

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

Гуцалюка Олега Вікторовича

(ПІБ)

академічної групи

141М-21-4

(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 механізму переміщення 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.			
Синтез САР	Садовой О.В.			
Дослідження динаміки приводу	Садовой О.В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.			
Рецензент	Папаїка Ю.А.			
Нормоконтролер	Садовой О.В.			

Дніпро
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

електропривода

(повна назва)

Худолій С.С.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2022 року

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

студенту Гуцалюку Олегу Вікторовичу академічної групи 141М-21-4
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Електропривод механізму переміщення 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	10.10.2022
Автоматизований електропривод	Розрахунок тахограми та навантажень, вибір електроприводів та перетворювачів частоти	30.10.2022
Синтез САР	Розрахунок параметрів САР, аналіз схеми системи автоматичного регулювання	10.11.2022
Дослідження динаміки приводу	Проведення моделювання, виведення та опис перехідних процесів асинхронного привода	22.11.2022
Техніко-економічне обґрунтування	Розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат, визначення та аналіз показників економічної ефективності, висновки	03.12.2022

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

Садовой О.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2022

Дата подання до екзаменаційної комісії 09.12.2022

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Гуцалюк О.В.

(прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка містить: 66 сторінок, 13 рисунків, 9 таблиць, 9 посилань.

Об'єкт детальної розробки: механізм переміщення мостового підйомного крана.

Мета роботи: розробка системи електроприводів механізму переміщення мостового крана та системи автоматичного регулювання для їх синхронізації та контролю.

В першому розділі роботи розглянуто загальні відомості про вантажопідйомні машини, проаналізовано вимоги до електрообладнання та умови роботи, в яких функціонують такі механізми.

В другому розділі розраховано і побудовано тахограму механізму переміщення, розраховані динамічні та статичні навантаження для правильного вибору електроприводів та перетворювачів частоти.

В третьому розділі було проведено синтез системи автоматичного керування приводом, розраховано параметри системи регулювання.

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

Розділ техніко-економічного обґрунтування присвячений розрахунку капітальних та експлуатаційних витрат запропонованого науково-технічного рішення, доведено економічну ефективність від впровадження рішення.

Ключові терміни

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

Abstract

Explanatory note contains: 66 pages, 13 figures, 9 tables, 9 literature sources.

Object of detailed development: the mechanism of movement of the bridge crane.

Purpose of work: to develop the system of electric drives of the mechanism of movement of the bridge crane and automatic control system for their synchronization and control.

In the first section of the work, general information about crane machines is considered, the requirements for electrical equipment and the working conditions in which such mechanisms operate are analyzed.

In the second section, the tachogram of the movement mechanism is calculated and constructed, dynamic and static loads are calculated for the correct selection of electric drives and frequency converters.

In the third section, the synthesis of the automatic control system of the drive was carried out, mathematical models were calculated.

In the fourth section, the dynamics of the electric drive was investigated, the resulting diagram of transients was analyzed and explanations were given.

The section of the economic efficiency and feasibility is devoted to the calculation of capital and operating costs of the proposed scientific and technical solution, the economic efficiency of the solution is proved.

Key terms

BRIDGE CRANE, ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE, FREQUENCY CONVERTER, VECTOR CONTROL, AUTOMATIC CONTROL

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 Технологічна частина	8
1.1 Коротка технічна характеристика мостового крана	8
1.2 Умови роботи і вимоги, які пред'являються до електроприводу мостового крана.....	10
1.3 Сучасні кранові електроприводи, обґрунтування і вибір.....	12
1.4 Протирозгойдування вантажу	16
1.5 Електрообладнання мостових кранів	18
2 Автоматизований електропривод.....	22
2.1 Розрахунок тахограми і спрощеної навантажувальної діаграми.....	22
2.1.1 Розрахунок тахограми привода.....	23
2.1.2 Розрахунок статичних навантажень на валу двигуна.....	23
2.1.3 Розрахунок потужності і вибір двигуна	26
2.1.4 Побудова тахограми	28
2.1.5 Розрахунок динамічних навантажень приводу	28
2.1.6 Розрахунок навантажувальної діаграми приводу	34
2.1.7 Перевірка двигуна по перевантажувальній здатності	36
2.1.8 Перевірка двигуна по нагріванню.....	37
2.1.9 Вибір перетворювача частоти	37
2.1.10 Схема підключення	41
3 Синтез системи автоматичного керування	42
3.1 Вибір системи керування	42
3.2 Застосування модифікованого принципу симетрії при синтезі.....	47
4 Дослідження динаміки приводу	49
5 Техніко-економічне обґрунтування	53
5.1 Розрахунок капітальних витрат.....	54
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	56
5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	56

5.2.2	Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт	57
5.2.3	Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	59
5.3	Розрахунок річної економії від впровадження науково-технічного рішення	60
5.4	Визначення та аналіз показників економічної ефективності.....	61
	Висновки	65
	Перелік посилань.....	66

ВСТУП

Актуальність роботи полягає в розробці системи електроприводів та системи автоматичного регулювання механізму переміщення для поширеного виду підйомних машин. Підхід, що полягає у застосуванні асинхронного електроприводу і перетворювачів частоти дозволяє досягнути покращених результатів технологічних процесів в експлуатації мостового крана, аспект синхронізації приводних коліс має позитивний вплив на довготривалу і безаварійну експлуатацію обладнання.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи електроприводів механізму переміщення мостового крана та системи автоматичного регулювання для їх синхронізації та контролю.

Завданнями роботи були: аналіз технологічних процесів стосовно експлуатації мостових кранів, розрахунок та вибір асинхронного електропривода та перетворювачів частоти, синтез системи керування, дослідження динаміки електроприводу та техніко-економічне обґрунтування запропонованого рішення.

Запропоноване рішення має позитивні економічний та технологічний впливи на сектор виробництва та модернізації кранового обладнання.

1 Технологічна частина

1.1 Коротка технічна характеристика мостового крана

Крани – вантажопідйомні пристрої циклічної дії, задача яких полягає в переміщенні вантажів в вертикальній і горизонтальній площинах. Поділяються крани за особливостями конструкцій, пов'язаних з призначенням та умовами роботи на мостові, порталні, козлові, баштові та ін. Найбільш поширеними в цехах підприємств та на виробництвах стали мостові крани. З їх допомогою відбувається підйом, переміщення і опускання різних заготовок, важких деталей, вузлів машин. Звісно, крім підйому і опускання мостовий кран здійснює і їх переміщення вздовж і поперек цеху. Вид мостового крану залежить від специфіки вимог і технологій, що використовуються на виробництві, але в більшості випадків вузли механізмів пересування і підйому виконуються однотипними.

На кожному електричному крані встановлюються електродвигуни, гальмові електромагніти, пускові і регулювальні опори, контролери, а також захисна, пускорегулююча, сигнальна, блокувальна і освітлювальна апаратура. Для підвищення безпеки експлуатації встановлюють кінцеві вимикачі та струмозйомники. Живлення електрообладнання крану відбувається або з допомогою тролейних провідників, нерухомо закріплених на будівельних конструкціях, або за допомогою гнучкого шлангового кабелю. Також електрообладнання і електропроводку кранів використовують в такому виконанні, що відповідає вимогам безпеки з врахуванням впливу навколишнього середовища.

Для захоплення вантажів на кранах використовуються різні пристрої: гайки, грейфери, кліщі або ж навіть магніти. Але найбільш популярними рішеннями для кріплення та підйому вантажів стали гакові підвіски і підйомні електромагніти [1].

Особливістю мостового крану є те, що він рухається по кранових ходових коліях, які закріплюються в верхній частині приміщення, тому він не займає корисної площі і досить зручний.

Електродвигун більшості вантажопідійомних машин характеризується повторно-короткочасним режимом роботи з великою кількістю вмикань і вимикань, повинен мати широкий діапазон регулювання швидкості обертання та функціонувати в умовах значних перевантажень під час розгону та гальмування. Для таких умов роботи було створено спеціальну серію електричних двигунів кранового виконання.

Конструкція мостових кранів складається з несучих елементів, що безпосередньо спираються на крановий шлях, і моста з візками, що переміщаються по закріплених рейках (рисунок 1.1).

На мосту крана також встановлений механізм пересування крана. Все керування крановим обладнанням здійснюється з кабіни, що кріпиться до мосту крана. В більшості випадків електроживлення подається з допомогою гнучкого кабелю та розподіляється між елементами керування та електроприводами. Ходові колеса обертаються з допомогою приводів, вони пов'язані між собою редуктором і трансмісійним валом.

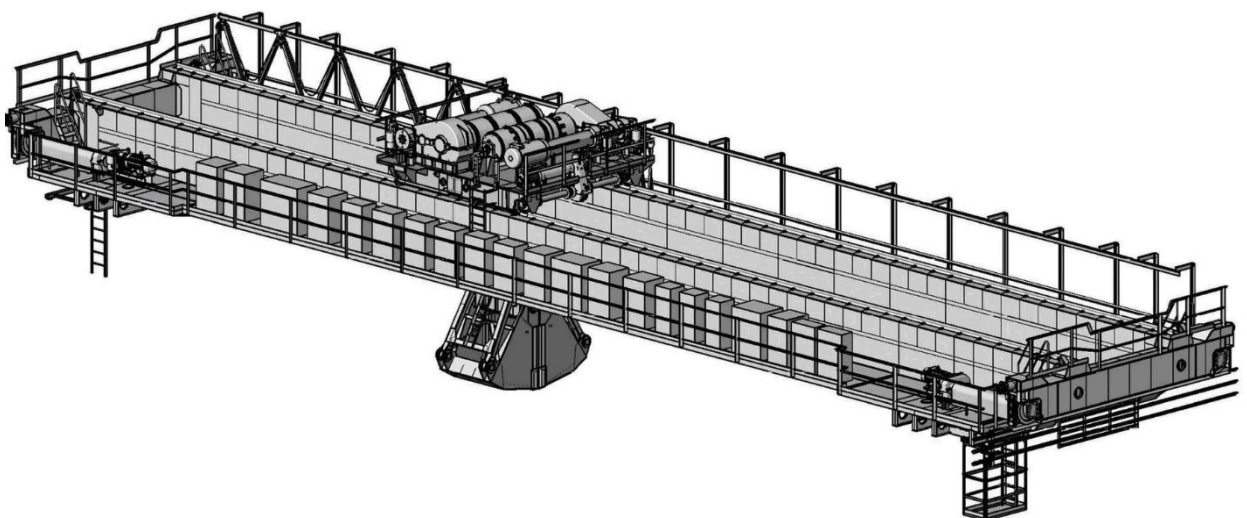


Рисунок 1.1 - Загальний вигляд мостового крана

Вантажопідійомний кран зазвичай має для робочого руху в трьох площинах окремі механізми та вузли: механізм підйому – опускання, механізми поперечного та поздовжнього руху крану.

Через різні умови використання крани виготовляють з різними можливими ступенями завантаження, часом роботи, передбачають різні інтенсивності операцій, ступені відповідальності. Також вони можуть бути виготовлені з урахуванням різних кліматичних факторів експлуатації.

Кінематична схема обладнання поздовжнього пересування крана представлена на рисунку 1.2. Візок має приводні ходові колеса 1, на валу яких 2 розташований редуктор 3, електродвигун 5 і гальмо 4 [2].

