

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 магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Деркача Івана Вікторовича

(ПІБ)

академічної групи 141-21м-4

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ _____

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

на тему Електропривод візка мостового підйомного крана науково-виробничого
об'єднання "Дніпрофмаш"

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		Рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Садовой О.В.			
розділів:				
Технологічна частина	Садовой О.В.			
Автоматизований електропривод	Садовой О.В.			
Дослідження динаміки електроприводу	Садовой О.В.			
Автоматизація	Садовой О.В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Садовой О.В.			

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

електропривода

(повна назва)

Худолій С.С.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2022 року

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

студенту Деркачу Івану Вікторовичу _____ академічної групи 141-21м-4

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Електропривод візка мостового підйомного крана науково-виробничого об'єднання "Дніпрофмаш"

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 13.09.2022р. _____ № 918-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічна частина	Загальні відомості, аналіз вимог та факторів впливу на об'єкт розробки	
Автоматизований електропривод	Розрахунок тахограми та навантажень, вибір електроприводів та перетворювачів частоти	
Дослідження динаміки електропривода	Проведення моделювання, виведення та опис перехідних процесів асинхронного привода	
Синтез САР	Розрахунок параметрів САР, аналіз схеми системи автоматичного регулювання	
Техніко-економічне обґрунтування	Розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат, визначення та аналіз показників економічної ефективності, висновки	

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Садовой О.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

15 жовтня 2022

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

11.12.2022

Прийнято до виконання _____

Деркач І.В.

(підпис студента)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Объяснительная записка: стр.66 ; рис. 13; табл.8 ; источников литературы 10.

Объект: Модернизация электропривода перемещения тележки мостового крана.

Квалификационная работа посвящена разработке автоматизированного электропривода перемещения тележки двухбалочного мостового крана, работающего в среднем режиме работы с грузоподъемностью до 20 тонн и осуществляющего подъем и перемещение грузов в ремонтно-механических и сборочных цехах со следующим циклом работы:

- подъем номинального груза с номинальной скоростью на расчетную высоту;
- пауза (перемещение груза в заданное место);
- опускание номинального груза с расчетной высоты на нулевую отметку с номинальной скоростью;
- пауза (разгрузка);
- подъем пустого крюка на расчетную высоту с повышенной скоростью;
- пауза (перемещение крана в исходное положение);
- опускание пустого крюка с расчетной высоты на нулевую отметку с повышенной скоростью;
- пауза (загрузка).

В первой главе рассматриваются режимы работы, механическая часть, конструкция и эксплуатация крана.

Во второй главе рассматривается электропривод, выбираются двигатель и преобразователь частоты, так же производятся их расчеты, выбранные компоненты силовой части электропривода, а также выбор тормозов.

В третьем разделе выбирается система управления, произведены соответствующие расчеты и завершены соответствующие расчеты и выполнено моделирование электропривода.

В четвертом разделе было проведено исследование динамики электропривода, проанализирована полученная диаграмма переходных процессов и даны пояснения.

В пятом разделе приведены капитальные и эксплуатационные расходы, произведены соответствующие расчеты.

Ключевые термины

МОСТОВОЙ КРАН, ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: стор 66; рис.13 ; табл. 8; джерел літератури 10.

Об'єкт: Модернізація електроприводу переміщення візка мостового крана.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованого електропривода переміщення візка двобалкового мостового крана, який працює в середньому режимі роботи з вантажопідйомністю до 20 тон і здійснює підйом і переміщення вантажів в ремонтно-механічних і складальних цехах з наступним циклом роботи:

- підйом номінального вантажу з номінальною швидкістю на розрахункову висоту;
- пауза (переміщення вантажу в задане місце);
- опускання номінального вантажу з розрахункової висоти на нульову позначку з номінальною швидкістю;
- пауза (розвантаження);
- підйом порожнього крюка на розрахункову висоту з підвищеною швидкістю;
- пауза (переміщення крана в початкове положення);
- опускання порожнього гака з розрахункової висоти на нульову позначку з підвищеною швидкістю;
- пауза (завантаження).

У першому розділі розглядаються режими роботи, механічна частина, а також конструкція та експлуатація крана.

У другому розділі розглядається електропривод, вибираються двигун і перетворювач частоти, так само виробляються їх розрахунки, обрані компоненти силової частини електроприводу, а також вибір гальм.

У третьому розділі вибирається система управління, проведено відповідні розрахунки та завершено відповідні розрахунки та виконано моделювання електроприводу.

В четвертому розділі було проведено дослідження динаміки електроприводу, проаналізовано отриману діаграму перехідних процесів і надано пояснення.

У п'ятому розділі наведено капітальні та експлуатаційні витрати, здійснено відповідні розрахунки.

Ключові терміни

МОСТОВИЙ КРАН, ВЕКТОРНЕ УПРАВЛІННЯ, АВТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.

ABSTRACT

Explanatory note: page 66; Fig.13 ; table ;8 sources of literature 10.

Object: Modernization of the electric drive for the carriage of the bridge crane.

The qualification work is devoted to the development of an automated electric drive for moving the carriage of a double-girder bridge crane, which works in the average mode of operation with a load capacity of up to 20 tons and carries out lifting and moving of loads in repair and mechanical and assembly shops with the following work cycle:

- lifting the nominal load at the nominal speed to the calculated height;
- pause (moving the cargo to the specified place);
- lowering the nominal load from the calculated height to the zero mark with the nominal speed;
- pause (unloading);
- raising the empty hook to the calculated height with increased speed;
- pause (moving the faucet to its initial position);
- lowering the empty hook from the calculated height to the zero mark with increased speed;
- pause (loading).

The first chapter deals with the modes of operation, the mechanical part, as well as the construction and operation of the crane.

In the second section, the electric drive is considered, the motor and frequency converter are selected, their calculations are also made, the components of the power part of the electric drive are selected, as well as the choice of brakes.

In the third section, the control system is selected, the corresponding calculations are carried out and the corresponding calculations are completed and the simulation of the electric drive is performed.

In the fourth chapter, a study of the dynamics of the electric drive was carried out, the obtained diagram of transient processes was analyzed and an explanation was provided.

In the fifth chapter, the capital and operational costs are given, and the corresponding calculations are made.

Key Terms

**OVERHEAD CRANE, VECTOR CONTROL, AUTOMATIC CONTROL,
FREQUENCY CONVERTER, ASYNCHRONOUS DRIVE.**

Зміст

Вступ.....	7
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз технологічного процесу і опис промислової установки.....	8
1.2 Огляд існуючих систем електропривода.....	11
1.3 Формулювання вимог до автоматизованого електроприводу і системи автоматизації.....	12
2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....	13
2.1 Вибір типу електроприводу.....	13
2.2 Опис робочої машини та її технологічного процесу.....	16
2.3 Технологічні вимоги до електроприводу.....	17
2.4 Розрахунок моментів статичних опорів та попередній розрахунок потужності двигуна.....	19
2.5 Вибір електродвигуна.....	27
2.6 Визначення передавального числа редуктора та вибір редуктора.....	29
2.7 Розрахунок приведених статичних моментів.....	30
2.8 Розрахунок приведених моментів інерції та коефіцієнтів жорсткості....	32
2.9 Попередня перевірка двигуна з нагрівання та продуктивності.....	36
2.10. Вибір перетворювача частоти.....	41
3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	45
3.1 Вибір системи керування	45
3.2 Розрахунок параметрів системи автоматичного керування для данної системи.....	48
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	51
4.1 Моделювання розрахованої системи автоматичного керування.....	51
5.ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТОВУВАННЯ.....	56
5.1 Розрахунок капітальних витрат.....	56
5.2Розрахунок експлуатаційних витрат.....	58
5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	59
5.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.....	60
5.2.3 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	61
5.3 Розрахунок річної економії від впровадження науково-технічного рішення.....	62
5.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності.....	63
Перелік джерел посилань.....	66

Вступ

У сучасних умовах потокового та автоматизованого виробництва значення підйомно-транспортних машин якісно змінилося. Вони вийшли за межі свого первісного призначення – допоміжного обладнання для механізації трудомістких процесів виробництва – і є сполучними ланками в технологічному ланцюзі, що забезпечують безперервність виробництва, основним регулятором потокового виробництва, обмеженою частиною технологічних процесів, що визначають ритм та продуктивність основного обладнання підприємства. Підйомно-транспортні пристрої є основою комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів. Від правильного вибору найбільш раціональних машин залежить високопродуктивна робота всього підприємства.

Конструкція підйомно-транспортних машин безперервно вдосконалюється, у зв'язку з чим виникають нові завдання з розрахунку, проектування, дослідження та вибору оптимальних параметрів машин, що забезпечують високі техніко-економічні показники та якість машин.

На промислових підприємствах найбільш поширеним та універсальним підйомно-транспортним пристроєм є кран, основним механізмом якого є візок, який постачається індивідуальним електроприводом.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз технологічного процесу і опис промислової установки.

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.

Крани загального призначення використовують при монтажі обладнання, виробництві ремонтних робіт, для технологічних робіт в цехах основного виробництва, на складах, при перевантажувальних роботах. Загальний вигляд мостового крана наведено на Рисунку 1.1.[5]

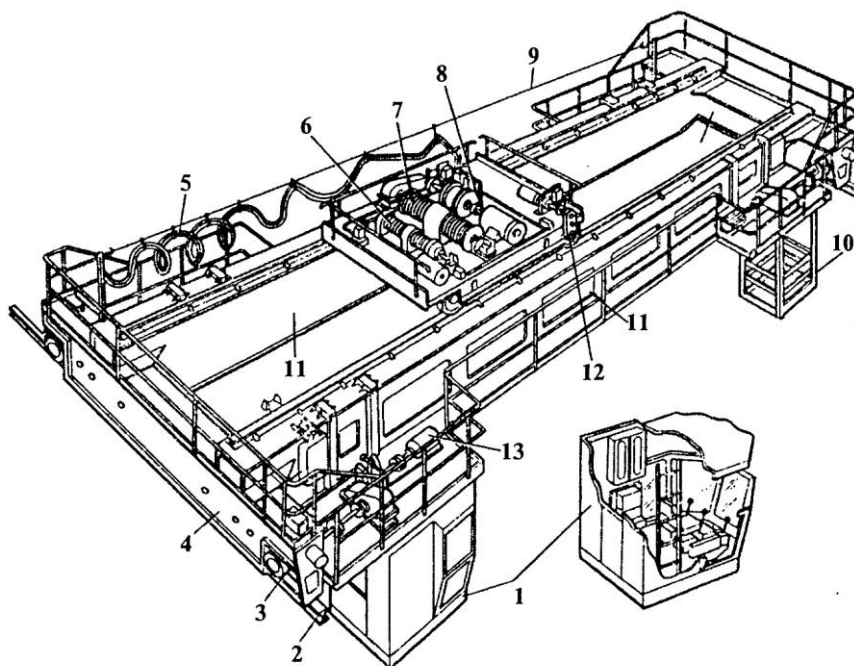


Рисунок 1.1 – Мостовий кран:

- 1) кабіна машиніста (кранівника); 2) кранові рейки; 3) ходові колеса; 4) кінцева балка;
- 5) гнучкий кабель для струмопідведення; 6) механізм для підйому вантажу;
- 7) головний механізм підйому вантажу; 8) крановий візок; 9) дрiт для підвіски кабелю;
- 10) майданчик для обслуговування тролів; 11) головна балка;
- 12) механізм пересування візка; 13) механізм пересування моста.

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 приводяться через передавальний механізм одним або двома електродвигунами. Ходові колеса кранів виконують дворобордними або безробордних з горизонтальними направляючими роликками. На головних балках закріплені рейки, по яких переміщається візок за допомогою свого приводу. На його 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).[5]

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

- 1) універсальні вантажопідйомні машини - крани, лебідки, талі, що використовують 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.

В 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 середній

тривалості роботи до 16 годин на добу;

2) машини універсального призначення, що використовуються для роботи в приміщеннях при повторно-короткочасному режимі і середній тривалості роботи від 8 до 24 годин 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 годин 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.[5]

Кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованого електропривода переміщення візка двобалкового мостового крана, який працює в середньому режимі роботи з вантажопідйомністю до 20 тон і здійснює підйом і переміщення вантажів в ремонтно-механічних і складальних цехах з наступним циклом роботи:

- підйом номінального вантажу з номінальною швидкістю на розрахункову висоту;
- пауза (переміщення вантажу в задане місце);
- опускання номінального вантажу з розрахункової висоти на нульову позначку з номінальною швидкістю;
- пауза (розвантаження);
- підйом порожнього крюка на розрахункову висоту з підвищеною швидкістю;
- пауза (переміщення крана в початкове положення);
- опускання порожнього гака з розрахункової висоти на нульову позначку з підвищеною швидкістю;
- пауза (завантаження).

1.2 Огляд існуючих систем електропривода.

Значна роль в здійсненні комплексної механізації і автоматизації виробничих процесів, ліквідації ручних вантажно-розвантажувальних робіт належить підйомно-транспортному машинобудуванню. Істотне скорочення важкої праці при перевантажувальних роботах здійснюється головним чином шляхом автоматизації вантажозахоплювальних операцій, точної установки вантажів, а також автоматизації процесів керування вантажопідіймальними машинами. Оскільки ці завдання вирішуються за допомогою електроприводу, то значення вдосконалення і впровадження сучасних електроприводів постійно зростає.

В крановому електроприводі в даний час широко застосовують як повністю керовані тиристорні системи регулювання, так і різні некеровані і керовані напівпровідникові випрямлячі, а також окремі силові напівпровідникові прилади, що дозволяє при порівняно невисоких витратах отримувати системи з досить значним регулюванням швидкості переміщення механізмів. Для скорочення експлуатаційного персоналу застосовують системи керування вантажопідіймними машинами, зокрема кранами, по радіоканалу (дистанційно). У цих системах максимальний ефект досягається також при забезпеченні сталого регулювання швидкості.

Основна увага приділяється новим методам вибору електрообладнання для кранів з урахуванням вже введеної нової класифікації навантаження механізмів і електрообладнання, а також новим системам керування, включаючи керування по радіоканалу, і різних систем регулювання швидкості.

