

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"

Електротехнічний
(факультет)

Кафедра Електроприводу
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломного проекту (роботи)
бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 14 Електрична інженерія
(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки _____
(код і назва напрямку підготовки)

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

(Електромеханічні системи автоматизації та електропривод)

освітній рівень бакалавр
(назва освітнього рівня)

кваліфікація _____
(код і назва кваліфікації)

на тему: Автоматизований електропривод візка повздовжнього руху мостового крану

Виконавець:

студент III курсу, групи 141-16ск-3

Ю.А. Негода

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівники проекту розділів:	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
	Бородай В.А.		
Економічна частина	Дементьева Н. В.		
Охорона праці	Лутс І. О.		
Рецензент	Ковальов О.Р.		
Нормоконтроль	Казачковський М.М.		

Дніпро
2019

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
Електропривода

(повна назва)

М.М. Казачковський

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« 14 » _січня_ 2019 _року

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект
бакалавр**

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту 141-16ск-3 Ю.А. Негода
(група) (прізвище та ініціали)

Тема дипломного проекту Автоматизований електропривод візка повздовж-
нього руху мостового крану
затверджена наказом ректора ДВНЗ "НГУ" від 17.04.2019 № 626-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Вступ, технологічна частина, розділ № 1, 2	Загальна характеристика механізму, обґрунтування вимог до приводу, розрахунок потужності двигуна	14.01.2019- 20.10.2019
Розділ № 1, 2, 3	Вибір потрібного двигуна та перетворювача, обґрунтування та вибір методу частотного керування, побудова моделі та дослідження її динаміки	13.05.2019- 26.05.2019
Розділ №4 Охорона праці	Аналіз небезпечних факторів виробництва, формулювання інженерних рекомендацій щодо їх усунення	27.05.2019- 02.06.2019
Розділ №5 Економіка, загальні висновки	Розрахунок економічної ефективності, сукупний обґрунтований висновок	03.06.2019- 09.06.2019

Завдання видав _____
(підпис)

В.А. Бородай
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Ю.А. Негода
(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 14.01.2019

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 20.06.2019

ЗМІСТ

	стор.
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП.....	7
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Процеси трубного виробництва.....	9
1.2 Призначення, устрій і режим роботи крана	10
1.3 Особливості частотного регулювання електроприводу.....	14
1.4 Вимоги що, пред'являються до електроприводу візка	15
2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....	16
2.1 Розрахунок потужності та попередній вибір двигуна.....	17
2.2 Розрахунок та побудова механічної характеристики.....	24
2.3 Перевірка двигуна за нагрівом та перевантажувальну здатність...	30
2.4 Вибір гальмівного резистору.....	32
2.5 Вибір перетворювача.....	33
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	37
3.1 Загальні відомості щодо метода керування асинхронним приводом	38
3.2 Автоматична система керування швидкістю.....	40
3.3 Розрахунок та побудова моделі.....	42
3.4 Моделювання системи та аналіз результатів	45
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В ЧРЕЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	47
4.1 Заходи з техніки безпеки при експлуатації та ремонті та електроус- таткування крана.....	48
4.2 Заходи з протипожежної безпеки при експлуатації та ремонті елект- роустаткування крана	50
4.3 Розрахування заземлення електроустановки	51

5. ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ.....	55
5.1 Вступ	55
5.2 Розрахунок капітальних інвестицій	56
5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат	58
5.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	59
5.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати	60
5.3.3 Єдиний соціальний внесок.....	60
5.3.4 Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж.....	61
5.3.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії об'єктом проектування.....	61
5.3.6 Визначення інших витрат.....	62
5.4 Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування.....	63
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ.....	65
ДОДАТОК А.....	66

Реферат

Пояснювальна записка стор. 71, рис. 11, табл. 7, джерел використаної літератури 9, листів креслень 4.

Об'єкт роботи: електропривод візка повздовжнього руху (мостовий кран).

Ціль роботи: модернізація візка шляхом правильного вибору потужності двигуна, використання комплектного електропривода та системи контролю діагностики аварійних ситуацій.

Вибрані елементи силового ланцюга: асинхронний електродвигун МТКН111-6, перетворювач частоти ALTIVAR 71. Розраховані параметри скалярної системи керування із жорстким регулюванням швидкості.

Досліджена динаміка спроектованого електропривода в режимах пуску, усталеного руху та гальмування з використанням спеціалізованого пакета MATLAB додатка Simulink.

Запропоновані заходи з техніки безпеки при експлуатації та ремонті та електроустаткування крана та заходи з протипожежної безпеки при експлуатації та ремонті електроустаткування крана, а також був проведений розрахування заземлення електроустановки.

Визначено очікуваний економічний ефект за рахунок модернізації системи керування з можливістю зниження затрат на енергоресурси.

МОСТОВИЙ КРАН, МЕХАНІЗМ ВІЗКА, ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ, ОДНОЗОННА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ЕНЕРГОСБЕРЕЖЕННЯ, БЕЗПЕКА.

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

Explanatory note page. 71, fig. 11, tab. 7, sources of used literature 9, sheets of drawings 4.

Object: longitudinal electric motor (bridge crane).

The purpose of the work: the modernization of the trolley by the correct choice of engine power, the use of a complete electric drive and a control system for diagnosing emergency situations.

Selected elements of the power circuit: asynchronous electric motor MTN111-6, frequency converter ALTIVAR 71. Calculated parameters of the scalar control system with rigid speed control.

The dynamics of the designed electric drive in push-up, steady-state and braking modes using the special package of MATLAB's Simulink application is investigated.

Proposed safety measures at operation, repair and electrical equipment of the crane and fire protection measures during ex-operation and repair of the electrical equipment of the crane, and also a re-calculation of grounding of the electrical installation was carried out.

The expected economic effect is determined by modernizing the control system with the possibility of reducing the cost of energy resources.

BRIDGE CRANE, WIRE MECHANISM, CHANGED ELECTRIC DRIVE CIRCUIT, UNIQUE CONTROL SYSTEM, FREQUENCY RIVER, ENERGY SAVING, SAFETY.

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі, де технічний прогрес розвивається все інтенсивніше, не втрачають актуальність завдання, спрямовані на комплексну механізацію та автоматизацію виробничих процесів. Одним із напрямків вирішення такого завдання може бути впровадження в конструкцію промислових механізмів енергоощадних технологій, які базуються на передових системах електропривода, що побудовані на інноваційних ідеях.

Практично на усіх підприємствах використовують вантажопідйомні машини. Це перш за все будівництво, металургія, ремонтні роботи і багато інших промислових та непромислових сфер. Як наслідок, особливість технології головного виробництва впливає на їх конструкцію, і переважно в частині габаритів та вантажопідйомності. Так, широке розповсюдження отримали моделі кранів вантажопідйомністю від 5 до 320 тон, де всі механізми приводяться у рух класичним асинхронним двигуном із фазним або короткозамкненим ротором. При цьому слід зауважити, що для такого приводу традиційно застосовується реостатний ступеневий метод регулювання швидкості із енергетикою, що є неприпустимою за теперішніх економічних умов.

Практично в двічі знизити енергоспоживання мостових кранів дозволяє частотне регулювання приводу (тип АД-ПЧ). Поряд зі ресурсоощадністю такої метод забезпечує більш плавні перехідні процеси. Наслідок – значно менші динамічні навантаження, яким піддається кінематика електроприводу, і що в свою чергу, позитивно позначається на надійності і довговічності роботи кранового обладнання.

Додаткові економічні переваги метод частотного регулювання дає при використанні асинхронних двигунів з КЗ ротором і пусковим моментом набагато меншим у порівнянні з аналогічним, що має фазний ротор.

Таким чином, представлене обґрунтування наочно доказує, що використання електропривода побудованого на базі системи АД-ПЧ є найбільш ефективним для розглянутих виробничих умов.

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.1 Процеси трубного виробництва

Вхідні заготовки труб у вигляді штанг в пакетах перевіряються на предмет виявлення дефектів і далі складуються в спеціальні кишені за розмірами і марками сталі. Потім їх ріжуть на мірні довжини за допомогою прес – ножиць із зусиллям різання не менше ніж 1000 тон.

Подальша технологія обробки передбачає нагрів заготовок природним газом у кільцевій печі з обертовим черевом. Її завантаження здійснюється у механічний спосіб в 1, 2 та 4 ряди відповідно до довжини вхідних мірних заготовок. Температура нагріву металу визначається у залежності від марки сталі і змінюється у межах 1150-1280°.

Прошивка заготовки в гільзу здійснюється спеціалізованим станом з грибоподібними валками, привід яких є індивідуальним і без редукторним. Для формування внутрішньої порожнини гільзи застосовується водне охолодження методом обприскування. Перед прошивкою заготовки центрують.

Наступний крок подовжня обробка тиском у двох послідовних дуостанах, для чого здійснюється розкочування гільзи у валках з овальним калібром. При цьому температура гільзи повинна бути не нижче за 1000°С.

Для покращення якості поверхні, надання трубі правильної геометричної форми та зменшення різностінності в лінії агрегату «140» встановлений тривалковий розкатний стан.

Перед подачею труби в калібрувальний і редукційний стани їх підігривають в індукційній прохідній електропечі потужності 6 МВт і частоти струму живлення 1000 Гц.

Для калібрувального стану початковою заготовкою слугують труби діаметром 108- 160 мм з товщиною стінки 3,3- 24 мм. Процес розкатки може здійснюватись як з натягненням, так і без нього. При цьому перший метод прокатки допускає обробку труби з товщиною стінки не більше 12 мм.

Редукційний стан спроможний катати труби діаметром від 32 мм до 83 мм з

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

товщиною стінки від 2,8 мм до 15 мм із вуглецевих і легованих марок сталі, де початковий діаметр заготівки труби становить 108 мм і стінкою 3,3-14 мм.

Для усунення подовжньої кривизни труб є дві правильних семивалкових машин мод.

Труби з редуційного стану після правки обробляються на трубо-торцевих верстатах, а з калібрувального на верстатах обрізів мод.

Після редуційного стану труби розрізають маятниковими пилами, встановленими в лінії стану.

Потім труби надходять на шнековий ланцюговий холодильник, з якого подаються на одну з ліній обробки.

Після контролю на столах остаточної здачі, труби формуються в пакети, ув'язуються катаною проволокою на спеціальній пакувальній машині і транспортуються краном в експедицію для відправки споживачам.

1.2 Призначення, устрій і режим роботи крана

Розгляд технології трубопрокатного виробництва показав, що його робота неможлива без виконання вантажних робіт. Тому зрозуміло, що мостові крани, які забезпечують безперервність і оперативність у часі, зв'язків між виробничими і робочими ділянками, є основними механізмами при організації трубопрокатного виробництва.

Зазвичай мостові крани встановлюють у приміщенні виробничого цеху і реалізують механізацію вантажних робіт, пов'язаних з технологічним процесом.

Конструктивно мостовий кран складається з двох основних вузлів: мосту, що пересувається по цеху, і кранового візка або талі, що пересуваються по мосту призначеного для підйому вантажу. Міст складається з чотирьох сталевих балок – двох головних, по яких рухається візок, і двох допоміжних, що скріплюють головні балки.

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Міст крану пересувається на ходових колесах, що приводяться в рух електродвигуном, встановленим на мосту. Передача руху на колеса здійснюється через редуктор і трансмісійний вал. Міст рухається по кранових коліях, які прокладені по всій довжині цеху на виступах стін або на сталевих колонах.

Кабіна встановлюється під галереєю мосту з протилежного боку від головних тролів або підвішується до рами візка. Живлення до двигунів крана підводиться за допомогою голих проводів – тролеїв.

У кабіні керування встановлена апаратура керування мостовим електричним краном. Кабіна повинна бути відкрита з трьох боків. У кабіні управління знаходиться головний щит крана з встановленими на ньому запобіжниками, головним рубильником, головним контактором, сигнальною лампою. У кабіні встановлені перетворювачі частоти за кількістю електродвигунів.

Вантажний візок служить для підйому і переміщення вантажу по мосту крана.

