

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

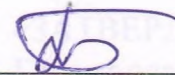
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

«15» 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

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

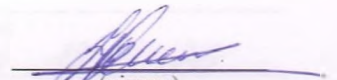
освітня програма Електротехніка та електротехнології
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизований електропривод шахтного конвеєра

Виконав: студент IV курсу, групи 4311

Іванський Олександр Арсенович

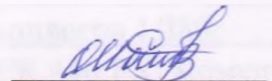
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник доц. каф. автоматики, к.е.н., доц.

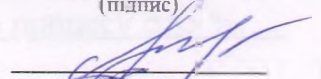
Майборода О. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Нормоконтроль ст. викладач Савченко О. В.

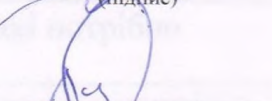
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,

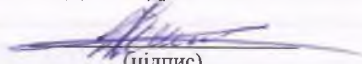
доц. Новогрецький С. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 року

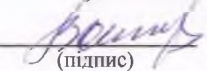
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(код і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)
Освітня програма «Електротехніка та електротехнології»
(назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми,

к.т.н., доцент


(підпис)

О. Г. Васильєв

16 02 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра студенту

Іванському Олександрю Арсеновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизований електропривод шахтного конвеєра

керівник роботи Майборода О. В., к.е.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти

№ 285-УЧ. 619 22.04.16

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики стрічкового конвеєра 1Л80:

електродвигун AB250S6; перетворювач частоти MICROMASTER 440 FX; момент інерції механізму $J_{\text{мех}}=4,62 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; показники якості перехідного процесу $\sigma < 5 \%$.

$t_p \leq 6 \text{ с}$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1. Опис стрічкового конвеєра

4.2. Функціональна схема та вибір елементів автоматизованого електропривода

4.3. Математичний опис та дослідження динаміки автоматизованого

електропривода

4.4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

5.1. Загальний вигляд стрічкового конвеєра

5.2. Функціональна схема автоматизованого електропривода

5.3. Структурна схема автоматизованого електропривода

5.4. Дослідження динаміки

6. Консультанти розділів роботи

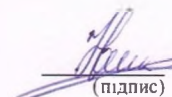
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Майборода О. В., доцент кафедри автоматики		

7. Дата видачі завдання _____

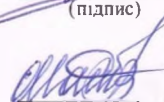
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування актуальності проблеми, що розглядатиметься; визначення основної мети та завдань кваліфікаційної роботи. Вимоги до оформлення пояснювальної записки та графічної частини.		
2	Короткий огляд літератури за темою дослідження. Опис об'єкта керування.		
3	Побудова функціональної схеми автоматизованого електропривода. Розрахунок та вибір його елементів.		
4	Математичний опис автоматизованого електропривода. Налаштування контурів регулювання.		
5	Дослідження динаміки автоматизованого електропривода в MATLAB.		
6	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини. Підготування доповіді.		

Студент

 Іванський О. А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник
роботи

 Майборода О. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 53 с., 4 р., 27 рис., 4 табл., 1 дод., 14 джерел.

Ключові слова: асинхронний електропривод, стрічковий конвеєр, перехідна характеристика, частотне керування.

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в асинхронному електроприводі стрічкового конвеєра.

Мета роботи – синтез системи керування асинхронного електропривода стрічкового конвеєра.

Методи дослідження – моделювання перехідних процесів в асинхронному електроприводі стрічкового конвеєра з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто обладнання для транспортування вантажів, наведено технічні характеристики стрічкового конвеєра 1Л80 та його електрообладнання. У розділі 2 наведено функціональну схему автоматизованого електропривода та обґрунтовано вибір його елементів. Розглянуто схему підключення перетворювача частоти. Розділ 3 містить математичний опис автоматизованого електропривода, розрахунок параметрів його елементів. Досліджено динаміку електропривода за допомогою MATLAB. В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці. Додаток містить слайди мультимедійної презентації.

ABSTRACT

Qualification work: 53 pages, 4 chapters, 27 figures, 4 tables, 1 appendix, 8 references.

Keywords: asynchronous electric drive, belt conveyor, frequency control, transient response.

Object of study – transient processes in the asynchronous electric drive of a belt conveyor.

Purpose of the work – synthesis of the control system for the asynchronous electric drive of a belt conveyor.

Research methods – modeling of transient processes in the asynchronous electric drive of a belt conveyor using modern automatic control theory and electric drive theory, simulation modeling in MATLAB, processing, and analysis of the obtained results.

Chapter 1 considers equipment for cargo transportation and presents the technical characteristics of the 1L80 belt conveyor and its electrical equipment.

Chapter 2 presents the functional diagram of the automated electric drive and justifies the choice of its elements. The connection diagram of the frequency converter is also considered.

Chapter 3 contains a mathematical description of the automated electric drive and the calculation of its components' parameters. The dynamics of the electric drive are investigated using MATLAB.

Chapter 4 covers occupational health and safety issues. The appendix contains slides of the multimedia presentation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОПИС СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.....	7
1.1 Огляд обладнання для транспортування вантажів	7
1.2 Технічні характеристики стрічкового конвеєра 1Л80.....	11
1.3 Склад електрообладнання конвеєра.....	13
2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ	
АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	17
2.1 Функціональна схема автоматизованого електропривода	17
2.2 Обґрунтування вибору елементів.....	20
2.3 Розробка схеми підключення перетворювача частоти	31
3 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ	
АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	34
3.1 Побудова структурної схеми	34
3.2 Розрахунок параметрів елементів структурної схеми.....	35
3.3 Побудова моделі та аналіз якості керування автоматизованого електропривода в MATLAB	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів.....	44
4.2 Пожежна безпека.....	46
4.3 Заходи що до техніки безпеки.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54
ДОДАТОК А Мультимедійна презентація.....	55

ВСТУП

Актуальність теми. Стрічковий конвеєр є найбільш поширеним типом транспортуючих машин на виробництві, він слугує для переміщення насипних або штучних вантажів. Конвеєр здобув поширення на промислових виробництвах в рудниках та шахтах, в сільському господарстві. Дане вантажопідйомне обладнання може бути спроектоване, беручи до уваги вимоги до об'єктів різної структури. Відмінною особливістю конвеєра є безперервність робочого режиму, а завдяки гнучкій системі керування забезпечується безперебійність і ефективність роботи.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є синтез системи керування автоматизованого електропривода стрічкового конвеєра. Для досягнення зазначеної мети в кваліфікаційній роботі було визначено наступні завдання:

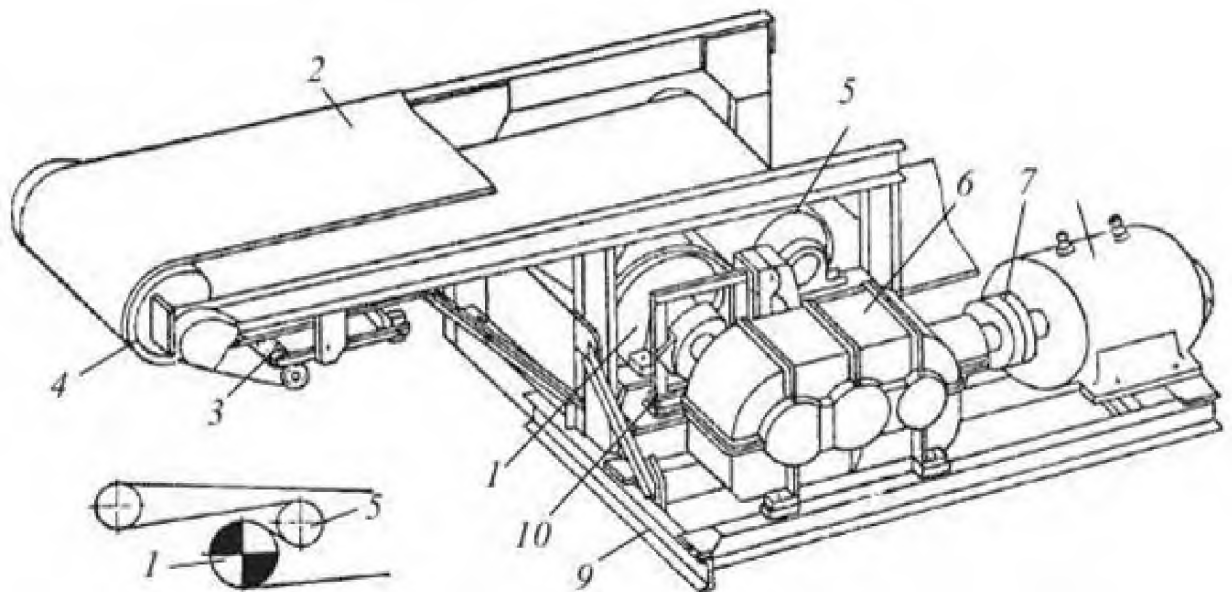
- 1) розглянути обладнання для транспортування вантажів, навести технічні характеристики стрічкового конвеєра 1Л80 та проаналізувати склад його електрообладнання;
- 2) скласти функціональну схему автоматизованого електропривода та обґрунтувати вибір її елементів. Розглянути схему підключення перетворювача частоти;
- 3) навести математичний опис об'єкта керування, елементів системи керування та виконати розрахунок їх параметрів;
- 4) дослідити динаміку автоматизованого електропривода.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси в асинхронному електроприводі механізму стрічкового конвеєра. Предмет роботи – параметри регулятора швидкості асинхронного електропривода стрічкового конвеєра, які впливають на якість керування.

1 ОПИС СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

1.1 Огляд обладнання для транспортування вантажів

1.1.1 Приводна станція. Приводна станція являє собою розбірну металоконструкцію, призначену для установки на ній приводних, притискних, відхиляючих, розвантажувальних барабанів, приводних блоків, натяжних пристроїв (якщо вони монтуються в приводу), очищувачів стрічки і барабанів, а також закріплення на ній канатів або лінійних секцій став. За конструктивним виконанням приводні станції розрізняються залежно від числа приводних барабанів. Приводні станції є, як правило, головними, за винятком бремсбергових конвеєрів, у яких привід може монтуватися як в головний, так і в хвостовій частинах конвеєра. На рисунку 1.1 наведено основні елементи однобарабанної приводної станції.



- 1 – приводний барабан; 2 – стрічка; 3 – пристрій для очищення стрічки;
 4 – розвантажувальний барабан; 5 – відхиляючий барабан; 6 – редуктор;
 7 – муфта; 8 – двигун; 9 – рама привода; 10 – гальма

Рисунок 1.1 – Основні елементи однобарабанної приводної станції

1.1.2 Редуктор. Для забезпечення ефектності і надійності в роботі застосовуються – редуктори привода стрічкових конвеєрів, що відрізняються надійністю і міцністю. На будь-якому конвеєрі не тільки стрічковому, а й інших видах можна побачити редуктори, які встановлюються на вал електродвигуна. Застосування редуктора дозволяє добитися стабільності в роботі агрегату, регулювати швидкість і плавність руху стрічки транспортера, і в потрібний момент знизити або збільшити обороти. Багато стрічок транспортерів переміщують вантажі в горизонтальному напрямку. Існують також моделі які піднімають вантаж майже під кутом в 90 градусів.

1.1.3 Барабани. За технологічним призначенням барабани поділяють на приводні, притискні, відхиляючі, розвантажувальні кінцеві, натяжні. Приводний барабан призначений для передачі тягового зусилля двигуна конвеєрній стрічці за рахунок сил тертя між стрічкою і футеровкою барабана. Для збільшення тягової здатності приводного барабана на поверхні обичайки роблять перехресні насічки або футерують його негорючої гумою. Притискний барабан служить для збільшення кута обхвату приводного барабана стрічкою, за рахунок чого збільшується тягове зусилля привода. Натяжна барабан призначений для натягу стрічки конвеєра і встановлюється на направляючих для його переміщення за допомогою гвинтів, ручних лебідок або лебідок з електроприводом. Розташований на кінцевій секції натяжна барабан служить також для зміни напрямку руху стрічки. Відхиляючий, розвантажувальний і кінцевий барабани служать для зміни напрямку руху стрічки. Крім того, на розвантажувальному барабані відбувається розвантаження стрічки конвеєра. Всі барабани, крім приводних, не мають футерування і насічки на футерівці.

1.1.4 Гідромуфта. Гідромуфта (турбомуфти) призначена для передачі крутного моменту від електродвигуна до редуктора. При цьому вона забезпечує плавний пуск конвеєра, розподіл потужності між електродвигуном і вирівнювання окружних швидкостей приводних барабанів в багатоприводних конвеєрах, захист електродвигуна і складових одиниць конвеєра від перевантажень під час роботи.

Принцип роботи всіх типів гідромуфт однаковий і полягає в тому, що в гідромуфті крутний момент передається завдяки зміні моменту кількості руху робочої рідини, що протікає в робочих колесах.

1.1.5 Гальмівні пристрої. Для оперативного і аварійного гальмування конвеєра застосовуються колодкові гальмівні пристрої, якими обладнуються всі конвеєри, що працюють у виробках з кутом нахилу понад 6° . Приводом колодкового гальма може бути електромагніт типу КМТ або штовхач електрогідравлічний типу ТЕГ. Останній застосовується в основному на потужних конвеєрах з метою зменшення динамічних навантажень в приводі конвеєра при гальмуванні, так як вони забезпечують більш плавне накладання гальм, ніж електромагніти. Зовнішній вигляд гальмівного пристрою наведено на рисунку 1.2.

