

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 Безручка Дениса Олександровича
(ПІБ)

академічної групи 141-16ск-3
(шифр)

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

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Електромеханічна система переміщення та позиціонування плоских елементів меблевих конструкцій
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Азюковський О.О.			
розділів:				
Технологічна частина	Азюковський О.О.			
Автоматизований електропривод	Азюковський О.О.			
Дослідження динаміки електропривода	Азюковський О.О.			
Економічна частина	Тимошенко Л.В.			
Охорона праці	Лутс І.О.			
Рецензент	Цмплєнков Д.В.			
Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

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 Безручкові Д.О. академічної групи 141-16ск-3
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
спеціалізації¹

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

на тему Електромеханічна система переміщення та позиціонування плоских елементів
меблевих конструкцій

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

Розділ	Зміст	Термін виконання
1. Технологічна частина 2. Автоматизований електропривод	Загальна характеристика мостового крану. Аналіз технології роботи механізму та розрахунок потужності електропривода	14.01.2019- 20.01.2019, 13.05.2019 – 19.05.2019
3. Дослідження динаміки електропривода	Вибір комплектного електропривода, синтез САУ і дослідження її роботи	20.05.2019- 02.06.2019
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Інженерно-технічні заходи з охорони праці	03.06.2019- 09.06.2019
5. Техніко-економічне обґрунтування проекту	Економічне обґрунтування прийнятих рішень	03.06.2019- 09.06.2019

Завдання видано _____
(підпис керівника)

О.О. Азюковський
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 24.12.2018

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Д.О. Безручко
(прізвище, ініціали)

Реферат

Електромеханічна система переміщення та позиціонування плоских елементів меблевих конструкцій.

Об'єктом проектування є автоматизований електропривод з системою управління перетворювачем частоти.

Мета роботи: розробка автоматизованого електропривода механізму підйому мостового крана з системою керування перетворювача частоти.

В процесі роботи був розроблений автоматизований електропривод з асинхронним двигуном, автоматизована система управління двигуном.

Проведено розрахунок основні конструктивних та техніко-економічних показників: плавний пуск і гальмування при підйомах і опускання вантажу, забезпечення переходу на знижену швидкість при збереженні утримує момент двигуна, більш довгий термін служби електричних вузлів приводу.

Ефективність установки визначається підвищеним терміном служби вузлів електричного приводу, стабільної керованістю і стійкістю при підвищеній статистичному навантаженні.

Зміст

Вступ.....	3
1. Технологічна частина	
1.1 Загальна характеристика технологічного агрегату та аналіз технологічного процесу.....	4
1.2 Аналіз кінематичної схеми, визначення параметрів і складання розрахункової схеми механічної частини електроприводу.....	5
1.3 Діаграма швидкостей та навантажень електропривода.....	6
2. Автоматизований електропривод	
2.1 Розрахунок перехідних процесів і побудова механічної характеристики та навантажувальної діаграми двигуна.....	11
2.2 Попередній вибір двигуна.....	13
2.3 Перевірка двигуна за нагрівом та перевантажувальної здатності.....	15
2.4 Вибір комплектного перетворювача та розрахунок параметрів і вибір елементів силового ланцюга.....	17
3. Дослідження динаміки електропривода	
3.1 Проектування системи автоматичного керування.....	22
3.2 Розрахунок параметрів об'єкта керування.....	26
3.3 Аналіз динамічних і статичних характеристик електропривода.....	27
4. Охорона праці	
4.1 Вимоги безпеки при експлуатації мостового крана.....	35
4.2 Вимоги безпеки до механізмів та апаратів управління.....	36
4.3 Вимоги безпеки до приладів і пристроїв безпеки.....	37
4.4 Вимоги безпеки до електроустаткування.....	39
4.5 Розрахунок заземлення.....	42
5. Техніко-економічне обґрунтування	
5.1 Загальні відомості.....	44
5.2 Розрахунок початкових витрат.....	44
5.3 Визначення експлуатаційних витрат.....	46
5.4 Аналіз отриманих техніко-економічних показників.....	54
Висновок.....	56
Список літератури.....	57

Вступ

Для виконання дипломного проекту виберемо автоматизований електропривод механізму підйому мостового крана вантажопідйомністю 20 тонн.

Кранове обладнання є одним з основних засобів комплексної механізації всіх галузей народного господарства. Розширення галузі машинобудування, що займається виробництвом вантажопідіймальних машин, є важливим напрямком розвитку народного господарства для вирішення завдання всебічного скорочення і ліквідації важкої ручної праці.

В даний час вантажопідійомні машини випускаються великим числом заводів в багатьох галузях народного господарства і ці машини використовуються практично у всіх сферах народного господарства: при видобутку корисних копалин, в металургії, машинобудуванні, будівництві, на транспорті та ін. Переважна більшість вантажопідійомних машин, виготовлених вітчизняною промисловістю, має електричний привід основних робочих механізмів і тому ефективність дії цих машин в значно мірою залежить від якісних показників і спользуемого кранового електроустаткування.

Електропривод більшості вантажопідійомних машин характеризується повторно-короткочасним режимом роботи при великій частоті включень, широкому діапазоні регулювання швидкості і постійно виникаючих значних перевантаженнях при розгоні і гальмуванні механізмів. Особливі умови використання електроприводу в вантажопідійомних машинах стали основою для створення спеціальних серій електричних двигунів і апаратів кранового виконання. В даний час кранове електрообладнання має в своєму складі серії кранових електродвигунів змінного і постійного струму, серії силових і магнітних контролерів, командоапаратів, кнопкових постів, кінцевих вимикачів, гальмових електромагнітів і електрогідравлічних штовхачів, пускогальмівних резисторів і ряд інших апаратів, комплектуючих різні кранові електроприводи.

У крановому електроприводі почали досить широко застосовуватися різні системи тиристорного регулювання та дистанційного управління по радіоканалу в одному дроті.

Для забезпечення механізованої транспортування феромагнітних матеріалів промисловістю виготовляється дві серії вантажопідійомних електромагнітів. Виробництво кранового електроустаткування стало однією з найважливіших галузей електротехнічної промисловості.

1. Технологічна частина

1.1 Загальна характеристика технологічного агрегату та аналіз технологічного процесу

Мостовий кран - кран мостового типу, міст якого спирається на надземний рейковий крановий шлях, а вантажозахватний орган підвішений до вантажного візка або електроталі, що переміщається по мосту. Мостові крани загального призначення виготовляють вантажопідйомністю до 320т, спеціального призначення - до 630 т, прольоти - 60 м, висота підйому - 50 м. Крани загального призначення використовують при монтажі обладнання, виробництві ремонтних робіт, для технологічних робіт в цехах основного виробництва, на складах, при перевантажувальних роботах[10].

Металоконструкція мостового крана складається з двох основних частин: моста і візка. Міст перекриває робочий проліт виробничого приміщення або складу. Він складається з двох головних і двох кінцевих балок. Через ходові колеса механізму пересування міст спирається на надземні кранові рейки. Останні закріплені на підкранових балках, змонтованих на консолях колон будівлі або кранової естакади. Колеса наводяться через передавальний механізм одним або двома електродвигунами. Ходові колеса кранів виконують дворіберні або безріберні з горизонтальними направляючими роликками. На головних балках закріплені рейки, по яких переміщається візок з допомогою свого приводу. На її рамі розміщені один або два механізми підйому вантажу, кожен з яких складається з підвіски крюка, канатного поліспасти, барабана, передавального механізму, гальма і електродвигуна. Механізмами крана керують з кабіни, підвішеної до металоконструкції моста, що дозволяє мати найкращий огляд і безпеку роботи, а при необхідності - на візку (має можливість автономно переміщатися уздовж прольоту крана).

При роботі крана напрямку руху крана, візки і гака постійно чергуються. Робота механізму підйому складається з періодів підйому і опускання вантажу і періодів підйому і опускання порожнього гака. Для збільшення продуктивності крана використовують поєднання операцій, наприклад одночасне пересування крана і візка. Під час навішування вантажу на гак і звільнення гака двигун відключений і механізм підйому не працює.

За призначенням різноманітні вантажопідйомні машини можна об'єднати в три групи[9]:

- 1) універсальні вантажопідйомні машини - крани, лебідки, талі, службовці для підйому і переміщення різних вантажів за допомогою крюкового підвісу на вантажному тросі;
- 2) вантажопідйомні машини для виконання певних технологічних операцій в промисловості, на транспорті і в будівництві;
- 3) крани для виконання будівельних, монтажних і ремонтних робіт, пов'язаних з переміщенням машинного обладнання.

У свою чергу, за умовами роботи вантажопідйомні машини можуть бути умовно розділені на наступні групи:

- 1) машини універсального призначення, що використовуються для роботи в приміщеннях при повторно-короткочасному режимі і середньої тривалості роботи до 16ч на добу;
- 2) машини універсального призначення, що використовуються для роботи в приміщеннях при повторно-короткочасному режимі і середньої тривалості роботи від 8 до 24 год на добу;
- 3) машини для виконання певних технологічних операцій, які використовуються як в приміщеннях, так і на відкритому повітрі при повторно-короткочасному режимі і тривалістю роботи до 24 год на добу;
- 4) машини для виконання разових і епізодичних вантажопідйомних операцій, які використовуються в короткочасних і в повторно-короткочасних режимах із загальним річним числом годин роботи не більше 500.

1.2 Аналіз кінематичної схеми, визначення параметрів і складання розрахункової схеми механічної частини електроприводу

Технічні дані до проекту:

Максимальна висота підйому $H_{\max} = 16.5\text{ м}$;

Номінальна швидкість $V_{\text{ном}} = 0,35\text{ м/с}$;

Маса гака $m_k = 600\text{ кг}$;

Діаметр барабана $D_B = 1450\text{ мм}$;

Кратність поліспаса $i = 4$;

Передавальне число редуктора $j = 32.4$;

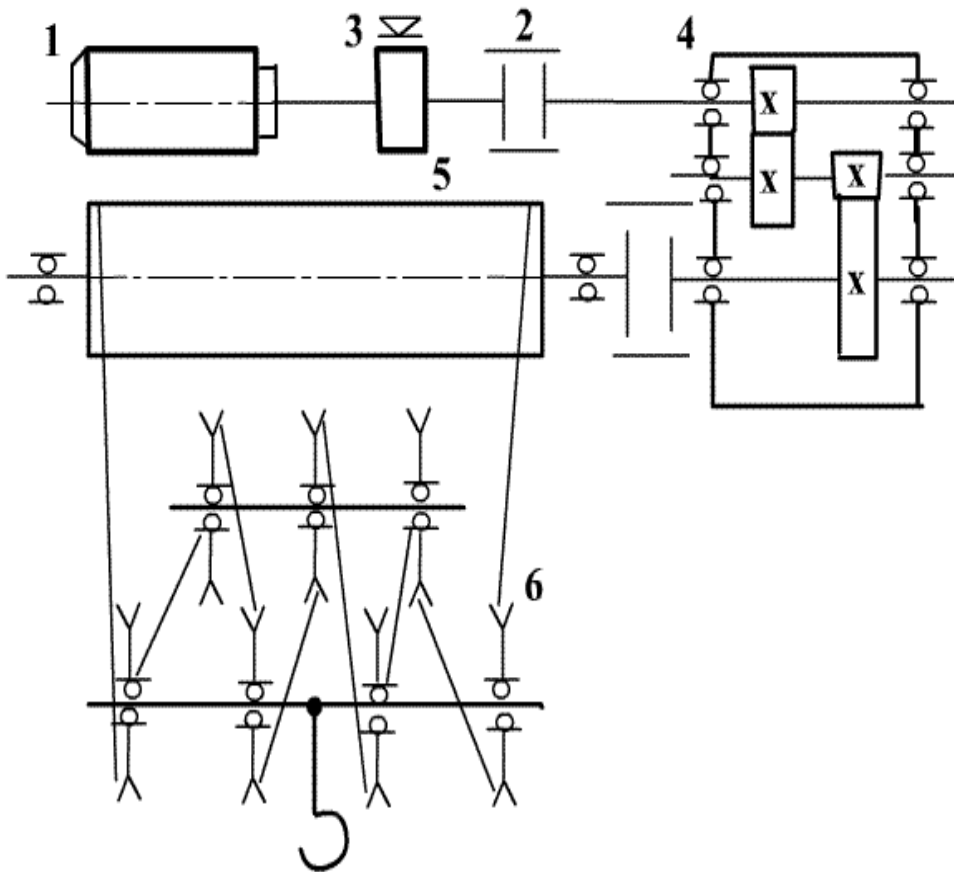
Момент інерції барабана $J_B = 1200 \text{ кгм}^2$;

Номінальний ККД передачі $\eta_{н.ном} = 85\%$;

Швидкість гака $v_k = 2v_{ном}$; ПВ = 40%.

Вантажопідйомність 20 тонн.

Механізм підйому вантажу (рисунок 1.1) складається з підвіски крюка, поліспаст, барабана, передавального пристрою (редуктора, муфт, валів), гальма і електродвигуна. Вузли механізму змонтовані на металоконструкції крана. Грузовий канат від сходу з блоків охороняється жорсткими і відсуває обмежувачами[9].



1 -електродвигун; 2 -муфта; 3 гальмо; 4 -Редуктор; 5-барабан; 6 поліспаст.

Малюнок 1.1 Кінематична схема механізму підйому

1.3 Діаграма швидкостей та навантажень електропривода

Навантажувальна діаграма електроприводу використовується для попередньої перевірки двигуна по нагріванню і перевантажувальній здібності. Спочатку

визначимо сумарний момент інерції електроприводу в разі підйому гака (J2) і вантажу (J1).

З метою обмеження динамічних навантажень, забезпечення надійного зчеплення механізмів пересування з рейками і канатів зі шківками в підйомнику, а також формування необхідних перехідних процесів прискорення механізмів обмежується. Лінійне прискорення приймаємо: $a_{доп} = 0,2 \text{ м / с}^2$.

