

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
МАГІСТРА**

на тему Впровадження автоматизованої системи керування для
підвищення продуктивності конвеєра в гірничій промисловості
Виконав студент 2 курсу, групи ГЕМм-22
(шифр групи)
спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)
та електромеханіка»

Денис ДЕМ'ЯНЕНКО (ім'я та прізвище) (підпис)		
Керівник	доц. каф. ЕлІн, к. т. н., доц. І. О. Бандура (посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище) (підпис)	
Рецензент	(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище) (підпис)	

Нормоконтроль:	Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
(підпис) Е. НЄМЦЕВ	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: магістр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

(О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Денису ДЕМ'ЯНЕНКУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Впровадження автоматизованої системи керування для
підвищення продуктивності конвеєра в гірничій промисловості

керівник роботи Ірина БАНДУРА, канд. техн. наук, доцент
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Тип конвеєра – стрічковий, горизонтальний
транспортований вантаж – кам'яне вугілля, продуктивність 900 т/год,
умови експлуатації – середні, тип приводного двигуна – асинхронний
з короткозамкненим ротором, система керування – векторна, тип приводу
– редукторний

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

1. Аналітичний огляд науково-технічної літератури машин безперервної дії

2. Тяговий розрахунок стрічкового конвеєру.

3. Розрахунок елементів електромеханічної системи

4. Розробка математичної моделі електромеханічної системи конвеєра

5. Моделювання електроприводу стрічкового конвеєра

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

Тринадцять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 5	І. БАНДУРА, доц. каф.		
Нормоконтроль	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 02 жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	02.10.23 – 06.10.23	
2.	Розділ 2	07.10.23 – 20.10.23	
3.	Розділ 3	21.10.23 – 17.11.23	
4.	Розділ 4	18.11.23 – 08.12.23	
5.	Розділ 5	09.12.21 – 15.12.23	
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Денис ДЕМ'ЯНЕНКО
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ірина БАНДУРА
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Дем'яненко Д. Д. Впровадження автоматизованої системи керування для підвищення продуктивності конвеєра в гірничій промисловості / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «магістр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає три розділи, висновків, переліку джерел посилання.

У першому розділі розглянуто основні конструкції та характеристики електромеханічного обладнання стрічкових конвеєрів, визначено різні аспекти обґрунтування та вибору системи електроприводу.

У другому розділі був проведений розрахунок конвеєра на основі його кінематичної схеми, визначено параметри та обрано привідний двигун для конвеєра, розглянуті питання узгодження швидкості двигуна та стрічки.

У третьому розділі проведений вибір перетворювача частоти, автоматичного вимикача, синтез регуляторів та приведення моменту інерції електроприводу.

У четвертому розділі проведений вибір перетворювача частоти, автоматичного вимикача, синтез регуляторів та приведення моменту інерції електроприводу.

У п'ятому розділі наведена математичну модель для дослідження режимів роботи конвеєра, проведені дослідження динамічних режимів роботи конвеєра та проведений аналіз характеристики електроприводу при змінах вантажопотоку.

Ключові слова: стічковий конвеєр, електропривод, асинхронний двигун, перетворювач частоти, кінематична схема, регулятор, система керування, векторне керування, MATLAB, моделювання

ANNOTATION

D. DEMIANENKO, Implementation of an automated control system to enhance conveyor productivity in the mining industry / Graduation qualification work for obtaining the master's degree in specialty 141 " Electric Power Engineering, Electrotechnics and Electromechanics ". SHEI DonNTU, Lutsk, 2023.

The thesis consists of an introduction, the main part, which includes three sections, conclusions, and a list of reference sources.

In the first section, the main designs and characteristics of the electromechanical equipment of belt conveyors are considered, various aspects of the justification and selection of the electric drive system are determined.

In the second section, the conveyor was calculated based on its kinematic scheme, the parameters were determined and the drive motor for the conveyor was selected, the issues of matching the speed of the motor and the belt were considered.

In the third section, the selection of the frequency converter, the automatic switch, the synthesis of regulators and the reduction of the moment of inertia of the electric drive are carried out.

In the fourth section, the selection of the frequency converter, the automatic switch, the synthesis of regulators and the reduction of the moment of inertia of the electric drive are carried out.

In the fifth section, a mathematical model for the study of the modes of operation of the conveyor is presented, studies of the dynamic modes of operation of the conveyor are carried out, and the characteristics of the electric drive during changes in the cargo flow are analyzed.

Keywords: tape conveyor, electric drive, asynchronous motor, frequency converter, kinematic scheme, controller, control system, vector control, MATLAB, simulation

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ МЕХАНІЗМІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ	9
1.1 Загальні відомості про конвеєрні механізми	9
1.2 Аналіз режимів роботи стрічкового конвеєра, особливості конструкції та характеристики електромеханічного обладнання	14
1.2.1 Конвеєрні стрічки	16
1.2.2 Конструкція ставів і роликоопор	17
1.2.3 Приводи конвеєрів	23
1.2.4 Натяжні пристрої	26
1.2.5 Завантажувальні пристрої	29
1.2.6 Розвантажувальні пристрої	31
1.2.7 Стопори конвеєра	32
1.3 Обґрунтування та вибір системи електроприводу	33
1.3.1 Система тиристорний перетворювач-двигун.	35
1.3.2 Керування включенням в коло ротора додаткового електричного опору	37
1.3.3 Керування обертовою швидкістю двигуна за допомогою перетворювача частоти	38
1.4 Висновки за розділом	40
РОЗДІЛ 2. ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	41
2.1 Кінематична схема конвеєра. Тяговий розрахунок	41
2.2 Вибір приводного двигуна	50
2.3 Узгодження швидкості двигуна та стрічки. Вибір редуктора	51
2.4 Висновки за розділом	54
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ	55

