

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)	О. КОЛЛАРОВ
«__»	(ініціали, прізвище)
	2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА

на тему Розрахунок і вибір системи автоматичного керування

електроприводом конвеєра

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛКЗ-19
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

Олексій КОВАЛЕНКО

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник ст. викл. каф. Е. НЄМЦЕВ

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

(підпис)

Рецензент

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

(підпис)

Нормоконтроль:

Е. НЄМЦЕВ

(підпис)

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

Студент

(підпис)

(дата)

(дата)

ЛУЦЬК – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

(О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Олексію КОВАЛЕНКУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розрахунок і вибір системи автоматичного керування
електроприводом конвеєра

керівник роботи Едуард НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: _____

Конвеєр похило-горизонтальний з параметрами: продуктивність $Q = 650$ т / год;

$L_1 = 195$ м; $L_2 = 155$ м; $L_3 = 15$ м; $L_4 = 145$ м; $L_5 = 185$ м; $L_6 = 18$ м; $H = 22$ м;

$H_1 = 0,85$ м; $h_t = 1,7$ м. Розмір типового шматка вантажу $a' = 155$ мм;

Насипна щільність вантажу $\rho = 0,8$ т / м³; Кут природного нахилу в спокої

$\varphi = 35^\circ$; кут природного нахилу вантажу на стрічці $\varphi_o = 20^\circ$. Привід конвеєра

- однобарабанный з чугуним барабаном, кут обхвату $\alpha = 210^\circ$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Огляд конвеєрних установок

2. Порівняння та вибір системи електроприводу

3. Розрахунок стрічкового конвеєра

4. Розробка та моделювання скалярної системи керування електроприводом конвеєра

5. Розробка питань з охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)
Вісім слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Пункти 4.1 – 4.4	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.		
Пункт 4.5	О. КОЛЛАРОВ зав. каф.		
Нормоконтроль	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 08 травня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Пункт 4.1	08.05.23 – 15.05.23	
2.	Пункт 4.2	15.05.23 – 22.05.23	
3.	Пункт 4.3	23.05.23 – 30.05.23	
4.	Пункт 4.4	30.05.23 – 08.06.23	
5.	Пункт 4.5	08.06.23 – 12.06.23	
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Олексій КОВАЛЕНКО
(ім'я та прізвище)

Керівник
роботи _____
(підпис)

Едуард НЄМЦЕВ
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Олексій КОВАЛЕНКО. Розрахунок і вибір системи автоматичного керування електроприводом конвеєра / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, переліку джерел посилання та двох додатків.

У першому розділі проведений огляд конвеєрних установок, розглянута класифікація, конструкція та принцип роботи конвеєрів, досліджені питання підвищення енергоефективності частотно-регульованих електроприводів стрічкових конвеєрів і впливів нерівномірності завантаженості стрічкових конвеєрів на систему електроприводу.

У другому розділі виконаний порівняльний аналіз характеристик приводів, вибрана система електроприводу для розробки.

У третьому розділі представлена схема та параметри конвеєра, здійснено розрахунок стрічкового конвеєра, обраний двигун та перетворювач частоти.

У четвертому розділі представлена функціональна схема керування асинхронним електродвигуном, розглянута система автономний інвертор напруги-асинхронний двигун, розраховані параметри асинхронного двигуна, проведений синтез регуляторів, промодельований розроблений електропривод.

Ключові слова: конвеєр, стрічка, натяг, електропривод, провис, перетворювач частоти, скалярна система керування, регулятор швидкості, регулятор струму, замкнутий контур, зворотний зв'язок, Matlab, Simulink

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1 ОГЛЯД КОНВЕЄРНИХ УСТАНОВОК	8
1.1 Загальна характеристика установки	8
1.2 Класифікація конвеєрів	8
1.3 Конструкція, принцип роботи	9
1.4 Підвищення енергоефективності частотно-регульованих електроприводів стрічкових конвеєрів	12
1.5 Дослідження впливів нерівномірності завантаженості стрічкових конвеєрів на систему електроприводу	15
2 ПОРІВНЯННЯ ТА ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	19
2.1 Порівняльні характеристики приводів	22
2.1.1 Асинхронний електропривод із контактним регулятором ковзання	22
2.1.2 Привод постійного струму	23
2.1.3 Приводи змінного струму	24
3 РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	27
3.1 Схема та параметри конвеєра	27
3.2 Тяговий розрахунок конвеєра	28
3.3 Вибір двигуна	34
3.4 Вибір перетворювача частоти	38
4 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СКАЛЯРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЄРА	43
4.1 Функціональна схема керування асинхронним електродвигуном	43
4.2 Система автономний інвертор напруги-асинхронний двигун	44
4.3 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна	48
4.4 Синтез регуляторів	55
4.5 Моделювання скалярної системи керування електроприводом конвеєра в Simulink Matlab	56
ВИСНОВКИ	59

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	60
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ	61
ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА	64

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку науки та техніки, автоматизація виступає ключовим фактором для науково-технічного прогресу. Вона використовується в різноманітних сферах, включаючи виробничі процеси, наукові дослідження, дизайн, організацію та управління, а також бізнес-процеси. Автоматизація технологічних процесів є ключовим рішенням для підвищення продуктивності, зниження витрат і поліпшення робочих умов.

Видобування нерудних матеріалів (наприклад, щебеню, гравію, відсіву) відбувається в гранітних кар'єрах, які є високо механізованими. Важливу роль у механізації гранітних кар'єрів відіграють стрічкові конвеєри, які транспортують матеріали на різних стадіях виробництва.

Стрічковий конвеєр - це вид транспорту, який належить до механізмів постійної дії. Вони були широко впроваджені при видобуванні корисних копалин, оскільки вони були більш практичними для переміщення великого обсягу вантажу, ніж автотранспорт. Конвеєрний транспорт також економічніший і надійніший, ніж автомобільні перевезення. Вони також можуть використовуватися в умовах, які вимагають повної відсутності людей поблизу, наприклад, в приміщеннях, де присутні отруйні хімічні пари або висока температура. Тому важко уявити складні виробничі процеси без використання стрічкових конвеєрів або навіть цілих конвеєрних ліній.

Автоматизація є важливою частиною управління і контролю, особливо там, де використовуються стрічкові конвеєри та конвеєрні лінії. Сфера застосування конвеєрного транспорту дуже широка - від промислового і сільськогосподарського виробництва до металургії та гірничодобувної промисловості. Часто конвеєри є частиною систем навантаження, розвантаження або перевантаження.

Сучасні системи електроприводу важко уявити без сучасних та ефективних систем керування. У них використовуються останні розробки в області мікропроцесорної техніки, електроніки та метрології.

1 ОГЛЯД КОНВЕЄРНИХ УСТАНОВОК

1.1 Загальна характеристика установки

Стрічкові конвеєри є одними з найефективніших пристроїв для постійного переміщення різних вантажів, включаючи насипні та штучні, змінюючи при цьому швидкість та продуктивність транспортування. Їх можна використовувати для переміщення вантажів на відстані кілька кілометрів, а конфігурація цих конвеєрів може бути різною, що дозволяє їх адаптацію до різних умов виробництва і географічних особливостей.

Використання високоефективних систем відпрацьовує неперервну транспортування, підвищуючи ефективність конвеєрних транспортних систем. Вдале впровадження дистанційного автоматизованого керування для цих ліній забезпечує збільшення надійності і продуктивності, при цьому знижуючи потребу в обслуговуючому персоналі. Оператор має змогу контролювати всю систему, виявляти і вирішувати проблеми, що виникають в процесі роботи, за допомогою спеціальної обладнаної панелі управління.

1.2 Класифікація конвеєрів

Стрічкові конвеєри за структурою можуть бути поділені на розгалужені і нерозгалужені. Нерозгалужена конвеєрна лінія – це однопотокова система, де кожен конвеєр отримує вантаж виключно від попереднього конвеєра. Розгалужена конвеєрна лінія включає в себе декілька конвеєрів, які відгалужуються від головного шляху і доставляють вантаж до центрального конвеєра.

Залежно від технологічного призначення, стрічкові конвеєри поділяються на стаціонарні, напівстаціонарні і мобільні. Стаціонарні конвеєри знаходяться в постійних приміщеннях і служать протягом довгого періоду часу.

Напівстаціонарні конвеєри розміщуються в окремих зонах і працюють відповідно до встановленого графіка роботи. Мобільні конвеєри можуть переноситися та переустановлюватися після кожного циклу роботи.

Стаціонарні конвеєри характеризуються високою продуктивністю, великою довжиною і довгим терміном служби. Вони також можуть мати розгалужену структуру, що вимагає окремого управління для кожного маршруту. У порівнянні з ними, мобільні конвеєри мають нижчу продуктивність, короткий термін служби і зазвичай мають лише один маршрут. Напівстаціонарні конвеєри займають середнє місце між цими двома типами, маючи деякі характеристики обох.

1.3 Конструкція, принцип роботи

Стрічковий конвеєр (рис. 1.1) працює за наступним принципом.

Натяжний барабан створює потрібний натяг транспортувального засобу, або стрічки, що одночасно слугує і як вантажонесучий елемент. Стрічка рухається завдяки приводному механізму, який складається з двигуна, редуктора і муфти, з'єднаних між собою, і це рух є результатом сил зчеплення між стрічкою та приводним барабаном.



Рисунок 1.1 – Загальний вид стрічкового конвеєра

Стрічка проходить під живильником, який розташований в кінцевій частині конвеєра, і тут відбувається завантаження вантажу. Частина стрічки, на якій вантаж перевозиться, відома як робоча або верхня гілка, а протилежна гілка називається холостою або нижньою.

Стрічка переміщується по спеціально оформлених роликів опорах: робоча гілка на верхніх опорах (жолобчасті або прямі), а холоста гілка на нижніх (прямі). Розвантаження вантажу, як правило, відбувається в кінці конвеєра, де знаходиться приймальний бункер.

Привідний барабан встановлено разом з приводним механізмом, об'єднаними муфтою з низькою швидкістю. Фрикційний зв'язок між приводним барабаном і стрічкою забезпечується за допомогою натяжного пристрою.

Стрічковий конвеєр містить автоматизовані компоненти для спрощення його роботи, включаючи центруючі роликові опори, пристрої проти зсуву та розриву стрічки.

В деяких випадках, може бути необхідно розвантажити конвеєр в проміжному місці, в такому випадку використовують спеціальні візки або пристрої.

Конвеєрні стрічки розміщуються на роликів опорах, верхня частина стрічки покладається на верхні ролики, а нижня частина на нижні.

Дизайн і планування стрічкового конвеєра вимагає спеціальної уваги, оскільки вони повинні бути адаптовані для конкретних умов використання. При проектуванні конвеєра враховуються такі фактори, як схема траси, продуктивність, швидкість стрічки, характеристики вантажу і інші умови експлуатації.

Стрічкові конвеєри використовуються в різних галузях, включаючи гірничу промисловість, металургію, вугільну промисловість, а також при транспортуванні і завантаженні різних сипучих матеріалів, таких як пісок або щебінь.

В стрічкових конвеєрах стрічка виконує дві ключові функції: вона транспортує вантаж і в той же час забезпечує тягову силу. Рух тягового елемента,

або стрічки, конвеєра відбувається завдяки тертю між стрічкою та приводним барабаном.

Під час роботи конвеєра стрічка зазнає суттєвих навантажень, пов'язаних із натягом та перенесенням вантажу, а також відноситься до відчутного зносу. Знос виникає від тертя робочих обкладок, руйнування при контакті з транспортованим матеріалом, впливу навколишнього середовища (наприклад, вологи, тепла, повітря тощо), а також від перегинів при проходженні через барабани та роликові опори.

На рис. 1.2 показані конструкції конвеєрних стрічок. На конвеєрах застосовуються стрічки з прокладками з бавовняних (рис. 1.2, а) та синтетичних (рис. 1.2, б) тканин а також з тросовою основою (рис. 1.2, в).

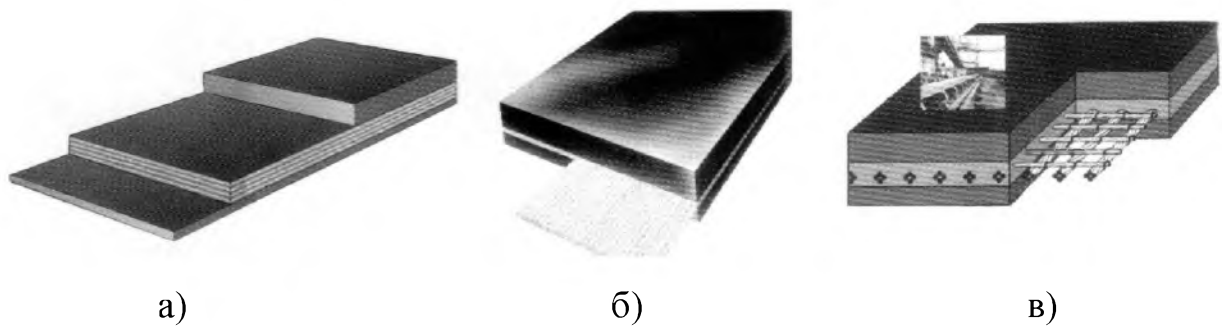


Рисунок 1.2 – Конструкції конвеєрних стрічок

Для забезпечення підтримки та пересування стрічки на конвеєрах, коли ширина стрічки не перевищує 2 метрів, використовують трюхроликові опори з кутом нахилу бічних роликів від 20 до 30 градусів. Для стрічок, ширина яких більше 2 метрів, використовують п'ятироликові опори. Ці роликові опори дозволяють стрічці приймати оптимальну жолобчасту форму.