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{но}}{30} = \frac{3,14 \cdot 597}{30} = 62,48 \text{ рад/с}$$

Радіус приведення:

$$\rho = \frac{v_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{0,35}{62,48} = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ м / рад}$$

Допустиме кутове прискорення (уповільнення):

$$\varepsilon_{доп} = \frac{a_{доп}}{\rho} = \frac{0,2}{5,6 \cdot 10^{-3}} = 35,7 \text{ рад / с}^2$$

Приймаємо момент інерції барабана заданий: $J_б = 1200 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Момент інерції електроприводу при підйомі вантажу:

$$J_1 = \delta \cdot J_д + \frac{J_б}{j_{ред}^2} + (m_{сп} + m_к) \cdot \rho^2 = 1,2 \cdot 6,4 + \frac{1200}{32,4^2} + (20000 + 600) \cdot (5,6 \cdot 10^{-3})^2 = 9,46$$

де $\delta = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує момент інерції обертових частин механізму

Момент інерції електроприводу при підйомі гака:

$$J_2 = \delta \cdot J_д + \frac{J_б}{j_{ред}^2} + m_к \cdot \rho^2 = 1,2 \cdot 6,4 + \frac{1200}{32,4^2} + 600 \cdot (5,6 \cdot 10^{-3})^2 = 8,82$$

Час розгону при підйомі і опусканні гака:

$$t_{m,к}^{\uparrow} = t_{m,к}^{\downarrow} = \frac{2 \cdot v_{ном}}{a_{доп}} = \frac{2 \cdot 0,35}{0,2} = 3,5 \text{ с}$$

$$t_{m,zp}^{\uparrow} = t_{m,zp}^{\downarrow} = \frac{v_{ном}}{a_{дон}} = \frac{0.35}{0.2} = 1.75c$$

Динамічний момент електроприводу $M_{дин}$ визначимо, приймаючи лінійний закон зміни швидкості.

$$M_{дин} = J \frac{dw}{dt} = J \epsilon_{доп},$$

Динамічний момент електроприводу $M_{дин}$:

$$M_{дин1} = J1 * \epsilon_{доп} = 9.46 * 35.71 = 337.81 \text{ Н*м}$$

$$M_{дин2} = J2 * \epsilon_{доп} = 8.82 * 35.71 = 315 \text{ Н*м}$$

На кожному інтервалі навантажувальної діаграми момент двигуна будемо розраховувати за такою формулою: $M = M_c + M_{дин} = M_c + J \epsilon_{доп}$

Розрахуємо статичні моменти на всіх етапах циклу:

$$M_{c,k}^{\uparrow} = \frac{P_{c,k}^{\uparrow}}{2 \cdot \omega_{ном}} = \frac{11036}{2 \cdot 62.48} = 88.3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c,k}^{\downarrow} = \frac{P_{c,k}^{\downarrow}}{2 \cdot \omega_{ном}} = \frac{-4856}{2 \cdot 62.48} = -38.86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c,zp}^{\uparrow} = \frac{P_{c,zp}^{\uparrow}}{\omega_{ном}} = \frac{88413}{62.48} = 1415 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c,zp}^{\downarrow} = \frac{P_{c,zp}^{\downarrow}}{\omega_{ном}} = \frac{53047}{62.48} = 850 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Електромагнітний момент при розгоні і опусканні гака:

$$M_1 = M_{c,k}^{\downarrow} - M_{дин2} = -38.86 - 315 = -353.86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$t_1 = t_{m,k}^{\uparrow} = 3.5c$$

Електромагнітний момент при опусканні гака з постійною швидкістю:

$$M_2 = M_{c,k}^{\downarrow} = -38.86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$t_2 = t_{m,k}^{\uparrow} - 2 \cdot t_1 = 31.4 - 2 \cdot 3.7 = 24c$$

Електромагнітний момент при гальмуванні і опусканні гака:

$$M_3 = M_{c,\kappa}^{\downarrow} + M_{\text{дин2}} = -38.86 + 315 = 276.14 H \cdot m$$

$$t_1 = t_{m,\kappa}^{\uparrow} = 3.5 c$$

Електромагнітний момент при розгоні і підйомі вантажу:

$$M_4 = M_{c,ep}^{\uparrow} + M_{\text{дин1}} = 1415 + 337.81 = 1752.81 H \cdot m$$

$$t_4 = t_{m,ep}^{\uparrow} = 1.75 c$$

Електромагнітний момент при підйомі вантажу з постійною швидкістю:

$$M_5 = M_{c,ep}^{\uparrow} = 1415 H \cdot m$$

$$t_5 = t_{ep}^{\uparrow} - 2 \cdot t_4 = 47.14 - 2 \cdot 1.75 = 43.64 c$$

Електромагнітний момент при гальмуванні і підйомі гака:

$$M_6 = M_{c,ep}^{\uparrow} - M_{\text{дин1}} = 1415 - 337.81 = 1077.2 H \cdot m$$

$$t_6 = t_{m,ep}^{\uparrow} = 1.75 c$$

Електромагнітний момент при розгоні і опусканні вантажу:

$$M_7 = M_{c,ep}^{\downarrow} - M_{\text{дин1}} = 850 - 337.81 = 512.2 H \cdot m$$

$$t_7 = t_{m,ep}^{\uparrow} = 1.75 c$$

Електромагнітний момент при опусканні вантажу з постійною швидкістю:

$$M_8 = M_{c,ep}^{\downarrow} = 850 H \cdot m$$

$$t_8 = t_5 = 43.64 c$$

Електромагнітний момент при гальмуванні і опусканні вантажу:

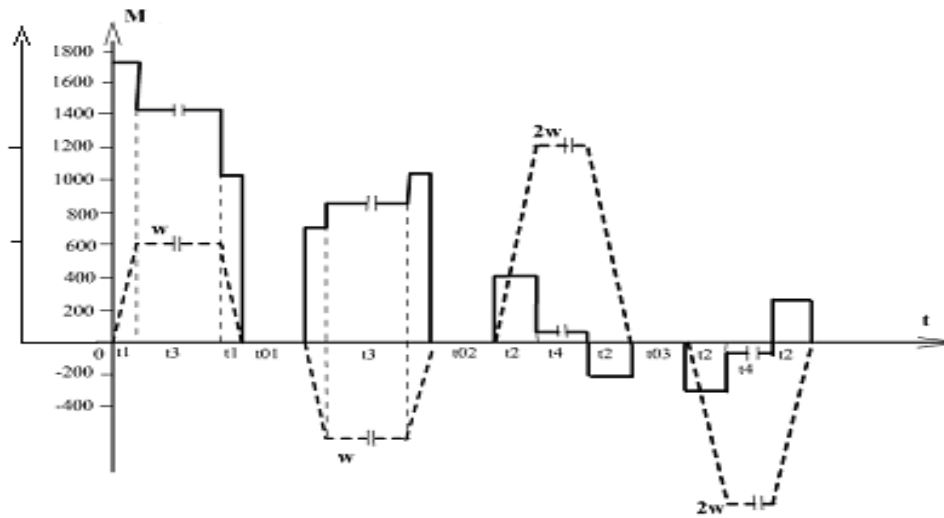
$$M_9 = M_{c,ep}^{\downarrow} + M_{\text{дин1}} = 850 + 337.81 = 1187.81 H \cdot m$$

$$t_9 = t_{m,ep}^{\uparrow} = 1.75 c$$

Електромагнітний момент при розгоні і підйомі гака:

$$M_{10} = M_{c,\kappa}^{\wedge} + M_{\text{дин2}} = 88.3 + 315 = 403.3 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$t_{10} = t_{m,\kappa}^{\wedge} = 3.5 \text{ с}$$



Малюнок 1.2 - Навантажувальна і швидкісна діаграми електроприводу

2. Автоматизований електропривод

2.1 Розрахунок перехідних процесів і побудова механічної характеристики та навантажувальної діаграми двигуна

Технологічні параметри механізму:

- номінальна швидкість підйому 0,35 м / с;
- максимальна висота підйому 16,5 м;
- тривалість включення 40%.

Технологічний процес являє собою цикл, що складається з: підйому гака, опускання вантажу, завантаження, підйому вантажу на висоту шести метрів, опускання вантажу, розвантаження(2).

Статична потужність при підйомі вантажу:

$$P_{ср}^{\uparrow} = \frac{g \cdot (m_{ном} + m_k) \cdot v_{ном}}{1000 \cdot \eta_{пном}} = \frac{9,81 \cdot (20000 + 600) \cdot 0.35}{1000 \cdot 0,8} = 88.413 \text{кВт}$$

де m_k -маса підвіски крюка, кг

$m_{ном}$ - номінальна маса вантажу, кг

$v_{ном}$ - номінальна швидкість підйому (опускання) вантажу, м / с

$\eta_{пном}$ - номінальний ККД кінематичної схеми, що дорівнює добутку її окремих елементів

g - прискорення сили тяжіння, м / с²

Статична потужність при опусканні вантажу:

$$P_{ср}^{\downarrow} = \frac{g \cdot (m_{ном} + m_k) \cdot v_{ном}}{1000 \cdot \eta_{пном}} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_{пном}}\right) = \frac{9,81 \cdot (20000 + 600) \cdot 0.35}{1000 \cdot 0.8} \cdot \left(2 - \frac{1}{0.8}\right) = 53047 \text{Вт}$$

Статична потужність при підйомі гака:

$$P_{ск}^{\uparrow} = \frac{g \cdot m_k \cdot 2v_{ном}}{\eta_n} = \frac{9,81 \cdot 600 \cdot 0.7}{0.28} = 11036 \text{Вт}$$

η_{Π} - ККД передачі, величина якого залежить як від кінематичного ланцюга, так і від величини завантаження і визначається як

$$\eta_{\Pi} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{\text{ном}}} + \frac{\alpha}{k_3} - \alpha} = \frac{1}{\frac{1}{0,85} + \frac{0,07}{0,029} - 0,07} = 0,28$$

Де α - коефіцієнт, що дорівнює 0,07

k_3 - коефіцієнт завантаження

$$k_3 = \frac{m_{\kappa}}{m_{\text{ном}} + m_{\kappa}} = \frac{600}{20000 + 600} = 0,028$$

Статична потужність при опусканні гака:

$$P_{\text{ск}}^{\downarrow} = P_{\text{ск}}^{\uparrow} (2\eta_{\Pi} - 1) = 7357,5(2 * 0,28 - 1) = -4856 \text{ Вт}$$

Розрахуємо тепер час виконання технологічних операцій:

$$t_{\text{гр}}^{\uparrow} = \frac{H}{v_{\text{ном}}} = \frac{16,5}{0,35} = 47,1 \text{ с}$$

$$t_{\text{кр}}^{\uparrow} = \frac{H}{2 \cdot v_{\text{ном}}} = \frac{16,5}{2 \cdot 0,35} = 23,6 \text{ с}$$

$$t_{\text{р}} = 2 * 47,1 + 2 * 23,6 = 141,5 \text{ с}$$

Розрахуємо час циклу:

$$PB = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\% = 40\%$$

$$t_{\text{ц}} = \frac{t_{\text{р}}}{PB} = \frac{141,5}{0,4} = 353,8 \text{ с}$$

Оскільки $t_{\text{ц}} = 5,89 \text{ хв} < 10 \text{ хв}$, то режим роботи повторно-короткочасний. Сумарний час пауз:

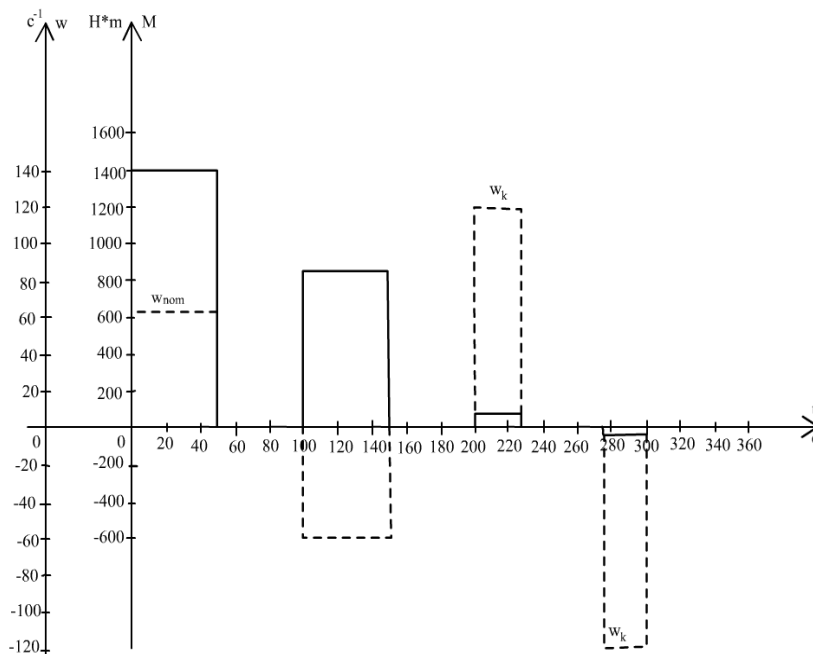
$$\Sigma t_0 = t_{\text{ц}} - t_{\text{р}} = 353,8 - 141,5 = 212,3 \text{ с}$$

$$\Sigma t_0 = t_{01} + t_{02} + t_{03} + t_{04}$$

Прийmemo $t_{01} = t_{03} = 53$ с

$t_{02} = t_{04} = 53$ с

За результатами розрахунків будемо швидкісну і навантажувальну діаграми механізму.



Малюнок 2.1 Швидкісна і навантажувальна діаграми механізму

2.2 Попередній вибір двигуна

Визначаємо еквівалентну потужність. Статично еквівалентна потужність за робочий період:

$$P_{\text{св}} = \sqrt{\frac{(P_{\text{сх}}^{\uparrow 2} + P_{\text{сх}}^{\downarrow 2}) \cdot t_{\text{к}}^{\uparrow} + (P_{\text{зп}}^{\uparrow 2} + P_{\text{зп}}^{\downarrow 2}) \cdot t_{\text{зп}}^{\uparrow}}{2 \cdot t_{\text{к}}^{\uparrow} + 2 \cdot t_{\text{зп}}^{\uparrow}}} = \sqrt{\frac{(11036^2 + (-4856)^2) \cdot 23,57 + (88413^2 + 53047^2) \cdot 47,1}{141,5}} = 59730 \text{кВт}$$

Перерахуємо цю потужність на ПВ = 100%:

$$P_{\text{св}}(\text{ПВ}=100\%) = P_{\text{св}}(\text{ПВ}=40\%) \cdot \sqrt{\frac{40}{100}} = 59730 \cdot 0,63 = 45331 \text{ Вт}$$

Вибір номінальної швидкості двигуна і типорозміру двигуна:

$$P_{\text{раз}} = P_{\text{ЗЕ}} \cdot K_{\text{зап}} = 45331 \cdot 1,2 = 54397,2 \text{Вт}$$

де $K_{\text{зап}} = 1,05$ - коефіцієнт запасу

З формули знаходимо $n_{\text{ном}}$:

$$j_{ред} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ном}}{v_{ном} \cdot 60 \cdot i};$$

$$n_{ном} = \frac{j_{ред} \cdot v_{ном} \cdot 60 \cdot i}{\pi D} = \frac{32.4 \cdot 0.35 \cdot 60 \cdot 4}{3.14 \cdot 1.45} = 597 \text{ об/мин}$$

З каталогу відповідно до прийнятого $P_{раз}$ вибираємо двигун так, щоб $P_n \geq P_{раз}$.. Вибираємо двигун 4АН280М10У3 на синхронну швидкість $n_0 = 600$ об / хв.

Параметри обраного двигуна з каталогу [4]:

- номінальна потужність $P_n = 55$ кВт,
- номінальна напруга $U_n = 380/220$ В
- номінальне ковзання $s_{ном} = 0.5\%$
- номінальний ККД $\eta_{ном} = 90,5\%$,
- номінальний коефіцієнт потужності $\cos \phi_{ном} = 0,81\%$
- кратність максимального моменту $M_{max} / M_{ном} = 2$
- кратність пускового моменту $M_n / M_{ном} = 1$
- критичне ковзання $s_k = 10\%$
- кратність пускового струму $I_n / I_{ном} = 5$
- момент інерції двигуна $J_{дв} = 4,0$ кг · м².

Параметри схеми заміщення двигуна у відносних одиницях:

$$X_{\mu}^* = 2.3;$$

$$R_1^* = 0,03;$$

$$X_1^* = 0,14;$$

$$R_2'^* = 0,035;$$

$$X_2'^* = 0,17.$$

Розрахуємо параметри електродвигуна:

Опір фази, Ом

$$Z_{\phi} = \frac{U_{\phi H}}{I_{1H}},$$

Де I_{1H} - номінальний фазний струм статора, А

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{\phi H} \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H},$$

$$I_{1H} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,905 \cdot 0,81} = 114 \text{ А}$$

$$Z_{\phi} = \frac{220}{114} = 1,92 \text{ Ом.}$$

$$X_{\mu} = X_{\mu}^* \cdot Z_{\phi} = 2,3 \cdot 1,92 = 4,42 \text{ Ом;}$$

$$R_1 = R_1^* \cdot Z_{\phi} = 0,036 \cdot 1,92 = 0,069 \text{ Ом;}$$

$$X_1 = X_1^* \cdot Z_{\phi} = 0,14 \cdot 1,92 = 0,26 \text{ Ом;}$$

$$R_2' = R_2'^* \cdot Z_{\phi} = 0,035 \cdot 1,92 = 0,067 \text{ Ом;}$$

$$X_2' = X_2'^* \cdot Z_{\phi} = 0,17 \cdot 1,92 = 0,32 \text{ Ом;}$$

Індуктивний опір короткого замикання, Ом

$$X_K = X_1 + X_2' = 0,26 + 0,29 = 0,55 \text{ Ом.}$$

2.3 Перевірка двигуна за нагрівом та перевантажувальної здатності

Спрощена навантажувальна діаграма електроприводу використовується для перевірки двигуна по нагріванню і перевантажувальної здатності. Електропривод працює в циклічному режимі зі змінним навантаженням. Для перевірки двигуна по нагріванню використовуємо метод еквівалентного моменту. Умовою правильного вибору двигуна по нагріванню буде(1):

$$M_e \leq M_{ном.}$$

У повторно-короткочасному режимі еквівалентний момент визначається тільки для робочих ділянок.