3.1 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна	55
3.2 Вибір перетворювача частоти	59
3.3 Вибір автоматичного вимикача	60
3.4 Синтез регуляторів	61
3.5 Приведення моменту інерції електроприводу:	65
3.6 Висновки за розділом	67
4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КОНВЕЄРА	68
4.1 Математичний опис моделі асинхронного двигуна у двофазній системі:	69
4.2 Алгоритм векторного керування асинхронного двигуна	69
4.3 Висновки за розділом	73
5 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ ДАНИХ	74
5.1 Математична модель для дослідження режимів роботи конвеєра	74
5.2 Дослідження динамічних режимів роботи конвеєра.	76
5.3 Аналіз характеристик електроприводу стрічкового конвеєра при змінах вантажопотоку	79
5.4 Висновки за розділом	81
ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	83

ВСТУП

Технологічний процес у будь-якому виробництві нерозривно пов'язаний із переміщенням вантажів, і в цьому контексті системи підйомно-транспортних машин і устаткування відіграють ключову роль у здійсненні вантажопотоків на підприємствах. Одним із поширених засобів транспортування вантажів є стрічкові конвеєри, які широко використовуються в різних галузях, зокрема в металургії, вугільній промисловості та інших.

У даній дипломній роботі проводиться розрахунок стрічкового конвеєра для переміщення дрібно-кускового вугілля. Задачі включають визначення можливості транспортування вантажу, визначення оптимальної ширини стрічки, вибір відповідної стрічки, тяговий розрахунок конвеєра методом обходу по контуру, а також оцінка міцності приводного барабану та вибір редуктора та двигуна.

При розгляді двигунів конвеєрів важливі аспекти включають високий ККД, перевантажувальну здатність, тривалість роботи та відсутність значного нагріву. Два основних типи двигунів, які використовуються - асинхронні (АД) та двигуни постійного струму (ДПС).

У сучасних умовах асинхронні двигуни переважають над двигунами постійного струму через свою простоту обслуговування та використання. Векторне керування асинхронними двигунами має численні переваги, такі як ефективність обслуговування, високий ККД, низька ціна та висока надійність. Однак воно наділена також і недоліками, такими як зміна параметрів активного опору через нагрівання обмоток та потреба вентиляції при широкому спектрі регулювання.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ МЕХАНІЗМІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

1.1 Загальні відомості про конвеєрні механізми

Видобуток і переробка нерудних матеріалів – одна з найбільш давніх областей виробничої діяльності людини. Такі матеріали протягом всієї історії людства були основним матеріалом при створенні будівель, споруд, а пізніше в металургійній промисловості, тощо. Протягом більшої частини історії нерудні матеріали видобувалися примітивними способами, які засновані на ручній праці. Це обумовлювало низький рівень розвитку галузі промисловості. З плином процесу індустріалізації розвивалися транспортні машини у зв'язку із потребою переміщенням вантажу в межах видобувного комплексу, промислового підприємства.

Процес видобутку корисних копалин та їх транспортування з гірської місцевості до місця обробки, переміщення гірської маси, матеріалів, і у деяких випадках навіть людей з використанням конвеєрів в гірничих виробках описується технологічним процесом. На шахтах основною технікою для конвеєрного транспорту є стрічкові конвеєри.

Стрічковий конвеєр представляє собою транспортний пристрій безперервної дії, який складається з об'єднаного вантажонесучого і тягового органів у формі замкненої гнучкої стрічки. Рух стрічки здійснюється за допомогою сили тертя між нею та приводним барабаном, при цьому вона опирається на стаціонарні роликпоопори по всій своїй довжині. Для переміщення вантажу на значні відстані використовуються конвеєрні лінії, які складаються з двох чи більше конвеєрів.

Наразі, в середньому 70% обсягу матеріалів і конструкцій, які використовуються при будівництві, отримують з мінеральної сировини, а для деяких об'єктів цей показник сягає 90%. З загальної кількості каменю близько 75% використовується безпосередньо для будівельних потреб, зокрема для

виготовлення бетонних конструкцій, і решта 25% – для виробництва цементу та іншого спрямування.

Стрічкові конвеєри відносяться до класу механізмів безперервної дії, де основним є статичний режим роботи, і запуск та гальмування здійснюються нечасто. Ці конвеєри відрізняються високою продуктивністю і надійністю в роботі, і застосовуються в гірничорудній та вугільній промисловості, будівництві для транспортування сипких матеріалів, а також в харчовій промисловості.

Під час руху конвеєра привідний двигун має долати статичне навантаження, спричинене силами тертя у всіх рухливих елементах, а також компонент сили тяги транспортованого вантажу на нахилах конвеєра. Сили тертя виникають у підшипниках обертових елементів, контактних точках роликів і катків із опорою, в тяговому елементі під час його згинань, а також внаслідок значної довжини конвеєра та великої кількості рухливих елементів.

Магістральні стрічкові конвеєри є найпоширенішими засобами безперервного транспортування вугільної та інших промислових галузях. В Україні близько 85-90% конвеєрних установок становлять саме магістральні стрічкові конвеєри. Вони застосовуються у промисловості для переміщення різноманітних сировинних матеріалів та на підприємствах із потоковим виробництвом для транспортування заготовок між робочими місцями і т. д. Довжина транспортування стрічковими конвеєрами може досягати кількох кілометрів, при цьому їхня конфігурація може бути адаптована до конкретних умов виробництва та локального рельєфу.