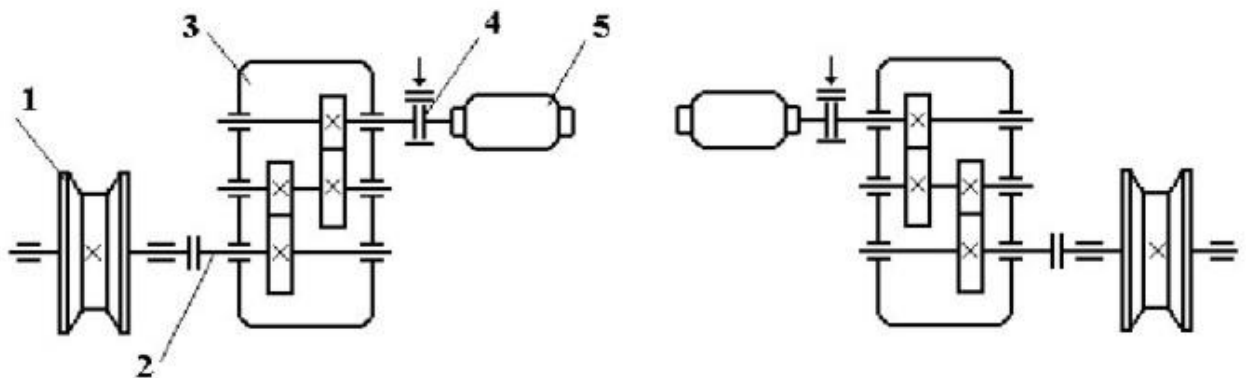


Рисунок 1.2 - Кінематична схема механізму пересування мостового крана

1.2 Умови роботи і вимоги, які пред'являються до електроприводу мостового крана

Через наявність підвищеної небезпеки при транспортуванні піднятих вантажів, при проектуванні та експлуатації кранового обладнання необхідно дотримуватися правил з улаштування й експлуатації підйомно-транспортних

машин. Наприклад, передбачено встановлення спеціальних обмежувачів ходу, які впливають на схему управління електрообладнання крану, встановлюються кінцеві вимикачі, які обмежують хід вантажозахоплювального обладнання, а також кінцеві вимикачі поздовжнього та поперечного ходу, що задають граничні положення механізмів крану в обидві сторони. Також у випадках, де використовується кілька мостових кранів, що переміщуються по одних коліях, встановлюються додаткові кінцеві вимикачі, що унеможливають наїзд одного крану на інший, адже це несе небезпеку і для персоналу, і для обладнання. Обов'язковою умовою є також встановлення гальм закритого типу для кранового обладнання, які діють при знятті напруги.

Також передбачені різні робочі напруги на кранових установках. Допускається застосування робочої напруги до 500 В. В схемі керування передбачається та застосовується захист, що відключає двигун при перевантаженні і короткому замиканні. Використовується нульовий захист, що унеможливорює самозапуск двигунів при подачі напруги після перерви в електропостачанні. Ще із захисного обладнання встановлюються блокувальні контакти на люку і дверях кабіни, що знімають напругу при відкритті дверей або люка. Це забезпечує безпечне обслуговування електрообладнання персоналом.

Основні вимоги, яким має відповідати кранове обладнання для забезпечення якісного і безпечного функціонування:

- можливість регулювання швидкості обертання валу двигуна в широких межах. Це пов'язано з тим, що важкі вантажі необхідно переміщати з меншою швидкістю, а порожній гак або легкий вантаж доцільніше буде переміщати з високою швидкістю. Можливість використання пониженої швидкості також необхідна при точному позиціонуванні вантажа або точної зупинки, що дасть змогу убезпечити вантаж від ударів;

- необхідна жорсткість механічної характеристики приводу, щоб низькі швидкості майже не залежали від маси вантажу;
- реверсування електропривода з забезпеченням можливості його роботи в гальмівному і двигуновому режимах роботи;
- обмеження можливих прискорень до меж, які будуть допустимими з мінімальною тривалістю перехідних процесів. Ці вимоги пов'язані з необхідністю ослаблення ударів при виборі зазору редуктора, запобігання пробуксовки ходових коліс, зменшенням розгойдування закріпленого вантажу при розгоні та гальмуванні механізмів. А мінімальна тривалість перехідних процесів матиме вплив на забезпечення підвищеної продуктивності крана.

1.3 Сучасні кранові електроприводи, обґрунтування і вибір

Основне призначення електроприводу крана - регулювання швидкості механізмів підйому і пересування в деякому діапазоні. В першу чергу, тип електроприводу залежить від фізичних принципів регулювання швидкості конкретних видів двигунів.

На практиці найчастіше застосовуються такі двигуни:

- електродвигуни постійного струму;
- асинхронні електродвигуни з фазним ротором;
- асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором.

У таблиці 1.1 наведені переваги і недоліки електродвигунів, що використовуються на кранах [3].

Таблиця 1.1 - Порівняння двигунів, що використовуються на кранах

Двигун	Переваги	Недоліки
Двигуни постійного струму	<ul style="list-style-type: none"> - простота будови і принципів керування; - практично лінійні механічні та регульовальні характеристики; - значний пусковий момент. 	<ul style="list-style-type: none"> - висока вартість виготовлення; - знос і необхідність профілактичного обслуговування колекторно-щіткових вузлів; - необхідність встановлювання в цеху випрямлячів трифазної напруги.
Асинхронні двигуни з фазним ротором	<ul style="list-style-type: none"> - значний початковий крутний момент; - приблизно постійна швидкість при різних перевантаженнях; - менший пусковий струм порівняно з електродвигунами з короткозамкненим ротором. 	<ul style="list-style-type: none"> - великі габарити; - висока вартість виготовлення; - знос і необхідність профілактичного обслуговування колекторно-щіткових вузлів.
Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором	<ul style="list-style-type: none"> - відносна дешевизна; - відсутність колекторно-щіткових вузлів; - легкість конструкції і простота її виготовлення; - високий ККД і $\cos \varphi$ порівняно з двигунами з фазним ротором. 	<ul style="list-style-type: none"> - значний пусковий струм (до 5-7 I_n); - складне технічне обладнання для регулювання швидкості обертання.

Двигуни постійного струму набули широкого поширення на важких металургійних виробництвах, в т.ч. на ливарних кранах. В теперішній час нові крани з двигунами постійного струму практично не виготовляються.

Асинхронні електродвигуни з фазним ротором отримали найбільшого поширення на кранах за радянських часів і популярні в наші дні. Двигуни даного типу застосовуються як для реконструкції, так і для нових вантажопідіймальних кранів.

Існує безліч різновидів систем керування для двигунів з фазним ротором. Зміна швидкості і моменту таких двигунів досягається шляхом включення в коло ротора додаткових електричних пристроїв. Залежно від вимог до діапазону регулювання швидкості можуть застосовуватися:

- реостатні системи;
- дросельні системи без регулювання швидкості;
- дросельні системи з тиристорними регуляторами.

Як комутаційне обладнання в колах статора і ротора можуть застосовуватися:

- силові контактори, пускачі, реверсори (і інші механічні пристрої комутації);
- тиристори (тиристорні ключі);
- IGBT-транзистори;
- гібридні системи.

На сьогоднішній день така система керування морально застаріла і на тлі сучасних мікропроцесорних систем керування мостовими кранами зарубіжних виробників з частотним регулюванням відрізняється підвищеним енергоспоживанням. Явним недоліком такої системи є таке явище, як «надлишковий динамічний момент», який виникає в момент пуску електродвигуна. Це явище породжує ударні навантаження, призводить до передчасного зносу елементів, появі люфтів в трансмісії приводів, зниження точності позиціонування, підвищеної стомлюваності операторів і, як наслідок, погіршення якості виконуваних вантажопідйомним механізмом робіт.

Поточні та капітальні ремонти дадуть ефект лише на кілька місяців, а далі знову «розбиті» елементи трансмісії. Це явище обумовлено специфікою підбору першого ступеня резисторів. У релейно-контакторних системах

керування із ступінчастим регулюванням швидкості «надлишкового динамічного моменту» ніяк не уникнути – це технологічна особливість такого приводу, вона полягає в тому, що перша пускова щабель резисторів підбирається таким чином, щоб пусковий момент асинхронного двигуна з фазним ротором дорівнював критичному моменту для стійкості від «перекидання». Тобто при пуску двигун практично миттєво розвиває максимально-можливий момент, що породжує ударні навантаження, іменовані «динамічним моментом». При проектуванні і виготовленні вантажопідйомного обладнання потужність електродвигунів в 2-3 рази перевищувала фактичні вимоги механізму.

Асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором мало застосовувалися на кранах за радянських часів в силу технологічної складності регулювання швидкості. Використання обмежувалося легкими тельферними підйомниками, кран-балками та іншими одно-, двошвидкісними тихохідними механізмами. В інших випадках замінити двигуни постійного струму або двигуни з фазним ротором в той час вони не могли. Ситуація змінилась лише з широким розповсюдженням і здешевленням перетворювачів частоти.

Починаючи з 2000 року на нових кранах стали все частіше застосовуватися системи на базі перетворювачів частоти. Перетворювачі частоти дозволяють плавно змінювати величину напруги і частоти на клеммах двигуна, завдяки чому стає можливим керувати швидкістю обертання двигуна, зберігаючи номінальний момент у всьому діапазоні регулювання.

Використання асинхронного двигуна на базі перетворювача частоти забезпечить:

- абсолютний контроль і безударне регулювання швидкості, прискорення і моменту при будь-якій масі вантажу (в межах допустимої);
- плавний розгін і гальмування всіх механізмів крана з заданим прискоренням, що забезпечує плавне наростання моментів і зусиль у всіх вузлах і механізмах крана;

- регулювання швидкості АД за допомогою перетворювачів частоти дає економію електроенергії до 20%, електроприводи працюють з $\cos\phi$, близьким до 1;

- програмований логічний контролер, використаний в системі кранового електроприводу, і має зв'язок через мережу з ПЧ, дозволяє вирішити завдання діагностики, статистичного збору та обробки всіх сигналів і навантажень;

- гальмівні колодки не вимагають частої заміни, а гальма – постійного регулювання, оскільки кероване гальмування здійснює ПЧ, а гальма служать лише для утримання після повної зупинки механізму;

- обмеження моментів як статичних, так і динамічних;

- усунення перекосів і розгойдування вантажів;

- захист електродвигунів (максимально-струмовий, часо-струмовий, тепловий та ін.);

- поліпшення умов роботи оператора крана за рахунок застосування сучасної апаратури керування;

- скорочення кількості релейно-контакторної апаратури дозволяє підвищити надійність роботи електрообладнання та зменшити трудовитрати на профілактичне обслуговування;

- зменшення динамічних навантажень на механізми крана і збільшення термінів служби обладнання.

1.4 Протирозгойдування вантажу

Кожен рух крана з підвішеним вантажем призводить до його коливань, тому оператор крана повинен постійно коригувати свої дії з урахуванням цього розгойдування. Досвідчений і уважний оператор може досить швидко зменшити коливання вантажу шляхом прийняття відповідних контрзаходів. Якщо ж оператор не володіє великим досвідом керування краном або оператор втратив увагу через втому, то навіть найпростіші операції можуть призвести

до величезної втрати часу або до виникнення ризиків колізій або аварійних ситуацій.

Системи зменшення коливань вантажу (системи протирозгойдування), знімають з оператора завдання щодо зменшення розгойдування вантажу, як наслідок він може зосередитися на керуванні, сконцентруватися на підйомі вантажу, його переміщенні, позиціонуванні і опусканні в потрібну точку.

Системи протирозгойдування служать для зменшення коливань вантажу, викликаних прискореннями механізмів в процесі експлуатації крана. Заспокоєння досягається за рахунок точного впливу на процеси розгону і гальмування. Такі системи можуть застосовуватися як в складі систем керування для нових кранів, так і в якості доповнення до вже існуючих систем керування. Зменшення коливань дозволяє знизити ризик виникнення колізій і аварійних ситуацій в поєднанні з одночасною швидкістю і точністю позиціонування вантажу. Система протирозгойдування дозволяє зменшити коливання при переміщенні моста і візка крана одночасно.

Існує два основних види електронних систем протирозгойдування: системи з прямим зворотним зв'язком, що мають в своєму складі камеру і рефлектор (відбивач), які забезпечують отримання оперативної достовірної інформації про відхилення вантажу, і системи, що працюють на основі математичної моделі, яка описує коливання вантажу при русі механізмів крана, тобто кут відхилення вантажу в тій чи іншій площині обчислюється виходячи з фізичних і математичних законів.

У системах зі зворотним зв'язком камера з високою роздільною здатністю використовується для вимірювання відхилення гака або іншого типу вантажозахоплювального органа від своєї осі. Для того, щоб зробити це можливим, на вантажозахватний механізм встановлюється спеціальний відбивач. В найпростішому випадку відбивач є площиною квадратної форми з розташованими на ній в шаховому порядку двома білими квадратами. Даний тип рефлектора називається пасивним. У разі, коли на нього можуть впливати надмірне освітлення або тіні, які впливають на точність системи вимірювання,

рекомендується використовувати активний рефлектор, забезпечений LED-матрицею, а також обігрівом, що сприяє таненню снігу, якщо кран використовується на відкритому повітрі. Найкращим же виходом в разі використання системи «камера-рефлектор» є застосування інфрачервоного рефлектора і оснащення камери інфрачервоним фільтром. Точність коливань становить 5 мм на відстані від камери до рефлектора 10 м, точність визначення відстані між камерою і рефлектором становить 1%. Такі системи здатні також виключати коливання вантажу при наявності сильного бічного вітру.