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_{p,i} \cdot M_{p,i}^2}{\alpha_0 \cdot \sum_{i=1}^m t_{n,m,i} + \sum_{i=1}^N t_{y,i}}},$$

де $M_{p,i}$ - момент на i -му інтервалі,

$t_{p,i}$ - тривалість роботи на i -му інтервалі

n - число робочих інтервалів в циклі,

m - кількість інтервалів спуску і гальмування,

N - кількість інтервалів усталеного руху,

$t_{п.т.i}$ - тривалість пуску (гальмування) на i -му інтервалі,

α_0 - коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження при пуску (гальмуванні),

$t_{y,i}$ - тривалість усталеного руху на i -му інтервалі.

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{1.75(1752.81^2 + 1077.2^2 + 512.2^2 + 1187.81^2) + 43.64(1415^2 + 850^2) + 3.7(-353.7^2 + 276.14^2 + 403.3^2 + (-226.7^2))}{0.7 \cdot 2 \cdot (1.75 + 3.7) + 2 \cdot (43.64 + 24)}} = 912.2 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{э}} = 912.2 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$\alpha_0 = \frac{1 + \beta_0}{2} = \frac{1 + 0.4}{2} = 0.7$$

де β_0 - коефіцієнт погіршення умов охолодження самовентильованого двигуна при відключенні

Цей еквівалентний момент знайдений при ПВ = 40%, перерахуємо його на ПВ = 100%:

$$M_{\text{э}} (\text{ПВ} = 100\%) = M_{\text{э}} (\text{ПВ} = 40\%) \cdot \sqrt{\frac{40}{100}} = 576.9 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{55000}{62.48} = 880 \text{ H} \cdot \text{м}$$

За наближеною навантажувальною діаграмою також перевіряється двигун по перевантажувальній здатності, тому що максимальний момент в навантажувальній діаграмі дорівнює 1752, то:

$$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} = \frac{1752}{880} = 1,99 < \lambda_m = 2,0$$

Отже, двигун по перевантажувальній здатності підходить.

2.4 Вибір комплектного перетворювача та розрахунок параметрів і вибір елементів силового ланцюга

В якості комплектного перетворювача можна використовувати перетворювач частоти зі скалярним керуванням, або з векторним керуванням. Так як у нас перетворювач повинен забезпечувати невеликий діапазон регулювання, то для наших цілей підходить частотний перетворювач зі скалярним керуванням.

Силова частина перетворювача повинна мати в своєму складі наступні компоненти: випрямляч, інвертор, фільтр, резистор гальмування, вузли захистів.

Так як амплітуда напруги і частота регулюється перетворювачем в інвертор, то випрямляч може бути виконаний на діодах, а при некерованому випрямлячі схема повинна мати гальмівний резистор. Виходячи з струму і потужності обраного нами двигуна, вибираємо перетворювач.

В даний час існує багато перетворювачів, які відповідають нашим вимогам, наприклад Hitachi, Siemens, ABB і багато інших. Принципових відмінностей між ними немає, єдина їхня відмінність це їх ціна і якість.

Вибираємо комплектний перетворювач фірми ABB типу ACS 601-0070-3. Технічні дані обраного перетворювача:

- номінальна потужність, 55кВт;
- номінальний вихідний струм перетворювача, 115А;
- струм короткочасного перевантаження, 123А;
- трифазне напруга живлення, 380 В, 50 Гц
- маса перетворювача, 50 кг;
- $f_k = 1$ кГц.

Розрахунок параметрів і вибір елементів силового ланцюга:

Силовий ланцюг, обраний нами перетворювача частоти має наступний склад:

- випрямляч - як елементи випрямляча використовуються діоди;
- інвертор - в якості ключів інвертора використовується комплект IGBT транзисторів з поворотними діодами, регулювання частоти на виході інвертора здійснюється шляхом зміни частоти перемикачів ключів інвертора, а регулювання величини напруги на виході інвертора здійснюється за рахунок широтно-імпульсної модуляції;
- блок гальмування - використовується для резистивного частотного гальмування;
- LC-фільтр - для фільтрації напруги;
- анодні реактори - використовуються для фільтрації комутаційних перешкод і обмеження швидкості наростання струму короткого замикання.
- ланцюги захисту від перенапруг;
- струмообмежуючі опір;

Виходячи з вище сказаного, силовий ланцюг електроприводу має вигляд, показаний на малюнку 2.2.

Схема силової частини електроприводу представлена на малюнку 4.1 і включає в себе наступні силові елементи:

L1 ... L3 - струмообмежуючі реактори, призначені для обмеження швидкості наростання струму;

R - Гальмівний опір;

C - ємність випрямляча;

VT1 ... VT6 - транзистори силового блоку інвертора;

R - струмообмежуючий опір;

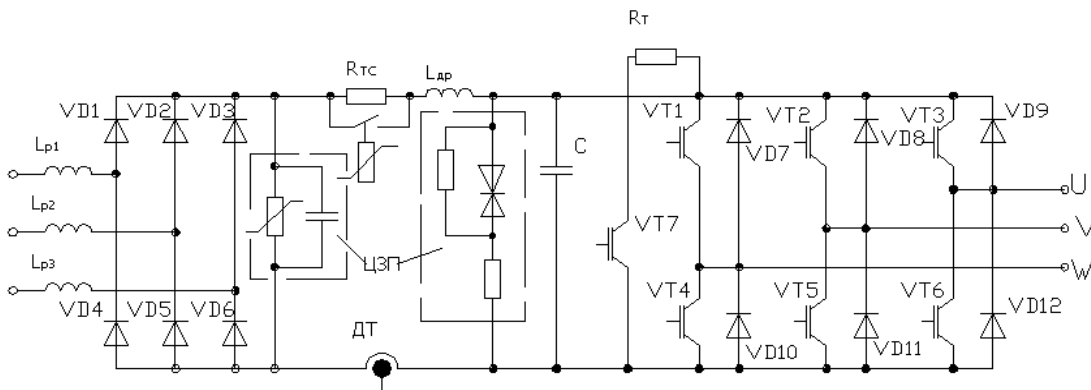
VD1 ... VD6 - діоди випрямляча.

VD7 ... VD12 - зворотні діоди інвертора;

ДТ - датчик струму;

ЦЗП - ланцюги захисту від перенавантажень;

L -згладжуючий дросель.



Малюнок 2.2-Принципова схема силовий ланцюга електроприводу

В якості силових ключів рекомендується використовувати модулі IGBT, до складу якого входять біполярні транзистори з ізольованим затвором і зворотні діоди.

Попередній вибір:

Номінальний фазний струм статора:

$$I_{ном} = 114 \text{ A} . \quad (2.1)$$

Середній струм через силовий ключ:

$$I_{н.ср.} \geq k_3 \cdot I_{мах}, \quad (2.2)$$

де k_3 - коефіцієнт запасу, що враховує перевантаження по струму при комутації ключа, $k_3 = 2$;

$I_{мах}$ - амплітудне значення струму в плечі силового ланцюга інвертора:

$$I_{мах} = \sqrt{2} \cdot I_{ном} = \sqrt{2} \cdot 114 = 164.2 \text{ A} , \quad (2.3)$$

де $I_{ном}$ - номінальний струм двигуна, А.

Вираз (2.2) набуде вигляду:

$$I_{н.ср.} \geq 2 \cdot 164.2 = 328.4 \text{ A} . \quad (2.4)$$

Робоча напруга на силовому ключі:

$$U_{раб.} \geq U_{мах} + \Delta U_{п.н.}, \quad (2.5)$$

де $U_{мах}$ - амплітудне значення напруги в силовому ланцюзі інвертора, В;

$\Delta U_{п.н.}$ - комутаційне перенапруження на ключі, В.

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot U_{л} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В,}$$

де $U_{л} = 380 \text{ В}$ - лінійна напруга мережі.

З урахуванням рекомендацій приймається значення перенапруги $U_{п.н.} = 600 \text{ В}$.

Вираз (2.5) набуває вигляду:

$$U_{\text{раб.}} \geq 537,4 + 600 = 1137,4 \text{ В. (2.6)}$$

На підставі виразів (2.4) і (2.6) по каталогу [2] вибираються силові модулі IRGPH50KD2 у вигляді напівмоста із зворотними діодами.

Максимально допустима напруга, що прикладається до вентиля, не повинно перевищувати допустимого значення повторюваного імпульсного напруги:

$$k_{zu} \cdot k_{\bar{n}} \cdot U_{\text{іад.м.}} \leq U_{\text{DRM}} \quad (2.7)$$

де:

k_{zu} - коефіцієнт запасу по напрузі, $k_{zu} = (1,3 \div 1,5)$;

k_c - коефіцієнт, що враховує можливе підвищення напруги в мережі, $k_c = 1,1$;

$U_{\text{обр.м.}}$ - максимальне зворотне напруга на вентилі;

$$U_{\text{обр.м.}} = \sqrt{6} \cdot U_{\text{ф}},$$

де $U_{\text{ф}}$ - значення напруги мережі живлення, $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$;

$$U_{\text{обр.м.}} = \sqrt{6} \cdot 220 = 538,88 \text{ В.}$$

$$1,4 \cdot 1,1 \cdot 538,88 = 829,87 \leq (1200).$$

Зробимо вибір конденсаторів силового фільтра:

Сумарна ємність конденсаторів силового фільтра:

$$C = \frac{U_d T_i}{3 R_i \Delta U_c} \quad (2.8)$$

де U_d - середнє значення випрямленої напруги, В:

$T_n = 0,001$ постійна часу навантаження (частота комутації транзисторів), с;

$R_H = 0,069 \text{ Ом}$ - активний опір навантаження, Ом;

ΔU_c - допустиме підвищення напруги на конденсаторі.

Середнє значення випрямленої напруги:

$$U_d = k_{cx} \cdot U_{\phi} = 2,34 \cdot 220 = 514,8 \text{ В},$$

де $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ - фазна напруга мережі;

$k_{cx} = 2,34$ - коефіцієнт схеми для трифазного випрямляча.

Допустиме підвищення напруги на конденсаторі:

$$\Delta U_c = 0,1 \cdot U_d = 0,1 \cdot 514,8 = 51,5 \text{ В}.$$

Активний опір навантаження:

$$R_H = 3R_1 / 2 = 3 \cdot 0,069 / 2 = 0,1 \text{ Ом}.$$

Вираз (2.13) набуде вигляду:

$$C = \frac{514,8 \cdot 0,001}{3 \cdot 0,1 \cdot 51,5} = 33 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}.$$

Визначається максимальне допустиме напруження на конденсаторі:

$$U \geq \sqrt{2} \cdot U_d; \quad (2.9)$$

$$U \geq \sqrt{2} \cdot 514,8 = 726,2 \text{ В}.$$

На основі результатів отриманих з виразів (2.8) і (2.9) вибираються конденсатори силового фільтру.

3. Дослідження динаміки електропривода

3.1 Проектування системи автоматичного керування

В даний час сформувався новий підхід до побудови систем асинхронного електроприводу з перетворювачем частоти, заснований на повних диференціальних рівняннях асинхронного двигуна, записаних на базі теорії узагальненої електричної машини. Такий підхід дозволяє побудувати структуру системи управління частотним електроприводом, звану системою частотного управління, і здійснити аналіз і синтез асинхронного електродвигуна простішими методами. Для цієї мети керовані координати електроприводу, змінні в нерухомій системі координат, перетворюються до обертається системі координат, в якій координати електроприводу розглядаються як векторні величини. З цих величин, розташованих у вигляді проекцій на обертові осі координат, шляхом координатних перетворень виділяються пропорційні або постійні величини координат електроприводу, які використовуються в якості сигналів управління в системі електроприводу. Диференціальні рівняння для узагальненої машини записуються в різних системах координат. Прийнято осі координат, нерухомі щодо статора і осі, - нерухомі щодо ротора. Запис рівнянь в цих осях є окремим випадком математичного опису процесів машини. У загальному випадку рівняння записуються щодо довільних координатних осей, наприклад, що обертаються зі швидкістю, з яких можна отримати будь-які окремі випадки роботи електричної машини. Якщо прийняти вісь за дійсну, а вісь - за уявну, то диференціальні рівняння можуть бути записані в векторній формі(4).

Характеристики повинні відповідати заданим умовам навантаження і розвантаження. Оскільки операції чергуються, характеристики повинні змінюватися або штучним шляхом ручного або автоматичного управління параметрами, або завдяки властивості самоврядування. Всі агрегати в необхідній мірі властивостями самоврядування не мають, тому характеристики необхідно змінювати штучно за допомогою систем автоматичного управління, так як при ручному управлінні його необхідну якість не забезпечується. Системи управління повинні безперервно забезпечувати такі характеристики агрегатів, при яких продуктивність крана максимальна[9].

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1u} &= i_{1u}R_1 + \frac{d\psi_u}{dt} - \omega_k \psi_{1g}; \\
 U_{1v} &= i_{1g}R_1 + \frac{d\psi_g}{dt} - \omega_k \psi_{1u}; \\
 0 &= i_{2u}R_2 + \frac{d\psi_{2u}}{dt} - (\omega_k - \omega_{\text{эл}})\psi_{2g}; \\
 0 &= i_{2g}R_2 + \frac{d\psi_{2g}}{dt} - (\omega_k - \omega_{\text{эл}})\psi_{2u}; \\
 M &= p_{\text{II}}L_{12}(i_{1g}i_{2u} - i_{1u}i_{2g}); \\
 \psi_{1u} &= L_1i_{1u} + L_{12}i_{2u}; \\
 \psi_{1g} &= L_1i_{1g} + L_{12}i_{2g}; \\
 \psi_{2u} &= L_2i_{2u} + L_{12}i_{1u}; \psi_{2g} = L_2i_{2g} + L_{12}i_{1g}
 \end{aligned} \right\}$$

Математична модель двофазного асинхронного двигуна в осях u-v вид:

$$\left. \begin{aligned}
 \omega_k &= 0; \\
 \bar{U}_1 &= \bar{i}_1R_1 + \frac{d\bar{\psi}_1}{dt}; \\
 0 &= \bar{i}_2R_2 + \frac{d\bar{\psi}_2}{dt} - j\omega_{\text{эл}}\bar{\psi}_2; \\
 \bar{M} &= p_{\text{II}}L_{12} \text{Im}(\bar{i}_1 \cdot \bar{i}_2^*) = p_{\text{II}}L_{12}(i_{1\beta}i_{2\alpha} - i_{1\alpha}i_{2\beta});
 \end{aligned} \right\}$$

ω_k - швидкість системи координат;

i_v, i_u - складові струму;

ψ_v, ψ_u - потокозчеплення;

R_1 - опір статора;

M - електромагнітний момент двигуна;

L_1, L_2 - індуктивності фаз статора і ротора;

L_{12} - індуктивність взаємодукції;

U_1 - напруга на статорі.

Всі змінні цієї моделі змінюються з частотою струму статора.