Умови експлуатації стрічкових конвеєрів відрізняються великою різноманітністю, починаючи від спекотного та вологого клімату тропіків і закінчуючи роботою на відкритому повітрі в суворих умовах при низьких температурах. Стрічковий конвеєр можна умовно розділити на три основні частини: головну, середню та хвостову.

У ролі основного транспоруючого та тягового засобу використовують гумовотканинні стрічки із гладкою поверхнею. Завантаження верхньої гілки

стрічки проводиться завантажувальним пристроєм(декількома пристроями), що розташовується у хвостовій частині конвеєра. Зазвичай розвантаження конвеєра виконується через привідний (головний) барабан. У деяких випадках може бути потрібне додаткове розвантаження конвеєра у його середній частині, для чого використовують барабанний розвантажувальний візок або плужковий скидач.

Привід конвеєрної стрічки здійснюється фрикційним приводом. Система приводу включає в себе привідний барабан та привідний механізм, які з'єднані між собою тихохідною муфтою. Привідний механізм складається з двигуна, редуктора і з'єднуючих їх муфт, які монтується на власній рамі.

Наступним завданням у процесі автоматизації конвеєрного транспорту є автоматизація управління конвеєрними лініями та збірними конвеєрами. При об'єднанні конвеєрів у транспортні лінії, системи автоматики мають забезпечувати можливість централізованого запуску конвеєрної лінії зі зручної точки. Крім того, при координації роботи окремих конвеєрів з параметрами, які впливають на них у вигляді потоків вантажу, алгоритми управління збірним конвеєром стають важчими. Слід розробити метод попереджувального управління потоками вантажу для підвищення ефективності роботи конвеєрної лінії, шляхом уникнення або зменшення простоїв окремих конвеєрів, перевантажень і утворення завалів на збірному конвеєрі.

В кінцевому рахунку, важливо розробляти систему діагностики конвеєрного обладнання для уникнення аварійних ситуацій. Тут потрібно вирішити такі завдання:

- автоматичний моніторинг стану роликів у підшипниках, що дозволить вчасно замінити елементи, що виробили свій ресурс;
- контроль за сходом стрічки набік;
- контроль часу розгону конвеєра до заданої швидкості та автоматичну зупинку, якщо тривалість розгону перевищує допустимі межі;
- автоматичний контроль рівня наповнення бункерів;
- моніторинг роботи завантажувальних пристроїв.

Завдання, які виникають при розробці стрічкового конвеєра проілюстровано на схемі рис. 1.1:



Рисунок 1.1 – Завдання автоматизації стрічкового конвеєрного транспорту

Автоматизований електропривод представляє собою електромеханічну систему, що включає руховий, перетворювальний, передавальний та керуючий пристрій. Ця система призначена для приведення в рух виконавчих органів робочих машин і цілеспрямованого управління їх процесами.

Схема класифікації методів регулювання швидкості в асинхронних двигунах приведена на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Класифікація способів регулювання швидкості

Асинхронні двигуни є найбільш поширеними серед електродвигунів. Вони виготовляються у потужностях від 0,1 кВт до кількох тисяч кіловат. Основною їх перевагою є невелика вартість та простота конструкції. Однак при використанні звичайної схеми підключення асинхронного двигуна неможливо регулювати його обертання. Перш за все, слід звернути увагу на те, що важливо уникати великих енергетичних втрат. Це означає, що для короткозамкнених асинхронних двигунів необхідно утримувати їх роботу в тривалому режимі із мінімальними значеннями ковзання, щоб уникнути перегріву їх ротора.

Стрічкові конвеєри призначені для безперервного транспортування насипних і дрібно-штучних вантажів у горизонтальному, похилому та вертикальному напрямках. Вони широко використовуються у всіх галузях

промисловості, сільському господарстві, гірничодобувній та металургійній промисловості через свої переваги:

- безперервність переміщення, що веде до підвищення продуктивності машин, що працюють у комплексі зі стрічковими конвеєрами;
- простота будови, надійність в роботі та зручність обслуговування;
- можливість повної автоматизації при застосуванні засобів регулювання та контролю;
- можливість переміщення вантажів при кутах нахилу до 24 градусів, а спеціальними конвеєрами - до 90 градусів, що значним чином скорочує транспортні комунікації, порівнюючи з іншими видами транспорту;
- можливість розвантаження транспортованого вантажу в будь-якому місці траси конвеєра.

1.2 Аналіз режимів роботи стрічкового конвеєра, особливості конструкції та характеристики електромеханічного обладнання

Стрічкові конвеєри використовуються практично у всіх галузях промисловості для забезпечення неперервності процесів транспортування різних видів вантажів і матеріалів. Їх використання дозволяє доставляти штучні вантажі і матеріали із сипучою або кусковою структурою до потрібного місця за допомогою спеціальної конструкції пристрою, яка забезпечує транспортування як в горизонтальному, так і в похилому положенні.

Горизонтальні та комбіновані траси для транспортування можуть досягати довжини 10-12 кілометрів. Продуктивність конвеєрів вимірюється кількістю кубометрів переміщених вантажів за годину, варіюючись від кількох кубометрів до кількох тисяч кубометрів на годину. Ширина стрічок конвеєрів може бути як вузькою (30 см), так і широкою (2 м). Стрічкові конвеєри використовуються у всіх галузях промисловості та сільському господарстві, при видобутку корисних

копалин, в металургійному виробництві, а також на складах і в портах як складові навантажувальних і перевантажувальних пристроїв і технологічних машин [1].