Вантажний візок являє собою зварену раму, яка пересувається на ходових колесах по рейках, покладеними на головних балках. На візку встановлюються:

- механізм пересування візка з електродвигуном, редуктором, гальмівним пристроєм і двома кінцевими вимикачами;
- механізм підйому з електродвигуном, редуктором, канатним барабаном, гальмівним пристроєм і обмежувачем підйому.

Механізми візка представлені на рис.1.1. та рис. 1. 2.

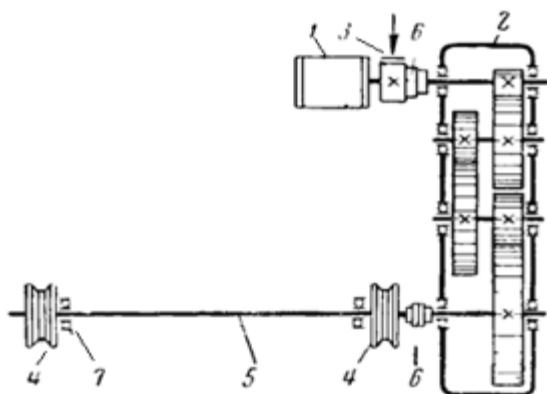


Рис.1.1 – Кінематична схема механізму пересування візка мостового крана.

- 1-електродвигун;
- 2-редуктор;
- 3-гальмо;
- 4 - ведуче колесо;
- 5-вал;
- 6 - муфта зубчаста;
- 7-підшипник.

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

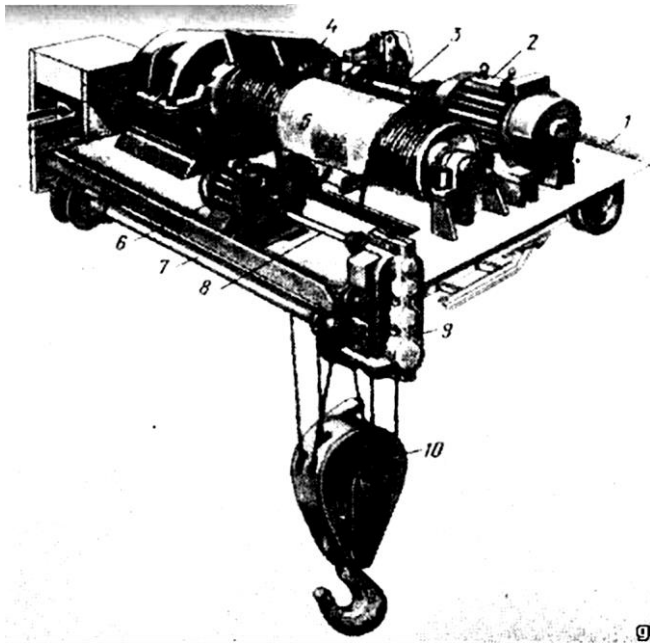


Рис.1.2 – Загальний вид візка механізму пересування мостового крану

Візок складається з жорсткої зварний рами 1, на якій змонтовані механізми підймання і переміщення. Електродвигун 2 з'єднаний валом-вставкою -3 з двоступінчастим горизонтальним редуктором 4, приводить в рух барабан 5 з правого і лівої нарізками. До барабану на сталевих канатах підвішена гакова підвіска 10. Електродвигун 6 через вал-вставку 8 і двоступінчастий вертикальний редуктор 9 приводить в рух провідний вал 7 візки з ходовими двох ребровими колесами. Вал провідних коліс і осі ходових коліс спираються на підшипники, встановлені в окремих брусах рами.

Встановлені на візку електродвигуни для підйому і переміщення вантажу отримують живлення від тролейів, прокладених вздовж мосту, за допомогою ковзних контактів.

Мостові крани знайшли широке застосування на підприємствах різноманітних сфер, в тому числі в умовах трубопрокатного виробництва. Це пов'язано з великими обсягами вантажно – розвантажувальних робіт в умовах підприємства. Для цеху мостові крани забезпечили безперебійність і оперативність у часі, зв'язок між виробничими ділянками і робочими місцями в цеху. В умовах прокатного виробництва такий тип підйомно – транспортних машин є основою механізації і автоматизації виробничого процесу.

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Мостовий кран обслуговує практично всю площу цеху (крім вузьких смуг уздовж цеху), що є його основною перевагою. Крім того, мостовий кран пересувається по надземному крановому шляху, тому він не займає корисну площу підлоги цеху. Вантажопідйомність крана не залежить від положення вантажного візка щодо мосту і висоти підймання вантажу. Мостовий кран простий по конструкції, надійний в експлуатації і зручний в управлінні.

Крім головних функцій мостові крани виконують також інші функції, пов'язані з ремонтом устаткування та збиральними роботами.

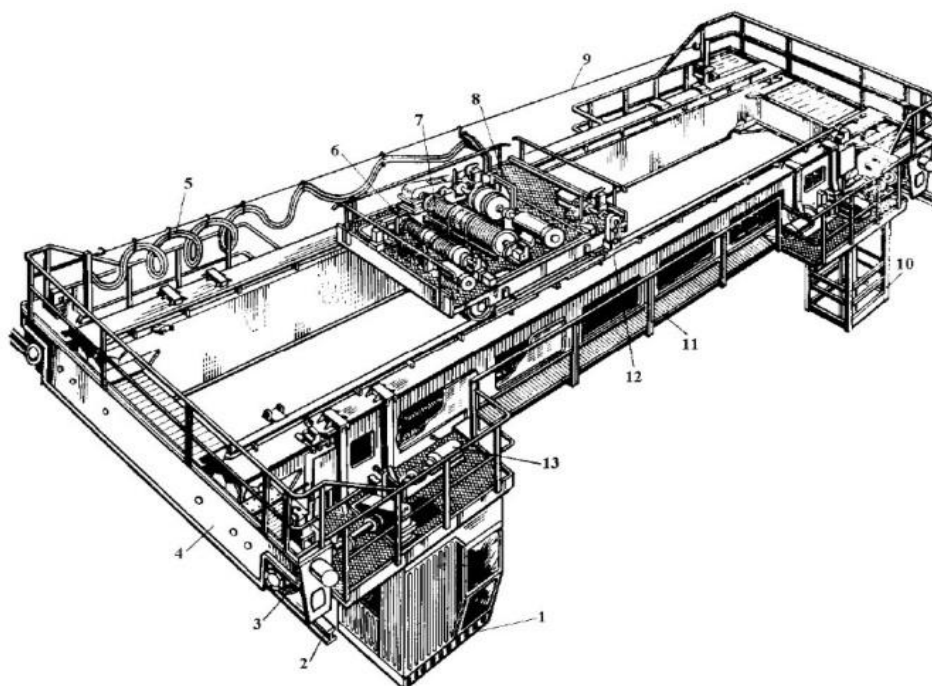


Рис.1.3 – Кран мостовий двобалковий опорний:

1 - кабіна керування; 2 - рейки; 3 - ходові колеса; 4 - кінцева балка; 5 - кабельний струмопровід до візка; 6,7 - допоміжний і основний механізми підймання вантажу; 8 - вантажний візок; 9 - підвіска гнучкого кабелю; 10 - люлька для обслуговування цехових тролей; 11 - головна балка; 12 - механізм пересування вантажного візка; 13-механізм пересування крана (мосту).

Мостовий кран слугує для переміщення заготовок на заготівельному складі. Привезені заготівки кран розвантажує у спеціальні кишені в залежності від марки і сорту сталі. Мостовий кран далі бере заготовку потрібної марки сталі та переміщує її до прес-ломки, де заготівку рубають на потрібний розмір.

Мостовий кран працює у повторно-короткочасному режимі. За умовою ви-

					Арк.
					13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ

робничого середовища мостовий кран має тяжкий режим роботи, так як технічним процесом обумовлено наявність пилу та високої температури. Важливо вчасно проводити поточне обслуговування та капітальний ремонт.

1.3 Особливості частотного регулювання електроприводу

Частотне регулювання в контексті асинхронного двигуна характеризується наступними особливостями. По-перше, зниження втрат енергій в електродвигунах в процесі пускових режимів і процесах гальмування, що дає можливість застосування високооборотних електроприводів, а в процесі проектування електродвигунів фокусуватися на зниженні втрат, що виникають в обмотці електродвигуна при номінальних режимах експлуатації. Проектуючи частотно-регульований електропривод слід керуватися наступним:

- Необхідність збереження основних геометричних розмірів, властивих звичайним крановим асинхронним двигунам, тому що основний процес визначається режимом роботи, а не тим як він регулюється;

- Сучасні частотно-регульовані електроприводи, що мають векторне управління із механічними характеристиками, які формуються перетворювачем не потребують спеціальних умов з метою підвищити перевантажувальну здатність і пусковий момент;

- Системи з частотним регулюванням мають оптимальну частоту обертання електродвигуна порядку 1900-1800об / хв. при легкому і середньому режимах роботи і 1000-800об / хв. при важкому режимі. Але при розробці системи необхідно витримувати співвідношення між максимальною частотою обертання приводу і максимально допустимої частотою обертання редуктора;

- Необхідно збереження працездатності двигуна у випадках, коли вихідна напруга перетворювача має частоту в 1,5-2 перевищувати номінальну частоту;

- Щоб знизити втрати в обмотці, вона виготовляється з чистого алюмінію або міді, з мінімальним при цьому ковзанням. Можливість регулювати вихідну

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

напругу і частоту електродвигуна дозволяє більш оптимально використовувати його активні частини і забезпечувати експлуатацію електродвигуна з мінімальними втратами;

- Можливість виготовлення електродвигуна на нестандартні параметри напруги, які будуть відповідати параметрам вихідної напруги перетворювача.

Все перераховане вище, плюс можливість оптимального розмежування регульованих зон, надає можливість при однакових параметрах навантаження знизити в 1,5-1,8 раз параметри потужності електродвигуна при використанні частотного перетворювача.

1.4 Вимоги, що пред'являються до електроприводу візка

- Двигун повинен бути захищений від перевантаження і коротких замикань силового ланцюга і ланцюга керування. При припиненні живлення приводного двигуна повинно автоматично відключитися ланцюг управління, а після відновлення повинен бути виключений само запуск;

- Привід візка повинен бути забезпечений нормально замкнутим контактом, а при включенні двигуна гальмо повинне автоматично відкриватися. Замикання струмопровідних частин електричного пристрою приводу гальма на корпус не повинно викликати мимовільне вмикання цього приводу. У електродвигуна змінного струму у разі живлення від керованого перетворювача, зняття механічного гальма відбувається за величини струму двигуна, який забезпечує необхідний момент для утримання візка:

- Привід повинен бути реверсивним;

- Клас ізоляційних матеріалів обраного типу приводу повинен бути F або H;

- Робота приводу в повторно-короткочасному режимі з ПВ = 40%;

- Прискорення переміщення візка з вантажем не повинна перевищувати $a_{\max} = 0,3 \text{ м / с}^2$;

- Швидкість переміщення не повинна перевищувати $V_{\max} = 0,46 \text{ м / с}$; - Діапазон регулювання приводу переміщення D (4: 1).

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2.1 Розрахунок потужності та попередній вибір двигуна

Вихідні дані:

маса вантажу, m_B	15 т
маса візка, m_{BB}	7,2 т
швидкість переміщення, V	0,64 м/с
діаметр колеса, D_K	0,35 м
діаметр цапфи, $d_{Ц}$	0,12
шлях переміщення, L	23 м
число циклів у годину, $N_{Ц}$	11
коефіцієнт корисної дії, η	0.83
передаточне число редуктора, i	29,4
Електродвигун переміщення возика МТКН111-6	1 шт.

Розрахункова маса вантажу

$$G_B = m_B \cdot 10^3 \cdot 9,81, \quad (2.1)$$

$$G_B = 15 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 147150 \text{ Нм}$$

Розрахункова маса візка

$$G_{BB} = m_{BB} \cdot 10^3 \cdot 9,81 \quad (2.2)$$

$$G_{BB} = 7,2 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 70632 \text{ Нм}$$

Стискальне зусилля на ободі колеса

$$F = \frac{(G_B + G_{BB}) \cdot V_{П}}{D_K} \cdot (2f + \mu \cdot d_{Ц}) \quad (2.3)$$

$$F = \frac{1.8(147150 + 70632)}{0,35} (2 \cdot 0,0005 + 0,015 \cdot 0,12) = 3136.06 \text{ Н}$$

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де β - коефіцієнт, що враховує додаткове тертя реборди колеса о рейку,

$$\beta = 2;$$

μ - коефіцієнт тертя ковзання, $\mu = 0,015$;

f – коефіцієнт тертя кочення, $f=0,0005$.