Імітаційна модель двофазного асинхронного двигуна в осях α - β має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{1\alpha}}{dt} &= K_1(U_{1\alpha} - i_{1\alpha}R_1) + K_3i'_{2\alpha} + K_2e_{1\beta} \\ \frac{di_{1\beta}}{dt} &= K_1(U_{1\beta} - i_{1\beta}R_1) + K_3i'_{2\beta} - K_2e_{1\alpha} \\ \frac{di'_{2\alpha}}{dt} &= -K_2(U_{1\alpha} - i_{1\alpha}R_1) - K_5i'_{2\alpha} - K_4e_{1\beta} \\ \frac{di'_{2\beta}}{dt} &= -K_2(U_{1\beta} - i_{1\beta}R_1) - K_5i'_{2\beta} - K_4e_{1\alpha} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J}(M - |M_c| \text{sign}\omega) \end{aligned} \right\}$$

$$M = K_6(i_{\beta}i'_{2\alpha} - i_{1\alpha}i'_{2\beta});$$

$$e_{1\alpha} = \omega_{\text{эл}}(L_2i'_{2\alpha} + L_{12}i_{1\alpha});$$

$$e_{1\beta} = \omega_{\text{эл}}(L_2i'_{2\beta} + L_{12}i_{1\beta});$$

$$\omega_{\text{эл}} = p_{\Pi}\omega; K_1 = \frac{L_2}{L_1L_2 - L_{12}^2}; K_2 = \frac{L_{12}}{L_1L_2 - L_{12}^2}; K_3 = K_2R_2';$$

$$K_4 = \frac{L_1}{L_1L_2 - L_{12}^2}; K_5 = K_4R_2'; K_6 = \frac{3}{2}p_{\Pi}L_{12};$$

$$U_{1\alpha} = U_{1m} \cos[\varphi_{\text{эл}}(t)];$$

$$U_{1\beta} = U_{1m} \sin[\varphi_{\text{эл}}(t)];$$

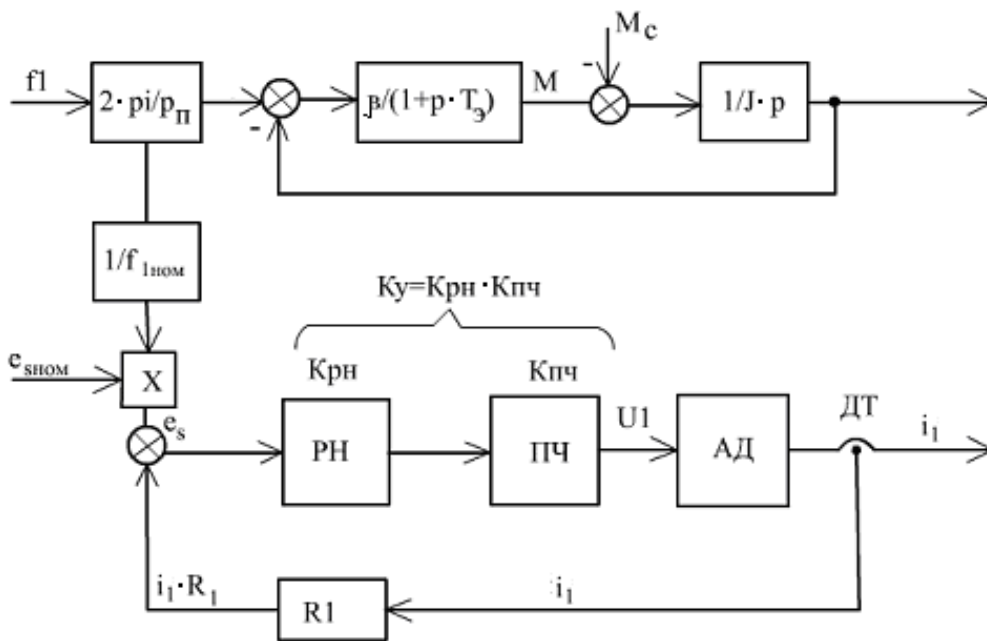
$$\varphi_{\text{эл}} = 2\pi f_{1ном} \int \alpha(t) dt;$$

$$\alpha(t) = \frac{f_1(t)}{f_{1ном}}$$

Динамічні властивості системи ПЧ-АД як об'єкта управління менш сприятливі, ніж динамічні властивості регульованих електроприводів постійного струму, в зв'язку з відсутністю незалежного каналу регулювання потоку, аналогічного обмотці збудження двигуна з незалежним збудженням. Так, при харчуванні від джерела напруги потікозчеплення ψ_1, ψ_2, ψ_m складно залежать від напруги U_1 , частоти f_1 і абсолютного ковзання SA.

При регулюванні напруги АД за законом $\Psi_1 = const$ забезпечується сталість модуля жорсткості механічних характеристик β .

Структурна схема автоматизованого електроприводу представлена на малюнку 3.1



Малюнок 3.1 - Структурна схема автоматизованого електроприводу

У такій системі САУ повинна забезпечити амплітуду вихідної напруги ПЧ:

$$U_{1m} = \sqrt{2} \cdot K_o \cdot (\alpha \cdot e_{sнм} + i \cdot R_1),$$

де K_u - коефіцієнт посилення системи управління;

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{нм}} \text{ - відносна частота;}$$

$E_{sнм}$ - сигнал номінальною ЕРС статора:

$$e_{sнм} = \frac{E_{s,нм}}{K_y};$$

$E_{s,нм}$ - чинне номінальне значення ЕРС статора;

i_1 - сигнал струму статора

$$i_1 \cdot R_1 = \frac{I_1 \cdot R_1}{K_y};$$

I_1 - діюче значення струму статора.

3.2 Розрахунок параметрів об'єкта керування

Визначимо коефіцієнти $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$, для двофазної моделі АД для цього розрахуємо необхідні параметри:

- індуктивність статора

$$L_1 = \frac{x_1 + x_\mu}{2\pi f} = \frac{0,26 + 4,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0149 \text{ Гн}$$

- індуктивність ротора

$$L_2 = \frac{x_2' + x_\mu}{2\pi f} = \frac{0,29 + 4,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,015 \text{ Гн}$$

$$L_{12} = \frac{x_\mu}{2\pi f} = \frac{4,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,014 \text{ Гн}$$

- еквівалентна індуктивність ланцюга статора

$$L_\sigma = L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} = 0,0149 - \frac{0,014^2}{0,015} = 0,0019 \text{ Гн}$$

$$K_1 = \frac{L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0,015}{0,0149 \cdot 0,015 - 0,014^2} = 545,45 \frac{1}{\text{Гн}}$$

$$K_2 = \frac{L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0,014}{0,0149 \cdot 0,015 - 0,014^2} = 509,09 \frac{1}{\text{Гн}}$$

$$K_3 = K_2 R_2' = 509,09 \cdot 0,067 = 34,1 \frac{1}{\text{с}}$$

$$K_4 = \frac{L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{0,0149}{0,0149 \cdot 0,015 - 0,014^2} = 541,81,6 \frac{1}{\text{Гн}}$$

$$K_5 = K_4 R_2' = 541,81 \cdot 0,067 = 36,3 \frac{1}{\text{с}}$$

$$K_6 = \frac{3}{2} p_{II} L_{12} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 0,014}{2} = 0,063 \text{ Ом}$$

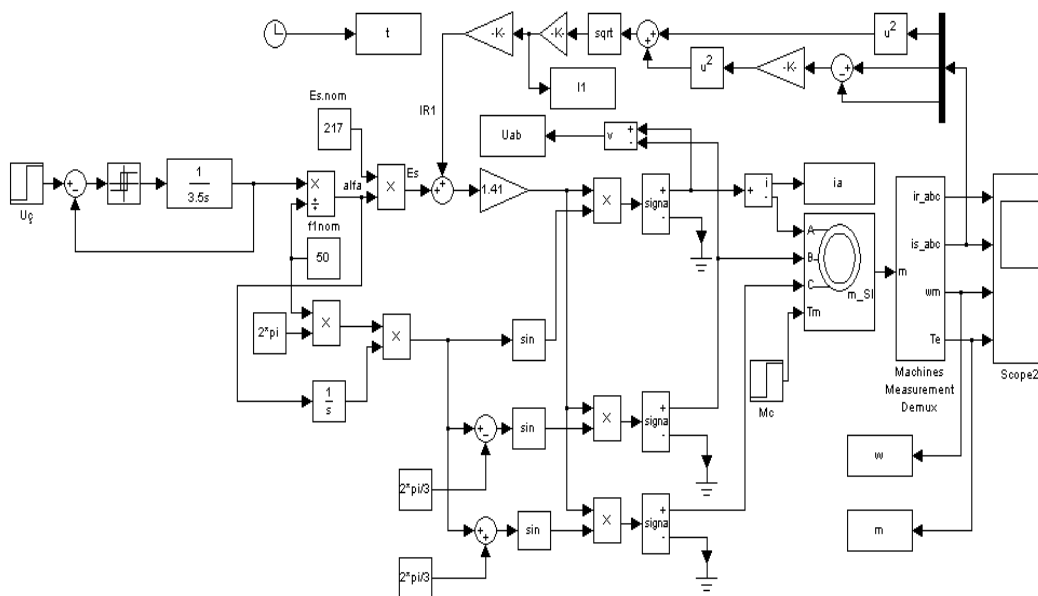
$$R_\sigma = R_1 + R_2' (L_{12}^2 / L_2^2) = 0,069 + 0,067 \cdot \frac{0,014^2}{0,015^2} = 0,127 \text{ Ом}$$

$$T_{\sigma} = \frac{L_{\sigma}}{R_{\sigma}} = \frac{0,0019}{0,127} = 0,0149 \text{ c}$$

$$\Psi_1 = \frac{E_{s.m}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1m}} = \frac{217}{314} = 0,69 \text{ \AA}$$

3.3 Аналіз динамічних і статичних характеристик електропривода

Комп'ютерне моделювання проектованої установки виробляємо в середовищі математичного моделювання MATLAB 6.0, з використанням бібліотеки Simulink. Модель побудована на основі рівнянь

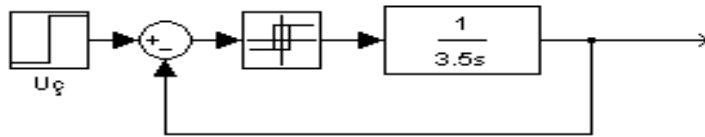


Малюнок 3.2 - Імітаційна модель електроприводу

На малюнку 3.2 показана схема моделювання, електроприводу, що складається з асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і перетворювача частоти.

Реалізація задатчика інтенсивності

Блок Saturation забезпечує лінійне зростання сигналу, релейний блок виконує функцію обмеження сигналу, коефіцієнт -до- служить для регулювання інтенсивності наростання, тобто досягнення необхідної швидкості двигуна з певним прискоренням. На вхід задатчика інтенсивності подається ступінчастий сигнал U управління, який підсумовується з вихідним сигналом інтегратора. На виході задатчика отримуємо сигнал управління, який надходить на регулятор частоти і функціональний перетворювач.



Малюнок 3.3 --Схема реалізації задатчика інтенсивності

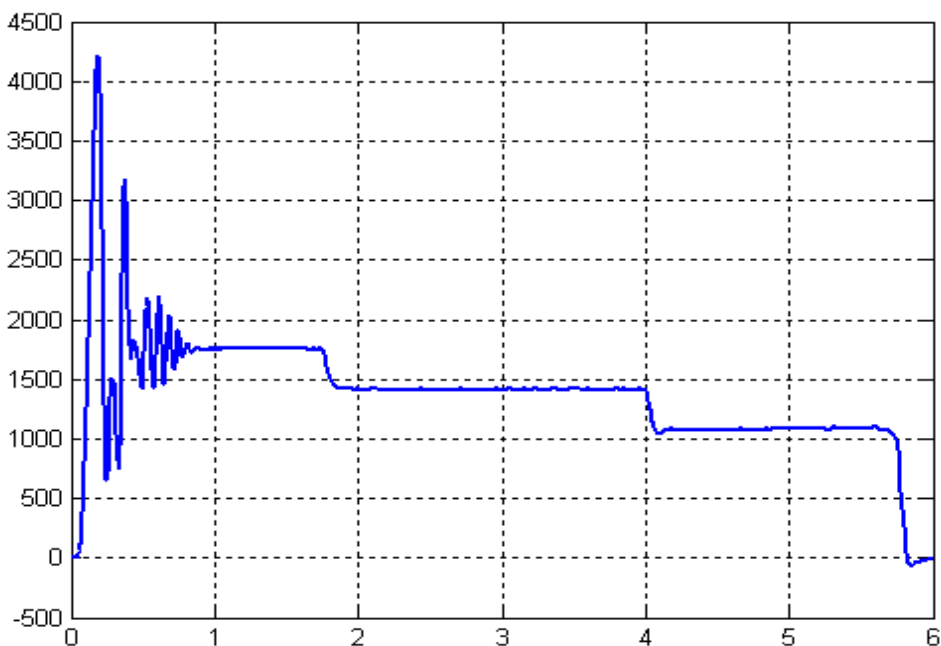
Розрахунок і визначення показників якості перехідних процесів:

Швидкість під час пуску відпрацьовується з перерегулюванням, рівним:

$$h_{\omega} = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}}}{\omega_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}}} \cdot 100\% = \frac{59 - 58}{58} \cdot 100\% = 1,7\%$$

Час регулювання $t_{\nu} = 1,77\tilde{n}$.

Зробимо моделювання перехідних процесів для механізму підйому крана. В результаті моделювання були отримані наступні графіки перехідних процесів:



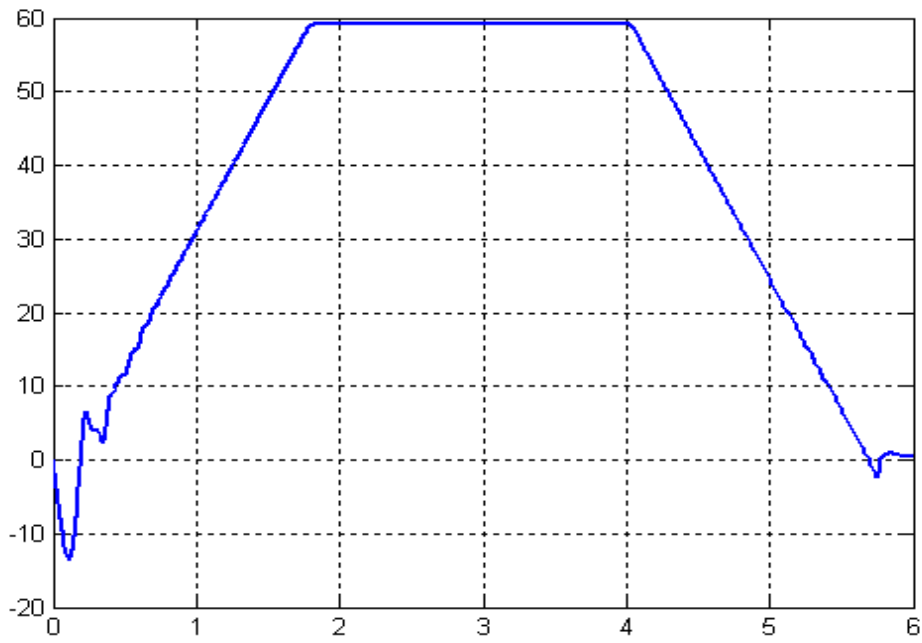
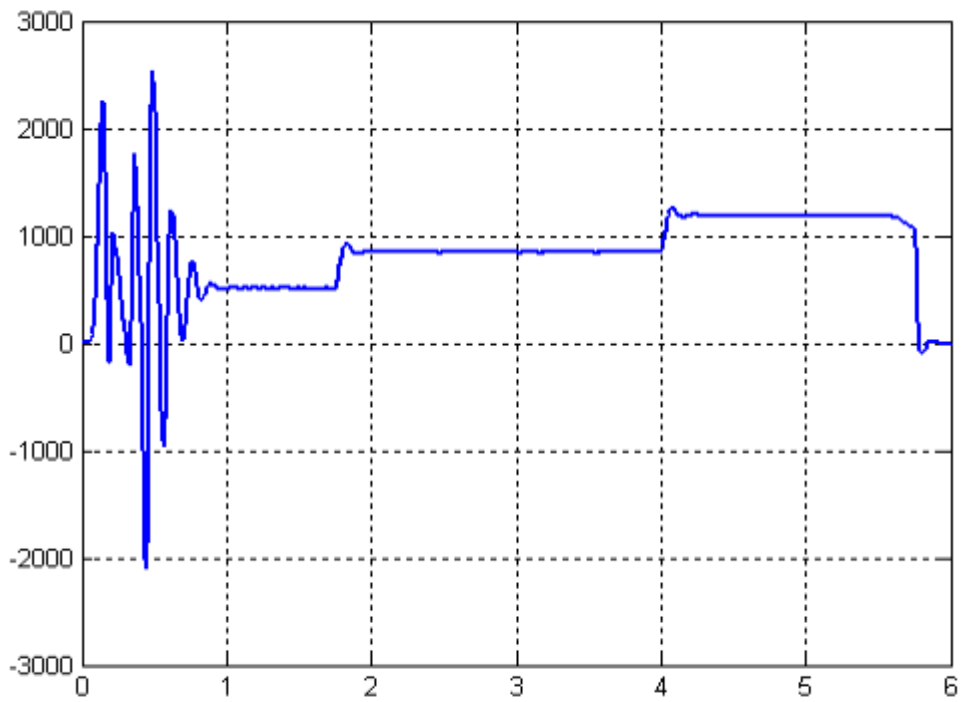