Ефективність конвеєра залежить не тільки від технічного рівня самого обладнання, але й від правильного проектування конвеєра, вибору траси з радіусами її кривизни, а також будови опорних та інших металоконструкцій.

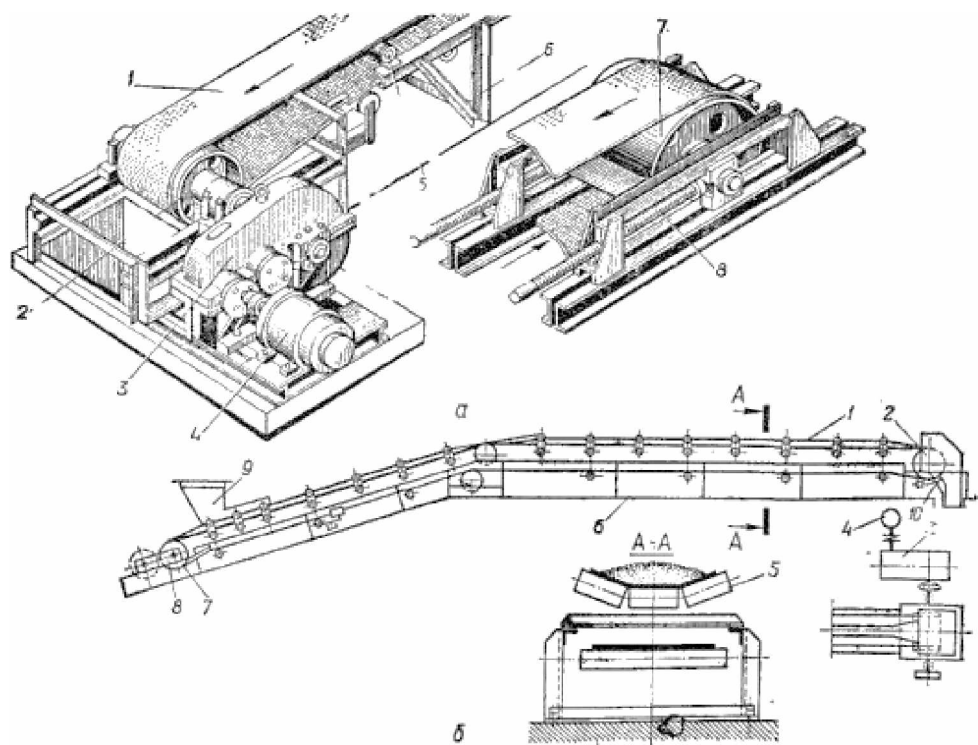


Рисунок 1.3 – Стрічковий конвеєр.

Недоліками стрічкових конвеєрів є значна вартість і відносно низька довговічність стрічки, неможливість переміщення вантажів високої температури, гострокутних, липких.

До складу стрічкового конвеєру (рисунок 1.3 а, б) входить гнучка замкнута, попередньо натягнута стрічка, що є одночасно тяговим органом і органом, що несе вантаж – 1, приводний і натяжний барабанів – 2, 7 відповідно; роликові опори – 5 для підтримки робочої і неробочої гілок; одно- або двобарабанний привод; редуктора – 3; двигун – 4 і муфта; натяжний пристрій – 8, опорна

металоконструкція – 6, завантажувальний – 9 і розвантажувальний пристрій, очисний пристрій – 10.

1.2.1 Конвеєрні стрічки

Стрічка є ключовим та високовартісним компонентом конвеєра (відповідає за до 50% загальної вартості системи). Зазвичай, зі збільшенням терміну експлуатації стрічки спостерігається зниження вартості перевезення вантажу конвеєром на одиницю.

Конвеєрна стрічка (рисунок 1.4) буває: гумовотканинною (а), гумовотросовою (б), суцільнометалевою товщиною 0,6-1,2 мм (включаючи з гумовим покриттям) і спеціальною (в) (сітчаста, з рифленою поверхнею, зі скловолокна та ін.).

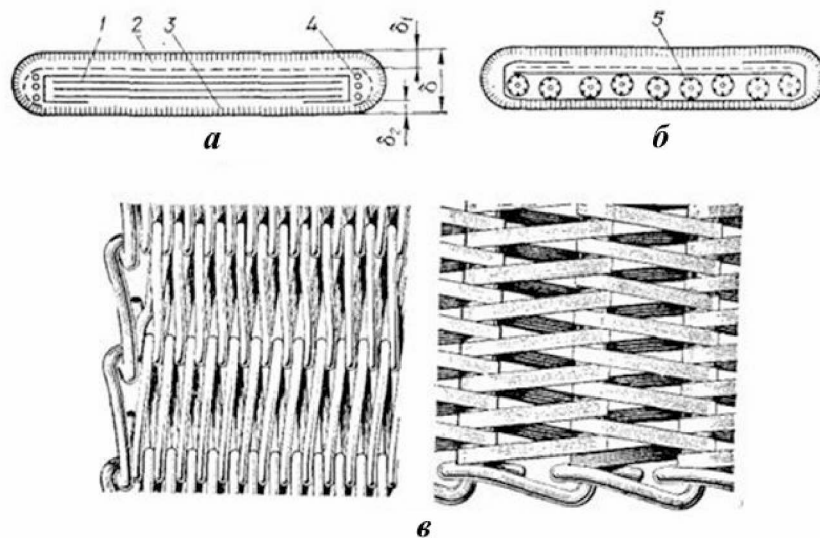


Рисунок 1.4 – Конвеєрні стрічки

Найбільшого поширення здобула резинотканинна стрічка. Вона складається з тягового – 1 каркаса (рисунок 1.4 а), захищеного з усіх сторін еластичними обкладинками – 2, 3. Тяговий каркас виробляють із тканинних прокладок, які з'єднані між собою тонкими гумовими прошарками. Велику гнучкість стрічці надається також шарами гуми. Тканина складається з ниток

основи (серед них бавовняні, синтетичні й ін.), що несе поздовжнє навантаження, та утокових ниток – 4, що надають поперечну гнучкість стрічці.