Максимальна статична потужність

$$P_c = \frac{F \cdot V}{10^3 \cdot \eta}, \quad (2.4)$$

$$P_c = \frac{3136.06 \cdot 0.64}{10^3 \cdot 0,83} = 2.42 \text{ кВт}$$

Попередня потужність двигуна

$$P_{пр} = k \cdot P_c \quad (2.5)$$

де k - коефіцієнт, який враховує циклічність роботи механізму, $k = 0,9$.

$$P_{пр} = 0,9 \cdot 2.24 = 2.18 \text{ кВт}$$

Час роботи

$$t_p = \frac{L}{v} \quad (2.5)$$

$$t_p = \frac{23}{0,34} = 35.94 \text{ с}$$

Час циклу

$$t_{ц} = \frac{3600}{N_{ц}} \quad (2.7)$$

$$t_{ц} = \frac{3600}{11} = 327.27 \text{ с}$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова тривалість вмикання

$$T_{Bp}\% = \frac{K_1 \cdot t_p}{t_u} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

де K_1 - кількість операцій за цикл, $K_1 = 2$.

$$T_{Bp}\% = \frac{2 \cdot 35.94}{327.27} \cdot 100\% = 21.96 \%$$

Розрахункова потужність двигуна при каталожній тривалості вмикання. Двигуни, призначені для повторно – короткочасного режиму, випускаються з $T_{Bкат} = 15, 25, 40, 60\%$.

$$P_p = P_{np} \sqrt{\frac{T_{Bp}\%}{T_{Bкат}\%}} \quad (2.9)$$

$$P_p = 2.18 \sqrt{\frac{21.96}{40}} = 1.61 \text{ кВт}$$

Розрахункова кутова швидкість

$$\omega_{роз} = \frac{2 \cdot V_{п \cdot i}}{D_k} \quad (2.10)$$

$$\omega_{роз} = \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 29,4}{0,35} = 107,52 \text{ 1/с}$$

Розрахункова частота обертання двигуна

$$n_{роз} = 9,55 \cdot \omega_{роз} \quad (2.11)$$

$$n_{роз} = 9,55 \cdot 107,52 = 1026,82 \text{ об/хв}$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По значенням $P_{\text{РОЗ}}$, $n_{\text{РОЗ}}$ і $T_{\text{ВКАТ}}$ обираємо двигун, дотримуючись умови, щоб номінальна потужність двигуна була рівна або більше (до 20%) розрахункової потужності $P_{\text{РОЗ}}$.

Паспортні дані асинхронного двигуна заносимо до таблиці 1.

Таблиця 2.1. – Номінальні дані асинхронного двигуна

Тип двигуна	P_{H} , кВт	n_{H} , об/хв	I_{C} , А	$\cos \varphi$	ККД, %	$M_{\text{МАХ}}$, Нм	GD^2 кгм ²
МТКН-111-6	3	895	9,9	0,69	72	83	0,19

Якщо $n_{\text{РОЗ}}$ не співпадає з n_{H} , то необхідно перерахувати передаточне число редуктора i .

Номінальна швидкість двигуна

$$\omega_{\text{H}} = \frac{n_{\text{H}}}{9,55} \quad (2.12)$$

$$\omega_{\text{H}} = \frac{895}{9,55} = 93,71 \text{ 1/с}$$

Передаточне число редуктора

$$i_{\text{p}} = \frac{\omega_{\text{H}} \cdot D_{\text{к}}}{2 \cdot v}, \quad (2.13)$$

$$i_{\text{p}} = \frac{93,71 \cdot 0,35}{2 \cdot 0,64} = 25,62$$

Номінальний момент

$$M_{\text{H}} = \frac{P_{\text{H}}}{\omega_{\text{H}}} \cdot 10^3 \quad (2.14)$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$M_H = \frac{3}{93,71} \cdot 10^3 = 32 \text{ Нм}$$

Статичний момент, приведений до валу двигуна, при пересуванні з вантажем

$$M_{\text{ссв}} = \frac{D_B}{2 \cdot i_P \cdot \eta} \quad (2.15)$$

$$M_{\text{ссв}} = \frac{3136,05 \cdot 0,35}{2 \cdot 25,62 \cdot 0,83} = 25,8 \text{ Нм}$$

Статичний момент, приведений до валу двигуна, при пересуванні без вантажу

$$M_{\text{cco}} = \frac{\beta \cdot G_{\text{вв}}}{D_K} \cdot (2 \cdot f + \mu \cdot d_{\text{ц}}) \cdot \frac{D_K}{2 \cdot i_{P2} \cdot \eta_0} \quad (2.16)$$

$$M_{\text{cco}} = \frac{1,8 \cdot 70632}{0,35} \cdot (2 \cdot 0,0005 + 0,015 \cdot 0,12) \cdot \frac{0,35}{2 \cdot 25,62 \cdot 0,8} = 8,6 \text{ Нм}$$

Коефіцієнт завантаження

$$K_3 = \frac{m_B}{m_{\text{вв}} + m_B} \quad (2.17)$$

$$K_3 = \frac{15}{7,2 + 15} = 0,67$$

Момент інерції двигуна

$$J_{\text{дв}} = \frac{GD^2}{4} \quad (2.18)$$

$$J_{\text{дв}} = \frac{0,19}{4} = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції гальмового шківa

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$J_{ш} = 0,3 \cdot J_{дв}, \quad (2.19)$$

$$J_{ш} = 0,3 \cdot 0,05 = 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції муфти

$$J_{м} = 0,15 \cdot J_{дв}, \quad (2.20)$$

$$J_{м} = 0,15 \cdot 0,05 = 0,0023 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції при пересуванні з вантажем

$$J_{пв} = \frac{(G_B + G_{BB}) \cdot V^2}{9,81 \cdot \omega_H^2} \quad (2.21)$$

$$J_{пв} = \frac{(147150 + 70632) \cdot 0,64^2}{9,81 \cdot 93,71^2} = 1,03 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведений момент інерції при роботі з вантажем

$$J_B = K_2 \cdot Z \cdot (J_{дв} + J_{ш} + J_{м}) + J_{пв} \quad (2.22)$$

де K_2 - коефіцієнт, який приблизно враховує роботу моменту інерції редуктора і барабану, $K_2 = 1,15$.

$$J_B = 1,15 \cdot 1 \cdot (0,05 + 0,015 + 0,0023) + 1,03 = 1,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції поступово – рухомих елементів системи без урахування маси вантажу

$$J_{по} = \frac{G_{BB} \cdot V^2}{9,81 \cdot \omega_H^2} \quad (2.23)$$

$$J_{по} = \frac{70632 \cdot 0,64^2}{9,81 \cdot 93,71^2} = 0,03 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приведений момент інерції без вантажу

$$J_o = K_2 \cdot Z \cdot (J_{дв} + J_{ш} + J_M) + J_{по} \quad (2.24)$$

$$J_o = 1,15 \cdot 1 \cdot (0,05 + 0,015 + 0,0023) + 0,03 = 0,11 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Динамічний момент при гальмуванні з вантажем

$$M_{дпв} = J_B \cdot \frac{2 \cdot i_p \cdot a}{D_k} \quad (2.25)$$

де a - прискорення, $a = 0,3 \text{ м/с}^2$

$$M_{дпв} = 1,1 \cdot \frac{2 \cdot 25,62 \cdot 0,3}{0,35} = 48,312 \text{ Нм}$$

Динамічний момент при гальмуванні без вантажу

$$M_{дпо} = J_o \cdot \frac{2 \cdot i_p \cdot a}{D_k} \quad (2.26)$$

$$M_{дпо} = 0,11 \cdot \frac{2 \cdot 25,62 \cdot 0,3}{0,35} = 4,83 \text{ Нм}$$

Момент середньо-пусковий з вантажем

$$M_{ср.пв} = M_{дпв} + M_{ссв} \quad (2.27)$$

$$M_{ср.пв} = 48,312 + 25,8 = 74,1 \text{ Нм}$$

Момент середньо-пусковий без вантажу

$$M_{ср.по} = M_{дпо} + M_{ссо} \quad (2.28)$$

$$M_{ср.по} = 8,6 + 4,83 = 13,43 \text{ Нм}$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент середньо-гальмовий при гальмуванні з вантажу

$$M_{\text{ср.гв}} = M_{\text{дсв}} - M_{\text{ссв}}, \quad (2.29)$$

$$M_{\text{ср.гв}} = 48.312 - 25.8 = 22.7 \text{ Нм}$$

Момент середньо-гальмовий при гальмуванні без вантажу

$$M_{\text{ср.го}} = M_{\text{дпо}} - M_{\text{ссо}}, \quad (2.30)$$

$$M_{\text{ср.го}} = 8,6 - 4,83 = 3,8 \text{ Нм}$$

2.2 Розрахунок та побудова механічної характеристики

Для розрахунку перехідних процесів необхідно для асинхронного двигуна з фазним ротором побудувати природну і робочу характеристику.

Синхронна швидкість двигуна

$$n_c = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (2.31)$$

де - f - частота мережі, $f=50$ Гц;

p - число пар полюсів, приймається в залежності від типу двигуна, $p=3$.

$$n_c = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість, синхронна

$$\omega_c = \frac{n_c}{9.55} \quad (2.31)$$

$$\omega_c = \frac{1000}{9.55} = 104,71 \text{ 1/с}$$

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для побудови природної характеристики необхідно визначити номінальне ковзання

$$S_H = \frac{\omega_c - \omega_H}{\omega_c}, \quad (2.32)$$
$$S_H = \frac{104,71 - 93,71}{104,71} = 0,105$$

Перевантажувальна здатність

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_H} \quad (2.33)$$
$$\lambda = \frac{83}{32} = 2,6$$

Критичне ковзання

$$S_{кр} = S_H \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 + 1}) \quad (2.34)$$
$$S_{кр} = 0,105 \cdot (2,6 + \sqrt{2,6^2 + 1}) = 0,57$$

За даними таблиці 2 будуємо механічну характеристику (рис.1). Для побудови робочої характеристики необхідно на осі М відкласти значення M_H , та робочу швидкість.

Робоча швидкість

$$\omega_p = \omega_c \cdot 0,88, \quad (2.35)$$
$$\omega_p = 104,7 \cdot 0,88 = 92 \text{ 1/с}$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2. – Данні для побудови механічної характеристики

№	S	$M = \frac{2 \cdot M_{\max}}{S/S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}}/S}$	$\omega = \omega_c \cdot (1 - S)$
1	0	0	104,71
2	0,04	11,59	100,52
3	0,08	23,30	96,33
4	0,10	28,26	94,24
5	0,2	51,88	83,76
6	0,3	68,43	73,30
7	0,57	83	45,03
8	0,7	81,45	31,41
9	0,9	75,11	10,43
10	1	71,55	0

Отримані значення відкладаємо на вісі ω , проектуємо на лінію M_H , отримуємо точку А. Через ω_c і точку А проводимо пряму лінію, це і буде робоча характеристика (рис 1).