На нижньому, неробочому відрізку стрічки, використовують однороликові опори. Трюхроликова жорстка опора складається з різних елементів, включаючи швелер, два бічних кронштейна, два середніх кронштейна і замки. Для запобігання бічного відхилення стрічки, на конвеєрах великої довжини через кожні вісім-дев'ять стаціонарних роликових опор встановлюють поворотні центруючі роликові опори.

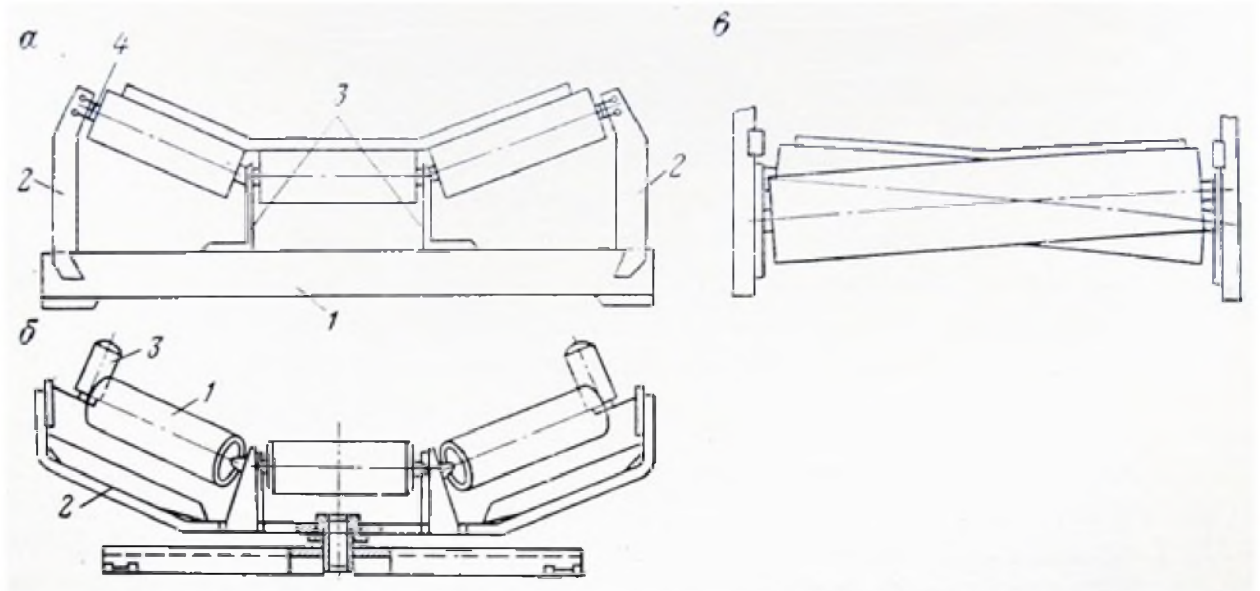


Рисунок 1.3 – Види роликоопор стрічкового конвеєра а – жорстка трироликова; б – поворотна центруюча; в – двороликова центруючи

1.4 Підвищення енергоефективності частотно-регульованих електроприводів стрічкових конвеєрів

В сучасний час, важливо звертати увагу на ефективність використання енергетичних ресурсів, особливо електроенергії, у роботі стрічкових конвеєрів. Зрозуміло, що енергозберігаючі заходи для такого обладнання можуть принести значні результати.

Одним із способів досягнення енергозбереження є використання автоматизованого електроприводу для двигунів. Автоматизований електропривод не тільки допомагає раціонально використовувати електроенергію, але й продовжує термін служби обладнання. Він дозволяє плавно запускати і зупиняти конвеєр, що знижує зайве навантаження. Таким чином, стрічка конвеєра, яка є найкоштовнішою частиною, може служити довше, що в свою чергу зменшує витрати на ресурси. Тому, важливо проводити дослідження і розробки, щоб вдосконалювати режими роботи і характеристики енергозберігаючого електроприводу стрічкового конвеєра.

Поступово частотно-регульований електропривод змінного струму стає основним для стрічкових конвеєрів. Він простий у використанні і легко управляється. Вивчення та вдосконалення такого електроприводу є об'єктом численних наукових робіт.

Є докази, що зниження середньої швидкості конвеєра, при умові збереження постійного навантаження, може скоротити втрати енергії на транспортування кожної одиниці ваги. З іншого боку, при зниженні продуктивності і сталій швидкості конвеєра, ефективність роботи падає, а відсоток енергії, що витрачається на подолання холостого ходу, зростає.

Управління швидкістю конвеєра дозволяє зекономити до 39% електроенергії на тонну транспортованого вантажу порівняно з нерегульованим конвеєром.

Автоматичне керування навантаженням на конвеєрній стрічці може бути впроваджено за допомогою різних автоматичних систем управління. Однією з них є система стабілізації специфічного навантаження, яка підтримує обробку на визначеному рівні, залежно від показників датчика специфічного навантаження, що контролює швидкість стрічки. Але така система має декілька недоліків, зокрема великі флуктуації в частоті швидкості стрічки і високі динамічні навантаження, які скорочують тривалість експлуатації стрічки. Іншими недоліками є транспортні затримки та складність у забезпеченні необхідного контролю якості.

Багато з цих проблем можуть бути вирішені за допомогою двоканальної і трьохступеневої системи автоматичного управління специфічним навантаженням. Система використовує завантажувальний бункер з регулюванням продуктивності вантажного подачу та автоматизований електропривод для основного тягового приводу конвеєра. Для управління використовується трьохступеневий регулятор з двома каналами управління, які створюють послідовну зміну швидкості стрічки та продуктивності, залежно від рівня матеріалу в бункері. Якщо вхідний потік вантажу та рівень матеріалу в бункері змінюються, система управління коригує швидкість стрічки та продуктивність вантажного подачу. Така система управління стабілізує

специфічне навантаження на конвеєрній стрічці та уникнути високих динамічних навантажень.

Ці системи управління розглядають енергоефективність електроприводів з точки зору технологічного процесу. Ціль полягає в оптимізації втрат в електроприводі, які можуть бути аналізовані з урахуванням двигуна, частотного перетворювача і в цілому електричного приводу. Для стрічкових конвеєрів особливо важливою є оптимізація енергетичних втрат асинхронного двигуна.

Для вирішення цієї задачі необхідно аналізувати крайні енергетичні характеристики асинхронного двигуна, які вказують на залежність між потужністю втрат і абсолютним ковзанням двигуна. Діаграми цих характеристик допомагають визначити умови для мінімізації втрат асинхронного двигуна. Так, при номінальному навантаженні мінімум втрат електроенергії асинхронного двигуна досягається, коли абсолютне ковзання менше номінального. В цьому випадку основне зчеплення з потоком більше, ніж номінальне, і напруга живлення формується вище, ніж номінальна.

Асинхронний двигун має особливі властивості при номінальному ковзанні та вище, і при підвищенні напруги статора струм статора знижується. На основі цих характеристик було запропоновано алгоритм пошуку магнітного стану асинхронного двигуна з метою мінімізації втрат електроенергії. Цей алгоритм найкраще підходить для асинхронних двигунів електроприводів зі скалярним керуванням U / f .

Для систем векторного управління зменшення втрат пов'язане з пошуком оптимального потоку статора. Оптимальний потік статора - це значення, яке знаходиться між оптимальним потоком, що зменшує втрати в міді, і потоком, що мінімізує втрати в сталі. Для їх обчислення існують спеціальні формули. Контроль оптимального потоку статора дозволяє зменшити загальні втрати електроенергії, і для його визначення існує спеціальний метод. Головна перевага цього методу полягає в тому, що він сумісний з різними системами управління асинхронним двигуном електроприводу, що дозволяють контролювати стан двигуна, такі як управління орієнтоване на поле або пряме управління моментом.

Аналізуємо електропривод конвеєра. Проведений вище аналіз вказує на те, що ефективність використання частотно-регульованого електроприводу для стрічкових конвеєрів досягається не просто встановленням перетворювача частоти, а за допомогою правильно вибраної та налаштованої системи управління.

Отримані результати демонструють, що стрічковий конвеєр без спеціальної системи управління електроприводом має невисокий рівень енергозбереження. Однак теорія говорить про те, що можливо досягнути значної економії енергії. Коли використовується пряме управління моментом з постійними параметрами зчеплення як метод управління асинхронним двигуном, рівень магнітних втрат не змінюється. Економія досягається не тільки за рахунок використання перетворювача частоти, але і зниженням швидкості двигуна, що відповідно зменшує напругу. За даними моніторингу, рівень напруги знижується до 80-85% від номінального.

Теоретично, при вказаних вище умовах, значний ефект від використання частотно-регульованого електроприводу при однаковому навантаженні може бути досягнуто за допомогою контролю магнітного потоку. Це свідчить про наявність потенціалу для енергозбереження на стрічкових конвеєрах. Таким чином, оптимізація потоку може поліпшити енергоефективність електроприводів стрічкового конвеєра. При низькому навантаженні двигуна економія може бути значною, досягаючи 70% при холостому ході, але при збільшенні навантаження економія зменшується до нуля.

1.5 Дослідження впливів нерівномірності завантаженості стрічкових конвеєрів на систему електроприводу

Одним із ключових способів покращення продуктивності конвеєрних систем є зменшення витрат енергії на перевезення вантажу. Зменшуючи витрати енергії і подовжуючи термін служби конвеєра, можна знизити вартість

перевезення вантажів, що є важливим питанням. Проте, сучасні дослідження в цій області дають різноманітні результати щодо енергоефективності стрічкових конвеєрів з регульованим приводом. Також складно визначити статистичні характеристики вантажопотоку на конвеєрному транспорті, які безпосередньо впливають на оцінку енергоефективності та ресурсу цих систем.

Один із основних показників енергоефективності транспортних систем - це питомі енерговитрати, тобто кількість енергії, яку потрібно витратити для перевезення 1 тони вантажу на відстань 1 км.

У багатьох випадках вантажопотоки на конвеєрах нерівномірні, що впливає на статичне навантаження на електропривід. Тому питання енергоефективності, економії електроенергії та ін. стають дуже важливими для роботи стрічкових конвеєрів. Використання регульованого електроприводу допомагає не лише раціонально використовувати електроенергію, але й продовжує термін служби обладнання конвеєра.

Сьогодні частотно-регульований електропривід став стандартом для стрічкових конвеєрів. Він відносно простий в управлінні, дозволяє оптимально використовувати електроенергію і забезпечує хорошу продуктивність конвеєра.

Отже, існує можливість підвищення енергоефективності технологічних процесів стрічкових конвеєрів за допомогою системи електроприводу. При недостатньому навантаженні конвеєра та стабільній швидкості, продуктивність знижується, а відносна потужність, необхідна для подолання моменту холостого ходу, збільшується. Тому для підвищення ефективності роботи стрічкового конвеєра необхідно змінювати швидкість.

Управління завантаженням конвеєра може бути здійснено за допомогою різних систем автоматичного регулювання. Якщо основною технологічною вимогою є забезпечення максимальної продуктивності конвеєра, швидкість може бути збільшена при зменшенні вантажопотоку. Проте, це погіршує енергетичні показники і потребує здатності регулювати швидкість вгору.

Більшість експертів вважає доцільним використовувати системи стабілізації вантажопотоку на стрічку, підтримуючи його на заданому рівні. При зменшенні вантажопотоку швидкість повинна зменшуватись пропорційно, що

підвищує енергоефективність і дозволяє економити ресурси за рахунок сталого статичного навантаження. Однак цей режим також має свої недоліки. При сильних змінах вантажопотоку часто змінюється швидкість стрічки, що призводить до збільшення динамічних навантажень і зниження терміну служби стрічки, яка є найдорожчим компонентом конвеєрної системи.

Один з продуктивних методів для підвищення технологічного рівня транспортних машин в гірничих компаніях - це поліпшення їхньої ефективності за параметром енергозбереження. В рішенні задачі оптимізації важливим елементом є цільова функція, оскільки вона визначає критерій оптимізації і постійні проектні та оптимізаційні параметри.

Традиційно, для розв'язання проблеми оптимізації режиму роботи стрічкового конвеєра з метою зниження енергетичних витрат на перевезення вантажу пропонуються оптимальні алгоритми частотного регулювання швидкості стрічки. Але на сьогоднішній день немає загальноприйнятого критерію для оцінювання енергоефективності стрічкового конвеєра з регульованим приводом.

Цільові функції, що були запропоновані для оптимізації роботи регульованого приводу за параметром енергоефективності, недостатньо враховують вплив реального закону розподілу вантажопотоку на конвеєрі, технічні та конструктивні параметри конвеєра і його приводу на головний індекс енергоефективності транспортування. Таким чином, потрібно додатково досліджувати, як ці параметри конвеєра впливають на енергоспоживання при транспортуванні вантажу.

В ході експериментальних досліджень було виявлено, що ступінь завантаження стрічки значно впливає на величину питомих енерговитрат на перевезення сипучого вантажу конвеєром, залежність яких має гіперболічну форму, і мінімальне значення питомих енерговитрат на перевезення вантажу відповідає максимальному завантаженню стрічки, можливого за прийнятною здатністю конвеєра. Аналіз залежності питомих енерговитрат на транспортування вантажу стрічковим конвеєром від ступеня завантаження стрічки вказує, що в реальних умовах роботи конвеєр не працює на максимальну

ефективність, оскільки очікуване значення питомих енерговитрат у 1,9 рази вище мінімального значення, що відповідає режиму повного завантаження конвеєра.