Рисунок 3.4- Підйом вантажу



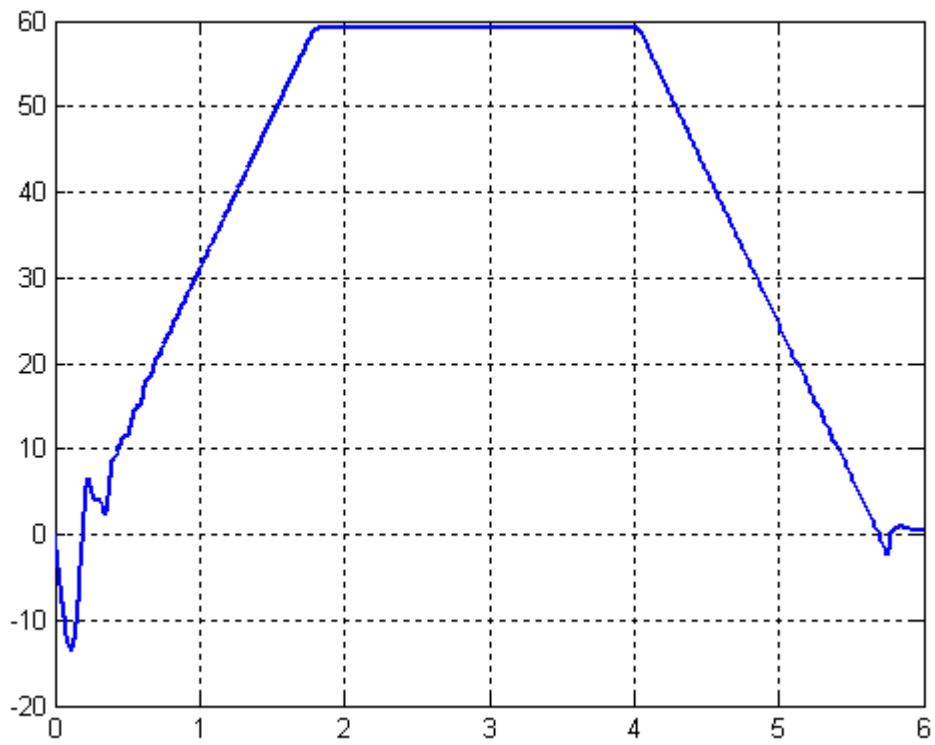
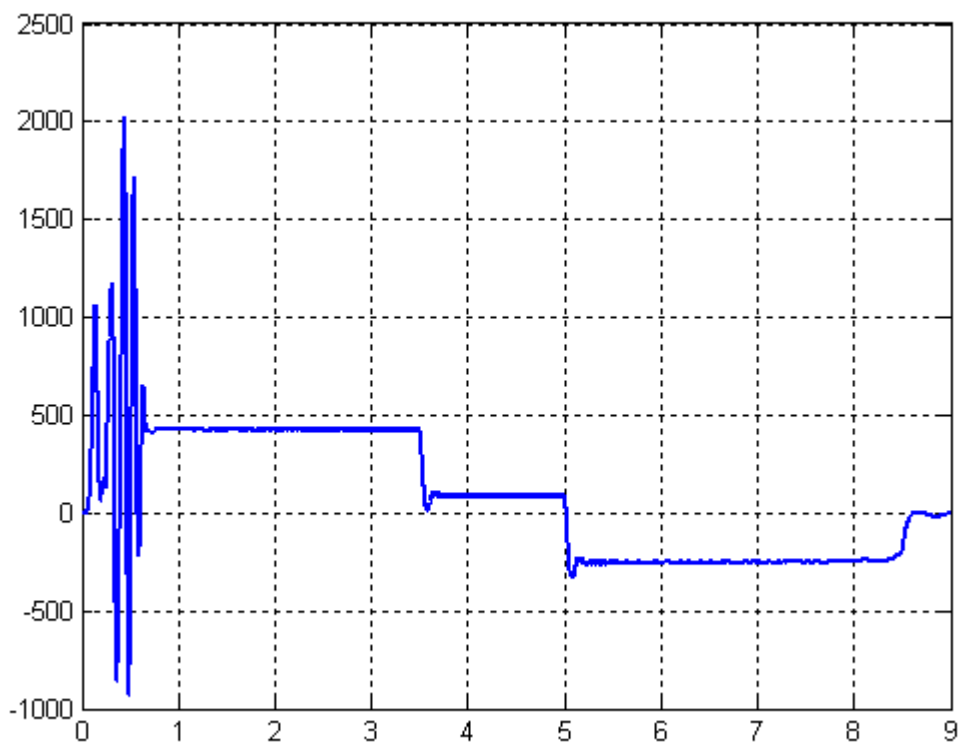


Рисунок 3.5- Опускання вантажу



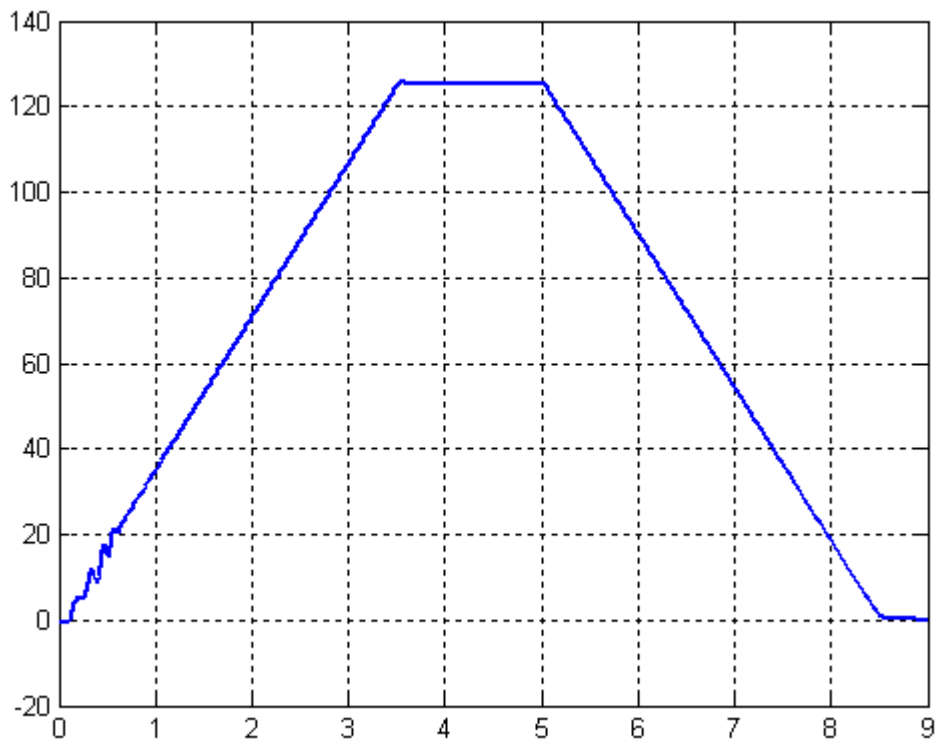
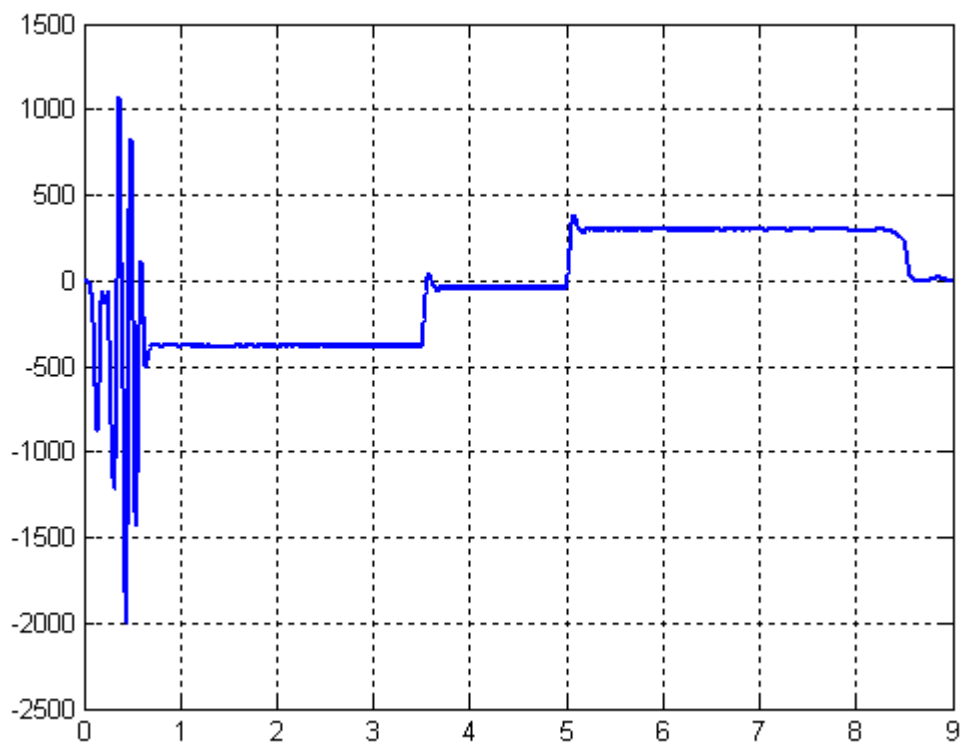


Рисунок 3.6- Підйом гака



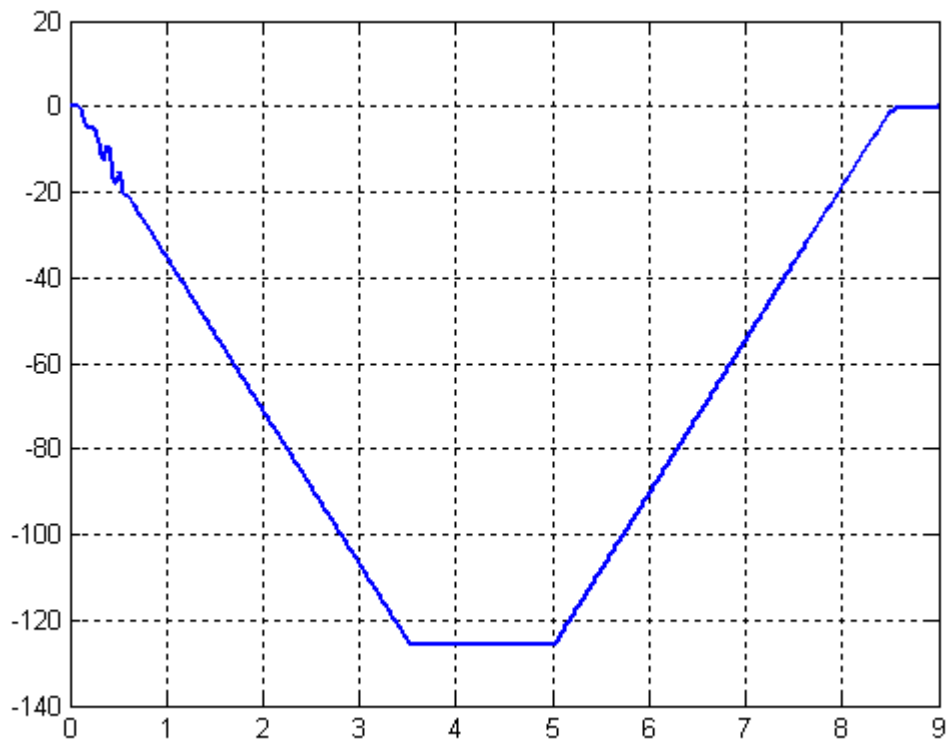


Рисунок 3.7- Опускання гака

Побудова статичних характеристик електроприводу:

Побудуємо природну механічну характеристику асинхронного двигуна в чотирьох квадрантах.

Для побудови механічної характеристики скористаємося формулою Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2 \cdot a \cdot S_k}, \quad (3.1)$$

Формулою Чекунова:

$$M = \frac{M_k \cdot [2 + (S^2 - S_k^2) \cdot K_s]}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}, \quad (3.2)$$

де $M_k = \lambda_m \cdot M_{ном} = 2 \cdot 880 = 1760 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $S_k = 0,095$

$$a = \frac{R_1}{R_2} = \frac{0.069}{0.067} = 1.03;$$

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_n}{\lambda_m} \left(\frac{1}{S_k} + S_k \right) - 2}{1 - S_k^2} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{0.1} + 0.1 \right) - 2}{1 - 0.1^2} = 3.08$$

Формулою (3.1) доцільно користуватися тільки для ковзань $S < S_k$. В області ковзань $1 \geq S > S_k$ задовільні результати дає формула (3.2)

Для більш точного побудови скористаємося такою програмою в середовищі Matlab 6.0:

```
for s=-1:0.0003:1
```

```
if s<0.1
```

```
m=s/0.1+0.1/s+0.21;
```

```
w=62.8*(1-s);
```

```
M=3882.56/m;
```

```
plot(M,w);
```

```
grid on;
```

```
hold on
```

```
else
```

```
w=62.8*(1-s);
```

```
M=1760*(2+(s^2-0.1^2)*3.08)/(s/0.1+0.1/s);
```

```
plot(M,w, 'm');
```

```
grid on;
```

hold on

end

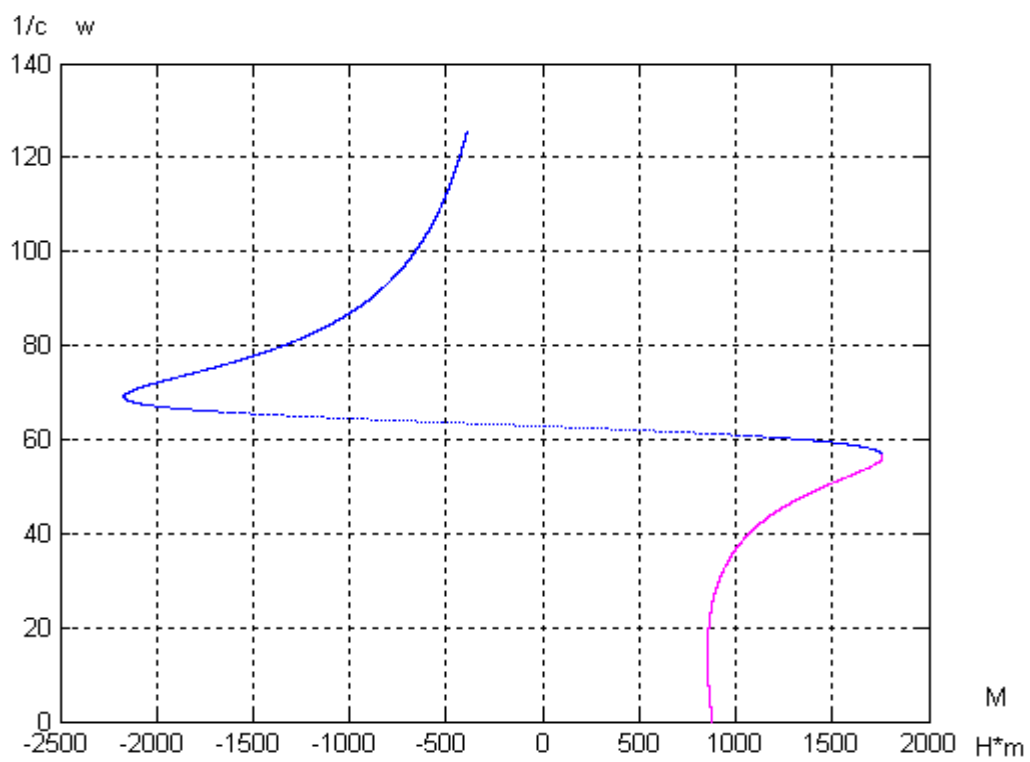
s=s

w=w

M=M

end

Статична характеристика представлена на малюнку 3.8



Малюнок 3.8 - Природна механічна характеристика

4. Охорона праці

4.1 Вимоги безпеки при експлуатації мостового крана

Кабіна управління або пульт управління повинні бути розташовані в такому місці, щоб кранівник міг спостерігати за зачіпкою вантажу, а також за вантажозахватним органом і вантажем протягом повного циклу роботи крана [8].