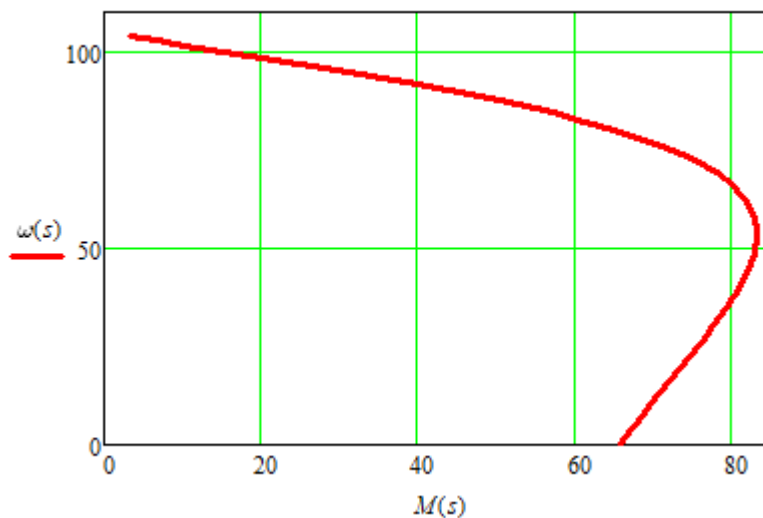


Рис.2.1. – Механічна характеристика

Переміщення з вантажем

Час пуску

$$t_{\text{ПВ}} = J_B \cdot \frac{\omega_{\text{СПВ}}}{M_{\text{ср.ГВ}} - M_{\text{ССВ}}} \quad (2.36)$$

де $\omega_{\text{СПВ}}$ – кутова швидкість підйому з вантажем, $\omega_{\text{СПВ}} = 98 \text{ 1/с}$.

$$t_{\text{ПВ}} = 1,1 \cdot \frac{98}{74,1 - 25,8} = 2,23 \text{ с}$$

Час гальмування

$$t_{\text{ГВ}} = J_B \cdot \frac{\omega_{\text{СПВ}}}{M_{\text{ср.ГВ}} + M_{\text{ССВ}}} \quad (2.37)$$

$$t_{\text{ГВ}} = 1,1 \cdot \frac{98}{22,7 + 25,8} = 2,22 \text{ с}$$

Швидкість підйому з вантажем

$$V_{\text{СВ}} = \frac{\omega_{\text{ССВ}} \cdot D_K}{i_p \cdot 2} \quad (2.38)$$

$$V_{\text{СВ}} = \frac{98 \cdot 0,35}{25,62 \cdot 2} = 0,67 \text{ м/с}$$

Шлях пройдений при пуску

$$S_{\text{ПВ}} = t_{\text{ПВ}} \cdot \frac{V_{\text{СВ}}}{2} \quad (2.39)$$

$$S_{\text{ПВ}} = 0,22 \cdot \frac{0,67}{2} = 0,07 \text{ м}$$

Шлях пройдений при гальмуванні

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{ГВ} = t_{ГВ} \cdot \frac{V_{СВ}}{2} \quad (2.40)$$

$$S_{ГВ} = 0,25 \cdot \frac{0,67}{2} = 0,08 \text{ м}$$

Шлях пройдений з рівномірною швидкістю

$$S_{рВ} = L - S_{пВ} - S_{ГВ} \quad (2.41)$$

$$S_{рВ} = 23 - 0,07 - 0,08 = 22.85 \text{ м}$$

Час рівномірного руху

$$t_{рВ} = \frac{S_{рВ}}{V_{СВ}} \quad (2.42)$$

$$t_{рВ} = \frac{22.85}{0,67} = 34.1 \text{ с}$$

Рух без вантажу

Час пуску

$$t_{п0} = J_0 \cdot \frac{\omega_{с00}}{M_{ср,п0} - M_{с00}} \quad (2.43)$$

де $\omega_{с00}$ – кутова швидкість підйому з вантажем, $\omega_{с00} = 101 \text{ 1/с}$

$$t_{псВ} = 0,11 \cdot \frac{101}{13,43 - 4,83} = 1,3 \text{ с}$$

Час гальмування

$$t_{г0} = J_0 \cdot \frac{\omega_{с00}}{M_{ср,г0} + M_{с00}} \quad (2.44)$$

$$t_{г0} = 0,11 \cdot \frac{101}{3,77 + 4,83} = 1,29 \text{ с}$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість спуску з вантажем

$$V_{co} = \frac{\omega_{cco} \cdot D_k}{i_p \cdot 2} \quad (2.45)$$

$$V_{co} = \frac{101 \cdot 0,35}{25,62 \cdot 2} = 0,69 \text{ м/с}$$

Шлях пройдений при пуску

$$S_{по} = t_{по} \cdot \frac{V_{co}}{2} \quad (2.46)$$

$$S_{по} = 1,3 \cdot \frac{0,69}{2} = 0,46 \text{ м}$$

Шлях пройдений при гальмуванні

$$S_{го} = t_{го} \cdot \frac{V_{co}}{2} \quad (2.47)$$

$$S_{го} = 1,29 \cdot \frac{0,69}{2} = 0,44 \text{ м}$$

Шлях пройдений з рівномірною швидкістю

$$S_{рсв} = H_{п} - S_{псв} - S_{гсв} \quad (2.48)$$

$$S_{рсв} = 7,5 - 0,22 - 0,11 = 7,17 \text{ м}$$

Час рівномірного руху

$$t_{po} = \frac{S_{po}}{V_{co}} \quad (2.49)$$

$$t_{po} = \frac{18,86}{0,69} = 27,33 \text{ с}$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час фактичної роботи двигуна

$$t_{\phi} = t_{\text{ПВ}} + t_{\text{РВ}} + t_{\text{ГВ}} + t_{\text{ПО}} + t_{\text{РО}} + t_{\text{ГО}}, \quad (2.50)$$

$$t_{\phi} = 2,23 + 34,1 + 2,22 + 1,3 + 27,33 + 1,29 = 68,47 \text{ с}$$

Час паузи

$$t_o = \frac{t_u - t_{\phi}}{2}, \quad (2.51)$$

$$t_o = \frac{327,27 - 68,47}{2} = 129,4 \text{ с}$$

2.3 Перевірка двигуна за нагрівом та перевантажувальну здатність

Фактична тривалість вмикання

$$ТВ_{\phi} = \frac{t_{\phi}}{t_u} \cdot 100\% \quad (2.52)$$

$$ТВ_{\phi} = \frac{68,47}{327,27} \cdot 100\% = 20 \%$$

Розрахунковий еквівалентний момент

$$M_{EP} = \left[\left(M_{\text{СР.ПВ}}^2 \cdot t_{\text{ПВ}} + M_{\text{СР.ПО}}^2 \cdot t_{\text{ПО}} + M_{\text{ССВ}}^2 \cdot t_{\text{РВ}} + M_{\text{СР.ГВ}}^2 \cdot t_{\text{ГВ}} + M_{\text{ССО}}^2 \cdot t_{\text{РО}} + M_{\text{СР.ГО}}^2 \cdot t_{\text{ГО}} \right) \cdot \frac{1}{t_{\phi}} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2.53)$$

$$M_{EP} = \left[\left(74,1^2 \cdot 2,23 + 13,43^2 \cdot 1,3 + 25,8^2 \cdot 34,1 + 22,7^2 \cdot 2,22 + 3,8^2 \cdot 27,33 + 3,77^2 \cdot 1,29 \right) \cdot \frac{1}{68,47} \right]^{\frac{1}{2}} = 22,86 \text{ Нм}$$

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо TB_{ϕ} відрізняється від $TB_{КАТ}$, то необхідно M_{EP} привести до $TB_{КАТ}$

$$M_E = M_{EP} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\phi}\%}{TB_{КАТ}\%}}, \quad (2.54)$$

$$M_E = 22,86 \cdot \sqrt{\frac{20}{40}} = 17,6 \text{ Нм}$$

Перевіряємо умову

$$M_E \leq Z \cdot M_H, \quad (2.55)$$

$$17,6 \leq 1 \cdot 32$$

$$17,6 \leq 437,72$$

Обраний двигун МТКН11-6 пройшов за нагрівом.

Максимальний момент двигуна

$$M_{\text{мах,дв}} = \lambda \cdot M_H, \quad (2.56)$$

$$M_{\text{мах,дв}} = 2,6 \cdot 32 = 83,2 \text{ Нм}$$

Перевірка на перевантажувальну здатність виконується за наступною умовою.

$$1,3 \cdot M_{\text{мах.нагр}} \leq 0,85 \cdot Z \cdot M_{\text{мах,дв}} \quad (2.57)$$

Де $M_{\text{МАХ.НАГР}}$ - максимальний момент з навантажувальної діаграми,
 $M_{\text{ССВ}}=25,8 \text{ Нм}$;

1,3 - коефіцієнт, що враховує можливі кидки моменту при реостатному пуску;

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0,85 - коефіцієнт, що враховує зменшення максимального моменту при зниженні напруги на затисках двигуна.

$$1,3 \cdot 25,8 \leq 0,85 \cdot 1 \cdot 83,2$$

$$33,54 \leq 70,72$$

За результатами розрахунків остаточно обираю для механізму пересування візка двигун МТКН111-6.

2.4 Розрахунок і вибір гальмівного електромагніту

Перетворювач частоти без застосування додаткового гальмівного пристрою забезпечує гальмівний момент, рівний 30% від номінального (гальмування постійним струмом, гальмування магнітним потоком).

Для забезпечення режиму гальмування з підвищеним гальмівним моментом (механізми з великим моментом інерції, технологічні процеси, які вимагають від обладнання високої динаміки і швидкого гальмування, приводи, при роботі яких можливий перехід двигуна в генераторний режим) використовуються додаткові гальмівні пристрої - гальмівні переривники та гальмівні резистори.

Додаткове гальмівний пристрій складається з вбудованого гальмівного переривника і зовнішнього гальмівного резистора.

Гальмівні резистори діляться на дві категорії: призначені для легкого режиму роботи (light duty - LD) і для важкого режиму роботи (heavy duty - HD). Гальмівний резистор для легкого режиму роботи забезпечує момент гальмування, рівний номінальному протягом 5 секунд при гальмуванні від номінальної швидкості до нуля.

Гальмівний резистор для важкого режиму роботи забезпечує момент гальмування, рівний номінальному при номінальній швидкості протягом 3 секунд плюс протягом 7 секунд при гальмуванні від номінальної швидкості до нуля.

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В обох випадках робочий цикл - не частіше 1 разу на 2 хв. На невеликі потужності резистори виготовляються з алюмінієвого профілю. Резистори на великі потужності виготовляються зі сталевих пластин, при цьому вони завжди забезпечені термісторами. Всі HD резистори мають вбудований тепловий ключ - температура розчеплення 220 ° С.

Для перетворювача частоти Schneider Electric ATV 71HU40N4, згідно каталогу, необхідно вибрати гальмівний пристрій типу VW3A7802.

2.5 Вибір перетворювача

Перетворювальний пристрій виконує функції перетворення електроенергії живильної мережі до таких значень, які необхідні для нормальної роботи приводного двигуна, а також для регулювання швидкості роботи двигуна. У якості перетворювального пристрою прийнятий перетворювач частоти, на базі автономного інвертора напруги на IGBT-транзисторах з скалярною ШІМ-модуляцією.

При виборі перетворювача частоти необхідно керуватися наступними вимогами:

- висока надійність при будь-яких режимах роботи;
- простота системи керування;
- мінімально можлива вартість.

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

За своєю силовою схемою це дволанковий перетворювач типу некерований випрямляч - автономний інвертор напруги (АІН) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Силова частина АІН побудована на транзисторних модулях, в своїй основі містить транзистори типу IGBT (біполярні транзистори з ізольованим

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

затвором). Система управління перетворювачем містить вбудований пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор, параметри якого вводяться з цифрового пульта управління. Ввівши необхідні параметри можна налаштувати цей регулятор для регулювання швидкості елеватора. Завдання швидкості, і величину зворотного зв'язку можна здійснювати в аналоговому вигляді, використовуючи багатофункціональні аналогові входи. Також перетворювач дозволяє забезпечити плавний розгін і гальмування двигуна по заданих часів пуску і гальмування, що для візка важливо. Вбудовані модулі захистів містять максимально-струмовий захист двигунів, захист від перевантаження схеми по напрузі, захист від перегріву транзисторів, захист від перевантаження двигуна і інші види захистів.

Вибір перетворювача частоти необхідно здійснювати виходячи з номінальної електричної потужності і номінального струму двигуна.

Електрична потужність двигуна:

$$P_1 = \frac{P_n}{\eta_n} \quad (2.65)$$

$$P_1 = \frac{3}{0,895} = 3,35 \text{ кВт.}$$

Номінальний струм:

$$I_{c.n} = \frac{P_1}{3 \cdot 380 \cdot 0,87} \quad (2.66)$$

$$I_{c.n} = \frac{3,35}{3 \cdot 380 \cdot 0,87} = 3,4 \text{ А.}$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Номінальні дані на перетворювач.