Механізми мостових кранів відносяться до механізмів циклічної дії з активним навантаженням. У загальному випадку цикл роботи цих механізмів визначається технологічним процесом, але на вибір приводних двигунів істотно впливають динамічні режими: пуск, реверс, гальмування.[4]

Переважає більшість вантажопідіймних машин, виготовлених

вітчизняною промисловістю, має електричний привод механізмів, і тому ефективність дії і продуктивність цих машин в значній мірі залежать від якісних показників використовуваного кранового електроустаткування. Сучасний крановий електропривод за останнім часом зазнав істотну зміну в структурі і застосовуваних системах керування.

Для найбільш масових кранів загального призначення починають широко застосовуватися електроприводи на основі короткозамкнених асинхронних електродвигунів, значна частина кранів виготовляється з керуванням з підлоги, а швидкохідні крани для важких режимів роботи комплектуються різними напівпровідниковими системами, які забезпечують глибоке регулювання швидкості, плавність пуску і гальмування при постійно зростаючих вимогах до економії енергоресурсів.

Більшість вантажопідйомних кранів характеризується постійно змінюваними умовами використання при переробці вантажів, і тому механізми кранів, що мають в своєму складі електроприводи, повинні бути в максимальному ступені пристосовані до постійного видозмінювання роботи з вантажами, різноманітними по масі, розмірам, формі, і в умовах виробничих приміщень або на відкритих вантажних майданчиках.

Надзвичайно широкий діапазон зміни навантажень практично будь-якого з кранових електроприводів є одним з головних факторів, що вимагають особливого підходу до вибору розрахункових параметрів приводних електродвигунів, апаратури керування і захисту.

1.3 Формулювання вимог до автоматизованого електроприводу і системи автоматизації.

При виборі структури електропривода слід враховувати особливості технологічного процесу, вимоги надійності, гнучкості в керуванні, зручності наладки. До електроприводів механізмів пересування візків мостових кранів, які в більшості випадків керуються оператором, висуваються жорсткі вимоги до простоти їх експлуатації і надійності при забезпеченні необхідного

діапазону регулювання швидкості. Важливою вимогою для електроприводів зазначеного класу є плавна зміна швидкості обертання в перехідному процесі, що різко знижує ривок, і, отже, зменшує амплітуду розгойдування вантажу.

Для виконання зазначених вимог система керування електроприводом повинна бути напів- або повністю автоматичною, особливо при роботі в перехідних режимах.[4]

2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.

2.1 Вибір типу електроприводу.

Для здійснення автоматичного регулювання двигунами передбачаються керовані перетворювачі і регулятори, що дозволяють здійснювати регулювання параметрів електропривода під впливом зворотних зв'язків. Такими параметрами являються: момент, швидкість, потокозчеплення та інше.

На сьогодні найбільш широко використовуються електромашинні і вентильні керовані перетворювачі напруги постійного струму, а також частоти змінного струму і відповідні системи електроприводу: система генератор - двигун (Г-Д); система тиристорний перетворювач - двигун (ТП- Д); система перетворювач частоти - асинхронний двигун (ПЧ-АД).

Всі вище перелічені системи мають свої переваги та недоліки. За допомогою аналізу технічних вимог і специфіки виробничого механізму здійснюється правильний вибір системи регулювання.

Головними перевагами системи Г-Д є відносно невелике споживання реактивної потужності, а також, відсутність викривлення споживаного з мережі струму. На жаль, система Г-Д має декілька серйозних недоліків які обумовлених необхідністю триразового електромеханічного перетворення енергії. В наслідок цього - низькі масо габаритні та енергетичні показники. Так як у системі

застосовується генератор і двигун це впливає на загальний ККД системи.

Система ДПТ-ТП набула своєї популярності завдяки своїй відносній простоті та дешевизни. Але, система спотворює спожитий з мережі струм.[1]

Науковий прогрес не стоїть на місці. Саме завдяки цьому, в останні 20 - 30 років силова напівпровідникова і мікропроцесорна електроніка зробила великий крок у своєму розвитку. Стало можливим створення перетворювача частоти.

Перетворювач частоти дозволяє відносно легко керувати швидкістю і моментом електродвигуна по заданих параметрах в точній відповідності з характером навантаження. Це дало можливість вести точне регулювання будь-якого параметра двигуна змінного струму.

Частотне регулювання ефективно застосовується на підприємствах енергетики, промисловості і комунального господарства.

Застосування пристроїв перетворення частоти для керування двигунів дає ряд додаткових переваг, а саме:

- пуск двигуна здійснюється при струмах, обмежених на рівні номінального значення, що підвищує термін експлуатації двигуна, знижує вимоги до потужності живлячої мережі та потужності комутуючої апаратури;
- плавний пуск та зупинку двигуна;
- відносна легкість впровадження без заміни основного устаткування.

Найбільш доцільним типом електроприводу для механізмів переміщення кранів є перетворювач частоти - асинхронний двигун.

Таблиця 2.1 - Технічні дані механізму пересування

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Величина
m	Маса візка	т	4
m_r	Маса вантажу	т	12,5
D	Діаметр колеса	м	0,25
d_c	Діаметр ступиці	мм	60
μ	Коефіцієнт тертя ковзання	—	0,02
f	Коефіцієнт тертя кочення	мм	0,5
C_k	Крутильна жорсткість	$\frac{\text{мН} \times \text{м}}{\text{рад}}$	4
L	Довжина переміщення візка	м	5
V_p	Швидкість руху з грузом	м/с	0,5
V_E	Швидкість руху без грузу	м/с	0,7
a	Граничне прискорення	м/с ²	0,5
Z	Число циклів на годину	-	75
t_p	Сумарний час роботи, не більше	с	25

2.2 Опис робочої машини та її технологічного процесу.

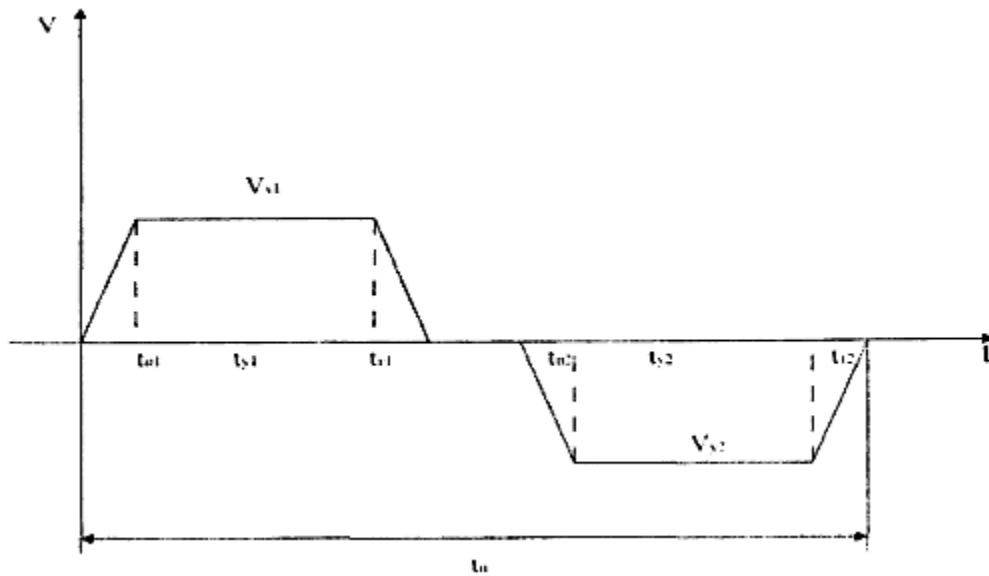


Рисунок 2.1– Тахограма циклу роботи візка крана

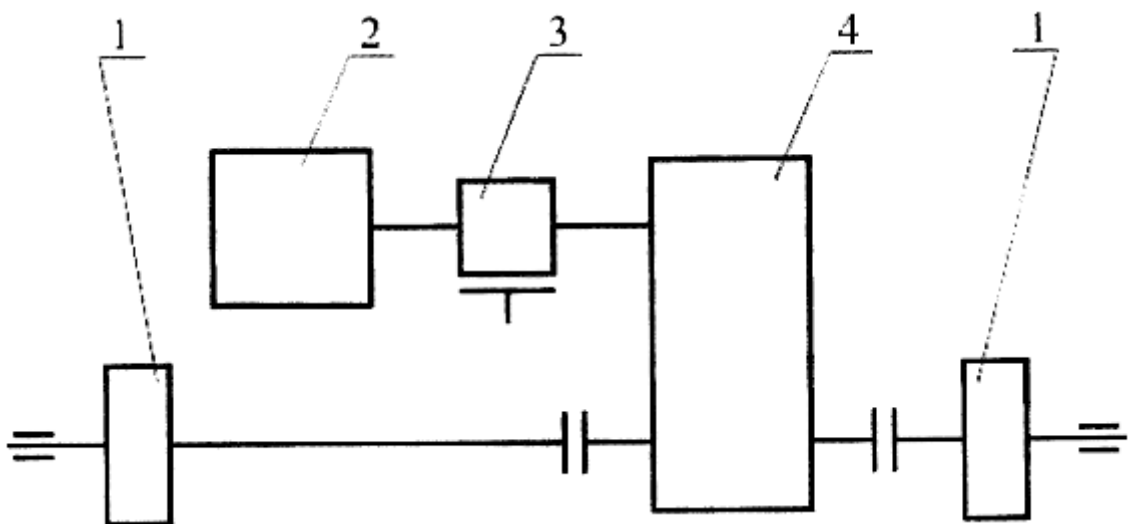


Рисунок 2.2 - Кінематична схема механізму пересування візка[4]:
1) ходові колеса; 2) електродвигун; 3) гальмівний шків; 4) редуктор

2.3 Технологічні вимоги до електроприводу.

При виборі системи електроприводу необхідно враховувати сукупність вимог до електроприводу-

Основними вимогами, які мають бути, безумовно, виконані при проектування електроприводу, є вимоги технологічні:

1) вимоги до електропостачання: електроживлення електрообладнання крана має здійснюватися від джерела надійного живлення змінного струму ЗАС М+РН напругою 380В (+10%), частотою 50Гц+0,1 Гц(+0,1 Гц) з глухозаземленою нейтраллю. Якість електроенергії має відповідати ДСТУ13109;

2) пульт керування повинен передбачати роботу оператора сидячи. на пульті має бути встановлена панель оператора, що забезпечує видачу відомостей про роботу систем крана, налаштування регульовальних параметрів а приводів пересування головного та допоміжного вантажних візків та крана лівою рукою;

3) повинна бути забезпечена продуктивність механізму, у зв'язку з чим важкі вантажі доцільно переміщати з меншою швидкістю (0,5 м/с), а ненавантажений візок з більшим (0,7м/с). Зниження швидкості також необхідно для здійснення точної зупинки вантажів, що транспортуються з метою обмеження ударів при їх посадці та полегшує роботу оператора, оскільки не вимагає багаторазового повторення пусків для зниження швидкості приводу перед зупинкою механізму;

4) переміщення робочого органу (візка) має виконуватися в межах заданого часу;

5) прискорення робочої машини має перевищувати заданого (допустимого) значення (0,5 м/с). Обмеження прискорення до допустимих меж при

мінімальної тривалості перехідних процесів. Перша умова пов'язана з ослабленням ударів у механічних передачах при виборі зазору, з перетворенням пробуксовки ходових коліс візка та мосту, зі зменшенням розгойдування підвішеного на канатах вантажу при інтенсивному розгоні та різкому гальмуванні механізмів у пересуванні. Друга умова необхідна для підвищення продуктивності крана;

6) відхилення швидкості в режимі, що встановився, не повинно перевищувати заданого значення;

7) на вимогу робочої машини електропривод повинен забезпечувати реверс;

8) перетворювач і двигун повинні витримувати виникаючі короточасні перенавантаження;

9) економічність системи електроприводу має бути максимальною, забезпечує мінімум мінімум капітальних витрат н мінімум втрат енергії;

10) для захисту електродвигунів та проводів кранів при короткому замиканні передбачається струмовий захист. Тепловий захист на кранах не застосовується, так як при повторно - короточасному режимі роботи вона може викликати помилкові відключення;

11) обов'язково має застосовуватися нульовий захист. Необхідна установка кінцевих вимикачів для автоматичного відключення двигунів механізмів крана при підході їх до неприпустимих крайніх положень;

12) на випадок виходу кранівника з кабіни на міст для безпеки обслуговування використовуються автоматичні вимикачі, що знімають напругу з контактних проводів крана при відкриванні дверей або люка кабіни;

13) всі металеві конструкції крана, які можуть виявитися під напругою через псування ізоляції, повинні бути заземлені через підкранові шляхи;

14) пульт управління повинен бути розташований у такому місці, щоб

кранівник міг спостерігати за вантажозахоплювальним органом та вантажем протягом повного циклу роботи крана і повинен складатися з пристроїв управління для всіх робочих рухів механізмів крана та операторської панелі, що забезпечує відображення стану всіх основних елементів системи та реєстрацію необхідної інформації. На пульті керування краном необхідно переглянути орган включення звукового сигналу конструктивні елементи ЕО та СК, що встановлюються на крані, повинні мати ступінь захисту не нижче IP54;

17) застосовувані перетворювачі повинні бути сертифіковані для використання в підйомно-транспортному обладнанні;

18) вибір потужностей перетворювальних пристроїв має бути обґрунтован та узгоджений;[4]

2.4 Розрахунок моментів статичних опорів та попередній розрахунок потужності двигуна.

Момент сил тертя у підшипниках:[11]

$$M_1 = \frac{m_1 \cdot d_u \cdot \mu \cdot g}{2}, \quad (2.1)$$

де :

m_1 - маса деталей та вузлів, що спираються на підшипники, кг;

d_u - діаметр шийки валу або осі, м;

μ - коефіцієнт тертя ковзання у підшипниках;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - прискорення сили тяжіння

Відповідно до формули (2.1):

під час руху візка з вантажем: [11]

$$M_{1p} = \frac{(m+m_r) \cdot d_c \cdot \mu \cdot g}{2},$$

$$M_{1p} = \frac{(4000+12500) \cdot 0.06 \cdot 0.02 \cdot 9.81}{2} = 97.119 \text{ Нм};$$
(2.2)

під час руху візка без вантажу[11]

$$M_{1a} = \frac{m \cdot d_c \cdot \mu \cdot g}{2},$$

$$M_{1a} = \frac{4000 \cdot 0.06 \cdot 0.02 \cdot 9.81}{2} = 23.544 \text{ Нм};$$
(2.3)

момент сил тертя кочення: [11]

$$M_2 = m_1 \cdot f \cdot g$$
(2.4)

де: m - маса деталей, що спираються на вузол кочення, кг;

f - коефіцієнт тертя кочення, м.