Який би вид системи протирозгойдування вантажу не був встановлений на крані, її застосування веде до зниження часу виконання операцій, підвищення точності позиціонування вантажу, зменшенню стомлюваності операторів під час роботи, а також знижує ризик виникнення аварійних ситуацій.

1.5 Електрообладнання мостових кранів

На промислових підприємствах є необхідність використання пристроїв, які служать для підйому і переміщення важких вантажів, утримуваних вантажозахватним пристроєм по вертикалі і горизонталі - електричні підйомні крани. Це машини циклічної дії. Несуча конструкція крана складається з кабіни машиніста, механізму пересування і віка, з розташованою на ньому підйомної лебідкою.

Залежно від різних умов використання мостові крани виготовляються з різними параметрами, такими як: вантажопідйомність, швидкість підйому гака, режим роботи, висота підйому вантажозахоплювального пристрою. Залежно від виконуваної роботи використовують грейферні перевантажувачі, магнітно-грейферні крани на шихтових дворах.

Ливарні крани відносяться до групи спеціальних мостових кранів, застосовуваних для технологічного процесу в сталеплавильних цехах металургійних заводів. У цю групу входять розливні, заливальні і міксерні

крани, що відрізняються вантажопідйомністю і майже не відрізняються по конструкції. Ливарні крани відрізняються від кранів загального призначення наявністю двох візків, один з яких - головний, що несе траверсу з двома пластинчастими гаками.

Міст підйомного крана вантажопідйомністю 450 + 90/16 тонн утворений двома прогоновими балками коробчастого перетину, з'єднаними по торцях кінцевими балками аналогічного перетину. Балки виготовляються зварними. На прогонових балках пересувається вантажний візок. Ці балки посилені з зовнішньої сторони по верхньому і нижньому поясах. На нижніх горизонтальних фермах зроблений настил, на якому встановлені механізми пересування моста, на верхніх - тролі та панелі управління і ящики з опорами. Канати головної візки проходять між балками. До однієї з балок підвішена і укріплена підкосом гратчаста шахта з майданчиками, на якій розміщено електричне обладнання і кабіна кранівника з установкою для кондиціонування повітря.

Механізм пересування моста складається з ходових коліс, попарно об'єднаних в балансирних візках. Ходові колеса встановлені на підшипниках кочення і прикріплені до балансиру кутовими буксами. Балка моста спирається шарнірно на головні балансири, які аналогічно спираються на балансирні візки. Чотири крайніх ходових колеса є приводними і попарно обертаються від двох роздільних механізмів. Кожен механізм пересування має два електродвигуни, з'єднані швидкохідним трансмісійним валом. Друга сторона кожного електродвигуна з'єднана з редуктором, а вихідний вал останнього з'єднаний з валом ходового колеса. Усе з'єднання виконано за допомогою зубчастих муфт. На торцях балок є пружинні буферні пристрої для обмеження руху.

Також окрему увагу звертають на підтримку заданих швидкості, прискорення і уповільнення незалежно від швидкості зміни команд командоконтролера. Допустимими прискореннями моста і візка крану при переміщенні вантажу вважають 0,1-0,2 м/с².

У приводах кранів використовують електродвигуни кранової та металургійної серій з теплостійкою ізоляцією. Апаратура монтується в щільно закритих шафах з конструкцією, що забезпечує необхідний захист від чинників навколишнього середовища. Електрообладнання кранів повинно мати надійний захист від аварійних режимів.

Основні параметри механізму пересування крану:

1. Прогін крана. Прогін крана залежить від розташування колій підкранових шляхів та розмірів приміщення, в якому встановлено кран. З метою збереження жорсткості і надійності конструкції, із збільшенням розмірів прогону крану необхідно робити прогонові балки з більшим перетином. Внаслідок цього збільшується маса конструкції і її вартість. Зазвичай, прогін мостових кранів не більше сорока метрів, але в деяких ситуаціях можливе використання багатопрогонових кранів, де візки крану переміщуються по кількох балках із збереженням надійності конструкції. Більше того, такий кран може бути обладнаним кількома кабінами із можливістю керування з будь-якої з них.

2. Розташування кінцевих балок відносно колії. За цим параметром можна відрізнити підвісні та опорні крани. Опорні крани рухаються в класичному розумінні на підкранових коліях. На їх візках встановлені колеса з ребордами, які спираються на головку рейки. А візки підвісних кранів розташовані вище поверхні прогонових балок і переміщуються нижніми полицями балок. Така конструкція менш міцна, ніж конструкція опорних кранів, тому підвісні крани виготовляються менш вантажопідіймними і керуються з пульта.

3. Кількість прогонових балок. Зазвичай, мостові крани з високою вантажопідіймністю в конструкції мають дві прогонові балки, а крани з параметрами вантажопідіймності 5 і менше тонн обладнані одною прогоновою балкою. Обидва варіанти конструкції крану мають свої недоліки і переваги, одним з недоліків можна вважати складність переміщення обслуговуючого персоналу конструкцією однопрогонового крану. А

двопрогонні крани у виготовленні вимагають використання більшої кількості матеріалів та мають більшу масу.

4. Спосіб і місце керування краном. За цим параметром крани можна поділити на ті, що керуються з підлоги з допомогою тельферного пульта, обладнані кнопками і ті, що мають в конструкції спеціальну кабіну машиніста крану. Такі крани обладнані посадочним майданчиком для машиніста та додатковими засобами безпеки персоналу.

5. Швидкість руху робочих приводів. За цим параметром можна робити висновки про максимальну продуктивну потужність крану. Тобто, від цього залежить як швидко можна буде виконати підйом, переміщення на потрібну відстань і опускання вантажу.

Номінальна вантажопідйомність моста позначає найбільшу масу вантажу, на підйом якого він розрахований. У величину вантажопідйомності включається вага вантажу і вага вантажозахоплювального пристрою, яким оснащується міст.

Розглянутий мостовий кран знаходиться в цеху підприємства з виготовлення малотоннажних партій металопродукції, де окрім металорізальних верстатів розташовані індукційні нагрівальні печі, плазморізальні машини, верстати дугового наплавлення прокатних валків та прокатні стани гарячого прокатування металу.

Підйомний кран, розташований під дахом цеху, працює в умовах дії високої температури, диму, агресивних газів, пилу, що необхідно враховувати в процесі вибору електрообладнання.

2 Автоматизований електропривод

2.1 Розрахунок тахограми і спрощеної навантажувальної діаграми

Механізм пересування нормального мостового крана працює в наступних режимах: пересування з вантажем Q_1 на відстань L_1 зі швидкістю v_1 , гальмування, стоянка t_{01} секунд, рух в тому ж напрямку без вантажу зі швидкістю v_2 на відстань L_2 , гальмування, стоянка t_{02} секунди, рух з вантажем Q_2 в зворотному напрямку на відстань L_3 з номінальною швидкістю, гальмування, стоянка t_{03} секунди, після чого цикл повторюється.

Для розрахунку тахограми і навантажувальної діаграми необхідно привести вихідні дані, задані в частках до абсолютних одиниць:

$$Q_1/Q_H = 1,0 \text{ відповідно } Q_1 = 1,0 \cdot Q_H = 1,0 \cdot 10 \cdot 10^3 = 10 \cdot 10^3 \text{ кг};$$

$$Q_2/Q_H = 0,6 \text{ відповідно } Q_2 = 0,6 \cdot Q_H = 0,6 \cdot 10 \cdot 10^3 = 6 \cdot 10^3 \text{ кг};$$

$$L_1/L_H = 1,2 \text{ відповідно } L_1 = 1,2 \cdot L_H = 1,2 \cdot 11 = 13,2 \text{ м};$$

$$L_2/L_H = 4 \text{ відповідно } L_2 = 4 \cdot L_H = 4 \cdot 11 = 44 \text{ м};$$

$$L_3/L_H = 1,2 \text{ відповідно } L_3 = 1,2 \cdot L_H = 1,2 \cdot 11 = 13,2 \text{ м};$$

$$v_1/v_H = 0,9 \text{ відповідно } v_1 = 0,9 \cdot v_H = 0,9 \cdot 0,667 = 0,6 \text{ м/с};$$

$$v_2/v_H = 0,9 \text{ відповідно } v_2 = 0,9 \cdot v_H = 0,9 \cdot 0,667 = 0,6 \text{ м/с};$$

$$t_{01}/t_H = 12 \text{ відповідно } t_{01} = 12 \cdot t_H = 12 \cdot 6 = 72 \text{ с};$$

$$t_{02}/t_H = 8 \text{ відповідно } t_{02} = 8 \cdot t_H = 8 \cdot 6 = 48 \text{ с};$$

$$t_{03}/t_H = 4,2 \text{ відповідно } t_{03} = 4,2 \cdot t_H = 4,2 \cdot 6 = 25,2 \text{ с}.$$

2.1.1 Розрахунок тахограми привода

Швидкість обертання валу двигуна можна знайти, виходячи з лінійної швидкості переміщення механізму і радіусу приведення, використовуючи такий вираз:

$$\omega_d = \frac{v_M}{\rho} \quad (2.1)$$

Швидкість обертання вала двигуна на першій ділянці тахограми:

$$\omega_1 = \frac{v_1}{\rho} = \frac{0,6}{7,32 \times 10^{-3}} = 82 \text{ рад/с}, \quad (2.2)$$

де $v_1 = 0,6$ м/с - швидкість механізму на першій ділянці задана завданням;

$\rho = 7,32 \cdot 10^{-3}$ м - радіус приведення.

Швидкість обертання вала двигуна на другій ділянці тахограми:

$$\omega_2 = \frac{v_2}{\rho} = \frac{0,6}{7,32 \times 10^{-3}} = 82 \text{ рад/с}, \quad (2.3)$$

де $v_2 = 0,6$ м/с - швидкість механізму на другій ділянці, задана завданням;

Швидкість обертання вала двигуна на третій ділянці тахограми:

$$\omega_3 = \frac{v_3}{\rho} = \frac{0,667}{7,32 \times 10^{-3}} = 91,12 \text{ рад/с}, \quad (2.4)$$

де $v_3 = 0,667$ м/с - швидкість механізму на третій ділянці, задана завданням.

2.1.2 Розрахунок статичних навантажень на валу двигуна

При розрахунку статичних моментів на валу двигуна слід врахувати, що привод переміщення мостового крана включає в себе два двигуна, які ділять навантаження між собою порівну, тому в розрахункові формули статичного

моменту додано коефіцієнт 1/2, який буде враховувати розподіл навантаження між двигунами.

Статичний момент на валу двигуна визначається виразом:

$$M = \frac{k \times (Q + Q_k) \times (\mu r + f) g \times 1}{i \eta} \times \frac{1}{2} \text{ Нм}, \quad (2.5)$$

де $k = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує тертя реборд об рейки для крана;

Q , кг - маса вантажу, що переміщується;

$Q_k = 17500$, кг - маса крана;

$\mu = 0,12$ - коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках;

$f = 5 \cdot 10^{-4}$ - коефіцієнт тертя кочення ходових коліс;

$\rho = 7,32 \cdot 10^{-3}$ - радіус приведення;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння;

η - ККД механізму крана.

$$r = \frac{D_0}{2} = \frac{0,0955}{2} = 0,048 \text{ м} - \text{радіус віси колеса} \quad (2.6)$$

$$i = \frac{R}{\rho} = \frac{0,2}{7,32 \times 10^{-3}} = 27,322 - \text{передавальне число механізму} \quad (2.7)$$

$$R = \frac{D_k}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ м} - \text{радіус колеса} \quad (2.8)$$

Використовуючи цей вираз розрахуємо статичні моменти на валу двигуна для кожної з ділянок роботи:

Перша ділянка:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{k(Q_1 + Q_k)(\mu r + f)g}{i\eta_H} \times \frac{1}{2} = \\
 &= \frac{1,0(10 \times 10^3 + 17500)(0,12 \times 0,048 + 5 \times 10^{-4})}{27,322 \times 0,75} \times \quad (2.9) \\
 &\quad \times \frac{1}{2} = 40,77 \text{ Нм},
 \end{aligned}$$

де $Q_1 = 10 \cdot 10^3$ кг - маса вантажу, що переміщується, на першій ділянці;

$\eta_H = 0,75$ - номінальний ККД механізму.