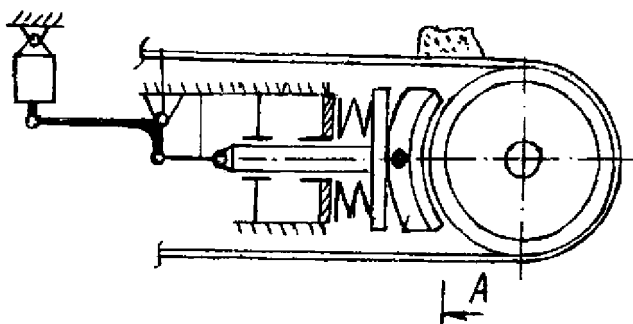
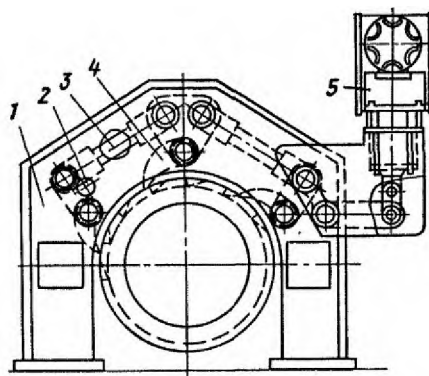


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд гальмівного пристрою

1.1.6 Храповий останов. Храповий останов служить для утримання стрічки з вантажем від зворотного ходу при зупинці конвеєра, що працює під нахилом. Він являє собою товарну раму 1 з встановленими в ній важелями 2, собачками 4, з'єднаними між собою тягами 3. При пуску конвеєра включається електромагніт 5, осердя якого піднімається у верхнє положення і впливає на систему важеля, за допомогою якої зуби собачок виводяться із зачеплення з зубами храпового колеса, насадженого на вал барабана. При зупинці конвеєра електромагніт відключається, сердечник під власною вагою опускається в нижнє положення і опускає собачки на зуби храпового колеса. При повній зупинці конвеєра одна з собачок входить в

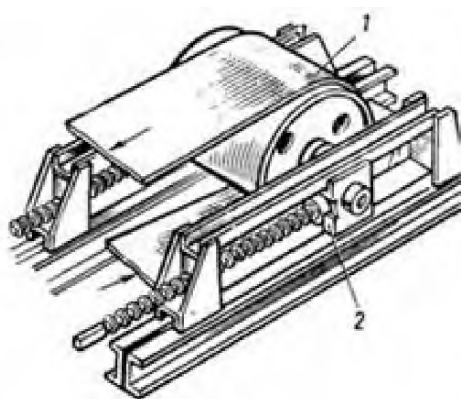
зачеплення з храповим колесом і стрічка з вантажем утримується від зворотного руху. Загальна будова храпових останов наведено на рисунку 1.3.



1 – товарна рама; 2 – важелі; 3 – тяги; 4 – собачки; 5 – електромагніт

Рисунок 1.3 – Загальна будова храпових останов

1.1.7 Натяжні станції. Натяжні станції являють собою розбірну металоконструкцію, призначену для натягу стрічки і установки на ній відхиляючих, розвантажувальних (у бремсбергових конвеєрів), натяжних барабанів, механізмів натягу і контролю натягу стрічки, очищувачів стрічки і барабанів, а також кріплення канатів і лінійних секцій ставаницей, що вони встановлюються під кутом $0-45^\circ$ по відношенню до осі конвеєра в горизонтальній площині. Для очищення барабанів застосовують скребки, у яких замість гуми встановлений металевий ніж. Загальну будову натяжної станції наведено на рисунку 1.4.



1 – натяжний барабан; 2 – механізм натягу

Рисунок 1.4 – Загальна будова натяжної станції

1.1.8 Очисні пристрої. Для очищення конвеєрних стрічок від налиплого штибу застосовують очисні пристрої різних конструкцій. Найбільш поширеними є скребкові очисні пристрої. Вони встановлюються на розвантажувальних барабанах і кріпляться до секції розвантажувального барабана. Матеріал скребка – негорюча конвеєрна стрічка, яка притискається до робочої стрічки пружинами. Для очищення неробочої гілки стрічки від просипаного вугілля застосовують очисні пристрої, по конструкції аналогічні описаним вище з тією різницею, що вони встановлюються під кутом 30-45° по відношенню до осі конвеєра в горизонтальній площині. Для очищення барабанів застосовують скребки, у яких замість гуми встановлений металевий ніж. На рисунку 1.5 наведено зовнішній вигляд очисного пристрою.

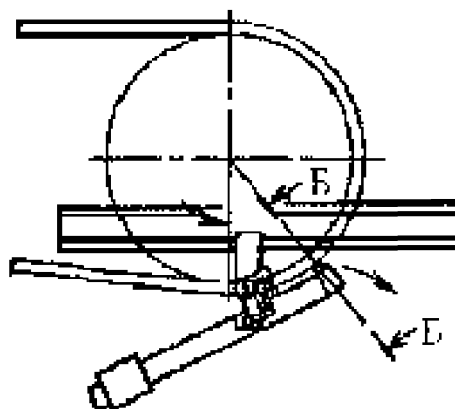
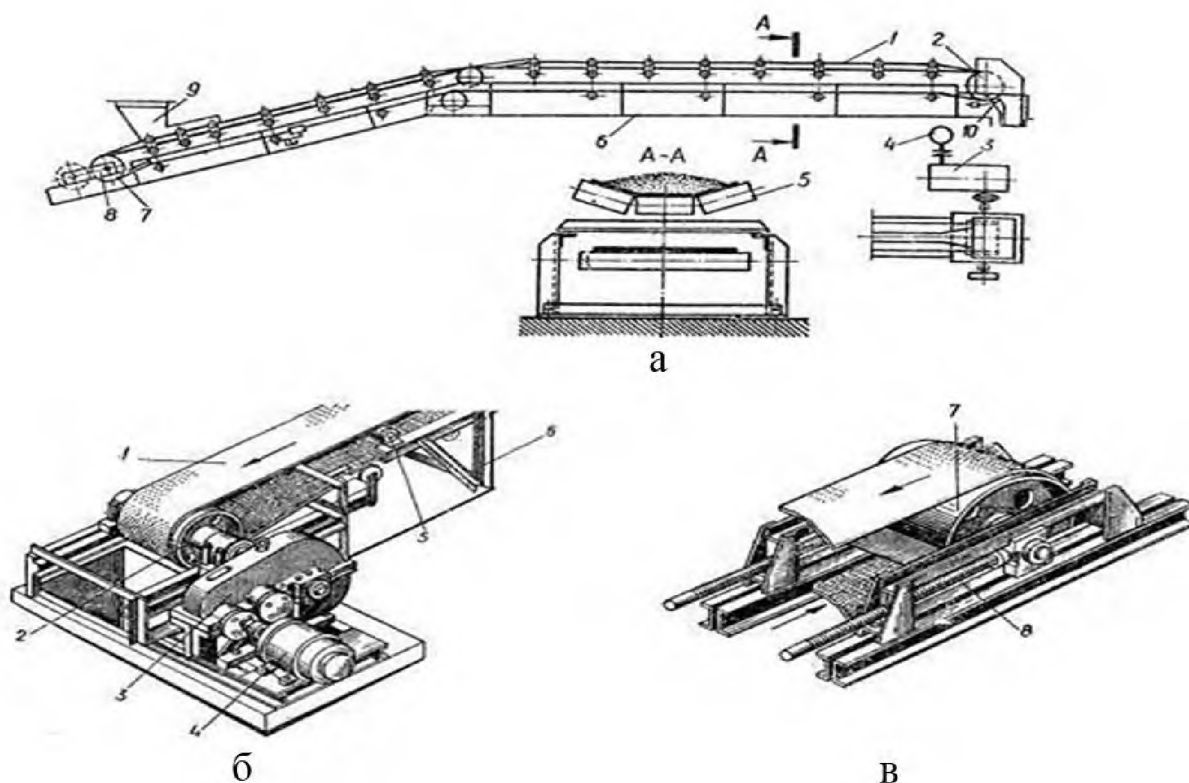


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд очисного пристрою

1.2 Технічні характеристики стрічкового конвеєра

Основними частинами транспортера є рама, приводний барабан, натяжний барабан, ролики конвеєра, транспортерна стрічка. Загальна будова стрічкового конвеєра приведено на рисунку 1.6



- 1 – стрічка; 2 – привод; 3 – редуктор; 4 – двигун; 5, – роликові опори;
 6 – рама конвеєра; 7 – натяжний барабан; 8 – натягач;
 9 – завантажувальний пристрій; 10 – очисний пристрій

Рисунок 1.6 – Загальна будова стрічкового конвеєра

а – компонована схема; б – приводна станція; в – натяжна станція

На рамі закріплені ролики, за якими транспортерна стрічка ковзає, і переміщує вантаж в просторі. Для натягу стрічки служить два великих ролика, званих барабанами. Один з них – натяжна, закріплений на підшипниковому вузлі і служить для регулювання натягу стрічки. Інший - приводний барабан конвеєра, закріплений на протилежному кінці конвеєра і має спеціальний вал, який з'єднаний з електродвигуном через редуктор. Власне за допомогою передачі обертового руху від електродвигуна або мотор-редуктора до приводного барабану, і відбувається рух стрічки транспортера.

Значення параметрів стрічкового конвеєра 1Л80 приведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1–Технічні характеристики стрічкового конвеєра 1Л80

Параметр	Значення
Продуктивність конвеєра Q , т /год	330
Ширина стрічки b , мм	800
Довжина конвеєра L , м	450
Висота підйому конвеєра H , м	2
Швидкість руху стрічки V , м/с	1,6
Коефіцієнт довжини стрічки $K1$	0,96
Коефіцієнт характеру роботи $K2$	0,96
Коефіцієнт конфігурації конвеєра $K3$	0,98
Коефіцієнт холостого ходу K	66
Діаметр ведучого барабана D_6 , мм	400
Передавальне число редуктора i	13,85

1.3 Склад та характеристика електрообладнання конвеєра

1.3.1 Шафа керування конвеєра. Шафа керування дозволяє в ручному режимі контролювати роботу стрічкового транспортера, в своїй стандартній комплектації шафа механізм аварійного відключення, а являє він собою невеликий металевий ящик, який або встановлений на конвеєрі, або має можливість настінного монтажу. Усередині ящика знаходиться панель з електричними приладами, кабелю від яких ведуть до стрічкового транспортеру. Шафа керування входить в обов'язкове електрообладнання шахтних стрічкових конвеєрів. Загальна зовнішній вигляд шафи керування конвеєра наведено на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд шафи керування конвеєра

1.3.2 Частотний перетворювач. Застосування частотного перетворювача в складі шафи управління стрічковим конвеєром дозволяє забезпечити плавний набір і скидання швидкості привода, захист від перевантаження по моменту, тим самим, запобігаючи його виход з ладу і продовжуючи термін служби. Крім того, частотний перетворювач дозволяє плавно регулювати швидкість в робочому діапазоні, а також запам'ятовувати довільний набір швидкостей для швидкого перемикання між ними. Загальна зовнішній вигляд частотного перетворювача наведено на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд частотного перетворювача

1.3.3 Вимикаючий важільний пристрій (для аварійного сході стрічки). Вимикаючий важільний пристрій встановлюються на металоконструкцію в середині конвеєра для відключення привода при аварійному сході стрічки. При довжині конвеєра 50-150 м встановлюють по одному пристрою з обох боків верхньої гілки стрічки поблизу головної та хвостової частин конвеєра, тобто всього чотири пристрої. При довжині конвеєра понад 150 м встановлюють ще два пристрої в середній частині – по одному з кожного боку стрічки. При довжині конвеєра до 50 м встановлюють два пристрої в головній частині. При довжині конвеєра до 10-15 м пристрою не встановлюють.. Зовнішній вигляд пристрої вимикання важільні наведено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд вимикаючого важільного пристрою

1.3.4 Вимикаючий канатні пристрій (для ручної зупинки конвеєра). Вимикаючий канатні пристрій, що застосовуються для ручної зупинки конвеєра по всій його довжині з боку проходу для обслуговування. У тих випадках, коли вздовж конвеєра є проходи з двох сторін ці пристрої встановлюють по обидва боки. Довжина канату одного пристрою 70 м. Цей продукт слід встановлювати при довжині конвеєра понад 10 м. Вимикаючий канатні пристрій може бути використано для блокування привода з укриттями і огорожами барабанів і натяжних пристроїв, що скорочує число встановлюваних вимикачів. Зовнішній вигляд вимикаючого канатного пристрій наведено на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд вимикаючого канатного пристрою

1.3.5 Аварійні кнопки. Аварійні кнопки для зупинки конвеєра. Аварійне (швидке) відключення електродвигуна та включення гальма при натисканні кнопки "АВАРІЙНИЙ СТОП". Зовнішній вигляд аварійної кнопки наведено на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд аварийной кнопки

2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Функціональна схема автоматизованого електропривода

Якість електропривода залежить від його системи керування. Сучасні електроприводи керуються в більшості випадків за замкненим принципом. Замкнені системи керування електроприводів утворюються за рахунок введення зворотних зв'язків для того, щоб підтримувати певне співвідношення між вхідною і вихідною величинами при наявності збурювальних впливів, наприклад, при зміні навантаження. Застосування зворотних зв'язків в електроприводах дозволяє значно збільшити діапазон регулювання швидкості, підвищити жорсткість механічних характеристик, зберегти перевантажувальну здатність двигуна при регулюванні швидкості, поліпшити якість перехідних процесів.

Існують різні види зворотних зв'язків як за виконуваними функціями, так і за виконанням. Наприклад, залежно від фізичної величини, переданої на вхід, існують зворотні зв'язки за швидкістю, положенням, струмом, напругою, обертальним моментом. За знаком переданої величини – позитивні і негативні. В даний час в автоматизованих електроприводах все ширше застосовується програмне регулювання, здійснюване на основі певної інформації або програми. У спеціальних приводах розвиваються також самоналагоджувальні системи керування, які діють залежно від відхилення регульованих величин від їхніх екстремальних значень.

Функціональна схема системи керування електропривода наведена на рисунку 2.1.