Відповідно до формули (2.4):

під час руху візка з вантажем[11]

$$M_{2p} = (m+m_r) \cdot f \cdot g,$$

$$M_{2p} = (4000+12500) \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot 9.81 = 80.93 \text{ Нм};$$
(2.5)

під час руху візка без вантажу[11]

$$M_{2a} = m \cdot f \cdot g,$$

$$M_{2a} = 4000 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot 9.81 = 19.62 \text{ Нм};$$
(2.6)

сумарний статичний момент робочого органу: [11]

$$M_{\text{рост}} = k_p \cdot (M_1 + M_2), \quad (2.7)$$

де: k_p - коефіцієнт, що враховує тертя реборд коліс об рейки, що виникає внаслідок можливого перекосу візка.

У розрахунках може бути прийнято $k_p = 1,3-1,4$ відповідно до формули (2.7):

під час руху візка з вантажем [11]

$$M^p_{\text{рост}} = 1.4 \cdot (M_{1p} + M_{2p})$$
$$M^p_{\text{рост}} = 1.4 \cdot (97.119 + 80.93) = 249.27 \text{ Нм};$$

під час руху візка без вантажу [11] (2.8)

$$M^a_{\text{рост}} = 1.4 \cdot (M_{1a} + M_{2a}),$$
$$M^a_{\text{рост}} = 1.4 \cdot (23.544 + 19.62) = 60.43 \text{ Нм};$$

Час пуску t_n до встановленої швидкості з допустимим прискоренням, гальмування t_r від встановленої швидкості до зупинки: [11]

$$t_n = t_r = \frac{v_\gamma}{a}, \quad (2.9)$$

де :

v_γ - задана швидкість руху, м/с ;
 a – допустиме прискорення , м/с².

Відповідно до формули (2.9):

при русі вперед [11]

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{сп}} = \frac{0.5}{0.5} = 1 \text{ с.}$$

при русі назад [11]

$$t_{\text{м}} = t_{\text{вст}} = \frac{0.7}{0.5} = 1.4 \text{ с.}$$

шлях, який проходить робоча машина за час пуску: [11]

$$\alpha_n = \alpha_r = \frac{v_y^2}{2 \cdot |a|} \tag{2.10}$$

відповідно до формули (2.10):

при русі вперед [11]

$$\alpha_{\text{вп}} = \alpha_{\text{вп}} = \frac{0.5^2}{2 \cdot |0.5|} = 0.25 \text{ м}$$

при русі назад [11]

$$\alpha_{\text{на}} = \alpha_{\text{на}} = \frac{0.7^2}{2 \cdot |0.5|} = 0.49 \text{ м.}$$

час встановленого режиму руху зі швидкістю v_y [11]

$$t_y = \frac{a - (\alpha_n + \alpha_{\text{вп}})}{v_y} \tag{2.11}$$

де: a - весь шлях, що проходить візок.

Відповідно до формули (2.11):

при русі вперед [11]

$$t_{\text{вп}} = \frac{L - (\alpha_{\text{вп}} + \alpha_{\text{вп}})}{v_y},$$

$$t_{\text{вп}} = \frac{5 - (0.25 + 0.25)}{0.5} = 9 \text{ с.}$$

при русі назад [11]

$$t_{\text{на}} = \frac{5 - (0.49 + 0.49)}{0.7} = 5.74 \text{ с.}$$

для визначення динамічних моментів робочої машини розраховується момент інерції робочої машини: [11]

$$J_{\text{рв}} = m_1 \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (2.12)$$

де:

m_1 - маси частин, що поступально рухаються (візок і вантаж відповідно), кг;

D – діаметр колеса, м.

Відповідно до формули (2.7):

при русі вперед [11]

$$J^{\text{р}}_{\text{рв}} = (m + m_r) \cdot \frac{D^2}{4},$$
$$J^{\text{р}}_{\text{рв}} = (4000 + 12500) \cdot \frac{0.25^2}{4} = 257.81 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad (2.13)$$

при русі назад [11]

$$J^{\text{н}}_{\text{рв}} = m \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (2.14)$$

$$J^{\text{н}}_{\text{рв}} = 4000 \cdot \frac{0.25^2}{4} = 62.5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

знаючи моменти інерції, можна визначити динамічні моменти, оскільки відомо допустиме прискорення при розгоні та гальмуванні: [11]

$$M_{\text{динам}} = J_{\text{рв}} \cdot \frac{2 \cdot a}{D}, \quad (2.15)$$

розгін та гальмування візка з вантажем [11]

$$M^p_{розгін} = J^p_{рв} \cdot \frac{2 \cdot a}{D},$$

$$M^p_{розгін} = 257.81 \cdot \frac{2 \cdot 0.5}{0.25} = 1031.24 \text{ Н}\cdot\text{м};$$
(2.16)

розгін та гальмування візка без вантажу [11]

$$M^e_{розгін} = J^e_{рв} \cdot \frac{2 \cdot a}{D},$$

$$M^e_{розгін} = 62.5 \cdot \frac{2 \cdot 0.5}{0.25} = 250 \text{ Н}\cdot\text{м};$$
(2.17)

повний момент робочої машини знаходиться за формулою : [11]

$$M_{рв} = M_{рост} + M_{реалн},$$
(2.18)

перша ділянка - розгін візка з вантажем [11]

$$M_{рв1} = M^p_{ростн} + M^p_{розгін},$$

$$M_{рв1} = 249.27 + 1031.24 = 1280.51 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$
(2.19)

друга ділянка - рівномірний рух візка з вантажем [11]

$$M_{рв2} = M^p_{ростн} = 249.27 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$
(2.20)

третя ділянка - гальмування візка з вантажем [11]

$$M_{рв3} = M^p_{ростн} - M^p_{розгін} = 249.27 - 1031.24 = -781.97 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$
(2.21)

четверта ділянка - час паузи [11]

$$M_{рв4} = 0.$$
(2.22)

п'ята ділянка - розгін візка без вантажу [11]

$$M_{рв5} = M^e_{ростн} + M^e_{розгін} = 60.43 + 250 = 310.43 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$
(2.23)

шоста ділянка - рівномірний рух візка без вантажу [11]

$$M_{роб} = M^e_{рослн} = 60.43 \text{ Нм.} \quad (2.24)$$

сьома ділянка — гальмування візка без вантажу [11]

$$M_{роз} = M^e_{рослн} - M^e_{родмн} = 60.43 - 250 = -189.57 \text{ Нм.} \quad (2.25)$$

по розрахованим значенням моментів на кожній ділянці можна знайти середньоквадратичне значення моменту: [11]

$$M_{срмс} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^n t_k}}, \quad (2.26)$$

де :

M_k – момент на ділянці k , Н·м;

t_k – тривалість на ділянці k , с.

За формулою (2.26) отримуємо значення моменту: [11]

$$M_{срмс} = \sqrt{\frac{1280.51^2 + 249.27^2 \cdot 9 + 781.97^2 + 1.4 \cdot (310.43^2 + 189.57^2) + 60.43^2 \cdot 5.74}{1 + 9 + 1 + 1.4 + 5.74 + 1.4}} = 392.91 \text{ Нм.}$$

тоді потужність двигуна визначається за такою формулою: [11]

$$P_{дв} = k_1 \cdot M_{срмс} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_\phi}{ПВ_{срмс}}} \quad (2.27)$$

де :

$k_1 = (1,3 \dots 1,5)$ - коефіцієнт, що враховує динамічні навантаження, зумовлені елементами електроприводу, що обертаються, тобто двигуном, редуктором, а також втрати в редукторі;

D – діаметр колеса візка, м.

v_0 - основна швидкість руху (швидкість руху з вантажем), м;

$ПВ_\phi$ - фактичне значення відносної тривалості включення проектованого

приводу;

$P_{Вкат}$ - найближче до ПВ, каталожне значення відносної тривалості включення для електродвигунів вибраної серії.

Фактичне значення ПВ розрахуємо, знаючи тривалість часу роботи t_k на всіх ділянках руху на заданому часі циклу: [11]

$$t_{ц} = \frac{3600}{z}, \quad (2.28)$$

де :

$z = 75$ - число циклів роботи машини за годину. [11]

$$t_k = \frac{3600}{75} = 48 \text{ с.}$$
$$P_{Вф} = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{k=1}^n t_k \quad (2.29)$$

Відповідно до формули (2.29): [11]

$$P_{Вф} = \frac{1}{48} \cdot (1 + 9 + 1 + 1.4 + 5.74 + 1.4) = 41\%.$$

Для двигунів краново-металургійної серії ряд ПВ: 15, 25, 40, 60, 100%.

Вибираємо найближчу більшу ПВ, тобто $P_{Вкат} = 40$.

Тоді потужність двигуна (відповідно до формули (2.29)): [11]

$$P_{ДВ} = k_1 \cdot M_{сmax} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{P_{Вф}}{P_{Вmax}}} = 1.5 \cdot 392.91 \cdot \frac{2 \cdot 0.7}{0.25} \cdot \sqrt{\frac{0.41}{0.4}} = 3.34 \text{ кВт.}$$

Попередні навантажувальні діаграми :

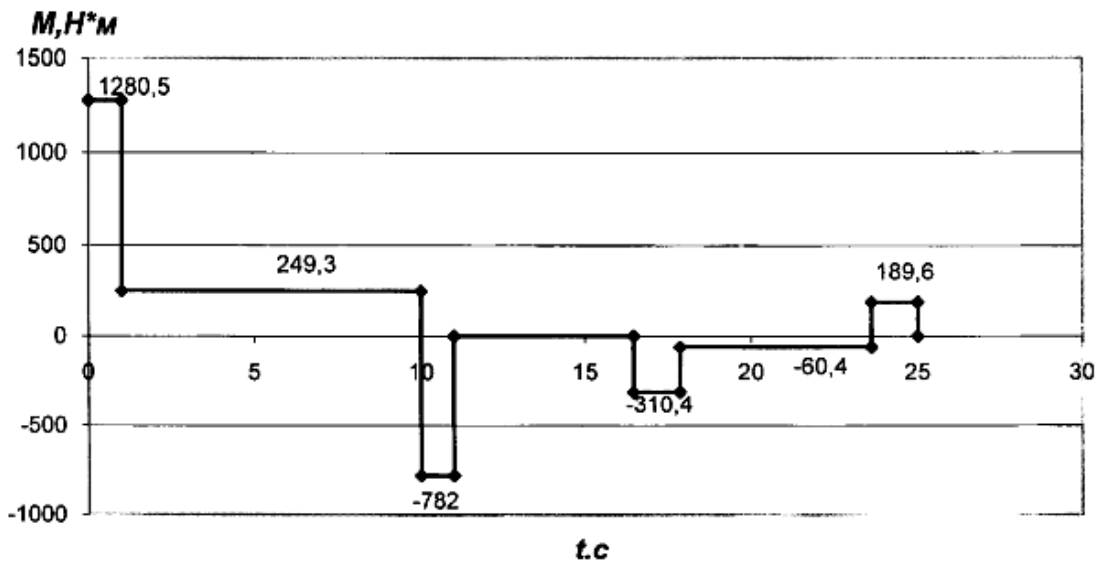


Рисунок 2.3 Діаграма моментів

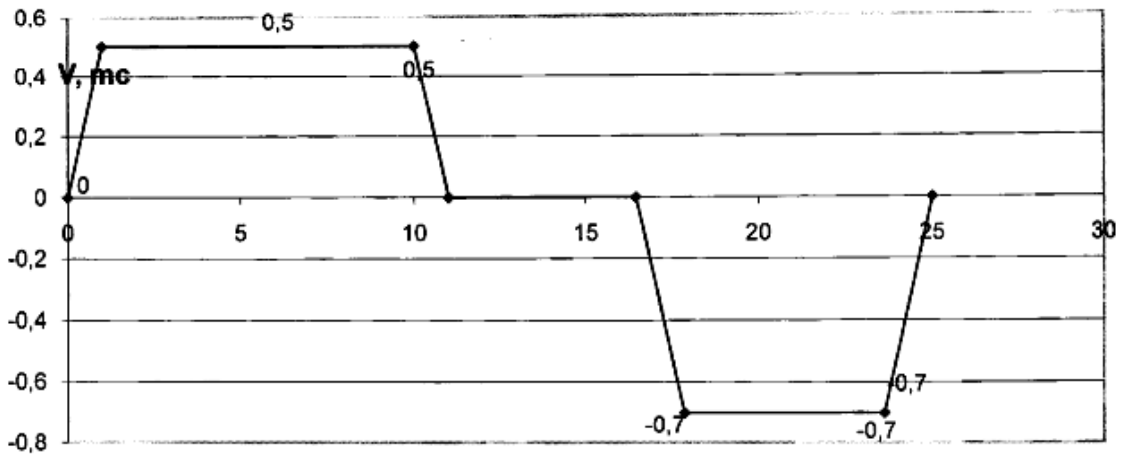


Рисунок 2.4 Тахограма

2.5 Вибір електродвигуна

Вибираємо крановий електродвигун серії 5АИ100S2У3 з короткозамкненим ротором.

Таблиця 2.2 – Номінальні дані двигуна[7]

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Величина
P_n	Номінальна потужність на валу	кВт	3,7
n_n	Номінальна частота обертання	об/хв	870
I_{1n}	Номінальний струм статора	А	10,6
$\cos \varphi_n$	Коефіцієнт потужності у номінальному режимі	-	0,75
I_p	Пусковий струм	А	37,2
M_p	Пусковий момент	Нм	114
M_{\max}	Максимальний критичний момент	Нм	114
r_1	Активний опір фазної обмотки статора	Ом	1,55
$R_{кз}$	Активний опір короткого замикання	Ом	5,7
$I_{он}$	Струм холостого ходу для номінального режиму	А	7,97
$X_{кз}$	Індуктивний опір короткого замикання	Ом	3,34
K_r	Коефіцієнт приведення опорів	-	2,44
$J_{дв}$	Момент інерції двигуна	кг·м·м	0,045

2.6 Визначення передавального числа редуктора та вибір редуктора.