Потужність двигуна	Перетворювач						
	Потужність перетворювача	Ном. напруга живлення	Частота живлення	Лінійний струм	Кількість фаз живлення	Ном. вихідний струм	Макс. перехідний струм
кВт	кВт	В	Гц	А	Ф	А	А
3	4	380...480	50...60	14,1	3	10,5	15,8

Номер за каталогом «ATV 71HU40N4».

Перетворювач забезпечує наступні режими роботи та управління приводних машин і механізмів:

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

Ефективність застосування такого електроприводу обумовлена:

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

Схема підключення перетворювача частоти Altivar 71 і електродвигуна МТКН111-6 представлена на рис. 2.3.

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

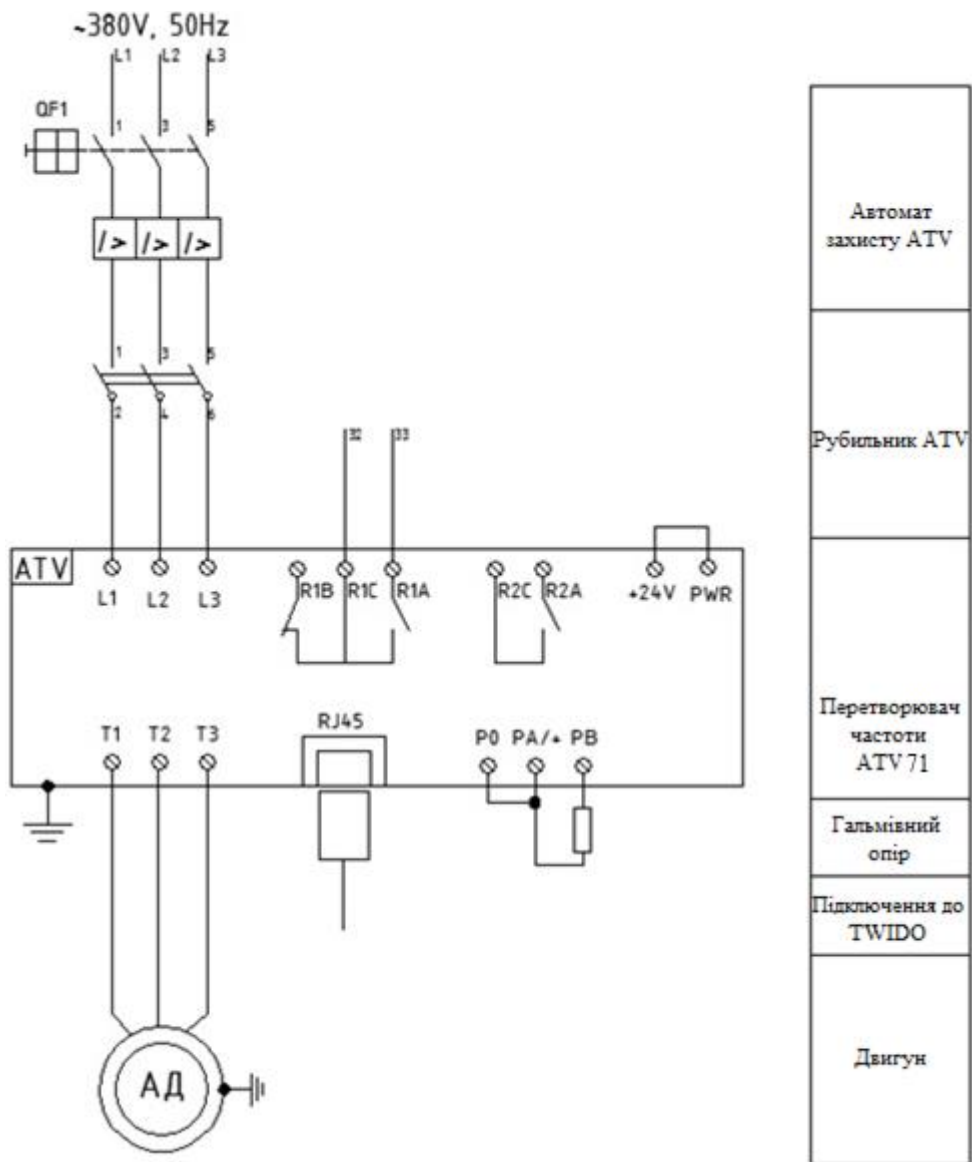


Рис.2.2 – Схема підключення перетворювача частоти та електродвигуна.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

3.1. Загальні відомості щодо метода керування асинхронним приводом

Збільшення діапазону регулювання за швидкістю АД можна отримати за рахунок введення в розглянуту систему управління негативного зворотного зв'язку за швидкістю. Функціональна схема подібної системи при живленні від ПЧ як джерела напруги наведена на рис. 3.1. Тут канал негативного зворотного зв'язку за швидкістю включає в себе тахогенератор ТГ як датчик зворотного зв'язку, вузол Σ_5 підсумовування напруги керування швидкістю АД u_y і зворотного негативного зв'язку за швидкістю $u_{o.c}$, регулятор абсолютного ковзання А5, блок БО обмеження його вихідної напруги u_{pc} , а також вузол Σ_4 підсумовування напруги u_{pc} і результуючого напруги u_{y1} , з виходу суматора Σ_1 .

У міру збільшення навантаження на валу АД (від моменту M_1 , до моменту M_1 на рис. 3.2) за рахунок зменшення швидкості АД і, отже, сигнал $u_{o.c}$ має збільшуватися сигнал неузгодженості $\delta_s = u_y - n_{o.c} \equiv \omega_{o.o} - \omega \equiv s_a$, пропорційний абсолютному ковзанню двигуна. Тут $\omega_{o.o}$ - задана швидкість ідеального холостого ходу АД, відповідна вихідного сигналу управління u_y ;

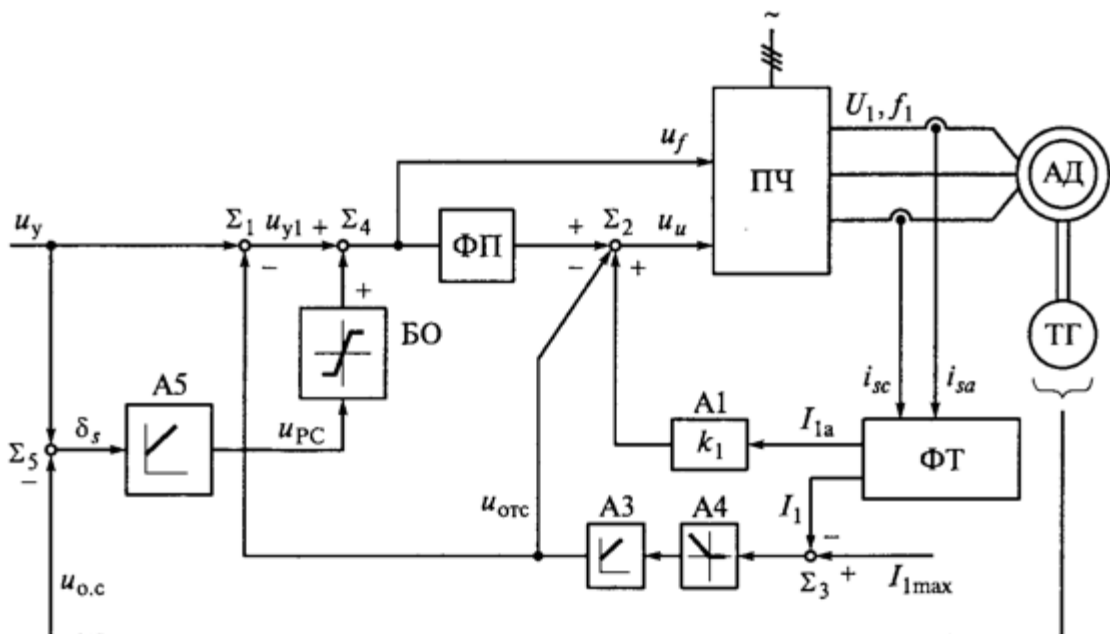


Рис.3.1. – Функціональна схема системи ПЧ-АД з зворотнім зв'язком за швидкістю

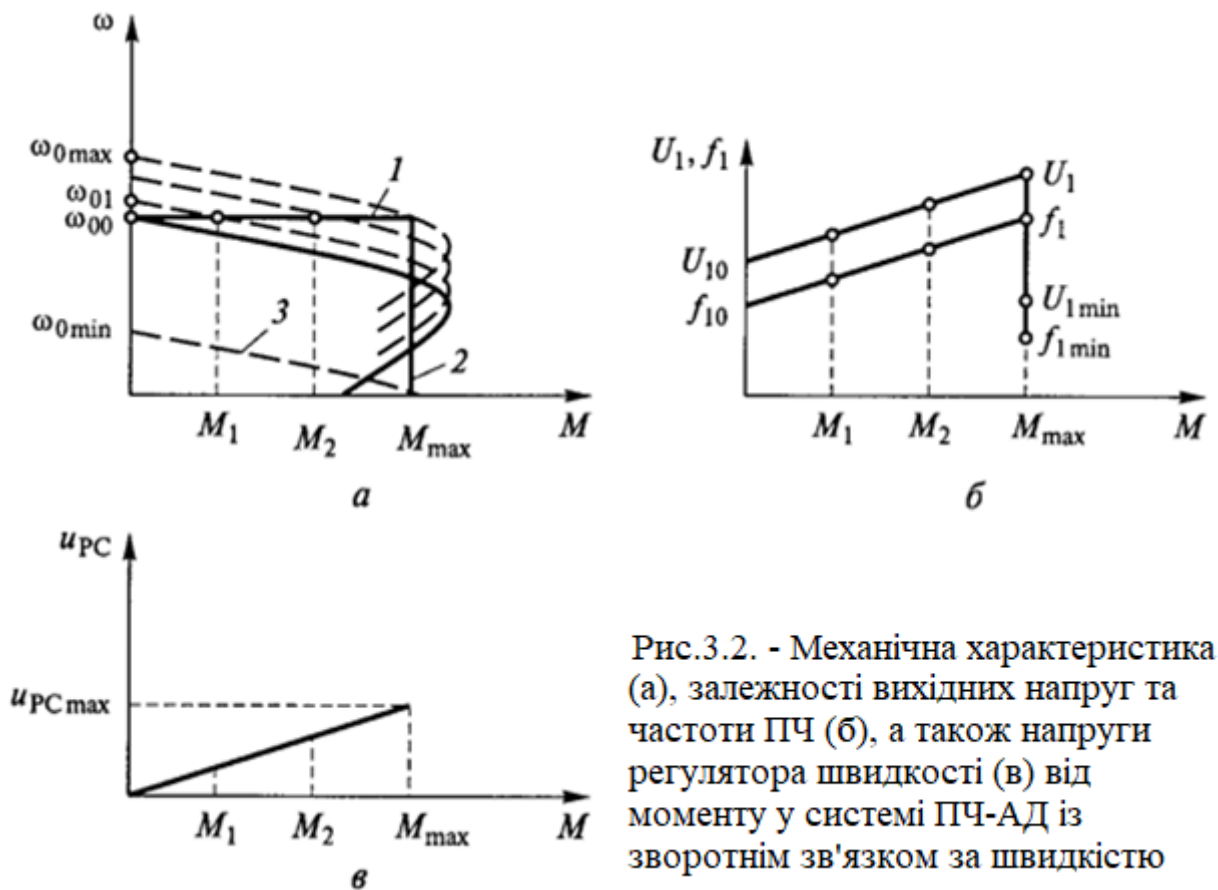


Рис.3.2. - Механічна характеристика (а), залежності вихідних напруг та частоти ПЧ (б), а також напруги регулятора швидкості (в) від моменту у системі ПЧ-АД із зворотнім зв'язком за швидкістю

ω -реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При $\delta_s \neq 0$ сигнал u_{pc} на виході регулятора ковзання, підсумовуючись з сигналом $u_{y1} = u_y$ (при $I_1 < I_{1max}$), за рахунок інтегральної складаючої передавальної функції регулятора А5 забезпечує таке збільшення сигналу управління u_f перетворювачем частоти, при якому частота вихідної напруги ПЧ стає рівною $f_{10}(1 + s_a)$. Одноразомно зі зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача ФП змінюється в порівнянні з початковою напругою U_{10} і вихідною напругою перетворювача U_1 (див. Рис. 3.2, б). При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення $\omega_{0,0}$, так як забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД (лінія 1 на рис. 3.2, а).