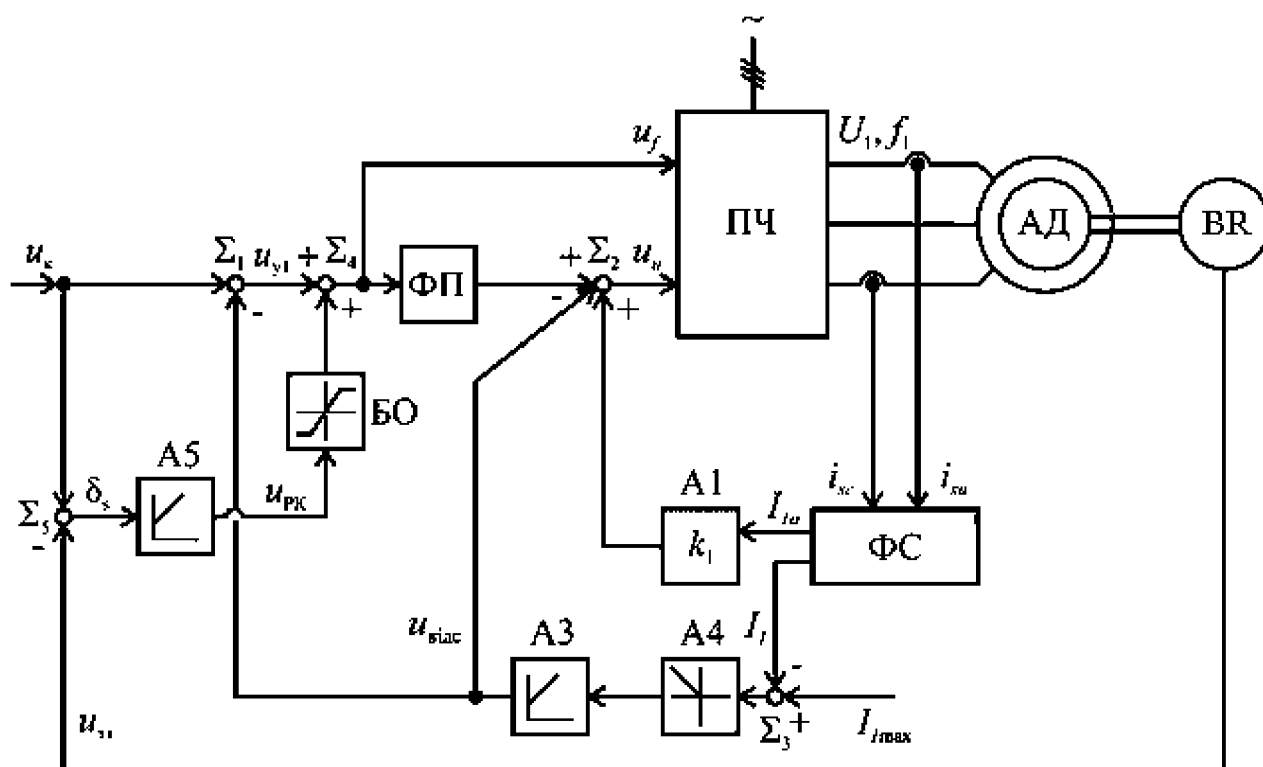


Рисунок 2.1 – Функціональна схема електропривода

Для захисту перетворювача частоти й двигуна від перевантажень за струмом використовується режим струмової відсічки за допомогою суматора Σ_3 і пристрою А4. При $I_1 > I_{1\max}$ на вхід ПІ-регулятора струму відсікання А3 надходить сигнал перевищення струму статора вище допустимого. Вихідний сигнал А3 $u_{відс}$ може впливати як на зменшення вихідної напруги перетворювача частоти (ПЧ) (вузол Σ_2) так і одночасно на зменшення частоти живлення асинхронного двигуна (вузол Σ_1).

При впливі тільки на вихідну напругу перетворювача, за умови, що регулятор А3 має інтегральний канал регулювання, за рахунок від'ємного зворотного зв'язку за струмом перетворювач ПЧ із джерела напруги переходить у режим джерела струму. Тоді при сталому струмі статора АД за рахунок більшого коефіцієнта зворотного зв'язку регулятора А3 (для ПІ-регулятора – нескінченно великого), ніж пристрою А1, при зниженні швидкості буде зменшуватися потік і момент двигуна, викликаючи перекидання механічної характеристики АД. Подібний режим роботи відсічки використовується лише разом з одночасним впливом на вихідну частоту перетворювача.

Збільшення діапазону регулювання по швидкості АД можна одержати за рахунок введення в розглянуту систему керування від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю. Тут канал від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю містить датчик швидкості, який представлений у вигляді енкодера (BR), як датчик зворотного зв'язку, вузол $\Sigma 5$ підсумовування напруги керування швидкістю АД як й зворотного від'ємного зв'язку по швидкості изз, регулятор абсолютного ковзання А5, блок обмеження (БО) його вихідної напруги u_{PK} , а також вузол $\Sigma 4$ підсумовування напруги u_{PI} і результуючої напруги u_{y1} з виходу суматора $\Sigma 1$.

У міру збільшення навантаження на валу АД за рахунок зменшення швидкості АД а, отже, сигналу изз збільшується сигнал неузгодженості $\delta s = u_y - u_{zz} \equiv \omega_{00} - \omega \equiv S_a$, пропорційний абсолютному ковзанню двигуна.

Тут ω_{00} – задана швидкість ідеального холостого ходу АД, що відповідає вихідному сигналу керування u_k ; ω – реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При $\delta_s \neq 0$ сигнал u_{PK} на виході регулятора ковзання, підсумовуючись із сигналом $u_y = u_{y1}$ (при $I_1 < I_{1max}$), за рахунок інтегральної передавальної функції регулятора А5 забезпечує таке збільшення сигналу керування u_f перетворювачем частоти, при якому частота вихідної напруги ПЧ стає рівною. Одночасно із зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача (ФП) змінюється у порівнянні з початковою напругою та вихідна напруга перетворювача. При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення ω_{00} , тобто забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД.

При перевищенні максимально припустимого струму статора АД ($I_1 \geq I_{1max}$ відповідно, $M \geq M_{max}$), регулятор ковзання повинен бути виключений з роботи, наприклад, шляхом обмеження його вихідного сигналу u_{PK} на рівні u_{PKmax} . При цьому вступають у роботу від'ємні зворотні зв'язки по струму статора з регулятором А3, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти й напруги статора АД до їхніх мінімальних значень f_{1min} і U_{1min} обмеження моменту АД при $\omega = 0$ на рівні M_{max} . Мінімальна синхронна швидкість двигуна ω_{0min} буде відповідати значенням f_{1min} і u_{1min} . Стійкість і динамічні показники якості регулювання

швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складової передаточної функції регуляторів А5 і А3.

2.2 Обґрунтування вибору елементів електропривода

2.2.1 Знаходимо потужність двигуна Р, Вт

$$P = K_1 K_2 K_3 \left(\frac{5,45 \cdot K \cdot L \cdot V}{10^4} + \frac{1,47 \cdot Q \cdot L}{10^4} + \frac{27,2 \cdot Q \cdot H}{10^4} \right),$$

де K – коефіцієнт холостого ходу;

K_1 – коефіцієнт довжини стрічки;

K_2 – коефіцієнт характеру роботи;

K_3 – коефіцієнт конфігурації конвеєра;

Q – продуктивність конвеєра, т/год;

b – ширина стрічки, м;

L – довжина конвеєра, м;

H – висота підйому конвеєра, м;

V – швидкість руху стрічки, м/с.

$$P = 0,96 \cdot 0,96 \cdot 0,98 \left(\frac{5,45 \cdot 53 \cdot 450 \cdot 2}{10^4} + \frac{1,47 \cdot 330 \cdot 450}{10^4} + \frac{27,2 \cdot 330 \cdot 2}{10^4} \right) = 44,8 \text{ кВт.}$$

Швидкість приводного барабана конвеєра n_{δ} , об/хв,

$$n_{\delta} = \frac{V \cdot 60}{\pi D_{\delta}},$$

$$n_{\delta} = \frac{2 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,4} = 95,5 \text{ об/хв.}$$

Швидкість обертання електродвигуна $n_{\text{дв}}$, об/хв,

$$n_{\text{дв}} = n_{\delta} i,$$

$$n_{\text{дв}} = 5,5 \cdot 10,35 = 988,3 \text{ об/хв}$$

Вибираємо електродвигун потужністю понад 44,8 кВт.

На рисунку 2.2 зображено електродвигун АВ250S6



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд електродвигуна АВ250S6

В таблиці 2.1 представлено основні технічні характеристики електродвигуна АВ250S6.

Таблиця 2.1– Технічні характеристики електродвигуна АВ250S6

Параметр	Значення
Номінальна потужність P_n , кВт	45
Номінальна напруга U_n , В	380
Номінальне значення частоти напруги статора f_{1n} , Гц	50
Номінальна частота обертання n_n , об/хв.	950
Номінальний струм I_n , А	87,2
ККД η , %	92
Кратність максимального моменту, λ	$2,88 \times M_n$
Номінальний момент M_n , Н·м	436
Момент інерції $J_{\text{дв}}$, кг·м ²	4,62

Якщо говорити про недоліки асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, то їх кілька. При включенні двигуна в мережу пусковий струм досить великий, при цьому пусковий момент значно менше номінального, це дещо обмежує сферу застосування, і якщо потрібен великий пусковий момент, то асинхронний двигун з короткозамкненим ротором не підійде.

Однак цей недолік можна подолати застосуванням частотного перетворювача, що дозволяє плавно підвищувати обороти, і таким чином забезпечити досить високий пусковий момент. Сучасна напівпровідникова база робить частотні перетворювачі з кожним роком все більш доступними.

2.2.2 В даний час перетворювач і частоти вважається стандартним промисловим обладнанням в техніці електропривода. Вони використовуються всюди, де в електроприводі потрібні такі характеристики:

- регулювання швидкості, щоб вона могла бути пристосована під темп виробництва;
- дистанційне керування швидкістю і напрямком обертання;
- більш висока точність позиціонування, ніж це можливо для двигунів з перемиканням числа пар полюсів;
- більш висока частота пусків (допустимий по нагріванню число пусків в годину), ніж при живленні від мережі;
- обмеження навантаження за допомогою електропривода.

Наступний розділ відноситься виключно до перетворювача частоти з проміжною ланкою постійної напруги (інвертори напруги або імпульсні інвертори). Ця група перетворювачів частоти є найбільш значною і домінує в діапазоні потужностей від 0,5 до декількох сто кіловат.

Головна перевага двох ланкових перетворювачів частоти (ДПЧ) з проміжною ланкою постійного струму:

- можливість отримання на виході перетворювача широкого діапазону частот, незалежного від частоти мережі живлення і повністю покриває потреби електроприводів різного призначення, в тому числі високошвидкісних, середньо

швидкісних і тихохідних, прецизійних електроприводів з широким і над широким діапазоном регулювання швидкості та ін.;

- можливість використання відносно простих силових схем і систем в управлінні ПЧ для електроприводів з невисокими вимогами в частині діапазону регулювання, швидкодії та інших показників;

- можливість нарощування складності силовий частини і системи управління перетворювача пропорційно рівню підвищення вимог до електроприводу, не допускаючи надмірної надмірності системи;

- можливість реалізації в порівняно мало елементної структурі перетворювача різноманітних алгоритмів управління, які відповідають вимогам, що пред'являються до електроприводів різного призначення;

- легкість трансформації перетворювача для роботи в установках з живленням електрообладнання від автономних джерела мережі постійного струму.

Основні недоліки двох ланкових перетворювачів частоти з проміжною ланкою постійного струму:

- дворазове перетворення енергії, що збільшує втрати енергії і погіршує масо габаритні показники перетворювача;

- наявність в ланці постійного струму силового фільтра як невід'ємного елементу ДПЧ, що містить батарею конденсаторів значної ємності або реактор зі значною індуктивністю.

Важливим параметром перетворювача частоти є частота модуляції вихідної напруги АІН. Оптимальний вибір цього параметра є по суті варіаційну задачу, зміст якої визначають наступні суперечливі фактори.

Збільшення частоти ШІМ дає ряд позитивних ефектів:

- підвищує динамічну точність відтворення широтно-імпульсними модуляторами вхідних задають впливів;

- розширює робочий діапазон частот системи перетворювач-двигун;

- зменшує амплітуди модуляційних пульсацій струмів, потокозчеплення і електромагнітного моменту двигуна, а також залежні від них складові модуляційних втрат в двигуні і ланцюги живлення;
- зменшує додатковий шум двигуна, що в деяких випадках дозволяє відмовитися від установки вихідних фільтрів;
- створює умови для підвищення швидкодії і поліпшення інших показників якості замкнутих систем автоматичного регулювання.

Разом з тим підвищення частоти ШІМ створює ряд негативних ефектів:

- внаслідок підвищення частоти комутації пропорційно збільшуються комутаційні втрати в інверторі, і знижується його допустима корисна потужність;
- збільшуються діючі значення ємнісних струмів в кабелях харчування і елементах конструкції двигуна;
- ускладнюється проблема обмеження перенапруг від накладення блукаючих електромагнітних хвиль в ланцюзі навантаження і погіршується використання активних елементів перетворювача по напрузі.

За параметрами обраних двигуна вибираємо перетворювач MICROMASTER 440 фірми SIEMENS, загальний вид якого показаний на рисунку 2.3



Рисунок 2.3 – Загальний вид ПЧ MICROMASTER 440 фірми SIEMENS

Перетворювач використовується для частоти і моменту трифазного електродвигуна. Перетворювач оснащений мікропроцесорною системою управління і використовує найсучасніші технології з IGBT модулями-транзисторами (Insulated Gate Bipolar Transistor – біполярний транзистор з ізолюваним затвором). Перевагою такого транзистора є можливість виготовлення на великі струми і напруги, високу швидкодію, дуже мала потужність управління, великі допустимі швидкості наростання струму і вбрані. Застосовуються дві технології виготовлення IGBT-транзисторів PT (Punch-Through) і NPT (Non-Punch-Through). Більш перспективною є технологія NPT. У виготовлених за цією технологією транзисторів, при нагріванні збільшується падіння напруги в відкритому стані. У разі паралельного з'єднання декількох транзисторів це розвантажує перегрівся транзистор і зменшує ймовірність виходу його з ладу. Крім того, у них менше на 30% динамічні втрати і на 20% менше статичні втрати.

