

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Освітній ступінь (повна назва інституту/факультету)

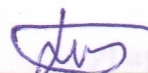
Галузь знань Кафедра автоматики

Спеціальність 14) «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

«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 Електромеханіка та електроенергетика
(назва освітньої програми)

на тему: «Автоматизація шахтного стрічкового конвеєра на базі регульованого електропривода»

Виконав: студент IV курсу, групи 4361

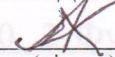
Агафонов Кирило Борисович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ст. викладач каф. автоматики, Савченко О.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

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

Студент 
(підпис)

м. Миколаїв – 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми,
д-р техн. наук, проф.

Я.Б. Волянська

« » 2026_ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр.4361 Агафонову Кирилу Борисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація шахтного стрічкового конвеєра на базі регульованого електропривода»

керівник роботи Васильєв Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від від «22» квітня 2026 р.

№ 286-УЧ

2. Строк подання студентом роботи 16 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: стрічковий конвеєр, продуктивність - 1800 тонн/год;
потужність електродвигуна 75 кВт; основні показники якості перехідного процесу:
перерегулювання $\sigma < 20 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} \leq 2 \text{ с}$; $N \leq 2$, похибка $\varepsilon = 0$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Опис та робота шахтного стрічкового конвеєра. 2 Вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода. 3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода стрічкового конвеєра. 4 Охорона праці при експлуатації електропривода шахтного стрічкового конвеєра

5. Перелік графічного матеріалу

1 Стрічковий шахтний конвеєр WAMAG ТИП РТД 1000. 2 Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням. 3 Схеми системи керування електропривода. 4 Аналіз динаміки САК

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент	05.05.26	08.06.26

7. Дата видачі завдання «06» лютого 2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис та робота шахтного стрічкового конвеєра	16.03.2026	
2	Вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода	06.04.2026	
3	Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода стрічкового конвеєра	05.05.2026	
4	Охорона праці при експлуатації електропривода стрічкового конвеєра	10.06.2026	

Студент

А
(підпис)

Агафонов К.Б.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Васильєв
(підпис)

Васильєв О.Г.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 64 сторінок: з 55 сторінок тексту, 4 розділів, 5 таблиць, 13 рисунків, 16 літературних джерел, 1 додатку на 9 сторінках.

Ключові слова: аналіз динаміки, математична модель, стрічковий конвеєр, тиристорний електропривод, транспортуюча машина, система керування.

Об'єкт дослідження – система керування електропривода шахтного стрічкового конвеєра типу WAMAG ТИП РТД 1000 на базі регульованого електропривода.

Мета роботи – вибір оптимальної системи керування електропривода стрічкового конвеєра та дослідження її динамічних властивостей.

У першому розділі розглянуті класифікація транспортуючих машин, устрій і принцип роботи стрічкових конвеєрів.

У розділі 2 проведений вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода. Зроблений огляд існуючих систем керування електропривода для конвеєрів, вибраний перетворювач Micromaster440 фірми Siemens з частотно-струмовою системою керування, наведені його технічні дані.

В розділі 3 зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей.

В результаті досліджень отримані перехідні характеристики системи частотно-струмового керування асинхронним двигуном з такими показниками якості системи керування, які пред'являються до електроприводів транспортуючих механізмів.

В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці при експлуатації електропривода шахтного стрічкового конвеєра.

Додаток містить 9 слайдів мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОПИС ТА РОБОТА ШАХТНОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.....	8
1.1 Класифікація і призначення гірничих транспортних машин.....	8
1.2 Опис та основні технічні характеристики шахтного стрічкового конвеєра типу WAMAG-PTD 1000	11
1.3 Існуюча система керування	14
2 ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	16
2.1 Вибір типу електродвигуна	16
2.2 Огляд існуючих систем керування електропривода для конвеєрів... ..	19
2.3 Основні технічні характеристики комплектного електропривода Siemens MICROMASTER 440	26
3 АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	31
3.1 Функціональна схема системи керування електропривода.....	31
3.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням.....	33
3.2 Розрахунок параметрів регуляторів електропривода з частотно-струмовим керуванням.....	40
3.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода стрічкового конвеєра	45
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.....	50
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації системи керування електропривода стрічкового конвеєра	50
4.1.1 Дія та наслідки ураження електричним струмом.....	50
4.1.2 Шум та вібрації при експлуатації системи керування стрічкового конвеєра	52

4.2 Захист від шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації системи керування електропривода стрічкового конвеєра	53
ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	58
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація	60

ВСТУП

Вугільна промисловість України, що забезпечує видобуток і первинну переробку кам'яного і бурого вугілля, є однією з основних галузей паливної промисловості. Вона є невід'ємною складовою інших найважливіших галузей: електроенергетики і металургії.

Динаміка видобутку корисних копалин за останній період свідчить, що майже по всіх групах спостерігається стабільне зростання.

Однак останніми роками склалося велике протиріччя між надзвичайно важливим значенням вугільної галузі і технічним та економічним станом, в якому вона знаходиться.

Необхідне випереджаюче зростання капітальних вкладень в нові технології та модернізацію основних фондів.

Одним із шляхів інтенсифікації та концентрації очисних робіт є створення потокової технології, при якій здійснюється безперервність процесів видобутку, доставки, навантаження, транспортування та підйому руди. Створення потокової технології на всіх або на окремих транспортних ланках гірничого підприємства неможливе без застосування конвеєрного транспорту, що забезпечує безперервність вантажопотоку, ритмічність роботи та підвищення продуктивності праці за найнижчої енергоємності та трудомісткості процесів доставки та транспортування копалин.

Конвеєрний транспорт – найпродуктивніший вид безперервного транспорту. Стрічкові конвеєри використовуються для транспортування сипких та штучних вантажів з різною продуктивністю та швидкістю руху конвеєрної стрічки. Відстань транспортування стрічковими конвеєрами сягає кількох кілометрів, траса може мати різну схему, що дозволяє пристосовувати конвеєри до умов виробництва та місцевості.

Автоматизація виробничих процесів з використанням машин безперервної дії дозволяє значно збільшити економічний ефект за рахунок забезпечення раціональних режимів роботи всіх вузлів конвеєрів, скорочення часу пуску й

зупинки конвеєрної лінії, зниження витрати електроенергії й простоїв устаткування.

Для автоматичної роботи транспортуючої машини або транспортно-технологічного комплексу встановлюються необхідні прилади автоматичного керування, крім того дуже важливо забезпечити тривалу безперервну роботу кожного елемента системи при мінімальній кількості обслуговуючого персоналу.

Особливістю роботи конвеєрів є нерівномірність режимів роботи й навантажень. Це складні об'єкти автоматизації як з позиції керування ними, так і безпечної експлуатації.

Підтримка рівномірності навантажень двигуна й швидкостей стрічки повинна здійснюватися безперервним регулюванням, що можливо тільки у випадку застосування систем регульованого електропривода.

Електроприводи ряду гірських машин для відкритих гірських робіт, електроприводи шахтних електровозів і деякі інші будуються на базі регульованих двигунів постійного струму, однак більша частина електроприводів гірських машин будується на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором через їх більшу надійність, простоту обслуговування, менші габарити та інші переваги.

В даний час застосовують електроприводи з керованими тиристорними випрямлячами або транзисторними широтно- імпульсними перетворювачами.

У цей час спостерігається інтенсифікація процесу впровадження частотно-регульованих асинхронних електроприводів у машини гірничодобувного виробництва.

Метою роботи є заміна існуючої системи керування електропривода шахтного стрічкового конвеєра для транспортування вугілля та інших кускових і сипучих вантажів на автоматизовану систему керування асинхронного двигуна.

РОЗДІЛ 1

ОПИС ТА РОБОТА ШАХТНОГО СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

1.1 Класифікація і призначення гірничих транспортних машин

Транспортуючими машинами називають машини, які застосовують на підприємствах системи заготівки для переміщення сировини, напівфабрикатів, готової продукції й відходів виробництва.

Підйомно-транспортні засоби різного призначення поділені на дві головні окремі самостійні конструктивні групи машин і установок за принципом їх дії [7].

Машини періодичної дії:

- вантажопідйомні крани і установки;
- ліфти (підйомники);
- засоби наземного транспорту: візки, навантажувачі, тягачі;
- підвісні рельсові та канатні дороги;
- скрепери

Машини безперервної дії:

- конвеєри різного типу;
- установки пневматичного та гідравлічного транспорту.

Основними засобами транспорту на підприємствах вугільної промисловості по виробіткам є рейковий транспорт і конвеєрний.

За характером прикладення рухомої сили та конструкції транспортуючі машини, які мають тяговий елемент (стрічку, ланцюг, канат, штангу) для передачі рухомої сили, поділяють на [7,9]:

- конвеєри стрічкові;
- конвеєри пластинчаті;
- конвеєри скребкові;
- конвеєри скребково-ковшові;
- конвеєри люлечні;
- конвеєри візкові;

- конвеєри підвісні;
- конвеєри штангові;
- конвеєри крокуючі;
- ескалатори та елеватори - ковшові, полочні

Транспортуючі машини без тягового елемента:

- гвинтові конвеєри;
- коливаючі конвеєри;
- роликові конвеєри;
- обертаючі транспортуючі труби.

За характером переміщення вантажу транспортуючі машини можна розділити на наступні основні групи:

- переміщення на несучому елементі, що безупинно рухається, у вигляді суцільної стрічки або полотна (настилу). До цієї групи належать: стрічкові, пластинчасті й ланцюгонесучі конвеєри;

- переміщення в робочих елементах, які безупинно рухаються, у вигляді ковшів, коробів, підвісок, платформ-візків і т. д., які знаходяться на певній відстані один від одного. До цієї групи належать ковшові, підвісні, візкові й колискові конвеєри, ескалатори й елеватори всіх типів;

- волочіння вантажу по нерухливому жолобі або трубі безупинно рухаються скребками. До цієї групи належать скребкові конвеєри із суцільними (прямокутними або круглими) і контурними скребками.

Стрічкові конвеєри призначені для безперервного переміщення вантажів в горизонтальному, похилому та вертикальному напрямках.

Стрічкові конвеєри використовуються в промисловості, сільському господарстві, гірничій справі та металургії.

За призначенням стрічкові конвеєри бувають загального призначення стаціонарні, (ГОСТ 1596-53) загального призначення пересувні (ГОСТ 2103-60), підземні (ГОСТ 3039-54), спеціальні, наприклад для відкритих гірничих робіт.

Підземні стрічкові конвеєри (ГОСТ 3639-61) за призначенням поділяють на - забійні; штрекові, похилі.

Стрічковий конвеєр складається із трьох основних частин: головної, середньої й хвостової. Гумовотканинна стрічка є тяговим і одночасно несучим органом. Завантаження стрічкового транспортера, як правило, проектується у хвостовій частині, там розміщається спеціальний завантажувальний пристрій. Місце розвантаження проектують у середній або головній частині.

Стандартна комплектація конвеєра містить у собі:

- очисні пристрої для очищення стрічки;
- аварійні, запобіжні пристрої й пристрої, що виключають;
- інше устаткування, необхідне споживачеві для складання конкретних конвеєрних схем.

Основні елементи стрічкового конвеєра представлено на рисунку 1.1 [8].

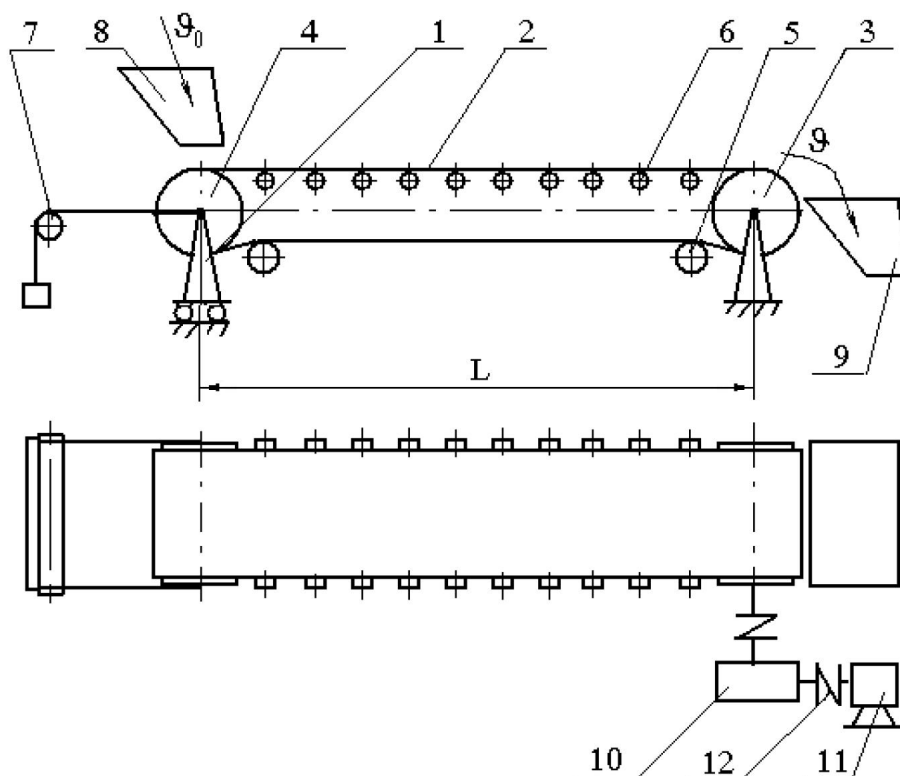


Рисунок 1.1 - Схема стрічкового конвеєра

Стрічковий конвеєр (рисунок 1.1) складається із станіни 1, на якій встановлені приводний 3, натяжний 4 барабани, та натяжний пристрій 7, стрічки 2, яка огинає ці барабани та підтримується опорними роликами 6 або настилом.

Для підвищення тягових характеристик встановлюються відхиляючі барабани 5. Стрічка завантажується вантажем за допомогою завантажувального пристрою 8, а розвантажується через розвантажувальну воронку 9 у кінці барабану.

Приводний барабан отримує обертання від привода: редуктор 10, електродвигун 11, муфти 12.

Переваги стрічкового конвеєра:

- мала металоємність та енергоємність;
- великий діапазон продуктивності до 20000 т/год;
- простота обслуговування;
- переміщення вантажу на значну відстань, у кар'єрах до 10 км.

Недоліки стрічкового конвеєра:

- неможливість застосування в криволінійних у плані виробках;
- висока вартість стрічки, порядку 40% від всієї вартості конвеєра, мала довговічність стрічки;
- обмеженість вантажу по кускуватості (до 500 мм).

В роботі якості об'єкту модернізації розглядається система керування електропривода стрічкового конвеєра WAMAG ТИП РТД 1000.

1.2 Опис та основні технічні характеристики шахтного стрічкового конвеєра типу WAMAG-PTD 1000

Конвеєри WAMAG фірми ВТ МІФАМА призначені для транспортування гірничої маси (вугілля, калійних солей і інших кускових і сипучих матеріалів) по дільничних виробках, а також основних виробках вугільних шахт. Можуть бути використані як вибійні при рудних розробках і на будівництві [2,5].

Конвеєр WAMAG ТИП РТД 1000 (рисунок 1.2) призначений для транспортування матеріалів у підземних дільницях з під лави по допоміжних і магістральних виробках до пристовбурного двору.

Компактна конструкція даного конвеєра дозволяє його установлення в нижньому або збірному штреку, а також в похилих стовбурах шахти.

Стрічковий конвеєр WAMAG-PTD 1000 виготовлений з типічних підвузлів.

Несуча конструкція може бути закріплена на землі або підвішена на перекритті, або на штрековому кріпленні.

Приводний блок конвеєра залежно від потреб одно-, дво-, три-, або декілько-двигунний, має кутову передачу і еластичне або гідрокінетичне зчеплення, барабанні або дискові гальма, петльовий контейнер стрічки, вузол приводного барабана з резиною або керамічною обшивкою.