Отже, величина питомих енерговитрат на перевезення вантажу істотно залежить від ступеня завантаження стрічки, який формується в результаті потоку вантажу, що надходить на конвеєр. Зміна цього потоку в процесі транспортування має випадкову природу. Характер зміни завантаження стрічки визначається законом розподілу вантажопотоку, який є випадковою величиною. Тому, цільова функція для оптимізації структури і методів регулювання швидкості стрічки конвеєра за критерієм енергоефективності повинна враховувати фактор завантаження стрічки відповідно до приймальної здатності конвеєра.

При розрахунку середніх взважених питомих енерговитрат слід також урахувати конструктивні параметри механічної частини конвеєра, приводних двигунів і регуляторів швидкості стрічки. Отже, значення цільової функції повинно визначатися на основі вище зазначених технологічних і конструктивних параметрів конвеєра.

Параметр оптимізації структури і режиму роботи приводу стрічкового конвеєра – це швидкість стрічки, яка визначається методом її регулювання.

Регулювання швидкості стрічки конвеєра може бути виконане за допомогою електричних та механічних методів. На даний момент, частотне регулювання вважається найбільш перспективним способом регулювання швидкості стрічки конвеєра.

2 ПОРІВНЯННЯ ТА ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Приводний механізм використовується для запуску руху вантажопідійомних та тягових складових конвеєра. Від типу передачі тягових сил вони розподіляються на приводи, що працюють за принципом зачеплення, а також фрикційні, включаючи одно-, дво-, трибарабанні та спеціальні проміжні.

За числом використовуваних приводів конвеєри поділяються на одноприводні та багатоприводні (рис 2.1). У багатоприводних конвеєрах можуть бути встановлені до 12 проміжних приводних механізмів з окремими електродвигунами. Застосування проміжних приводів знижує навантаження на тяговий елемент.

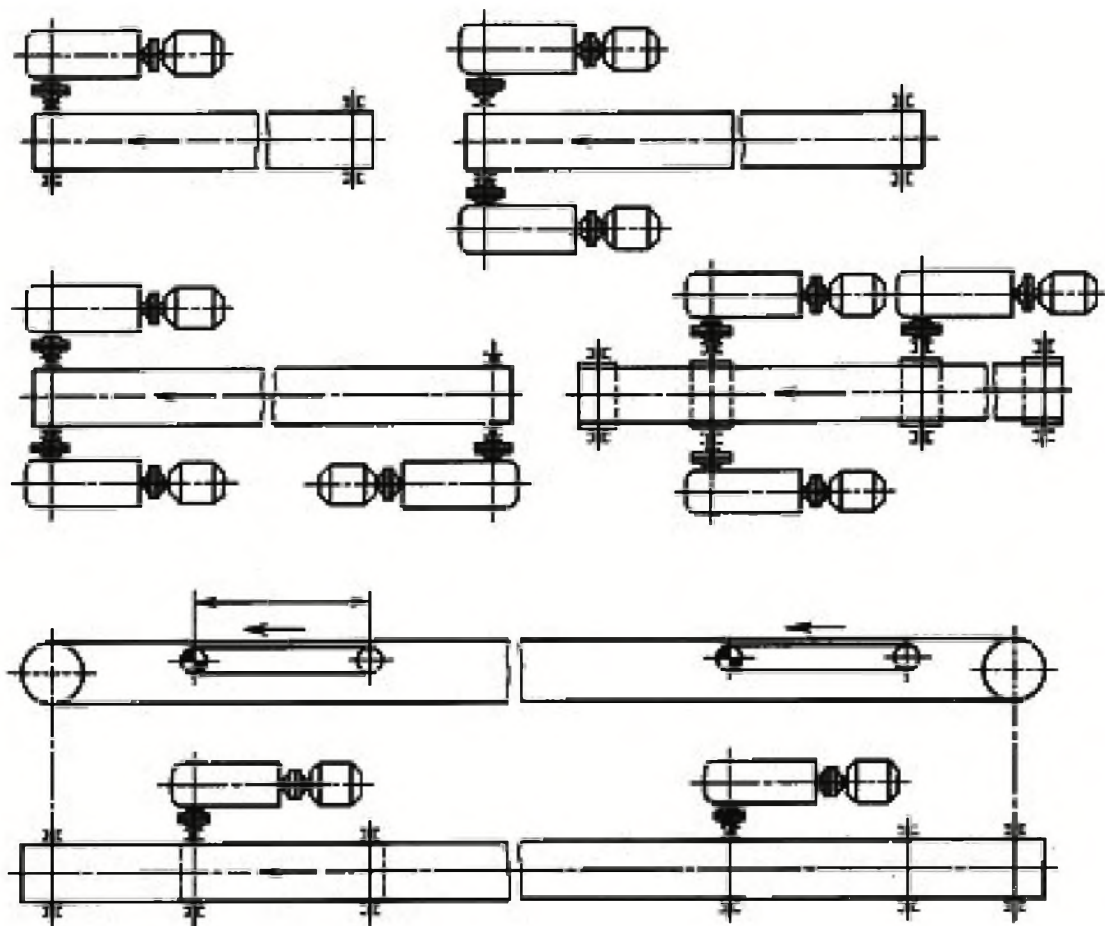


Рисунок. 2.1 – Схеми розташування приводів:

верхній ряд – з одним і двома двигунами відповідно; середній – з трьома двигунами; нижній - багатоприводний з проміжними двигунами

Місце розташування привода впливає на навантаження тягового елемента на різних ділянках маршруту, тому необхідно вибирати його таким чином, щоб мінімізувати найвище навантаження. Використання декількох приводів дозволяє знизити максимальне навантаження на гнучкий тяговий елемент, що дає можливість використовувати елемент з меншою міцністю; багатоприводні конвеєри дозволяють реалізувати довгі дистанції за умови правильного вибору системи приводів.

При визначенні оптимального місця установки привода на маршруті конвеєра ключовим фактором є досягнення мінімального навантаження тягового елемента і зменшення цього навантаження на поворотах і кривих ділянках. Тому раціональним вважається розташування привода в місцях зміни напрямку руху.

Якщо конвеєр має тільки одну ділянку (горизонтальну або нахилу), привід розміщується в головній частині, тобто в кінці вантажного шляху. Залежно від кута нахилу і напрямку руху вантажу, привід може бути в головній або хвостовій частині конвеєра.

Щоб підтримувати необхідне навантаження тягового елемента на довгих ленточних конвеєрах, натягувач встановлюють близько до привода. Оптимальне число приводів на конвеєрі визначається на основі техніко-економічного обчислення. При проектуванні краще використовувати менше приводів, але з більшою потужністю. Використання прямих проміжних приводів в ланцюгових конвеєрах зі складним маршрутом дозволяє досягти найбільш оптимального їх розміщення на всій довжині маршруту.

У розглянутому підвісному конвеєрі планується використовувати кутовий привід, що працює з постійною або змінною швидкістю. Кутовий привід може передавати тягову силу за допомогою зачеплення з зіркою або кулачковим блоком, або за допомогою тертя. Зазвичай кутовий привід з зіркою розміщують на повороті маршруту на 90 або 180 градусів.

Найпоширенішими електроприводами для конвеєрів є асинхронні. Спосіб регулювання частоти обертання асинхронних двигунів за допомогою зміни

частоти та напруги є одним з найбільш прогресивних та широко використовуваних на сьогодні.

Система електроприводу для конвеєра має виконувати ряд ключових операцій:

- плавний старт і зупинка конвеєра.
- автоматичний контроль за швидкістю руху ланцюга конвеєра.
- автоматичне вимкнення у разі виникнення аварійних ситуацій, таких як перевищення або зниження встановленого рівня швидкості, відсутність вантажу або перевантаження.
- автоматичне налаштування продуктивності - зниження швидкості при недостатній кількості вантажу і збільшення при перевантаженні.
- моніторинг стану лінії зв'язку.
- діагностика блоків керування.
- сигналізація аварійного стану.
- передача даних про стан лінії до диспетчера.

За загальними технологічними вимогами, конвеєри зазвичай працюють без регулювання швидкості і мають тривалий режим роботи з постійною швидкістю. Електроприводи конвеєрів повинні виконувати ряд основних операцій, включаючи запуск, рух зі сталою швидкістю, гальмування, а також декілька додаткових режимів для забезпечення надійної та безперебійної роботи.

Ключовими вимогами до електроприводу конвеєрів є:

- Забезпечення плавного запуску з обмеженим крутним моментом і прискоренням для зменшення динамічних навантажень на тяговий орган і уникнення пробуксовки.
- Врахування великого опору при запуску, оскільки опір тертя в спокійному стані може бути на 1,5 рази вищим, ніж під час руху, а також можлива наявність бруду або застиглого мастила.
- Забезпечення стабільного режиму роботи з заданою швидкістю.

Однією із особливостей конвеєрних систем є високий коефіцієнт статичного опору та велика ефективна маса під час ініціалізації руху обтяженого конвеєрного поясу. Зазвичай, старт відбувається, коли стрічка порожня. Однак,

двигун має мати достатню потужність, аби розпочати роботу і з навантаженим конвеєром. Незалежно від ваги вантажу на стрічці, запуск має бути м'яким і поступовим, щоб уникнути проковзування приводного барабана, яке часто призводить до іскріння та ризику виникнення пожежі.

2.1 Порівняльні характеристики приводів

2.1.1 Асинхронний електропривод із контактним регулятором ковзання

На сучасних шахтах та рудниках все ще поширено застосовується приводи на базі асинхронного двигуна з фазним ротором, з керуванням реостатом у колі ротора. Дана система характеризується своєю структурною простотою, низькою вартістю обладнання та встановлення. Її перевагою є простота обслуговування та короткий час на відновлення роботи при збоях.

Використання динамічного гальмування значно покращує керування асинхронним приводом, забезпечуючи плавне регулювання та додавання навантажень на машини, а також дозволяє глибоко регулювати швидкість при спуску вантажів та забезпечує стабільну низьку швидкість, що спрощує ручне керування приводом.

Проте, асинхронний привід має декілька важливих недоліків. Він не наділений властивостями з регулювання швидкості при різних навантаженнях, а його природні гальмівні характеристики також недостатні. Неможливо здійснити електричне гальмування на швидкостях нижче синхронних при нормальному режимі роботи двигуна. Низька контролюваність привода ускладнює автоматизацію підйомних систем.

При використанні асинхронного привода на потужних підйомних установках, які працюють на низьких швидкостях протягом тривалого часу, виникають значні теплові втрати в ланцюзі двигуна та велике споживання електроенергії. Крім того, асинхронний привід характеризується низьким коефіцієнтом потужності, що впливає на ефективність роботи підйомів.

Усі ці недоліки враховуючи, асинхронний двигун з фазним ротором і реостатом в колі ротора все ще широко використовується на слабозавантажених клітьових підйомах і допоміжних стовбурах.

2.1.2 Привод постійного струму

Подальше збільшення ефективності, продуктивності та безпеки експлуатації шахтних підйомних установок неможливе без вдосконалення самого обладнання та його електроприводів. Останнім часом найбільшу популярність серед електроприводів отримала система ТП-Д, завдяки простоті та економічності перетворення електроенергії змінного струму в керовану енергію постійного струму. Це сприяло розвитку цієї технології в електротехнічній промисловості, зокрема у виробництві силових трансформаторів для перетворювачів постійного струму та спеціальних двигунів постійного струму, розроблених для роботи з ТП.

Привод ТП-Д має значні переваги, включаючи високу швидкодію, можливість отримання потрібних характеристик та точність керування, що спрощує процеси управління. Висока контрольованість приводу по системі ТП-Д дозволяє легко автоматизувати рух підйомної машини. Електропривід підйомної установки на основі тиристорного перетворювача дозволяє формувати оптимальну швидкісну діаграму, яка забезпечує максимальну продуктивність за умови неперевикнення допустимого рівня динамічних навантажень на елементи підйомної установки, а також зменшує швидкість перед зупинкою, що гарантує необхідну точність зупинки підйомних посудин у встановлених точках та знижує динамічні навантаження під час зупинки механічним гальмом.

Електропривод підйомної установки на основі тиристорного перетворювача може точно дозувати момент підйомного двигуна при нульовій швидкості, що дозволяє розпочинати рух при повністю зупиненому механізмі.

Привод на основі тиристорного перетворювача підймальних систем характеризується низькою потужністю. Для підвищення коефіцієнта потужності необхідне застосування додаткового обладнання.

Тиристорний привід має недоліки щодо мережі живлення, такі як генерування вищих гармонік, що негативно впливають на інші електроприймачі. Для обмеження цих впливів потрібно виконувати певні умови при проектуванні системи електропостачання.

При виборі системи електропостачання для нових підприємств необхідно врахувати економічно обґрунтований струм короткого замикання на шинах перетворювача, а також потужність живильних трансформаторів і типи струмообмежуючих реакторів.

Рекомендується використовувати багатопульсну схему випрямлення та фільтри і регульовані пристрої для компенсації.

2.1.3 Приводи змінного струму

Основною перевагою даного електроприводу є використання менш вартісного та більш надійного асинхронного двигуна замість двигуна постійного струму. Нове покоління приводів змінного струму, побудованих на системі перетворювача частоти з ланкою постійного струму - двигун змінного струму, активно впроваджується на механізмах, що вимагають високу якість управління, таких як металургія та підйомно-транспортне обладнання.[1]

Визначаючи економічну ефективність електроприводів, одним з основних критеріїв є загальні витрати на обладнання, які включають вартість електрообладнання та будівельні витрати. Найменші витрати вимагає електропривід з реостатним управлінням, але його використання є виправданим лише на малозавантажених і допоміжних підйомах, де низька ефективність і керованість приводу не впливають на експлуатаційні витрати через відносно короткий час роботи підйому.