Передатне число редуктора визначимо за відомою номінальною швидкістю обертання обраного електродвигуна та основною швидкістю робочого органу: [11]

$$j_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_0}, \quad (2.30)$$

де :

ω - номінальна швидкість обертання двигуна $\frac{1}{c}$;

D – діаметр колеса, що перетворює обертальний рух валу в поступальний, м;

v_0 - основна швидкість руху робочого органу .

Відповідно до формули (2.30): [11]

$$j_p = \frac{870 \cdot 0.25}{2 \cdot 9.55 \cdot 0.7} = 16.27.$$

Виберемо редуктор, виходячи з того, що передатне число має бути рівним або трохи меншим за розраховане, при цьому повинні бути враховані умови роботи механізму, номінальна потужність і швидкість двигуна

Режим роботи редуктора у заданому механізмі є важким, тому

приймаємо при виборі редуктора коефіцієнт умов роботи

$k = 1.5$ для важкого режиму роботи. Тоді розрахункова потужність редуктора розраховується за формулою: [11]

$$N_p = k \cdot N_M \quad (2.31)$$

де :

N_M - найбільша потужність, що передається робочою машиною, Вт. [11]

$$N_M = M_{\text{розв}} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D}$$
$$N_M = 1280.51 \cdot \frac{2 \cdot 0.5}{0.25} = 5122.04 \text{ Вт.} \quad (2.32)$$

Відповідно до формули (2.31): [11]

$$N_p = 1.5 \cdot 5122.04 = 7683.06 \text{ Вт.}$$

За отриманою потужністю перевіряємо редуктор, існуючий редуктор обраний правильно.

Дані існуючого редуктора Ц2 - 350 у таблиці 2.3,

Таблиця 2.3 - Характеристики редуктора Ц2-350[8]

Момент на тихохідному валу	Потужність на швидкохідному валу	Швидкість	Передавальна кількість редукторів	ККД редуктора
$M_{\text{тих}}$ Нм	N,кВт	n, об/хв	j	η
10000	8	1000	16	0,96

2.7 Розрахунок приведених статичних моментів.

Після вибору електродвигуна та редуктора, а також після розрахунку моментів опору можна привести статичні моменти системи до валу двигуна, скориставшись формулою : [11]

$$M_{PC} = \frac{M_{\text{рост}}}{j_p}, \quad (2.33)$$

Де:

$M_{\text{рост}}$ - статичний момент робочої машини, Нм;

j_p - передатне відношення вибраного редуктора.с
під час руху з вантажем [11]

$$M_{PC} = \frac{M_{\text{рост}}}{j_p} = \frac{249.27}{16} = 15.57 \text{ Нм.}$$

під час руху без вантажу [11]

$$M^*_{rc} = \frac{M_{rcж}}{j_r} = \frac{60.43}{16} = 3.77 \text{ Нм.}$$

тоді статичний момент на валу двигуна: [11]

$$M_{вс} = \frac{M_{rc}}{\eta_p} \tag{2.34}$$

де:

η_p - коефіцієнт корисної дії обраного редуктора під час руху з вантажем для рухового режиму [11]

$$M_{д^p_{вс}} = \frac{M^p_{rc}}{\eta_p} = \frac{15.57}{0.96} = 16.22 \text{ Нм.}$$

під час руху без вантажу для рухового режиму [11]

$$M_{д^*_{вс}} = \frac{M^*_{rc}}{\eta_p} = \frac{3.77}{0.96} = 3.93 \text{ Нм.}$$

у гальмівних режимах момент розраховується за такою формулою: [11]

$$M_{вс} = M_{rc} \cdot \eta_p \tag{2.35}$$

це пов'язано з тим, що енергія надходить з валу двигуна і, за вирахуванням втрат у передачі, надходить на двигун.

Під час руху з вантажем для гальмівного режиму. [11]

$$M_{м^p_{вс}} = M^p_{rc} \cdot \eta_p = 15.57 \cdot 0.96 = 14.95 \text{ Нм.}$$

Під час руху без вантажу для гальмівного режиму. [11]

$$M_{м^*_{вс}} = M^*_{rc} \cdot \eta_p = 3.77 \cdot 0.96 = 3.62 \text{ Нм.}$$

Наведені статичні моменти системи електропривод - робоча машина розраховують для кожної ділянки з урахуванням режиму приводу: [11]

$$M_c = M_{вс} + M_{хх}$$

де:

M_{xx} - Момент втрат холостого ходу двигуна, Нм.

Приймаємо M_{xx} рівним 5% від номінального: [11]

$$M_{xx} = \frac{P_n}{n_n} \cdot 9.55 \cdot 0.05 = \frac{3700}{870} \cdot 9.55 \cdot 0.05 = 2.03 \text{ Нм.}$$

режим двигуна :

при русі з вантажем [11]

$$M_{\phi}^p c = M_{\phi}^p_{bc} + M_{xx} = 16.22 + 2.03 = 18.25 \text{ Нм.}$$

при русі без вантажу [11]

$$M_{\phi}^s c = M_{\phi}^s_{bc} + M_{xx} = 3.93 + 2.03 = 5.96 \text{ Нм.}$$

гальмівний режим :

при русі з вантажем [11]

$$M_{\phi}^p c = M_{\phi}^p_{bc} - M_{xx} = 14.95 - 2.03 = 12.92 \text{ Нм.}$$

при русі без вантажу [11]

$$M_{\phi}^s c = M_{\phi}^s_{bc} - M_{xx} = 3.62 - 2.03 = 1.59 \text{ Нм.}$$

2.8 Розрахунок приведених моментів інерції та коефіцієнтів жорсткості.

Необхідно привести моменти інерції всієї системи до валу двигуна, щоб замінити систему на еквівалентну.

Сумарний приведений момент інерції: [11]

$$J = \delta \cdot J_d + J_{пр}, \tag{2.37}$$

де:

$J_{пр}$ - приведений до валу двигуна момент інерції поступово і обертово рухомих частин системи, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

J_d - момент інерції ротора обраного двигуна $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

δ - Коефіцієнт, що враховує момент інерції інших моментів

електроприводу: гальмівного шківa, муфт, редуктора, і т.д. ($\sigma = 1.3 \dots 1.5$).

Приведений момент інерції робочої машини до валу двигуна: [11]

$$J_{\text{пр}} = \frac{J_{\text{рв}}}{j_p^2} \quad (2.38)$$

знайдемо приведенний сумарний момент інерції: [11]

$$J \cdot \frac{\omega_c^2}{2} = J_{\text{дв}} \cdot \frac{\omega_c^2}{2} + J_{\text{тш}} \cdot \frac{\omega_c^2}{2} + J_1 \cdot \frac{\omega_c^2}{2} + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{2} + J_3 \cdot \frac{\omega_3^2}{2} + J_M \cdot \frac{\omega_3^2}{2} + m_1 \cdot \frac{V^2}{2},$$

де:

J_1, J_2, J_3 - моменти інерції відповідних зубчастих коліс редуктора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$J_{\text{тш}}$ - момент інерції гальмівного шківa, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

J_M - момент інерції сполучної муфти, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Маємо: [11]

$$J = J_{\text{дв}} + J_{\text{тш}} + J_1 + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{\omega_c^2} + J_3 \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} + J_M \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2} \quad (2.39)$$

у цій формулі приймаємо: [11]

$$\delta \cdot J_{\text{дв}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{тш}} + J_1 + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{\omega_c^2} + J_3 \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} + J_M \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} \quad (2.40)$$

тоді: [11]

$$J = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2} \quad (2.41)$$

де:

ω_c - Встановлена швидкість двигуна, $\frac{1}{c}$;

встановлену швидкість двигуна знаходимо за формулою: [11]

$$\omega_c = \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot j_p \quad (2.42)$$

приведений момент інерції:

при русі з вантажем [11]

$$J_p = 1.5 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2} = 1.5 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot \frac{D^2}{4 \cdot j_p^2} = 1.5 \cdot 0.045 + 16500 \cdot \frac{0.25^2}{4 \cdot 16^2} = 1.07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

при русі без вантажу [11]

$$J_a = 1.5 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2} = 1.5 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot \frac{D^2}{4 \cdot j_p^2} = 1.5 \cdot 0.045 + 4000 \cdot \frac{0.25^2}{4 \cdot 16^2} = 0.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

розрахуємо пускові та гальмівні моменти двигуна, які потрібні для розгону та гальмування приводу.

Пусковий момент : [11]

$$M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{дин}} \quad , \quad (2.43)$$

де :

$M_{\text{с}}$ - статичний момент опору руху Нм;

$M_{\text{дин}}$ – динамічний момент Нм

динамічний момент розраховуємо за формулою: [11]

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} \quad , \quad (2.44)$$

де:

a - допустиме прискорення при пуску та гальмуванні ,м/с²;

D - діаметр шестерні, що перетворює обертання на поступальний рух, м;

J - приведений момент інерції приводу, кг·м².

динамічний момент:

при русі з вантажем [11]

$$M_{\text{п дин}} = J_p \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 1.07 \cdot \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 16}{0.25} = 68.48 \text{ Нм}.$$

при русі без вантажу [11]

$$M^a_{двиг} = J_e \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_r}{D} = 0.31 \cdot \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 16}{0.25} = 19.84 \text{ Нм.}$$

за формулою (2.43) пусковий момент:

при русі з вантажем [11]

$$M^p_n = M^p_c + M^p_{двиг} = 18.25 + 68.48 = 86.73 \text{ Нм.}$$

при русі без вантажу [11]

$$M^a_n = M^a_c + M^a_{двиг} = 5.96 + 19.84 = 25.8 \text{ Нм.}$$

гальмівний момент розраховуємо за формулою; [11]

$$|M_\tau| = |M_{двиг}| - M_c \tag{2.45}$$

при русі з вантажем [11]

$$|M^p_\tau| = |M^p_{двиг}| - M^p_c = 68.48 - 12.92 = 55.56 \text{ Нм.}$$

при русі без вантажу. [11]

$$|M^a_\tau| = |M^a_{двиг}| - M^a_c = 19.84 - 1.59 = 18.25 \text{ Нм.}$$

Пусковий момент менший за максимально допустимий, отже, прискорення знижувати не потрібно.

На жодній ділянці момент при гальмуванні або розгоні не виявився вищим за максимальний момент двигуна.

Середній момент двигуна приймаємо рівним моменту, припустимому за прискоренням, оскільки живлення отримуємо від перетворювача із задатчиком інтенсивності:

пуск :

$$M_{cp} = M_{п}$$

гальмування :

$$M_{cp} = M_c$$

наведемо крутильну жорсткість робочого валу до валу двигуна: [11]

$$C_{шв} = \frac{C_K}{j_p^2} = \frac{4 \cdot 10^6}{16^2} = 15625 \quad \frac{H \cdot м}{рад}$$

2.9 Попередня перевірка двигуна з нагрівання та продуктивності.

Метою попередньої перевірки двигуна є уточнення діаграм

навантажувального моменту, а також діаграми швидкості з урахуванням моменту інерції обраного двигуна.

Розрахуємо тривалість перехідних процесів для кожної ділянки за формулою:

[11]

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c} \quad (2.46)$$

де:

J - приведений момент інерції системи до валу двигуна, кг·м²,

ω_c - встановлена швидкість двигуна, $\frac{1}{c}$;

M_{cp} - середній момент двигуна, Нм;

M_c - приведений статичний момент Нм.

Перша ділянка - розгін з вантажем [11]

$$t_1 = J_p \cdot \frac{\omega^p_c}{M^p_{cp} - M^p_{oc}} = \frac{\frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot j_p}{M^p_{cp} - M^p_{oc}} = \frac{\frac{2 \cdot 0.5}{0.25} \cdot 16}{86.73 - 18.25} = 0.93 \text{ с.}$$

третя ділянка - гальмування з вантажем [11]

$$t_3 = J_p \cdot \frac{\omega^p_c}{M^p_{ncp} - M^p_{nc}} = \frac{\frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot j_p}{M^p_{ncp} - M^p_{nc}} = \frac{\frac{2 \cdot 0.5}{0.25} \cdot 16}{55.56 - 12.92} = 1.5 \text{ с}$$

п'ята ділянка - розгін без вантажу [11]

$$t_5 = J_A \cdot \frac{\omega^* c}{M^*_{\text{дср}} - M_{\text{д}}^* c} = \frac{\frac{2 \cdot v_{\text{д}}}{D} \cdot j_p}{M^*_{\text{дср}} - M_{\text{д}}^* c} = \frac{\frac{2 \cdot 0.7}{0.25} \cdot 16}{25.8 - 5.96} = 3.22 \text{ с.}$$

сьома ділянка - гальмування без вантажу [11]

$$t_7 = J_A \cdot \frac{\omega^* c}{M^*_{\text{нср}} - M_{\text{н}}^* c} = \frac{\frac{2 \cdot v_{\text{н}}}{D} \cdot j_p}{M^*_{\text{нср}} - M_{\text{н}}^* c} = \frac{\frac{2 \cdot 0.7}{0.25} \cdot 16}{18.25 - 1.59} = 3.84 \text{ с.}$$

кут поворота валу двигуна за час перехідного процесу: [11]

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2} \quad . \quad (2.47)$$

кут повороту валу:

за 1-у та 3-у ділянки [11]

$$\alpha_{1,3} = \frac{\omega^* c \cdot (t_1 + t_3)}{2} = \frac{64 \cdot (0.93 + 1.5)}{2} = 77.76 \text{ рад.}$$

за 5-у та 7-у ділянки [11]

$$\alpha_{5,7} = \frac{\omega^* c \cdot (t_5 + t_7)}{2} = \frac{89.6 \cdot (3.22 + 3.84)}{2} = 316.29 \text{ рад.}$$

Час роботи з швидкістю що встановилася: [11]

$$t_y = \frac{\alpha_{\Sigma} - (\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{т}})}{\omega_c}, \quad (2.48)$$

де:

α_{Σ} - кут повороту валу двигуна, відповідно до величини переміщення в даному режимі, рад;

$\alpha_{\text{п}}, \alpha_{\text{т}}$ - кут повороту валу за час пуску та гальмування, рад;

кут повороту валу двигуна, що відповідає величині переміщення в даному режимі : [11]

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot L \cdot \frac{j_p}{D} \quad (2.49)$$

відповідно до формули (2.49) [11]

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot L \cdot \frac{j_p}{D} = 2 \cdot 5 \cdot \frac{16}{0.25} = 640 \text{ рад}$$

відповідно до формули (2.48) [11]

$$t^{p_y} = \frac{\alpha_{\Sigma} - \alpha_{1,3}}{\omega^p c} = \frac{640 - 77.76}{64} = 8.78 \text{ с.}$$

$$t^{p_y} = \frac{\alpha_{\Sigma} - \alpha_{5,7}}{\omega^p c} = \frac{640 - 316.29}{89.6} = 3.61 \text{ с.}$$

Сумарний фактичний час роботи приводу: [11]

$$t_{\phi} = 0.93 + 1.5 + 3.22 + 3.84 + 8.78 + 3.61 = 21.88 \text{ с.}$$

Отриманий час менше заданого часу роботи приводу, тобто вимога щодо продуктивності виконана.