У гумотросових стрічках (рисунок 1.4 б) поздовжнє тягове зусилля несуть металеві троси – 5.

Обкладки стрічок виробляють із гумової суміші, яка включає натуральний або синтетичний каучук, і з пластмас полівінілхлориду та поліетилену. Призначення цих обкладок для захисту каркасу стрічки від механічних ушкоджень, впливу газів, проникання вологи та стирання.

Для переміщення вологих або слизьких вантажів використовуються стрічки з шевронною поверхнею, що дозволяє працювати на значних кутах підйому конвеєра: до 280 градусів для сипучих і до 400 градусів для одиничних вантажів.

Зростає популярність стрічок із комбінованих і синтетичних волокон (лавсан, віскоза, капрон та ін.) зі значною міцністю. Це веде до зменшення маси та розмірів конвеєра за рахунок меншої кількості прокладок стрічок.

Синтетичні стрічки відрізняються високою довговічністю, вологостійкістю, стійкістю до ударів, легкістю очищення та відсутністю розшаровування. Проте, їхня вартість залишається на високому рівні.

Ширина стрічок варіюється від 300 до 3000 мм.

1.2.2 Конструкція ставів і роlikоопор

Для підтримки як робочої, так і ненавантаженої гілки стрічки на конвеєрі використовуються роlikові опори, які опираються на конструкцію конвеєра, відому як став. Такі стави можуть бути жорсткими або м'якими.

Жорсткі стави складаються з металевих секцій, які, в свою чергу, є простими за конструкцією. У випадку стаціонарних конвеєрів, секції монтуються на бетонні фундаменти та кріпляться анкерними болтами. Секції

переносних конвеєрів, зазвичай, виготовляються з прокату або труб, які з'єднуються за допомогою спеціальних замкових з'єднань.

Податливі канатні стави складаються з поздовжніх натягнутих канатів, які опираються на стійки з прокату або труб. Роликоопори, підвішені на цих канатах, утворюють жолобчастий перетин для стрічки. Нижні ролики опор можуть бути зміщені відносно бічних сторін. Натяг канатів регулюється за допомогою гвинтових або лебідочних пристроїв.

Канатні стави широко застосовуються в важких конвеєрах у гірничодобувній та інших промислових галузях, де транспортують великі маси матеріалів з високою швидкістю. Вони мають кілька переваг, таких як зниження ударних навантажень на стрічку та роликові опори, плавність і безшумність руху стрічки, подовження терміну служби стрічки, менша маса порівняно з жорсткими ставами, пристосованість до місцевості, а також зручність у встановленні та демонтажі.

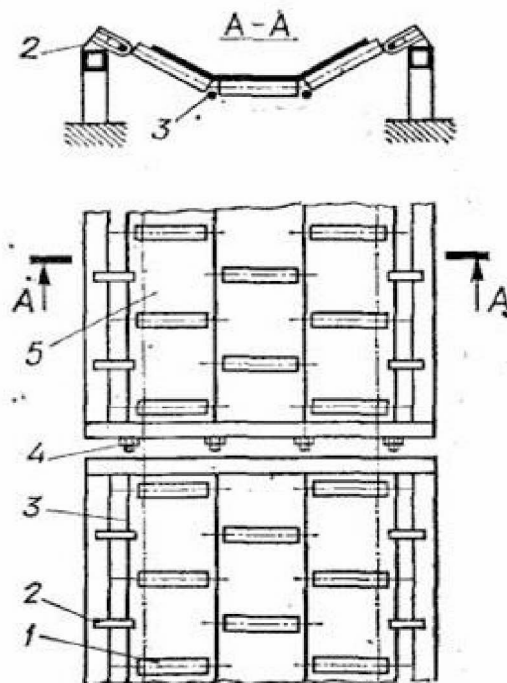


Рисунок 1.5 – Канатний став

1 – роликоопори, 2 – стійки з прокату або труб, 3 – поздовжньо натягнуті канати, гвинтовий або лебідочний пристрій натягу канатів

Вибір натягу канатів проводиться так, аби прогин від ваги роликоопор, стрічки та вантажу складав не більше 2-2.5% від відстані між опорними стійками.

Зазвичай, неробоча частина стрічки має однороликові опори, за винятком випадків великої ширини стрічки, де встановлюють двухроликові. Розмір кроку роликів на робочій гілці залежить від ширини стрічки, насипної щільності вантажу і перебуває в межах 0.9-1.5 метра. Для конвеєрів із високоміцними стрічками розмір кроку може досягати 3-4 метрів. Крок роликів на неробочій гілці приймається вдвічі більше.

На неробочій гілці конвеєра деякі ролики можуть бути гвинтовими, щоб очищати робочу поверхню стрічки від налиплого матеріалу. Для можливості регулювання ходу стрічки кріплення ролика допустимо йому зсуватися в плані під кутом 3-50 градусів від положення, перпендикулярного стрічці, в напрямку руху стрічки.