При виборі між безредукторним та редукторним типами електроприводів, слід враховувати додаткові витрати для безредукторного варіанту та його вагомі переваги при використанні встановлення. Це дозволяє рекомендувати безредукторний електропривід майже для всіх конструкцій підйомних установок при потужності двигуна більш ніж 1000 кВт.

Використання приводу змінного струму з перетворювачами частоти може бути доцільним в таких ситуаціях: потужність шахтної підстанції є відносно невеликою і не допускає пускових навантажень від

ТП постійного струму; привод підйомних машин знаходиться далеко від живильної і розподільної підстанцій, лінії до яких мають велику протяжність і опір, що при застосуванні системи ТП-Д викликало б недопустимі падіння і коливання напруги мережі; до живильної підстанції підключається багато приводів, які впливають на електромережу, погіршуючи гармонійний склад.

Проведемо порівняння розглянутих систем електроприводу у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння областей застосування електроприводів

Система ЕП	Потужність, кВт	Вид підйому		
		Клітьовий		Скіповий
		Допоміжний	Головний	
Асинхронний одновигунний	315-1250	+	-	-
Асинхронний двигунний	630-2500	+	-	-
ТП-Д або ПЧ- АД ред. одновигунний	315-1600	-	+	+
ТП-Д або ПЧ- АД ред. двигунний	630-3200	-	+	+
ТП-Д або ПЧ безредукторний	630-6300	-	+	+
ПЧ-СД безредукторний	більше 6300	-	+	+

Враховуючи вищезазначені вимоги, можна прийти до висновку, що для даного технологічного комплексу найбільш підходящою буде система "перетворювач частоти - асинхронний двигун". Це дозволяє перейти до створення електромеханічної системи та розрахунку її компонентів.

Така система буде відповідати сучасним тенденціям розвитку асинхронних електромеханічних систем, а також мати високі показники, такі як: рівень надійності, ступінь керованості, ресурс та відносна простота впровадження та підтримання у робочому стані.

У приводного барабану встановлений відхиляючий барабан, що веде до збільшення кута обхвату стрічки, на перегині нижньої гілки стрічки - поворотний барабан, а в місці перегину верхньої гілки роликова батарея. На верхній гілці стрічки застосовані трироликові опори з кутом нахилу бічних роликів $\alpha_{жс} = 30^\circ$.

3.2 Тяговий розрахунок конвеєра

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{K_n \cdot v \cdot \rho \cdot K_\beta}} + 0,05 \right) = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{650}{625 \cdot 2,5 \cdot 0,8 \cdot 0,9}} + 0,05 \right) = 0,891 \text{ м}$$

де K_n – коефіцієнт продуктивності

v – лінійна швидкість руху стрічки

K_β – коефіцієнт зменшення розміру вантажу на похилому конвеєрі

Ширина стрічки обирається зі стандартного ряду $B = 1000$ мм.

Тягове зусилля в попередньому розрахунку

$$W_0 = \lambda_0 \cdot L \cdot g \left((q + q_0 + q_p) \cdot \omega + (q_0 + q'_p) \omega' \right) + q \cdot g \cdot H$$

де λ_0 – узагальнений коефіцієнт місцевих опорів;

q – розподілена маса насипного вантажу:

$$q = \frac{Q}{3,6 \cdot v} = \frac{650}{3,6 \cdot 2,5} = 72,22 \text{ кг / м}$$

q_0 – розподілена маса стрічки при числі прокладок $i_n = 4$, що визначається за наступною формулою:

$$q_0 = 1,1 \cdot B \cdot (\delta_0 \cdot i + \delta_1 + \delta_2) = 1,1 \cdot 1 \cdot (1,1 \cdot 4 + 6 + 2) = 13,64 \text{ кг / м}$$

$q_p = 21 \text{ кг / м}$ – розподілена маса обертових частин роликових опор робочої гілки

$q'_p = 9,2 \text{ кг / м}$ – розподілена маса обертових частин роликів опор холостий гілки;

$\omega = 0,04$; $\omega' = 0,03$ – коефіцієнти опору робочої і холостої віток відповідно.

$$L = L_1 + L_2 = 195 + 155 = 340 \text{ м}$$

$$W_0 = 1,5 \cdot 350 \cdot 9,81 \left((72,2 + 13,64 + 21) \cdot 0,04 + (13,64 + 9,2) \cdot 0,03 \right) + 72,2 \cdot 9,81 \cdot 22 = 41,13 \text{ кН}$$

Максимальний натяг стрічки в попередньому розрахунку визначається за формулою:

$$S_{\max} = k_3 \cdot W_0 \cdot \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} = 1,3 \cdot 41130 \cdot \frac{3}{3-1} = 80204 \text{ Н}$$

де $k_3 = 1,3$ – коефіцієнт запасу зчеплення стрічки з барабаном;

$e^{\mu\alpha} = 3$ – тяговий коефіцієнт.

Число прокладок тягового каркасу в стрічці за виразом

$$i = \frac{S_{\max} \cdot C_m}{\sigma_p \cdot B} = \frac{80204 \cdot 9}{100 \cdot 1000} = 7,22$$

де $C_m = 9$ – запас міцності стрічки;

$\sigma_p = 100$ – міцність при розриві однієї прокладки, Н / мм.

Число прокладок тягового каркасу в стрічці приймаємо: $i = 8$

Діаметр приводного барабана:

$$D_n \geq K_1 \cdot K_2 \cdot i = 165 \cdot 0,85 \cdot 8 = 1122 \text{ мм}$$

де $K_1 = 160$ – коефіцієнт, що враховує міцність прокладок;

$K_2 = 0,85$ – для однобарабанного приводу.

Відповідно до нормального ряду діаметр приводного барабану приймаємо:

$$D_n = 1250 \text{ мм}$$

Натяги стрічки у характерних точках траси:

Натяг траси конвеєра у точці 1

$$S_1 = S_{36}$$

Натяг траси конвеєра у точці 2

$$S_2 = \lambda_{1-2} \cdot S_1 = 1,03 \cdot S_1$$

Натяг траси конвеєра у точці 3

$$\begin{aligned} S_3 &= S_2 + (q_0 + q'_p) \cdot g \cdot L_1 \cdot \omega = \\ &= 1,03 \cdot S_1 + (13,64 + 9,2) \cdot 9,81 \cdot 195 \cdot 0,04 = 1,03 \cdot S_1 + 1747,67 \text{ Н} \end{aligned}$$

Натяг траси конвеєра у точці 4

$$S_4 = \lambda_{3-4} \cdot S_3 = 1,03 \cdot (1,03 \cdot S_1 + 1747,67) = 1,06 \cdot S_1 + 1800,1 \text{ Н}$$

Натяг траси конвеєра у точці 5

$$\begin{aligned} S_5 &= S_4 + (q_0 + q'_p) \cdot g \cdot L_2 \cdot \omega - q_0 \cdot g \cdot H = \\ &= 1,06 \cdot S_1 + 245,5 \text{ Н} \end{aligned}$$

Натяг траси конвеєра у точці 6

$$S_6 = \lambda_{5-6} \cdot S_5 = 1,03 \cdot (1,06 \cdot S_1 + 245,5) = 1,093 \cdot S_1 + 252,9 \text{ Н}$$

Натяг траси конвеєра у точці 7

$$S_7 = S_6 + (q_0 + q'_p) \cdot g \cdot L_3 \cdot \omega = 1,093 \cdot S_1 + 387,3 H$$

Натяг траси конвеєра у точці 8

$$S_8 = S_7 + W_3 = 1,093 \cdot S_1 + 919,9 H$$

де W_3 – опір в пункті загрузки

$$\begin{aligned} W_3 &= \frac{Q \cdot f_c \cdot (v - v_1)}{3,6 \cdot (f_c - \operatorname{tg} \beta - k_n f_{\sigma})} = \\ &= \frac{650 \cdot 0,63 \cdot (2,5 - 0,8)}{3,6 \cdot (0,63 - 0,142 - 0,3 \cdot 0,5)} = 572 H \end{aligned}$$

де $v_1 = 0,8 \text{ м/с}$ – швидкість вантажу в напрямку транспортування;

$k_n = 0,3$ – коефіцієнт бокового тиску вантажу на направляючі борту;

$f_c = 0,63, f_{\sigma} = 0,5$ – коефіцієнт тертя вантажу об стрічку та борти навантажувального лотка.

Натяг траси конвеєра у точці 9

$$\begin{aligned} S_9 &= S_8 + (q_0 + q'_p + q) \cdot g \cdot L_4 \cdot \omega - (q_0 + q) \cdot g \cdot (H - H_1) = \\ &= 1,093 \cdot S_1 + 24854 H \end{aligned}$$

Натяг траси конвеєра у точці 10

$$S_{10} = \lambda_{9-10} \cdot S_9 = 1,126 \cdot S_1 + 25600 H$$

Натяг траси конвеєра у точці 11

$$\begin{aligned} S_{11} &= S_{10} + (q_0 + q_p + q) \cdot g \cdot L_5 \cdot \omega = \\ &= 1,126 \cdot S_1 + 33357,6 \text{ H} \end{aligned}$$

Натяг траси конвеєра у точці 12

$$S_{12} = (S_{11} + q + g + h_t) \cdot \lambda_o^2 = 1,194 \cdot S_1 + 36666,8 \text{ H}$$

Натяг траси конвеєра у точці 13

$$S_{13} = S_{12} + (q_0 + q_p + q) \cdot g \cdot L_6 \cdot \omega = 1,194 \cdot S_1 + 37421,6$$

Позначимо $A_s = 1,194, B_s = 37421,6 \text{ H}$

$$S_{наб} = 1,194 \cdot S_{зб} + 37421,6 \text{ H}$$

З умови непрослизання стрічки на барабані

$$S_{зб} = \frac{K_{зч} \cdot B_s}{e^{\mu\alpha} - K_{зч} \cdot A_s} = \frac{1,3 \cdot 37421,6}{3 - 1,3 \cdot 1,194} = 33,6 \text{ кН}$$

$$S_{наб} = S_{зб} \cdot \frac{e^{\mu\alpha}}{K_{зч}} = 33603 \cdot \frac{3}{1,3} = 77545 \text{ H}$$

Вирахуємо натяг стрічки у всіх розглянутих точках:

$$S_{зб} = 33603 \text{ H}$$

$$S_2 = 34611 \text{ H}$$

$$S_3 = 36359 \text{ H}$$

$$S_4 = 37450 H$$

$$S_5 = 35895 H$$

$$S_6 = 36972 H$$

$$S_7 = 37106 H$$

$$S_8 = 37678 H$$

$$S_9 = 61573 H$$

$$S_{10} = 63420 H$$

$$S_{11} = 71178 H$$

$$S_{12} = 76790 H$$

$$S_{13} = 77575 H$$

Побудуємо діаграму натягу стрічки конвеєра (рис. 3.2).

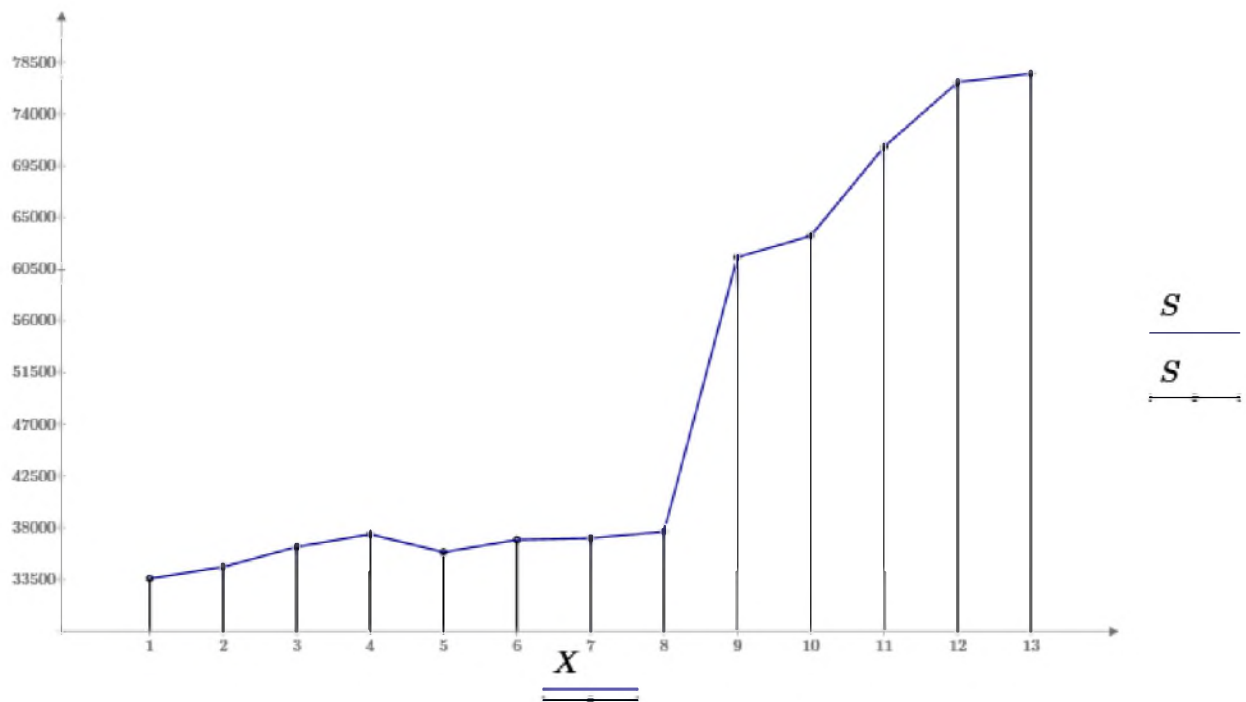


Рисунок 3.2 – Діаграма натягу стрічки конвеєра

Мінімальний натяг стрічки виходячи з умов забезпечення допустимої стріли провисання стрічки на навантаженій лінії визначимо за формулою:

$$S_{\min}^{zp} \geq K_1 \cdot (q_0 + q) \cdot g \cdot l_p \cdot \cos \beta = 9 \cdot (13.64 + 72.22) \cdot 9.81 \cdot 1.3 \cdot 0.99 = 9757 \text{ Н}$$

де $K_1 = 9$ для довжини конвеєра більше 100м.