При перевищенні максимально допустимого струму статора АД ($I_1 \geq I_{1max}$ та, відповідно, $M \geq M_{max}$), регулятор ковзання повинен бути виключений з роботи, наприклад, шляхом обмеження його вихідного сигналу u_{pc} на рівні $u_{pc,max}$

(див. рис. 3.2, в). При цьому вступають в роботу негативні зворотні зв'язки за струмом статора з регулятором АЗ, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти і напруги статора АД до їх мінімальних значень f_{1min} та U_{1min} обмеження моменту АД при $\omega = 0$ на рівні M_{max} , (лінія 2 на рис. 3.2, а). Мінімальна синхронна швидкість двигуна $\omega_{o.min}$ буде відповідати значенням f_{1min} та U_{1min} , а механічна характеристика - лінії 3 (див. рис. 3.2, а).

3.2 Автоматична система керування швидкістю

Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складових передатних функцій регуляторів А5 і АЗ.

На рис. 3.3. представлена структурна схема лінеаризованої системи, функціональна схема якої наведена на рис. 3.1, при роботі АД на ділянці механічної характеристики в межах значень абсолютного ковзання $s_a \leq s_k$. На схемі прийняті наступні позначення.

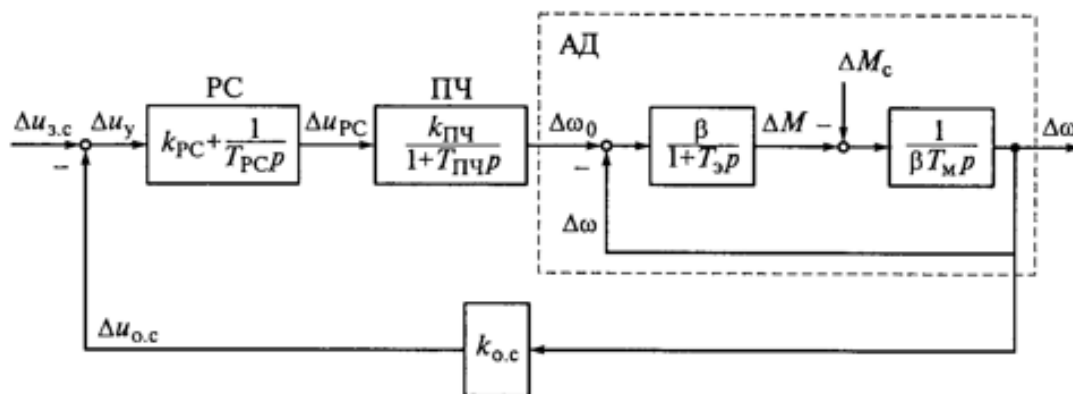


Рис.3.3 – Структурна схема системи ПЧ-АД зі зворотнім зв'язком за швидкістю

β - модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД ($\beta = 2M_k/(\omega_{o.min} s_k)$);

T_3 , - еквівалентна електромагнітна постійна часу кола статора та ротора АД,

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що визначається за формулою $T_3 = I/(\omega_{\text{эл.ном}} s_K)$, де $\omega_{\text{эл.ном}}$ - кутова швидкість електромагнітного поля АД при його номінальній частоті живлення $f_{1\text{ном}} = 50$ Гц ($\omega_{\text{эл.ном}} = 2\pi f_{1\text{ном}} = 314 \text{ с}^{-1}$.) Для АД широко промислового виконання $s_K \cong 0,05 \dots 0,5$ (менші значення характерні для потужних двигунів), $T_3 \cong (0,006 \dots 0,06) \text{ с}$;

$k_{\text{пч}}$ — передатний коефіцієнт ПЧ ($k_{\text{пч}} = \Delta\omega_0/\Delta u_{pc} = 2\pi\Delta\omega f_1/(p_u\Delta u_{pc})$).
 При роботі АД в зоні частот $f_1 \leq f_{1\text{ном}} = 50$ Гц і номінальному сигналі керування перетворювачем $u_{y.\text{пч.ном}}$ співвідношення $\Delta f_1/u_{y.\text{пч.ном}}$;

$T_{\text{пч}}$ - постійна часу ланцюга керування ПЧ, яка при високих частотах модуляції вихідного напруги промислових ПЧ (2 ... 50 кГц) не перевищує 0,001 с.

Передатна функція ПЧ-регулятора швидкості

$$W_{pc(p)} = \frac{\Delta u_{pc}}{\Delta u_y} = k_{pc} + \frac{1}{T_{пчp}} \quad (3.1)$$

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за швидкістю двигуна

$$W_{o.c(p)} = \frac{\Delta u_{o.c}}{\Delta\omega} = k_{o.c} \quad (3.2)$$

При номінальному сигналі керування електроприводом, рівному $u_{з.с.ном}$, і відповідної йому номінальної швидкості АД $k_{o.c} = \frac{u_{з.с.ном}}{\Delta\omega_{ном}}$

Відповідно до структурної схеми АД його результуюча передатна функція за відношенням до відхилення $\Delta\omega_0$

$$W_{д(p)} = \frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_0} = \frac{1}{T_3 T_M p^2 + T_M p + 1} \quad (3.3)$$

При $T_M \geq 4T_3$

$$W_{д(p)} = \frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_0} = \frac{1}{(T_{01p}+1)(T_{02p}+1)} \quad (3.4)$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де

$$\frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{2T_3} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_3}{T_M}} \right) \quad (3.5)$$

$$\frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{2T_3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_3}{T_M}} \right) \quad (3.6)$$

Якщо віднести постійні T_{02} , та $T_{пч}$ до малих некомпенсуючих постійними і в якості оцінки їх впливу прийняти $T_\mu = T_{02} + T_{пч}$ то при налагодженні електроприводу на модульний оптимум постійна інтегрування і коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора РС визначаються так:

$$T_{pc} = k_{o.c} k_{пч} a_\mu T_\mu \quad (3.7)$$

$$k_{pc} = \frac{T_{01}}{T_{pc}} \quad (3.8)$$

3.3 Розрахунок та побудова моделі

Задатчик інтенсивності

$$Kzi = \frac{10}{t} \quad (3.9)$$

$$Kzi = \frac{10}{0,164} = 61.137$$

де

$$t = j \cdot \frac{\omega_0}{M_n} \quad (3.10)$$

$$t = 0,05 \cdot \frac{104.72}{32,011} = 0,164$$

Постійна часу та коефіцієнт підсилення ПЧ

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{пч} = \frac{\omega_0}{10} \quad (3.11)$$

$$k_{пч} = \frac{104.72}{10} = 10,472$$

Коефіцієнт жорсткості механічної характеристики

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{kr}}{\omega_0 \cdot s_{kr}} \quad (3.12)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 83.229}{104.72 \cdot 0.49} = 3.247$$

Електромагнітні постійні часу двигуна

$$T_{\text{э}} = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_{kr}}, c \quad (3.13)$$

$$T_{\text{э}} = \frac{1}{104.72 \cdot 0.49} = 0.02$$

Електромеханічні постійні часу двигуна

$$T_M = 4 \cdot T_{\text{э}}, c \quad (3.14)$$

$$T_M = 4 \cdot 0.02 = 0.078$$

Коефіцієнт підсилення негативного зворотного зв'язку швидкості

$$k_{oc} = \frac{10}{\omega_0} \quad (3.15)$$

$$k_{oc} = \frac{10}{104.72} = 0,095$$

Коефіцієнт підсилення механічної частини двигуна

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{\text{мч}} = \frac{1}{\beta \cdot T_M} \quad (3.16)$$

$$k_{\text{мч}} = \frac{1}{3.247 \cdot 0.078} = 3.948$$

$$T_\mu = \frac{2 \cdot T_\Delta}{1 - \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{T_\Delta}{T_M}}} \quad (3.17)$$

$$T_\mu = \frac{2 \cdot 0.02}{1 - \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{0.02}{0.078}}} = 0.044$$

$$T_{01} = \frac{2 \cdot T_\Delta}{1 + \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{T_\Delta}{T_M}}} \quad (3.18)$$

$$T_{01} = \frac{2 \cdot 0.02}{1 + \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{0.02}{0.078}}} = 0.039$$

Постійна часу регулятора швидкості

$$T_{\text{pc}} = k_{\text{o.c}} \cdot k_{\text{пч}} \cdot a_\mu \cdot T_\mu \quad (3.19)$$

$$T_{\text{pc}} = 0,0951 \cdot 0,472 \cdot 4 \cdot 0.044 = 0.176$$

$$\frac{1}{T_{\text{pc}}} \quad (3.20)$$

$$\frac{1}{0.176} = 5.681$$

де $a_\mu = 4$;

Коефіцієнт підсилення пропорціональної частини регулятора швидкості

$$k_{\text{pc}} = \frac{T_{01}}{T_{\text{pc}}} \quad (3.21)$$

$$k_{\text{pc}} = \frac{0.039}{0.176} = 0.222$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

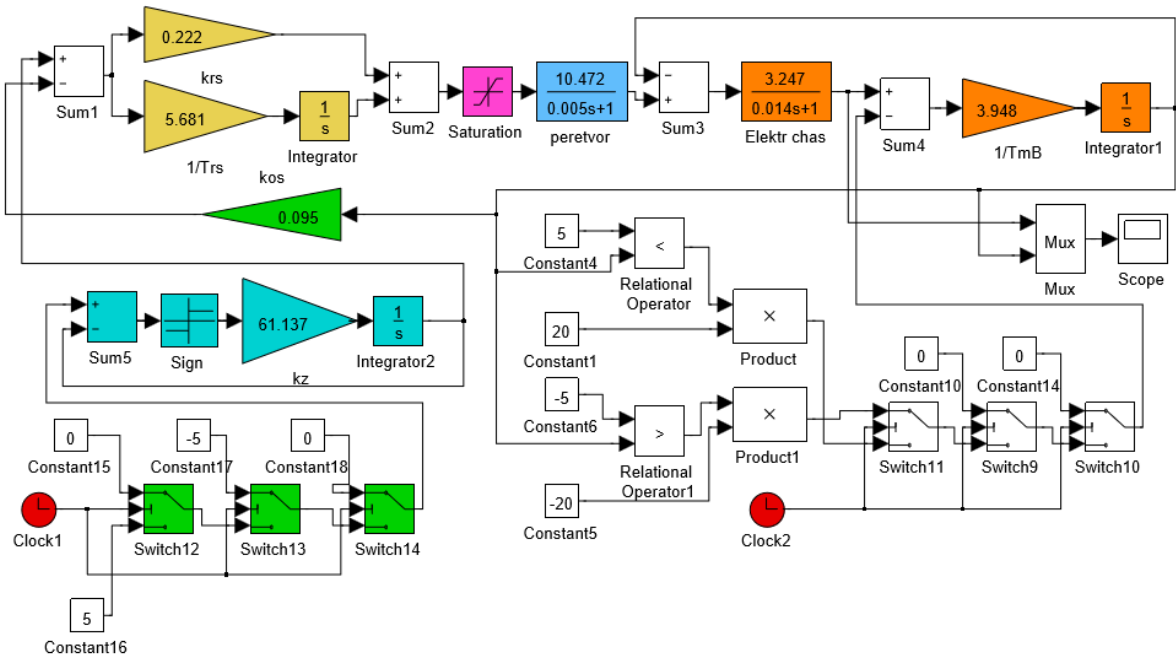


Рис.3.4 – Модель спроектованого електроприводу

3.4 Моделювання системи та аналіз результатів досліджень

Користуючись даними попереднього підпункту виконуємо дослідження таких (рис.3.5) режимів роботи спроектованого автоматизованого електропривода:

- Пуск системи із навантаженням;
- Сталій режим з роботою під навантаженням;
- Зупинка із реалізацією режиму динамічного гальмування;
- Повне стопоріння системи;
- Пуск у зворотному напрямку за незмінного навантаження;
- Сталій режим зворотного руху;
- Повторне гальмування;
- Повна зупинка системи.