Внаслідок цього перетворювачі надійні і різноманітні. Оригінальний спосіб широтно-імпульсної модуляції з вибором частоти комутації дає можливість безшумної роботи електродвигуна. Великі функції захисту забезпечують ефективний захист перетворювача і електродвигуна.

MICROMASTER 440 із заводськими установками є ідеальною для широкої області простих застосувань регулювання швидкості. MICROMASTER 440 може застосовуватися як індивідуально, так і інтегруватися в системи автоматизації процесу. Перетворювач частоти має модульну конструкцію. Пульт управління та комунікаційні модулі можуть бути замінені без застосування будь-якого інструменту.

Основні характеристики:

- легко встановлювати, параметрувати і пускати в експлуатацію;
- відповідає міжнародним нормам електромагнітної сумісності;
- висока частота комутації для безшумної роботи електродвигуна;
- просте приєднання приводів;
- модульне виконання;
- може працювати з джерелами енергії порівнянної потужності;

- великий набір параметрів, які дають можливість конфігурації, для широких областей застосування;
- релейні виходи;
- 6 ізольованих перемикаються позитивних або негативних дискретних входів;
- 2 аналогових входи: AIN – 0-10 мА або -10 до +10 В AIN2 – 0-10В, 0-20мА;
- два аналогових входи можуть використовуватися як 7-й і 8-й дискретні входи;
- модульна конструкція для дуже гнучкою конфігурації;
- детальна інформація про стан і вбудовані функції повідомлень;
- зовнішні опції для обміну даними з комп'ютером, базова панель обслуговування, розширена панель оператора і модулі передачі даних по шині Profibus.

Функціональні особливості:

- векторне регулювання без датчиків швидкості;
- регулювання потоку (FCC) для поліпшення динамічних характеристик і підвищення якості регулювання електродвигуна;
- миттєве обмеження струму (FCL) для роботи без відключення двигуна;
- вбудоване динамічне гальмування постійним струмом;
- комбіноване гальмування для поліпшення можливостей гальмування;
- час прискорення і гальмування з програмованим згладжуванням;
- використання замкнутого PID регулятора з авто налаштуванням;
- вбудований перетворювач гальма;
- обрана інтенсивність розгону і зупинки;
- багато точкова U/f характеристика, що задається користувачем;
- встановлені параметри можуть бути перенесені на інші пристрої аналогічних процесів.

Види законів регулювання напруги:

- лінійне U/f регулювання з FCC. Цей спосіб регулювання може використовуватися для збільшення ККД і динамічних характеристик ЕП;
- квадратичне U/f регулювання. Цей закон застосовується для приводів з насосною вентиляторної характеристикою (з малим моментом тертя);
- багато точкове U/f регулювання;
- лінійне U/f з режимом ECO. З цією функцією відбувається автоматичне зниження або підвищення напруги для мінімізації втрат потужності;
- лінійне U/f може застосовуватися для навантаження із змінним і постійним моментом (насоси конвеєри);
- U/f регулювання для застосування в текстилі. Немає ніякої компенсації і демпфірування. Регулятор максимального струму використовує частоту замість напруги;
- U/f регулювання з FCC для застосування в текстилі. U/f регулювання з незалежної установкою напруги. Можна задавати напруга незалежно від вихідної частоти перетворювача;
- без сенсорне векторне регулювання. Забезпечує точне регулювання частоти обертання двигуна без застосування датчика швидкості. Забезпечує високий момент і динамічні властивості привода.

Особливості захисту:

- захист від підвищеної і зниженої напруги;
- захист перетворювача від перегріву;
- захист від замикань на землю;
- захист від К.З.;
- захист від зміни параметрів.

У таблиці 2.2 наведені характеристики ПЧ MICROMASTER 440 FX.

Таблиця 2.2 – Характеристики ПЧ Micromaster 440

Найменування параметра	Величина
Напруга живильної мережі, В	380-480
Частота мережі, Гц	47-63
Вхідний струм, А	56,3
Коефіцієнт потужності	0,95
Коефіцієнт корисної дії, %	97
Номінальна вихідна потужність ПВ100%, кВт	45
Потужність номінальна ПВ40%, кВт	55
Номінальний вихідний струм ПВ100%, А	62
Номінальний вихідний струм ПВ40%, А	74,8
Вихідна напруга, В	0-380
Вихідна частота, Гц	0-650
Частота ШІМ, кГц	2-16
Перевантажувальна здатність	1,5xI _{ном} протягом 60с.
Кількість дискретних входів	6
Кількість релейних виходів	2
Кількість аналогових входів	2
Кількість аналогових виходів	2
Маса, кг	21
Ступінь захисту	IP20

2.2.3 Датчик положення обертового об'єкта або по-іншому енкодер – це електромеханічний пристрій, за допомогою якого можна визначити положення осі, що обертається (вала). У цьому пристрої механічний рух перетворюється в електричні сигнали, що визначають положення об'єкта, дають інформацію про кут повороту вала, його стан і напрямок обертання. За допомогою енкодера також можна виміряти довжину і відстань або установити переміщення інструменту. Енкодери мають широку сферу застосування.

Виділяють такі типи енкодерів: інкрементальні (інкрементні) і абсолютні.

Інкрементальний енкодер – це пристрій, який визначає кут повороту обертового об'єкта, видаючи імпульсний цифровий код. Використовується для визначення швидкості обертання валу (осі), коли немає потреби зберігати абсолютне кутове положення при вимкненні живлення. Тобто, якщо вал нерухомий, передача імпульсів припиняється. Іншими словами, якщо увімкнути енкодер цього типу, то відлік повороту кута почнеться з нуля, а не з кута на який був виставлений до моменту вимкнення. Осі об'єкта і енкодера з'єднуються між собою за допомогою спеціальної гнучкої перехідної муфти або жорсткої втулки, або енкодер може міститися власне на самому валу. Основною перевагою інкрементальних енкодерів є їх простота, надійність і відносно низька вартість.

Абсолютний енкодер видає цифровий код, різний для кожного положення об'єкта, дозволяє визначати кут повороту осі навіть в разі зникнення і відновлення живлення і не вимагає повернення об'єкта в початкове положення, що є безперечною перевагою цього типу енкодерів. Так як кут повороту завжди відомий, то лічильник імпульсів в цьому випадку не потрібний. Сигнал абсолютного енкодера не піддається перешкодам і вібрації і тим самим для нього не потрібна точна установка валу.

Вибраний енкодера Kuebler серії 3610 зображено на рисунку 2.4



Рисунок 2.4 – Енкодер Kueblerсерії 3610

Характеристики енкодера Kuebler серії 3610 наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики інкрементального енкодера Kuebler серії 3610

Параметр	Значення
Розподільна здатність, пульс./об	2048
Тип вихідного сигналу	TTL
Точність	-2...2'
Рівень вхідної напруги, В	5
Струм живлення, А	0,15
Максимальна частота, кГц	300

2.3 Розробка схеми підключення перетворювача частоти

Для захисту привода та мережі від коротких замикань рекомендується використовувати автоматичні вимикачі і плавкі запобіжники у входних ланцюгах ПЧВ. Для захисту мережі від перешкод з боку ПЧВ рекомендується застосовувати дроселі мережі і радіочастотні фільтри.

Для підвищення якості керування і терміну служби електродвигуна рекомендується застосовувати вихідні фільтри на виході ПЧВ.

Віддалене підключення/відключення в ланцюг живлення або перемикання електродвигунів в схемах каскадного керування рекомендується здійснювати з використанням магнітних контакторів.

Для захисту електродвигуна від перегріву в режимі гальмування можуть бути додатково використані гальмівні резистори. У системах керування по параметру або із замкнутим контуром процесу рекомендується підключати датчики фізичних величин: рівня, тиску, температуру, інкрементальні енкодери та ін.

Принципова схема призначена для повного відображення взаємозв'язків пристроїв з урахуванням принципів її дії і послідовності роботи. На принциповій схемі електричні елементи зображують за допомогою умовних позначень, а також вказують лінії зв'язків між ними, блоками та модулями.

Рекомендована схема підключення перетворювача частоти зображена на рисунку 2.5

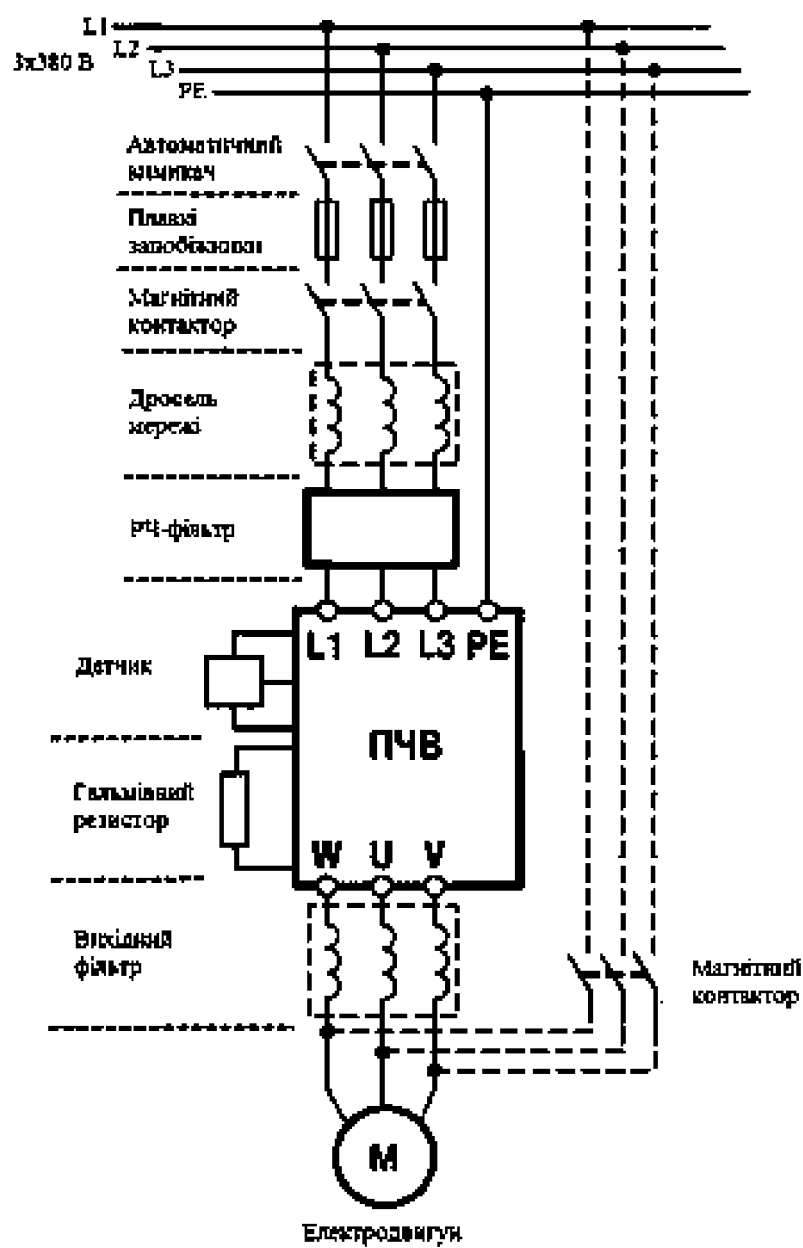


Рисунок 2.5 – Схема підключення перетворювача частоти

На рисунку 2.6 показана схема підключення перетворювача частоти системи керування електропривода стрічкового конвеєра.

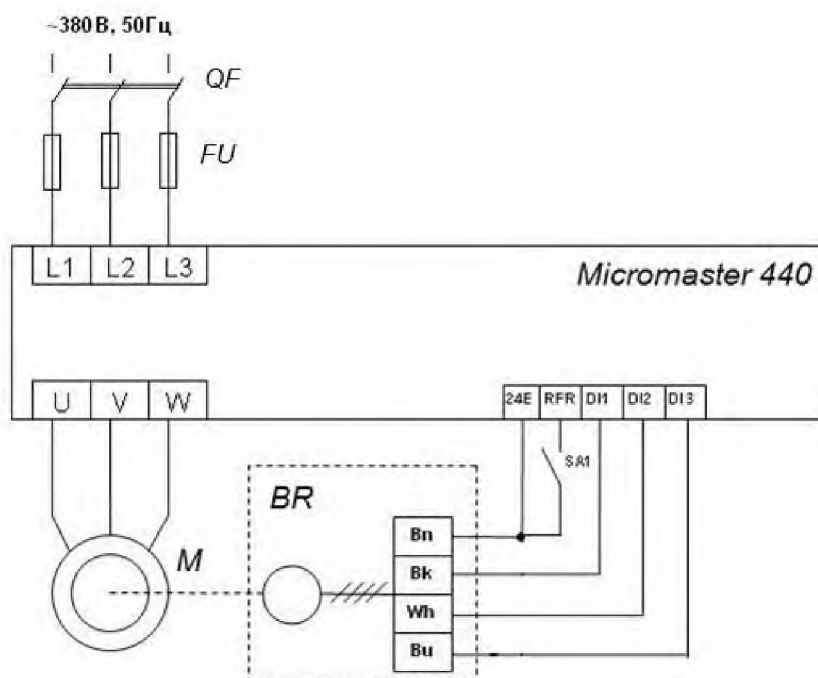


Рисунок 2.6 – Схема підключення перетворювача частоти Micromaster 440

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ

3.1 Побудова структурної схеми

Для вирішення питань проектування асинхронного електропривода стрічкового конвеєра і подальшого його дослідження обрана структурна схема з частотним перетворювачем та асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором. Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складових передавальних функцій регуляторів А5 і А3.

На рисунку 3.1. представлена структурна схема лінеаризованої системи, функціональна схема якої наведена на рисунку. 2.1, при роботі АД на ділянці механічної характеристики в межах значень абсолютного ковзання $s_a \leq s_k$.