Друга ділянка:

$$\begin{aligned}
 M_2 &= \frac{k(Q_k)(\mu r + f)g}{i\eta_{xx}} \times \frac{1}{2} = \\
 &= \frac{1,0 \times 17500(0,12 \times 0,048 + 5 \times 10^{-4}) \times 9,8}{27,322 \times 0,68} = \quad (2.10) \\
 &= 28,62 \text{ Нм},
 \end{aligned}$$

де $\eta_{xx} = 0,68$ - ККД холостого ходу механізму.

Третя ділянка:

$$\begin{aligned}
 M_3 &= \frac{k(Q_2 + Q_k)(\mu r + f)g}{i\eta_H} \times \frac{1}{2} = \\
 &= \frac{1,0 \times (6 \times 10^3 + 17500)(0,12 \times 0,048 + 5 \times 10^{-4}) \times 9,8}{27,322 \times 0,75} = \quad (2.11) \\
 &= 34,84 \text{ Нм},
 \end{aligned}$$

де $Q_2 = 6 \cdot 10^3$ кг - маса вантажу, що переміщується, на третій ділянці.

2.1.3 Розрахунок потужності і вибір двигуна

Визначимо потужність двигуна, виходячи з необхідної швидкості і статичного моменту на валу двигуна. Розрахунок проведемо для кожної з ділянок роботи:

$$P_1 = M_1 \omega_1 = 40,77 \times 82 = 3,343 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (2.12)$$

$$P_2 = M_2 \omega_2 = 28,615 \times 82 = 2,347 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (2.13)$$

$$P_3 = M_3 \omega_3 = 34,84 \times 91,12 = 3,175 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (2.14)$$

Виходячи з отриманих даних, необхідно вибрати асинхронний двигун потужністю не менше 3343 Вт і синхронною частотою обертання 1000 об/хв. Попередньо з каталогу вибираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором АІР 112 МВ6 з паспортними даними, що вказані в таблиці 2.1 [8].

Таблиця 2.1 – Паспортні дані обраного привода

Опис	Значення	Одиниця виміру	Параметр
Номінальна потужність	4	кВт	P
Частота обертання синхронна	1000	об/хв	v
Частота обертання номінальна	960	об/хв	v _н
Напруга живлення	220/380	В	V
Номінальна сила струму	9,75	А	I _с
Співвідношення максимального моменту до номінального	2,1	-	M _{max} /M _н
Співвідношення пускового і номінального струмів	6,5	-	I _{max} /I _н

Момент інерції ротора	0,0425	кгм ²	J _д
ККД	0,82	-	η
Коефіцієнт потужності	0,76	-	cosφ
Маса	59	кг	m



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд AIP 112 MB6

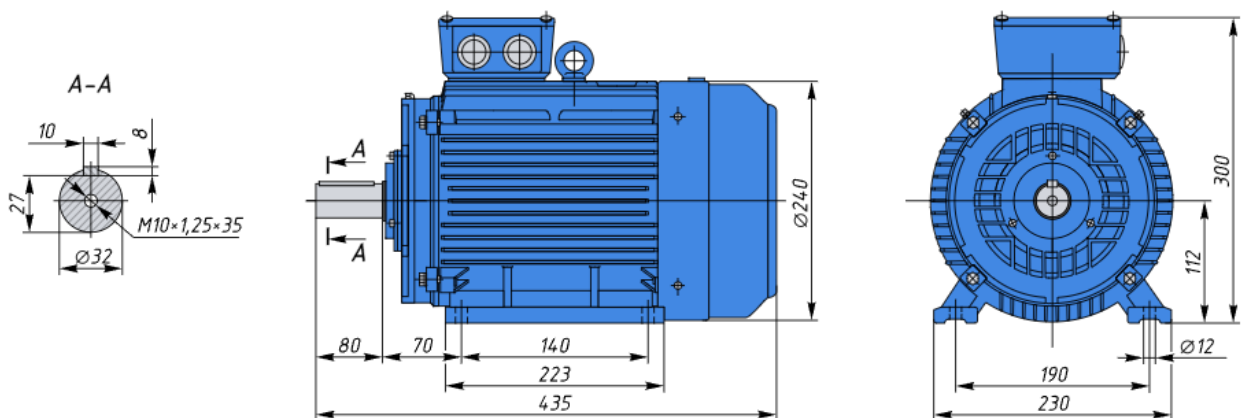


Рисунок 2.2 – Габаритні розміри AIP 112 MB6

2.1.4 Побудова тахограми

Для побудови тахограми складемо часову шкалу циклу роботи привода. Опис і розрахунок зведені в таблицю 2.2.

Використовуючи дані таблиці 2.2 і значень розрахованих в п. 2.1.1 побудуємо спрощену тахограму привода. Вид тахограми показаний на рисунку 2.3.

2.1.5 Розрахунок динамічних навантажень привода

Для розрахунку динамічних навантажень на привід розрахуємо приведені момент інерції механізму на кожній ділянці роботи привода:

Перша ділянка:

$$J_{к1} = (Q_1 + Q_K)\rho^2 = (10 \times 10^3 + 1,75 \times 10^4) \times (7,32 \times 10^{-3})^2 = 1,474 \text{ кгм}^2, \text{ де} \quad (2.15)$$

$Q_1 = 10 \cdot 10^3$ кг - маса вантажу, що перевозиться на першій ділянці;

$Q_K = 1,75 \cdot 10^4$ кг - власна маса крана;

$\rho = 7,32 \cdot 10^{-3}$ - радіус приведення механізму крана.

Друга ділянка:

$$J_{к2} = Q_K\rho^2 = (1,75 \times 10^4) \times (7,32 \times 10^{-3})^2 = 0,938 \text{ кгм}^2 \quad (2.16)$$

Третя ділянка:

$$J_{к3} = (Q_2 + Q_K)\rho^2 = (6 \times 10^3 + 1,75 \times 10^4) \times (7,32 \times 10^{-3})^2 = 1,259 \text{ кгм}^2, \text{ де} \quad (2.17)$$

$Q_2 = 6 \cdot 10^3$ кг - маса вантажу, що перевозиться на третій ділянці.

Таблиця 2.2 - Часова шкала робочого циклу

Ділянка	Початок		Закінчення		Тривалість	
	Розрахункова формула	Значення, с	Розрахункова формула	Значення, с	Розрахункова формула	Значення, с
Розгін на першій ділянці	$t_0 = 0$	0	$t_1 = t_0 + t_{\pi}$	6	–	6
Робота на першій ділянці	–	6	$t_2 = t_1 + \Delta t_1$	27,989	$\Delta t_1 = \frac{L_1}{v_1}$	21,989
Гальмування на першій ділянці	–	27,989	$t_3 = t_2 + t_{\pi}$	33,989	–	6
Стоянка	–	33,989	$t_4 = t_3 + t_{01}$	105,989	–	72
Розгін на другій ділянці	–	105,989	$t_5 = t_4 + t_{\pi}$	111,989	–	6
Робота на другій ділянці	–	111,989	$t_6 = t_5 + \Delta t_2$	185,286	$\Delta t_2 = \frac{L_2}{v_2}$	73,297
Гальмування на другій ділянці	–	185,286	$t_7 = t_6 + t_{\pi}$	191,286	–	6
Стоянка	–	191,286	$t_8 = t_7 + t_{02}$	239,286	–	48
Розгін на третій ділянці	–	239,286	$t_9 = t_8 + t_{\pi}$	245,286	–	6

Продовження табл. 2.2

Робота на третій ділянці	–	245,286	$t_{10} = t_9 + \Delta t_3$	265,076	$\Delta t_3 = \frac{L_3}{v_H}$	19,79
Гальмування третій ділянці	–	265,076	$t_{11} = t_{10} + t_{\Pi}$	271,076	–	6
Стоянка	–	271,076	$t_{12} = t_{11} + t_{03}$	296,276	–	25,2

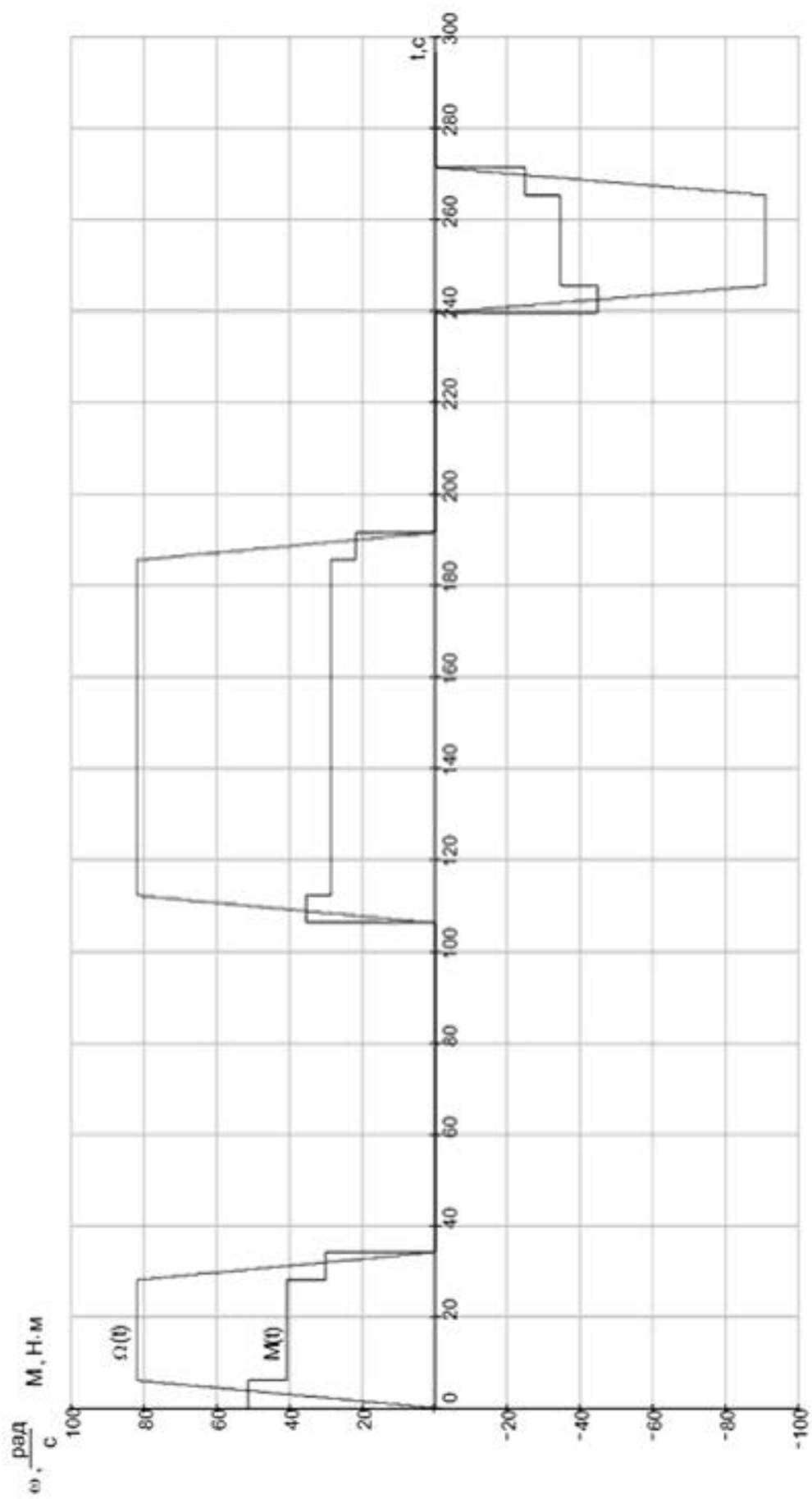


Рисунок 2.3 – Навантажувальна діаграма і тахограма приводу

Знаючи моменти інерції механізму на кожній ділянці і момент інерції двигуна, розрахуємо динамічні навантаження на привод на кожній ділянці.