Експоненціальний вигляд кривої швидкості дозволяє зробити наступний висновок – система налагоджена на модульний оптимум і забезпечує задовільну динаміку, що благотворно буде сприяти підтримки надійності механічної складової системи.

У зв'язку із тим, що система керування оформлена як одноконтурна, тобто без наявності контуру струму досягти невисокого значення перерегулювання струму, а як наслідок і моменту двигуна, не вдалось. Незважаючи на це у цілому форми і режими спроектованого приводу мають задовільний характер.

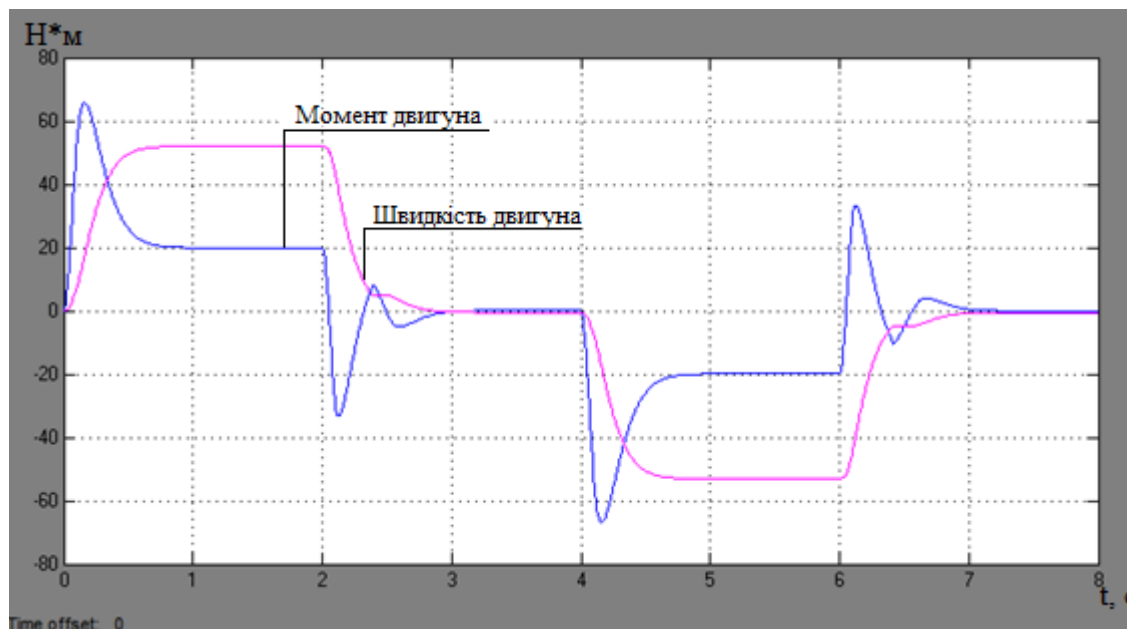


Рис.3.5 – Графіки перехідних процесів дослідження типових робочих режимів

Таким чином, за результатами досліджень системи електроприводу ПЧ-АД, асинхронний електропривод з частотним скалярним керуванням задовольняє вимогам, що пред'являються до електроприводу візка мостового крану відповідно за розділом 1.4.

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

4 ОХРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4.1 Заходи з техніки безпеки при експлуатації та ремонті електроустаткування крана

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

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

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

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

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

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

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

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

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

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

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

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

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

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

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

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

4.2 Заходи з протипожежної безпеки при експлуатації та ремонті електроустаткування крана

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

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

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

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

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

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Застосовувати пінні рідинні вогнегасники на кранах неприпустимо, тому що струмінь піни проводить струм і може викликати ураження електричним струмом людини, що працює з вогнегасником. Крім того, піна містить їдкі речовини і при попаданні на працюючих може призвести до опіків шкіри і псування одягу.

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

4.3 Розрахування заземлення електроустановки

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

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

4.2.1 Визначаю струм замикання на землю;

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

де U_{ϕ} – фазна напруга мережі $U_{\phi}=380\text{В}$, кВ; $I_{к.л.}$ – довжина електрично зв'язаних кабельних ліній, $I_{к.л.}=2.2$ км; $I_{в.л.}$ – довжина електрично зв'язаних повітряних ліній, $I_{в.л.}=6$ км.

$$I_3 = \frac{3 \cdot 380}{350} (3,5 \cdot 2,2 + 6) = 25,76, \text{ А}$$

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

Опір природного заземлювача $R_{п} = 10,9$ Ом.

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2.3 Визначається необхідний опір штучних заземлювачів;

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

$$R_{и} = \frac{7,69 \cdot 4}{7,69 - 4} = 8,34 \text{ Ом}$$

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

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

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

4.2.6 Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту для однорідного ґрунту;

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

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

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

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

4.2.7 Визначаю опір одиночного вертикального заземлювача;

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

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $t_0 = 0.7$ м – мінімальна відстань від землі до вертикального електрода;

l – довжина вертикального заземлювача, $l = 3$ м;

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

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

Визначаємо опір горизонтального електрода;

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

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

l – довжина горизонтального заземлювача, $l = 18$ м;

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

$$R_\Gamma = \frac{225}{2 \cdot 3,14 \cdot 18} \cdot \ln \frac{25^2}{0,035 \cdot 0,7} = 12,22 \text{ Ом}$$

Тоді розрахунковий опір заземлювача буде визначений за формулою;

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

де $\eta_\Gamma = 0.84$ – Коефіцієнт використання горизонтального смугового електрода;

$\eta_B = 0.77$ – Коефіцієнт використання вертикального смугового електрода;

$$R = \frac{63,93 \cdot 12,22}{63,93 \cdot 0,72 + 12,22 \cdot 0,65 \cdot 6} = 8,34 \text{ Ом}$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

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

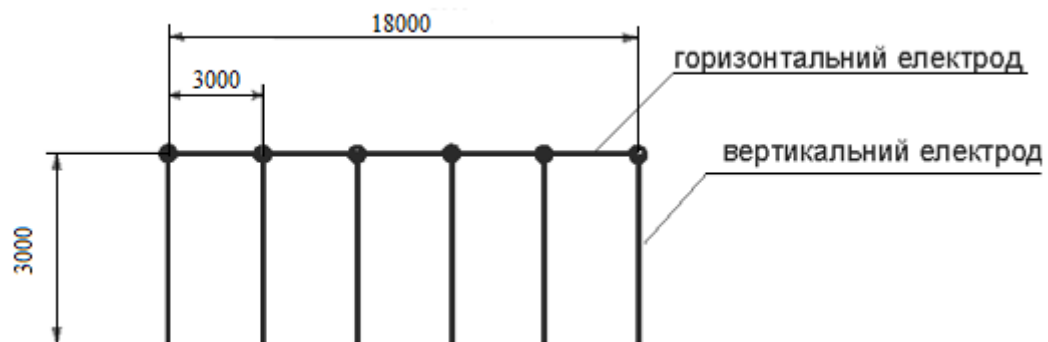


Рис.4.1 – План заземлюючого пристрою

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1 Вступ

Основним завданням техніко-економічного обґрунтування є доведення економічної доцільності використання тиристорного перетворювача для управління електричним двигуном приводу переміщення возика мостового крану.

Проектним рішенням запропоновано модернізувати систему електропривода на більш сучасну, використовуючи тиристорний перетворювач. Це технічне рішення сприятиме зниженню витрат на обслуговування електродвигуна, підвищить надійність роботи системи у цілому, відповідно зменшиться споживання електроенергії приводом переміщення .

Застосування електродвигуна керованого за допомогою тиристорного перетворювача не тільки покращить швидкодію та точність роботи двигуна, що в свою чергу позитивно вплине на конкурентоспроможність продукції, а й поліпшить техніко-економічні показники.

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

5.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні вкладення - це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні вкладення реалізації проекту включають в себе:

- витрати на придбання обладнання;
- витрати на монтаж та налагодження обладнання;

Підрахунок витрат здійснюється на основі цін, наведених в прайс-лист виробників обладнання та інших довідкових матеріалів.

Для визначення проектних капіталовкладень використовується формула:

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

$$K_{\text{пр}} = 8\,700 + 23\,535,71 + 3\,673,21 + 2\,953,06 + 572 + 211,464 = 39\,645,44$$

де $K_{\text{об}}(\sum_{i=1}^k C_i)$ – вартість придбання електрообладнання;

k - кількість необхідних комплектуючих елементів, од.;

$Z_{\text{тзс}}$ – транспортно-заготівельні та складські витрати, грн;

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

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

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

5.2.1 Витрати на придбання обладнання

Ціни на комплектуючі елементи взяті з офіційних сайтів виробників або сертифікованих виробником дилерів. Також вказано місце знаходження офісів дилерів та назви підприємств.

						Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	

Таблиця 5.1 – Зведення капітальних витрат, грн

№	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість, шт.	Вага, кг.	Ціна за одиницю, грн.	Постачальник
1	Асинхронний двигун МТКН-111-6	1	85	8 700	ООО "НПП "ГлобалПром" https://globalprom.com.ua/page/contact-us м. Київ. вул. Передова, 27
2	Перетворювач частоти Altivar 71	1	4,2	23 535,71	ООО "Грин Пауер" https://luxelectro.com.ua м. Київ, вул. Вікентія Хвойки, д. 10
3	Гальмівний Резистор VW3A7701	1	1,9	3 673,21	ТОВ «Виробнича група «Техінсервіс» net@techinservice.com.ua м. Київ пр. Макіївський, 1
4	Кошти на монтажно-налагоджувальні роботи	1		572	
5	Кошти транспортно-заготівельні	1		2 953,06	
6	Усього капітальних витрат			39645,44	

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат ($Z_{тзс}$) визначається виходячи з:

Транспортно-заготівельні і складські витрати розраховуємо згідно прейскуранта цін фірми «AURORA TRANS» (<https://avrora-trans.com/services/ukraine>) станом на 09.05.2019:

						Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	

Машина з тентом вантажопідйомністю до 1т ваги, тариф перевезення 6.2 грн/км .

Відстань між Києвом та Дніпром: 476,3 км.

Таким чином, загальна сума дорівнює:

$$K_{\text{ТЗС}} = 6.2 \cdot 476.3 = 2\,953,06 \text{ грн.} \quad (5.2)$$

5.2.2 Витрати на монтаж та налагодження

Витрати на монтажні (Z_M) і на налагоджувальні роботи (Z_H) можна визначити наступним чином:

$$Z_M = \sum(C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{\text{сз}} \cdot K_{\text{пр}} \quad (5.3)$$
$$Z_M = \sum(2 \cdot 17.4 \cdot 8) \cdot 1.1 \cdot 1.35 \cdot 1 = 572 \text{ грн.}$$

$$Z_H = \sum(C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{\text{сз}} \cdot K_{\text{пр}} \quad (5.4)$$
$$Z_H = \sum(1 \cdot 17.4 \cdot 8) \cdot 1.1 \cdot 1.35 \cdot 1 = 211.464 \text{ грн.}$$

де C_i – чисельність робітників 3 - го розряду, необхідних для виконання монтажних і налагоджувальних робіт, чол.

a_i - годинна тарифна ставка робітника 3 - го розряду, грн.

t_i – час, необхідний для виконання монтажних і налагоджувальних робіт, год.

K_d – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{\text{сз}}$ – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних і налагоджувальних робіт.