Попередня перевірка двигуна з нагрівання проводиться за величиною середньоквадратичного моменту: [11]

$$M_{\text{сррр}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{доп}} \quad (2.50)$$

де допустимий момент : [11]

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{крт}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{крт}}}{\text{ПВ}_{\phi}}} \quad (2.51)$$

фактичне значення; ПВ: [11]

$$\text{ПВ}_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_u} \cdot 100\% \quad (2.52)$$

тоді за формулою: [11]

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{\frac{86.73^2 \cdot 0.93 + 18.25^2 \cdot 8.78 + 55.56^2 \cdot 1.5 + 25.8^2 \cdot 3.22 + 5.96^2 \cdot 3.61 + 18.25^2 \cdot 3.84}{0.93 + 8.78 + 1.5 + 3.22 + 3.61 + 3.84}} = 28.76 \text{ Нм.}$$

фактичне ПВ: [11]

$$ПВ_{\phi} = \frac{0.93 + 8.78 + 1.5 + 3.22 + 3.61 + 3.84}{48} \cdot 100\% = 46\%.$$

момент двигуна при $ПВ_{\text{кат}}$, найближчому до $ПВ_{\phi}$: [11]

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_n}{0.105 \cdot n_n} = \frac{3700}{0.105 \cdot 880} = 40.04 \text{ Нм}$$

допустимий момент: [11]

$$M_{\text{дот}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\phi}}} = 40.04 \cdot \sqrt{\frac{40}{46}} = 37.34 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

зменшуємо допустимий момент на 20%: [11]

$$M_{\text{дот}} = 29.87 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Середньоквадратичний момент менший за допустимий, отже, двигун підходить по нагріванню.

Таблиця 2.4 – Попередній розрахунок навантажувальних діаграм

Ділянка руху	Рух з вантажем			Рух без вантажу		
	Пуск	Встано влений режим	Гальмування	Пуск	Встано влений режим	Гальмування
t, c	1	9	1	1,4	5,74	1,4
α, m	0,25	4,5	0,25	0,49	4,02	0,49
$V, m/c$	-----	0,5	-----	----	0,7	-----
$M_{рост}, H \cdot m$	249	249	249	60	60	60
$J_{рост}, кг \cdot m^2$	258	258	258	62,5	62,5	62,5
$M_{родив}, H \cdot m$	1031	1031	1031	250	250	250
$M_{ро}, H \cdot m$	1280	249	-782	310	60	-190
$M_{рс}, H \cdot m$	15,6	15,6	15,6	3,8	3,8	3,8
$M_{вс}, H \cdot m$	16	16	15	3,9	3,9	3,6
$M_c, H \cdot m$	18	18	13	6	6	1,6
$\omega_c, рад/c$	64	64	64	89,6	89,6	89,6
$J_{пр}, кг \cdot m^2$	1	1	1	0,24	0,24	0,24
$J, кг \cdot m^2$	1,07	1,07	1,07	0,31	0,31	0,31
$M_{дип}, H \cdot m$	68,5	68,5	68,5	20	20	20
$M_{доп, уск}, H \cdot m$	87	18	56	26	6	18
$M_{ср}, H \cdot m$	87	----	56	26	----	18
t, c	0,93	8,78	1,5	3,22	3,61	3,84
$\alpha, рад$	30	562	48	144	324	172

2.10. Вибір перетворювача частоти.

Простіший перетворювач частоти складається з таких частин як: випрямляч, ланка постійного струму та інвертор. На рис 2.5 зображена електрична схема з'єднання перетворювача частоти з двигуном змінного струму. Зазвичай, перед двигуном перетворювачем частоти встановлюються захисні запобіжники та вхідні дроселі. Запобіжники захищають електричні прилади від струмів короткого замикання. Вхідні або мережеві дроселі допомагають:

- зменшити гармоніки у живлячи мережі;
- захищає перетворювач частоти від мережевих скачків напруги;
- перешкоджає нарощуванню напруги в електромережі. Так, при виході з ладу перетворювача частоти пошкодження виявляться незначними, адже у вхідного автомата буде достатньо часу на те, щоб вимкнути живлення в звичайному режимі.

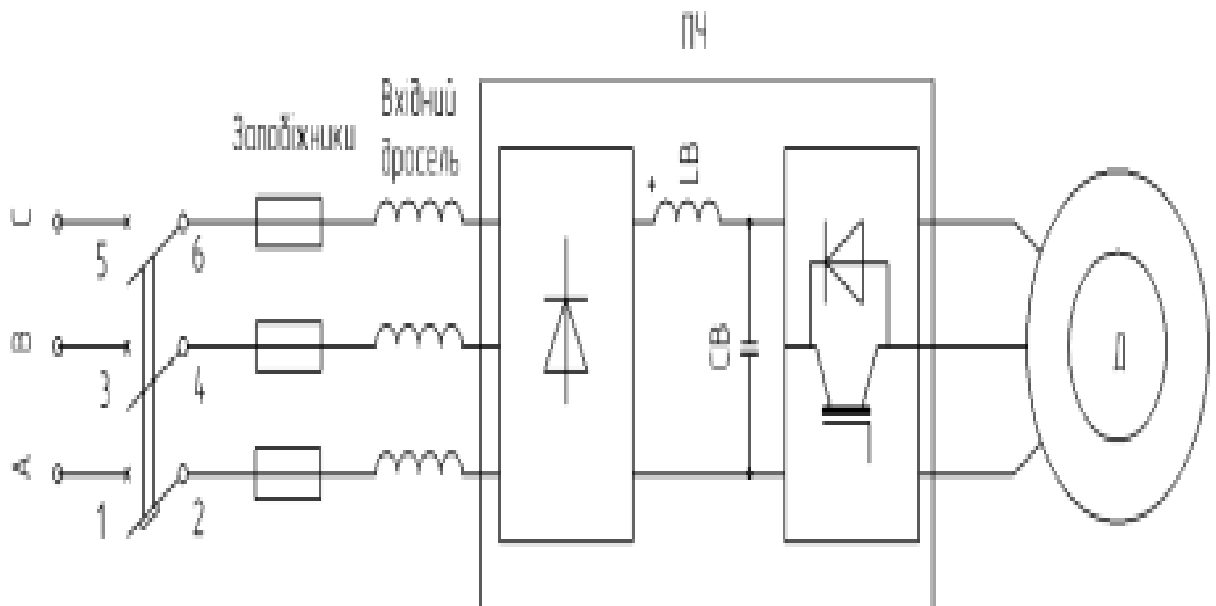


Рисунок 2.5 Електрична схема з'єднання перетворювача частоти з двигуном змінного струму.

Перетворювачі частоти мають на своєму борту мікроконтролери, котрі дозволяють з відносною простотою сконфігурувати перетворювач частоти, та запрограмувати його на необхідний технологічний процес.

Компанія Schneider Electric має серії перетворювачів частоти, котрі можуть використовуватися у будь-якій сфері людської діяльності.

Серія перетворювачів частоти Altivar 71 відповідає найсуворішим вимогам застосувань завдяки використанню різноманітних законів управління двигуном і численним функціональними можливостями. Вона адаптована для вирішення найбільш важких завдань електроприводу, таких як:

- момент і підвищена точність при роботі на дуже низькій швидкості і поліпшені динамічні характеристики з алгоритмами векторного управління потоком в розімкнутій або замкнутій системі приводу;
- розширений діапазон вихідної частоти для високошвидкісних двигунів;
- паралельне включення двигунів і спеціальні приводи з використанням скалярного закону управління;
- точність підтримки швидкості і енергозбереження для розімкненого приводу з синхронним двигуном;
- плавне, безударне управління незбалансованими механізмами за допомогою системи адаптації потужності;

Перетворювачі частоти Altivar 71 спеціально розроблені та активно використовуються у промисловому підйомно-транспортне

обладнання, при розвантажувально-навантажувальних операціях, фасувальних та пакувальних машинах, текстильних машини, деревообробних машинах та інших сферах господарської і промислової діяльності. Вони розраховані на трифазні двигуни потужністю від 0,37 до 2000 кВт. Що з легкістю вписується у наші потреби.

Серія перетворювачів частоти Altivar 71 має ряд особливостей та переваг, такі як:[6]

- мінімальний час реакції при відпрацювання команд ($2 \pm 0,5$) мс.;
- керування по вбудованій шині CANopen
- завдання по імпульсному або диференційному аналоговому входах;
- ПД регулятор;
- вихідна частота до 1600Гц;
- тормозний модуль з рекуперацією енергії до мережі;
- регулювання швидкості та моменту.

Таблиця 2.5 - Параметри обраного ПЧ Altivar 71.[6]

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Тип		ATV 71HU40N4Z
Номінальна потужність	кВт	37
Вихідна напруга	В	380-480
Номінальний вихідний струм	А	84
Діапазон зміни частоти	Гц	0,5..300

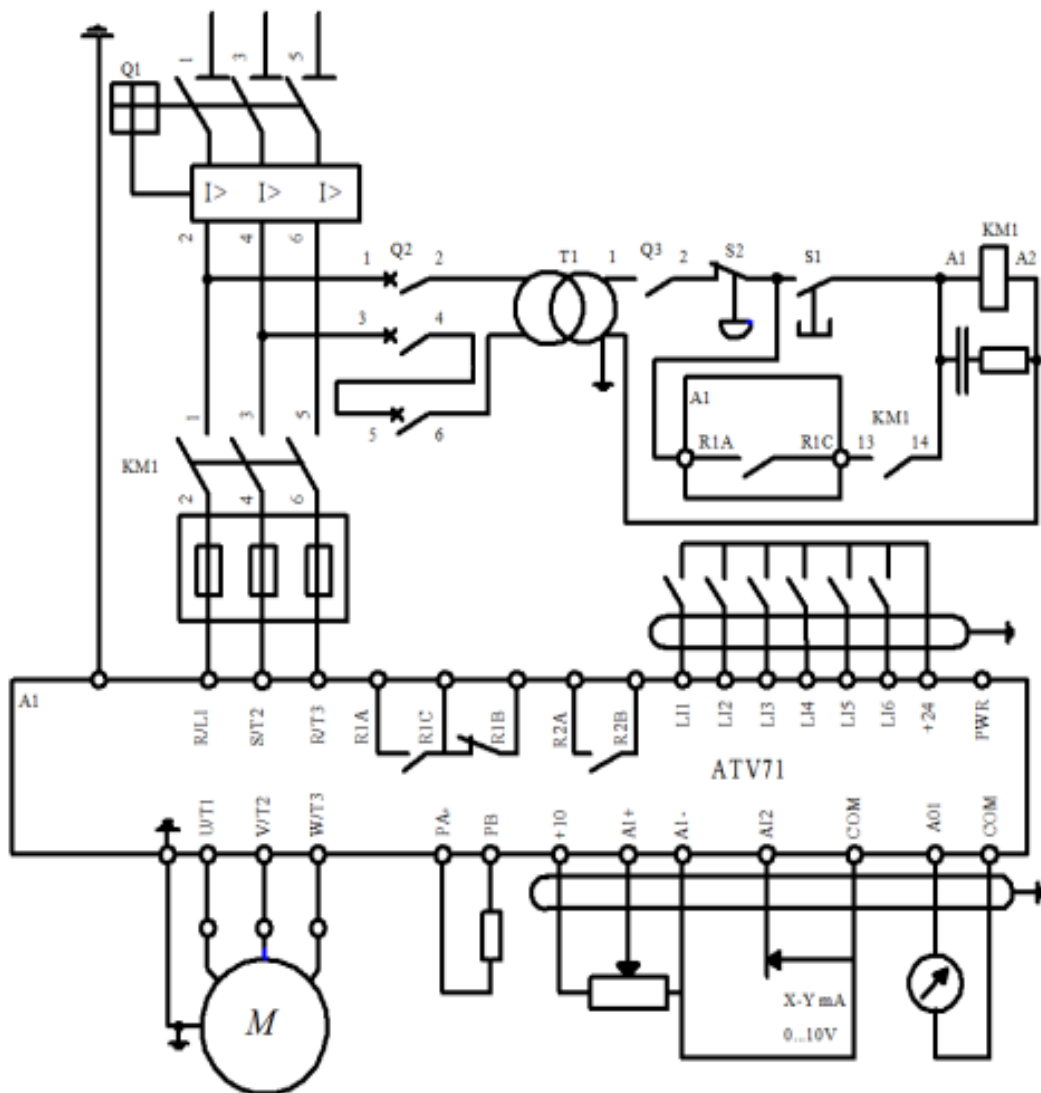


Рисунок 2.6 Електрична схема підключення ПЧ Altivar 71 до асинхронного двигуна.[2]

Обраний перетворювач частоти реалізує векторний закон керування двигуном. Векторне керування полягає у незалежному керуванні двома складовими струму статора, які орієнтовані по осях d та q ротора. Складова по осі d являється потокостворюючою, по осі q - моментостворюючою. Характеристики векторного асинхронного електроприводу по точності і швидкодії відповідають характеристикам двозонного електроприводу постійного струму.

3 Синтез системи автоматичного керування .

3.1 Вибір системи керування.

Обраний перетворювач частоти реалізує векторний закон регулювання. Суть векторного регулювання полягає в незалежному управлінні двома складовими струму статора, орієнтованими по осях d , q ротора. Складова по осі d являється потокостворюючою, по осі q - моментостворюючою. Характеристики векторного асинхронного електроприводу, таким чином, по точності і швидкодії наближаються до характеристик двозонного електроприводу постійного струму.