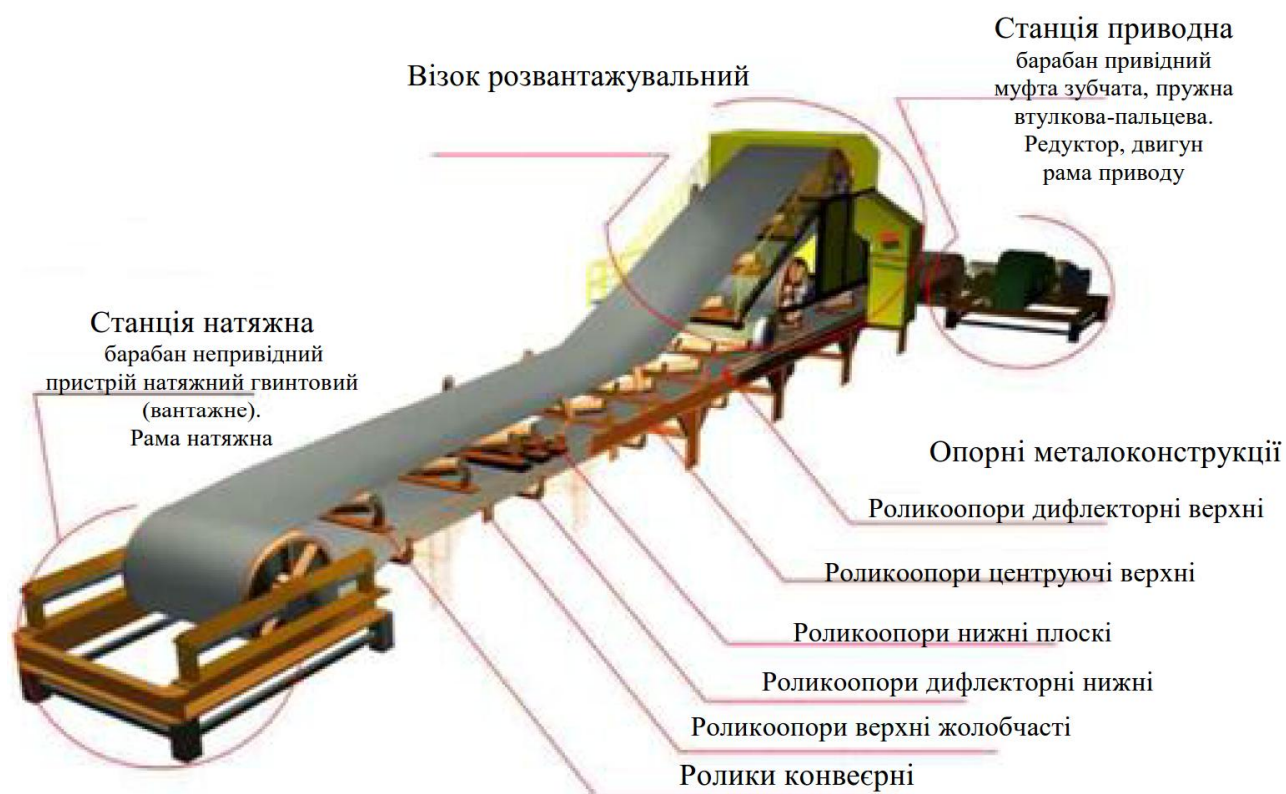


Рисунок 1.2 - Стрічковий шахтний конвеєр WAMAG ТИП РТD 1000

Корпус барабана кріпиться за допомогою розжимних кілець. Довжина стрічки петльового контейнера до 60 м, натяг за допомогою канатної лебідки, яка спряжена з гідросистемою виміру натягу стрічки.

Конвеєрна стрічка служить одночасно тяговим і грузонесучим органом.

Стрічкові конвеєри обладнують допоміжними пристосуваннями, до яких відносяться очисні та завантажувальні пристрої.

Роликовий постав стрічкового конвеєра призначений для підтримки вантажних і порожнякових гілок конвеєрної стрічки і напрямку її руху. Він являє собою металокопструкцію, на якій встановлені роликоопори.

Приводний пристрій призначений для приведення стрічки в рух і передачі тягового зусилля. Воно складається з рами, на якій монтуються приводні і відхиляючі барабани. Вали приводних барабанів через редуктор і еластичні муфти з'єднують з електродвигунами.

Привод конвеєра встановлюють на фундамент та постачають гальмом.

Натяжні пристрої служать для натягу конвеєрної стрічки, щоб не допустити надмірного провисання її між роликотопорами.

Очисні пристрої служать для видалення з конвеєрної стрічки залишків налиплого вантажу після розвантаження конвеєра. Вони виконуються у вигляді різного виду скребків і щіток.

До конструкції даного конвеєра входять роликові комплекти, гирляндні або стаціонарні. Станція скидання обладнана силовою установкою і хоботиною.

Особливості стрічкових конвеєрів фірми МІФАМА: цільна й проста сучасна конструкція; великий діапазон потужності (30 – 1000 кВт); великий діапазон ширини стрічки (800 – 1400 мм); одно- й багатоприводні; можуть слугувати для транспортування людей.

Технічна характеристика конвеєра типу WAMAG-PTD 1000 наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика конвеєра типу WAMAG-PTD 1000 [15].

Параметр	Значення
Ширина стрічки, мм	1000
Потужність привода, кВт	75
Швидкість стрічки, м/с	2; 2,5; 3,15
Продуктивність макс., т/год	1800
Натяг стрічки	Натяжна станція з лебідкою
Гранична межа сил натягу, кН	max. 30

1.3 Існуюча система керування

Електрообладнання конвеєра складається з електродвигунів, пускорегулювальної та захисної апаратури, кінцевих вимикачів, сигнальної апаратури, кабелів і проводів. Живлення електрообладнання здійснюється від 3 -х фазної мережі змінного струму напругою 380 В.

Система автоматичного керування електроприводом забійного стрічкового конвеєра забезпечує: підвищений пусковий момент; обмеження часу втримання зусилля при неуспішному запуску (6 - 8 секунд) для запобігання перегріву електроприводів; - автоматичний захист приводів і тягового ланцюга конвеєра від динамічних перевантажень при заклинюванні ланцюга.

Конвеєр WAMAG комплектується апаратурою контролю стрічкового конвеєра (АКСК), яка, крім функції відключення електродвигунів при пориві тягового органу, має ряд додаткових діагностичних функцій, у т.ч. контроль навантаження на кожний електродвигун, контроль зміни швидкості, світлову індикацію відмови зі збереженням інформації в пам'яті, контроль справності електричних кіл та ін [15].

Для контролю роботи конвеєра встановлюють ряд датчиків (рисунок 1.3).

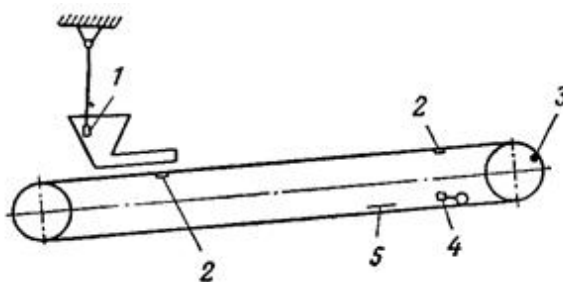


Рисунок 1.3 - Схема розташування датчиків на стрічковому конвеєрі

Зупинка стрічки, поперечний її розрив і пробуксовка на приводі контролюються датчиком швидкості 4, який встановлюють у приводної головки так, щоб ролик датчика стикався зі стрічкою по її чистій стороні. Датчик являє собою тахогенератор, який служить джерелом сигналу для реле швидкості. Для профілактичного контролю цілості тросів гумово-тросових стрічок є пристрої 5, що дозволяють виявити ділянки ушкодження тросів, визначити часткове або повне

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ТИПУ ДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Вибір типу електродвигуна

Привод стрічкового конвеєра призначений для передачі ланцюгу тягового зусилля, повідомлення йому необхідної швидкості й забезпечення режимів пуску й останову. Привод стрічкового конвеєра складається з електродвигуна, редуктора, муфти й гальма. До складу привода конвеєра може бути введена гідравлічна або електромагнітна муфта.

Режим роботи конвеєра характеризується:

- тривалою роботою протягом значного проміжку часу, тому що завантаження, транспортування й розвантаження здійснюються безупинно, без зупинок;
- рідкими пусками й остановами, що пояснюється тривалим режимом роботи конвеєра;
- сталістю напрямку руху тягового органа конвеєра, що обумовлює застосування нереверсивної схеми керування електродвигуном;
- нерівномірністю навантаження. Це в першу чергу стосується скребкових конвеєрів, що працюють у комплексі з очисними комбайнами або стругами;
- порівняно важкими умовами пуску. Важкий пуск - це пуск конвеєра під навантаженням, що пояснюється наявністю вантажу на стрічці або ставі стрічкового конвеєра після аварійної його зупинки.

Умови, у яких експлуатуються шахтні конвеєри, характеризуються великою скрутністю робочого місця і його мінливістю, різним нахилом і довжиною гірських виробітків, наявністю пилу, вологістю навколишнього середовища, хімічною активністю шахтних вод, механічним впливом від шматків гірських порід, що відколюються, вибухонебезпечністю рудничної атмосфери, раптовістю викидів вугілля й газу.

Конвеєри, установлені на поверхні шахт і рудників або на збагачувальних

фабриках, не піддані перерахованим вище впливам і тому умови їх експлуатації значно кращі.

Умови експлуатації, режими роботи й конструктивні виконання приводних станцій скребкових і стрічкових конвеєрів формують наступні вимоги, пропоновані до їхніх електроприводів:

- використання в якості електропривода рудничних і вибухозахищених електродвигунів підвищеної надійності під землею й захищених або нормального виконання електродвигунів на поверхні. Ті ж вимоги пред'являються й до апаратури керування електродвигунами;
- забезпечення високої перевантажувальної здатності при можливо менших пускових струмах;
- забезпечення плавності пуску;
- рівномірний розподіл навантаження між електродвигунами при багатодвигунному електроприводі.

Основним видом привода конвеєрів і живильників у цей час служить електропривод змінного струму. Застосування асинхронного короткозамкненого електродвигуна дозволяє ліквідувати колектор, наявний у двигуна постійного струму й щітки - в асинхронного двигуна з фазним ротором, спростити конструкцію, підвищити надійність і зменшити (для однакових потужностей) масо-габаритні показники електропривода.

Відомо, що переваги АД найбільш повно реалізуються при частотному керуванні, що обумовлює постійне витиснення регульованого електропривода постійного струму частотно-регульованим асинхронним електроприводом у всіх галузях промисловості [12].

В даний час біля половини виробленої електроенергії споживається нерегульованими двигунами перемінного струму, серед яких значну частину складають потужні високовольтні АД. Регулювання швидкості потужних високовольтних АД, виключення режимів прямих пусків - ефективні фактори підвищення продуктивності робочих механізмів, зниження експлуатаційних витрат, економії електроенергії. Робочими механізмами потужних високовольтних

електроприводів є: підйомники гірської і металургійної промисловості, вентилятори, насоси, газодувки, компресори гірської, металургійної, хімічної промисловості, атомної енергетики.

Відомо, що механічні і динамічні характеристики, енергетичні показники АД в частотно-регульованому електроприводі визначаються: прийнятим законом частотного керування, способом частотного керування, алгоритмічною й апаратною реалізацією автоматичної системи регулювання (АСР) електропривода.

В даній роботі зроблена заміна існуючого електродвигуна на більш підходящий, найбільш розповсюджений тип 2АИУ250S4.

Згідно з технічною характеристикою для існуючих потужності та частоти обертання по каталогу обираємо електродвигун асинхронний вибухозахищений серії 2АИУ250S4 з наступними даними (таблиця 2.1) [17].

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики електродвигуна серії 2АИУ250S4

Параметр	Значення
Тип	2АИУ250S4
Потужність, кВт	75,0
Частота обертання валу умовна/фактична n , об./хв.	1500/1480
ККД, %	93,6
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0,88
Струм I_H , А (при $U=380V$)	138,3
Ковзання S_H , %	1,33
Кратність пускового струму I_n / I_H	6,8
Кратність максимального моменту $M_{\max} / M_H$	2,3
Кратність пускового моменту M_n / M_H	2,2
Момент інерції ротора J_∂ , кг·м ²	0,35
Маса, кг	511

Асинхронний двигун вибухозахищений серії АИУ (2АИУ250S4) дуже часто застосовується на вибухонебезпечних виробництвах вугільної та рудникової промисловості. Електродвигун 2АИУ250S4 можна використовувати для роботи в приміщеннях, у зовнішніх установках, у підземних виробках шахт, де є можливість вибуху метану або вугільного пилу.

Асинхронний електродвигун 2АИУ250S4 75/1500 працює від джерела змінного трифазного струму з частотою 50 Гц або 60 Гц, працює в тривалому режимі S1.

Ступінь захисту IP електродвигуна: IP54.

Електродвигун 2АИУ250S4 75/1500 відповідає всім вимогам вибухозахисту, і маркується: РВ ЗВ, де РВ – підгрупа з електроустаткування; ЗВ – вибухонепроникна оболонка.

З розробкою й освоєнням серійного виробництва потужних силових напівпровідникових приладів з'явилася можливість широкого застосування потужних високовольтних перетворювачів частоти (ПЧ) для живлення обмоток високовольтних АД. Таким чином, з'явилася можливість створення регульованих по швидкості потужних асинхронних електроприводів.

2.2 Огляд існуючих систем керування електропривода для конвеєрів

Вимоги до електропривода стрічкового конвеєра. Усі системи електроприводів відрізняються між собою за такими основними показниками: діапазон регулювання швидкості; жорсткість механічної характеристики; плавність регулювання; стійкість електропривода; характер зміни моменту; допустима за умовами нагріву перевантажувальна здатність двигуна та економічність [9].

Вибір певної системи електропривода визначається зокрема тією чи іншою обставиною, коли потребується регулювання продуктивності конвеєра.

Продуктивність конвеєра можливо регулювати декількома способами:

- зміною частоти обертання приводного двигуна (електричний спосіб);

- за рахунок спеціальних пристроїв, що має сам механізм (направляючі лопатки та інше);
- комбінований спосіб.

Вибір того чи іншого способу визначається такими факторами:

- потребою в відношенні діапазону і економічності регулювання;
- потужністю та конструкцією механізму.

Для підвищення економічності та надійності функціонування системи пропонується регулювати частоту обертання приводного електродвигуна за рахунок системи керування при зміні навантаження..

При застосуванні електричного способу регулювання із застосуванням сучасної техніки (частотні перетворювачі) значно знижуються втрати електроенергії при регулюванні, оскільки ККД таких перетворювачів становить 0,97-0,98. У випадку реостатного регулювання частоти обертання асинхронного двигуна з фазним ротором, втрати енергії в роторному колі становлять 15 – 17% номінальної потужності на валу, і регулювання обертів відбувається ступінчасто. В поставленій задачі виникає необхідність регулювати швидкість обертання двигуна, і потрібно постійно підтримувати її сталою для визначеного режиму роботи установки. Тому варто застосовувати системи типу ТРН – АД, або ТПЧ – АД. Не виключено також застосування двигуна постійного струму, але ця схема дещо застаріла. З точки зору сучасних технологій та можливості програмування найбільш прийнятною є схема ПЧ – АД. В нашому випадку можна обирати АД з короткозамкненим ротором.