Найменший натяг стрічки на всій довжині стрічки більше мінімально необхідної величини.

Фактичний запас міцності стрічки:

$$C_m = \frac{B \cdot i \cdot \sigma_p}{S_{наб}} = \frac{1 \cdot 8 \cdot 100}{77545} \cdot 10^3 = 10,3 > C_m = 9$$

Фактичний запас міцності стрічки перевищує значення мінімального запасу, стрічка підібрана вірно.

3.3 Вибір двигуна

Тягове зусилля на приводному барабані:

$$F_0 = S_{наб} - S_{зб} = 77545 - 33603 = 43942 \text{ Н}$$

Потужність двигуна для приводу конвеєра:

$$P_{дв} = \frac{K_z \cdot F_0 \cdot v}{\eta_0} = \frac{1.1 \cdot 43942 \cdot 2.5}{0.92} = 131.35 \text{ кВт}$$

де $K_z = 1,1$ – коефіцієнт запасу потужності; $\eta_0 = 0,92$ – ККД приводу з урахуванням втрат на приводному барабані.

Виберемо двигун 4А315М6У3 (рис. 3.3) з частотою обертання $n_{\partial\partial} = 983 \text{ об / хв}$, потужністю $P_{\partial\partial} = 132 \text{ кВт}$, моментом інерції $J_{\partial\partial} = 4,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.



Рисунок 3.3 –Загальний вигляд двигуна 4А315М6У3

Кутова швидкість обертання валу електродвигуна:

$$\omega_{\partial\partial} = \frac{\pi n_{\partial\partial}}{30} = \frac{3,14 \cdot 983}{30} = 102,9 \text{ рад / с}$$

Крутний момент двигуна:

$$M_{\partial\partial} = \frac{P_{\partial\partial}}{\omega_{\partial\partial}} = \frac{132000}{102,9} = 1282,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент двигуна

$$M_{\partial 6, n} = 1,4 \cdot M_{\partial 6} = 1,4 \cdot 1282,3 = 1795,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для з'єднання валів двигуна і редуктора виберемо муфту МУВП-2000, здатну передавати крутний момент в 2000 Н·м і має момент інерції $J_m = 4,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Частота обертання валу приводного барабана

$$n_{\phi} = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_n} = \frac{60 \cdot 2,5}{3,14 \cdot 1,25} = 38,2 \text{ об / хв}$$

Необхідне передавальне число відносно приводу знайдемо за наступною формулою:

$$u_0 = \frac{n_{\partial 6}}{n_{\phi}} = \frac{983}{38,2} = 25,74$$

Відштовхуючись від необхідного передатного відношення та потужності приводу виберемо редуктор Ц2-500-25 з передатним відношенням $u = 25$

Фактична швидкість стрічки:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_n \cdot n_{\partial 6}}{60 \cdot u_{\phi}} = \frac{3,14 \cdot 1,25 \cdot 983}{60 \cdot 25} = 2,57 \text{ м / с}$$

Визначимо фактичну продуктивність конвеєра:

$$\begin{aligned} Q_{\phi} &= K_n \cdot K_{\beta} \cdot (0,9 \cdot B - 0,05)^2 \cdot v_{\phi} \cdot \rho = \\ &= 625 \cdot 0,9 \cdot (0,9 \cdot 1 - 0,05)^2 \cdot 2,57 \cdot 0,8 = 836,7 \text{ т / год} \end{aligned}$$

Статичний опір при пуску:

$$F_{cm.n} = k_{n.c.} \cdot (W_0 - q \cdot g \cdot H) + q \cdot g \cdot H =$$

$$= 1.2 \cdot (41130 - 72.2 \cdot 9.81 \cdot 22) + 41130 \cdot 9.81 \cdot 22 = 46239.4 \text{ Н}$$

де $k_{n.c.} = 1,2$ – коефіцієнт збільшення сили опору при пуску.

Статичний момент при пуску:

$$M_{cm.n.} = \frac{W_{cm.n.} \cdot D_n}{2 \cdot u_\phi \cdot \eta_0} = \frac{46239 \cdot 1.25}{2 \cdot 25 \cdot 0.92} = 1256.5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Час пуску за формулою

$$t_n = \frac{J_0 \cdot \omega_{\partial\phi}}{(M_{\partial\phi.n} - M_{cm.n}) \cdot k_{np}} = \frac{31,65 \cdot 102,9}{(1795,23 - 1256,5) \cdot 0,7} = 8,64 \text{ с}$$

де $k_{np} = 0,7$ – коефіцієнт для врахування пружного подовження гумовотканинної стрічки при пуску;

J_0 – приведений момент інерції поступально й обертово-рухомих частин вантажу, конвеєра і приводу:

$$J_0 = \frac{(2 \cdot q_0 + q) \cdot (1 + K_i) \cdot D_n^2 \cdot L}{4 \cdot u_\phi^2 \cdot \eta_0} + (1 + \psi)(J_p + J_m) =$$

$$= \frac{(2 \cdot 13,64 + 72.2) \cdot (1 + 0,08) \cdot 1,25^2 \cdot 350}{4 \cdot 25^2 \cdot 0,92} = 36,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де $K_i = 0,08$ – коефіцієнт для врахування інерції обертових мас роликів і барабанів конвеєра;

$\psi = 0,15$ – коефіцієнт для врахування маси деталей приводу, що обертаються повільніше за вал двигуна.

Мінімально допустимий час пуску конвеєра:

$$t_{\min} = \frac{v}{J_{\text{доп}}} = \frac{2,573}{0,2} = 12,87 \text{ с}$$

де $J = 0,2$ – допустиме прискорення пуску.

Для приведення конвеєра в рух необхідно застосувати відповідні електронні схеми або муфти ковзання, відрегульованих на необхідний пусковий момент.

Значення гальмівного моменту на валу двигуна, що перешкоджає зворотному руху стрічки під дією сил ваги вантажу при виключенні струму:

$$\begin{aligned} M_z &= \left(q \cdot g \cdot H - c_0 (W_0 - q \cdot g \cdot H) \right) \cdot \frac{D_n}{2 \cdot u_\phi} \cdot \eta_0 = \\ &= \left(72,2 \cdot 9,81 \cdot 22 - 0,5 (41130 - 72,2 \cdot 9,81 \cdot 22) \right) \cdot \frac{1,25}{2 \cdot 25} \cdot 0,92 = 64,75 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Визначимо гальмівний момент на валу двигуна, що обмежить вибіг стрічки конвеєра після виключення електродвигуна:

$$\begin{aligned} t_z &= \frac{2 \cdot l_{\text{виб}}}{v} = \frac{2 \cdot 4}{2,573} = 3,11 \text{ с} \\ M_z &= \frac{(2 \cdot q_0 + q) (1 + K_i) \cdot L \cdot D_n^2 \cdot \eta_0 \cdot \omega_{\text{доп}}}{4 \cdot u_\phi^2 \cdot t_z} - \left(q \cdot g \cdot H - c_0 \cdot (W_0 - q \cdot g \cdot H) \right) \cdot \frac{D_n}{2 \cdot u_\phi} \cdot \eta_0 = \\ &= 651 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Тобто вибігу стрічки після відключення електродвигуна не буде. Тормоз потрібен лише для запобігання зворотного руху стрічки з вантажем.

3.4 Вибір перетворювача частоти

Параметри двигуна для вибору перетворювача частоти зведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри двигуна 4A315M6УЗ для вибору перетворювача частоти

Номінальна потужність	$P_{2n} = 132 \text{ кВт}$
Номінальна напруга статора	$U_n = 380 \text{ В}$
Номінальний струм	$I_n = 238,3 \text{ А}$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 93.5\%$
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi = 0.9$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2.2$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ Гц}$

Амплітудний номінальний струм двигуна:

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 238,3 = 336,6 \text{ А}$$

Прийmemo перевантажувальну здатність приводу за струмом $K_{nep} = 1.5$, знайдемо максимальний струм на виході перетворювача.

$$I_{max} = K_{nep} \cdot I_{na} = 1,5 \cdot 336,6 = 504,9 \text{ А}$$

За цими даними обираємо перетворювач частоти Altivar ATV71HC16N4 160кВт, 380 В. Паспортні дані приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри перетворювача Altivar ATV71HC16N4 160 кВт

Параметр	Значення
Струм, А	314
Потужність, кВт	160
Панель управління	В комплекті
Захист, клас	IP20
Тип управління	вектор
Фазність	3 фаз-380 В
Вхідна фазність	3-ф/380
Вихідна фазність	3-ф/380
Вихідна частота, Гц	1000
Робоча температура, °С	від 0 до 50
Серія	ATV71
Гарантія, міс	12

Модель частотного перетворювача Schneider Electric Altivar 71 160 кВт 3-ф (рис. 3.4) високої продуктивності, була розроблена для контролю та оптимізації роботи трьохфазних двигунів, що є частиною складного промислового обладнання, орієнтованого на досягнення високих стандартів продуктивності.

Цей пристрій забезпечує плавний запуск двигуна, а також гарантує його стабільну роботу, контролюючи продуктивність всієї системи. Частотний перетворювач Schneider Electric Altivar 71 відповідає найвищим європейським стандартам і має довготривалу гарантію якості. Його особливості включають компактний дизайн, надійність роботи, простоту в управлінні та високу ефективність.

Цей частотний перетворювач є відмінним вибором для виконання складних технічних операцій, навіть коли потрібно виконати дуже точну роботу при низьких оборотах двигуна.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд перетворювача

Область використання цієї моделі включає складне промислове обладнання, що має складний процес запуску:

- промислове верстатне обладнання;
- високопродуктивні конвеєрні системи;
- механізми для подачі та підйому вантажів;
- великі верстати для обробки металу, дерева, каменю тощо.

Незважаючи на невелику потужність, модель оснащена високоякісним механізмом, який здатний працювати в складних умовах.

Основні особливості цієї моделі включають:

- комплексний захист від коротких замикань і напругових стрибків;
- можливість роботи при відключенні від електромережі і точне керування при повільних оборотах двигуна;
- регулювання швидкості за допомогою зручного ручного контролера на корпусі моделі;
- підключення двигунів через скалярний стандарт паралельного з'єднання;

- захист від перевантажень і перегріву з аварійним відключенням та можливістю повторного запуску;
- контроль споживання електроенергії за допомогою вбудованого лічильника;
- аудіо–попередження про можливі або вже виниклі несправності;
- можливість проведення профілактичних робіт для очищення операційної системи і зниження енерговитрат;
- скалярне, векторне та квадратичне управління двигуном;
- підтримка 8 мов в інтерфейсі системи;
- плавне регулювання запуску та гальмування двигуна;
- підтримка таких функцій як CANopen Daisy Chain, DeviceNet, Profibus DP;
- експлуатація спеціального інтерфейсу і Modbus–Bluetooth мережі;
- можливість програмування системи для виконання встановлених норм вашого промислового обладнання;
- підтримка додаткових ЕМС фільтрів;
- виготовлення згідно з європейськими стандартами UL, CSA, C–Tick, NOM.

4 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СКАЛЯРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЄРА

4.1 Функціональна схема керування асинхронним електродвигуном

На рис.4.1. наведена функціональна схема електропривода за системою перетворювач частоти - асинхронний двигун з автономним інвертором струму (ПЧ-АД). Система керування електроприводом виконана двоконтурною з Ш-регуляторами швидкості РШ і струму РС. Сигнал зворотного зв'язку за струмом надходить з давача випрямленого струму ДС у ланці постійного струму. Регулятор швидкості забезпечує завдання на струм і одночасно формує сигнал завдання на СІФК інвертора AV2. На вхід СІФК інвертора подається сигнал зворотного зв'язку за швидкістю з давача швидкості ДШ.

