); % номінальний фазний струм статора, А
display('номінальний фазний струм статора, А');
display(Inf);
Mn=(9.55*Pn)/(nn*(1-s)); % Номінальний момент електродвигуна, Нм
display('Номінальний момент електродвигуна, Нм');
display(Mn);
L1g=X1/w0; % Індуктивність розсіювання обмотки статора, Гн
display('Індуктивність розсіювання обмотки статора, Гн');
display(L1g);
L2g=X_2/w0; % Індуктивність розсіювання обмотки ротора, Гн
display('Індуктивність розсіювання обмотки ротора, Гн');
display(L2g);
Lm=Xm/w0; % максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора,
Гн
display('максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора,
Гн');
display(Lm);
L1=L1g+Lm; % повна індуктивність обмотки статора, Гн
display('повна індуктивність обмотки статора, Гн');
display(L1);
L2=L2g+Lm; % повна індуктивність обмотки ротора, Гн
display('повна індуктивність обмотки ротора, Гн');
display(L2);
k2=Lm/L2; % коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора
display('коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора');
display(k2);
L_1=L1g+k2*L2g; % Еквівалентна індуктивність розсіювання двигуна, Гн
display('Еквівалентна індуктивність розсіювання двигуна, Гн');
display(L_1);
R_1=R1+(k2^2)*R_2; % Еквівалентний активний опір двигуна, Ом
display('Еквівалентний активний опір двигуна, Ом');
display(R_1);
T_1=L_1/R_1; % еквівалентна електромагнітна постійна часу обмотки статора, с
display('еквівалентна електромагнітна постійна часу обмотки статора, с');
display(T_1);
T2=L2/R_2; % еквівалентна електромагнітна постійна часу обмотки ротора, с
display('еквівалентна електромагнітна постійна часу обмотки ротора, с');

```



```

display(T2);
psi=Mn/(1.5*sqrt(2)*Inf*p*k2); % номінальне поточозчеплення електродвигуна,
Вб
display('номінальне поточозчеплення електродвигуна, Вб');
display(psi);
Umax=10; % максимальна напруга в системі керування, В
Kc=Umax/(sqrt(2)*2*Inf); % Коефіцієнт передачі датчика струму
display('Коефіцієнт передачі датчика струму');
display(Kc);
Ks=Umax/Wmax; % Коефіцієнт передачі датчика швидкості
display('Коефіцієнт передачі датчика швидкості');
display(Ks);
Kpsi=Umax/psi; % Коефіцієнт передачі датчика поточозчеплення
display('Коефіцієнт передачі датчика поточозчеплення');
display(Kpsi);
Kp=(sqrt(2)*Un)/Umax; % Коефіцієнт передачі силового перетворювача
display('Коефіцієнт передачі силового перетворювача');
display(Kp);

Tm = 0.001; % Постійна часу силового перетворювача
%Mc=[0 Mt_por;t1 Mc_mex1;t1+t2 Mc_mex2;t1+t2+t3 Mc_mex3;t1+t2+t3+t4 Mc_mex3];
Mc=[0 0; 1+0 0; 1+0 464; 1+56.12 464; 1+56.12 0; 1+100.09 0; 1+100.09 297;
1+156.31 297; 1+156.31 0; 1+200.28 0; 1+200.28 165.5; 1+256.13 165.5;
1+256.13 0; 1+300.1 0; 1+300.1 -13.2; 1+356 -13.2; 1+356 0; 1+360 0];
Jmex=1.228;
z1 = 2.37;
z2 = 4.7;
Uzs = [0 0; 1+0 0; 1+0.9 74.8; 1+55.9 74.8; 1+56.12 0; 1+100.09 0; 1+100.7 -
74.8; 1+155.5 -74.8; 1+156.31 0; 1+200.28 0; 1+200.54 74.8; 1+255.79 74.8;
1+256.13 0; 1+300.1 0; 1+300.46 -74.8; 1+355.67 -74.8; 1+356 0; 1+360 0];

WpcP = (Jdv * Kc * Kpsi * 8 * Tm)/(48 * (Tm ^ 2) * Ks * k2 * p);
display('П-складова регулятора швидкості');
display(WpcP);
WpcI = (Jdv * Kc * Kpsi)/(48 * (Tm ^ 2) * Ks * k2 * p);
display('І-складова регулятора швидкості');
display(WpcI);
WpsiP = Kc * T2 / (4 * Tm * Kpsi * Lm);
display('П-складова регулятора поточозчеплення');
display(WpsiP);
WpsiI = Kc / (4 * Tm * Kpsi * Lm);
display('І-складова регулятора поточозчеплення');
display(WpsiI);

```

Список использованной литературы:

1. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов.— Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. — 392 с, ил.
2. Чиликин М, Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. — 6-е изд, доп. и перераб. —М.: Энергоиздат, 1981. — 576 с.
3. Нарышкин А.К. Цифровые устройства и микропроцессоры. – М.: «Академия», 2006. – 320 с.
4. Ильинский Н.Ф. Электропривод вчера, сегодня, завтра // Приводная техника. –1997. –№6. – С. 6–9.
5. Техническая документация на мікроконтролер Twido моделі TWDLCAA16DRF /Завод-изготовитель.
6. Техническая документация на частотний перетворювач VACON0100-3L-0003-4-HVAC/Завод-изготовитель
7. Техническая документация на вентилятор ВЦУН 180x74-0,55-4/Завод-изготовитель.
8. Колб А. Колб А. Теорія електроприводу: навчальний посібник: національний гірничий університет,2011.-565с.
9. Парфенов Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры /Е.М. Парфенов, Камышная Э.Н. – Москва: Наука и связь. – 1989.- 272 с.
- 10.ГОСТ 12.0.003-74/1 БЖД
11. ГОСТ 12.1. 030 – 81. ССБТ.
12. ДБН В.2.5-28-2006
13. ГОСТ 12.1. 004 – 91 ССБТ.
14. Бердй Я. І. Охорона праці / Я.І. Бердй. – Львів: РП АРГ. - 2000.- 258с.
15. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці [Підручник] / В.Ц. Жидецький. – Львів: Афіша. – 2005. – 328 с.

16. Економіка підприємства /За ред. К.А. Покріпивного. – Київ: Лебідь.- 2001. -348с.
17. Економіка та організація виробництва: [Підручник] /за ред. В.Г. Герасимчука, - К.: Знання, 2007. – 326 с.
18. Гриньова В.М., Салун М.М. Організація виробництва: [Підручник]/ Гриньова В.М., Салун М.М. – К.: Знання, - 2009. – 405 с.
19. Бойчик І.М. Економіка підприємства: [Навчальний посібник] / Київ: Атіка. - 2004. – 480 с.