Одним з ефективних засобів енергозбереження є частотно-регульовані приводи з асинхронними електродвигунами, що підтвердили результати їхнього впровадження на промислових електроприводах: забезпечується економія електроенергії від 20% до 45% у залежності від потужності електропривода і режимів його роботи; значно менші затрати на ремонт обладнання; покращення якості вихідної продукції. Строк окупності системи частотного регулювання швидкості двигуна від 2 до 4 років в залежності від фонду часу роботи конвеєра, термін експлуатації - від 10 до 15 років. При цьому не потрібна заміна існуючих

асинхронних електродвигунів, що особливо актуально при реконструкції об'єктів

З метою обмеження динамічних навантажень, забезпечення надійного зчеплення стрічки з барабаном та вантажу, що транспортується, зі стрічкою конвеєрних установок, особливо при їхній великій довжині, електропривод повинен обмежувати прискорення при пуску припустимою величиною й усувати коливальні динамічні навантаження.

На цей час все частіше використовують тиристорні схеми керування асинхронними двигунами як з фазним, так і з короткозамкненим ротором. Такі схеми дозволяють автоматично змінювати жорсткість механічних характеристик, підтримуючи тим самим рівномірне завантаження кожного із приводних двигунів.

У випадку застосування регульованих електроприводів, що забезпечують процеси плавного пуску, регулювання швидкості конвеєрної установки, обмеження динамічних навантажень і вирівнювання навантажень між приводними двигунами, мінімальний діапазон регулювання швидкості повинен бути 10:1.

Застосовуються різні способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна [12,14]:

- параметричне регулювання;
- зміною частоти живильної напруги;
- переключенням числа полюсів;
- частотне регулювання;
- векторне керування.

Найбільш поширені два останніх способи.

При частотному керуванні замість безпосередньої подачі на двигун стандартної змінної напруги з мережі (одно або трифазної) напруга спочатку проходить процес перетворення. При цьому міняються деякі її ключові параметри, зокрема:

- амплітуда напруги й струму;
- частота напруги й струму;
- кутова різниця між окремими фазами;

- вектор магнітного потоку усередині обмоток ротора й статора.

Процес такого перетворення здійснюється в особливому пристрої, який прийнято коротко називати частотним перетворювачем або перетворювачем частоти (ПЧ).

Розрізняють два основних способи частотного керування:

- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частоти і напруги статора;
- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частота і струм статора.

Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти живильної напруги впливає з формули

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}$$

При регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди джерела напруги, що впливає з виразу

$$U_1 \approx E_1 = k \cdot \Phi \cdot f_1 .$$

Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватися зворотно пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зросте і це приведе до насичення сталі ротора машини і як наслідок до різкого збільшення струму і перевищенню температури двигуна; при збільшенні частоти потік буде зменшуватися і як наслідок буде зменшуватися припустимий момент [2].

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу, одночасно у функції частоти і навантаження, що реалізовано тільки в замкнутих системах електропривода.

Частотне регулювання кутової швидкості електроприводів змінного струму з двигунами з короткозамкненим ротором знаходить все більше застосування в різних галузях техніки. Наприклад, в установках текстильної промисловості, де за

допомогою одного перетворювача частоти, що живить групу асинхронних двигунів, що знаходяться в однакових умовах, плавно і одночасно регулюються їх кутові швидкості. Прикладом іншої установки з частотно-регульованими асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором можуть служити транспортні рольганги в металургійній промисловості, деякі конвеєри та ін

Частотне регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів широко застосовується в індивідуальних установках, коли потрібне отримання досить високих кутових швидкостей (для приводу електрошпінделем в металорізальних верстатах з частотою обертання до 20 000 об /хв).

Економічні вигоди частотного регулювання особливо істотні для приводів, що працюють в повторно-короткочасному режимі, де має місце часта зміна напрямку обертання з інтенсивним гальмуванням.

Для здійснення частотного регулювання кутової швидкості знаходять застосування перетворювачі, на виході яких по необхідному співвідношенню або незалежно міняється як частота, так і амплітуда напруги.

Другий спосіб називається *частотно-струмовим керуванням*. Формування механічних характеристик асинхронних двигунів при частотному керуванні, як і при керуванні двигунами постійного струму, служить задачам забезпечення необхідної перевантажувальної здатності і жорсткості характеристик у всьому діапазоні регулювання швидкості.

Задана перевантажувальна здатність забезпечується шляхом виконання визначених співвідношень між частотою і напругою статора.

Жорсткість механічних характеристик може бути як завгодно високою при використанні зворотних зв'язків по швидкості. Варто підкреслити, що і без зворотних зв'язків по швидкості жорсткість механічних характеристик частотно-керованих електроприводів перемінного струму виявляється більш високою, ніж у приводів постійного струму. Ця обставина сприяє застосуванню простих систем керування асинхронними електроприводами, не оснащеними датчиками швидкості і контурами регулювання швидкості.

Крім вимог формування механічних характеристик двигунів, до систем

керування можуть пред'являтися також вимоги відносного керування по енергетичних витратах, наприклад забезпечення необхідних моменту і швидкості при мінімумі струму статора чи мінімумі втрат, забезпечення максимального моменту при заданому струмі статора.

Такі задачі керування вирішуються при використанні екстремальних систем керування [14,16].

Система векторного керування. Роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна можна ефективно робити, використовуючи принцип векторного керування. Координати електропривода, обмірювані в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторам в обертовій системі координат. По цих координатах і виконується керування.

Вихідною інформацією для побудови системи векторного керування є інформація про миттєві значення й просторове положення вектора потокозчеплення в повітряному зазорі, миттєвих значеннях струмів або напруг статора й швидкості ротора двигуна. Обертова система координат приймається певним чином орієнтованою щодо вектора потокозчеплення двигуна. Зручні алгоритми керування мають місце при орієнтації координатної системи щодо вектора потокозчеплення ротора.

Переваги векторного регулювання:

- точне відпрацьовування швидкості з компенсацією ковзання (навіть без зворотного зв'язку по швидкості);
- глибокий діапазон регулювання;
- в області малих частот двигун працює плавно й зберігає момент аж до нульової швидкості;
- швидка реакція на стрибки навантаження;
- при різких стрибках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості, внаслідок високої динаміки регулювання;
- оптимізація ККД двигуна на низьких частотах;

- за рахунок регулювання струму намагнічування здійснюється оптимізація режиму роботи двигуна й зниження втрат.

Недоліком системи векторного керування є складність керуючих і функціональних пристроїв при реалізації перетворення координат і фаз, виконання компенсаційних зв'язків при широкому діапазоні регулювання швидкості й навантаження електропривода.

Серед чисельних способів регулювання швидкості асинхронного електродвигуна для безпечних механізмів з частим включенням виняткова роль належить частотному керуванню.

Частотне керування приводом стало свого роду технічним стандартом. Практично вийшли з використання такі способи регулювання асинхронного приводу: зміною числа пар полюсів, введенням додаткових опорів у коло ротора, зміною напруги живлення двигуна тощо.

Таке широке розповсюдження частотно-керований привод отримав завдяки досягненням у області силовій електроніки і мікропроцесорної техніки.

Саме на основі силових транзисторів з ізолюваним затвором побудовані сучасні перетворювачі частоти (ПЧ) напругою до 1000 В.

Проаналізувавши наявні засоби і системи керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна, приходимо до висновку, що для керування електропривода конвеєра доцільно використати тиристорний перетворювач з частотною системою керування.

Застосування частотних перетворювачів вирішує проблеми, пов'язані з пуском електродвигунів. Виключаються високі пускові струми електродвигунів і ударні навантаження в керованих механічних і гідравлічних пристроях.

У приводі з частотним перетворювачем забезпечується надійний захист і електродвигуна, і самого перетворювача. Частотні перетворювачі прості в керуванні, можуть сполучатися з керуючими контролерами, іншими елементами і пристроями автоматики.

Отже, найбільш вигідним для застосування з економічної та технічної точки зору є система електричного привода типу ПЧ-АД.

Більшість сучасних частотних перетворювачів підтримують роботу у режимі частотно-струмового керування асинхронним електродвигуном. Цей спосіб дозволяє змінювати швидкість обертання валу двигуна у широких межах.

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигуном скребкового конвеєра вибраний перетворювач типу Siemens MICROMASTER 440 з частотно-струмовим керуванням.

2.3 Основні технічні характеристики комплектного електропривода Siemens MICROMASTER 440

Частотний перетворювач Siemens Micromaster 440 служить для плавного регулювання швидкості асинхронного електродвигуна, що приводить до безступінчастого руху при підйомі, переміщенні, повороті й маятниковому застосуванні.

Переваги застосування перетворювачів частоти Siemens:

- висока точність регулювання асинхронним електродвигуном;
- економія електроенергії в разі змінного навантаження рівний максимальному пусковий момент;
- підвищений ресурс устаткування;
- кероване гальмування і автоматичний перезапуск при пропажі мережевої напруги;
- підхоплення обертового електродвигуна, стабілізація швидкості обертання при зміні навантаження;
- значне зниження акустичного шуму електродвигуна;
- додаткова економія електроенергії від оптимізації збудження електродвигуна;
- можливість заміни автоматичного вимикача.

Перетворювачі частоти серії MICROMASTER 440 [13] застосовуються для зміни і регулювання швидкості обертання низьковольтних двигунів змінного

струму з навантаженням постійного або вентиляторного типу, для процесів з високою динамікою та підвищеними вимогами до стартового моменту і перевантаження.

На рисунку 2.1 представлена загальна схема частотного перетворювача Siemens Micromaster 440.

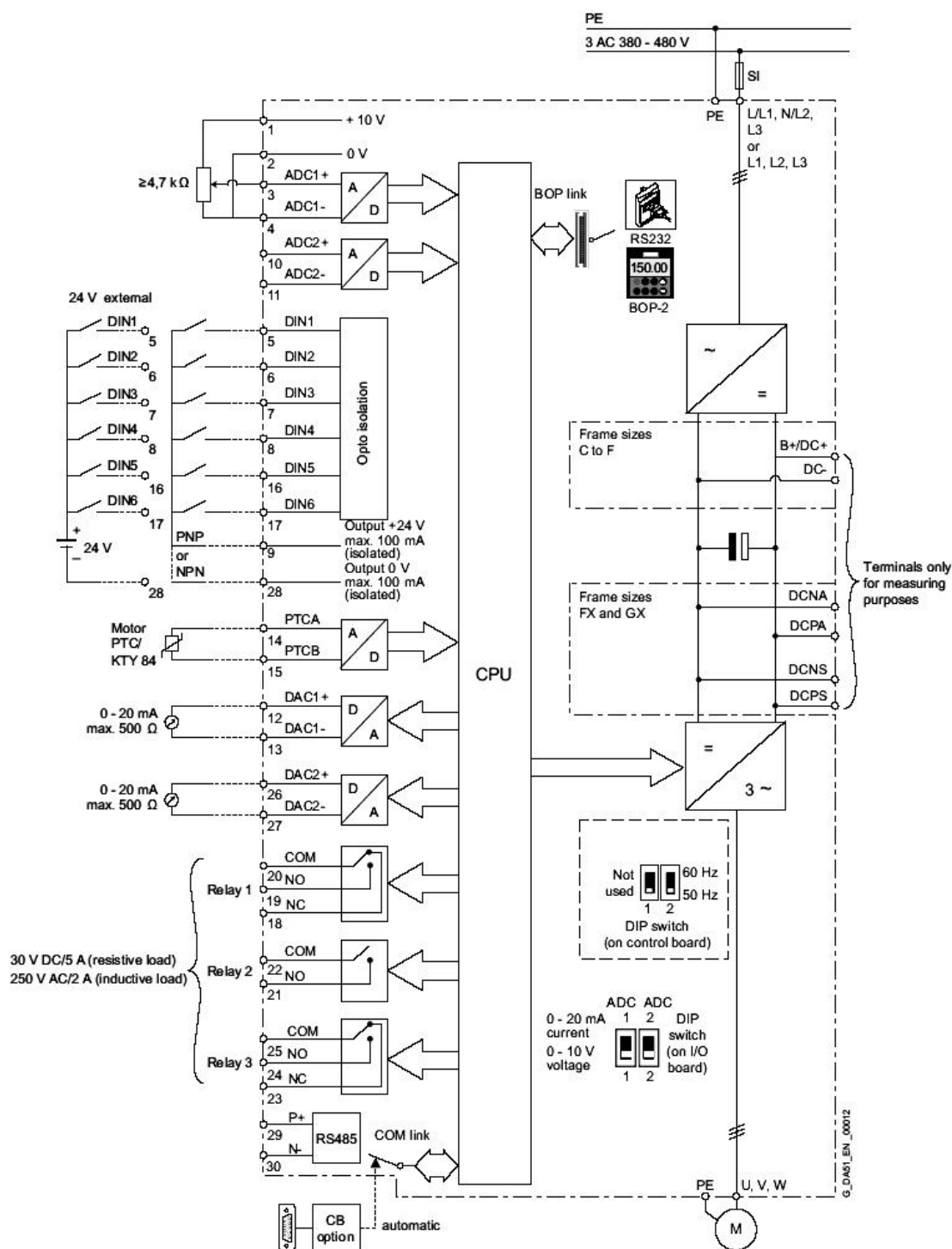


Рисунок 2.1 - Загальна схема частотного перетворювача Siemens Micromaster 440

Технічні дані перетворювача частоти MICROMASTER 440 наведені в

таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні дані перетворювача частоти MICROMASTER 440

Параметр	Характеристика
Напруга мережі та діапазон потужності	1 AC 200-240 В $\pm$ 10 % 0,12- 3 кВт 3 AC 200- 240 В $\pm$ 10% 0,12- 45 кВт, 5,5- 45 кВт 3 AC 380-480 В $\pm$ 10 % 0,37- 200 кВт 7,5-250 кВт 3 AC 500-600 В $\pm$ 10 % 0,75- 75 кВт 1,5-90 кВт
Частота мережі	47 Гц ... 63 Гц
Вихідна частота	для потужностей 7,5-90 кВт - 0-650 Гц для потужностей 110-250 кВт 0-267 Гц
коефіцієнт потужності	>0.95
ККД перетворювача	96%-97% в залежності від потужності перетворювача
Перевантажувальна здатність	0,12-75кВт 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 60 с (кожні 300 с.) 2 х розрахунковий вихідний струм на протягом 3 с, (кожні 300 с.) 90 - 200 кВт 1,36 х розрахунковий вихідний струм протягом 57 с (кожні 300 с.) 1,6 х розрахунковий вихідний струм протягом 3 с, (кожні 300 с.) -VT-(змінний момент) 5,5-90 кВт 1,4 х розрахунковий вихідний струм протягом 3 с (кожні 300 с.) 1,1 х розрахунковий вихідний струм протягом 60 с, (кожні 300 с.) 110 - 250кВт 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 1 с (кожні 300 с.) 1,1 х розрахунковий вихідний струм протягом 59 с, (кожні 300 с.)
Пусковий струм	Не вище розрахункового вхідного струму
Керування	Векторне керування з/без датчика швидкості; керування моментом; лінійна залежність U/f; квадратична U/f залежність; програмована залежність U/f; пряме керування потоком (FCC)
Частота імпульсів	Для потужностей 7,5 - 90 кВт 4 кГц (Заводська установка). 2 кГц ... 16 кГц (ступенями по 2 кГц) для потужностей 110-250 кВт 2 кГц (Заводська установка)

Продовження таблиці 2.2

Параметр	Характеристика
Число фіксованих частот	15, які параметруються
Частоти діафрагмировання	4, які параметруються
Дискретність завдання	0,01 Hz цифрове з панелі оператора 0,01 Hz з комп'ютера 10 біт аналогове представлення
Цифрові входи	6 які параметруються, потенційно розв'язані; перемикаються PNP / NPN
Аналоговий вхід	2 які параметруються; • 0 - 10 В, 0 - 20 мА і -10. +10 В Вхід 1 (AIN1) • 0 - 10 В і 0 - 20 мА Вхід 2 (AIN2) • можуть використовуватися як 7 і 8 цифрові входи
Релейний вихід	3, які параметруються, DC 30 В / 5 А (омічного навантаження), AC 250 В / 2 А (індуктивне навантаження)
Допустима довжина кабелю до двигуна без вихідного дроселя	Для потужності 7,5 - 90 кВт тах. 50 м (екран. кабель) тах. 100 м (неекранований кабель) для потужності 110-250 кВт тах. 100 м (екран. кабель) тах. 150 м (неекранований кабель)
Електромагнітна сумісність	Опціонально ЕМС фільтр по EN 55011, фільтр класу В. Перетворювач з вбудованим фільтром класу А (від 7,5 кВт до 90 кВт), для перетворювачів 110 кВт ... 250 кВт як окрема опція.
Гальмування	Гальмування постійним струмом, комбіноване гальмування
Функції захисту по:	- зниженій напрузі - перенапрузі - перевантаженню - включенню на землю - короткому замиканню - блокуванню двигуна - перегріву двигуна - перегріву перетворювача

На рисунку 2.2 представлена принципова електрична схема електропривода.