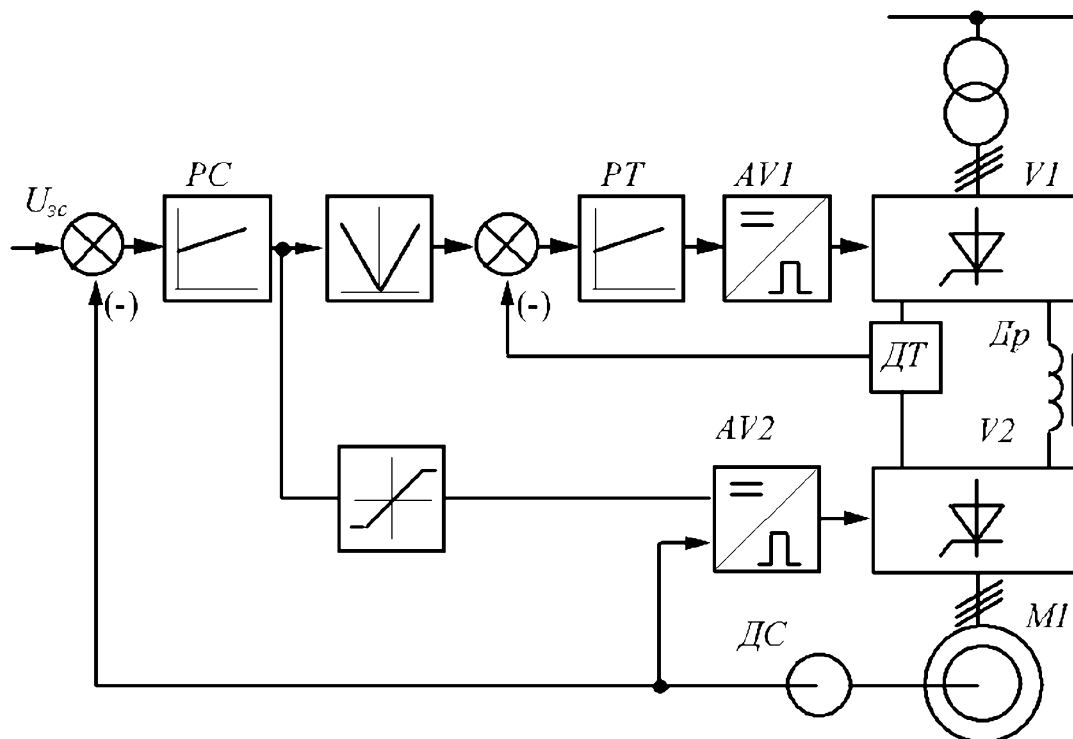


Рисунок 4.1 – Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу

На робочій ділянці характеристики частотного електропривода практично лінійні, через це можливе представлення системи ПЧ-АД як модель машини постійного струму. Структурна схема системи наведена на рис.4.2.

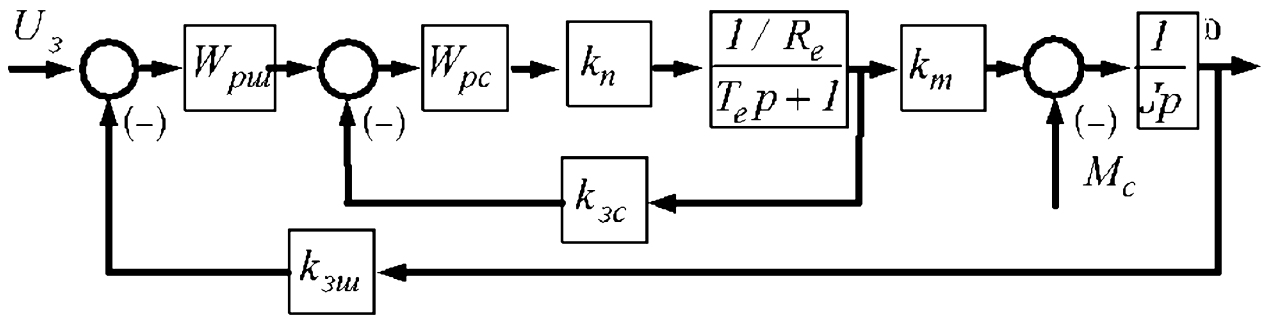


Рисунок 4.2 – Структурна схема електропривода за системою ПЧ-АД

4.2 Система автономний інвертор напруги-асинхронний двигун

Для дослідження статичних та динамічних режимів системи ПЧ-АД з урахуванням їх взаємного впливу необхідно скласти математичний опис цієї системи. Використання для запису рівнянь осей u , v з урахуванням несинусоїдальної форми напруги призводить до надмірно складної математичної моделі. Відповідно, для дослідження вказаної системи доцільно використовувати метод огибаючих (метод першої гармоніки), запропонований А.А.Булгаковим та розвинутий у працях С.О.Кривицького та І.І.Ешптейна. Цей метод передбачає запис рівнянь в системі ортогональних осей x , y , що обертаються синхронно з швидкістю результуючого вектора напруги (струму) статора. Запропонований метод придатний в обмеженій області частот для автономного інвертора напруги (АІН) та автономного інвертора струму (АІС), приблизно для $\alpha > 0.05$. коли пульсаціями швидкості, що обумовлені неси ну соціальністю напруги, можна знехтувати.[3]

Рівняння асинхронного двигуна в синхронній системі координат x , y , 0 мають вигляд системи (4.1).

$$\begin{aligned}
\frac{d\psi_{x1}}{dt} &= u_{x1} - \alpha'_s \psi_{x1} + \alpha'_s k_r \psi_{x2} + \omega_0 \psi_{y1}; \\
\frac{d\psi_{y1}}{dt} &= u_{y1} - \alpha'_s \psi_{y1} + \alpha'_s k_r \psi_{y2} + \omega_0 \psi_{x1}; \\
\frac{d\psi_{x2}}{dt} &= -\alpha'_r \psi_{x2} + \alpha'_r k_s \psi_{x1} + (\omega_0 - \omega) \psi_{x2}; \\
\frac{d\psi_{y2}}{dt} &= -\alpha'_r \psi_{y2} + \alpha'_r k_s \psi_{y1} + (\omega_0 - \omega) \psi_{y2}; \\
M &= \frac{3}{2} p \frac{k_r}{\sigma L_s} (\psi_{x2} \psi_{y1} - \psi_{x1} \psi_{y2}); \\
M - M_c(\omega) &= \frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt},
\end{aligned} \tag{4.1}$$

де ω_0 – кутова частота напруги статора двигуна;

$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_s L_r}$ – повний коефіцієнт розсіювання;

$k_s = \frac{L_\mu}{L_s}$, $k_r = \frac{L_\mu}{L_r}$ – коефіцієнти електромагнітного зв'язку статора і ротора;

$\alpha'_s = \frac{1}{\sigma T_s}$, $\alpha'_r = \frac{1}{\sigma T_r}$ – зворотні величини перехідних сталих часу (коефіцієнти загасання).

Напруга по осям визначається наступними рівняннями для випадку синусоїдальної напруги на статорі двигуна:

$$\begin{aligned}
u_{x1} &= U_m \cos((\omega_0 - \omega_k)t + \varphi_k); \\
u_{y1} &= U_m \sin((\omega_0 - \omega_k)t + \varphi_k),
\end{aligned} \tag{4.2}$$

де U_m – амплітуда першої гармоніки фазної напруги на статорі; ω_k – кутова швидкість координатної системи; φ_k – початкова фаза напруги фази "А" статора.

У випадку синхронних осей $\omega_0 = \omega_k$, та при $\varphi_k = 0$ отримаємо:

$$\begin{aligned} u_{x1} &= U_m; \\ u_{y1} &= 0. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Складові струмів по осям x, y при заміні індексів на u, v визначаються рівняннями:

$$\begin{aligned} i_{u1} &= \frac{1}{\sigma L_s} (\psi_{u1} - k_r \psi_{u2}); \\ i_{v1} &= \frac{1}{\sigma L_s} (\psi_{v1} - k_r \psi_{v2}); \\ i_{u2} &= \frac{1}{\sigma L_r} (\psi_{u2} - k_r \psi_{u1}); \\ i_{v2} &= \frac{1}{\sigma L_r} (\psi_{v2} - k_r \psi_{v1}). \end{aligned} \quad (4.4)$$

При складанні рівнянь перетворювача з автономним інвертором напруги (АІН) є припустимим згідно з методом першої гармоніки наступне: вихідна напруга синусоїдальна з амплітудою, що дорівнює амплітуді першої гармоніки несинусоїдальної напруги; інвертор є безінерційною ланкою з коефіцієнтом передачі k_u ; втрати потужності в інверторі постають у вигляді втрат на деякому еквівалентному опорі R_n , який включено на вихід фільтра-випрямляча; випрямляч має вигляд джерела ЕРС E_n , яка дорівнює середньому значенню його випрямленої ЕРС, вентильні властивості випрямляча відображені вмиканням одного вентиля В послідовно з дроселем фільтра. Еквівалентна схема силового ланцюга перетворювача частоти з АІН наведена на рис.4.3.

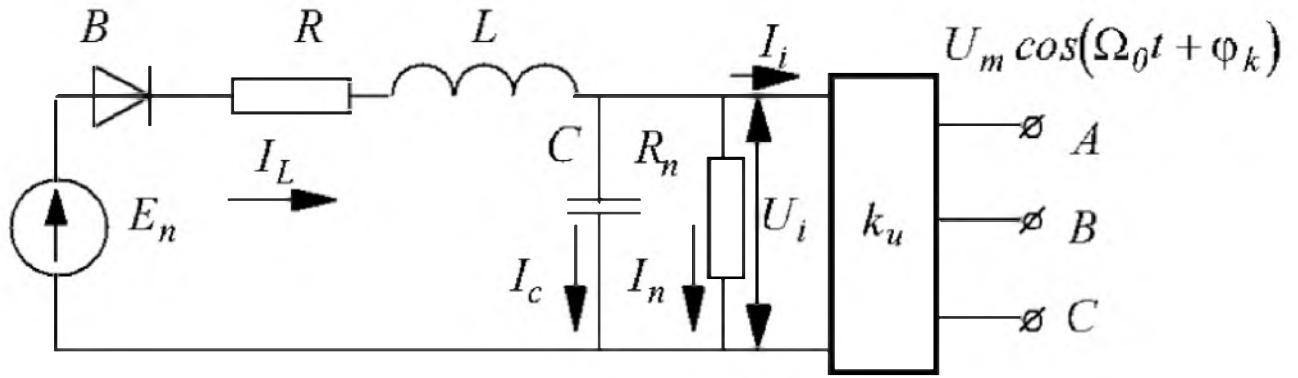


Рисунок 4.3 – Еквівалентна схема силового кола перетворювача частоти з АПН

Для кіл випрямляча та фільтра при відкритому стані вентиля В матимемо рівняння

$$\begin{aligned} \frac{dU_m}{dt} &= \frac{1}{k_u C} \left(I_L - I_i - \frac{1}{k_u k_n} U_m \right); \\ \frac{dI_L}{dt} &= \frac{1}{L} \left(E_n - I_L R - \frac{1}{k_u} U_m \right), \end{aligned} \quad (4.5)$$

де $k_u = \frac{U_m}{U_i}$ – коефіцієнт передачі інвертора (по амплітуді першої гармоніки напруги на виході);

U_i, I_L, I_i – миттєві значення огибаючої (за діючим або середнім значенням) напруги та струмів елементів випрямляча.[6]

Для закритого стану вентиля В слід брати струм $I_L = 0$ в рівнянні для $\frac{dU_m}{dt}$ і вилучити друге рівняння. Для зв'язку рівнянь АД з рівняннями перетворювача необхідно додатково встановити співвідношення між струмом I_i і складовими струму статора по осям x, y. Для цього використаємо рівняння балансу миттєвих потужностей

$$U_i I_i = \frac{3}{2} (u_{x1} i_{x1} + u_{y1} i_{y1}). \quad (4.6)$$

Підставляючи в формулу (4.6) вирази для змінних двигуна, отримаємо:

$$I_i = \frac{3}{2} k_u i_{x1} = \frac{3}{2} k_u \frac{1}{\sigma L_s} (\psi_{x1} - k_r \psi_{x2}). \quad (4.7)$$

Таким чином, виявляється, що параметри випрямляча входять тільки до рівняння фази х еквівалентного двофазного двигуна.

Остаточно можна зробити висновок, що отримані рівняння є математичною моделлю АІН-АД і дозволяють проводити моделювання динамічних режимів.