Виняток може бути допущений для баштових, стрілових із баштово-стріловим обладнанням і порталних кранів. Кабіна мостового крана і пересувного консольного крана повинна міститися під галереєю моста (консолі) і спілкуватися з нею сходами. У кранів мостового типу допускається підвішувати кабіну до рами вантажного візка. У цьому випадку вихід з кабіни на галерею моста повинен здійснюватися через настил візка або по зовнішній огороженій сходах.

Кабіна кранів мостового типу повинна бути підвішена з боку, протилежної тій, на якій розташовані головні тролейні проводи. Винятки допускаються в тих випадках, коли тролейні проводи недоступні для випадкового до них дотику з кабіни, з посадкової площадки або сходів.

Кабіна управління повинна мати такі мінімальні розміри: висоту 2000 мм, ширину 900 мм, довжину 1300 мм, а також мінімальний обсяг 3 куб. м. У кабінах з невертикальною передньою частиною в перерізі, що проходить через центр сидіння кранівника, допускається зменшення висоти до 1600 мм.

Кабіна вантажопідіймальних машин, призначених для роботи на відкритому повітрі, повинні мати суцільну огорожу з усіх боків і суцільне вертикальне перекриття, що захищає кранівника від впливу несприятливих метеорологічних чинників. Світлові прорізи кабіни повинні бути виконані з небиткого (безосколочного) скла.

У мостових двобалкових і пересувних консольних кранів та підвісних візків, що працюють в приміщенні, допускається влаштування суцільної огорожі відкритої кабіни на висоту не менше 1000 мм від підлоги. У мостових однобалочних і підвісних кранів огороження кабіни, призначеної для роботи сидячи, може бути виконано на висоту 700 мм.

При огороженні кабіни на висоту до 1000 мм небитким (безосколочним) склом необхідне додаткове огороження металевими ґратами. У кабіни відкритого типу для кранів, що працюють усередині приміщення, верхнє перекриття може не влаштовуватися.

Кабіни мостових і пересувних консольних кранів в тих випадках, коли відстань між задньою стінкою кабіни та предметами, щодо яких вона переміщується, становить менше 400 мм, повинні мати суцільну огорожу із задньої та бічних сторін на висоту не менше 1800 мм. Огорожа задньої сторони кабіни повинно проводитися на всю ширину, а бічні сторони повинні мати огорожу шириною не менше 400 мм з боку, що примикає до задньої стінки.

Скління кабіни повинно бути виконано так, щоб була можливість проводити очищення скла як зсередини, так і зовні, або повинен бути передбачений пристрій для їх очищення. Нижні скла, на які може встати кранівник, повинні бути захищені ґратами, здатними витримати його вагу. Кабіни кранів повинні бути обладнані стаціонарним сидінням для кранівника, влаштованим і розміщеним так, щоб можна було сидячи управляти апаратами і вести спостереження за вантажем. Повинна бути передбачена можливість регулювання положення сидіння по висоті і горизонтальній площині для зручності роботи і обслуговування апаратів управління.

У випадках, передбачених нормативною документацією, сидіння кранівника з пультом управління або кабіна в цілому повинні виконуватися поворотними. Кабіна крана повинна бути виконана і обладнана таким чином, щоб в ній був забезпечений належний температурний режим і обмін повітря у відповідності з нормативною документацією. Установка в кабіні крана опалювального приладу повинна проводитися виробником крана.

Пристрій і устаткування кабін вантажопідйомних машин, призначених для роботи в гарячих, хімічних та інших цехах, в яких має місце виділення пилу і шкідливих газів, повинні відповідати нормативній документації.

4.2 Вимоги безпеки до механізмів та апаратів управління

Апарати управління вантажопідйомної машини повинні бути виконані і встановлені таким чином, щоб керування було зручним і не утруднювало спостереження за вантажозахватним органом і вантажем, а напрямки руху рукояток, важелів і маховиків було раціональним і відповідало напрямку руху[8].

Умовне позначення напрямків викликаються рухів повинно бути вказано на механізмах і апаратах і зберігатися протягом терміну їх експлуатації.

Окремі положення важелів, рукояток або маховиків управління повинні фіксуватися і мати позначення. Зусилля фіксації в нульовому положенні або в положенні "вимкнено" повинне перевищувати зусилля фіксації в проміжних

положеннях. Кнопки для реверсивного пуску кожного механізму повинні мати блокування, що унеможливує одночасне вмикання реверсивних контактів.

Пускові апарати ручного керування, що застосовуються на вантажопідіймальних машинах, якими керують з підлоги, повинні мати пристрої для самоповернення в нульове положення. При використанні в цих випадках контакторів утримання їх в увімкненому положенні повинно бути можливим тільки за безперервного натискання на пускову кнопку.

Підвіска апаратів управління повинна проводитися на сталевому тросі такої довжини, яка дозволяла б особі, керуючому механізмом, перебувати на безпечній відстані від вантажу, що піднімається. Апарат управління повинен бути розташований на висоті від 1000 до 1500 мм від підлоги.

У вантажопідіймальних машин з електричним приводом при контролерну управління включення контактора захисної панелі повинно бути можливим тільки в тому випадку, якщо всі контролери знаходяться в нульовому положенні. Контакти нульового блокування магнітних контролерів з індивідуальним нульовим захистом у ланцюг контактора захисної панелі (ввідного пристрою) можуть не включатися. В цьому випадку в кабіні управління повинна бути встановлена світлова сигналізація, що інформує про ввімкнення або вимкнення магнітного контролера.

4.3 Вимоги безпеки до приладів і пристроїв безпеки

Вантажопідійомні машини з машинним приводом повинні бути обладнані пристроями (кінцевими вимикачами) для автоматичної зупинки(3):

а) механізму підйому вантажозахоплювального органа в його крайніх верхньому і нижньому положеннях. Кінцевий вимикач нижнього положення вантажозахоплювального органу може і не встановлюватися, якщо за умовами експлуатації крана не потрібно опускати вантаж нижче рівня, встановленого проектом (паспортом);

б) механізму пересування вантажопідіймальних кранів на рейковому ході, їх візків (за винятком залізничних), якщо швидкість крана (візка) перед підходом до крайнього положення може перевищити 0,5 м / с (механізми пересування баштового, козлового крана прольотом більше 16 м і мостового перевантажувача повинні бути обладнані кінцевими вимикачами незалежно від швидкості пересування);

в) механізмів пересування мостових, козлових, консольних кранів або їх візків, що працюють на одній колії.

Зазначені пристрої повинні встановлюватися також при необхідності обмеження ходу будь-якого іншого механізму вантажопідйомної машини з електричним приводом, наприклад механізму повороту, висування телескопічної частини вантажопідйомної машини, механізму вантажозахоплювального органа, підйому кабіни.

Кінцеві вимикачі, що встановлюються на вантажопідйомній машині, повинні включатися в електричну схему так, щоб була забезпечена можливість руху в зворотному напрямку. Подальший рух у тому ж напрямку допускається для механізму пересування мостового крана з метою підходу до посадкової площадки або тупикового упору з найменшою швидкістю, що допускається електричною схемою управління краном. Кінцевий вимикач механізму підйому вантажу повинен бути встановлений так, щоб після зупинки загарбного органу при підйомі без вантажу зазор між вантажозахватним органом і упором був у електроталей не менше 50 мм, а у всіх інших вантажопідйомних машин не менше 200 мм.

Кінцевий вимикач механізму пересування повинен бути встановлений таким чином, щоб відключення останнього відбувалося на відстані до упору, що становить не менше половини шляху гальмування механізму, а у баштових, порталних козлових кранів і мостових перевантажувачів - не менше повного шляху гальмування. При установці взаємних обмежників ходу механізмів пересування мостових і консольних пересувних кранів, що працюють на одній колії, вказану відстань повинна бути зменшена до 500 мм. Шлях гальмування механізмів повинен бути зазначений заводом-виробником в паспорті крана.

Крани мостового типу повинні бути обладнані пристроєм для автоматичного зняття напруги з крана при виході на його галерею. У кранів, що працюють в приміщенні, тролейні проводи напругою не більше 42 В при цьому можуть не вимикатися. У мостових кранів, вхід на які передбачений через галерею моста, таким блокуванням повинна бути обладнана двері для виходу на галерею.

Двері для входу до кабіни керування вантажопідйомної машини з посадкового майданчика повинна бути забезпечена електричним блокуванням, що не дозволяє почати рух крана при відкритих дверях.

Після дії обмежувача вантажопідйомності має бути можливим опускання вантажу або увімкнення інших механізмів для зменшення вантажного моменту.

У кранів, що мають дві або більше вантажні характеристики, повинен бути застосований обмежувач вантажного моменту, що має пристрій для перемикання його на роботу відповідно до обраної характеристикою. Крани мостового типу

повинні бути обладнані обмежувачем вантажопідйомності (для кожної вантажної лебідки), якщо можливе їхнє перевантаження за технологією виробництва.

Обмежувач вантажопідйомності крана мостового типу не повинен допускати перевантаження більш ніж на 25%.

У електричних кранів контакти приладів і пристроїв безпеки (кінцевих вимикачів, блокування люка, дверей кабіни, аварійного вимикача і т.п.) повинні працювати на розрив електричної мережі. У кранів з електроприводом має бути передбачений захист від падіння вантажу та стріли при обриві будь-який з трьох фаз мережі електричного кола. При відключенні електродвигуна підйому вантажу або стріли має зніматися напруга з котушок електромагніту гальма або обмоток двигуна гідроштовхача.

Вантажопідйомні машини, керовані з кабіни або пульта управління (при дистанційному управлінні), повинні бути забезпечені звуковим сигнальним приладом, добре чутним у місцях переміщення вантажу і відрізнятися по тональності від автомобільного сигналу.

4.4 Вимоги безпеки до електроустаткування

Електричне обладнання вантажопідйомних машин, токопровід і заземлення повинні відповідати "Правилам улаштування електроустановок", за винятком випадків, особливо обумовлених в цих Правилах[8].

Подача напруги на вантажопідйомну машину від зовнішньої мережі має здійснюватися через ввідний пристрій, що має ручний або дистанційний привід для зняття напруги.

Ввідний пристрій (захисна панель) мостових і консольних кранів повинно бути обладнане індивідуальним контактним замком з ключем (ключ-марка), без якого не може бути подано напругу на кран.

Ввідний пристрій і панель управління баштових кранів повинні бути обладнані пристосуванням для замикання їх на замок. Для подачі напруги на головні тролейні проводи або гнучкий кабель повинен бути встановлений вимикач в доступному для відключення місці.

Вимикач, що подає напругу на головні тролейні проводи або гнучкий кабель, повинен мати пристосування для замикання його не ввімкнений. На корпусі вимикача повинен бути зазначений реєстраційний номер крана, на який подається напруга.

Електрична схема управління електродвигунами вантажопідійомної машини повинна виключати:

- самозапуск електродвигунів після відновлення напруги в мережі, яка живить вантажопідійомну машину;
- пуск електродвигунів не за заданою схемою прискорення;
- пуск електродвигунів контактами запобіжних пристроїв (контактами кінцевих вимикачів і блокувальних пристроїв).

Електропроводка кранів повинна прокладатися в коробках, трубах, металевих рукавах. Короба і труби повинні прокладатися таким чином, щоб в них не могла накопичуватися волога від конденсації пари, що містяться в повітрі. Висновок проводів з коробів і труб до електродвигунів, опорам і т.п. повинен виконуватися в гнучких рукавах. Гнучкі рукави повинні бути закріплені на опорних поверхнях через 500 - 700 мм.

Введення металорукавов в електрообладнання і в комунікаційні апарати повинен здійснюватися за допомогою затискних муфт. Ізоляція проводів в місцях виходу з труб, коробів, металорукавов і введення в електроустаткування та комунікаційні апарати повинна бути захищена від перетирання ізоляційними втулками. З'єднання проводів при прокладанні електропроводок повинно проводитися тільки в набраних затискачах.

Електропроводка повинна бути доступна для огляду під час експлуатації, захищена в тих місцях, де можливі її пошкодження при ремонті механічної частини крана, оберігаючи від псування ізоляції, від попадання на неї мастила або перегріву від випромінювання. Провід й кабелі повинні приєднуватися до апаратів, приладів і настановної апаратури за допомогою наконечників або спеціальних затискачів.

Одножильні перетином до 10 кв. мм і багатожильні до 2,5 кв. мм можуть приєднуватися без наконечників, при цьому кінці багатожильних проводів повинні бути пропаяні або спресовані.

Пайка і лудіння кінців проводів повинні проводитися припоєм з вмістом олова не нижче 30%. Застосовувати кислоти в якості флюсу при пайку проводів категорично забороняється.

Розібраний і олов'янення кінці проводів повинні бути окільцьовані полівінілхлоридними або поліетиленовими трубками довжиною не менше 30 мм.

Всі кінці проводів повинні мати чітку і міцну маркування відповідно до монтажно́ї електричної схеми. Маркування повинно наноситися незмивним чорнилом або електрографічним способом. Перед монтажем електрообладнання повинно бути оглянуто з метою виявлення зовнішніх пошкоджень і перевірено на опір ізоляції.

Кабіна керування краном і машинне приміщення повинні мати електричне освітлення. Освітлення на вантажопідіймальних машинах з електричним приводом при відключенні електрообладнання вантажопідіймальної машини повинно залишатися підключеним.

Кола освітлення і сигнального приладу, включені до ввідного пристрою, повинні мати власний вимикач. Крани повинні бути обладнані низьковольтним ремонтним освітленням напругою не більше 42 В. Живлення мережі ремонтного освітлення повинно здійснюватися від трансформатора або акумулятора, встановлених на крані.