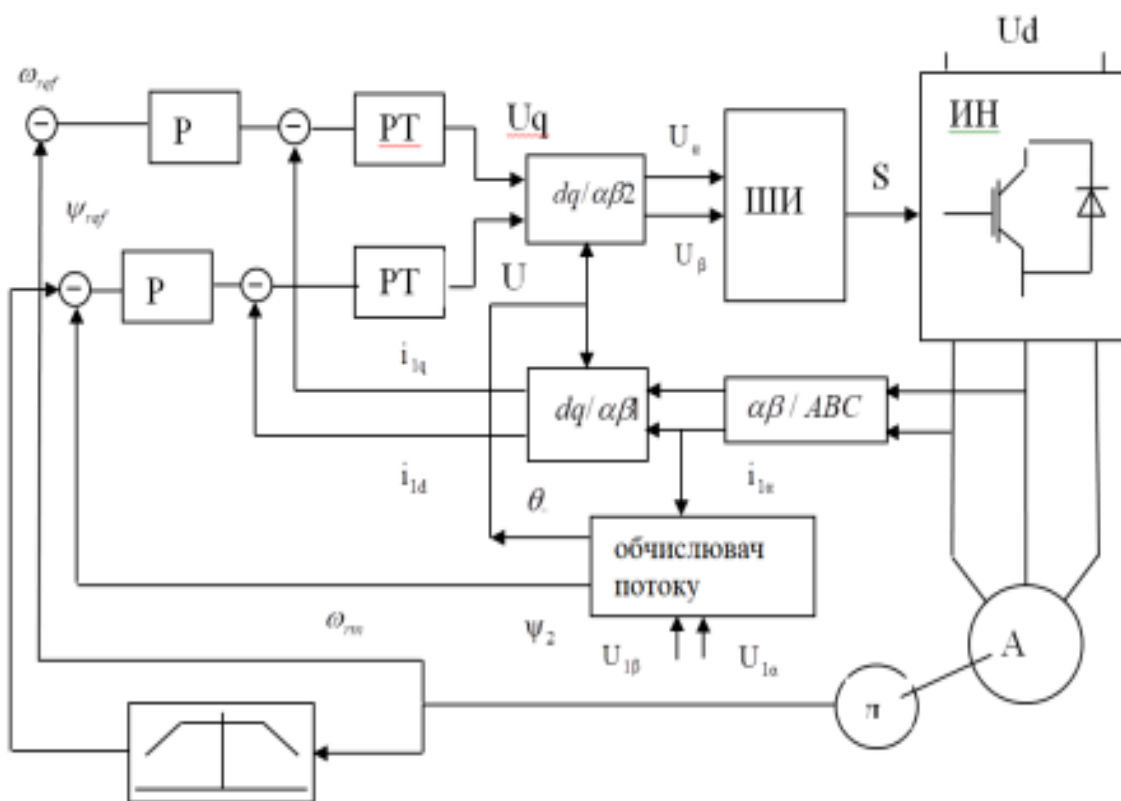


Рисунок 3.1 Функціональна схема електроприводу, реалізуюча векторне керування.

В системах координат (нерухомій або обертовій) рівняння узагальнених векторів асинхронного двигуна набувають вигляду:[12]

$$\bar{U}_1 = \bar{I}_1 R_1 + \frac{d\bar{\Psi}_1}{dt} + j\omega_k \bar{\Psi}_1 \quad (3.1)$$

$$\bar{U}_2 = \bar{I}_2 R_2 + \frac{d\bar{\Psi}_2}{dt} + j\omega_k - Z_n \omega \bar{\Psi}_2 \quad (3.2)$$

$$\bar{\Psi}_1 = \bar{I}_1 L_1 + \bar{I}_2 L_m \quad (3.3)$$

$$\bar{\Psi}_2 = \bar{I}_2 L_2 + \bar{I}_1 L_m \quad (3.4)$$

де Z_n – кількість пар полюсів; ω – кутова швидкість ротора; ω_k – швидкість обертання координатних осей.

Момент двигуна є векторним добутком будь-якої пари векторів. З наведених рівнянь виходить, що таких пар може бути шість. Найчастіше застосовують такі рівняння моменту двигуна: [12]

$$M = \frac{3}{2} Z_n \bar{\Psi}_1 \bar{I}_1 \quad (3.5)$$

$$M = \frac{3}{2} Z_n L_m \bar{I}_1 \bar{I}_2 \quad (3.6)$$

$$M = \frac{3}{2} Z_n \frac{L_m}{L_2} \bar{\Psi}_2 \bar{I}_1 \quad (3.7)$$

Векторне керування асинхронного двигуна вимагає перетворення координат. Напряга статора описується в осях α, β , роторні величини - в осях d, q . Регулятори поточозчеплення, швидкості, складових струмів по осях d, q розраховуються ,виходячи з симетричного критерію оптимізації відповідно до передавальної функції об'єкту управління (асинхронний двигун) по цих осях.

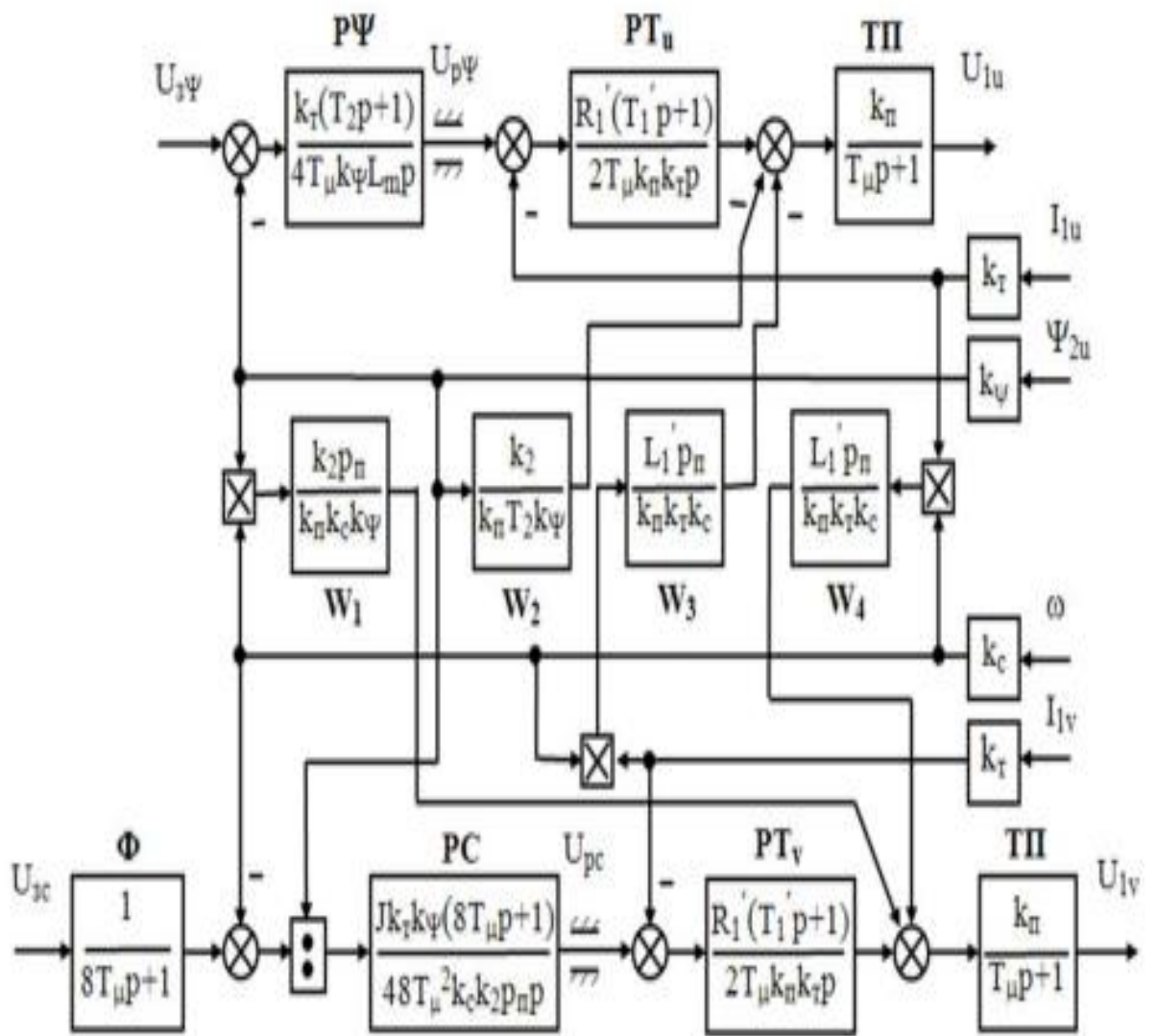


Рисунок 3.2 Структурна схема системи автоматичного керування електропривода з векторним керуванням.

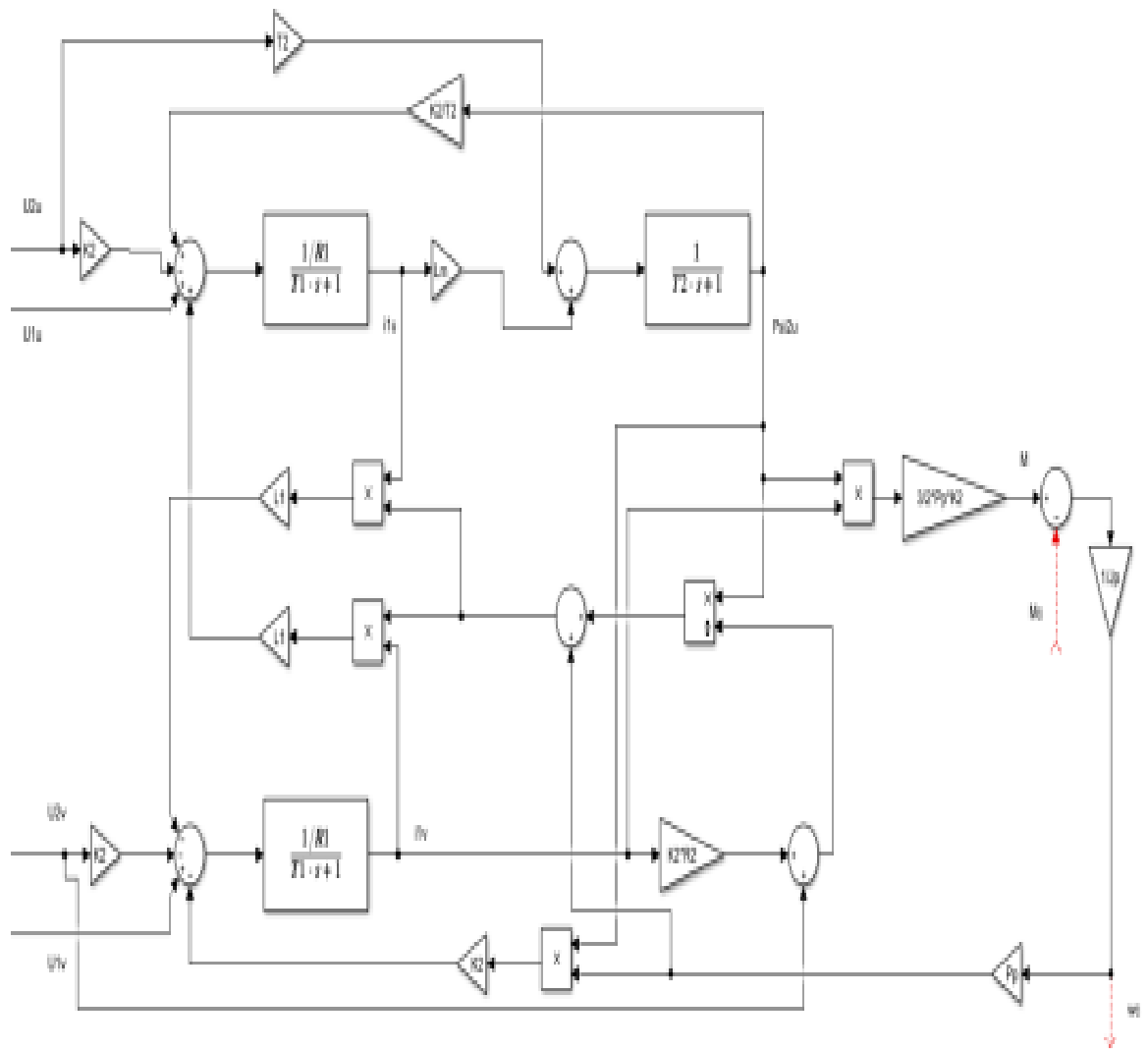


Рисунок 3.3 Структурна схема асинхронного двигуна в осях d,q синтезована в пакеті Matlab/Simulink.

3.2 Розрахунок параметрів системи автоматичного керування для данної системи.

Розрахунок параметрів системи автоматичного регулювання і моделювання проводяться у відносних одиницях.