Запобіжником проти збігання стрічки з трьох роликових опорів є передбачення нахилу бічних роликів вперед за напрямком руху стрічки на 2-40 градусів (їх розташовують через кожні 5-6 звичайних роликів). З тією ж метою застосовують центруючі опори.

За числом роликів і кутами їх нахилу розрізняють такі типи роликоопор (рисунок 1.6): а – одно— ; б - двороликові; в - трироликові; г – п'ятироликові

Ролик складається з обичайки 1, встановленої на підшипниках 3, внутрішніх жорстких втулок 4, зовнішніх пружних втулок 2 та кришок у вигляді пружних конусних кілець 5. Пружна втулка 2 виступає амортизуючим елементом ролика.

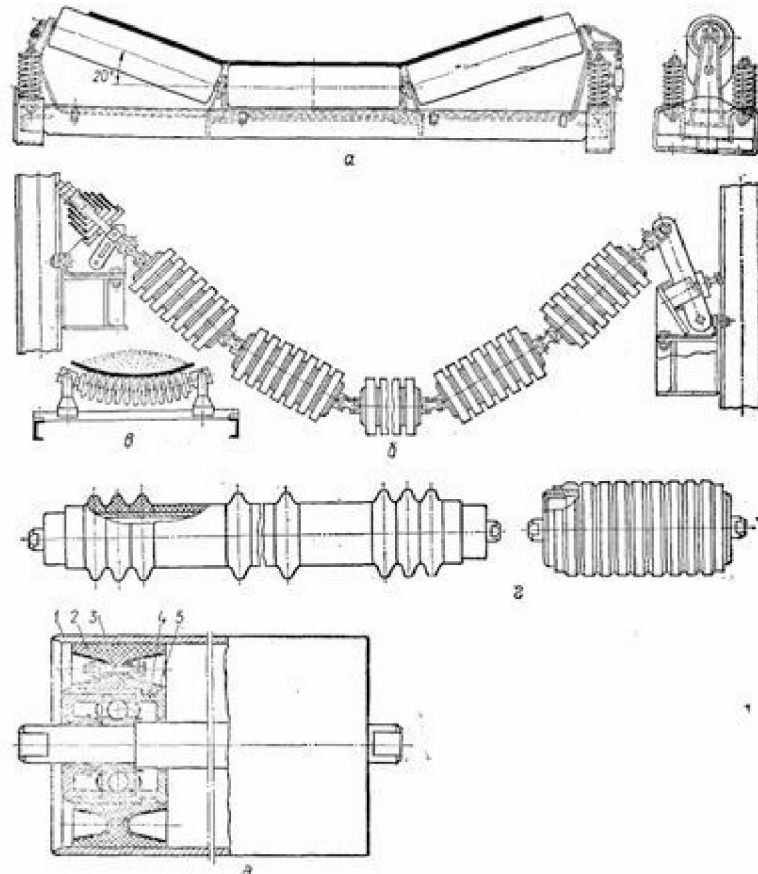


Рисунок 1.7 – Вигляд амортизуючих роликоопор

Будови підвісних роликоопор для канатного става зображені на рисунку 1.8 у двох виконаннях – на шарнірному та канатному підвісі. Шарнірна роликоопора (а) містить ролики – 1, встановлені на підшипниках кочення, що з'єднуються між собою ланками – 2 за допомогою пальців – 4 із фіксаторами – 3 (б). Роликоопори закріплені на канатному ставі за допомогою спеціальних зажимів – 5. У канатному підвісі (в) ролики – 7 встановлюються на порожнистій осі та надіті на канат – 6; осі кожного ролика з'єднані між собою напівциліндрами – 9 із пружними елементами – 8 [2].