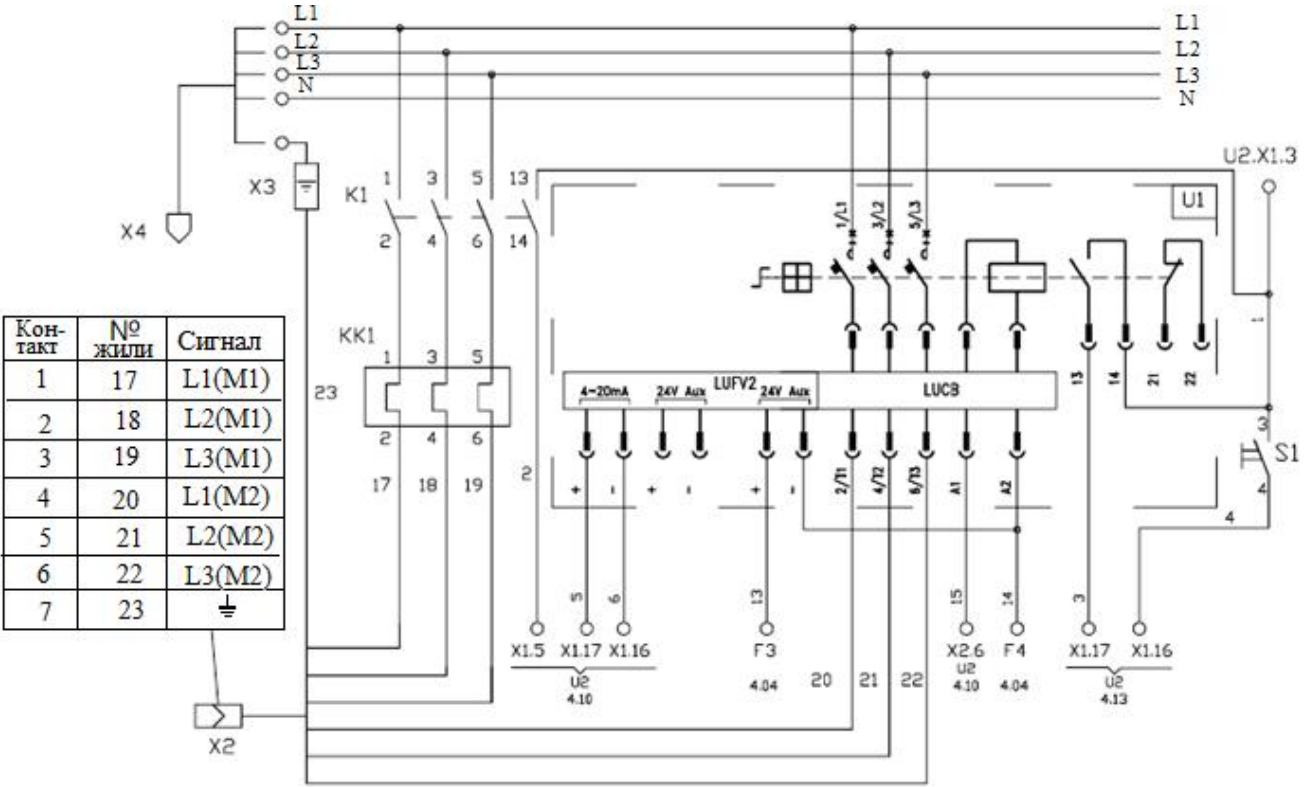


Рисунок 2.2 – Принципова електрична схема електропривода
Siemens Micromaster 440

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

3.1 Функціональна схема системи керування електропривода

При частотно-струмовому керуванні АД живиться від перетворювача частоти струму (ПЧС), працюючого в режимі джерела струму

Подібний перетворювач може бути реалізований на основі автономного інвертора струму (рисунок 3.1), до складу якого входять керований випрямляч, що забезпечує за рахунок негативного зворотного зв'язку по струму навантаження (датчик струму ДС і регулятор струму РС) разом з фільтруючим дроселем Др режим керованого і джерела постійного струму, та інвертор струму ІС, що виконує функцію формування необхідної частоти вихідного струму.

Керуючими впливами u_K на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електропривода - швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку й т.п. [14,16].

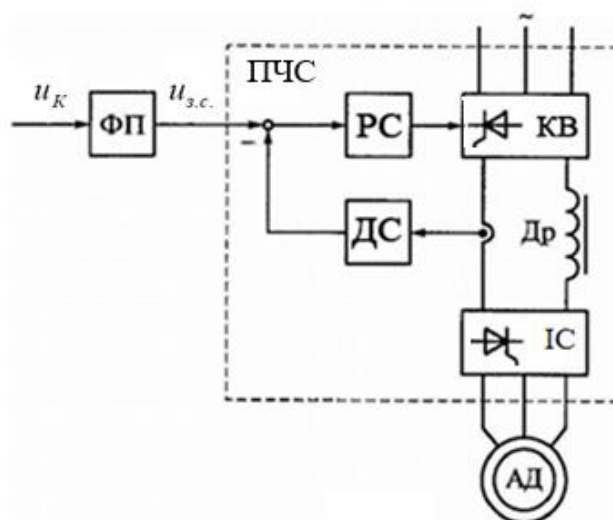


Рисунок 3.1 – Функціональні схеми систем ПЧС-АД при живленні від джерела

На рисунку 3.3 представлена функціональна схема системи частотно-струмового керування АД. Джерело струму реалізовано на основі керуючого випрямляча КВ, струм навантаження I_n якого задається вихідною напругою u_{PC}

регулятора струму РС, пропорційним різниці напруг $u_{3.C.}$ на виході функціонального перетворювача (ФП) і $u_{3.3.C.}$ датчика струму ДС. Стабілізація швидкості АД забезпечується за рахунок регулятора швидкості РШ, на вході якого порівнюються напруги завдання швидкості $u_{3.ш.}$ і зворотного зв'язку $u_{3.3.ш.}$ з вихода тахогенератора ТГ. Особливість схеми в тому, що тут автоматично формуються сигнали, пропорційні абсолютному ковзанню і завданню синхронної швидкості АД.

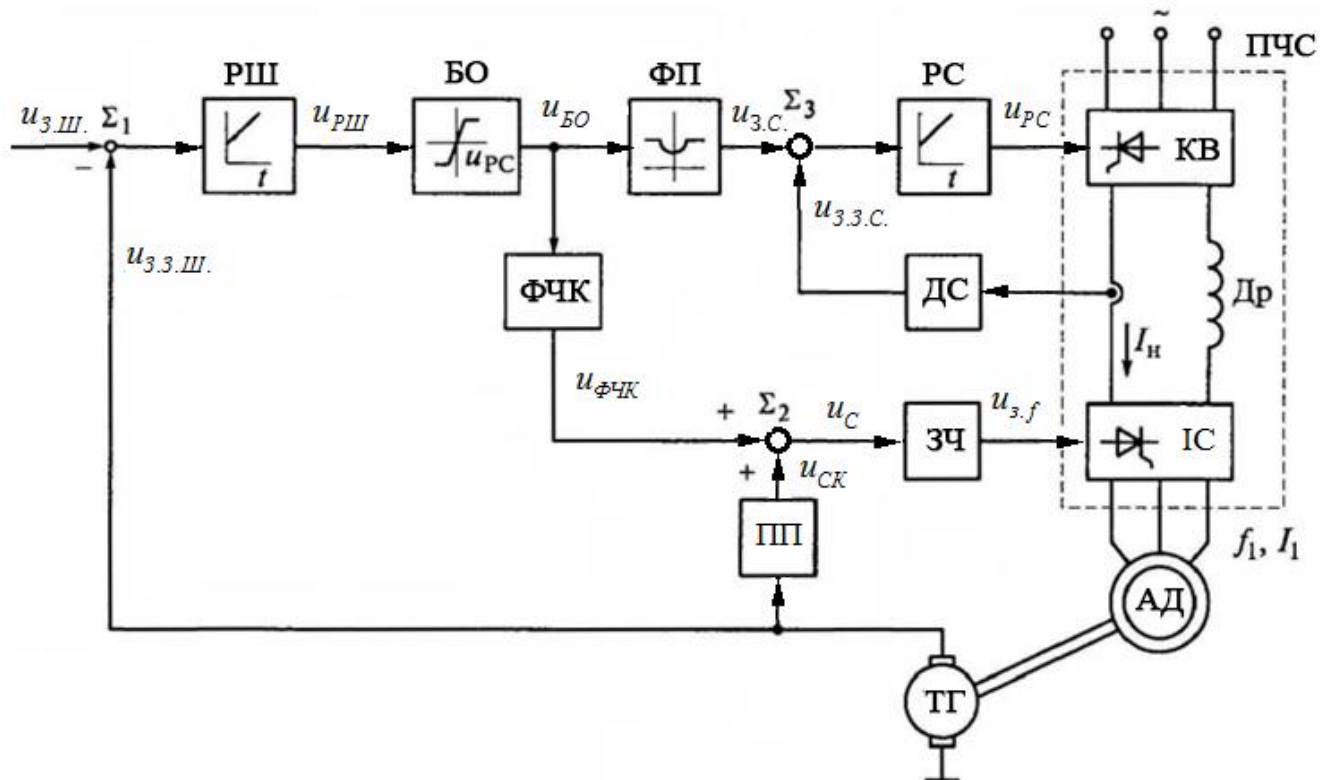


Рисунок 3.2 – Функціональна схема замкнутої системи керування ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням

Сигнал, пропорційний s_a , формується на виході РШ, оскільки $u_{3.ш.}$ пропорційно завданням швидкості ω_{03} ідеального холостого ходу АД, а $u_{3.3.ш.}$ – поточної швидкості ротора ω , тобто $u_{РШ} = (u_{3.ш.} - u_{3.3.ш.}) = (\omega_{03} - \omega) = s_a \cdot \omega_{0ном}$. Якщо передатний коефіцієнт формувача частоти ковзання ФЧК вибрати таким чином, щоб з урахуванням $\omega_{0ном}$ його вихідний сигнал $u_{ФЧК}$ був пропорційний $(\omega_{03} - \omega)$, то після сумовування цього сигналу з вихідним сигналом $u_{ПП}$ погоджувачого пристрою ПП, пропорційний поточному значенню ω , на виході

суматора Σ_2 пристрою завдання частоти ЗЧ інвертора струму ІС перетворювача ПЧС буде сформований сигнал

$$u_C = u_{\PhiЧК} + u_{III} \cong (\omega_{03} - \omega) + \omega = \omega_{03}.$$

В результаті на вихід ЗЧ буде сигнал завдання частоти вихідного струму ПЧТ $u_{3.f} \cong u_{3.III} \cong \omega_{03}$, що визначає завдання синхронної швидкості АД.

Оскільки електромагнітний момент двигуна пропорційний квадрату струму статорної обмотки ($M \cong I_1^2$), який, у свою чергу, пропорційний абсолютному ковзанню ($I_1^2 \cong s_a$), вихідний сигнал РШ пропорційний s_a і є сигналом завдання електромагнітного моменту АД. Тому вихідна напруга u_{BO} блоку обмеження БО на виході РШ можна впливати і на обмеження максимального моменту АД.

Перед пуском двигуна ($u_{3.III} = 0$, $u_{PШ} = 0$) сигнал завдання частоти перетворювача $u_{3.f} = 0$ і за рахунок характеристики ФП ($u_{3.III.min} \neq 0$) в АД задається постійний струм, який забезпечує потік намагнічення і режим динамічного гальмування АД. Зі збільшенням $u_{3.III}$ зростає сигнал завдання частоти, струм статора стає змінним із заданою частотою і двигун починає обертання під дією максимального моменту, встановленого сигналом $u_{3.III}$. Збільшення швидкості буде відбуватися до тих пір, поки не зрівняються сигнали завдання і зворотного зв'язку по швидкості двигуна. Після цього вихідний сигнал РШ при відсутності статичного навантаження на валу АД знову встановиться рівним нулю, але за рахунок позитивного зворотного зв'язку по швидкості вже при $u_{3.f} \neq 0$. Потік холостого ходу АД буде при цьому створюватися змінним струмом I_{1min} [14,16].

3.1.1 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням

Комплектний електропривод Siemens Micromaster 440 [13] має штатні складові, а тому розрахунку та вибору основних елементів не потребує. Але

корегуюча ланка заводом-виробником не передбачується, бо вона розраховується під конкретний двигун. Окрім того, при налагодженні привода потрібно встановити значення регулюючих параметрів, що забезпечують необхідні динамічні якості системи. Це потребує проведення аналізу динаміки системи на основі її математичної моделі.

При розгляданні перехідних процесів досліджується ідеалізований асинхронний двигун, у якому магнітна рушійна сила (МРС) і індукція розподілені по окружності синусоїдально, втрати в сталі відсутні, ланцюг, що намагнічує, є лінійним.

Диференційні рівняння ідеалізованого асинхронного двигуна у системі координат $x - y$, що обертається з синхронною швидкістю ω_o [2,14]:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= I_1 \cdot r_1 + \frac{d\psi_1}{dt} + j\omega_o\psi_1; \\ 0 &= I_2 \cdot r_2' \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_o - z_p\omega_2)\psi_2; \\ \psi_1 &= L_1 I_1 + L_0 I_2'; \\ \psi_2 &= L_2' I_2' + L_0 I_1, \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де U_1, I_1, ψ_1 – вектори напруги, струму і потокозчеплення статора;

I_2', ψ_2 – ті ж параметри для ротора, приведені до статора;

L_o – повна результуюча взаємна індуктивність обмотки статора і ротора;

L_2', L_1' – повні результуючі індуктивності обмотки статора і ротора (приведені до статора), що складаються з індуктивності від головного потоку і індуктивностей від полів розсіювання;

r_1, r_2' – активні опори обмоток статора і ротора (приведені до статора);

ω_2 – кутова швидкість обертання ротора;

z_p – число пар полюсів двигуна.

Обертовий момент двигуна

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot I_m (\psi_1^* \cdot I_1) = \frac{3}{2} \cdot z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot I_m (\psi_2^* \cdot I_1). \quad (3.2)$$

Рівняння руху двигуна

$$M - M_c = I \frac{d\omega}{dt}. \quad (3.3)$$

При живленні від АІС, коли заданий струм статора двигуна, доцільно перейти до рівнянь, що містять U_1 , I_1 , ψ_2 .