Розраховуємо параметри передаточних ланок, які використовуються у моделі системи автоматичного регулювання:

базовий опір: [12]

$$Z_b = \frac{U_m}{I_m \cdot \sqrt{3}} = \frac{380}{79 \cdot \sqrt{3}} = 2,77 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

опори в колі статора: [12]

$$R_{1b} = R_1 \cdot Z_b = 0,103 \cdot 2,77 = 0,28 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

$$X_{1b} = X_1 \cdot Z_b = 0,172 \cdot 2,77 = 0,47 \text{ Ом} \quad (3.10)$$

опори в колі ротора: [12]

$$R_{2b} = R_2 \cdot Z_b = 0,237 \cdot 2,77 = 0,656 \text{ Ом} \quad (3.11)$$

$$X_{2b} = X_2 \cdot Z_b = 0,366 \cdot 2,77 = 1,13 \text{ Ом} \quad (3.12)$$

коефіцієнт зворотного зв'язку по струму: [12]

$$k_t = \frac{U_b}{2 \cdot I_H} = \frac{10}{2 \cdot 79} = 0,063 \quad (3.13)$$

коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю: [12]

$$k_s = \frac{U_b}{\omega_{\max}} = \frac{10}{945 \cdot \pi / 30} = 0,101 \quad (3.14)$$

коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора: [12]

$$k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0,313}{0,338} = 0,927 \quad (3.15)$$

постійна часу ротора: [12]

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0,338}{0,237} = 1,426 \text{ с} \quad (3.16)$$

номінальне потокозчеплення: [12]

$$\Psi_H = \frac{I_H}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_H \cdot 2p \cdot k_2} = \frac{79}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 79 \cdot 6 \cdot 0,927} = 0,084 \text{ В/с} \quad (3.17)$$

коефіцієнт зворотного зв'язку по потокозчепленню: [12]

$$k_{\Psi} = \frac{U_b}{\Psi_H} = \frac{10}{0,127} = 119,04 \text{ 1/с} \quad (3.18)$$

передаточна функція регулятора швидкості: [12]

$$W_{PC}(p) = \frac{J k_t k_{\Psi} (8T_{\mu} p + 1)}{48T_{\mu}^2 k_C k_2 p_n p} \quad (3.19)$$

тоді пропорційна частина регулятора швидкості: [12]

$$W_{PC\Pi}(p) = \frac{J k_t k_{\Psi}}{6T_{\mu} k_C k_2 p_n} = \frac{5,3 \cdot 0,063 \cdot 119,04}{6 \cdot 0,001 \cdot 0,101 \cdot 0,927 \cdot 6} = 11,7 \quad (3.20)$$

інтегральна частина: [12]

$$W_{PCИ}(p) = \frac{J k_t k_{\Psi}}{48T_{\mu}^2 k_C k_2 p_n} = \frac{5,3 \cdot 0,063 \cdot 119,04}{48 \cdot 0,001^2 \cdot 0,101 \cdot 0,927 \cdot 6} = 14,7 \quad (3.21)$$

передаточна функція регулятора потокозчеплення: [12]

$$W_{P\Psi}(p) = \frac{k_t (T_2 p + 1)}{4T_{\mu} k_{\Psi} L_m p} \quad (3.22)$$

пропорційна частина регулятора потокозчеплення: [12]

$$W_{P\Psi\Pi}(p) = \frac{k_t T_2}{4T_{\mu} k_{\Psi} L_m} = \frac{0,063 \cdot 1,426}{4 \cdot 0,001 \cdot 119,04 \cdot 0,313} = 0,602 \quad (3.23)$$

інтегральна частина регулятора потокозчеплення: [12]

$$W_{P\PsiИ}(p) = \frac{k_t (T_2 p + 1)}{4T_{\mu} k_{\Psi} L_m} = \frac{0,063}{4 \cdot 0,001 \cdot 119,04 \cdot 0,313} = 0,422 \quad (3.24)$$

розрахункові параметри САР використовуються для програмування перетворювача частоти та для математичного моделювання.

4 Дослідження динаміки електропривода

4.1 Моделювання розрахованої системи автоматичного керування

Метою досліджень динаміки розробленої системи керування електроприводом механізму пересування козлового крана є перевірка якості перехідних процесів у системі автоматичного регулювання в характерних для даного електроприводу режимах. Розрахунок переходних процесів повинен продемонструвати задовільну якість перехідних процесів при прийнятих параметрах регуляторів.

Найбільш зручним з погляду технічної реалізації є векторне моделювання з використанням передавальних функцій об'єкта, що досліджується. Одним з широко застосовуваних сучасних пакетів, що реалізують структурне моделювання, є MATLAB.

Після розрахунку всіх параметрів математичної системи автоматичного регулювання можна синтезувати структурну схему електропривода. у пакеті Matlab/Simulink.

Після закінчення збирання схеми електричного двигуна, потрібно перевірити її роботу на відповідність реального двигуна. На входи математичної моделі асинхронного двигуна потрібно сигнали які відповідають сигналам трифазної напруги. Якщо зняті осцилограми швидкості та моменту електричного двигуна відповідають реальним, це означає, що модель двигуна зібрано та розраховано коректно. Наступним кроком є синтез системи автоматичного керування.

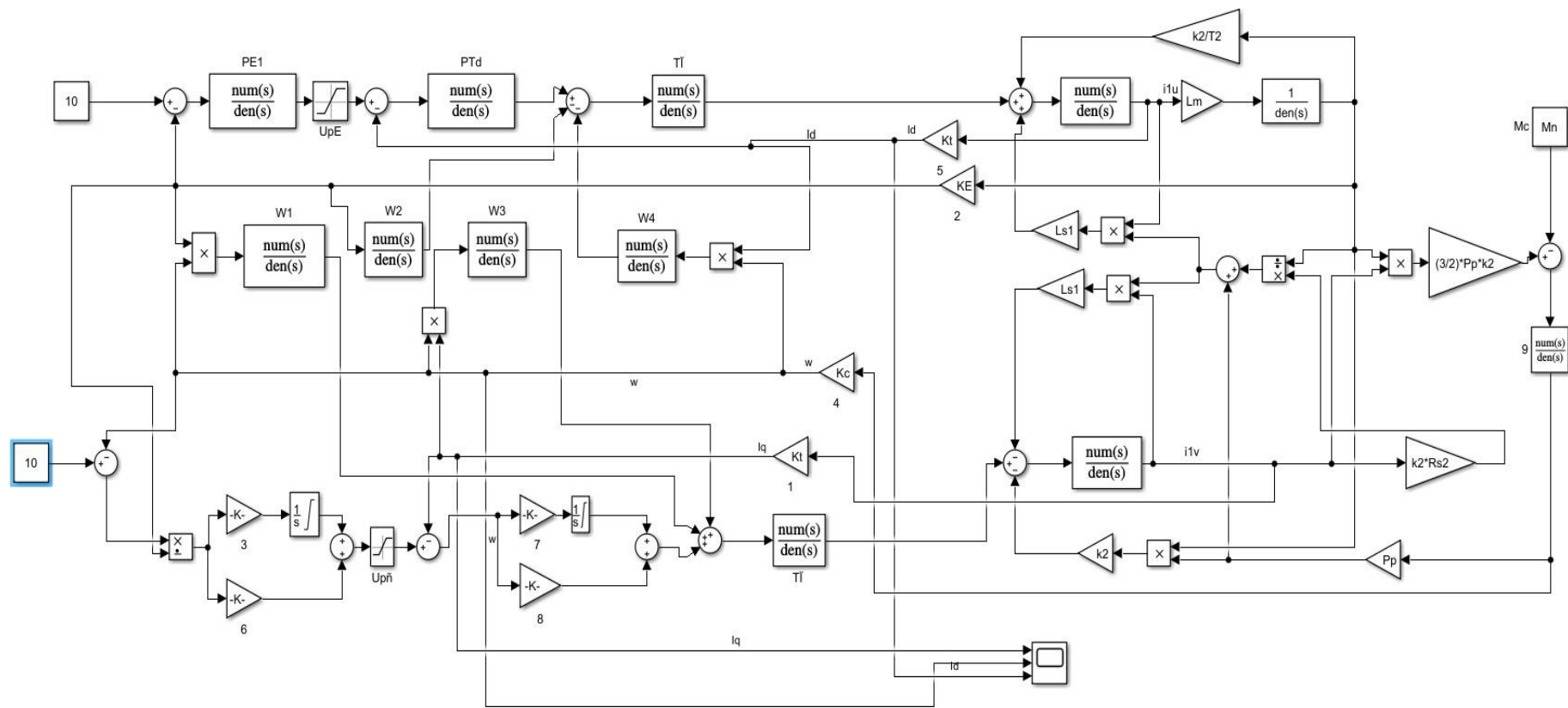


Рисунок 4.1 - Повна математична модель електропривода зібрану у середовищі Matlab/Simulink. Підставивши у неї розраховані вище параметри, отримаємо графіки перехідних процесів в системі автоматичного керування та асинхронному двигуні.

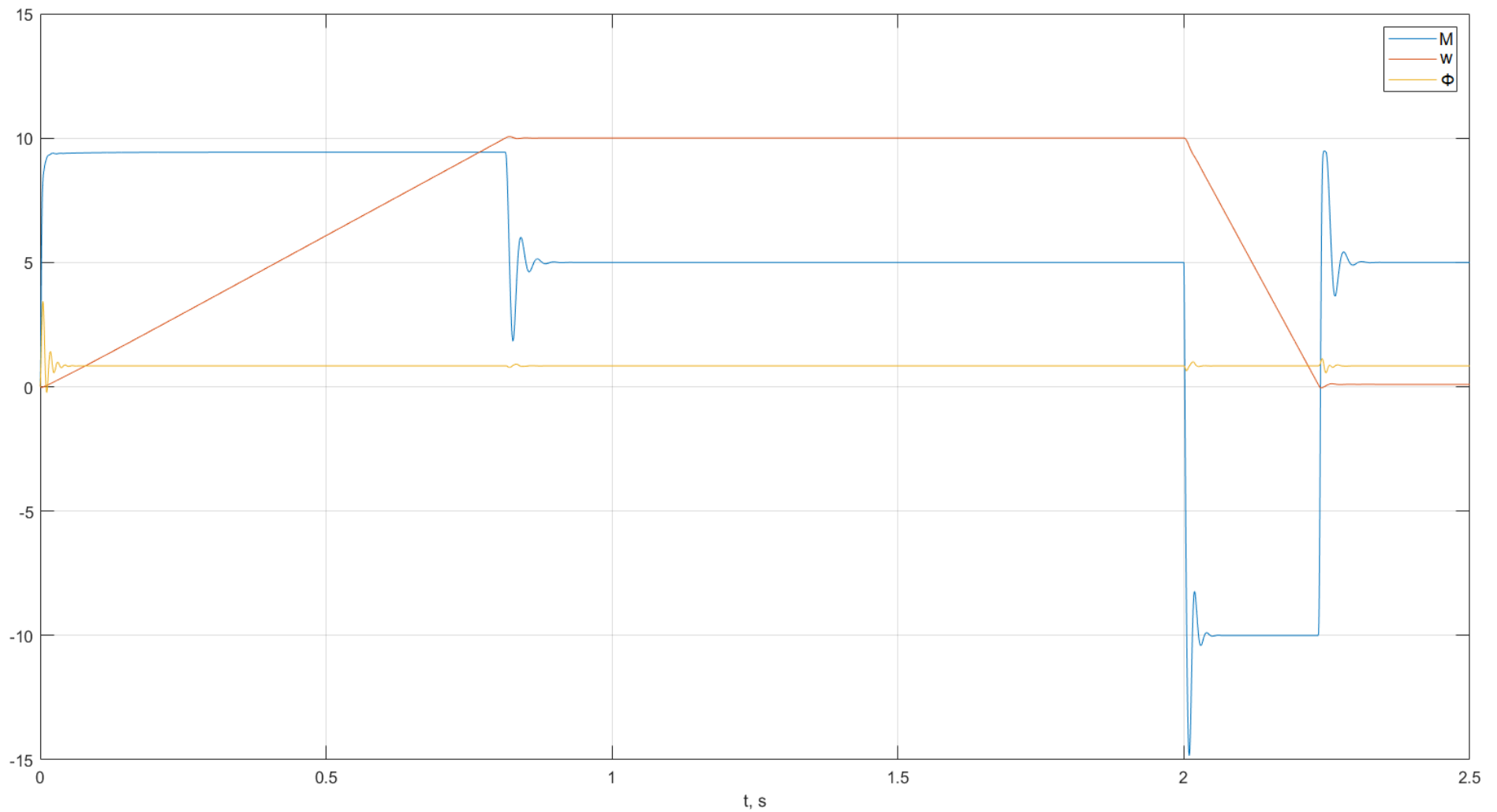


Рисунок 4.2- Показує відпрацювання моделлю подачу ступінчатого завдання на максимальну швидкість $U_3 = 10\text{В}$. Як видно з графіків перехідних процесів. На при розгоні від нуля до заданої швидкості двигун розвиває максимальний момент. Після того як його швидкість досягла заданої, тобто максимальної, момент двигуна дорівнює моменту опору системи.

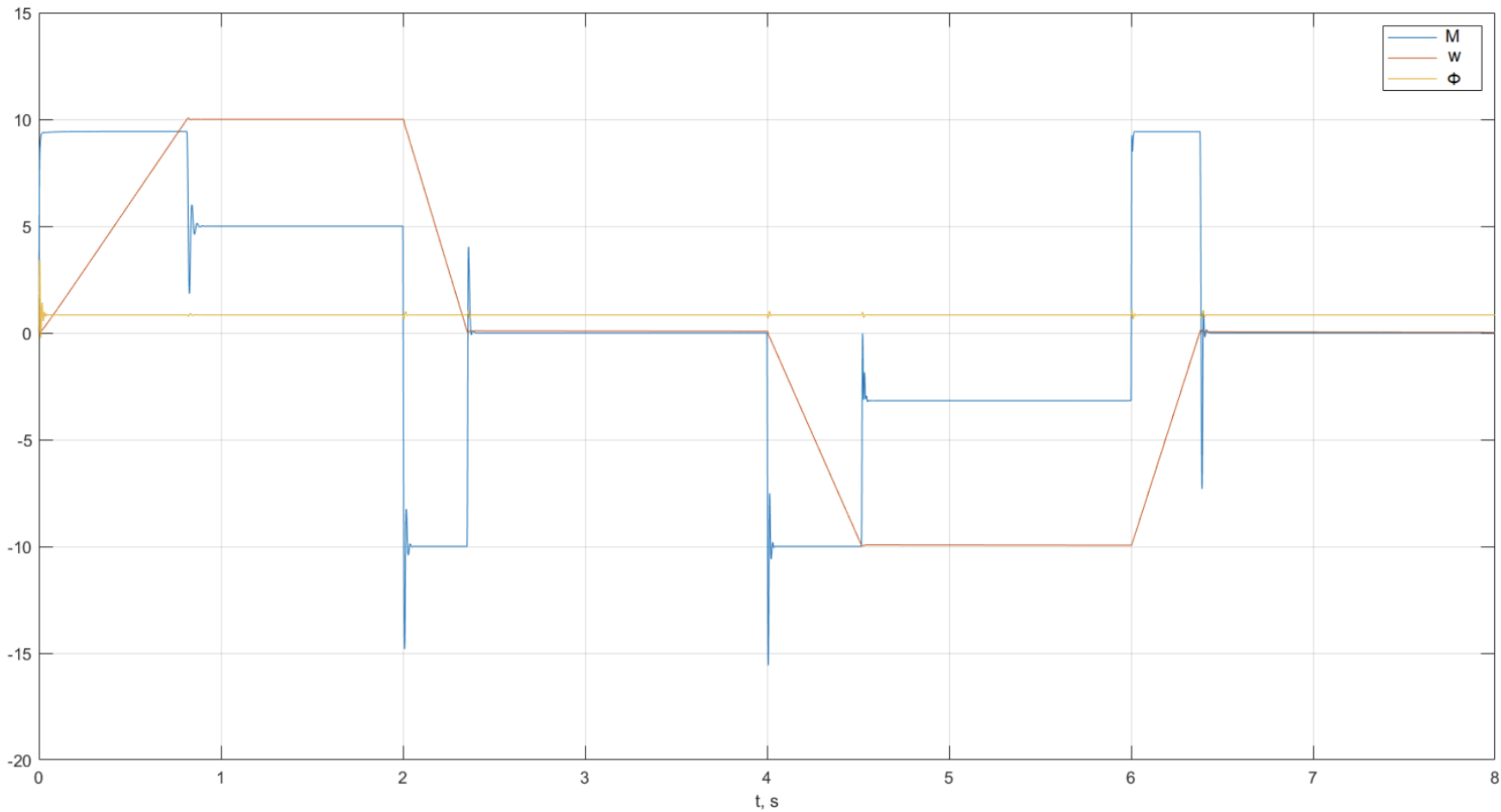


Рисунок 4.3- Графік перехідних процесів при відпрацюванні системою заданої тахограми руху візка переміщення крану. Як видно з графіків моменту, швидкості та магнітному потоку двигуна, синтезована система повністю відповідає всім стандартам систем автоматичного керування.