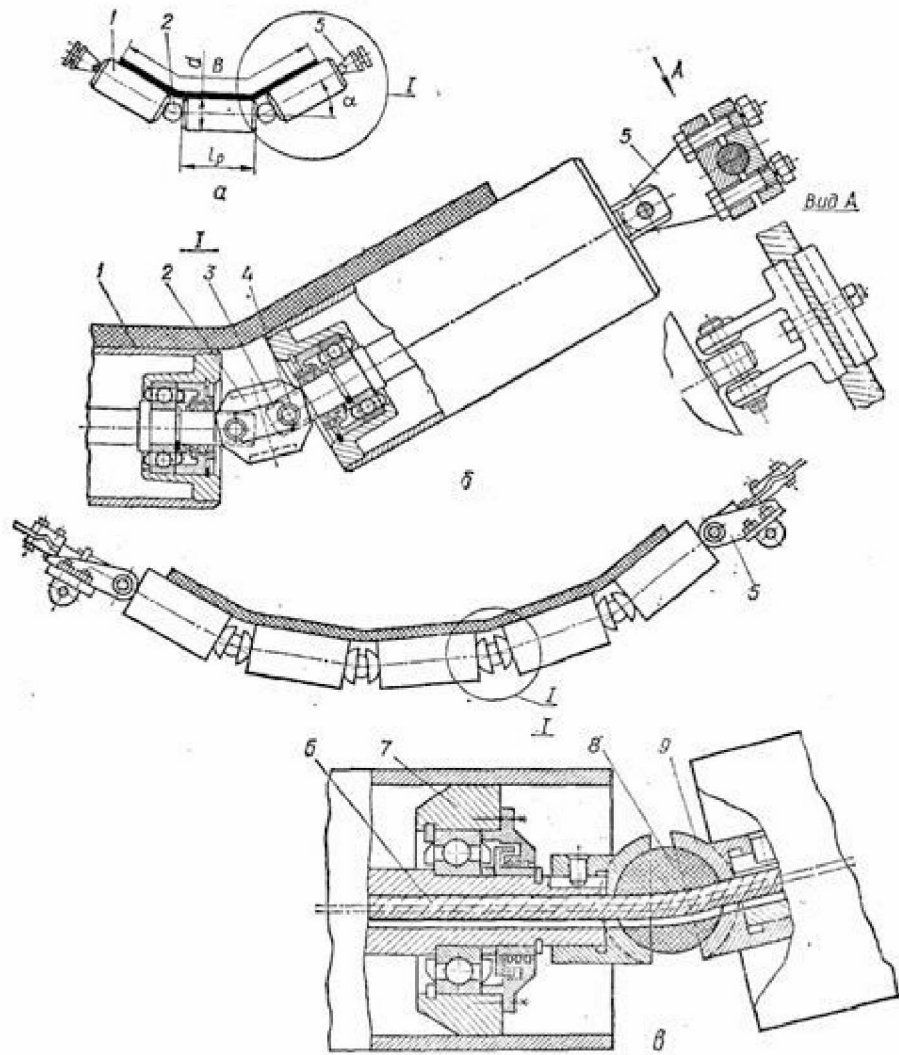


Рисунок 1.8 – Підвісні роликоопори

Конвеєрні ролики – це масовий елемент конвеєра, від ступеню їх довговічності та надійності у значній мірі залежить ефективність переміщення вантажів стрічковими конвеєрами. Загальна вартість роликів може становити до 30% від вартості конвеєра. Стан роликів, особливо при забрудненні підшипникових вузлів, впливає на збільшення опору руху стрічки, а строк служби роликів і стрічки знижується. Ролики виробляють зі сталевих труб, відливають із чавуну та пластмас.

1.2.3 Приводи конвеєрів

До складу приводу конвеєра входить барабан, редуктор, двигун, муфта і гальмівний пристрій. Останній використовується з метою обмеження вибігу при вимиканні двигуна та увімкнення зворотного ходу похилого навантаженого конвеєра.

В залежності від потрібної величини тягового зусилля застосовуються одно-, дво- та багато барабанні конвеєрні приводи (рисунку 1.9, а-г). По кількості двигунів виділяють одно та багатодвигунні приводи.

Найбільшого поширення досяг однобарабанний привід(а), він також вирізняється простотою будови. Стрічка огинає приводний барабан неробочою стороною, чим забезпечується більша стабільність коефіцієнту зчеплення з барабаном. Кут охопту барабана стрічкою варіюється $210-230^\circ$. Для конвеєрів, що переміщують важкі вантажі на значні відстані, застосовується двохбарабанний привод, який складається з двох приводних 1, 2 (б) та одного неприводного 3 барабану. Даний привід має велике тягове зусилля, оскільки сумарний кут охопту стрічкою двох барабанів зростає до 480° .

Значення тягового зусилля зростає від притиснення стрічки до барабана гумовим роликком (в) або через використання атмосферного тиску, створюючи вакуум всередині барабана.

Значний ефект у підвищенні тягової сили настає від застосування притискної стрічки (г), що істотно підвищує зчеплення з приводним барабаном (знайшли застосування в одно- і двобарабанних приводах).

Двобарабанні приводи можуть виконуватись за такими схемами: з жорстким зв'язком між барабанами; з диференціальним редуктором і з роздільним приводом.

Двобарабанний привод із жорстким зв'язком барабанів має такий недолік, як: тягове зусилля між барабанами розподіляється нерівномірно, через пружню

витяжку стрічки, низька точність виготовлення барабанів, ймовірного налипання вантажу на барабани та ін.

Через це їх застосовують для конвеєрів невеликої потужності та при переміщенні сухих або нелипких вантажів.

У приводу із диференціальним редуктором (рисунок 9, д) немає даних недоліків і він може застосовуватися при роботі конвеєра в найважчих умовах (як, то: переміщення липучих вантажів, робота на відкритому повітрі та ін.).