4.3 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

Для обчислення необхідних величин та параметрів обраного двигуна скористаємось даними взятими із довідника[4] (табл. 4.1, 4.2)

Таблиця 4.1 – Паспортні дані асинхронного двигуна серії 4А315М6УЗ

Номінальна потужність	132 кВт
Номінальна лінійна напруга	U _н =380 В
Число пар полюсів	3
Момент інерції	4,5 кг·м ²
Номінальний ККД	93,5%
Коефіцієнт потужності	0.9
Перевантажувальна здатність	2.2
Кратність пускового струму	7
Номінальне ковзання	0.017
Критичнековзання	0.082
Номінальна частота напруги	50 Гц

Таблиця 4.2 – Параметри Г-подібної схеми заміщення

Активний опір статора	0,023
Індуктивний опір розсіювання статора	0,099
Приведений активний опір ротора	0,018
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	0,12
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	3,6

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0c} = 2\pi f_n = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад / с}$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0c}}{p} = \frac{314}{3} = 104,7 \text{ рад / с}$$

Номінальна швидкість ротора:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - s_n) = 104,7 \cdot (1 - 0,017) = 102,94 \text{ рад / с}$$

Номінальний момент на валу двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{132000}{102,94} = 1282 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критичний момент двигуна

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2,2 \cdot 1282 = 2821 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номінальна фазна напруга статора

$$U_{\phi} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Номінальне значення фазного струму статора

$$I_{\phi} = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{132000}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,935} = 238,33 \text{ А}$$

Амплітудне значення фазної напруги статора

$$U_{\phi a} = \sqrt{2} \cdot U_{\phi} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ В}$$

Амплітудне значення фазного струму статора

$$I_{\phi a} = \sqrt{2} \cdot I_{\phi} = \sqrt{2} \cdot 238,33 = 337,05 \text{ А}$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{\phi a}}{\omega_{0c}} = \frac{311}{314} = 0,99 \text{ Вб}$$

Перерахунок параметрів з Г-подібної (рис. 4.4) схеми заміщення на Т-подібну (рис. 4.5)

Для перерахунку параметрів з Г-подібної схеми заміщення в Т-подібну використовується наступна методика :

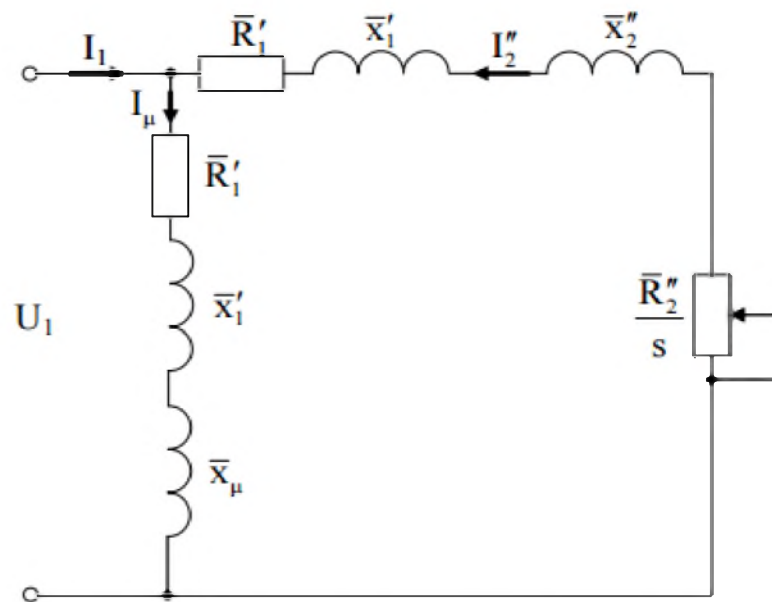


Рисунок 4.4 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

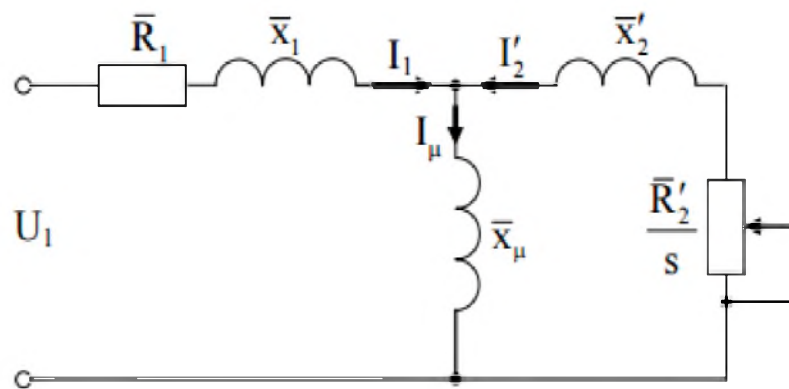


Рисунок 4.5 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Коефіцієнт приведення між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення

$$c_1 = \frac{x_\mu + \sqrt{x_\mu^2 + 4 \cdot x_1 \cdot x_\mu}}{2 \cdot x_\mu} = \frac{3.6 + \sqrt{3.6^2 + 4 \cdot 0.099 \cdot 3.6}}{2 \cdot 3.6} = 1.026$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$R_1' = \frac{r_1'}{c_1} = \frac{0.023}{1.026} = 0.022$$

$$X_1' = \frac{x_1'}{c_1} = \frac{0.099}{1.026} = 0.097$$

$$R_2'' = \frac{r_2''}{c_1^2} = \frac{0.018}{1.026^2} = 0.017$$

$$X_2'' = \frac{x_2''}{c_1^2} = \frac{0.12}{1.026^2} = 0.114$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

Активний опір статора:

$$R_1 = R_1' \cdot \frac{U_\phi}{I_\phi} = 0.022 \cdot \frac{220}{238.3} = 0.021 \text{ Ом}$$

Активний опір ротора, приведений до статора:

$$R_2' = R_2'' \cdot \frac{U_\phi}{I_\phi} = 0.017 \cdot \frac{220}{238.3} = 0.016 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір статора:

$$X_1 = X_1' \cdot \frac{U_\phi}{I_\phi} = 0.097 \cdot \frac{220}{238.3} = 0.089 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір ротора, приведений до статора:

$$X_2' = X_2'' \cdot \frac{U_\phi}{I_\phi} = 0.114 \cdot \frac{220}{238.3} = 0.105 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір розсіювання:

$$X_m = x_\mu \cdot \frac{U_\phi}{I_\phi} = 3.6 \cdot \frac{220}{238,3} = 3,314 \text{ Ом}$$

Індуктивність намагнічуючого контуру

$$L_m = \frac{X_m}{\omega_{0c}} = \frac{3.314}{314} = 0.011 \text{ Гн}$$

Індуктивність розсіювання статора

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{\omega_{0c}} = \frac{0.089}{314} = 0.000283 \text{ Гн}$$

Індуктивність розсіювання ротора

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_2}{\omega_{0c}} = \frac{0.105}{314} = 0.000334 \text{ Гн}$$

Індуктивність статора

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.011 + 0.000283 = 0.0113 \text{ Гн}$$

Індуктивність ротора

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.011 + 0.000334 = 0.0113 \text{ Гн}$$

Сумарний момент інерції

$$J = J_{\partial\phi} + J_0 = 4.5 + 36.25 = 40,747 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Струм відсічки від'ємного зворотного зв'язку за струмом

$$I_{\max} = \frac{M_{\kappa}}{K_m} = \frac{2821}{4.4} = 642.16 \text{ A}$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму

$$K_t = \frac{U_{\text{з.с.}}}{I_{\max}} = \frac{10}{642.16} = 16 \cdot 10^{-3}$$

Еквівалентний активний опір двигуна

$$\begin{aligned} R_e &= 2(R_1 + R'_2) + \frac{3}{\pi}(X_1 + X'_2) = \\ &= 2 \cdot (0.021 + 0.016) + \frac{3}{3.14} \cdot (0.089 + 0.105) = 0.257 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Еквівалентний індуктивний опір двигуна

$$L_e = 2(L_1 + L_2) = 2(0.011 + 0.011) = 0.043 \text{ Ом}$$

Стала часу двигуна

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0.043}{0.257} = 0.169 \text{ с}$$

Постійна часу напіпровідникового перетворювача

$$T_{\mu} = 0.01 \text{ с}$$

Коефіцієнт передачі напіпровідникового перетворювача

$$K_{ПЧ} = \frac{U_n}{U_{y\max}} = \frac{380}{10} = 38$$

4.4 Синтез регуляторів

Приймаємо коефіцієнти $a_c = 2$, $a_t = 2$, $b_c = 2$ для налаштування регуляторів на модульний оптимум.

Розрахунок ПІ- регулятора струму

$$W_{PC}(p) = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p} = \frac{T_e p + 1}{a_t T_e K_{ПЧ} \frac{K_t}{R_e} p} = \frac{0.169 p + 1}{2 \cdot 0.169 \cdot 38 \cdot \frac{0.016}{0.257}} = \frac{0.169 p + 1}{0.775 p}$$

Розрахунок П- регулятора швидкості:

$$K_{\omega} = \frac{U_{\omega \max}}{\omega_{xx}} = \frac{10}{104,72} = 0,0955$$

$$W_{PII}(p) = K_{pi} = \frac{K_t \cdot J_{\Sigma}}{a_c a_t T_{\mu} K_m K_c} = \frac{0.016 \cdot 40.75}{2 \cdot 2 \cdot 0.01 \cdot 4.39 \cdot 0,0955} = 37.8$$

Розрахунок ПІ- регулятора швидкості

$$W_{PII}(p) = \frac{T_3 p + 1}{T_4 p} = \frac{a_c a_t b_c T_m p + 1}{\frac{a_c a_t b_c T_m}{K_{pi}} p} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.01 \cdot p + 1}{\frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.01}{37.8} p} = \frac{0,08 p + 1}{0,002 p}$$

4.5 Моделювання скалярної системи керування електроприводом конвеєра в Simulink Matlab

Спираючись на розраховані параметри складових електропривода та синтезовані регулятори струму та швидкості, скориставшись бібліотекою Simulink Matlab проведемо дослідження відпрацювання розробленою електромеханічною тахограми руху конвеєрної стрічки. На рисунку 4.6 представлена модель скалярної електромеханічної системи ПЧ-АД з ПІ-регулятором швидкості. Провівши моделювання були отримані графіки відпрацювання моменту та швидкості (рис. 4.7).

На рисунку 4.8 представлена модель скалярної електромеханічної системи ПЧ-АД з ПІ-регулятором швидкості. Провівши моделювання були отримані графіки відпрацювання моменту та швидкості двигуна (рис. 4.9).

Провівши порівняння отриманих осцилограм можна дійти висновку, що у випадку застосування ПІ-регулятора момент двигуна має деяке перерегулювання, що обумовлене наявністю інтегрувальної складової в регуляторі швидкості.

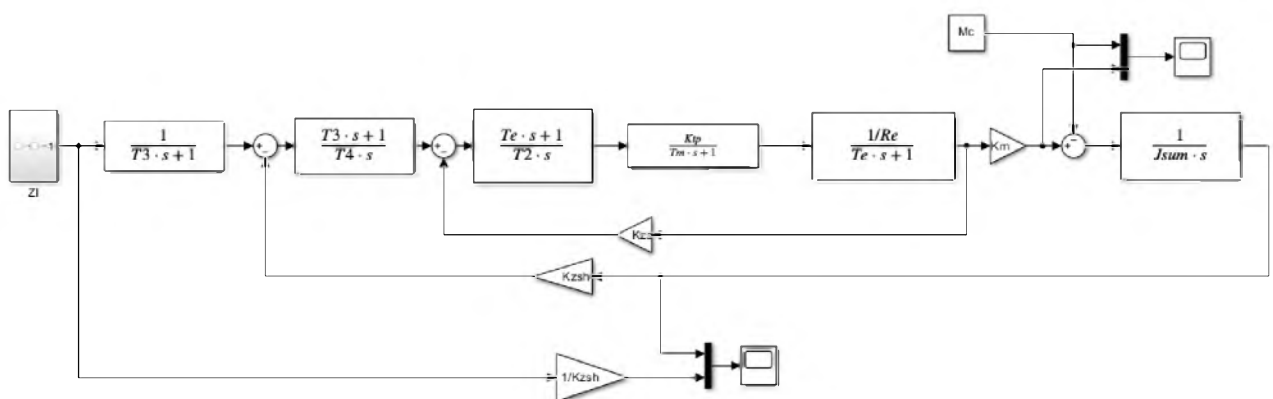


Рисунок 4.6 – Модель скалярної електромеханічної системи ПЧ-АД з ПІ-регулятором швидкості

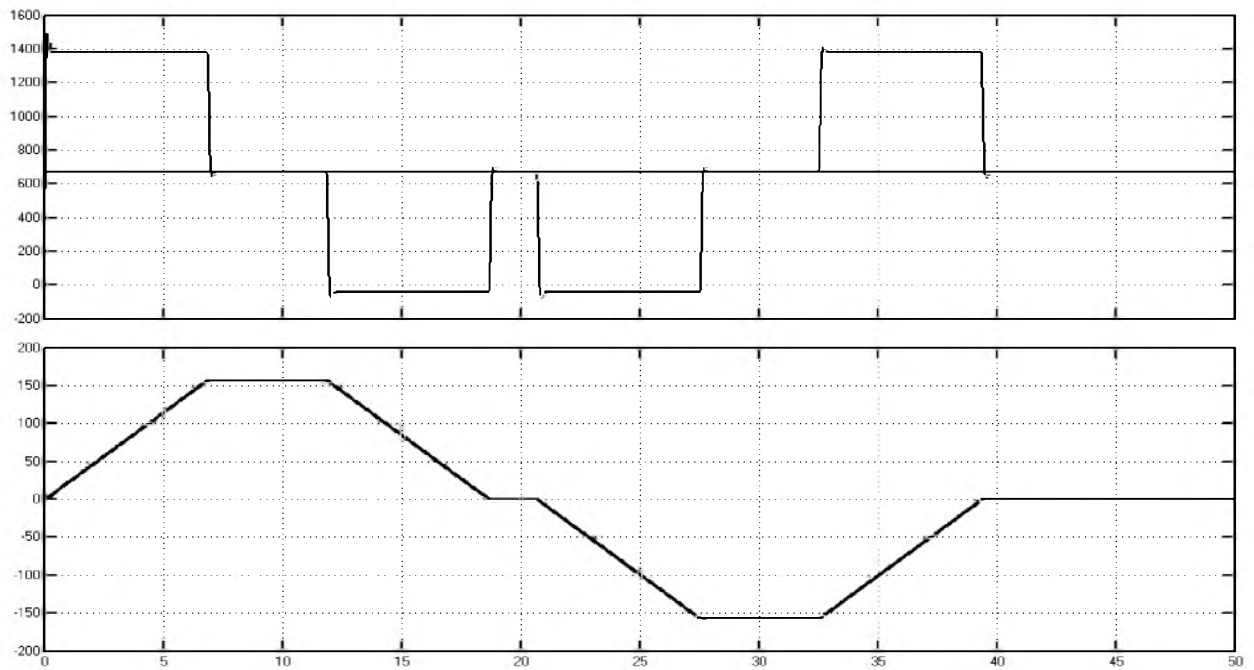


Рисунок 4.7 – Графіки відпрацювання моменту та швидкості двигуна з ПІ-регулятором швидкості