5.3. Розрахунок експлуатаційних витрат

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування (проектний і базовий варіанти) за рік:

$$C_{\text{пр}} = C_a + C_z + C_c + C_T + C_{\text{э}} + C_{\text{пр}} \quad (5.5)$$

$$C_{\text{пр}} = 7\,929,09 + 150\,574,82 + 33\,126,46 + 8\,126,1 + 36\,338,4 + 5\,475,45 = \\ = 241\,570,32 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{баз}} = C_a + C_z + C_c + C_T + C_{\text{э}} + C_{\text{пр}} \quad (5.6)$$

$$C_{\text{баз}} = 6\,691,4 + 142\,637,88 + 31\,380,34 + 14\,532,14 + 59\,136 + 5\,168,83 = \\ = 259\,546,59 \text{ грн.}$$

C_a - амортизаційне відрахування, грн;

C_z - заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн;

C_c - відрахування на соціальні заходи від заробітної плати, грн;

C_T - витрати на тех.обслуговування і поточний ремонт обладнання, грн;

$C_{\text{э}}$, вартість електроенергії споживаної об'єктом проектування, грн;

$C_{\text{пр}}$ інші експлуатаційні витрати, грн.

5.3.2. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Таблиця 5.2 – Амортизаційні відрахування

№	Найменування показників	Капітальні витрати, грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
1.	Проектний варіант	39 645,44	20	7 929,09
2.	Базовий варіант	33 457	20	6 691,4

Базовий варіант включає вартість асинхронного двигуна з фазним ротором, навантажувальних резисторів і периферії для нього.

5.3.3. Розрахунок річного фонду заробітної плати

Таблиця 5.3 – Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу за проектним варіантом

№ п/п	Найменування професій працівників	Явочний штат в зміну, чол.	Годинна тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, ч.	Разом, основна зарплата за тарифом, грн.
1.	Оператор	1	30,20	860	25 972
2.	Наладчик	1	28,45	860	24 467
3.	Слюсар	2	25,13	1 720	86 447,2
	ВСЬОГО		-	-	136 886,2

Таблиця 5.4 – Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу по базовому варіанту

№ п/п	Найменування професій працівників	Явочний штат в зміну, чол.	Годинна тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, ч.	Разом, основна зарплата за тарифом, грн.
1.	Слюсар	3	25,13	1 720	129 670,8
	ВСЬОГО		-	-	129 670,8

Загальна величина річного фонду заробітної плати становить:

$$C_{з.пр} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (5.7)$$

$$C_{з.пр} = 136\,886,2 + 13\,688,62 = 150\,574,82 \text{ грн.}$$

$$C_{з.баз} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (5.8)$$

$$C_{з.баз} = 129\,670,8 + 12\,967,08 = 142\,637,88 \text{ грн.}$$

де $Z_{осн}$ - основна заробітна плата, грн;

$Z_{доп}$ - додаткова заробітна плата (10% від основної), грн.

5.3.4. Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати: 22%

$$C_{с.проект} = 0,22 \cdot C_{з.пр} \quad (5.9)$$

$$C_{с.проект} = 0,22 \cdot 150\,574,82 = 33\,126,46 \text{ грн.}$$

$$C_{с.баз} = 0,22 \cdot C_{з.баз} \quad (5.10)$$

$$C_{с.баз} = 0,22 \cdot 142\,637,88 = 31\,380,34 \text{ грн.}$$

5.3.5. Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт

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

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{\text{т.р.пр}} = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi}) \quad (5.11)$$

$$Z_{\text{т.р.пр}} = \left(25,13 \cdot (1,2 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 15 \cdot 0,1) \cdot 3,1 \cdot 6 + \frac{3 \cdot 300 \cdot 1}{150 \cdot 000} \cdot 8 \cdot 050 \right) + \\ \left(28,45 \cdot (1,2 \cdot 4 + 7 \cdot 1 + 15 \cdot 0,2) \cdot 2,2 \cdot 4 + \frac{2 \cdot 800 \cdot 1}{180 \cdot 000} \cdot 8 \cdot 050 \right) = 8 \cdot 126,1 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{т.р.баз}} = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi}) \quad (5.12)$$

$$Z_{\text{т.р.баз}} = \left(25,13 \cdot (1,2 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 15 \cdot 0,1) \cdot 3,1 \cdot 8 + \frac{9 \cdot 100 \cdot 1}{122 \cdot 000} \cdot 7 \cdot 350 \right) + \\ \left(25,13 \cdot (1,2 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 15 \cdot 0,1) \cdot 3,1 \cdot 8 + \frac{6 \cdot 600 \cdot 1}{122 \cdot 000} \cdot 7 \cdot 350 \right) = 14 \cdot 532,14 \text{ грн.}$$

де 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 в залежності від виду ремонту ч/од.:

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

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

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

Π_i - кількість однотипних замінних елементів;

T_i - середній термін служби деталей даного типу, г.;

T_{ϕ} - число годин роботи апаратури в рік, г.

5.3.6. Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року,

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначається виходячи з його встановленої потужності і річного фонду робочого часу об'єкта проектування за формулою (для проектного і базового варіантів):

$$C_{e \text{ пр}} = W_p \cdot C_e \quad (5.13)$$

$$C_{e \text{ пр}} = 3,5 \cdot (24 \cdot 365 - 2580) \cdot 1,68 = 36 \, 338,4 \text{ грн.}$$

$$C_{e \text{ баз}} = W_p \cdot C_e \quad (5.14)$$

$$C_{e \text{ баз}} = 5 \cdot (24 \cdot 365 - 1720) \cdot 1,68 = 59 \, 136 \text{ грн.}$$

де W_p – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт·ч;

C_e – тариф на електроенергію станом на 29.05.2019, 1,68 грн./кВт·ч; Джерело - <http://www.nerc.gov.ua/?id=15013>

5.3.7. Визначення інших витрат

Інші витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$Z_{\text{пр проект}} = 5 \, 475,45 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{пр баз}} = 5 \, 168,83 \text{ грн.}$$

5.4. Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування

Повна річна економія від впровадження варіанту визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$E = C_{\text{баз}} - C_{\text{пр}} \quad (5.15)$$

$$E = 259 \, 546,59 - 241 \, 570,32 = 17 \, 976,27 \text{ грн.}$$

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок:

У розрахунках цього 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 апаратури автоматики і систем автоматизації, річній економії від впровадження прийнятого технічного рішення, коефіцієнта ефективності капітальних витрат, терміну окупності капітальних витрат.

Річна економія від модернізації пропонованого устаткування складає 17 976,27 гривень.

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

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

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

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

У розділі економіки шляхом розрахунків встановлена доцільність обраної техніки.

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

						Арк.
					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Колб А.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навч. посібник. Д.: НГУ. – 2006.
2. Вешевский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977. – 432 с.
3. Яуре Я.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.
4. Народицкий А.Г. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов, М.: Энергия. 2004. 224 с.
5. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий/Под ред. М. Г. Зимейкова, Г. В. Розейберга, Е. М. Феськова. М.: Энергоатомиздат, 1983. 480 с.
6. Справочник по кранам. В 2 т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов [Текст]Т. 2. / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин, 1988. - 559 с.
7. Системы управления электроприводов, Терехов В. М., 2005. – 189 с.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Минэнерго СССР.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-180с.
9. ГОСТ 12. 1. 030–81. ССБТ. Электробезопасность, защитное заземление, зануление. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 9 с.
10. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів галузі знань 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач: Н. В. Дементьева – Дніпропетровськ: НТУ "Дніпровська політехніка", 2019. – 18 с.

					ЕП.ПД.19.19.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Алгоритм розрахунку лінійної моделі системи автоматичного управління .

Паспортні дані двигуна: **МТКН-111-6**

$\lambda := 2.6$		Перевантажувальна здатність
$P_n := 3$		Потужність двигуна, кВт
$N_{sn} := 1000$		Сінхронна частота обертання, об/мин
$j := 0.05$		Момент інерції двигуна, Нм
$s_n := 0.105$		Номінальне ковзання
$s_{kr} := s_n + \frac{1}{\lambda}$	$s_{kr} = 0.49$	Критичне ковзання
$N_n := N_{sn} \cdot (1 - s_n)$	$N_n = 895$	Номінальна частота обертання двигуна, об/мин
$M_n := 9550 \cdot \frac{P_n}{N_n}$	$M_n = 32.011$	Номінальний момент двигуна, Нм
$M_{kr} := \lambda \cdot M_n$	$M_{kr} = 83.229$	Критичний момент, Нм
$\omega_0 := \frac{\pi \cdot N_{sn}}{30}$	$\omega_0 = 104.72$	Сінхронна швидкість ротора, р ⁻¹

1 Розрахунок пускових характеристик

$s_{\omega} := 0.01, 0.02.. 1$ Змінна поточного ковзання

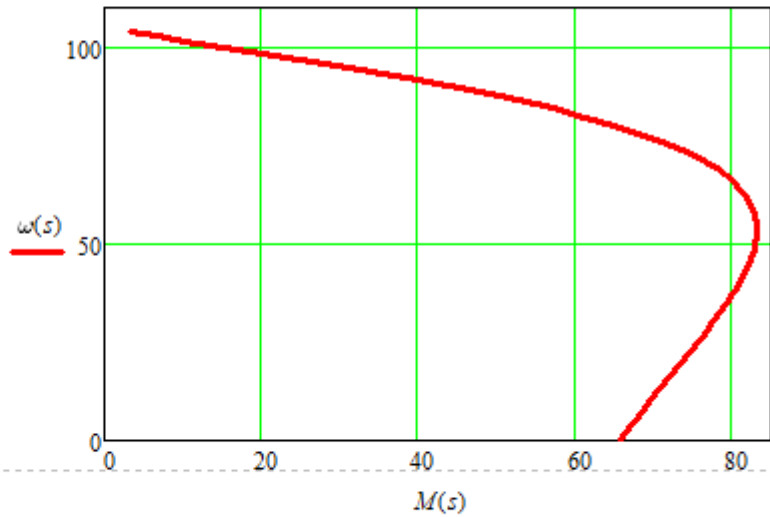
$$M(s) := \frac{2 \cdot M_{kr}}{\frac{s}{s_{kr}} + \frac{s_{kr}}{s}}$$

Рівняння Клоса, Нм

$$\omega(s) := \omega_0 \cdot (1 - s)$$

Рівняння поточної швидкості двигуна, р⁻¹

$M(s) =$	$\omega(s) =$
3.398	103.673
6.788	102.625
10.161	101.578
13.509	100.531
16.823	99.484
20.097	98.437
23.322	97.389
26.491	96.342
29.598	95.295
32.636	94.248
35.601	93.201
38.485	92.153
41.286	91.106
43.999	90.059
46.621	89.012
...	...



2 Розрахунок моделі

$$t := j \cdot \frac{\omega_0}{M_{\eta}}$$

$$K_{zi} := \frac{10}{t}$$

$$K_{zi} = 61.137$$

Задавач інтенсивності

$$T_{m\mu} := 0.005$$

$$k_{m\mu} := \frac{\omega_0}{10}$$

$$k_{m\mu} = 10.472$$

Постійна часу та коефіцієнт підсилення ПЧ

$$\beta := \frac{2 \cdot M_{kr}}{\omega_0 \cdot s_{kr}}$$

$$\beta = 3.247$$

$$\alpha_{\mu} := 4$$

Коефіцієнт жорсткості мех. характеристики

$$T_3 := \frac{1}{\omega_0 \cdot s_{kr}}$$

$$T_3 = 0.02$$

Електромагнітна постійна часу двигуна, с

$$T_M := 4T_3$$

$$T_M = 0.078$$

Електромеханічна постійна часу двигуна, с

$$k_{oc} := \frac{10}{\omega_0}$$

$$k_{oc} = 0.095$$

Коефіцієнт підсилення негативного зворотнього зв'язку швидкості

$$\frac{1}{\beta \cdot T_M} = 3.948$$

Коефіцієнт підсилення механічної частини двигуна

$$T_{\mu} := \frac{2T_3}{1 - \sqrt{1 - 4 \frac{T_3}{T_M}}} + T_{m\mu}$$

$$T_{\mu} = 0.044$$

$$T_{OI} := \frac{2T_3}{1 + \sqrt{1 - 4 \frac{T_3}{T_M}}}$$

$$T_{pc} := k_{oc} \cdot k_{m\mu} \cdot T_{\mu} \cdot \alpha_{\mu}$$

$$T_{pc} = 0.176$$

$$\frac{1}{T_{pc}} = 5.681$$

Коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора швидкості

$$k_{pc} := \frac{T_{OI}}{T_{pc}}$$

$$k_{pc} = 0.222$$

Коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора швидкості