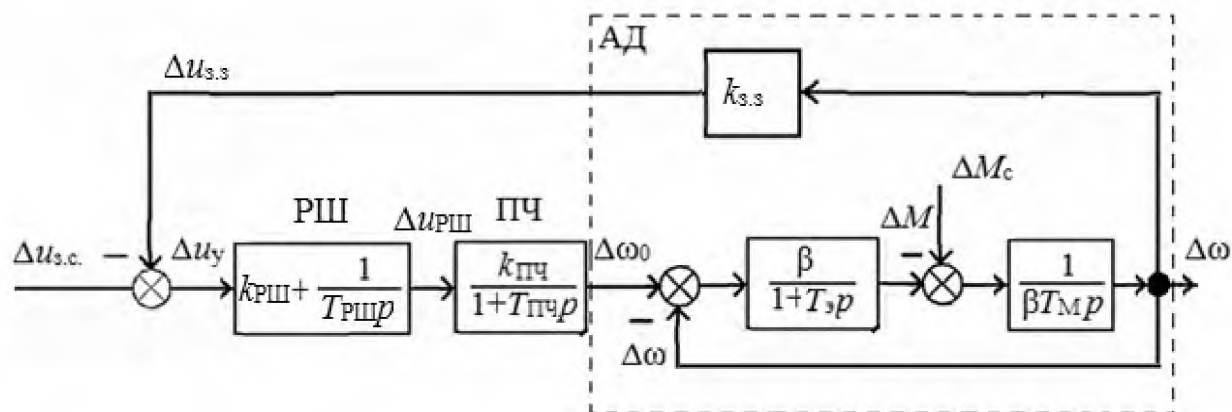


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи керування

На схемі прийняті наступні позначення: РШ – регулятор швидкості, ПЧ – перетворювач частоти, АД – асинхронний двигун, який складається з механічної та електричної частини.

3.2 Розрахунок параметрів елементів структурної схеми

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики β , $\frac{\text{м}^2\text{кг}}{\text{с}}$,

$$\beta = \frac{M_H}{(\omega_0 - \omega_H)},$$

де ω_0 – кутова синхронна швидкість ротора двигуна, рад/с, ω_H – кутова номінальна швидкість ротора двигуна, рад/с.

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p},$$

де p – кількість пар полюсів, $p = 6$; f – частота живильної напруги, Гц, $f = 50$ Гц,

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{6} = 104,7 \text{ рад/с},$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_H}{60},$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 950}{60} = 103,1 \text{ рад/с},$$

$$\beta = \frac{436}{104,7 - 103,1} = 277,5 \frac{\text{м}^2\text{кг}}{\text{с}}.$$

Еквівалентна електромагнітна стала часу ланцюгів статора і ротора АД T_e , с,

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0\text{ел.ном}} s_K},$$

де $\omega_{0\text{ел.ном}}$ – кутова швидкість електромагнітного поля АД при його номінальній частоті живлення, рад/с; s_K – ковзання двигуна,

$$s_K = s_H \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 + 1}),$$

де s_H – ковзання двигуна.

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0},$$

$$s_H = \frac{104,7 - 103,1}{104,7} = 0,015,$$

$$s_K = 0,015 \cdot \left(2,88 + \sqrt{2,88^2 + 1}\right) = 0,0837.$$

Кутова швидкість електромагнітного поля АД, $\omega_{0\text{ел.ном}}$, рад/с,

$$\omega_{0\text{ел.ном}} = 2\pi f,$$

$$\omega_{0\text{ел.ном}} = 2\pi 50 = 314,159 \text{ рад/с},$$

$$T_e = \frac{1}{314,159 \cdot 0,0837} = 0,038 \text{ с}.$$

Передавальна функція ПІ-регулятора швидкості $W_{\text{РШ}}(p)$

$$W_{\text{РШ}}(p) = \frac{\Delta u_{\text{РС}}}{\Delta u_y} = k_{\text{РШ}} + \frac{1}{T_{\text{РШ}} p},$$

де $k_{\text{РШ}}$ – коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора РШ; $T_{\text{РШ}}$ – постійна інтегрування регулятора РШ, с.

Коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора РШ $k_{\text{РШ}}$

$$k_{\text{РШ}} = \frac{T_{01}}{T_{\text{РШ}}},$$

де T_{01} – стала часу, с; $T_{\text{РШ}}$ – стала інтегрування регулятора РШ.

Стала часу T_{01} , с,

$$\frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{2T_e} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right),$$

де T_m – електромеханічна стала часу двигуна, с.

Електромеханічна стала часу двигуна T_M , с,

$$T_M = J_\Sigma / \beta,$$

де J_Σ – момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

$$J_\Sigma = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}},$$

де $J_{\text{дв}}$ – момент інерції двигуна, $J_{\text{дв}} = 4,62 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $J_{\text{мех}}$ – момент інерції механізму, НМ.

Момент інерції редуктора $J_{\text{мех}}$, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$,

$$J_{\text{мех}} = 10J_{\text{дв}},$$

$$J_{\text{мех}} = 10 \cdot 4,62 = 46,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

$$J_\Sigma = 4,62 + 46,2 = 50,82 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

$$T_M = \frac{50,82}{277,5} = 0,183 \text{ с.}$$

$$T_{01} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,038} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,038}{0,183}} \right)} = 0,0539 \text{ с.}$$

Стала інтегрування регулятора РС, $T_{\text{рш}}$,

$$T_{\text{рш}} = k_{3.3} k_{\text{пч}} a_\mu T_\mu,$$

де $k_{3.3}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю двигуна, $k_{\text{пч}}$ – передавальний коефіцієнт ПЧ, $a_\mu = 4,5$, T_μ – мала не скомпенсована стала часу, с.

$$k_{\text{пч}} = \frac{\Delta \omega_0}{\Delta u_{\text{РС}}} = \frac{2\pi \Delta f_1}{p_{\text{п}} \Delta u_{\text{РС}}},$$

$$\frac{\Delta f_1}{\Delta u_{\text{РС}}} = \frac{f_1}{u_{\text{у.ПЧном.}}},$$

звідси

$$k_{\text{ПЧ}} = \frac{2\pi f_1}{p \cdot u_{\text{у.ПЧНОМ.}}},$$

де $f_1 \leq f_{1\text{НОМ}} = 50$ Гц – частоти, в яких працює двигун;

$u_{\text{у.ПЧНОМ.}}$ – номінальний сигнал керування перетворювачем, $u_{\text{у.ПЧНОМ.}} = 10$ В.

$$k_{\text{ПЧ}} = \frac{2\pi 50}{3 \cdot 10} = 10,472.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю двигуна $k_{3.3}$,

$$k_{3.3} = \frac{u_{3.с.НОМ}}{\omega_{\text{н}}},$$

де $u_{3.с.НОМ}$ – номінальний сигнал керуванням електропривода, $u_{3.с.НОМ} = 10$ В,

$$k_{3.3} = \frac{10}{103,1} = 0,0969.$$

Мала некомпенсована стала часу, T_{μ} , с,

$$T_{\mu} = T_{02} + T_{\text{ПЧ}},$$

де $T_{\text{ПЧ}}$ – стала часу ланцюга керування ПЧ, яка при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ПЧ не перевищує 0,01 с.

$$\frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{2T_e} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right).$$

$$T_{02} = 0,129 \text{ с.}$$

$$T_{\mu} = 0,129 + 0,01 = 0,139 \text{ с,}$$

$$T_{\text{РШ}} = 0,0969 \cdot 10,472 \cdot 4,5 \cdot 0,139 = 0,636 \text{ с,}$$

$$k_{\text{РШ}} = \frac{0,0539}{0,636} = 0,0847.$$

3.3 Побудова перехідних процесів

За допомогою програмного пакету MATLAB було побудовано модель електропривода транспортера 1Л80, що приведено на рисунку 3.2.

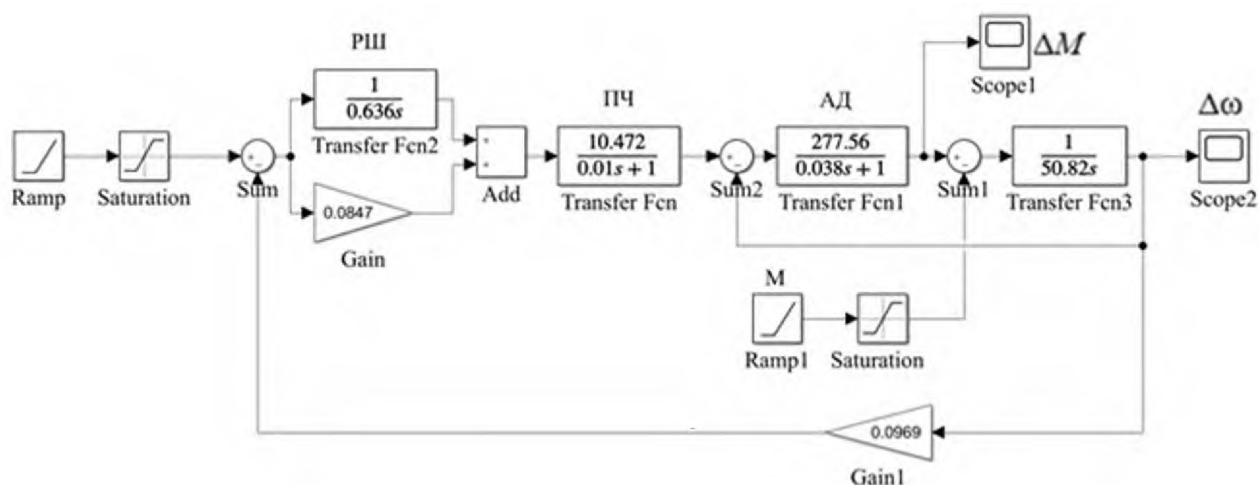


Рисунок 3.2 – Модель електропривода в MATLAB

На рисунках 3.3-3.10 зображені характеристики моменту та швидкості при різних режимах роботи.

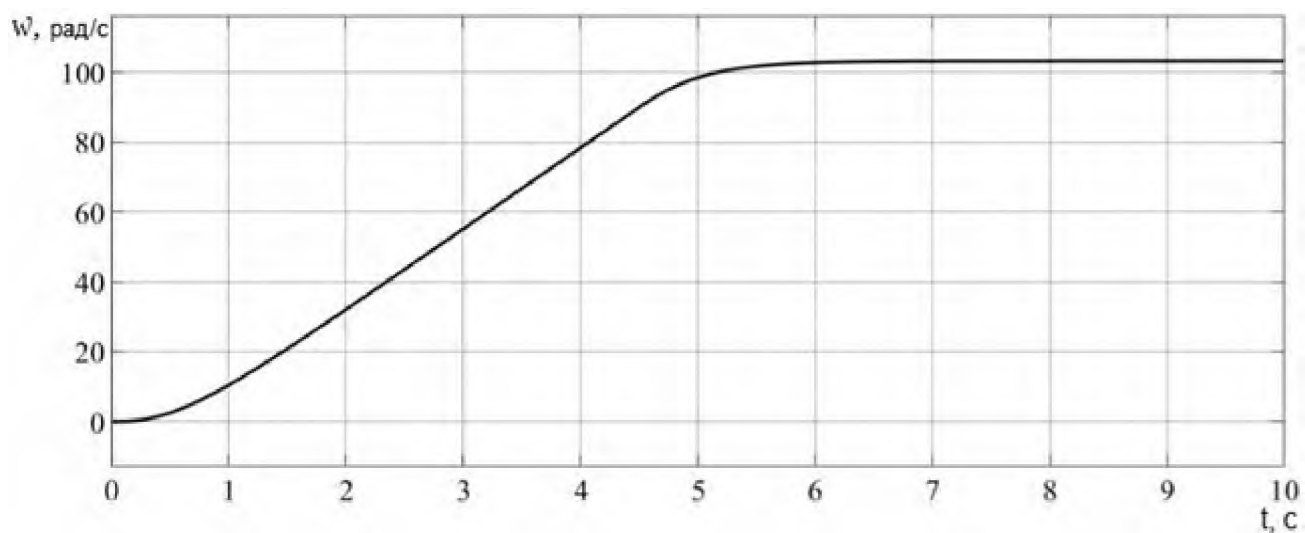


Рисунок 3.3 – Перехідна характеристика швидкості
при пуску на холостому ході та поступовому навантаженні

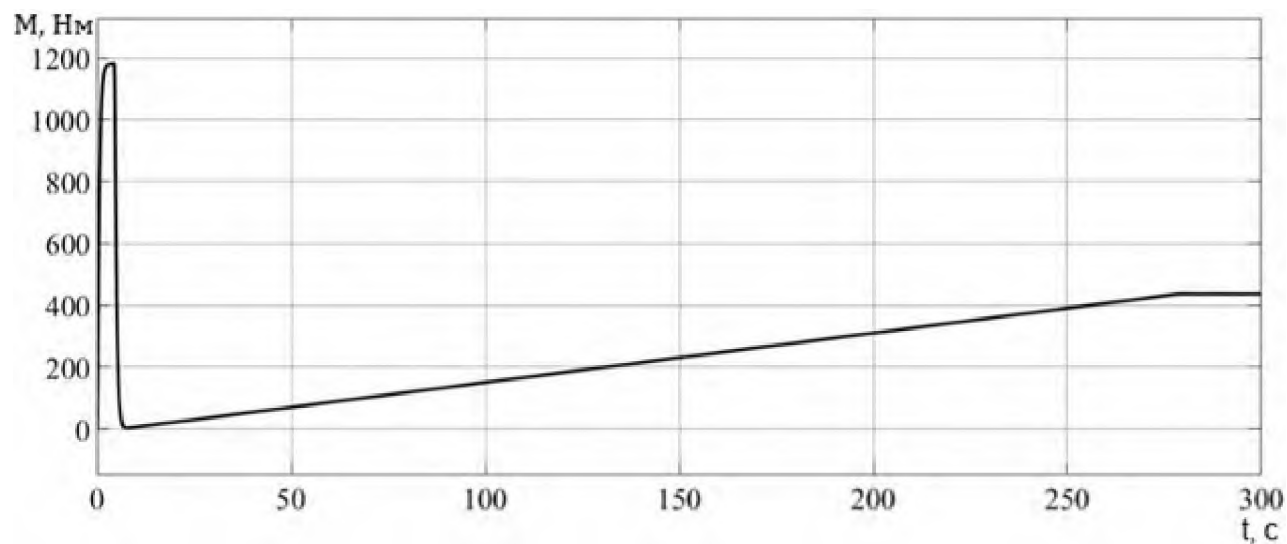


Рисунок 3.4 – Перехідна характеристика моменту
при пуску на холостому ході та поступовому навантаженні