Перша ділянка:

$$M_{д1} = (J_{д} + J_{к1}) \frac{\omega_1}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 1,474) \frac{82}{105,989} \times \frac{1}{2} = 0,587 \text{ Нм} \quad (2.18)$$

Розгін на першій ділянці:

$$M_{д1} = (J_{д} + J_{к1}) \frac{\omega_1}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 1,474) \frac{82}{6} \times \frac{1}{2} = 10,36 \text{ Нм} \quad (2.19)$$

Робота на першій ділянці:

$$M_{д1} = (J_{д} + J_{к1}) \frac{\omega_1}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 1,474) \frac{82}{21,989} \times \frac{1}{2} = 2,83 \text{ Нм}, \quad (2.20)$$

Гальмування на першій ділянці:

$$M_{д1} = (J_{д} + J_{к1}) \frac{\omega_1}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 1,474) \frac{82}{6} \times \frac{1}{2} = 10,36 \text{ Нм}, \quad (2.21)$$

де $J_{д} = 0,0425 \text{ кгм}^2$ - момент інерції вала двигуна;

$1/2$ - коефіцієнт що враховує одночасну роботу двох двигунів.

Друга ділянка:

$$M_{д2} = (J_{д} + J_{к2}) \frac{\omega_2}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 0,938) \frac{82}{133,297} \times \frac{1}{2} = 0,302 \text{ Нм} \quad (2.22)$$

Розгін на другій ділянці:

$$M_{д2} = (J_{д} + J_{к2}) \frac{\omega_2}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 0,938) \frac{82}{6} \times \frac{1}{2} = 6,70 \text{ Нм} \quad (2.23)$$

Робота на другій ділянці:

$$M_{д2} = (J_{д} + J_{к2}) \frac{\omega_2}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 0,938) \frac{82}{73,297} \times \frac{1}{2} = 0,55 \text{ Нм} \quad (2.24)$$

Гальмування на другій ділянці:

$$M_{д2} = (J_{д} + J_{к2}) \frac{\omega_2}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 0,938) \frac{82}{6} \times \frac{1}{2} = 6,70 \text{ Нм} \quad (2.25)$$

Третя ділянка:

$$M_{дз} = (J_{д} + J_{кз}) \frac{\omega_3}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 1,259) \frac{91,12}{56,99} \times \frac{1}{2} = 1,04 \text{ Нм} \quad (2.26)$$

Розгін на третій ділянці:

$$M_{дз} = (J_{д} + J_{кз}) \frac{\omega_3}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 1,259) \frac{91,12}{6} \times \frac{1}{2} = 9,88 \text{ Нм} \quad (2.27)$$

Робота на третій ділянці:

$$M_{дз} = (J_{д} + J_{кз}) \frac{\omega_3}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 1,259) \frac{91,12}{19,79} \times \frac{1}{2} = 3,00 \text{ Нм} \quad (2.28)$$

Гальмування третій ділянці:

$$M_{дз} = (J_{д} + J_{кз}) \frac{\omega_3}{t_{п}} \times \frac{1}{2} = (0,0425 + 1,259) \frac{91,12}{6} \times \frac{1}{2} = 9,88 \text{ Нм} \quad (2.29)$$

2.1.6 Розрахунок навантажувальної діаграми приводу

Розрахунок сумарних моментів навантаження на валу двигуна зведений в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Розрахунок сумарного навантаження на валу двигуна

Ділянка	Статичний момент, Нм	Динамічний момент, Нм	Сумарний момент, Нм
Розгін на першій ділянці	40,77	10,36	51,13
Робота на першій ділянці	40,77	2,83	43,60
Гальмування на першій ділянці	40,77	10,36	30,41
Стоянка	0	0	0
Розгін на другій ділянці	28,62	6,70	35,32
Робота на другій ділянці	28,62	0,55	29,17
Гальмування на другій ділянці	28,62	6,70	21,92
Стоянка	0	0	0
Розгін на третій ділянці	34,84	9,88	44,72
Робота на третій ділянці	34,84	3,00	37,84
Гальмування на третій ділянці	34,84	9,88	24,96
Стоянка	0	0	0

Використовуючи дані таблиці 2.2 і таблиці 2.3 побудуємо навантажувальну діаграму приводу (рисунок 2.4). Вигляд навантажувальної діаграми показаний на рисунку 2.3.

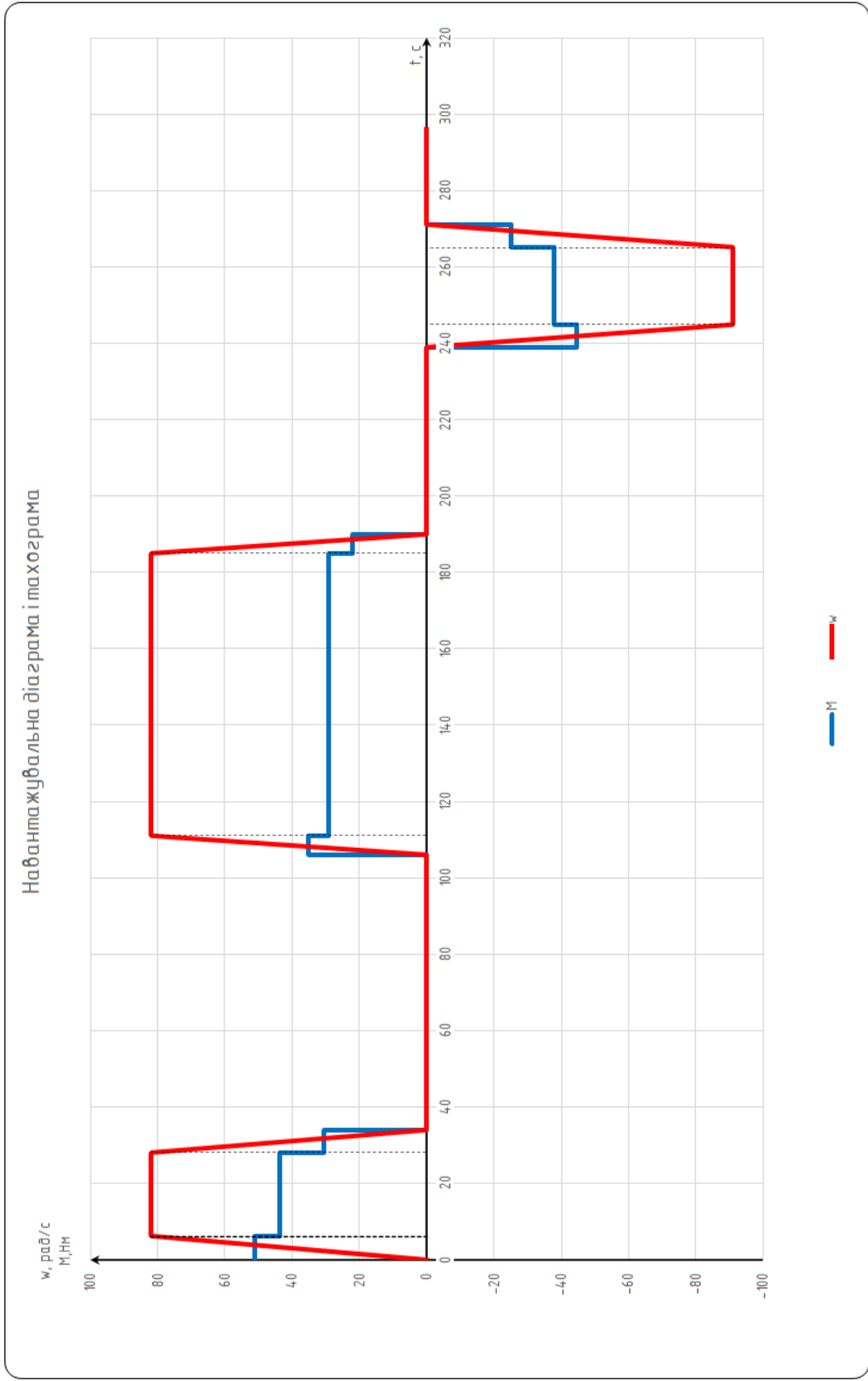


Рисунок 2.4 – Розрахована навантажувальна діаграма і тахограма приводу

2.1.7 Перевірка двигуна по перевантажувальній здатності

Для перевірки двигуна по перевантажувальній здатності розрахуємо номінальний момент двигуна:

$$M_n = 9570 \times \frac{P_d}{n_n} = 9570 \times \frac{4}{1000} = 38,28 \text{ Нм}, \quad (2.30)$$

де $P_d = 4$ кВт - номінальна потужність двигуна;

$n_n = 1000$ об/хв - номінальна частота обертання вала двигуна.

Знаючи кратність моментів, розрахуємо максимальний момент, який може забезпечити двигун:

$$M_m = 2,1 \times M_n = 80,4 \text{ Нм} \quad (2.31)$$

Аналізуючи дані таблиці два видно що максимальний сумарний момент становить 51,22 Нм (розгін на першій ділянці), що менше максимального моменту двигуна, отже двигун зможе працювати на всіх ділянках навантажувальної діаграми.

2.1.8 Перевірка двигуна по нагріванню

Для перевірки двигуна по нагріванню розрахуємо еквівалентний момент двигуна:

$$M_e = \sqrt{\frac{(M_{д1} + M_1)^2 \times t_{п} + M_1^2 \times \Delta t_1 + (M_1 - M_{д1})^2 \times t_{п} + (M_2 + M_{д2})^2 \times t_{п} + M_2^2 \times \Delta t_2 + (M_2 - M_{д2})^2 \times t_{п} + (-M_3 + (-M_{д3}))^2 \times t_{п} + (-M_3)^2 \times \Delta t_3 + (-M_3 - (-M_{д3}))^2 \times t_{п}}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \beta \times (t_{01} + t_{02} + t_{03}) + \alpha(6t_{п})}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(0,587 + 40,77)^2 \times 6 + 40,77^2 \times 21,989 + (40,77 - 0,587)^2 \times 6 + (28,615 + 0,302)^2 \times 6 + 28,615^2 \times 73,297 + (28,615 - 0,302)^2 \times 6 + (-34,84 + (-1,04))^2 \times 6 + (-34,84)^2 \times 19,79 + (-34,84 - (-1,04))^2 \times 6}{21,989 + 73,297 + 19,79 + 0,5 \times (72 + 48 + 25,2) + 0,75 \times 6 \times 6}} =$$

$$= 27,719 \text{ Нм},$$

де $\beta = 0,5$ - коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження двигуна під час стоянки;

$\alpha = 0,75$ - коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження двигуна під час розгону і гальмування.

Оскільки еквівалентний момент двигуна (27,719 Нм) менше номінального моменту (47,85 Нм), двигун не перевантажений.

2.1.9 Вибір перетворювача частоти

Як відомо з тахограми та характеристик технологічного процесу, необхідно забезпечити можливість плавного початку переміщення крану з вантажем, синхронно утримувати необхідну швидкість переміщення обох візків та можливість плавної зупинки. Для цього запропоновано

використовувати перетворювач частоти. Крім керування швидкістю обертання валу привода, використання ПЧ дає наступні переваги:

- економія електроенергії;
- високий ККД;
- збільшення експлуатаційного терміну;
- простота керування;
- функція Старт/Стоп;
- керування із використанням датчиків швидкості обертів і без.

Перетворювач частоти містить наступні складові: випрямляч, фільтр, процесор та інвертор. Завданнями випрямляча і фільтру є отримати постійну напругу з мінімумом пульсацій, процесор забезпечує управління, приймає і обробляє сигнали, отримані з датчиків, зберігає дані. Інвертор, власне, плавно змінює частоту і на виході ми отримуємо синусоїдальну форму напруги.

Для правильного вибору перетворювача необхідно дотриматися наступних умов:

- паспортна потужність ПЧ (кВт) повинна бути більшою або рівною паспортній потужності двигуна;
- повна пускова потужність повинна бути співвідносна з номінальною потужністю ПЧ;
- номінальний струм ПЧ повинен бути не меншим за фактичний тривалий струм.

$$S_{\text{пуск АД}} = \frac{kn}{9550\eta \cos \varphi} (M_{\text{ном}} + M_{\text{дин}}) \text{ кВА, де} \quad (2.33)$$

k – коефіцієнт спотворення струму 0,95...1,05;

n – необхідна частота обертання валу двигуна, об/хв;

η – ККД двигуна;

$\cos(\varphi)$ – коефіцієнт потужності двигуна;

$M_{\text{ном}}$ – номінальний момент двигуна, Нм;

$M_{\text{дин}}$ – динамічний момент на валу двигуна при пуску, Нм.