З третього і четвертого рівнянь системи (3.1):

$$\psi_1 = \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_2,$$

де $\Delta^* = L_1 L_2' - L_0^2$;

$$I_2' = \frac{1}{L_2'} \cdot \psi_2 - \frac{L_0}{L_2'} \cdot I_1.$$

Підставимо дані вирази в перші два рівняння системи (3.1) і одержимо:

$$U_{1x} = R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \quad (3.4)$$

$$0 = -\frac{R_2}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_2 \quad (3.5)$$

Спроекуємо вирази (3.5) на осі x и y , а також введемо в якості незалежної перемінної I_1 , що спрямована уздовж осі x , при цьому $I_{1x} = I_1$,

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1x} &= R_1 I_{1x} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1y} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1x}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\
 U_{1y} &= R_1 I_{1y} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1x} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1y}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1x} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1y} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}.
 \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1x} &= R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\
 U_{1y} &= \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}.
 \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Знайдемо момент двигуна з виразу (3.3)

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} I_m \cdot \psi_2^* I_1, \quad (3.8)$$

де $\psi_2^* = \psi_{2x} - j\psi_{2y};$

$$I_1 = I_{1x} + jI_{1y}.$$

Підставимо значення ψ_2^* і I_1 у (3.8) і одержимо

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} (\psi_{2x} I_{1y} - \psi_{2y} I_{1x}).$$

Так як при $I_{1x} = I_1$, $I_{1y} = 0$, то попередній вираз перетвориться в такий

$$M = -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} I_1. \quad (3.9)$$

Запишемо систему рівнянь (3.7) і рівняння (3.9) в операторній формі:

$$\left. \begin{aligned} U_{1x}(p) &= (R_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} p) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\ U_{1y}(p) &= \omega_0(p) \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} I_1(p) + \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \psi_{2x}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1(p) + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x}(p) + p \psi_{2x}(p) - (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\ 0 &= \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + p \psi_{2y}(p) + (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\ M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p). \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

При живленні двигуна від АІС, нас буде цікавити тільки активна складова напруги $U_{1x}(p)$, тому при побудові структурної схеми асинхронного двигуна, друге рівняння системи (3.10) використовуватися не буде.

$$\left. \begin{aligned} U_{1x}(p) &= R_1(1 + \frac{\Delta^*}{L_2' R_1} p) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\ \psi_{2x}(p) &= \frac{L_0}{(1 + \frac{L_2'}{R_2'} p)} \cdot I_1(p) + \left[-\frac{L_2'}{R_2'} / (1 + \frac{L_2'}{R_2'} p) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\ \psi_{2y}(p) &= \left[-\frac{L_2'}{R_2'} / (1 + \frac{L_2'}{R_2'} p) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

Передатна функція двигуна згідно запишеться так

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{(T_{el} p + 1) - \frac{(S / S_{kp})^2}{1 + (S / S_{kp})^2} (T_{el} p + 2)}{(T_{el} p + 1)^2 + (S / S_{kp})^2}, \quad (3.13)$$

де $\gamma = \frac{U_{1a}}{U_{1aH}}$ - відносна напруга статора;

$\nu = \frac{\omega_1}{\omega_{1H}}$ - відносна частота напруги статора. $\nu = 0,8$.

Або в спрощеному виді

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_{el} p + 1}. \quad (3.14)$$

Відповідно на підставі рівняння (3.1) маємо

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_M p}, \quad (3.15)$$

де $T_M = \frac{J \omega_{0H}}{M_{П.Ф.Н.}}$ - механічна постійна часу двигуна.

При розробці математичної моделі електропривода використано декілька допущень:

- частотний перетворювач, який працює у замкнутій системі керування по швидкості, здатен виконувати плавне регулювання частоти струму двигуна таким чином, що двигун працює на практично лінійній частині характеристики (момент опору від 0 до номінального і ковзання від 0 до номінального);

- вважаємо, що датчик швидкості має дуже малу інерційність, яку можна не брати до розрахунків.

Складаємо структурну схему для подальшого моделювання, виходячи з припущень, що система керування з частотним перетворювачем у складі замкненої системи керування відповідає по структурі двоконтурній системі підлеглого керування із внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром швидкості.

Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні, побудована на підставі виразів (3.14), (3.15), показана на

рисунку 3.4. [14,16].

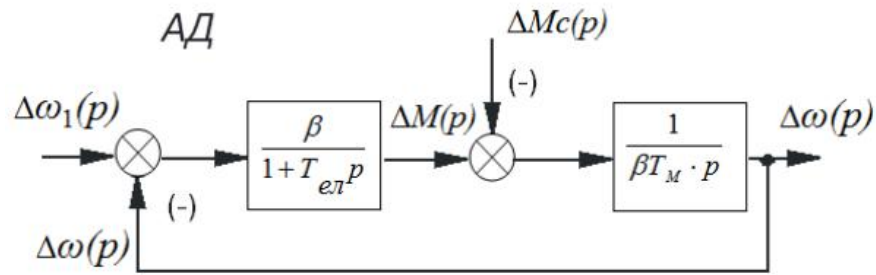


Рисунок 3.4 - Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні

На рисунку 3.5 наведена структурна схема такого привода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

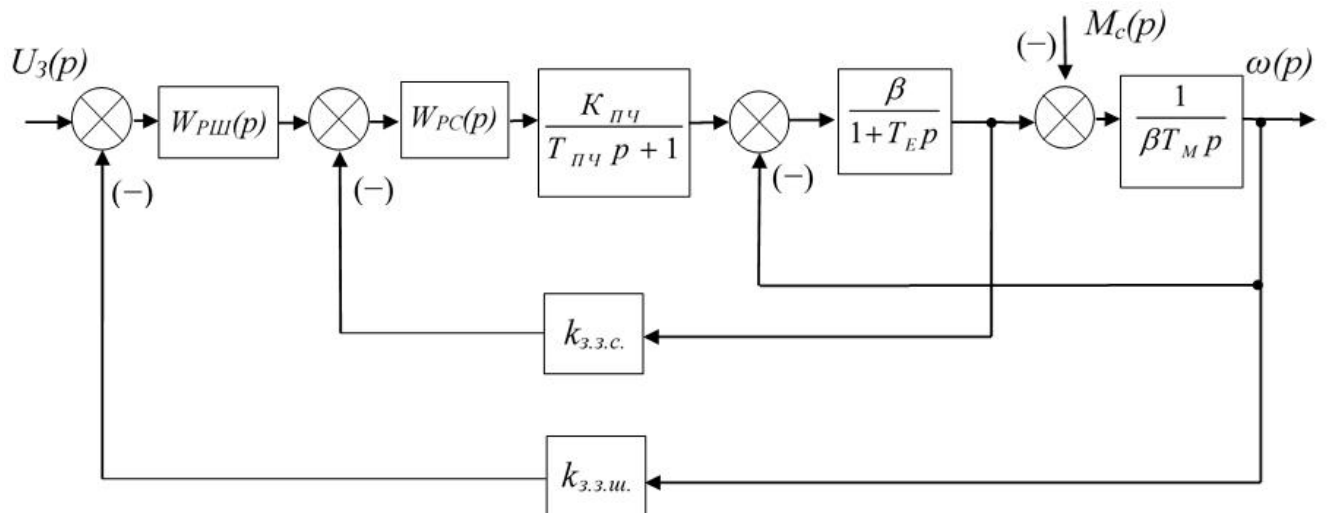


Рисунок 3.5 - Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

3.2 Розрахунок параметрів регуляторів електропривода з частотно-струмовим керуванням

Розглянемо докладніше позначення на структурній схемі (рисунку 3.5).

На схемі (рисунку 3.5) прийняті наступні позначення:

$W_{PI}(p)$ – передатна функція регулятора швидкості;

$W_{PI}(p)$ – передатна функція регулятора струму;

β – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики;

$k_{3.3.c}$ – еквівалентна електромагнітна постійна часу кіл статора і ротора АД;

$K_{ПЧ}$ – передатний коефіцієнт перетворювача частоти;

$T_{ПЧ}$ – постійна часу кола керування ПЧ, яка при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ЧП (2...50 кГц) не перевищує 0,001с.

Зворотні зв'язки за струмом та швидкістю (датчики струму та швидкості) виконаємо за допомогою пропорційних ланок з коефіцієнтами підсилення відповідно: $K_{ДС} = k_{3.3.c}$ і $K_{ДШ} = k_{3.3.ш}$.

Регулятори швидкості і струму приймаємо як пропорційно-інтегральні ланки з коефіцієнтами передачі $K_{РШ}$ і $K_{РС}$ та постійними часу $T_{РШ}$ і $T_{РС}$ відповідно.

Коефіцієнти підсилення регуляторів приймаємо $K_{РШ} = 10$, $K_{РС} = 10$.

Коефіцієнт підсилення частотного перетворювача приймаємо $K_{ПЧ} = 50$.

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора швидкості $T_{РШ}$ дорівнює величині постійної часу двигуна $T_{Д} = T_{М}$, а регулятора струму $T_{РС}$ – постійній часу частотного перетворювача $T_{ПЧ}$.

Передатні функції регуляторів швидкості $W_{РШ}(p)$ та регуляторів струму $W_{РС}(p)$ на схемі (рисунок 3.5) відповідно:

$$W_{РШ}(p) = K_{РШ} + \frac{1}{T_{РШ} \cdot p}; \quad W_{РС}(p) = K_{РС} + \frac{1}{T_{РС} \cdot p}.$$

Структурна схема системи керування електропривода з наведеними передатними функціями регуляторів зображена на рисунку 3.6.

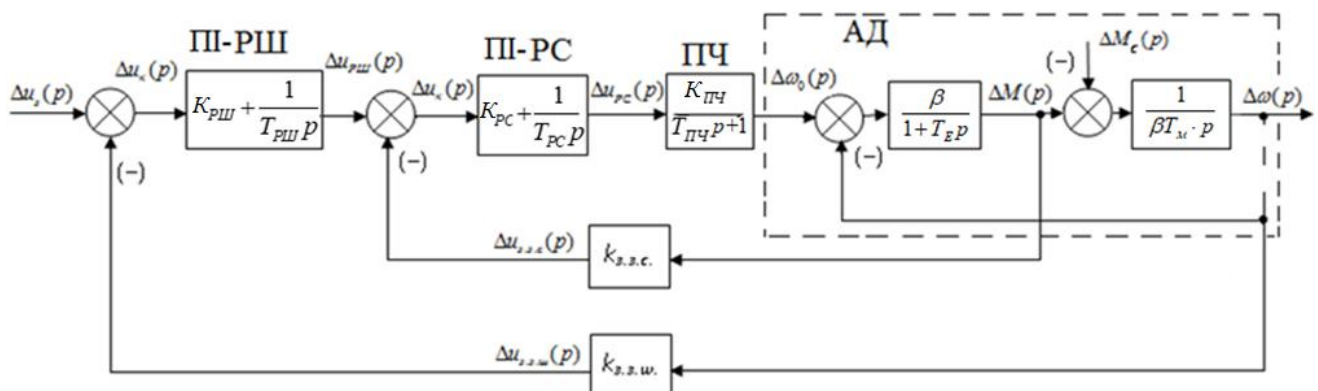


Рисунок 3.6 - Структурна схема системи керування електропривода

Розрахуємо параметри елементів структурної схеми, зображеної на рисунку 3.6.

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Параметри двигуна 2АИУ250S4 [17] для розрахунку перехідних процесів взяті з таблиці 2.1. розділу 2.

Параметр	Значення
Тип	2АИУ250S4
Потужність, кВт	75,0
Частота обертання магнітного поля статора (умовна / синхронна) n_c , об./хв.	1500
Частота обертання ротора під навантаженням (фактична / номінальна)	1480
ККД, %	93,6
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0,88
Струм I_H , А (при $U=380V$)	138,3
Ковзання S_H , %	1,33
Кратність пускового струму I_n / I_H	6,8
Кратність максимального моменту $M_{\max} / M_H$	2,3
Кратність пускового моменту M_n / M_H	2,2
Момент інерції ротора J_ϕ , кг·м ²	0,35

Виконуємо розрахунок чисельних даних для елементів структурної схеми.

Кутова швидкість холостого ходу електродвигуна, $\omega_{ДВ}$, с⁻¹,

$$\omega_{ДВ} = \frac{\pi \cdot n_{ДВ}}{30}; \quad \omega_{ДВ} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент двигуна M_H , Н·м,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{ДВ}}; \quad M_H = \frac{75000}{157} = 477,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичний момент електродвигуна $M_{кр}$, Н·м,

$$M_{кр} = 3 \cdot M_H; \quad M_{кр} = 3 \cdot 477,7 = 1433,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Кутова номінальна частота напруги, підведеної до статора при його номінальній частоті живлення ($f_H = 50$ Гц) ω_H , с⁻¹,

$$\omega_H = 2\pi \cdot f_H; \quad \omega_H = 2\pi \cdot 50 = 314,15 \text{ с}^{-1}.$$

Пусковий момент двигуна M_{II} , Н·м,

$$M_{II} = K_{пуск} \cdot M_H,$$

де $K_{пуск}$ - кратність пускового моменту, $K_{пуск} = 1,5 \div 6$. $K_{пуск} = 2,1$ (таблиця 3.1).

$$M_{II} = 2,2 \cdot 477,7 = 1051 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальний момент двигуна M_{max} , Н·м,

$$M_{max} = \frac{M_{max}}{M_H} \cdot M_{II}, \quad M_{max} = 2,2 \cdot 1051 = 2417,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичне ковзання двигуна $S_{кр} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$ за спрощеною формулою

$$\lambda = \frac{M_{max}}{M_H},$$

де $\lambda = \frac{M_{max}}{M_H} = 2,3$.

$$S_{кр} = 0,0133 \cdot (2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}) = 0,058. \quad S_{кр} = 5,8 \text{ \%}.$$

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики, β , $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}}$,

$$\beta = \frac{2M_{кр}}{\omega_{ДВ} \cdot S_{кр}},$$

де $S_{кр} = 0,058$ - критичне ковзання.

$$\beta = \frac{2 \cdot 1433,1}{157 \cdot 0,058} = 314,8 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}^{-1}}.$$

Електромагнітна постійна часу T_E , с,

$$T_E = \frac{1}{\omega_{ДВ} \cdot S_{КР}}; \quad T_E = \frac{1}{314,15 \cdot 0,058} = 0,055 \text{ с.}$$

Електромеханічна постійна часу двигуна T_M , с,

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta},$$

де J_{Σ} - сумарний момент інерції електропривода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$,

$$J_{\Sigma} = J_{\partial} + 0,6 \cdot J_{\partial},$$

$$J_{\Sigma} = 0,35 + 0,6 \cdot 0,35 = 0,56 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Тоді
$$T_M = \frac{0,56}{314,8} = 0,0018.$$

Постійна часу частотного перетворювача $T_{ПЧ}$, с,

$$T_{ПЧ} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f},$$

де f – частота живлення двигуна (номінальна), Гц.

У нашому випадку: $f = 50$ Гц,

тоді
$$T_{ПЧ} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0033 \text{ с.}$$

Приймаємо вхідну напругу $U_3 = 10\text{В}$.