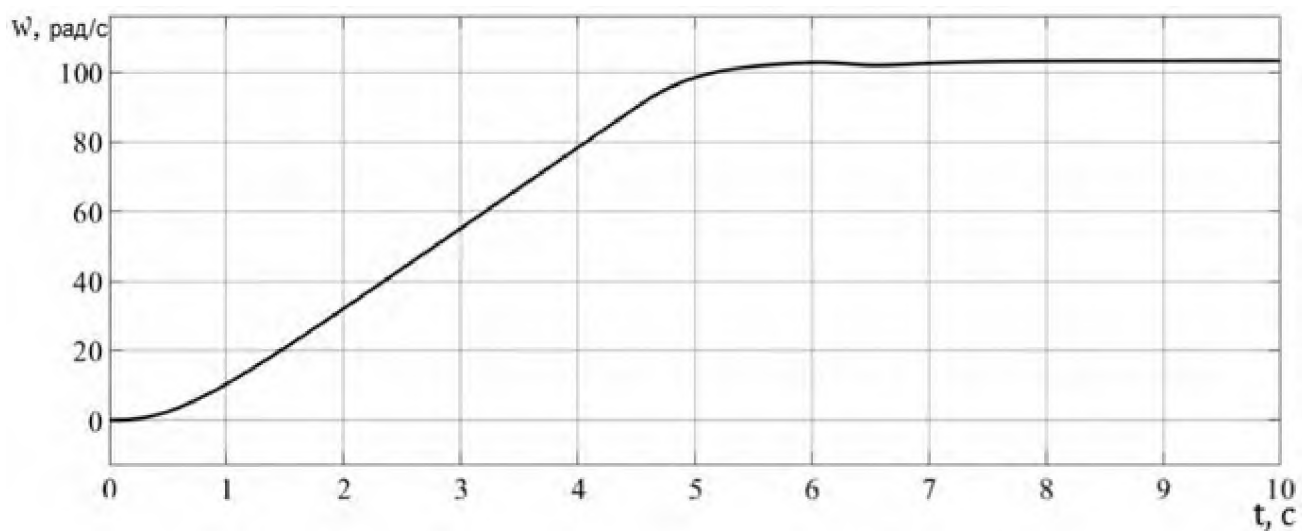


Рисунок 3.5 – Перехідна характеристика швидкості
при пуску на холостому ході та ступінчастому навантаженні

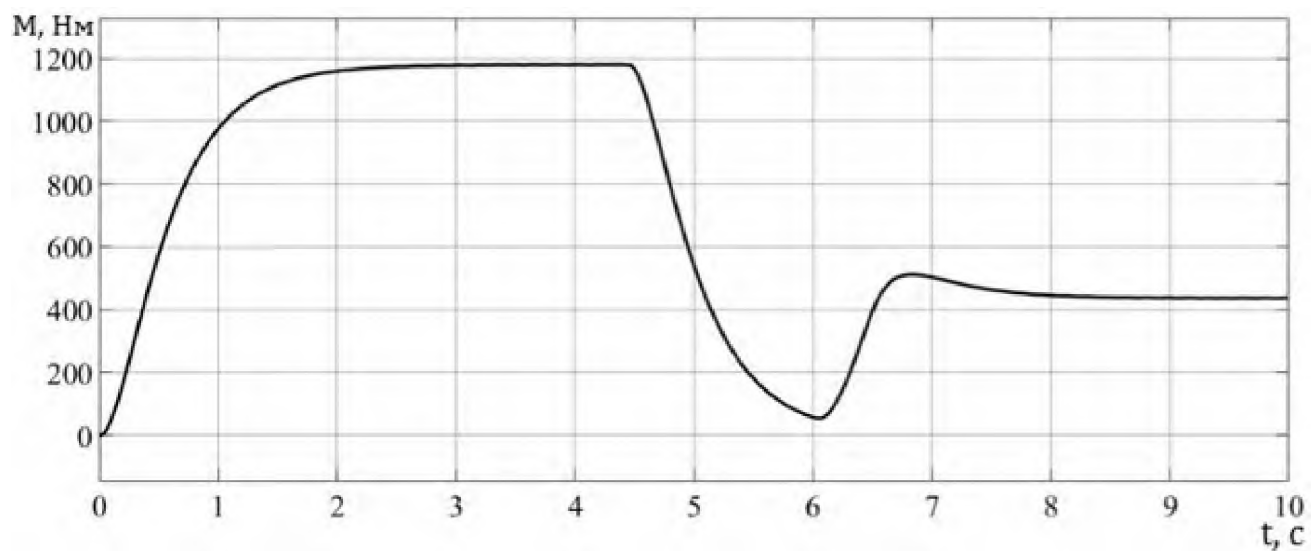


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика моменту
при пуску на холостому ході та ступінчастому навантаженні

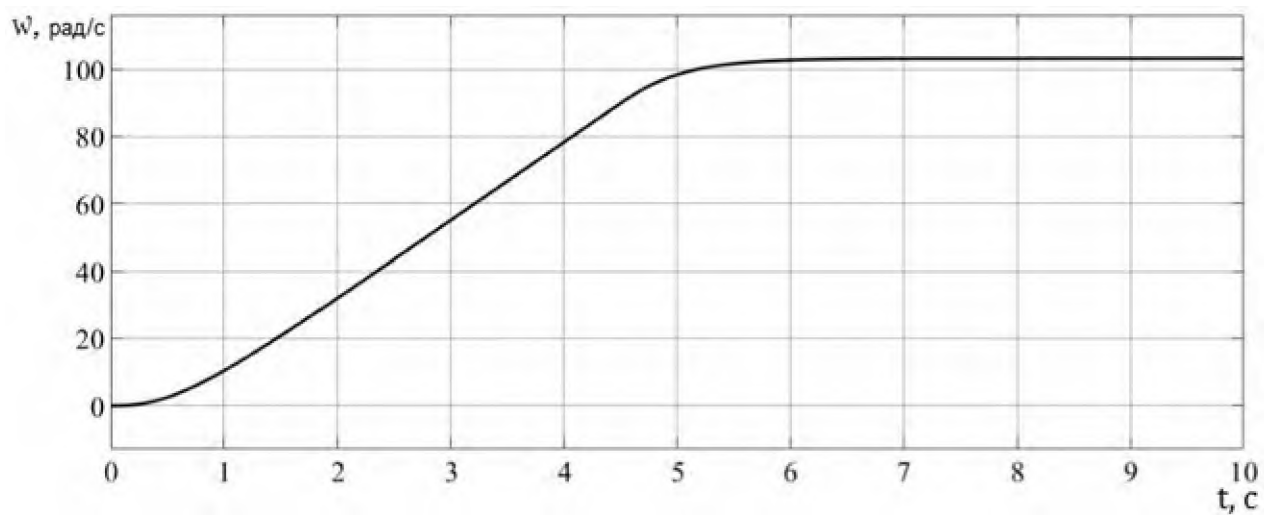


Рисунок 3.7 – Перехідна характеристика швидкості
при поступовому ступінчастому навантаженні

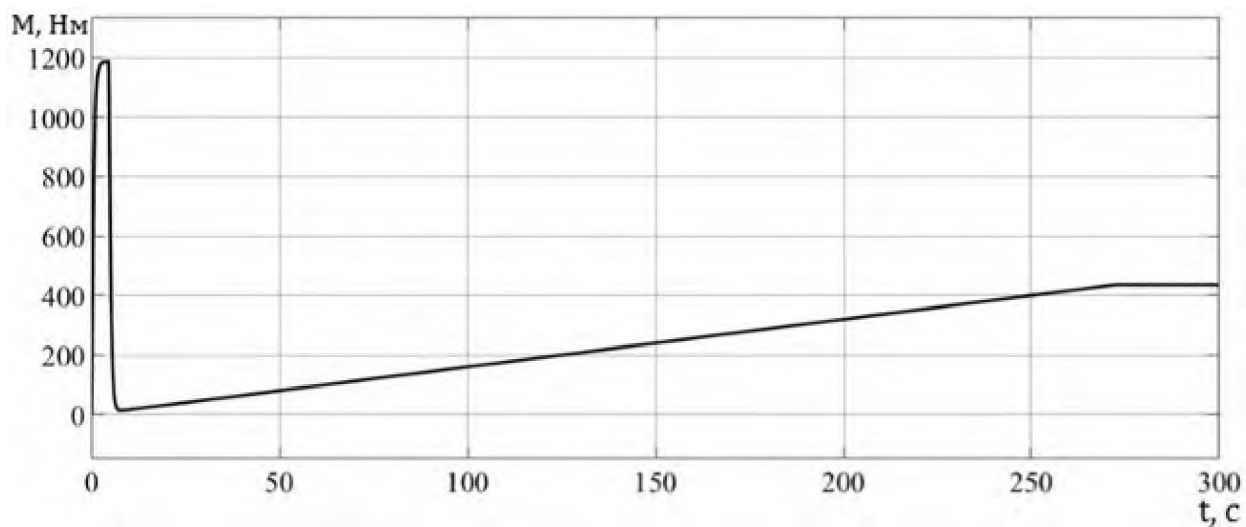


Рисунок 3.8 – Перехідна характеристика моменту
при поступовому навантаженні

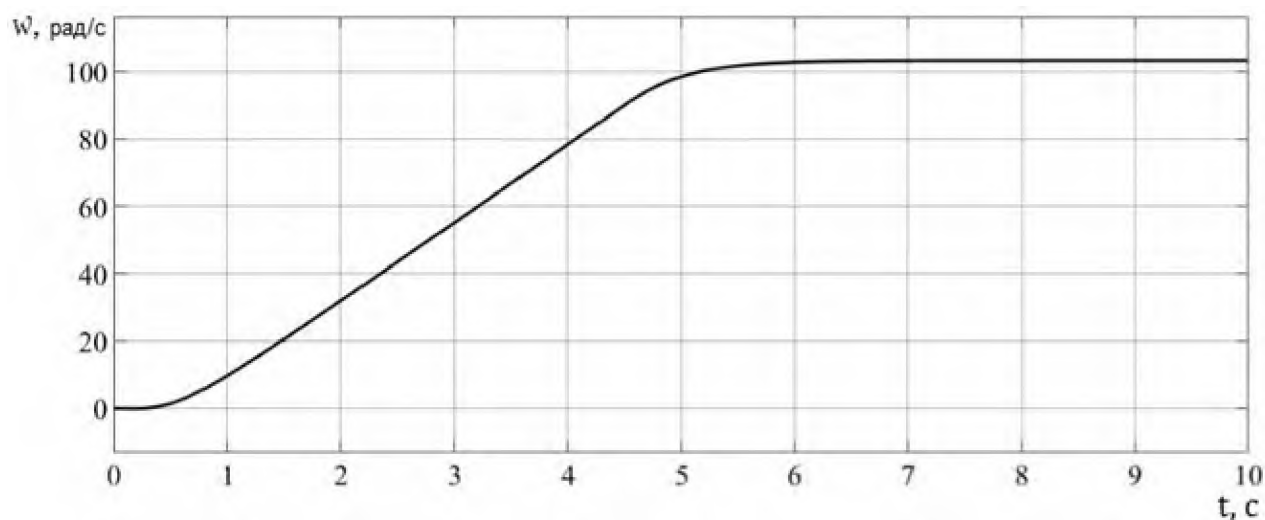


Рисунок 3.9 – Перехідна характеристика швидкості
при ступінчастому навантаженні

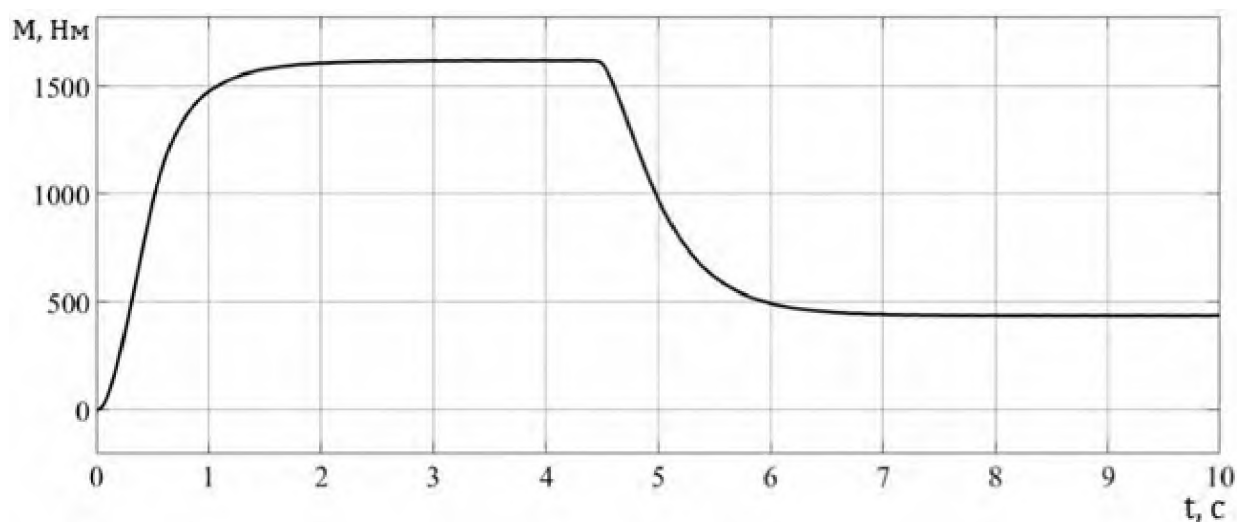


Рисунок 3.10 – Перехідна характеристика моменту
при ступінчастому навантаженні

Після модулювання системи, на основі графіку перехідної характеристики швидкості при ступінчастому навантаженні можливо побачити наступне: час перехідного процесу з урахуванням 2 % трубки, зони нечутливості, $t_{п.п} = 5,4$ с; перерегулювання відсутнє.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Під час роботи на виробництві на людину можуть впливати один, або низка небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Безпека того чи іншого технологічного процесу може бути визначена за їх кількістю і за ступенем небезпеки кожного з них зокрема. Безпека праці на виробництві визначається ступенем безпеки окремих технологічних процесів.