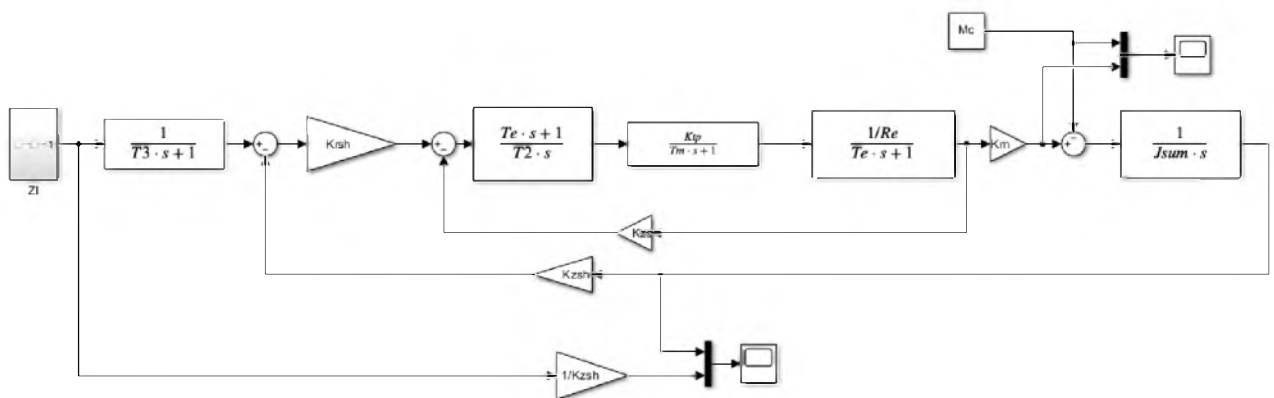


Рисунок 4.8 – Модель скалярної електромеханічної системи ПЧ-АД з ПІ-регулятором швидкості

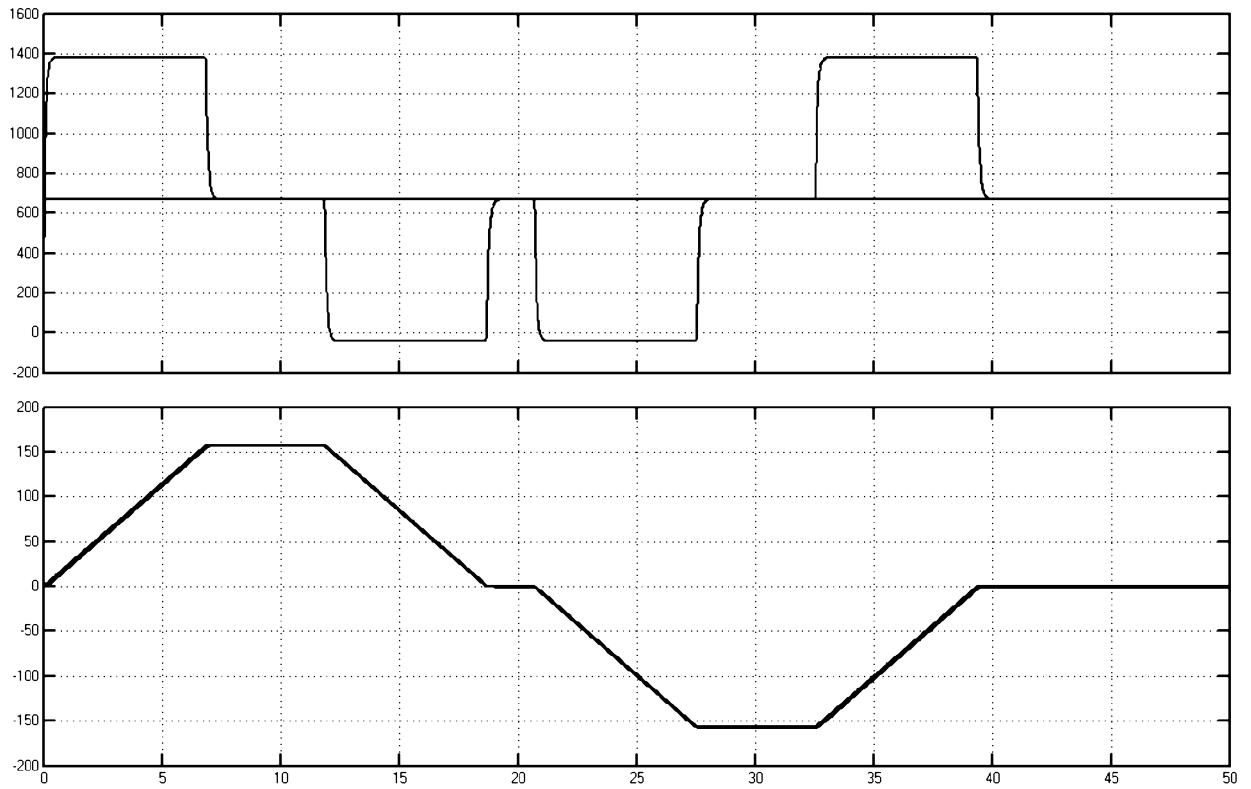


Рисунок 4.9 – Графіки відпрацювання моменту та швидкості двигуна з П-регулятором швидкості

ВИСНОВКИ

У даній випускній кваліфікаційній роботі був проведений теоретичний огляд конвеєрних установок, розглянуто питання класифікації конвеєрів, їх конструкція, особливості функціонування та принципу роботи.

Для порівняння та перевірки різних типів електроприводів конвеєрних установок було вивчено питання поширеності застосування різних типів приводних схем, складено порівняльну таблицю, обрано для розрахунку та розробки електромеханічну система типу «перетворювач частоти-асинхронний двигун».

За вихідними даними обчислена ширина стрічки конвеєра – 1000 мм, діаметр барабана. За схемою для похило-горизонтального конвеєра розраховані значення натягів стрічки в характерних точках, складена діаграма натягу стрічки. За розрахованими тяговими зусиллями на приводному барабані обраний асинхронний двигун 4A315M6УЗ частотою обертання $n_{\text{об}} = 983 \text{ об / хв}$, потужністю на валу $P_{\text{ов}} = 132 \text{ кВт}$. Спираючись на параметри обраного двигуна, вибраний перетворювач частоти Altivar ATV71HC16N4 160 кВт від Schneider Electric.

За отриманими з довідника даними розраховані необхідні параметри схеми заміщення. Проведений синтез скалярної електромеханічної системи зі зворотним зв'язком за швидкістю.

Моделювання розробленої системи електроприводу виконано в Simulink Matlab. Досліджено дві моделі: з ПІ-регулятором та ПІ-регулятором швидкості. За його результатами є зрозумілим, що у першому випадку система відпрацьовує задану тахограму з деяким перерегулюванням, що обумовлено астатизмом через наявність інтегральної складовою. У другому випадку система працює з дотягуванням, що підтверджує теоретичні відомості про теорію автоматичного керування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Спиваковский А. О. и др. Транспортирующие машины. Атлас конструкций. М. : «Машиностроение», 1971.
2. Ромакин Н. Е. Машины непрерывного транспорта. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – М. : Академия, 2008. – 432 с.
3. Рачков Е. В. Машины непрерывного транспорта. Учебное пособие. – М. : Альтаир-МГАВТ, 2014. – 164 с.
4. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/ А. З. Кравчик, М. М., Шлаф, В.И. Афонин, Е. А. Соболенская. — М.: Энергоиздат, 1982. — 504 с., ил.
5. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов и др.—М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с., ил.
6. Толочко О.І. Методичний посібник до самостійної роботи з дисципліни „Моделювання електромеханічних систем”/ О.І. Толочко, Г.С. Чекавський, О.І. Песковатська, П.І. Розкаряка – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – 96 с.
7. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
8. Розрахунок стрічкового конвеєра. Методичні вказівки до курсового проекту «Машины безперервного транспорту» для студентів спеціальності 7.090214 «Підйомно-транспортні, судові, дорожні, меліоративні машини та обладнання» / уклад. О. В. Григоров, Г. В. Вишневецький, Н. О. Петренко та ін.; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – 24 с.
9. Математическое моделирование электромашиновентильных систем. Плахтына Е.Г. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1986. – 164с.
10. Герман-Галкин С.Г. MATLAB & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: Корона-Век, 2008. – 368 с.

ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. П'ять складових частин визначення охорони праці стосуються кожного працюючого, але у різних ступені та обсязі залежно від посади, характеру виконуваної роботи та обладнання на робочому місці.

Організація безпечної праці на виробництві покладена на адміністративно-технічний персонал енергооб'єкта. Директор, головний інженер, головний механік, головний енергетик забезпечують безпечні умови праці. Правильна організація роботи з охорони праці має першочергове значення для підвищення продуктивності праці, ліквідації причин нещасних випадків, попередження травматизму, професійних отруєнь та захворювань. Основними завданнями адміністративно-технічного персоналу енергооб'єкта щодо охорони праці є забезпечення безпеки та санітарного стану обладнання та інструменту, виробничих та допоміжних приміщень та робочих місць, боротьба з причинами виробничого травматизму, професійних отруєнь та захворювань; проведенні інструктажу та навчання з техніки безпеки та промислової санітарії; естетизація виробництва; організація контролю за здійсненням усіх цих заходів.

Небезпека враження електричним струмом серед інших небезпек відрізняється тим, що людина не в змозі без спеціальних приладів визначити наявність напруги дистанційно, як наприклад, рухомі частини, розігріті об'єкти, відкриті люки, неогорожені межі майданчиків, що знаходяться на висоті і т.п.

Вона визначається дуже запізно - коли людина вже вражена струмом. Через те слід приділити особливої уваги захисту від ураження електричним струмом. Захисні заходи повинні цілком забезпечувати безпеку.

Електричний струм, проходячи через живі тканини, завдає термічного, електричного та біологічного впливу. Це призводить до всіляких порушень в

організмі, викликаючи як місцеві ушкодження тканин та органів, так і загальне враження організму. Розглянемо різні види електричних ушкоджень.

Опіки можливі при проходженні через тіло людини значної сили струму.

Електричні знаки (позначки струму) виникають під час сильного контакту із струмопровідними частинами.

Електрометалізація шкіри - проникнення під поверхню шкіри часточок металу внаслідок розхлюпування та покрутів його під впливом струму, наприклад, під час горіння дуги.

Електричний удар спостерігається під час впливу малого струму - звичайно до кількох сот міліампер та відповідно під час невеликої напруги, як правило, до 1000 В. При такій малій потужності виділення теплової енергії мізерне і не викликає опіку. Струм діє на нервову систему і на м'язи, причому може виникнути параліч вражених органів. Параліч дихальних м'язів, а також м'язів серця, може призвести до смертельної дії.

Згідно до Правил користування електричною енергією, електроустановка (ЕУ) - комплекс взаємопов'язаних устаткування і споруд, призначених для виробництва або перетворення, передачі, розподілу чи споживання електричної енергії.

У різних ЕУ різноманітна небезпека враження електричним струмом, через те що параметри електроенергії, умови експлуатації електрообладнання та характер середовища приміщень, у яких воно влаштовано, вельми різні. Комплекс захисних заходів мусить відповідати виду ЕУ та відповідати умовам застосування електрообладнання, забезпечуючи належну безпеку.

Небезпека враження, а також можливі ускладнення перш за все залежать від номінальної напруги. За рівнем напруги розрізняються ЕУ напругою до 1000 В та ЕУ напругою вище 1000 В.

Розрізняються ЕУ з великим струмом, що заземлюється, у якому струм однополюсного глухого замикання на землю перевищує 500 А, та ЕУ з малими струмами замикання на землю, в яких струм однополюсного глухого замикання на землю дорівнює або менше 500 А.

Дуже істотний вплив на безпеку експлуатації ЕУ справляють умови середовищ, від яких залежить стан ізоляції а також електричний опір тіла людини. Підвищена вологість знижує опір ізоляції. Сухими приміщеннями називаються такі приміщення, в яких відносна вологість повітря не перевищує 60%. Вологі приміщення - приміщення, в яких відносна вологість повітря більше 60%, але не перевищує 75%. У таких приміщеннях можливе короточасне виділення пари та конденсування вологи у невеликій кількості. Сирі приміщеннями - приміщення, в яких відносна вологість повітря тривалий час перевищує 75%, але не досягає 100%. Приміщення, в яких відносна вологість повітря близька до 100% (стіна, підлога, стеля та предмети, що знаходяться у приміщенні, вкриті вологою), називаються особливо сирими.

Підвищена температура прискорює старіння ізоляції, що призводить до зниження її опору і навіть до руйнування. Під час підвищеної температури повітря знижується опір тіла людини внаслідок змочування шкіри виділеним потом. За цих обставин підвищена температура повітря знижує безпеку експлуатації ЕУ. Приміщення, в яких температура повітря тривалий час перевищує +30 градусів за Цельсієм, називаються спекотними приміщеннями.

Струмопровідна підлога (металева, земляна, залізобетонна, цегляна, ксилолітова і т.п.), на котрій стоїть людина, що торкається поверхні, яка знаходиться під напругою, різко зменшує опір ланцюга людини. Те ж саме спостерігається і при одночасному торканні до корпусу технологічного обладнання, котрий має зв'язок із землею (металевих конструкцій будівель та споруд) та до поверхні електрообладнання, що природно або випадково знаходяться під напругою.

ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____