Таким чином, вважаючи у сталому режимі похибку рівною 0, маємо коефіцієнта підсилення зворотного зв'язку за швидкістю $k_{з.з.ш}$, В·с

$$k_{з.з.ш} = \frac{U_3}{\omega_{ДВ}}; \quad k_{з.з.ш} = \frac{10}{157} = 0,063 \text{ В} \cdot \text{с.}$$

Аналогічно при розрахунку коефіцієнта підсилення зворотного зв'язку за струмом $k_{з.з.с}$, $\frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{Н} \cdot \text{м}}$,

$$k_{з.з.с} = \frac{U_{РС}}{M_H / I_H}; \quad k_{з.з.с} = \frac{10}{477,7 / 138,3} = 2,9 \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{Н} \cdot \text{м}}.$$

3.3 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода скребкового конвеєра

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики	$\frac{H \cdot m}{c^{-1}}$	$\beta = 314,8$
Електромагнітна стала часу	с	$T_E = 0,055$
Електромеханічна постійна часу	с	$T_M = 0,0018$
Постійна часу регулятора швидкості	с	$T_{PII} = 0,0018$
Постійна часу перетворювача	с	$T_{ПЧ} = 0,0033$
Постійна часу регулятора струму	с	$T_{PC} = 0,0033$
Коефіцієнт підсилення (передачі) перетворювача	-	$K_{ПЧ} = 50$
Передатний коефіцієнт по швидкості	В·с	$k_{з.з.ш} = 0,063$
Передатний коефіцієнт по струму	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$k_{з.з.с} = 2,9$
Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості	-	$K_{PII} = 10$
Коефіцієнт підсилення регулятора струму	-	$K_{PC} = 10$

Передатні функції ланок:

– асинхронного двигуна

$$W_{AD}(p) = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p};$$

$$W_{AD}(p) = \frac{314,8}{0,055 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{314,8 \cdot 0,0018 \cdot p} = \frac{314,8}{0,055 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{0,57 \cdot p};$$

– перетворювача частоти

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{ПЧ} \cdot p + 1}; \quad W_{ПЧ}(p) = \frac{10}{0,0033 \cdot p + 1};$$

– регулятора струму

$$W_{PC}(p) = K_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}; \quad W_{PC}(p) = 10 + \frac{1}{0,0033 \cdot p};$$

– регулятора швидкості

$$W_{PII}(p) = K_{PII} + \frac{1}{T_{PII} \cdot p}; \quad W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,0018 \cdot p};$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом

$$W_{3.3.c}(p) = k_{3.3.c} \quad k_{3.3.c} = 2,9.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю

$$W_{3.3.ш}(p) = k_{3.3.ш} \quad k_{3.3.ш} = 0,063.$$

Дослідження динамічних характеристик системи керування проводиться за наступних умов:

– напруга завдання швидкості є стрибкоподібною зі значенням:

$$u_{3.ш.} = k_{3.3.ш} \cdot \omega_H; \quad u_{3.3.ш.} = 0,063 \cdot 157 = 10 \text{ В};$$

– статичний момент, що прикладений до валу двигуна M_C , складає:

$$M_C = 30\% \cdot M_H; \quad M_C = 0,30 \cdot 477,7 = 143,3 \text{ Н·м}.$$

У момент часу $t = 1,5$ с подається вплив, що обурює, у вигляді стрибкоподібного навантаження номінального моменту на валу ЕД.

Після розрахунків усіх величин, що входять у структурну схему, вони були внесені у розрахункову модель для дослідження динаміки системи керування електропривода скребкового конвеєра (рисунки 3.7).

Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету «MATLAB» [3].

На схемі зображено: «Step» – джерело східчастого впливу величиною 10 В; «Gain1» та «Gain2» - реалізують пропорційну складову ПІ-регуляторів

швидкості та струму відповідно;

«Transfer Fcn1» та «Transfer Fcn2» - реалізують інтегральну складову ПІ-регуляторів швидкості та струму відповідно.

«Transfer Fcn3» - реалізує передатну функцію частотного перетворювача;

«Transfer Fcn4» та «Transfer Fcn5» – реалізують лінеаризовану модель двигуна;

«Gain4» та «Gain5» - датчики струму та швидкості відповідно;

За допомогою блоків «Gain3» та «Gain6» виконується перерахування отриманих даних у відносні одиниці (для спрощення подальшого порівняння).

«Scope1» та «Scope2» – використовуються для отримання графіку перехідного процесу за швидкістю та струмом відповідно.

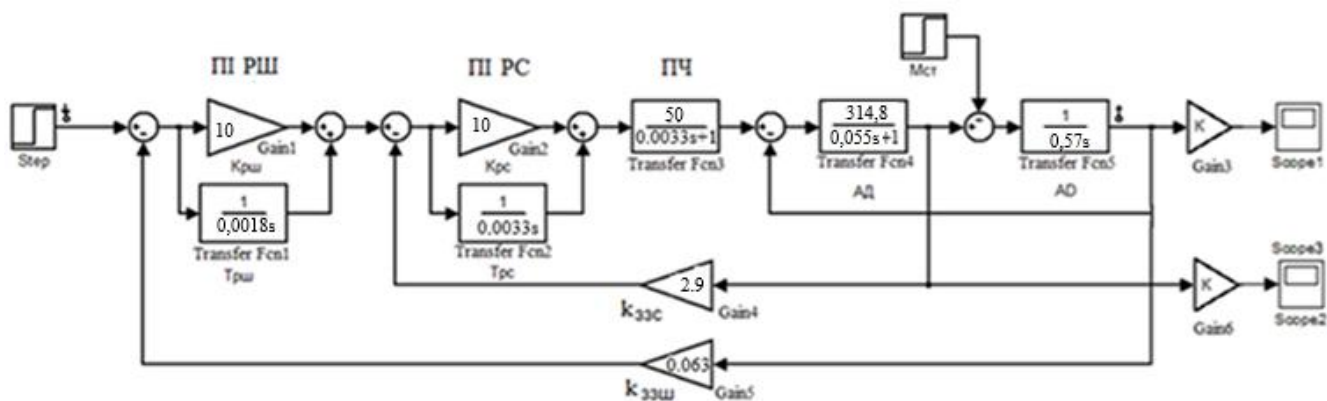


Рисунок 3.7 – Динамічна розрахункова модель системи керування

На основі структурної схеми електропривода (рисунок 3.7) та її параметрів за допомогою програмного забезпечення "MATLAB" здійснюємо побудову перехідних характеристик системи частотно-струмового керування асинхронним двигуном.

На рисунках 3.8 та 3.9 наведені результати моделювання перехідних процесів при східчастому впливі величиною 10 В та при зміні на 30 % навантаження після режиму, що встановився.

На рисунку 3.8 наведена перехідна характеристика по швидкості.

На рисунку 3.9 наведена перехідна характеристика струму статора.

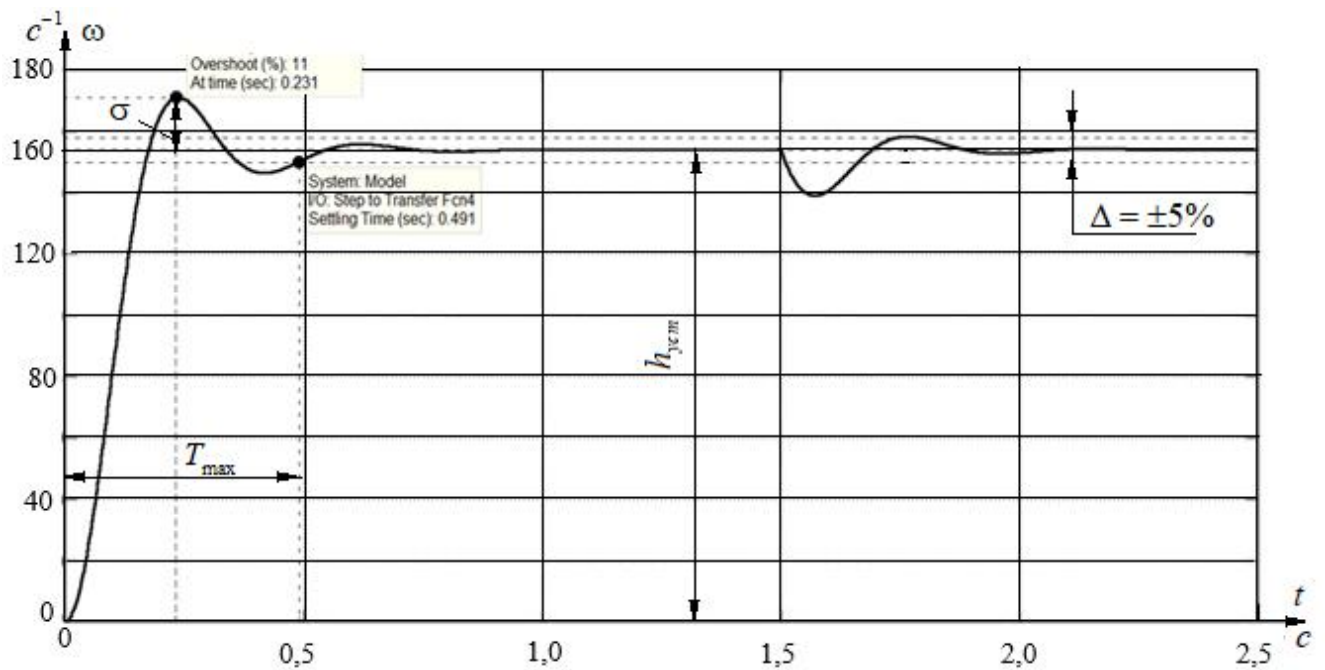


Рисунок 3.8 - Перехідна характеристика по швидкості

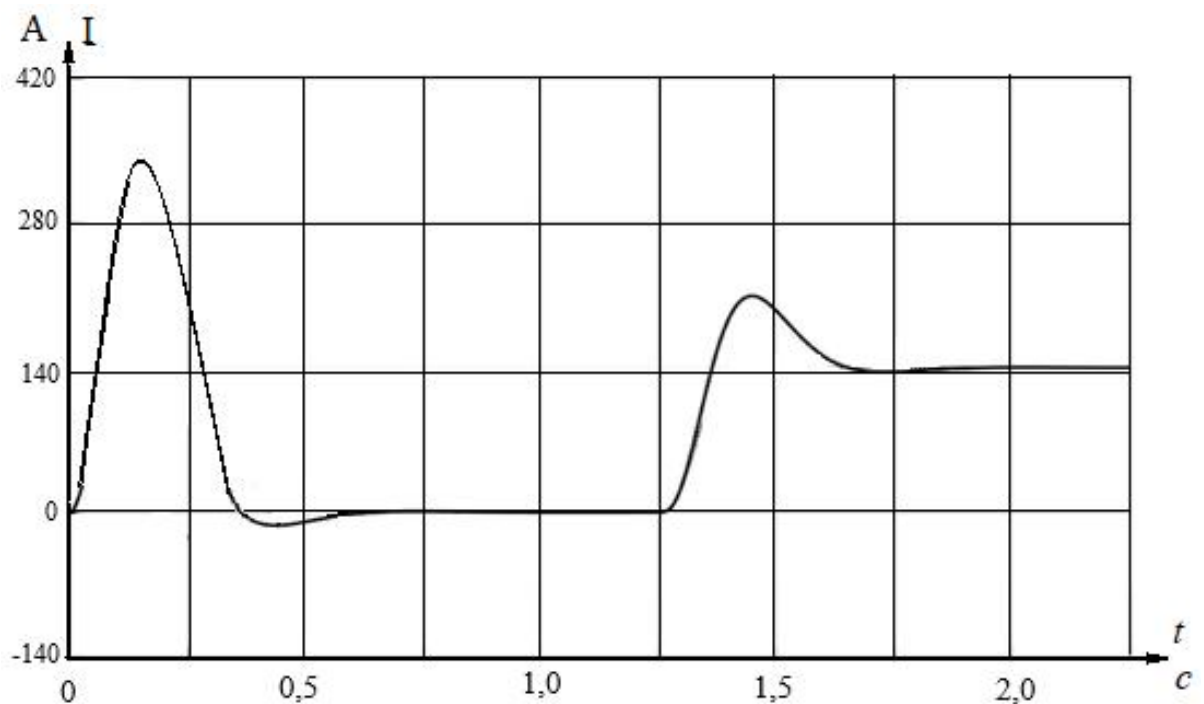


Рисунок 3.9 - Перехідна характеристика по струму

З графіку перехідного процесу **по швидкості** (Рисунок 3.8) видно, що система має наступні показники якості керування швидкістю:

- час перехідного процесу $T_{\max} = 0,49$ с;
- перерегулювання $\sigma = 11$ %;
- похибка $\varepsilon = 0$ %;

- коливальність $N = 1$.

При зміні на 30 % навантаження після режиму, що встановився, перехідний процес повертається до заданого значення без помилки.

З графіку перехідного процесу **по струму** (Рисунок 3.9) видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм $I_{\text{пуск}}$ не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний.

Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

Тому що такі показники якості задовольняють вимогам до системи керування, можна зробити висновок, що дана модернізація покращила динамічні характеристики системи керування.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації системи керування електропривода стрічкового конвеєра

Небезпечними факторами називають такі чинники життєвого середовища, які призводять до травм, опіків, обморожень, інших пошкоджень організму або окремих його органів і навіть до смерті [6].

Шкідливими факторами прийнято називати такі чинники життєвого середовища, які призводять до погіршення самопочуття, зниження працездатності, захворювання і навіть до смерті як наслідку захворювання.

До небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації системи керування стрічкового конвеєра можна віднести: 1) порушення цілісності, електричного кола; 2) шум та вібрація від роботи системи керування стрічкового конвеєра.

Експлуатація електричних установок на підприємствах видобутку корисних копалин відноситься до розряду робіт, виконуваних в умовах підвищеної небезпеки. Сучасний стан у галузі охорони праці на підприємствах вугільної промисловості України є катастрофічним.

На сьогодні на більшій частині вугледобувних підприємств уже впроваджена нова система управління охороною праці, заснована на управлінні ризиками, відповідно до стандарту OHSAS 18001.

4.1.1 Дія та наслідки ураження електричним струмом

Порушення цілісності електричного кола може виникнути через коротке замкнення, перевантаження або механічні пошкодження. Це може привести до враження людини електричним струмом.

Електричний струм - це спрямоване переміщення електричних зарядів усередині провідної речовини (усередині металів, рідких провідників і т. д.).

Наслідок ураження людини електричним струмом залежить від багатьох факторів: опору тіла, тривалості протікання струму, шляху струму, роду і частоти струму, напруги.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, обумовлює перетворення електричної енергії в інші види і спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дії.

Термічна дія полягає в тому, що струм, проходячи через тіло людини, нагріває його, як і будь-який провідник, через який він проходить, що може викликати опіки та обвуглювання тканин і всього тіла.

Електролітична дія полягає в тому, що електричний струм має властивість розщеплювати кислотні, лужні й інші провідні рідкі розчини на складові частини. Проходячи через тіло людини він справляє подібну електролітичну дію, розщеплюючи протоплазму і кров. У результаті клітини втрачають спроможність до нормального існування, обміну речовин і т. д.

Біологічна дія електричного струму полягає в тому, що при його входженні відбувається подразнення і збудження живих тканин організму і порушення внутрішніх біологічних процесів. У результаті можуть відбуватися мимовільні рухи кінцівок, голови, інших органів; може змінитися ритм биття серця; порушується робота легень.

Механічна дія електричного струму може призводити до розриву тканин внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари з тканинної рідини і крові; до вивихів, переломів. Дія електричного струму може призвести як до травм, так і до летальних наслідків.

Електротравми - опіки, електричні знаки (специфічне ураження тканин); металізація шкіри (частина розплавленого металу); електрофтальмія (запалення зовнішніх оболонок очей під дією ультрафіолетових променів електричної дуги); механічні ушкодження (розірвання шкіри, вивихи, переломи і т. д., викликані мимовільним скороченням м'язів).

Електричний удар. Розрізняють 4 ступені електричного удару: 1 ступінь — судорожне скорочення м'язів без утрати свідомості; 2 ступінь — судорожне скорочення м'язів з утратою свідомості, але зі збереженням дихання і роботи серця; 3 ступінь - втрата свідомості; порушення дихання або роботи серця; 4 ступінь - клінічна смерть.

4.1.2 Шум та вібрації при експлуатації системи керування стрічкового конвеєра.

Система керування стрічкового конвеєра є джерелом шуму та вібрації, що негативно впливає на здоров'я людини.

Шум, що виникає при роботі конвеєра, широкополосний постійний і при тривалому впливі на людину приводить до розвитку професійних захворювань, пов'язаних із втратою слуху, що приводить до втрати працездатності.