Використання металокаркасів крана як робочий струмопровід для живлення кіл освітлення, управління або інших напругою понад 42 В не дозволяється. Установка в кабіні управління вантажопідіймальної машини пускових опорів електродвигунів забороняється.

Електричні опалювальні прилади, що встановлюються в кабіні вантажопідіймальної машини, повинні бути безпечні в пожежному відношенні, а їх струмопровідні частини огорожені. Електричні опалювальні прилади повинні приєднуватися до електричної мережі після ввідного пристрою. Корпус опалювального приладу повинен бути заземлений.

У кранів з електричним приводом при харчуванні від зовнішньої мережі їх металокаркаси, а також всі металеві частини електрообладнання (корпуси електродвигунів, кожухи апаратів, металеві оболонки проводів і кабелів, захисні труби і т.п.), що не входять в електричний ланцюг, але можуть виявитися під напругою внаслідок псування ізоляції, повинні бути заземлені відповідно до "Правил улаштування електроустановок".

Корпус кнопочного апарату керування вантажопідіймальної машини, керованої з підлоги, повинен бути виконаний або з ізоляційного матеріалу, або заземлений не менше ніж двома провідниками. В якості одного з заземлюючих провідників може бути використаний тросик, на якому підвішено кнопочний апарат.

Опір кожного ступеня ізоляції після монтажу знову виготовленого або капітально відремонтованого крана повинно бути не менше 10 МОм. Ізоляція електрообладнання й електропроводки має бути розрахована на випадок додатки до

них напруги від вантажу при пошкодженні або перекритті ступенів захисної ізоляції.

Заземлюючі затискачі мають установлюватися в зварних конструкціях на бобишках або перехідних пластинках. Контактні поверхні повинні бути зачищені до блиску і покриті протикорозійного мастилом. Приєднання провідників заземлення до контактних поверхонь має бути болтовим з установкою контрощімі шайб для запобігання самовідгвинчування при вібрації.

Заземлювальні провідники повинні бути прокладені в місцях, доступних для огляду. У місцях приєднання провідників до металокопструкції крана (у бобишек або перехідних пластинок) повинна бути нанесена позначка "Земля". Металеві корпуси виносних апаратів управління необхідно заземлювати не менше, ніж двома провідниками. Підключення заземлюючих провідників до металорукаві має бути виконано паянням або хомутом.

Металеві секції коробів електропроводок крана повинні утворювати безперервну електричний ланцюг по всій довжині прокладки (повинні бути схоплені зварюванням в трьох-чотирьох точках по периметру стику секції). Заземлення коробів не потрібно в разі безпосередньої приварки секції до металокопструкції крана.

4.5 Розрахунок заземлення

Виберемо арматуру для вертикальних заземлювачів – круглу сталь $\varnothing 16$ мм., Довжиною $L = 2,5$ м. В якості ґрунту приймемо глину напівтверду з питомим опором $\rho = 60$ Ом*м. Глибина траншеї дорівнює $0,5$ м. Довжина заземлювачів до $2,5$ м. З коефіцієнтом промерзнення ґрунту для вертикальних електродів $\psi = 1,45$. Нормований опір заземлювального пристрою дорівнює 30 Ом. Питомий опір ґрунту розрахуємо за формулою[5]:

$$\rho_{\text{факт}} = \psi \cdot \rho = 1,45 \cdot 60 = 87 \text{ Ом} \cdot \text{м} .$$

Розрахунок одиночного заземлювача проводимо без урахування горизонтального опору заземлення.

Заглиблення заземлювача:

$$h = 0,5l + t = 0,5 \cdot 2,5 + 0,5 = 1,75 \text{ м} ;$$

Опір одного заземлювача:

$$R_1 = \frac{\rho_{\text{факт}}}{2\pi l} * \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+1}{4h-1} \right) = \frac{87}{2*3,14*2,5} * \left(\ln \frac{2*2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4*1,75+2,5}{4*1,75-2,5} \right) = 5,54 * (\ln 100 + 0,5 \ln 2,11) = 27,58 \text{ Ом.}$$

де \ln – логорифм (Рис. 4.1)

Расчёт сопротивления с применением логарифмов		примечание
натуральных логарифмов	десятичных логарифмов	
I $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}$	$l \geq d$
II $R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h'+l}{4h'-l} \right)$	$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h'+l}{4h'-l} \right)$	$l \geq d$ $h' = \frac{l}{2} + h$
III $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh}$	$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{bh}$	$l \geq \frac{b}{2}$; $\frac{l}{2h} \geq 2,5$
IV $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2,6 l^2}{bh}$	$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2,6 l^2}{bh}$	$\frac{l}{\pi} \geq \frac{b}{2}$; $h \leq \frac{l}{2\pi}$

Рис. 4.1 – розрахунок опору з використанням логарифму

Нормований опір для цього прикладу має бути не більше 30 Ом., Тому прийmemo $R_1 \approx 28$ Ом., Що відповідає ПУЕ для одиночного вертикального заземлювача (електрода) заземлення опори ПЛ - $U \sim 380$ В.

Якщо недостатньо одного заземлювача для опори, то можна додати другий або третій, в цьому випадку для двох заземлювачів розрахунок виконується як для заземлювачів в ряд, для трьох заземлювачів (трикутником) по контуру, при цьому треба мати на увазі, що розрахунок трикутником малоефективний, з -за взаємовпливу електродів один до одного.

5. Техніко-економічне обґрунтування

5.1 Загальні відомості

Розрахунок техніко-економічних показників здійснюється на основі аналізу порівняльних технічних даних двох альтернативних систем електроприводу[3].

Економічна оцінка базується на принципі мінімальних приведених витрат: мінімальних початкових витрат, експлуатаційних витрат на ремонт і обслуговування, витрат електроенергії. Найбільш доцільною з технічних міркувань прийнята система ПЧ-АД. В якості альтернативної системи можна вибрати двигун постійного струму. Технічні дані двигунів порівнюваних систем наведені в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 - Технічні дані порівнюваних систем

Варіант Параметри двигуна	Перший варіант: ДПТ	Другий варіант: ПЧ-АД
Тип двигуна	2ПН225LUXЛ4	4АН280М10У3
Потужність, кВт	55	55
КПД, %	87	90.5
Перетворювач	Тиристорний перетворювач	АВВ

5.2 Розрахунок початкових витрат

Початкові витрати визначаються шляхом розрахунку капітальних вкладень, які складаються з кошторисної вартості електропривода, вартості пускорегулювальної апаратури, вартості монтажних робіт, транспортно-заготівельних витрат і планових накопичень монтажної організації.

Оскільки метою економічного розрахунку є порівняння альтернативних варіантів, при розрахунку можна знехтувати наявністю резервного електроприводу, ніяк НЕ вплине на результат. Найбільш дорогими складовими електроприводу є двигун і перетворювач. Таким чином, кошторисна вартість електроприводу:

для першого варіанту:

$$k_{зп1} = k_{дв1} + k_{п1} = 8778 + 6200 = 14988 \text{ грн.}$$

де $k_{дв1} = 8778$ грн. - вартість двигуна постійного струму,

$k_{п1} = 6200$ грн. - вартість перетворювача (тиристорного випрямляча)

для другого варіанту:

$$k_{зп2} = k_{дв2} + k_{п2} = 1750 + 1950 = 3700 \text{ грн.}$$

де $k_{дв2} = 1750$ - вартість асинхронного електродвигуна,

$k_{п2} = 1950$ - вартість перетворювача (ПЧ).

Вартість пускорегулювальної апаратури визначається як певна частина (12%) вартості перетворювача, тоді:

для першого варіанту:

$$k_{пр1} = 0,12 * k_{п1} = 0,12 * 14988 = 1798,56 \text{ грн.}$$

для другого варіанту:

$$k_{пр2} = 0,12 * k_{п2} = 0,12 * 3700 = 444 \text{ грн.}$$

Вартість монтажних робіт обчислюється окремо для електроприводу і робочого механізму. Для електроприводу цю величину можна прийняти рівною 6% від вартості електроприводу $k_{еп}$, для робочого механізму - 5% вартості електроприводу. Таким чином, вартість монтажних робіт:

для першого варіанту:

$$k_{мп1} = (0,06 + 0,05) * k_{еп1} = (0,06 + 0,05) * 14988 = 1648,68 \text{ грн.}$$

для другого варіанту:

$$k_{мп2} = (0,06 + 0,05) * k_{еп2} = (0,06 + 0,05) * 3700 = 407 \text{ грн.}$$

Транспортно-заготівельні витрати складають 2% від суми вартості електроприводу і вартості монтажних робіт:

для першого варіанту:

$$k_{твр1} = 0,02(k_{зп1} + k_{мп1}) = 0,02 * (14988 + 1648,68) = 332,73 \text{ грн.}$$

для другого варіанту:

$$k_{твр2} = 0,02(k_{зп2} + k_{мп2}) = 0,02 * (3700 + 407) = 82,14 \text{ грн.}$$

Планове накопичення монтажної організації становлять 10% від вартості монтажних робіт:

для першого варіанту:

$$k_{\text{пн1}}=0,1 * k_{\text{мп1}}=0,1 * 1648,68=164,86 \text{ грн.}$$

для другого варіанту:

$$k_{\text{пн2}}=0,1 * k_{\text{мп2}}=0,1 * 407=40,7 \text{ грн.}$$

5.3 Визначення експлуатаційних витрат

При розрахунку експлуатаційних витрат важливе значення має величина періоду, за який здійснюється розрахунок. При порівнянні приводів постійного і змінного струму обмежимося періодом 1 рік.

Річні експлуатаційні витрати - це сумарні витрати на електропривод і робочий механізм, необхідні для експлуатації механізму протягом року і випуску річного обсягу продукції, тобто собівартість експлуатації механізму. Річні експлуатаційні витрати в загальному випадку включають в себе вартість споживаної електроенергії, амортизаційні відрахування і річні витрати по експлуатації електричної частини установки.

Витрати на електроенергію визначаються кількістю енергії, яка споживається за рік, номінальною потужністю двигуна, а також тарифною ставкою на електроенергію. Для розрахунку енергії, яка споживається за рік, потрібно знати сумарний час роботи електроприводу за рік, яке визначається коефіцієнтом використання:

$$k_{\text{вик}}=(\text{ПВ} * t_{\text{роб.зм}})/t_{\text{см}}=(1 * 8)/8=1,$$

де ПВ=100% - тривалість включення установки;

$t_{\text{роб.зм}}$ - тривалість роботи установки за зміну, ч .;

$t_{\text{см}}$ - число робочих годин за зміну.

Знаючи коефіцієнт $k_{\text{вик}}$ можна визначити число робочих годин установки в році:

$$T_{\text{Г}}=T_{\text{роб.дн}} * n_{\text{см}} * t_{\text{см}} * k_{\text{вик}}=253 * 3 * 8 * 1=6072 \text{ г.}$$

де $T_{\text{роб.дн}}$ - число робочих днів у році;

$n_{\text{см}}$ - число робочих змін на добу.

Енергія, споживана за рік, визначається за формулами:

для першого варіанту:

$$E_{\text{Г1}}=P_{\text{дв.н1}} * T_{\text{Г}} / \eta_{\text{н1}}=55 * 6072 / 0,87=383862,1 \text{ кВт*Г,}$$

де $P_{\text{дв.н1}}$, $\eta_{\text{н1}}$ - номінальні параметри двигуна постійного струму;

для другого варіанту:

$$E_{\text{Г2}} = P_{\text{дв.н2}} * T_{\text{Г}} / \eta_{\text{н2}} = 55 * 6072 / 0,905 = 369016,6 \text{ кВт*Г},$$

де $P_{\text{дв.н2}}$, $\eta_{\text{н2}}$ - номінальні параметри асинхронного електродвигуна (табл.).

Таким чином, витрати на електроенергію за рік:

для першого варіанту:

$$C_{\text{р1}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta} * T_{\text{осн}} * 12 + E_{\text{р1}} * T_{\text{доп}} = \frac{55}{0,905} * 11,4 * 12 + 383862,1 * 0,106 = 47498,6 \text{ грн.}$$

Для другого варіанту:

$$C_{\text{р2}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta} * T_{\text{осн}} * 12 + E_{\text{р2}} * T_{\text{доп}} = \frac{55}{0,905} * 11,4 * 12 + 369016,6 * 0,106 = 44163,7 \text{ грн.}$$

де $T_{\text{осн}} = 11,4 \text{ грн / кВт в міс.}$

$$T_{\text{доп}} = 0,106 \text{ грн / кВт.}$$

Амортизаційні відрахування становлять 9,5% від кошторисної вартості електропривода. тоді:

для першого варіанту:

$$C_{\text{а1}} = 0,095 * 14988 = 1423,86 \text{ грн.}$$

для другого варіанту:

$$C_{\text{а2}} = 0,095 * 3700 = 351,5 \text{ грн.}$$

де $k_{\text{сп2}}$ - кошторисна вартість асинхронного електроприводу, грн.

Витрати на експлуатацію обладнання включають в себе безліч складових. Устаткування електроприводів обох варіантів є ремонтваних, воно проходить планово-попереджувальні ремонти, періодичність та обсяг проведення яких регламентується кошторисом планово-попереджувальних ремонтів. Крім того, обладнання потребує регулярного технічного обслуговування, що вимагає так само певних витрат. Таким чином, витрати на ремонтно-експлуатаційне обслуговування обладнання можна визначити як суму витрат на заробітну плату ремонтних робітників, вартості матеріалів для ремонту і обслуговування, загальноцехових і загальногосподарських витрат.

Заробітна плата ремонтних робітників визначається кількістю часу, необхідною для проведення ремонтно-експлуатаційного обслуговування електричної частини обладнання, яка в свою чергу залежить від норм трудомісткості ремонту і технічного обслуговування обладнання. Всю систему електроприводу можна розділити на 3 основні частини: двигун, перетворювач, і пускорегулююча апаратура. Для кожної з цих частин окремо знаходиться трудомісткість ремонту і технічного обслуговування. Потім ці величини підсумовуються. Для розрахунку трудомісткості потрібно визначити планову тривалість ремонтного циклу і міжремонтного періоду, число ремонтів в рік і т.д.

Планова тривалість ремонтного циклу (ремонтний цикл - напрацювання енергетичного обладнання, виражена в роках календарного часу між двома капітальними плановими ремонтами):

для двигуна постійного струму:

$$T_{пл.1дв} = T_{дв} * \beta_k * \beta_p * \beta_o = 12 * 0,75 * 2 * 0,85 = 15,3 \text{ років,}$$

де $T_{дв} = 12р.$ - тривалість ремонтного циклу для електродвигунів;

β_k - коефіцієнт, що враховує зменшення терміну служби колекторних машин;

β_p - коефіцієнт, який визначається змінність роботи обладнання;

β_o - коефіцієнт, що враховує зменшення ремонтного обладнання;

для асинхронного електродвигуна:

$$T_{пл.2дв} = T_{дв} * \beta_p * \beta_o = 12 * 2 * 0,85 = 20,4 \text{ років,}$$

Для тиристорного випрямляча:

$$T_{пл.вип} = T_{вип} * \beta_o = 10 * 0,85 = 8,5 \text{ років,}$$

де $T_{пл.вип} = 10р.$ - тривалість ремонтного циклу для тиристорного випрямляча;

для перетворювача частоти:

$$T_{пл.пер} = T_{пер} * \beta_o = 6 * 0,85 = 5,1 \text{ років,}$$

де $T_{пер} = 6р.$ - тривалість ремонтного циклу для перетворювача частоти.