Небезпечні й шкідливі виробничі фактори стандартом ГОСТ 12.0.003-74 поділяються на фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні. Останні за характером впливу на людину підрозділяються на фізичні й нервово-психічні перевантаження, а інші - на конкретні небезпечні й шкідливі виробничі фактори.

В процесі роботи на підприємстві на працівника можуть впливати такі небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

- рухомі незахищені елементи механізмів, машин і виробничого обладнання;
- підвищені запыошеність й загазованість повітря;
- підвищена чи знижена температура поверхонь техніки, обладнання й матеріалів;
- підвищена чи знижена температура, вологість і рухомість повітря;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- недостатня освітленість робочої зони;
- перевантаження (статичні й динамічні) і нервово-психічні чинники (емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів, розумова перенапруга, монотонність праці).

Відчуття вібрації виникає тоді, коли людина дотикається до предметів, що коливаються під дією відповідних сил.

Сила впливу вібрації і характер її дії на організм людини залежить від кількості поглинутої енергії, найбільш адекватним виразом якої є віброшвидкість. При вібрації виникають хвильові рухи з перемінним стискуванням або розтягуванням тканини людини чи частин її тіла. Людина краще переносить горизонтальні ніж вертикальні коливання вздовж осі тіла.

Вібрація викликає в організмі людини реакцію аналогічну багатократному струсу мозку і є причиною функціонального розладу різних систем та органів.

Тіло людини можна розглядати як сполучення мас з пружними елементами. Під впливом коливань деяких частот на організм людини може виникати таке явище, як резонанс внутрішніх органів, вони починають поводитись як звичайні маятники. Для більшості внутрішніх органів власні частоти лежать в діапазоні 6-9Гц, а в межах частот 25-30Гц – резонанс голови відносно плечей. Систематична і тривала дія вібрації в резонансній чи близькій до неї зоні може бути причиною вібраційної хвороби.

Найкраще вивчено дію шуму на слуховий апарат людини, доведено, що несприятливе акустичне середовище може призвести до розвитку слухової патології – професійної глухоти.

Шум може впливати на слух людини; викликаючи миттєву глухоту або пошкоджуючи орган слуху призводячи до акустичної травми.

Тривала дія шуму може різко знижувати чутливість слуху до звуків на окремих частотах, після чого слух може відновлюватися майже повністю внаслідок прояву адаптаційної захисної пристосувальної реакції слухового апарату.

Адаптацією до шуму вважається тимчасове зниження гостроти слуху не більше як на 15дБ з відновленням його протягом кількох хвилин після припинення дії шуму.

Найшкідливішим для слуху є шум великої інтенсивності з довготривалим періодом безперервної дії.

Зміна слухової функції може мати короточасну й стійку втрату гостроти слуху. Короточасне зниження гостроти слуху вказує на адаптаційно-приспосувальну реакцію органу слуху на дію шуму.

Інтенсивний шум при щоденній дії може призвести до вираженого професійного захворювання – туговухості (неврит слухового нерва).

4.2 Пожежна безпека

Відповідно до Закону України “Про пожежну безпеку” забезпечення безпеки підприємств, установ покладено на керівників або уповноважених ними осіб; їх обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки обумовлені статтею 5 цього Закону.

Загальні вимоги пожежної безпеки:

- кожний працівник повинен знати правила поведінки при пожежі, шляхи евакуації, вміти користуватися первинними засобами пожежогашіння, знати місце їх знаходження;
- легкозаймисті та горючі рідини необхідно зберігати у спеціально відведених місцях окремо від інших матеріалів;
- у разі виникнення пожежі працівники повинні негайно повідомити про це пожежну охорону за телефоном 101 та керівництво підприємства, і негайно розпочати ліквідацію пожежі всіма наявними засобами;

Правила поведінки людей при виникненні пожежі на об'єктах:

- у випадку виникнення пожежі необхідно викликати спеціалізовану пожежну частину за телефоном 101 та повідомити керівництво і персонал;
- здійснити необхідні заходи щодо гасіння пожежі власними силами;
- евакуювати людей і майно. У першу чергу евакуюють найбільш цінні та пожеже небезпечні матеріали;
- у випадку, якщо неможливо погасити пожежу власними силами, потрібно якнайшвидше залишити приміщення через основні та запасні виходи;

— виходячи з приміщення, де виникла пожежа, потрібно щільно зачинити двері, щоб зменшити надходження кисню до приміщення.

Головна небезпека, від якої гинуть люди на пожежі — дим і гаряче повітря, тому у задимленому приміщенні дихати потрібно тільки через мокру щільну тканину, пам'ятаючи, що поблизу підлоги концентрація диму найменша.

Вогнегасні засоби

Піна буває хімічна та повітряно-механічна. Хімічна піна складається з бульбашок вуглекислого газу, повітряно-механічна — містить бульбашки повітря. Вогнегасна дія піни — охолодження верхнього шару та ізоляція горючих предметів від атмосферного повітря. Піна не застосовується для гасіння електрообладнання під напругою та таких активних речовин як калій, натрій, сірковуглець, з якими вона вступає в реакцію.

Вуглекислота (CO_2) використовується, в основному, для гасіння електроустановок. Вуглекислою не можна гасити етиловий спирт, в якому вона розчиняється, а також целулоїд, терміт, що горять без доступу повітря. При гасінні вуглекислою у закритих приміщеннях концентрація CO_2 зростає, що небезпечно для життя.

Порошки. Порошкова хмара створює захист від теплового випромінювання, тому пожежу можна гасити без спеціальної захисної одяжі. При потраплянні порошків на розжарені предмети відбувається розклад солей та виділення негорючих газів, що підсилює вогнегасну дію порошку. Проте, в закритих приміщеннях при гасінні порошками створюється висока запиленість повітря, порошки також мають слабкий охолоджуючий ефект, що може призвести до повторного загорання.

Порошкові вогнегасники

Порошкові вогнегасники використовуються для гасіння пожеж класів А, В і С (горіння твердих, рідких та газоподібних речовин).

При гасінні пожежі класу А (горіння твердих речовин) вогнегасний порошок необхідно подавати до осередку пожежі, переміщаючи струмінь з боку в бік з метою збиття полум'я. Після того як полум'я збито, треба наблизитись і покрити

всю поверхню речовини, що горить, і особливо окремі осередки шаром порошку, при цьому порошок подається переривчастими порціями.

Під час гасіння пожежі класу В (горіння рідких речовин) струмінь порошку спочатку подають на найближчий край, переміщаючи насадок з боку в бік для покриття пожежі по всій ширині. Подачу порошку слід робити безперервно при повністю відкритому клапані, переміщуючись уперед і не залишаючись позаду й з боків непогашеної ділянки, намагаючись постійно підтримувати у зоні горіння порошкову хмару.

Під час гасіння пожежі класу С (горіння газоподібних речовин) струмінь вогнегасного порошку спочатку необхідно спрямовувати в струмінь газу майже паралельно газовому потоку.

Під час гасіння електроустаткування струмінь вогнегасного порошку слід спрямовувати безпосередньо у джерело полум'я. До початку гасіння знеструмити електроустаткування.

Рекомендації щодо роботи з порошковими вогнегасниками:

- гасити за вітром;
- на рівній поверхні гасіння починати з переднього плану;
- стіну, що горить гасити знизу до верху;
- за наявності кількох вогнегасників, використовувати всі одночасно;
- стежити, щоб горіння не оновилося;
- після використання вогнегасники відправити на заряджання.

Вуглекислотні вогнегасники

Вуглекислотні вогнегасники застосовуються, як правило, для гасіння пожежі класу В (горіння рідких речовин) й електроустаткування (Е).

Під час гасіння пожежі і класу В розтруб має бути спрямований в основу вогнища пожежі, що знаходиться найближче до оператора. Під час гасіння оператор зобов'язаний виконувати рухи розтрубом з боку в бік, пересуваючись уперед. При гасінні електроустаткування тактика аналогічна користуванню порошковими вогнегасниками.

При застосуванні всіх типів вогнегасників необхідно дотримуватися таких загальних правил безпеки:

- у випадку виявлення пожежі подати сигнал тривоги й сповістити пожежну охорону;
- не проходити повз пожежу у пошуках вогнегасника, тому що тупикове приміщення може стати пасткою;
- під час гасіння електроустаткування, що знаходиться під напругою, необхідно, щоб відстань від електроустаткування - до насадка (розтруба) вогнегасника була не менше, ніж 1 метр;
- гасіння здійснювати з навітряного боку;
- залишати вільним шлях евакуації (забезпечити собі можливість евакуації);
- у разі невдалого гасіння залишити приміщення і очікувати на допомогу;
- під час використання для гасіння кількох вогнегасників не здійснювати гасіння струменями вогнегасної речовини, спрямованої назустріч один одному;
- після закінчення гасіння відходити необхідно, залишаючись лицем до вогнища.

4.3 Заходи безпеки

Безпека персоналу при роботах в електроустановках забезпечується шляхом виконання організаційних і технічних заходів.

Організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках, є:

- оформлення замовлень на виконання робіт, порядок або перелік робіт, які виконуються в порядку поточної експлуатації; допуск до роботи;
- нагляд під час роботи;
- оформлення перерви в роботі, переведення в інше місце, оздоблювальні роботи.

В ході підготовки до роботи з видаленням напруги повинні бути в зазначеному порядку, що такі технічні заходи:

4.3.1 Виконайте необхідні вимкнення і вжиті заходи щодо запобігання напруги харчування на місці роботи в результаті помилкового чи самовільного включення комутаційних апаратів. Чи не додається до струмоведучих частин, які можуть випадково наближаються людей, техніки і іншого піднімального встаткування.

4.3.2 Приводи ручні і за допомогою кнопок на пульті дистанційного управління комутаційних апаратів повинні бути вивішені забороняють плакати, а також торговельні автомати або мали місце контрольні запобіжники ланцюгів і ланцюгів харчування комутаційних пристроїв водіння.

4.3.3 Перевірте наявність напруги на струмопровідних частин, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом. Електрична напруга до 1000 В з заземленою нейтрал при використанні біполярної індикатора, щоб перевірити відсутність напруги потрібно як між фазами і між кожною фазою і заземленим корпусом обладнання або захисним провідником. Дозволено використовувати попередньо сертифікованих вольтметр. Не допускається використовувати лампи.

4.3.4 Встановлено заземлення (заземлювачі включені, і де вони не доступні, портативні заземлення встановлені). Переносне заземлення спочатку потрібно прикріпити пристрій до землі, а потім, після перевірки відсутності напруги, встановити до струмоведучих частин. Щоб видалити портативну землю повинен бути в зворотному порядку, спочатку видалить її з струмоведучих частин, а потім від'єднати пристрій від землі.

4.3.5 Індекс розміщені плакати "заземлених", екрановані при необхідності робочі місця і залишилися під напругою струмоведучі частини, розфасовані попереджувальні знаки і приписи. Електричні установки повинні бути вивішені плакати «заземлених» на приводах роз'єднувачів, вимикачів і сепараторів, у разі помилкового вмикання яких може бути під напругою, заземлену секції, а на клавіші і кнопки, пульт дистанційного керування комутаційними апаратами. Для тимчасових огорож залишаються під напругою струмоведучих частин, можна використовувати екрани і т.п., виготовлені з ізоляційного матеріалу.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи, згідно поставлених завдань, розглянуто опис та склад обладнання для транспортування вантажів. Було розглянуто стрічковий конвеєр 1Л80 з його характеристиками. Оскільки це конвеєр старої моделі для виконання умови частотного керування автоматизованого електропривода було розглянуто електрообладнання у вигляді: шафи керування, перетворювача частоти та пристроїв гальмування в різних випадках.

Для дослідження роботи автоматизованого електропривода та отримання його характеристик було розглянуто функціональну схему автоматизованого електропривода із зворотнім зв'язком за швидкістю. Найбільш ефективним способом регулювання швидкості було обрано регулювання за допомогою перетворювача частоти.

В порівнянні з іншими методами застосування перетворювача частоти надає наступні переваги:

- плавний пуск електродвигуна;
- ефективне використання електродвигуна;
- ККД електродвигуна у всьому діапазоні регулювання максимально відповідає ККД електродвигуна в номінальному режимі;
- автономна безпечна робота.

Для виконання умов частотного керування автоматизованого електродвигуна з урахуванням потрібної потужності було розглянуто та обрано електродвигун AB250S6 та перетворювач частоти MICROMASTER 440 фірми SIEMENS, розглянуто схему підключення перетворювача частоти.

З умови забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, при вирішенні завдання синтезу регулятора для автоматизованого електропривода, виконано налаштування на технічний оптимум. Реалізація замкненого контуру регулювання швидкості здійснюється за допомогою програмного ПІ-регулятора перетворювача частоти.

Аналіз результатів дослідження якості показав, при ступінчастому навантаженні, як одного з самих складних режиму пуску стрічкового конвеєра показав що автоматизований електропривод має динамічні характеристики, які цілком задовольняють сформульовані в завданні вимоги $\sigma = 0\% (\leq 5)$, $t_p = 5,4 \text{ с} (\leq 6)$.