Таким чином,

$$S_{\text{пуск АД}} = \frac{870}{9550 \times 0,82 \times 0,76} (38,28 + 10,36) = 7,11 \text{ кВА}$$
$$S_{\text{ном ПЧ}} \geq \frac{S_{\text{пуск АД}}}{1,5} \quad (2.34)$$

$$S_{\text{ном ПЧ}} \geq 4,74 \text{ кВА}$$

Отже, отримано мінімальну необхідну повну потужність перетворювача. Далі проведено перевірку умови неперевищення фактичного тривалого струму, що споживається двигуном номінального струму ПЧ та перевірку за максимальним струмом ПЧ при розгоні двигуна.

$$I_{\text{ном ПЧ}} \geq \frac{knM_{\text{ном}}}{9,55\sqrt{3}\eta \cos \varphi U_{\text{ном}}}, \text{ А}$$
$$I_{\text{ном ПЧ}} \geq \frac{870 \times 38,28}{9,55\sqrt{3} \times 0,82 \times 0,76 \times 380}, \text{ А} \quad (2.35)$$
$$I_{\text{ном ПЧ}} \geq 8,66 \text{ А}$$

$$I_{\text{мах ПЧ}} \geq \frac{kn}{9,55\sqrt{3}\eta \cos \varphi U_{\text{ном}}} (M_{\text{ном}} + M_{\text{дин}}), \text{ А}$$
$$I_{\text{мах ПЧ}} \geq \frac{870 \times 48,64}{9,55\sqrt{3} \times 0,82 \times 0,76 \times 380}, \text{ А} \quad (2.36)$$
$$I_{\text{мах ПЧ}} \geq 11 \text{ А}$$

Таким чином, після отримання необхідних даних для вірного вибору перетворювача частоти, обрано наступний перетворювач частоти фірми-виробника Schneider: ATV650U55N4E [7]. В таблиці 2.4 надано його основні технічні характеристики, а на рис. 2.5 зображено його зовнішній вигляд.



Рисунок 2.5 – Обраний ПЧ ATV650U55N4E

Таблиця 2.4 – Характеристики ATV650U55N4E

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Номінальна напруга	380...480	В
Потужність двигуна	4-5,5	кВт
Максимальний струм в сталому режимі	12,7	А
Повна потужність	6	кВА
Максимальний струм перехідного режиму	14	А
Ступінь захисту за ІР	55	-
Номінальна частота комутації	4	кГц

Кількість аналогових входів/виходів	3/2	-
Кількість дискретних входів	8	-
Кількість релейних виходів	3	-

2.1.10 Схема підключення

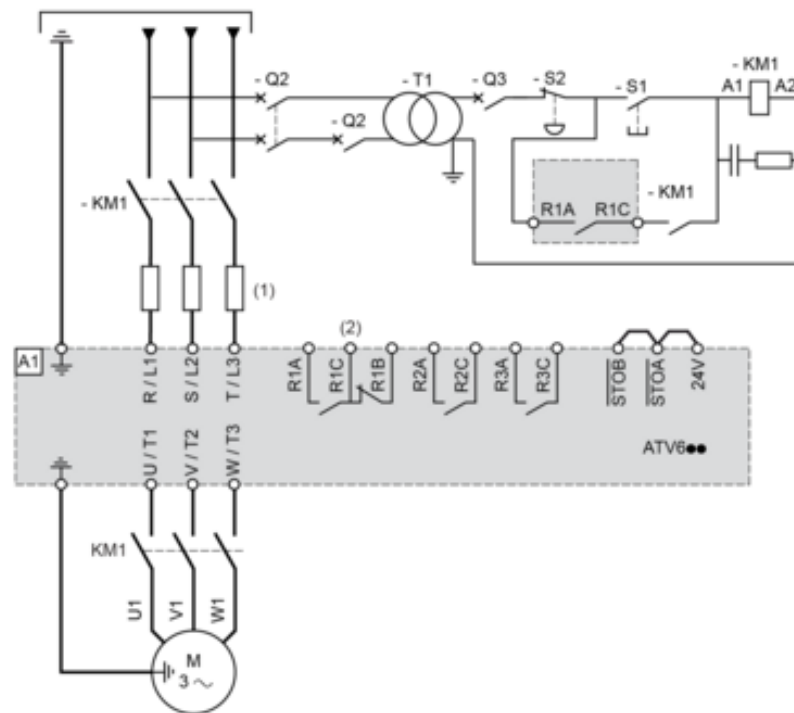


Рисунок 2.6 – Загальна схема підключення ПЧ

Пояснення до схеми підключення [4]:

- (1) Запобіжники;
- (2) Реле R1, що спинить привод у випадку статусу «Помилка»;
- A1 : ПЧ;
- KM1 : Контактор;
- Q2, Q3 : Роз'єднувач;
- S1, S2 : Кнопки керування: S1 «Старт», S2 «Стоп»;
- T1 : Трансформатор мережі керування.

Таблиця 3.1 - Параметри схеми заміщення в номінальному режимі роботи

Параметри схеми заміщення в номінальному режимі роботи		
Параметр	Фізичні величини	Значення
X_m	45,00	Індуктивний опір контуру намагнічування
R_1	1,73	Активний опір обмотки статора
X_1	1,64	Індуктивний опір розсіювання обмотки статора
R_2	1,40	Активний опір обмотки ротора
X_2	2,48	Індуктивний опір розсіювання обмотки ротора, приведений до обмотки статора

Базовий опір:

$$Z_6 = \frac{U_H}{I_H \sqrt{3}} = \frac{380}{9,75 \sqrt{3}} = 22,5 \text{ Ом} \quad (3.1)$$

Індуктивність розсіювання обмотки статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{\omega_0} = \frac{1,64}{104,7} = 0,016 \text{ Гн} \quad (3.2)$$

Індуктивність розсіювання обмотки ротора:

$$L_{2\sigma} = \frac{X_2}{\omega_0} = \frac{2,48}{104,7} = 0,023 \text{ Гн} \quad (3.3)$$

Максимальна взаємоіндукція між обмотками статора і ротора:

$$L_m = \frac{X_\mu}{\omega_0} = \frac{44,00}{104,7} = 0,43 \text{ Гн} \quad (3.4)$$

Повна індуктивність обмотки статора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,016 + 0,43 = 0,446 \text{ Гн} \quad (3.5)$$

Повна індуктивність обмотки ротора:

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_m = 0,023 + 0,43 = 0,453 \text{ Гн} \quad (3.6)$$

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора:

$$k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0,43}{0,453} = 0,949 \quad (3.7)$$

Еквівалентна індуктивність розсіювання двигуна:

$$L'_1 = L_{1\sigma} + k_2 \times L_{2\sigma} = 0,016 + 0,949 \times 0,023 = 0,038 \text{ Гн} \quad (3.8)$$

Еквівалентний активний опір двигуна:

$$R'_1 = R_1 + k_2^2 \times R_2 = 1,73 + 0,949^2 \times 1,40 = 2,99 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

Еквівалентна електромагнітна постійна часу обмотки статора:

$$T'_1 = \frac{L'_1}{R'_1} = \frac{0,038}{2,99} = 0,013 \text{ с} \quad (3.10)$$

Еквівалентна електромагнітна постійна часу обмотки ротора:

$$T_2 = \frac{L_1}{R_1} = \frac{0,446}{1,73} = 0,26 \text{ с} \quad (3.11)$$

Номінальне потокозчеплення:

$$\psi_H = \frac{I_{1H}}{1,5\sqrt{2} \times I_{1H} \times 2p \times k_2} = \frac{9,75}{1,5\sqrt{2} \times 9,75 \times 6 \times 0,949} = 0,068 \text{ Вб} \quad (3.12)$$

Максимальна напруга в системі керування:

$$U_{max} = 10 \text{ В.}$$

Коефіцієнт передачі датчика струму:

$$k_t = \frac{U_{max}}{2\sqrt{2} \times I_{1H}} = \frac{10}{2\sqrt{2} \times 9,75} = 0,36 \quad (3.13)$$

Коефіцієнт передачі датчика швидкості:

$$k_c = \frac{U_{max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{104,7} = 0,096 \quad (3.14)$$

Коефіцієнт передачі датчика потокозчеплення:

$$k_\psi = \frac{U_{max}}{\psi_H} = \frac{10}{0,068} = 147 \quad (3.15)$$

Коефіцієнт передачі силового перетворювача:

$$k_{\Pi} = \frac{\sqrt{2}U_{н.ф.}}{U_{max}} = \frac{\sqrt{2} \times 220}{10} = 31,113 \quad (3.16)$$

Постійна часу силового перетворювача:

$$T_{\mu} = 0,0005 \text{ с.}$$

Передатна функція регулятора швидкості (РС):

$$W_{РС}(p) = \frac{Jk_t k_{\psi}(8T_{\mu}p + 1)}{48T_{\mu}^2 k_c k_2 p_{\Pi}} \quad (3.17)$$

Тоді пропорційна частина РШ:

$$W_{РШ\Pi}(p) = \frac{Jk_t k_{\psi}}{6T_{\mu} k_c k_2 p_{\Pi}} = \frac{0,051 \times 0,36 \times 147}{6 \times 0,0005 \times 0,096 \times 0,949 \times 1} = 9875 \quad (3.18)$$

якщо:

$$J = J_{дв} \times 1,2 = 0,051 \quad (3.19)$$

А інтегральна частина РС:

$$\begin{aligned} W_{РШ\text{И}}(p) &= \frac{Jk_t k_{\psi}}{48T_{\mu}^2 k_c k_2 p_{\Pi}} = \frac{0,051 \times 0,36 \times 147}{48 \times 0,0005^2 \times 0,096 \times 0,949 \times 1} \\ &= 2468717 \end{aligned} \quad (3.20)$$

Передаточна функція регулятора потокозчеплення:

$$W_{Р\psi}(p) = \frac{k_t(T_2 p + 1)}{4T_{\mu} k_{\psi} L_m p} \quad (3.21)$$

Пропорційна частина регулятора потокозчеплення:

$$W_{Р\psi\Pi}(p) = \frac{k_t T_2}{4T_{\mu} k_{\psi} L_m} = \frac{0,36 \times 0,26}{4 \times 0,0005 \times 147 \times 0,43} = 0,74 \quad (3.22)$$

Інтегральна частина регулятора потокозчеплення:

$$W_{Р\psi\text{И}}(p) = \frac{k_t(T_2 p + 1)}{4T_{\mu} k_{\psi} L_m} = \frac{0,454}{4 \times 0,0005 \times 147 \times 0,43} = 3,59 \quad (3.23)$$

Розрахункові параметри САР використовуються для програмування перетворювача частоти.