Шум відноситься до шкідливих факторів виробництва як і звук, виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких і газоподібних середовищах. Шумом являються різні звуки, що заважають нормальній діяльності: людини і викликають неприємні відчуття. Звук являє собою коливальний рух пружного середовища, сприйманий людським органом слуху. Підвищення звукового тиску негативно впливає на орган слуху; для виміру голосності використовується двошкальний шумомір (у децибелах дБ). У цехах допускається рівень шуму близько 100 дБ. Рівень шуму вище 140 дБ може викликати болючий ефект.

Комплекс змін, що виникають в організмі під впливом шуму, останнім часом розглядається медиками як "шумова хвороба".

Вібрація - це коливання твердих тіл, яке виникає при зсуві центру ваги тіла, що рухається, обертається або при періодичній зміні форми тіла порівняно зі статичним станом цього тіла.

Вібрація викликає порушення фізіологічного і функціонального стану людини. Вплив вібрації не тільки погіршує самопочуття працюючого і знижує його продуктивність праці, але часто приводить до важкого професійного захворювання

- віброхвороби. Основним критерієм умов праці вібронезбезпечних професій є рівень впливу вібрації.

У виробничих умовах дуже часто шум має непостійний характер. Стандарт рекомендує зони з рівнем звуку, вищим за 85 дБА, позначати спеціальними значками, а людей, які працюють у цих зонах, забезпечувати засобами індивідуального захисту.

Стандарт забороняє навіть короточасне перебування людей у зонах з рівнями звукового тиску, вищим за 135 дБ, у будь-якій октавній смузі частот.

4.2 Захист від шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації системи керування електропривода стрічкового конвеєра

Вимоги охорони праці працівників при експлуатації конвеєрів викладено в ПОТ Р М-029-2003.

Правила безпеки у вугільних шахтах наведені у НПАОП 10.0-1.01-10 [10].

За умовами експлуатації транспортного електроустаткування існує ряд вимог і організаційних заходів.

Для запобігання впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища електроустаткування повинно бути досить захищеним або розміщатися в кожухах і оболонках з необхідним ступенем захисту. Ступені захисту від впливу зовнішнього середовища встановлені ДСТ14254 - 80.

Важкі умови експлуатації в підземних виробках, особливо в шахтах, небезпечних за газом або пилом, вимагають застосування спеціального вибухозахищеного електрообладнання, в якому вжито заходів щодо забезпечення його придатності для використання у вибухонебезпечних умовах [2].

Заходи та засоби захисту людини від дії електричного струму.

Установка і монтаж електроустаткування вантажопідіймальних машин, а також пристрої освітлення, заземлення і захисту повинні відповідати "Правилам улаштування електроустановок".

До технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт, належать:

- відключення струмопровідних частин або устаткування, на яких будуть виконуватися ремонтні роботи або робіт из налагодження;
- встановлення попереджувальних, забороняючих плакатів і огорожень місця роботи;
- перевірка відсутності напруги;
- накладення переносних захисних заземлень на відключені струмопровідні частини з усіх боків, звідки може надходити напруга.

Перед включенням, розкриттям і ремонтом електрообладнання в шахті необхідно попередньо заміряти вміст метану в місці його розташування.

При експлуатації електроприводів найбільша кількість нещасних випадків відбувається при виявленні несправностей та наладці систем електропривода під струмом. При ремонті електропривода напруга попередньо знімається з головного розподільного щита шляхом відключення. На вимикачі вивішується плакат "Не вмикати! Працюють люди".

Для персоналу, обслуговуючого електроустановки і такого, що знаходиться в зоні впливу створюваного ними електричного поля, ДСН 3.3.6.096-2002. "Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів" установлює гранично припустимий рівень напруженості електричного поля частотою 50Гц 25кВ/м; перебування людини в електричному полі більшої напруженості без застосування засобів захисту заборонено.

За аварійних режимів роботи застосовується **захисне заземлення**.

Заземлення корпусів пересувних машин, забійних конвеєрів, світильників, електрообладнання, яке пересувається по коліям, повинно поєднуватись із загальною мережею заземлення за допомогою заземлюючих жил та кабелів. В шахтах небезпечних за газом або пилом повинна забезпечуватись іскробезпечність схем безперервного заземлення.

Електромережі із заземленою нейтраллю (нульова точка джерела живлення приєднана до заземлюючого пристрою провідником з малим опором) знаходять застосування на поверхні шахт в основному через те, що в них джерела електроживлення можна використовувати як для живлення трифазних споживачів

(зокрема, лінійною напругою 380 В), так і окремих однофазних споживачів (фазною напругою того ж джерела – 220 В).

При роботі з електричними ланцюгами напругою до 1000 В застосовуються наступні основні захисні засоби: діелектричні рукавички; вимірювальні оперативні штанги; показчики напруги; слюсарно-монтажний інструмент.

Основні захисні засоби – це такі, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу електричної установки. За допомогою основних засобів можна торкатись струмопровідних частин, що знаходяться під напругою. До них відносяться: оперативні і вимірювальні штанги; ізолюючі і струмовимірні кліщі; показчики напруги; спеціальні пристрої для ремонтних робіт (ізолювання майданчика, східці, ланки телескопічних вишок і т. д.).

Ізоляцію відкритих струмоведучих частин, установку захисних електричних і механічних блокувань; установок приборів автомагнітного відключення, реагуючих на напругу або струм замикання на корпус (землю), виконувати згідно з ДНАОП 0.00-1.01-07. "Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів".

На підприємствах гірничої промисловості від ураження електричним струмом служать індивідуальні засоби захисту: спеціальні діелектричні чоботи, боти і галоші [2].

Методи захисту від шуму гірничих машин та механізмів.

Для усунення негативних наслідків шуму та вібрації потрібно використовувати колективні методи і засоби. Найефективнішими є заходи зниження шуму в джерелі його виникнення.

Необхідно дотримуватись правил ДСН 3.3.6.037-99. "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" та ДСН 3.3.6.039-99. "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації".

До засобів індивідуального захисту від шуму належать протишумні навушники, вкладиші, шоломи, протишумні костюми.

Методи боротьби з вібрацією зводяться в основному до демпфірування установок, машин, механізмів, використання різноманітного роду амортизаторів, вібропоглинання.

Для гірничорудних підприємств характерна надзвичайно велика різноманітність джерел шуму. Ці шуми можна поділити на механічні, аеродинамічні та електромагнітні. Механічний /вібраційний/ шум виникає в результаті динамічних процесів та пружних деформацій у з'єднаннях машин та механізмів. Аеродинамічний шум виникає при нестаціонарному русі газів та рідин у трубопроводах, пульсаціях тиску, вихлопах та ін. електромагнітні шуми зумовлені силами, що виникають у повітряному зазорі між статором та ротором електричних машин.

Примусове змащування поверхонь, що труться в з'єднаннях, дає можливість попередити спрацювання їх виникнення шуму від тертя.

Інший шлях боротьби з механічним шумом – введення пружних прокладок між окремими елементами машин.

Методи захисту від вібрацій гірничих машин та устаткування.

Ослаблення вібрацій досягається конструктивними і технологічними заходами: врівноваженням, балансуванням частин, які крутяться для забезпечення плавної роботи машини; ліквідацією дефектів та розхитаності окремих частин /наприклад, усуненням асиметрії магнітної системи електромашини/ ; зустрічним спарюванням /ідея його – знищення вертикальних та складання горизонтальних складових відцентрової сили

Для зниження вібрації необхідно застосовувати антивібраційне взуття, підошва якого заповнена стисненим повітрям. Тиск повітря регулюється залежно від рівня вібрації та маси працюючого.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається система керування автоматизованого електропривода шахтного стрічкового конвеєра.

Результати даної кваліфікаційної роботи бакалавра:

- в роботі розглянутий стрічковий конвеєр WAMAG ТИП PTD 1000;
- проведене обґрунтування вибору асинхронного електродвигуна серії 2АИУ250S4 потужністю 75 кВт;
- був проведений аналіз існуючих систем керування АД на основі якого для даного електродвигуна вибраний комплектний електропривод серії Siemens MICROMASTER 440 з частотно-струмовим керуванням;
- на основі функціональної схеми обраного електропривода та проведених розрахунків всіх його елементів була складена структурна схема;
- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей;
- в результаті розрахунків були отримані такі параметри настроювання регуляторів, які забезпечили необхідні динамічні властивості системи;
- аналіз показників якості перехідного процесу показав, що перегулювання $\sigma_{\max} = 11 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,49$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка $\varepsilon = 0 \%$. Такі показники якості задовольняють вимогам до систем керування електроприводів транспортуючих механізмів.

Крім того, з характеристик електродвигуна видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм $I_{\text{пуск}}$ не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний. Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

В роботі розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням конвеєрів. На підставі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації електронного устаткування наведені рекомендації для зменшення їх негативного впливу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
2. Вугільна шахта: підручник для вузів / В.І. Бондаренко, В.Ю. Медяник, М.К. Руденко, І.А. Ковалевська. — Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (НТУ «ДП») ЛізуновПрес, 2020. – 357 с.: іл. 118.
3. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.
4. **Грабко В.В.** Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. / В.В. Грабко, М.П. Розводюк, С.М. Левицький, М.О. Казак – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
5. Довідник з гірничого обладнання дільниць вугільних і сланцевих шахт [Текст]: навч. посібник / М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 432 с.
6. **Жидецький В. Ц.** Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.
7. **Зайченко С. В.** Транспортні системи електромеханічних комплексів: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.В. Зайченко, В.А. Побігайло, В.Г. Дубовик (1 файл: Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 136 с.
8. **Козуб Ю.Г., Маслійов С.В.** Підйомно-транспортні машини: Підручник / Ю.Г. Козуб, С.В. Маслійов – Старобільськ: вид-во ДЗ "ЛНУ імені Тараса Шевченка", 2018. – 277с.
9. **Лісовський В. С.** Автоматизація виробничих процесів в гірничій промисловості / В. С. Лісовський, О. М. Закладний, М. Г. Борисюк, Я. М. Гуманюк, А. М. Ковальчук – Київ: Факт, 2001. – 164с.

10. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах.

11. **Організація і технологія вантажно-розвантажувальних робіт** : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / В. П. Кужель, А. А. Кашканов, В. А. Кашканов, О. П. Антонюк. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 152 с.

12. **Павленко Т. П.** Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій. / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.

13. Электропривод Siemens MICROMASTER 440. Руководство по эксплуатации 6SE6400-5AW00-0PP0.

14. **Регульований електропривод: Підручник** / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.

15. Стрічкові конвеєри тип WAMAG-PTD 1000 фірми ВТ МИФАМА Глінік.

16. **Теорія автоматичного керування** : навчальний посібник / П. В. Леонтьєв та ін. ; за заг. ред. П. В. Леонтьєва. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 296 с.

17. Електродвигуни асинхронні вибухозахищені серії 2АИУ250S4.

[Электронный ресурс] Режим доступа:

<https://systemax.ua/elektrodivigateli/vzryvozashishennye-elektrodivigateli/aimm/aimm250s4-75-kvt-1500-ob-min.html> . © Системакс.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Агафонов Кирило Борисович

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему:

"Автоматизація шахтного стрічкового конвеєра на базі
регульованого електропривода"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми. Особливістю роботи конвеєрного транспорту для доставки, навантаження, транспортування та підйому копалин є нерівномірність режимів роботи й навантажень.

Використання тиристорних та транзисторних перетворювачів для регулювання швидкості електроприводів конвеєрів забезпечує підвищення надійності та підтримання рівномірності навантажень двигуна й швидкостей ланцюга конвеєра, покращення його експлуатаційних якостей.

Тому впровадження частотно-регульованих асинхронних електроприводів для автоматизованого керування конвеєрними лініями у гірничодобувному виробництві є актуальною задачею.

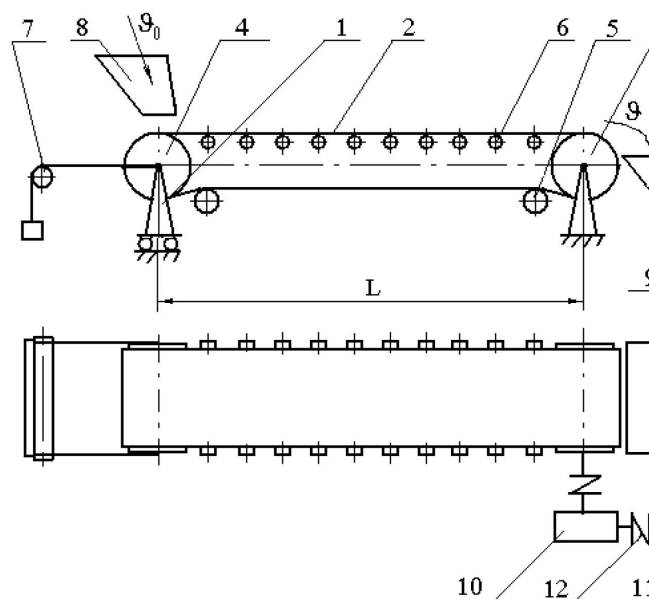
Мета роботи – удосконалення системи керування автоматизованого електропривода шахтного стрічкового конвеєра WAMAG PTD 1000.

Задачі роботи:

- розглянути автоматизовану систему керування електропривода конвеєра;
- провести вибір типу електродвигуна для привода конвеєра;
- провести аналіз існуючих, сучасних засобів та систем керування електродвигунами змінного струму і на базі цього аналізу вибрати найбільш підходящий електропривод для керування електродвигуном конвеєра;
- провести аналіз динамічних властивостей роботи системи керування;
- привести загальні положення по технічній експлуатації електрообладнання стрічкового конвеєра.