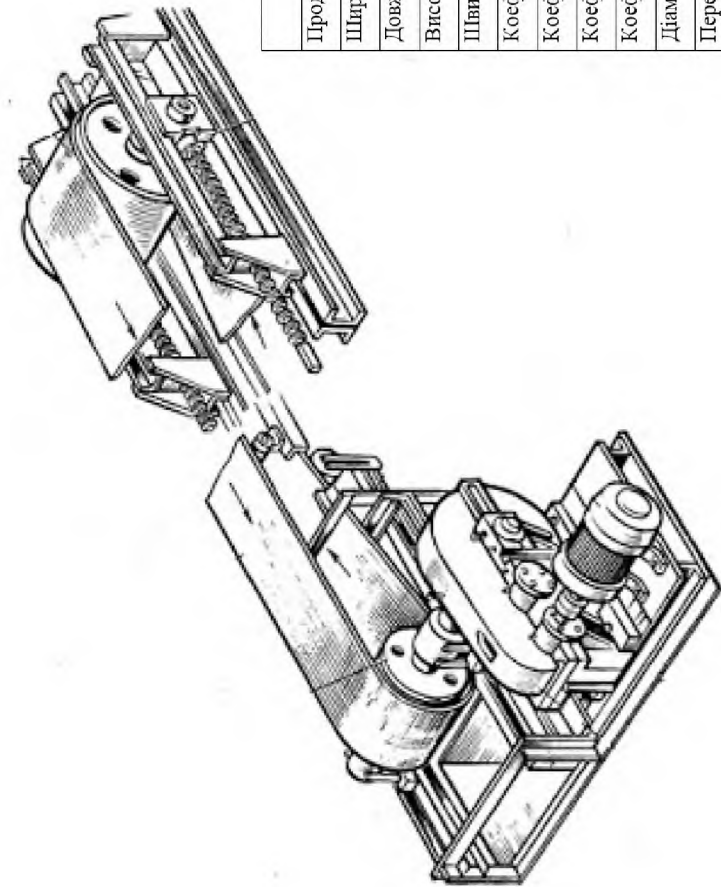
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков та ін. Київ : Либідь, 2005. 680 с.
2. Зялик Ю. І. Транспортні машини : підручник. Львів : Новий Світ-2000, 2019. 312 с.
3. Клепиков В. Б., Ашихмін О. В. Моделювання електромеханічних систем у середовищі MATLAB/Simulink : навч. посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2010. 160 с.
4. Конвеєрний транспорт : навч. посібник / В. О. Маценко, С. І. Проценко, М. А. Отенко та ін. Суми : Сумський державний університет, 2015. 245 с.
5. Лозинський О. Ю., Садовой О. В., Соколова С. П. Автоматизація електромеханічних систем : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 320 с.
6. Маляр В. С. Електричні машини : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 384 с.
7. Моделювання електромеханічних систем : підручник / О. П. Чорний, О. В. Луговий, Д. Й. Родькін та ін. Кременчук : КрНУ, 2008. 380 с.
8. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування : підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Либідь, 2007. 656 с.
9. Чорний О. П., Тітюк В. К., Бурдін В. В. Частотно-регульований асинхронний електропривод : навч. посібник. Кременчук : КрНУ, 2012. 180 с.
10. Шахтний підземний транспорт : підручник / В. В. Проців, М. О. Кузнецов, К. П. Зібров та ін. Дніпро : Журфонд, 2017. 412 с.
11. Bose B. K. Modern Power Electronics and AC Drives. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. 711 p.
12. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. 13th ed. Boston : Pearson, 2017. 1032 p.

13. MICROMASTER 440. 0.12 kW - 250 kW : Operating Instructions. Erlangen : Siemens AG, 2006. 192 p.
14. Rashid M. H. Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications. 4th ed. Boston : Pearson, 2014. 1024 p.

Мультимедійна презентація

Загальний вигляд стрічкового конвеєра 1Л80



Технічні характеристики стрічкового конвеєра 1Л80

Параметр	Значення
Продуктивність конвеєра Q , т /год	330
Ширина стрічки b , мм	800
Довжина конвеєра L , м	450
Висота підйому конвеєра H , м	2
Швидкість руху стрічки V , м/с	2
Коефіцієнт довжини стрічки $K1$	0,96
Коефіцієнт характеру роботи $K2$	0,96
Коефіцієнт конфігурації конвеєра $K3$	0,98
Коефіцієнт холостого ходу K	53
Діаметр ведучого барабана D_6 , мм	400
Передавальне число редуктора i	10,35

Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Функціональна схема автоматизованого електропривода

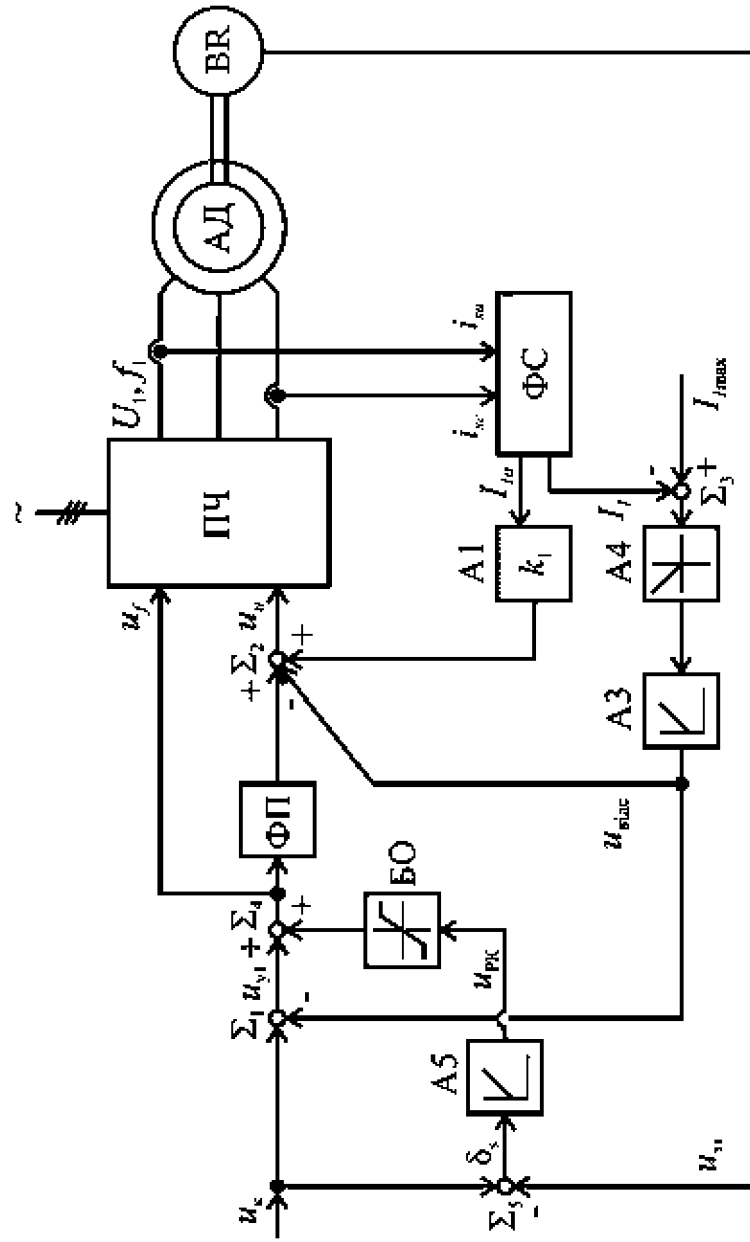
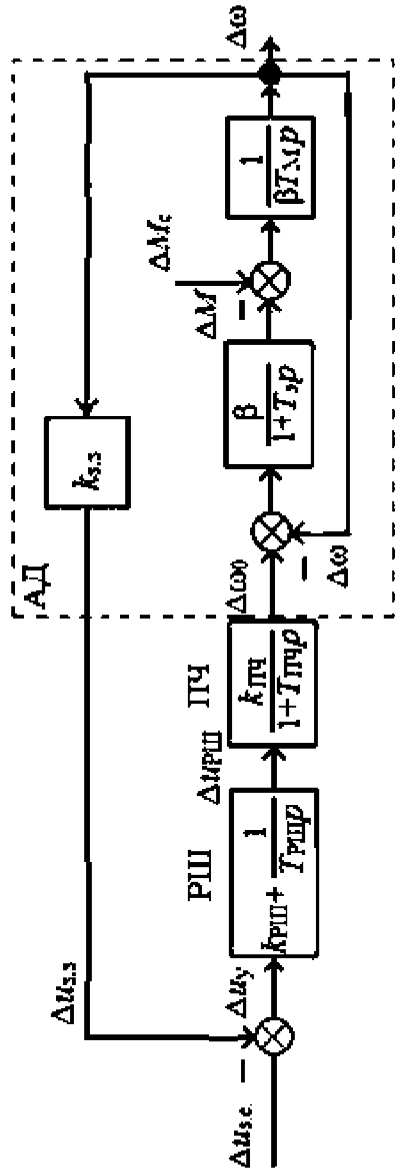
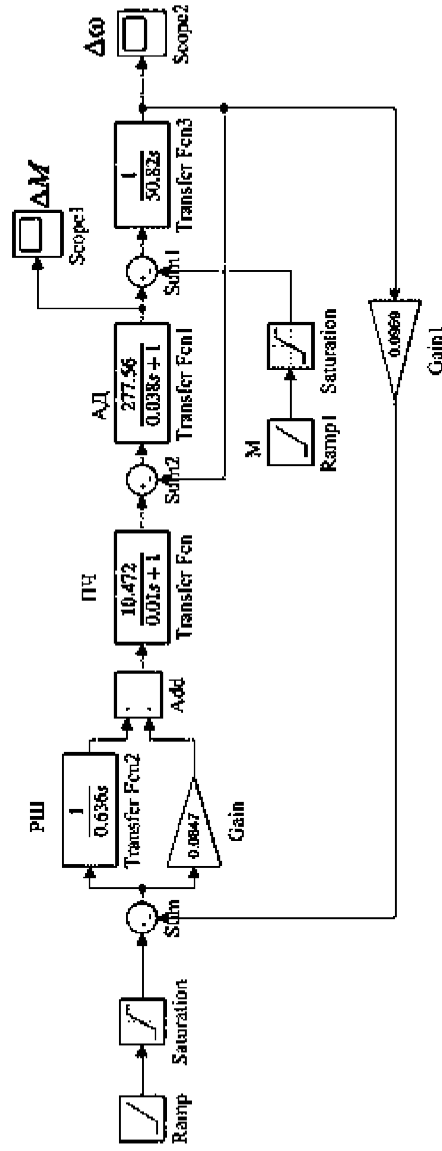


Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Структурна схема автоматизованого електропривода



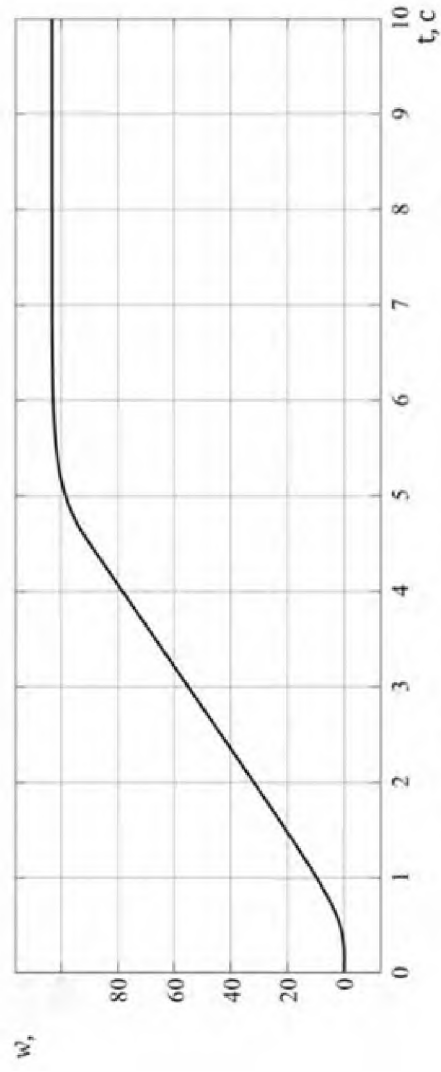
Структурна схема автоматизованого електропривода



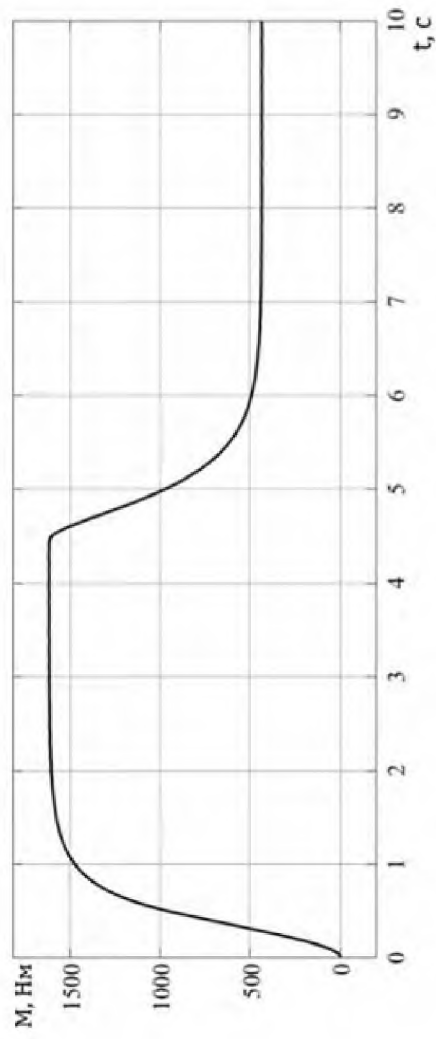
Модель автоматизованого електропривода в MATLAB

Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Дослідження динаміки



Перехідна характеристика швидкості



Перехідна характеристика моменту