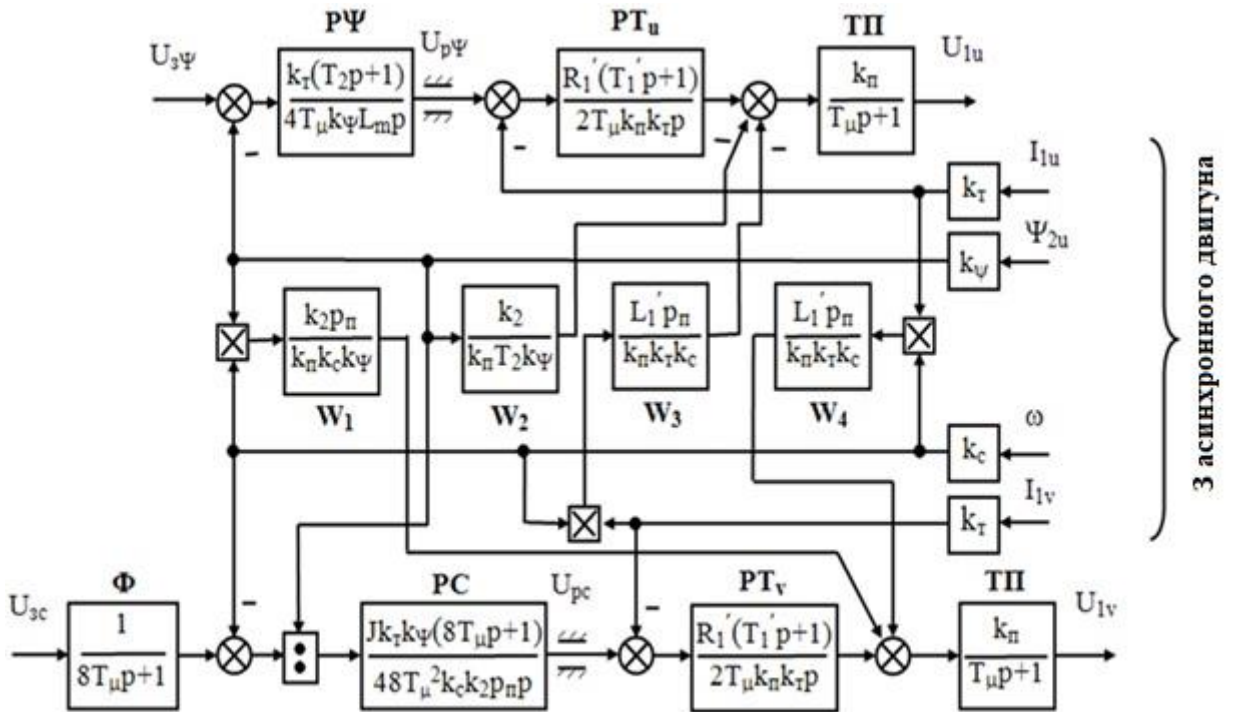


Рисунок 3.2 – Структурна схема САР електроприводу з векторним керуванням

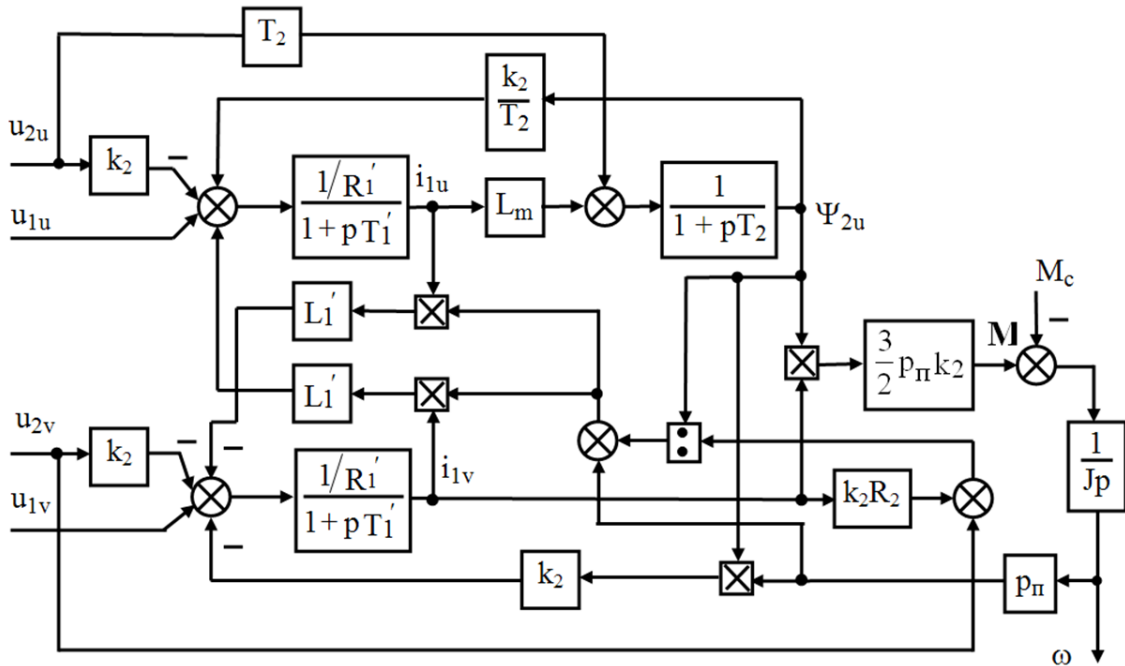


Рисунок 3.3 – Структурна схема асинхронного двигуна

3.2 Застосування модифікованого принципу симетрії при синтезі

В даній кваліфікаційній роботі приділено увагу питанню синхронізації приводних коліс візків механізму переміщення мостового крану. Актуальність і важливість цього завдання полягає в тому, що від того, наскільки синхронно обертаються колеса візків залежить термін безаварійного функціонування самого крану. Розсинхронізація коліс може призводити до створення небажаних і шкідливих сил, спрямованих на деформацію конструкції крану, швидкого зносу коліс і самих ходових колій.

Таким чином, для вирішення завдання синхронізації було прийнято одне колесо таким, що через жорсткий механічний зв'язок відпрацьовує заданий кут повороту валу асинхронного приводу, а друге колесо відтворює заданий першим колесом кут повороту. Тобто, створена пара ведучого і веденого коліс,

а основною функцією регулювання буде фіксація, обробка та передача необхідного сигналу для реалізації такого способу синхронізації.

Був використаний метод, що заснований на застосуванні модифікованого принципу симетрії, згідно з яким задача синтезу векторної системи керування асинхронним приводом вирішується шляхом визначення рівнянь регуляторів, що задовольняють заданим функціоналам якості.

4 Дослідження динаміки приводу

Після виконання необхідних розрахунків, створення математичної моделі електроприводу і визначення параметрів математичної системи автоматичного регулювання, проводиться синтез структурної схеми в пакеті Simulink. На рис. 4.1 зображено типову функціональну схему системи векторного полеорієнтованого керування.

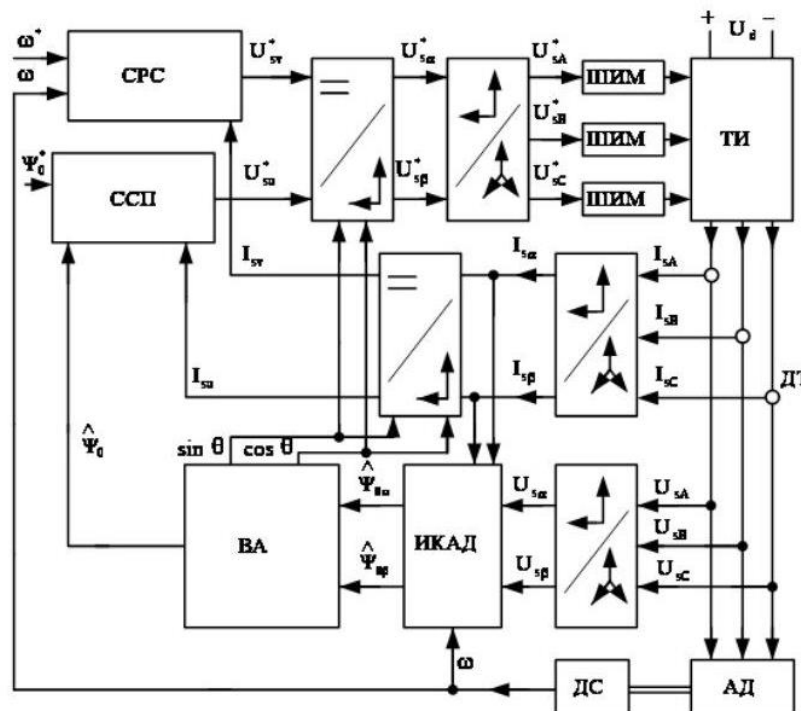


Рисунок 4.1 – Типова функціональна схема лінійної СВПК

Типова функціональна схема системи векторного полеорієнтованого керування складається з наступних складових [6]:

- СРС – система регулювання швидкості;
- ССП – система стабілізації потокозчеплення;
- ВА – векторний аналізатор;
- ИКАД – ідентифікатор координат асинхронного двигуна;
- ДС – датчик швидкості;
- ТИ – транзисторний інвертор.

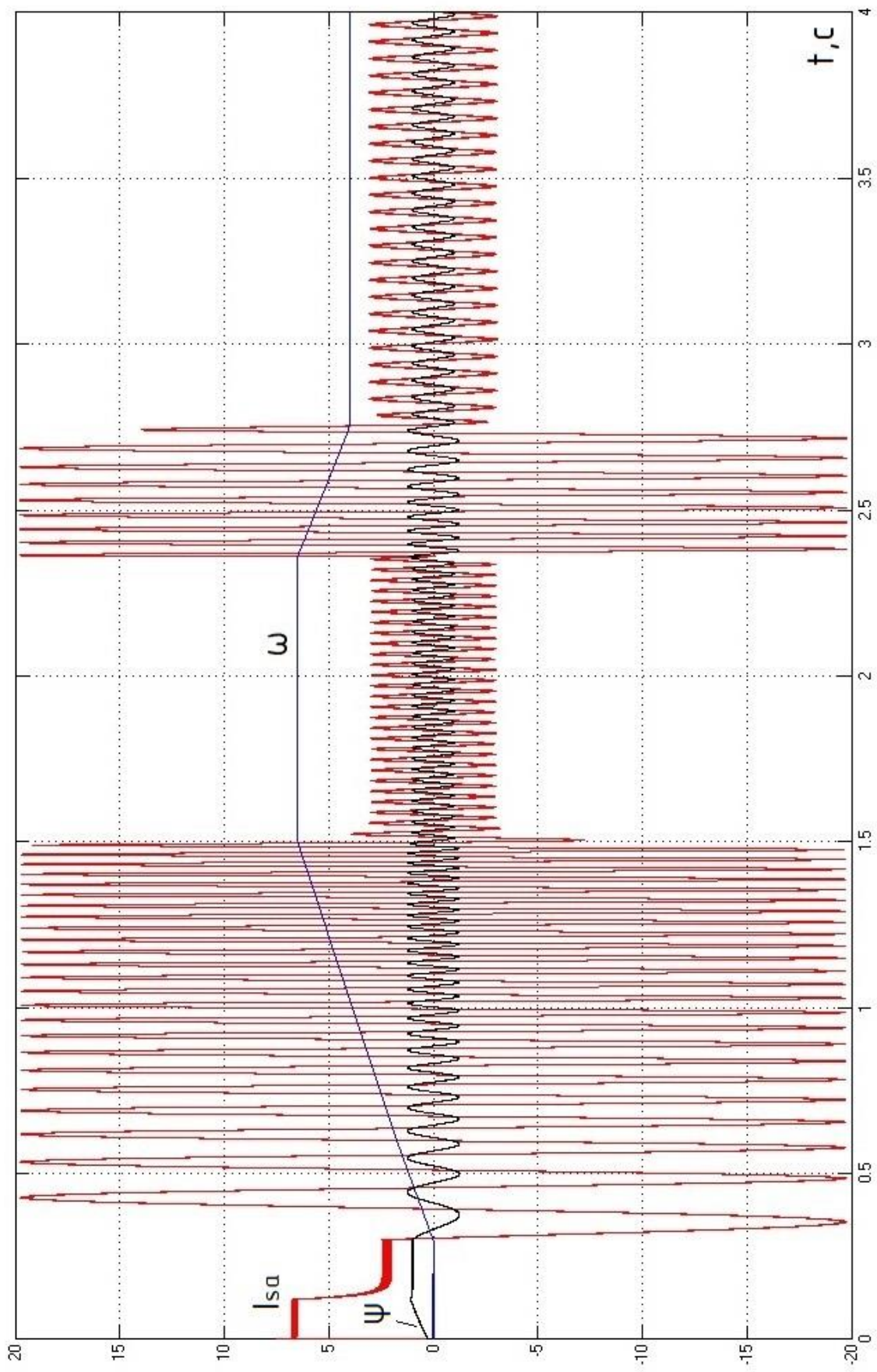


Рисунок 4.2 – Перехідні процеси в номінальному режимі

На рис. 4.2 зображено часову діаграму перехідних процесів. Якщо діаграму умовно поділити на етап пуску привода, етап набору встановленої швидкості обертання, етап роботи з сталою швидкістю обертання, етап зменшення швидкості обертання, етап роботи на сталій зменшеній швидкості обертання, то можна описати процеси, що відбуваються, наступним чином.