5 Техніко-економічне обґрунтування.

Вступ

Актуальність питань, розглянутих у спеціальній частині кваліфікаційної роботи, пов'язані з модернізацією застарілого обладнання мостового підйомного крана науково-виробничого об'єднання “Дніпроофмаш”.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованого електропривода переміщення візка двобалкового мостового крана, який працює в середньому режимі роботи з вантажопідйомністю до 20 тон і здійснює підйом і переміщення вантажів в ремонтно-механічних і складальних цехах.

Для обґрунтування економічної доцільності пропонуваного в дипломному проекті способі вирішення задач необхідно вирішити наступні завдання:

- визначення капітальних витрат;
- визначення експлуатаційних витрат;
- визначення річної економії від впровадження рішення;
- визначення та аналіз показників економічної ефективності.

5.1 Розрахунок капітальних витрат.

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. Для визначення капітальних витрат користуємось формулою:[9]

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right) + Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{н}} + Z_{\text{пр}}, \text{ де} \quad (5.1)$$

$K_{\text{об}}(\sum^k C_i)$ – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів i - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного

рішення;

K - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{м}$ – витрати на монтажні роботи;

$Z_{н}$ - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{пр}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Зведення капітальних витрат

Таблиця 5.1

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Перетворювач частоти ATV 71HU40N4Z	1	57659	57659
2	Асинхронний двигун 5АИ100S2У3	1	21260	21260
	ВСЬОГО			78919

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат становить: за даними ТОВ «Укр Пошта» вартість доставки палети з обладнанням з м.Одеса до м. Дніпро складатиме 5100 гривень, включно з вартістю зберігання і доставки до виробничого приміщення, в якому відбувається встановлення. Отже, вартість 5100 гривень включає транспортно-заготівельні та складські витрати.

Витрати на монтажні ($Z_{м}$) і на налагоджувальні роботи ($Z_{н}$):

$$Z_{м(н)} = \sum (Ч_i \times a_i \times t_i) \times K_{д} \times K_{см} \times K_{пр}, \text{ де} \quad (5.2)$$

$Ч_i$ – чисельність працівників і-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу

монтажних і налагоджувальних робіт, чол.;

a_i – годинна тарифна ставка працівника i -го розряду, грн.;

t_i – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), год.;

K_d – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{см}$ – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{пр}$ – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Для виконання монтажних і налагоджувальних робіт запропоновано залучити трьох електромеханіків по засобам автоматики і приборам технологічного обладнання п'ятого розряду.

Годинна тарифна ставка працівника – 80 грн.

Час на роботи – 35 годин.

Коефіцієнт, що враховує розмір доплат – 1,25.

Коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок – 1,22.

Коефіцієнт, що враховує інші витрати – 1,05.

Отже, витрати на монтажні і налагоджувальні роботи:

$$Z_{M(H)} = \sum(3 \times 80 \times 30) \times 1,25 \times 1,22 \times 1,05 = 11529 \text{ грн. (5.3)}$$

Демонтаж застарілого обладнання не передбачено.

Отже капітальні витрати складають:

$$K_{пр} = 78919 + 5100 + 11529 = 95548 \text{ грн. (5.4)}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.

Експлуатаційні витрати – поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період, виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж (C_m);
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або втрат електроенергії (C_e);

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складають:

$$C = C_a + C_m + C_e \quad (5.5)$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться за проектним і базовим варіантами паралельно.

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат по видах основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат для проектного варіанту і за даними підприємства про балансову вартість замінюваного устаткування для базового варіанту. Дані розрахунку занесені до таблиці 5.2.

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Таблиця 5.2

№ з/п	Найменування	Капітальні інвестиції, тис. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн.
1.	Проектний варіант	95548	20	19,110
2.	Базовий варіант	69550	20	13,910

Вартість базового варіанту замінюваного устаткування узяті за даними підприємства, що складають 69550 грн.

5.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітником і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації розраховуються за формулою:

$$Z_{\text{т.р.}} = \sum_{i=1}^n \left(R_i \times t_i \times m_i \times R_{\Sigma i} + \frac{S_i \Pi_i}{T_i} \times T_{\Phi} \right), \text{ де} \quad (5.6)$$

n – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t_i – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту водну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год./од.:

➤ малого - 1,2;

➤ середнього - 7,0;

➤ капітального - 15,0.

m_i – число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число малих ремонтів - 2, середніх - 1, капітальних - 0,1);

R_{Σ} – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання:

асинхронний двигун від 0,5 до 4 кВт ;

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

P – кількість однотипних замінних елементів;

T – середній термін служби деталей даного типу, год.;

T_{ϕ} – число годин роботи апаратури на рік, год.

Передбачено виконання одного середнього ремонту устаткування за рік, до робіт залучати одного електрослюсаря 5 розряду, годинна ставка складає 100 грн, трудомісткість складає 7 год./од., замінні елементи підшипників коштують 2000 грн, обладнання функціонує 1500 годин на рік. Отже, річні витрати на технічне обслуговування та ремонт складають:

$$Z_{\text{тр}} = \sum (100 \times 7 \times 1 \times 1,3 + \frac{2000 \times 4}{8000} \times 1500) = 2,410 \text{ тис.грн.} \quad (5.7)$$

5.2.3 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.

Розрахунок вартості електроенергії, що споживається об'єктом проектування, проводиться на основі значень його встановленої потужності, річного фонду робочого часу та тарифу на електроенергію.

Річні витрати на електроенергію складають:

$$C_e = (P_{\text{вст}} \times t_{\text{вик}} \times k_{\text{втр}}) \times C_e, \text{ де} \quad (5.8)$$

$P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність, кВт;

$t_{\text{вик}}$ – час роботи обладнання, год./рік;

$k_{\text{втр}}$ – коефіцієнт, що враховує електричні втрати;

C_e – тариф на електроенергію, грн./кВт×год.

Встановлена потужність проектного варіанту окремо взятого електродвигуна візка мостового підйомного крану складатиме 8 кВт, а час використання складе 3 години за зміну. Коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії прийнято за 1,15.

Встановлена потужність базового варіанту окремо взятого електродвигуна візка мостового підйомного крану складатиме 12 кВт, а час використання складе 3 години за зміну. Коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії прийнято за 1,20.

Вартість електроенергії для непобутових споживачів, що приєднані до мереж АТ «ДТЕК ДНІПРОВСЬКІ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ» (станом на листопад 2022 року): 8,9 грн/кВт×год з ПДВ (2-ий клас напруги).

Таким чином, витрати на споживану електроенергію за рік складають (в базовому варіанті та проектному відповідно):

$$C_{e.баз} = (12 \times 615 \times 1,20) \times 8,9 = 78,819 \text{ тис. грн.} \quad (5.9)$$

$$C_{e.пр} = (8 \times 615 \times 1,15) \times 8,9 = 50,357 \text{ тис. грн.} \quad (5.10)$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати у проектному варіанті складають:

$$C_{пр} = C_a + C_T + C_e = 19,110 + 2,410 + 50,357 = 71,9 \text{ тис. грн.} \quad (5.11)$$

у базовому варіанті :

$$C_{баз} = C_a + C_T + C_e = 13,910 + 5,7 + 78,819 = 98,430 \text{ тис. грн.} \quad (5.12)$$

5.3 Розрахунок річної економії від впровадження науково-технічного рішення.

Повна річна економія від впровадження варіанту визначається:

$$E_{кп} = E_{кр} \pm \Delta C \quad (5.13)$$

Річна економія від впровадження науково-технічного рішення полягає в тому, що таке впровадження дозволяє:

- заощаджувати електроенергію завдяки використанню нового способу керування та регулювання електроприводу переміщення візка мостового крану, адже обрані частотні перетворювачі з функцією векторного керування будуть енергоефективними, а використання асинхронного приводу з короткозамкненим ротором також дає вагомні переваги;

- зменшити час на виконання операції з переміщення візку мостового підйомного крану.

Таким чином :

$$E_{кп} = 27,5 \text{ тис. грн.} \quad (5.14)$$

5.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності.

Оцінка економічної ефективності розглянутих в дипломному проєкті технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення та аналізу наступних показників:

- а) розрахункового коефіцієнта ефективності (прибутковості) капітальних витрат E_p ;
- б) терміну окупності капітальних витрат T_p .

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат E_p показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = \frac{E_{кп}}{K_{пp}} \quad (5.15)$$

$E_{кп}$ - загальна річна економія від впровадження об'єкта проектування, тис. грн.;

$K_{пp}$ - капітальні витрати за варіантом, що викликали економію, тис. грн.

Таким чином, розраховується коефіцієнт ефективності капітальних витрат:

$$E_p = \frac{27,5}{95,548} = 0,29 \quad (5.16)$$

Термін окупності капітальних витрат T_p показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення:

$$T_p = \frac{K_{пp}}{E_{кп}} = \frac{95,548}{27,5} = 3,5 \text{ року.} \quad (5.17)$$

Отже, проведено розрахунок показників економічної ефективності, які свідчать про економічну доцільність введення науково-технічного рішення. Термін окупності витрат задовільний.

Таблиця 5.4 - Порівняльна оцінка техніко-економічних показників.

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Базовий варіант	Проектний варіант	Зміни у порівнянні з альтернативним варіантом	
					± (тис. грн)	%
1	2	3	4	5	6	7
1	Капітальні витрати	тис. грн.	69,55	95,548	+25,998	
2	Експлуатаційні витрати всього	тис. грн.	98,43	71,9	-26,53	
3	Річна економія всього	тис. грн.	-	27,5	-	-
4	Розрахунковий коефіцієнт ефективності	долі од.	-	0,29	-	-
5	Розрахунковий термін окупності капітальних вкладень	років	-	3,5	-	-
6	Економія електроенергії	кВт·год	9720	5450	32,4	54

Висновок

У розрахунках економічного розділу були отримані значення проектних капіталовкладень, витрат на монтажні і налагоджувальні роботи, річних експлуатаційних витрат, вартості електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року, витрат на поточний ремонт обладнання, річна економія від впровадження модернізації, коефіцієнта ефективності капітальних витрат та терміну окупності капітальних витрат.

Річна економія від модернізації запропонованого устаткування складає 27,5 тис. гривень, розрахунковий коефіцієнт ефективності складає 0,29 і розрахунковий термін окупності капітальних вкладень складає 3,5 роки.

Таким чином, можна сказати, що заміна старого обладнання на нове є економічно вигідним рішенням. Система асинхронний двигун - перетворювач частоти не тільки покращить якість регулювання, перехідних процесів а й зекономить значну кількість грошей.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було успішно замінено стару систему електроприводу переміщення крану. Підібрано електричний двигун відповідний до сучасних стандартів та перетворювач частоти.

У проекті була розрахована система автоматичного керування електроприводу візка мостового підйомного крану. На базі цих розрахунків створена модель електропривода у пакеті Matlab/Simulink, з якої зняті характеристики перехідних процесів. Описано поведінку моменту, швидкості та магнітного потоку асинхронного двигуна при відпрацюванні заданої тахограми руху.

У розділі економіки шляхом розрахунків встановлена доцільність обраного технічного рішення по заміні старого електропривода переміщення крану на нове, більш відповідне сучасним стандартам регульованого електропривода. Річна економія від модернізації запропонованого устаткування складає 47081,8 гривень, розрахунковий коефіцієнт ефективності складає 0,37 і розрахунковий термін окупності капітальних вкладень складає 2,6 років.

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

Перелік джерел посилань

1. Колб А.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. - Д., Національний технічний університет, 2006. -511с.
2. Конспект лекцій з дисципліни “Основи електропривода” освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». [Електронний ресурс] / Садовой О.В.– Дніпро:Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2021. – 158 с
3. Перетворювачі частоти Altivar. Інструкція користувача.
- 4.Конспект лекцій з дисципліни “Оптимізація електромеханічних систем” (частина 2) освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». [Електронний ресурс] / Садовой О.В.– Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2021. – 158 с
5. Монтаж, експлуатація та ремонт підйомно-транспортних машин. Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090214/ Укл.: О.В.Ухов, О.Б.Конюх. – Одеса: Наука і техніка, 2014. – 92 с.
6. <https://ua.bizorg.su/%20inventory-r%20/p4059510-chastotnyy-preobrazovately-atv71hu40n4z-4-0-kvt>
7. <https://xn--80aqy.com.ua/poleznoe/podklychenie-%20elektroprivodov>
8. <https://xn--80aqy.com.ua/reduktory/reduktor-ts2-%20350/>
9. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів напряму підготовки 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач: Л.В. Тимошенко - Дніпро: НТУ «ДП», 2020. - 18 с.
10. Казачковський М.М. Методичні рекомендації до передатестаційної практики та підготовки кваліфікаційної роботи магістрів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / М.М. Казачковський, О.А. Яланський, О.С. Бешта, Р.О. Боровик, С.С. Худолій, О.В. Балахонцев, В.А. Бородай, Колб А.А. Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2021. – 28 с.
11. Перель Л.Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник - М.: Машиностроение, 1998,543с,ил.
- 12.Бесекерский В.А.,Попов Е.И. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский , Е.П. Попов.Изд. 4-е,перераб и доп.,Изд-во “Профессия”,2003, 752 с. (Серия:специалист)