Планова тривалість міжремонтного періоду (міжремонтний період \square напрацювання енергетичного обладнання, виражена в місяцях календарного часу між двома плановими ремонтами):

для двигуна постійного струму:

$$T_{\text{пл.1дв}} = T_{\text{дв}} * \beta_{\text{к}} * \beta_{\text{р}} * \beta_{\text{о}} = 12 * 0,75 * 2 * 0,7 = 12,6 \text{ міс.},$$

де $T_{\text{пл.1дв}}$ - величина міжремонтного періоду для двигуна;

для асинхронного електродвигуна:

$$T_{\text{пл.2дв}} = T_{\text{дв}} * \beta_{\text{р}} * \beta_{\text{о}} = 12 * 2 * 0,7 = 16,8 \text{ міс.},$$

Для тиристорного випрямляча:

$$T_{\text{пл.вип}} = T_{\text{вип}} * \beta_{\text{о}} = 24 * 0,7 = 16,8 \text{ міс.},$$

де $T_{\text{вип}} = 24$ міс. - тривалість міжремонтного періоду для тиристорних випрямлячів;

для перетворювача частоти:

$$T_{\text{пл.пер}} = T_{\text{пер}} * \beta_{\text{о}} = 18 * 0,7 = 12,6 \text{ міся},$$

де $T_{\text{пер}} = 18$ міс. - тривалість міжремонтного періоду для перетворювачів частоти.

За отриманими величинам можна розрахувати кількість капітальних і поточних ремонтів в розрахунку на 1 рік. Кількість капітальних ремонтів на рік:

для двигуна постійного струму:

$$M_{\text{к.р.1дв}} = 1/T_{\text{пл.1дв}} = 1/12,6 = 0,079 ;$$

для асинхронного електродвигуна:

$$M_{\text{к.р.2дв}} = 1/T_{\text{пл.2дв}} = 1/20,4 = 0,049 ;$$

для тиристорного випрямляча:

$$M_{\text{к.р.вип}} = 1/T_{\text{пл.вип}} = 1/16,8 = 0,059 ;$$

для перетворювача частоти:

$$M_{\text{к.р.пер}} = 1/T_{\text{пл.пер}} = 1/12,6 = 0,079 ;$$

Кількість поточних ремонтів у розрахунку на один рік визначається аналогічно:

$$M_{\text{т.р.1дв}} = 0,079; \quad M_{\text{т.р.2дв}} = 0,059;$$

$$M_{\text{т.р.вип}} = 0,059; \quad M_{\text{т.р.пер}} = 0,079.$$

За заданій кількості ремонтів в рік, а також по заданій нормі трудомісткості (таблична величина) визначається річна трудомісткість ремонтів. Річна трудомісткість капітальних ремонтів електричних машин розраховується за формулами:

для двигуна постійного струму:

$$T_{к.р.1дв} = M_{к.р.1дв} * N_{к.р.дв} * k_w * k_k = 0,065 * 10 * 1,2 * 1,8 = 1,4 \text{ люд/год},$$

де $N_{к.р.дв}$ - норма трудомісткості капітальних ремонтів для електродвигунів заданої потужності.

k_w - поправочний коефіцієнт, що враховує частоту обертання електродвигуна

k_k - коефіцієнт, що враховує збільшення трудомісткості експлуатації колекторних машин;

для асинхронного електродвигуна

$$T_{к.р.2дв} = M_{к.р.2дв} * N_{к.р.дв} * k_w = 0,049 * 10 * 1,2 = 0,539 \text{ люд/год},$$

Для тиристорного випрямляча і перетворювача частоти річна трудомісткість капітальних ремонтів розраховується наступним чином:

$$T_{к.р.вип} = M_{к.р.вип} * N_{к.р.вип} = 0,117 * 70 = 8,19 \text{ люд/год},$$

$$T_{к.р.пер} = M_{к.р.пер} * N_{к.р.пер} = 0,196 * 50 = 9,8 \text{ люд/год},$$

де $N_{к.р.вип} = 70$, і $N_{к.р.пер} = 50$, норми трудомісткості капітального ремонту випрямлячів і перетворювачів частоти відповідно.

Річна трудомісткість поточних ремонтів для відповідних типів устаткування визначається аналогічно трудомісткості капітальних ремонтів:

$$T_{т.р.1дв} = M_{т.р.1дв} * N_{т.р.дв} * k_w * k_k = 0,079 * 4 * 1,1 * 1,8 = 0,63 \text{ люд/год},$$

$$T_{т.р.2дв} = M_{т.р.2дв} * N_{т.р.дв} * k_w = 0,059 * 4 * 1,1 = 0,26 \text{ люд/год},$$

$$T_{т.р.вип} = M_{т.р.вип} * N_{т.р.вип} = 0,059 * 21 = 1,24 \text{ люд/год},$$

$$T_{т.р.пер} = M_{т.р.пер} * N_{т.р.пер} = 0,079 * 15 = 1,19 \text{ люд/год},$$

де $N_{т.р.дв}=4$, $N_{т.р.вип}=21$ і $N_{т.р.пер}=15$ - норми трудомісткості поточного ремонту для різних типів обладнання (знаходяться за тими ж таблицями, що і для капітального ремонту).

Для пускорегулювальної апаратури річна трудомісткість капітального (поточного) ремонту приймається рівною 25% від трудомісткості капітального (поточного) ремонту електроприводу. Вона в свою чергу складається з трудомісткості ремонту двигуна і перетворювача:

для електроприводу постійного струму:

$$T_{п.р.к.р.1} = 0,25 * (T_{к.р.1дв} + T_{к.р.вип}) = 0,25 * (1,4 + 8,19) = 2,4 \text{ люд/год.},$$

$$T_{п.р.т.р.1} = 0,25 * (T_{т.р.1дв} + T_{т.р.вип}) = 0,25 * (0,63 + 1,24) = 0,47 \text{ люд/год.},$$

для електроприводу змінного струму:

$$T_{п.р.к.р.2} = 0,25 * (T_{к.р.2дв} + T_{к.р.пер}) = 0,25 * (0,7 + 9,8) = 2,6 \text{ люд/год.},$$

$$T_{п.р.т.р.2} = 0,25 * (T_{т.р.2дв} + T_{т.р.пер}) = 0,25 * (0,26 + 1,19) = 0,36 \text{ люд/год.},$$

Трудомісткість технічного обслуговування обладнання приймається рівною 10% від норми трудомісткості поточного ремонту обладнання без урахування поправочних коефіцієнтів. Таким чином, річну трудомісткість обслуговування обладнання можна визначити за формулами:

для електроприводу постійного струму:

$$T_{п.о.1дв} = 0,1 * 12 * N_{т.р.дв} = 0,1 * 12 * 4 = 4,8 \text{ люд/год.},$$

$$T_{п.о.вип} = 0,1 * 12 * N_{т.р.вип} = 0,1 * 12 * 21 = 25,2 \text{ люд/год.},$$

для електроприводу змінного струму:

$$T_{п.о.2дв} = 0,1 * 12 * N_{т.р.дв} = 0,1 * 12 * 4 = 4,8 \text{ люд/год.},$$

$$T_{п.о.пер} = 0,1 * 12 * N_{т.р.пер} = 0,1 * 12 * 15 = 18 \text{ люд/год.},$$

Трудомісткість технічного обслуговування електроприводу за рік:

для електроприводу постійного струму:

$$T_{п.р.т.о.1} = 0,1 * (T_{т.о.1дв} + T_{т.о.вип}) = 0,1 * (4,8 + 25,2) = 3 \text{ люд/год.},$$

для електроприводу змінного струму:

$$T_{п.р.т.о.2} = 0,1 * (T_{т.о.2дв} + T_{т.о.пер}) = 0,1 * (4,8 + 18) = 2,28 \text{ люд/год.},$$

За відомою річної трудомісткості експлуатації обладнання, враховуючи тарифну ставку ремонтника, а також відповідні податки можна визначити витрати на заробітну плату ремонтних робітників за рік:

для першого варіанту:

$$C_{зп1} = C_{тар} * C_{под} * T_{\Sigma 1},$$

де $C_{тар}$ - годинна тарифна ставка ремонтного робітника (по 4-му розряду), $C_{тар} = 260$ грн / год;

$C_{под}$ - коефіцієнт, що визначає витрати на виплату податків у зв'язку з нарахуванням зарплати:

4% - чорнобильський податок,

5% - нарахування на утримання,

35% - фонд соціального захисту населення,

1% - фонд зайнятості населення,

25% - нарахування на преміювання,

10% - нарахування на виплату додаткової зарплати.

T_{Σ} - сумарна трудомісткість експлуатації обладнання.

$$C_{зп1} = C_{тар} * 0,8 * T_{\Sigma 1} = 260 * 0,8 * 168,37 * 20 = 700,41 \text{ грн.}$$

для проектового варіанта:

$$C_{зп2} = C_{тар} * 0,8 * T_{\Sigma 2} = 260 * 0,8 * 155,5 * 20 = 646,88 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалів для ремонту і обслуговування приймається рівною 100% від основної заробітної плати ремонтних робітників без урахування виплати податків:

для базового варіанту:

$$C_{мат1} = C_{тар} * T_{\Sigma 1} = 260 * 16,83 * 20 = 875,52 \text{ грн.}$$

Для проектового варіанта:

$$C_{мат2} = C_{тар} * T_{\Sigma 2} = 260 * 15,53 * 20 = 808,6 \text{ грн.}$$

Загальноцехові витрати приймаються рівними 100% від основної заробітної плати без урахування податків, тобто:

$$C_{\mu 1} = C_{мат1} = 875,52 \text{ грн.}$$

$$C_{\mu 2} = C_{мат2} = 808,6 \text{ грн.}$$

Загальнозаводські витрати приймаються рівними 50% від основної заробітної плати без урахування податків:

$$C_{з1} = 0,5 * C_{\mu1} = 0,5 * 875524 = 437,76 \text{ грн};$$

$$C_{з2} = 0,5 * C_{\mu1} = 0,5 * 808600 = 404,3 \text{ грн.}$$

Таким чином, знайдені всі величини, необхідні для розрахунку річних витрат по експлуатації електричної частини установки:

$$C_{\text{екс.еп1}} = C_{з.п} * C_{\text{мат}} * C_{\mu} * C_{з} ;$$

для першого варіанту:

$$C_{\text{екс.еп1}} = 700,41 + 875,52 + 875,52 + 437,76 = 2889,22 \text{ грн};$$

для другого варіанту:

$$C_{\text{екс.еп2}} = 646,88 + 808,6 + 808,6 + 404,3 = 2668,38 \text{ грн.}$$

Зробимо порівняння двох варіантів за приведеними витратами за формулою:

$$Z_i = C_i + E_H * k_i ;$$

де C_i - собівартість річних витрат, $C_1 = 2889,22$ грн, $C_2 = 2668,38$ грн.

E_H - нормативний коефіцієнт рентабельності, відповідно до рекомендацій ЮНІДО для країн, що розвиваються $E_H = 0,15$;

k_i - вартість капіталовкладень.

Для першого варіанту:

$$Z_{i1} = 2889,22 + 0,15 * 4415,76 = 3551,59 \text{ грн};$$

для другого варіанту:

$$Z_{i2} = 2668,38 + 0,15 * 2099,74 = 2983,34 \text{ грн.}$$

Для зручності порівняння зведемо всі отримані дані в таблицю 12.2.

Таблиця 12.2 - Техніко-економічні показники порівнюваних установок

найменування	Позначення	Перший варіант: ДПТ	Другий варіант: ПЧ-АД
Номінальна потужність приводного двигуна, кВт	$P_{НОМ}$	15	55
Номінальна ККД приводного двигуна	$\eta_{ДВ}$	0,87	0,905
Номінальна ККД перетворювача частоти	$\eta_{ПР}$		—
Капітальні вкладення, грн.	K	4415,76	2099,74
Споживання електроенергії в рік, кВт год;	E_p	383,86	369,01
Вартість споживаної електроенергії за рік, грн.	C_p	47498,6	45994,97
Вартість річних експлуатаційних витрат по електричній частині, грн.	$C_{екс.еп}$	37308,96	36121,32
Річні експлуатаційні витрати, грн.	C	2889,22	2668,38
Приведені затрати, грн.	Z	3551,59	2983,34

5.4 Аналіз отриманих техніко-економічних показників

Отримані техніко-економічні показники порівнюваних систем наведені таблиці 12.1. Аналіз і зіставлення капіталовкладень, експлуатаційних витрат та витрат на електроенергію показує, що недоліком електроприводу постійного струму є висока вартість і ремонтна складність електродвигуна, в той час як асинхронні двигуни є більш простими і дешевими. Однак в системі електроприводу змінного

струму аналогічними недоліками володіє перетворювач з системою управління. Розрахунок показав, що в даному випадку висока ціна і витрати на експлуатацію двигуна постійного струму компенсується високою вартістю капіталовкладень при установці перетворювача частоти. Але при цьому необхідно враховувати, що ми в розрахунках брали до уваги далеко не всі показники ефективності, врахувати які формалізовано далеко не завжди можливо. Наприклад, в нашому випадку термін служби пропонованого приводу значно більше, ніж у базового, що дозволяє вважати варіанти рівноцінними.

Важливим фактом є те, що регулювання продуктивності за допомогою перетворювача частоти - це нововведення, яке дозволить забезпечити необхідний діапазон регулювання продуктивності.

Висновок

Відповідно до завдання в даному дипломному проєкті було виконане проєктування автоматизованого електроприводу механізму підйому мостового крана вантажопідйомністю 20 тонн.

В процесі проєктування приводу був виконаний ряд розділів, зазначених у завданні.

Відповідно до завдання, в першому розділі були проведені аналіз технологічного процесу, також побудована розрахункова схема механічної частини електроприводу та діаграма швидкостей та навантажень електропривода, в результаті чого визначилися особливості як установки в цілому, так і її складових частин.

У другому розділі проведено розрахунок перехідних процесів і побудована механічна характеристика та навантажувальна діаграма двигуна. За результатами розрахунку вибрали попередній двигун, здійснена перевірка двигуна за нагрівом та перевантажувальної здатності. Вибрали елементи силового ланцюга.

В третьому розділі було розроблено систему автоматичного керування, проведений їх розрахунок та побудовані динамічні і статичні характеристики електропривода.

В розділі про охорону праці було перелічено вимоги до безпеки та розрахували заземлення .

В цілому, після виконання всіх вищезгаданих розділів було виявлено, що застосування розробленої установки доцільно з огляду на зручності управління, технічних і економічних показників.

Список літератури

1. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Изд. 6-е, исправленное. М., "Энергия", 1977. - 432 с.
2. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов: Учебное пособие. – К.: – УМК ВО, - 1990. – 200 с.
3. Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці“ в дипломних проектах (роботах) бакалаврів інституту електроенергетики / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 8 с.
4. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з нормативної дисципліни «Теорія електропривода» для студентів напрямку 0922 “Електромеханіка” / Упорядник А. А. Колб - Днепропетровск: НГУ, 2010. – 35 с.
5. Стандарт вищого навчального закладу. Кваліфікаційні робітні випускні - ків. Загальні вимоги до дипломних проектів і дипломних робіт/ Упорядн.: В.О.Салов, О.М.Кузьменко, В.І.Прокопенко. – Дніпропетровськ: НГА України, 2000. – 52 с.
6. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. Т. 2/ Под общ. ред. И.П. Копылова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.

Інтернет посилання

1. http://studme.org/11390708/bzhd/sistema_obespecheniya_pozharnoy_bezopasnosti
2. <http://www.vashdom.ru/sanpin/224-218562-96/>
3. https://znaytovar.ru/gost/2/SanPiN_224119103_Elektromagnit.html
4. http://www.kranros.ru/products/roller_motors_series_ap_k_f.php
5. <https://energetik.com.ru/zazemlenie-elektrostanovok/primery-raschyotazazemlyayushhego-ustrojstva>
6. <http://intime.ua>
7. <http://prom-t.kiev.ua>
8. http://ohrana-bgd.narod.ru/mashin/mashin_089.html
9. <https://mostovoi-kran.ru/>
10. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_\(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4))