1. Пуск привода. При пуску можна прослідкувати різкий скачок струму статора фази А, ріст значення потокозчеплення ротору і мале зростання значення встановленої необхідної швидкості обертання. Під кінець етапу значення струму падає до значення струму збудження, яке достатнє для стабілізації вектору потокозчеплення, а значення потокозчеплення досягає свого заданого значення.
2. набір швидкості обертання. На цьому етапі подається завдання на регулятор швидкості, що визначає завдання на набір швидкості обертання. При цьому, під час збільшення значення струму починається процес створення синусоїдального струму статора і синусоїдальної форми значення потокозчеплення ротора. Під час зростання швидкості обертання від нуля до заданого рівня, спочатку максимуму досягає струм, а потім максимуму досягає потокозчеплення, тобто струм випереджає потокозчеплення, що відповідає двигуновому режиму роботи привода, а регулятор струму обмежує амплітуду значень струму.
3. Обертання валу привода із заданою швидкістю обертання. Коли привод досягає заданої швидкості, струм фази зменшується, але продовжує випереджати потокозчеплення задля подолання моменту опору.
4. Перехід на меншу швидкість обертання. Коли подається завдання на перехід на зменшену швидкість обертання, то для забезпечення зменшення швидкості обертання необхідно прикласти гальмівний момент. Гальмівний момент прикладається, знову прослідковується зростання струму, але потокозчеплення в даному режимі випереджає

струм, тобто відбувається гальмування. Як видно на діаграмі, темп наростання швидкості при розгоні менший, ніж темп гальмування.

5. Робота на пониженій швидкості обертання. На цьому етапі швидкість зменшується до нового встановленого рівню, де забезпечується робота на пониженій сталій швидкості, де привод працює в двигуновому режимі.

Таким чином, згідно з отриманою діаграмою можна описати виробничий процес таким чином, що оператор крану за необхідністю не точного переміщення моста крану спочатку може рухатися спочатку з більшою швидкістю, а потім перейти на понижену з метою точного позиціонування крану з закріпленим вантажем.

Також, отримана діаграма підтверджує ефективність застосування модифікованого принципу симетрії для синтезу систем векторного керування асинхронним приводом з короткозамкненим ротором.

Цей метод дає змогу забезпечити високу точність відтворення задавального впливу, високий темп розгону і швидку компенсацію ударних навантажень із мінімальним падінням швидкості.

5 Техніко-економічне обґрунтування

Вступ

В даній кваліфікаційній роботі розглядається електропривод механізму переміщення мостового підйомного крана і розробляється система керування цим механізмом. Мостові крани є незамінною складовою багатьох виробничих підприємств і використовуються майже всюди, де необхідно виконувати задачі переміщення, завантаження і розвантаження вантажів.

Особливу увагу приділено системі регулювання кутового положення коліс, адже це надважливо при різних режимах роботи, бо підтримка однакової швидкості обертання забезпечить довшу тривалість безаварійної роботи обладнання. Також використання частотного перетворювача в системі регулювання дає результати в ефективності використання енергоносіїв.

Актуальність, значущість та необхідність вирішених завдань полягають в підвищенні точності робіт, розширеному діапазоні керування і плавному безударному управлінні процесами підйому, опускання та переміщення вантажів.

Запропонований метод дозволяє точно синхронізувати кутове положення коліс в широкому діапазоні швидкостей обертання.

Метою даного техніко-економічного обґрунтування є визначення показників економічної ефективності, які досягаються впровадженням розробленої системи. Сутність технічного рішення полягає в розробці системи регулювання та встановленні її на крановому обладнанні.

Для обґрунтування економічної доцільності запропонованого в дипломному проєкті 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:

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

$K_{\text{об}}(\sum_{i=1}^k C_i)$ – 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;

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

$Z_{\text{м}}$ – витрати на монтажні роботи;

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

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

Таблиця 5.1

Зведення капітальних витрат

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Перетворювач частоти ATV650U55N4E	2	55562 [7]	111124
2	Асинхронний двигун АІР 112 МВ6	2	12024 [8]	24048
	ВСЬОГО			135172

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат становить: за даними ТОВ «Нова Пошта» вартість доставки палети з обладнанням з м. Київ до м. Дніпро складатиме 6100 гривень, включно з вартістю зберігання і

доставки до виробничого приміщення, в якому відбувається встановлення. Отже, вартість 6100 гривень включає транспортно-заготівельні та складські витрати.

Витрати на монтажні (Z_M) і на налагоджувальні роботи (Z_H):

$$Z_{M(H)} = \sum (Ч_i \times a_i \times t_i) \times K_d \times K_{cm} \times K_{pr}, \text{ де} \quad (5.2)$$

$Ч_i$ – чисельність працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних і налагоджувальних робіт, чел.;

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_{cm} – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

K_{pr} – 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 – 90 грн.

Час на роботи – 40 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:

$$Z_{M(H)} = \sum (3 \times 90 \times 40) \times 1,25 \times 1,22 \times 1,05 = 17294 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

Демонтаж застарілого обладнання не передбачено.

Отже капітальні витрати складають:

$$K_{\text{пр}} = 135172 + 6100 + 17294 = 158566 \text{ грн.} \quad (5.4)$$

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.

Таблиця 5.2

Розрахунок амортизаційних відрахувань

№ з/п	Найменування	Капітальні інвестиції, тис. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн.
1.	Проектний варіант	158,566	20	31,714
2.	Базовий варіант	125,200	20	25,04

Вартість базового варіанту замінюваного устаткування узяті за даними підприємства, що складають 125200 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:

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

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 в одну 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 5 кВт - 1,3;

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

Π – 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 110 грн, трудомісткість складає 7 год./од., замінні елементи підшипників коштують 2500 грн, обладнання функціонує 1500 годин на рік. Отже, річні витрати на технічне обслуговування та ремонт складають:

$$Z_{\text{т.р.}} = \sum_{i=1}^2 \left(110 \times 7 \times 1 \times 1,3 + \frac{2500 \times 4}{8000} \times 1500 \right) = 5,752 \text{ тис грн.} \quad (5.7)$$

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 механізму переміщення мостового підйомного крану складатиме 10 кВт, а час використання складе 3 години за зміну. Коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії прийнято за 1,15.

Встановлена потужність базового варіанту окремо взятого механізму переміщення мостового підйомного крану складатиме 13 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 жовтень 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 проєктному відповідно):

$$C_{e.баз} = (13 \times 615 \times 1,20) \times 8,9 = 94,0 \text{ тис. грн.} \quad (5.9)$$

$$C_{e.пр} = (10 \times 615 \times 1,15) \times 8,9 = 63,0 \text{ тис. грн.} \quad (5.10)$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати у проєктному варіанті складають:

$$C_{пр} = C_a + C_T + C_e = 31,714 + 5,752 + 63,0 = 100,5 \text{ тис. грн.} \quad (5.11)$$

$$C_{баз} = C_a + C_T + C_e = 25,04 + 12,7 + 94,0 = 131,7 \text{ тис. грн.} \quad (5.12)$$

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 прийнятого науково-технічного рішення полягає в тому, що таке впровадження дозволяє:

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

- значно продовжити час корисної і безперебійної експлуатації коліс візків мостового крану, адже впроваджується система регулювання, що покликана синхронізувати кут повороту валу приводів;
- зменшити час на виконання базової операції переміщення візків крану завдяки покращенню швидкодії приводів, що призведе до зменшення витрат часу на виробничі процеси.

Таким чином,

$$E_{кп} = 32,09 \text{ тис. грн.} \quad (5.14)$$

5.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності розглянутих в дипломному проекті 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:

$$E_p = \frac{E_{кп}}{K_{пр}}, \text{ де} \quad (5.15)$$

$E_{кп}$ - загальна річна економія від впровадження об'єкта проектування (формула 5.18), тис. грн.;

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

Таким чином, розраховується коефіцієнт ефективності капітальних витрат:

$$E_p = \frac{32,09}{158,566} = 0,2 \quad (5.16)$$

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

$$T_p = \frac{K_{пр}}{E_{кп}} = \frac{158,566}{32,09} = 4,94 \quad (5.17)$$

Отже, проведено розрахунок показників економічної ефективності, які свідчать про економічну доцільність введення науково-технічного рішення. Термін окупності витрат задовільний [9].

Таблиця 5.3

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.	125,2	158,566	+33,366	24
2	Експлуатаційні витрати всього	тис. грн.	131,7	100,5	-31,2	23
3	Річна економія всього	тис. грн.	-	32,09	-	-
4	Розрахунковий коефіцієнт ефективності	долі од.	-	0,2	-	-
5	Розрахунковий термін окупності капітальних вкладень	років	-	4,94	-	-
6	Економія електроенергії	кВт·год	11531	7073	39,7	61

Висновки

Отже, в даному розділі техніко-економічного обґрунтування кваліфікаційної роботи магістра були виконані необхідні кроки щодо техніко-економічного обґрунтування, такі як:

- проведено розрахунок капітальних витрат проектного варіанту науково-технічного рішення;
- розраховано та визначено експлуатаційні витрати, а саме:
 - амортизаційні відрахування;
 - річні витрати на технічне обслуговування;
 - вартість спожитої електроенергії для базового та проектного варіантів;
- розраховано річну економію від впровадження науково-технічного рішення, а саме економію електроенергії;
- визначено та проведено аналіз економічної доцільності впровадження рішення.

Таким чином, було зроблено висновок про економічну доцільність впровадження рішення. Враховано не лише ефект від економії електроенергії, адже саме рішення матиме раціональний вплив і на інші параметри виробничих процесів, що призводить до збільшення економічної доцільності та зменшення часу окупності проектного рішення.

Річна економія лише електроенергії складатиме 61%, або понад тридцять дев'ять з половиною тисяч гривень на рік лише від заміни елементів обладнання та керування одного вузла переміщення мостового крану.

Отже, встановлення системи перетворювач частоти – асинхронний привод з короткозамкненим ротором і впровадження описаної системи регулювання є економічно ефективним і доцільним рішенням, а також матиме позитивний вплив на швидкість виробничих процесів (відображається у точності

переміщення вантажу) і дозволить продовжити час безаварійної та безпечної експлуатації мостового крану, зменшивши кількість необхідних ремонтів та мілкового обслуговування.

Висновки

В даній кваліфікаційній роботі було успішно виконано поставлені задачі. Розглянуто загальні відомості про мостові крани, проаналізовано вимоги і побудовано тахограму механізму переміщення, розраховані динамічні та статичні навантаження для правильного вибору електроприводів та параметри для вибору перетворювачів частоти.

Було проведено синтез системи автоматичного керування приводом, розраховано параметри системи регулювання.

Також проведено дослідження динаміки електроприводу, проаналізовано отриману діаграму перехідних процесів і надано пояснення до кожного етапу перехідних процесів.

В розділі техніко-економічного обґрунтування було розраховано капітальні та експлуатаційні витрати запропонованого науково-технічного рішення розраховано та проаналізовано показники економічної ефективності. Таким чином було доведено економічну доцільність впровадження асинхронного електроприводу з короткозамкненим ротором і системи керування ним.

Перелік посилань

1. Жигулін О. А., Махмудов І. І., Жигуліна Н. О. Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. Ніжин, 2020. – 150 с.
2. Механізми пересування мостових кранів: монографія / Є.Д. Слепужніков, Н.М. Фідровська, І.С. Варченко. – Харків: НУЦЗУ, 2019. – 124 с.
3. 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.
4. Altivar Process. ATV630, ATV650. Посібник з встановлення 2015 (рус.). – 88с.
5. 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.
6. Релейные системы оптимального управления электроприводами : монография / А. В. Садовой, Б. В. Сухинин, Ю. В. Сохина, А. Л. Дерез ; М-во образования и науки, молодежи и спорта Украины, Днепродзержинский государственный технический ун-т. – Днепродзержинск : ДГТУ, 2011. – 336 с.
7. Офіційний сайт компанії-дистриб'ютора. (ATV650U55N4E) Преобразователь частоты ATV650 5.5кВт 380В, Schneider Electric. URL: <https://eleksun.com.ua/atv650u55n4e-preobrazovatel-chastoty-atv650-55kvt-380v-schneider-electric.html> (дата звернення: 23.11.2022).
8. Офіційний сайт компанії-дистриб'ютора. AIP 112 МВ6 трифазний асинхронний електродвигун 4 кВт 1000 об/хв. URL: <https://systemax.ua/ua/elektrodvigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodvigateli/air/air112mb6--4-kvt-1000-ob-min-.html> (дата звернення: 23.11.2022).
9. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (кваліфікаційний рівень - магістр) / Укладач: Л.В. Тимошенко - Дніпро: НТУ «ДП», 2021. - 17 с.