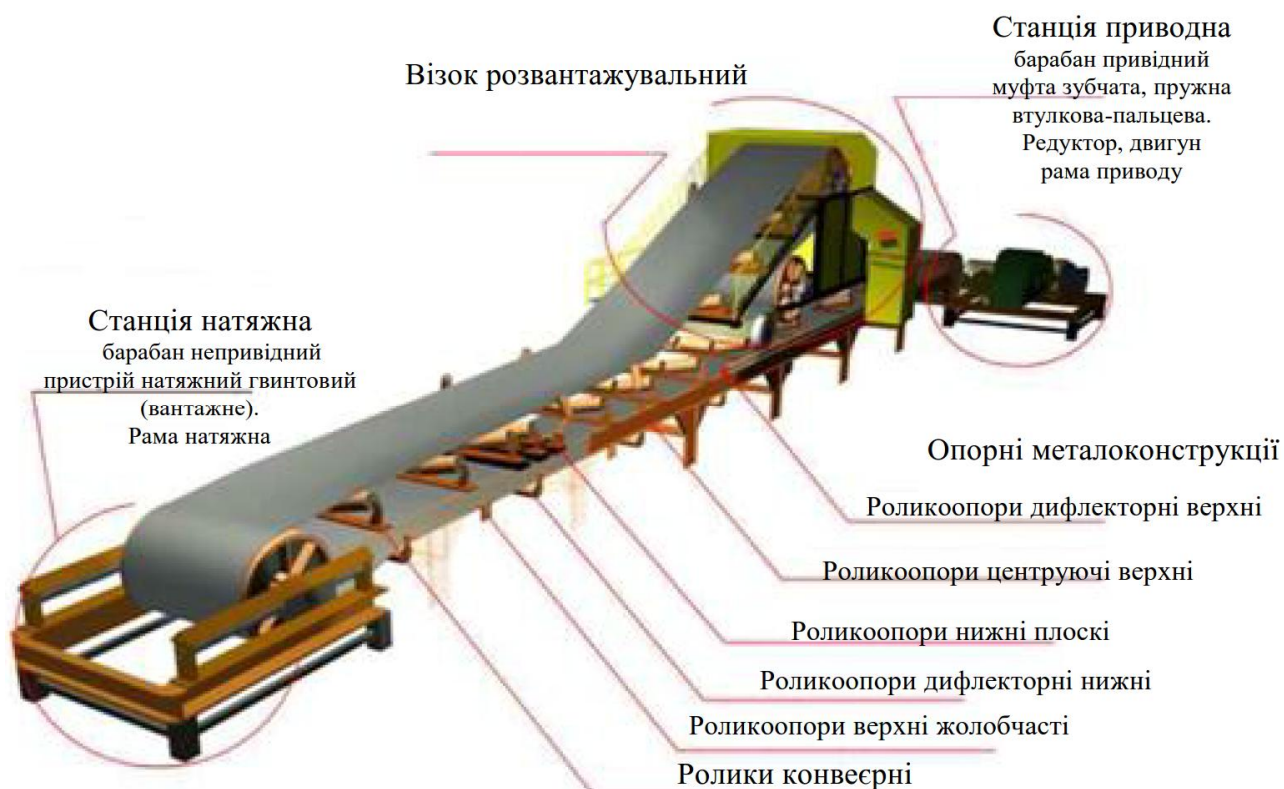
Слайд 2 мультимедійної презентації

СТРІЧКОВИЙ ШАХТНИЙ КОНВЕЄР WAMAG ТИП РТD 1000



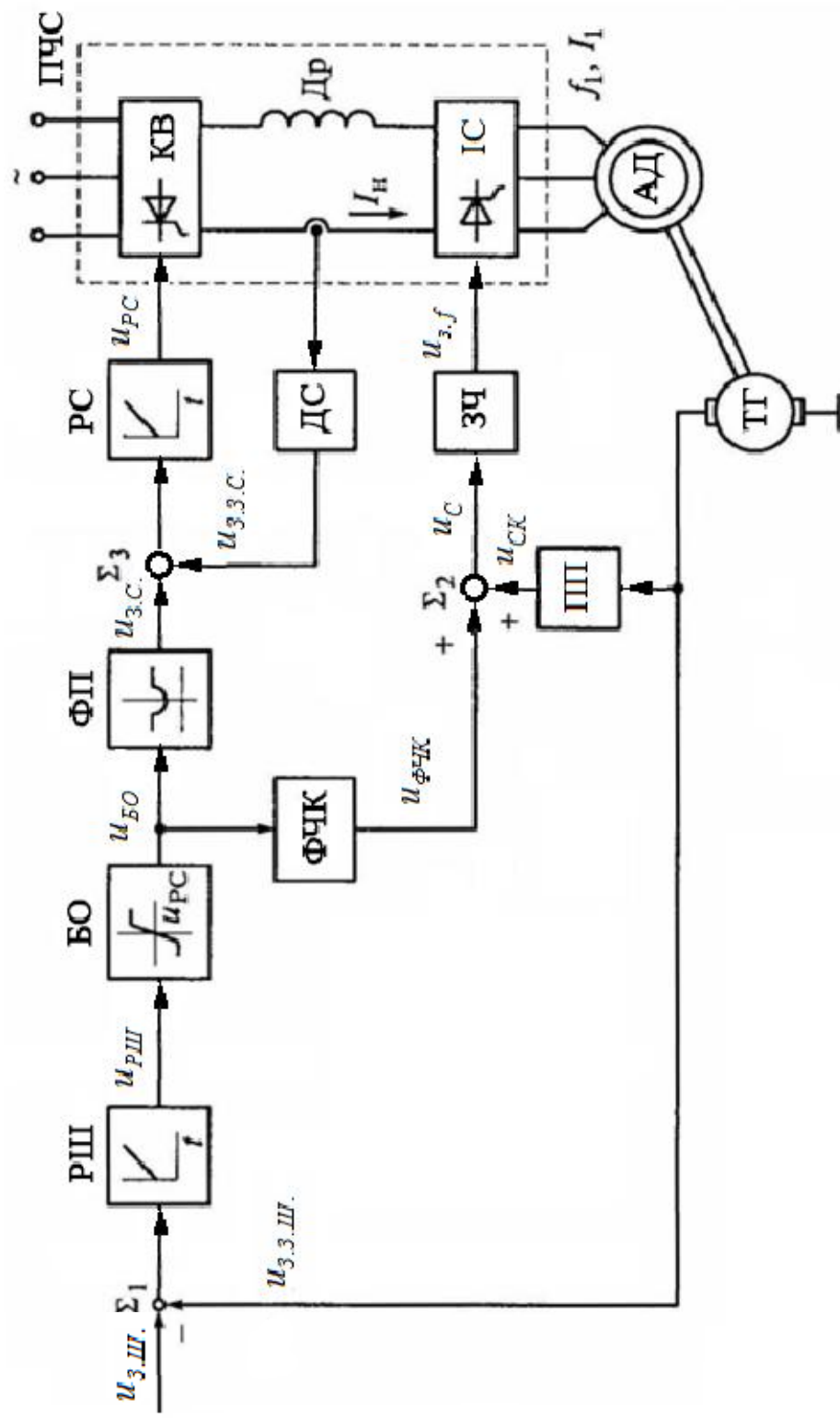
- 1 – станина; 2 – стрічка;
 3,4 – приводний та натяжний барабани;
 5,6 – опорні ролики;
 7 – натяжний пристрій;
 8 – завантажувальний пристрій;
 9 – розвантажувальна воронка;
 10 – редуктор; 11 – електродвигун;
 12 – муфти

Схема стрічкового конвеєра

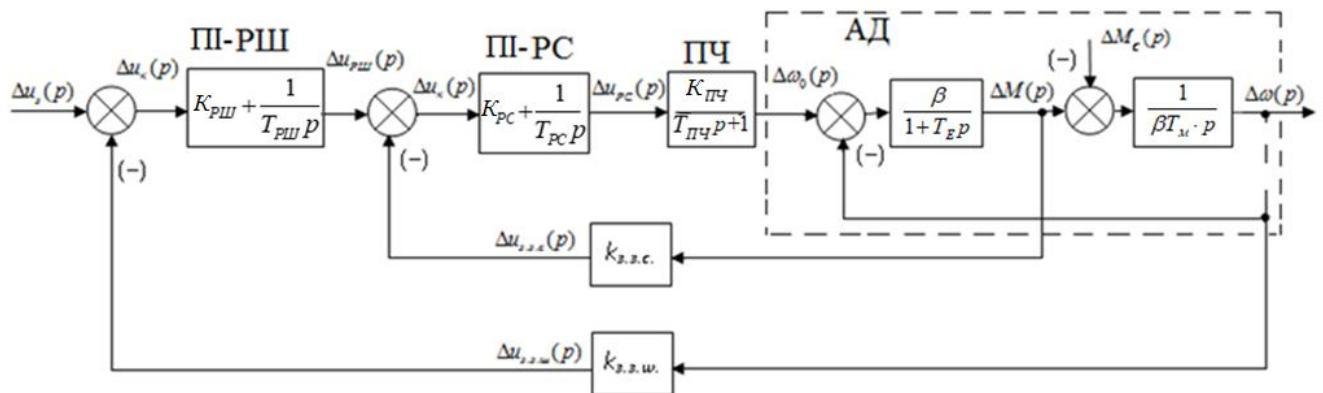


Загальний вид стрічкового конвеєра WAMAG RTD 1000

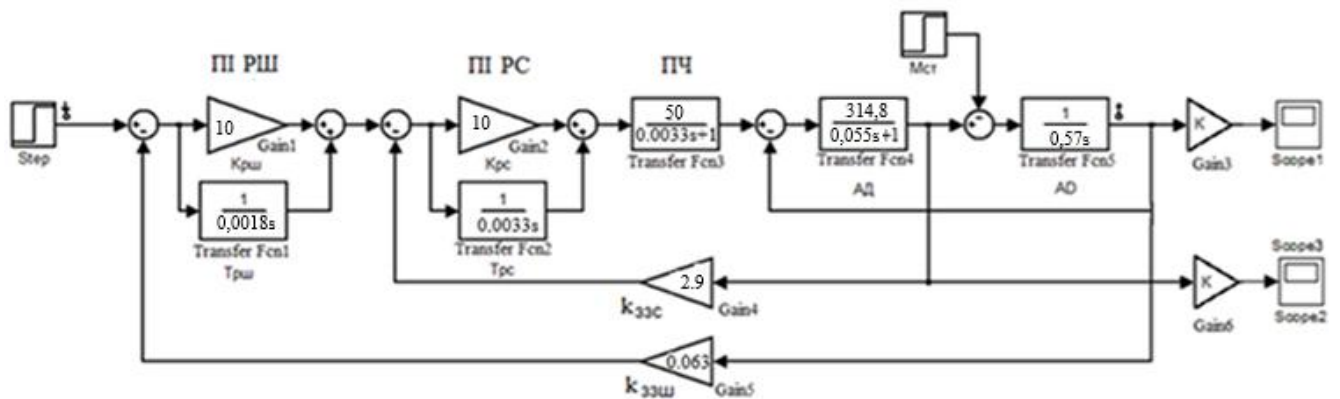
ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЧ-АД З ЧАСТОТНО-СТРУМОВИМ КЕРУВАННЯМ



СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

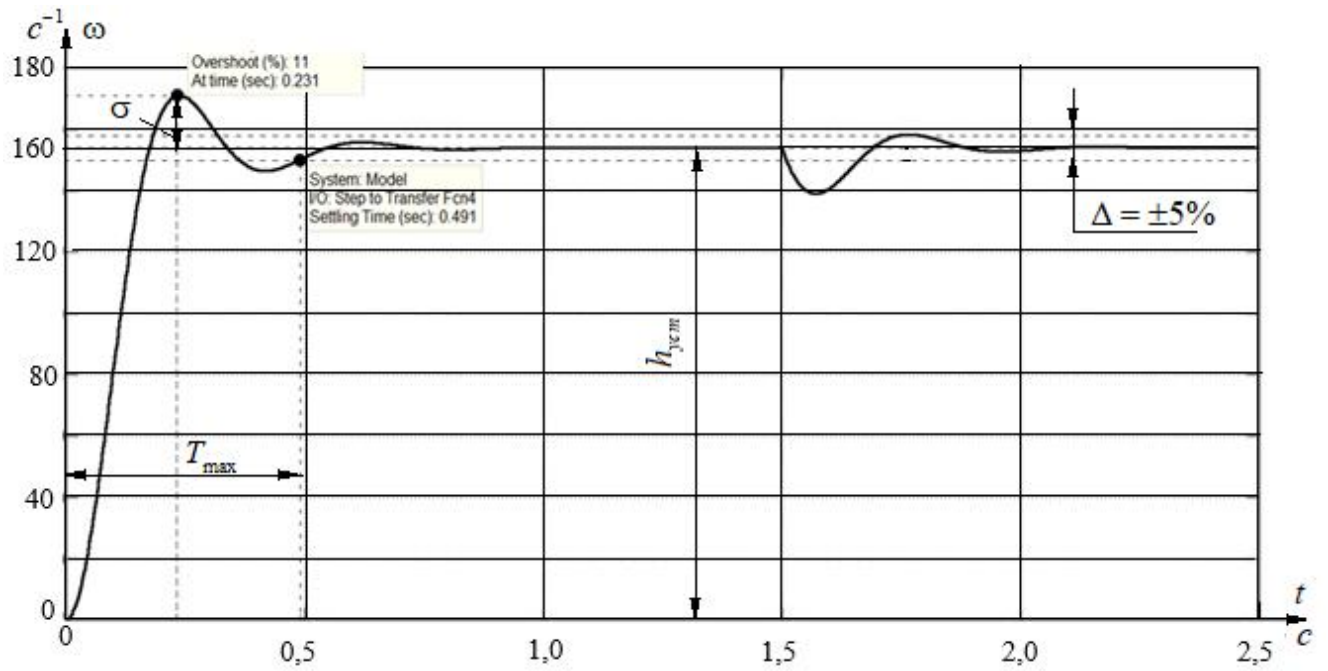


Структурна схема системи керування електропривода

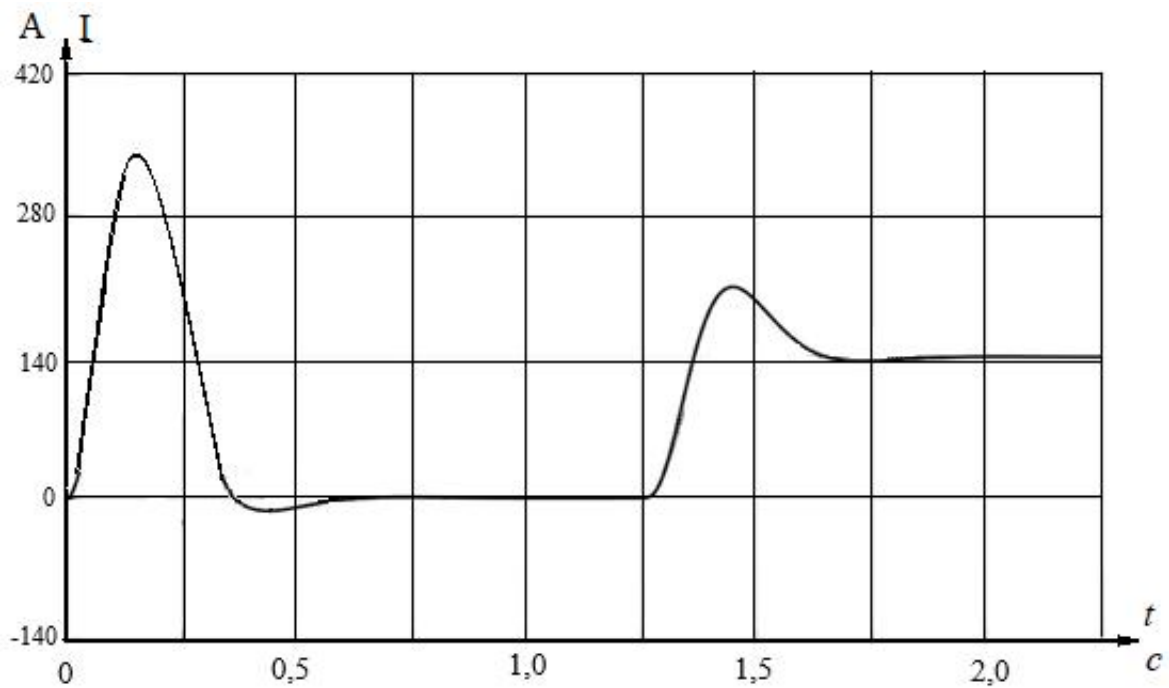


Розрахункова динамічна модель системи керування

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідна характеристика по швидкості



Перехідна характеристика по струму

Слайд 6 мультимедійної презентації

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається система керування автоматизованого електропривода стрічкового конвеєра гірничого підприємства.

Результати даної кваліфікаційної роботи бакалавра:

- в роботі розглянутий стрічковий шахтний конвеєр WAMAG PTD 1000;
- проведене обґрунтування вибору асинхронного електродвигуна серії 2АИУ250S4 потужністю 75 кВт;
- був проведений аналіз існуючих систем керування АД на основі якого для даного електродвигуна вибраний комплектний електропривод моделі Siemens MICROMASTER 440 з частотно-струмовим керуванням;
- на основі функціональної схеми обраного електропривода та проведених розрахунків всіх його елементів була складена структурна схема;
- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей;
- в результаті розрахунків були отримані такі параметри настроювання регуляторів, які забезпечили необхідні динамічні властивості системи;
- аналіз показників якості перехідного процесу показав, що перегулювання $\sigma_{\max} = 11 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,49$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка $\varepsilon = 0 \%$. Такі показники якості задовольняють вимогам до систем керування електроприводів транспортуючих механізмів.

Крім того, з характеристик електродвигуна видно, що система працює задовільно, тобто максимальний пусковий струм $I_{\text{пуск}}$ не перевищує допустимий струм короткого замикання, який в десятки разів перевищує номінальний. Після подання навантаження на вал двигуна струм виходить на номінальний режим.

В роботі розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням конвеєрів.