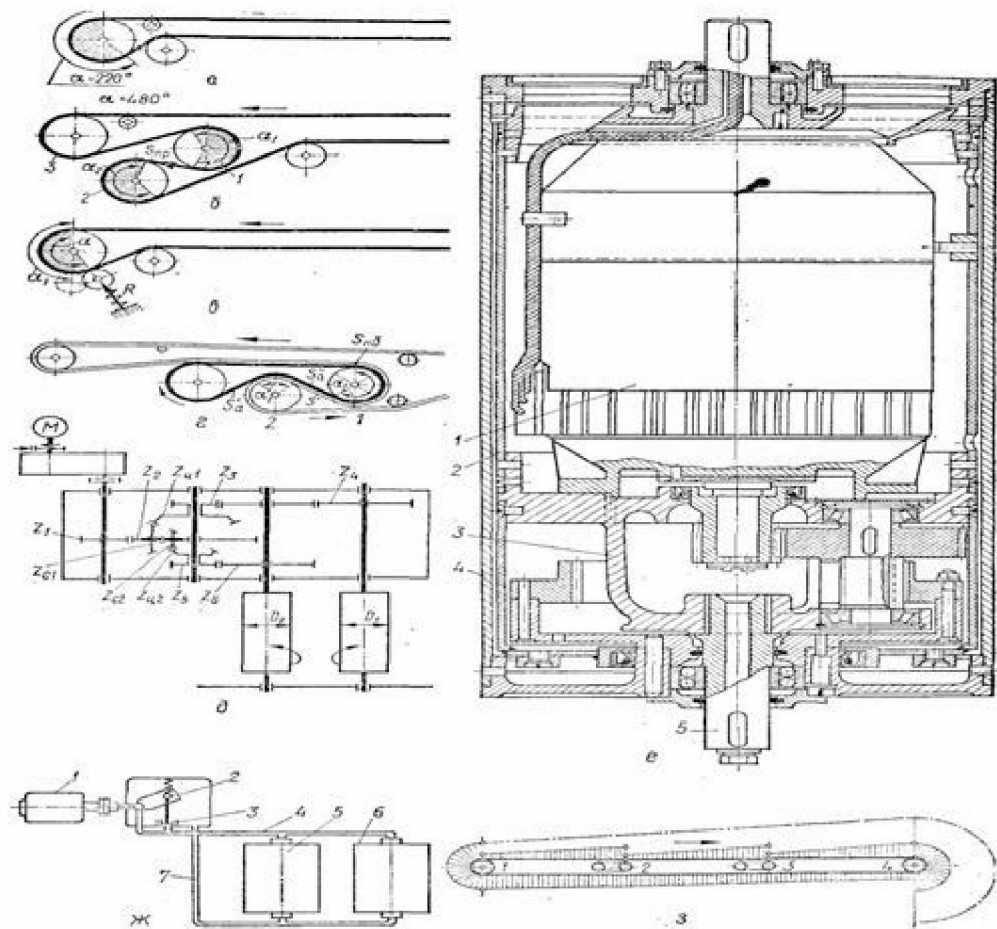


Рисунок 1.9 – Приводи конвеєрів.

У випадках, коли є необхідність у дуже компактному приводі конвеєра, застосовують конструкцію двигун-барабан із розташуванням двигуна та редуктора всередині барабана (рис. 1.9, е). Нерухомий циліндричний корпус – 2 закріплюється в рамі конвеєра цапфою – 5. У ньому встановлюється фланцевий електродвигун – 1 із двоступінчастим редуктором – 3, який обертає барабан - 4.

Для охолодження у двигуні передбачений вентилятором. Таку конструкцію застосовують для конвеєрів легкого типу [7].

Стрічкові конвеєри досить перспективно обладнувати гідравлічним приводом, передусім у випадку використання високомоментних гідродвигунів, що надають можливості для створення приводів, що виключають механічні передачі між двигуном і барабаном.

Схема двобарабанного гідравлічного приводу приведена на рис. 1.9 ж. Гідромотори є частиною барабанів 5 і 6 і пов'язані з регульованим насосом 1, а також напірним 4 та поворотним 7 трубопроводами. Регулятор 2 насоса перебуває під дією пружини, що повертає регулюючий елемент у напрямку зниження подачі рідини насосом, долаючи протидію натиску рідини на поршень 3.

Коли стрічка ненавантажена, тиск в трубопроводі 4 невеликий, а швидкість стрічки низька. При зростанні навантаження на стрічку поршень повертає регулюючий елемент проти годинникової стрілки і збільшує частоту обертання барабанів 5, 6. Подальше підвищення навантаження веде до автоматичного зниження швидкості, тим самим виключаючи перевантаження двигуна.

На даний час приводні станції проєктуються таким чином, щоб можна було прийняти за базу однобарабанний привід і комплектувати дво-, три- і багатобарабанних привід із однакових вузлів.

Для переміщення вантажу на значні відстані з виключенням перевантажень до головних приводів застосовують багатодвигунний стрічковий привод, що із себе представляє замкнутий контур тягової стрічки. Вони взаємодіють з вантажонесучою стрічкою конвеєра та створюють силу тяги уздовж усієї довжині конвеєра. Дана система приводів істотно знижує натяг стрічки конвеєра.

На рис. 1.9 з, приведені 4 приводи; проміжні приводи 2, 3 розміщуються на певній відстані уздовж траси. Довжина конвеєрів, обладнаних такими приводами, може досягати 2,5 км при порівняно низькому натягу стрічки (на відміну від натягів, що показані пунктиром, без проміжних приводів).

Послідовна установка таких конвеєрів здатна забезпечити транспортування вантажів на відстані до десятків кілометрів.

У нових конструкціях конвеєрів приводом електродвигуна поступального руху виступають лінійні асинхронні двигуни, що успішно працюють у деяких машинах.

Розроблені приводи стрічкового конвеєра, в яких стрічка жорстко з'єднана з алюмінієвими пластинами, які виступають вторинною частиною двигуна. У випадку живлення лінійного двигуна від мережі частотою струму 50 Гц мінімальна швидкість руху складає значну величину 2,4 м/с. Таким чином, для малих швидкостей потрібне електричне джерело зниженої частоти.

Барабани виробляються зварними з труби або листової сталі, а також можуть бути відлиті зі сталі та чавуну. З огляду на форму зовнішньої поверхні барабани можуть бути циліндричними, рідше бочкоподібними для кращого центрування стрічки. З метою підвищення коефіцієнта зчеплення стрічки з барабаном вони футеруються фрикційними матеріалами (гумою, пластмасою, стрічкою) [4].

1.2.4 Натяжні пристрої

Натяжні пристрої призначені для компенсації розтягнення стрічки при роботі, створення та підтримка в визначених межах натягу, який би забезпечував стійке зчеплення стрічки з приводним барабаном і обмежував провисання стрічки між ролюкооперами. Натяг стрічки відбувається шляхом переміщення натяжного барабана на візку чи спеціальних напрямних.

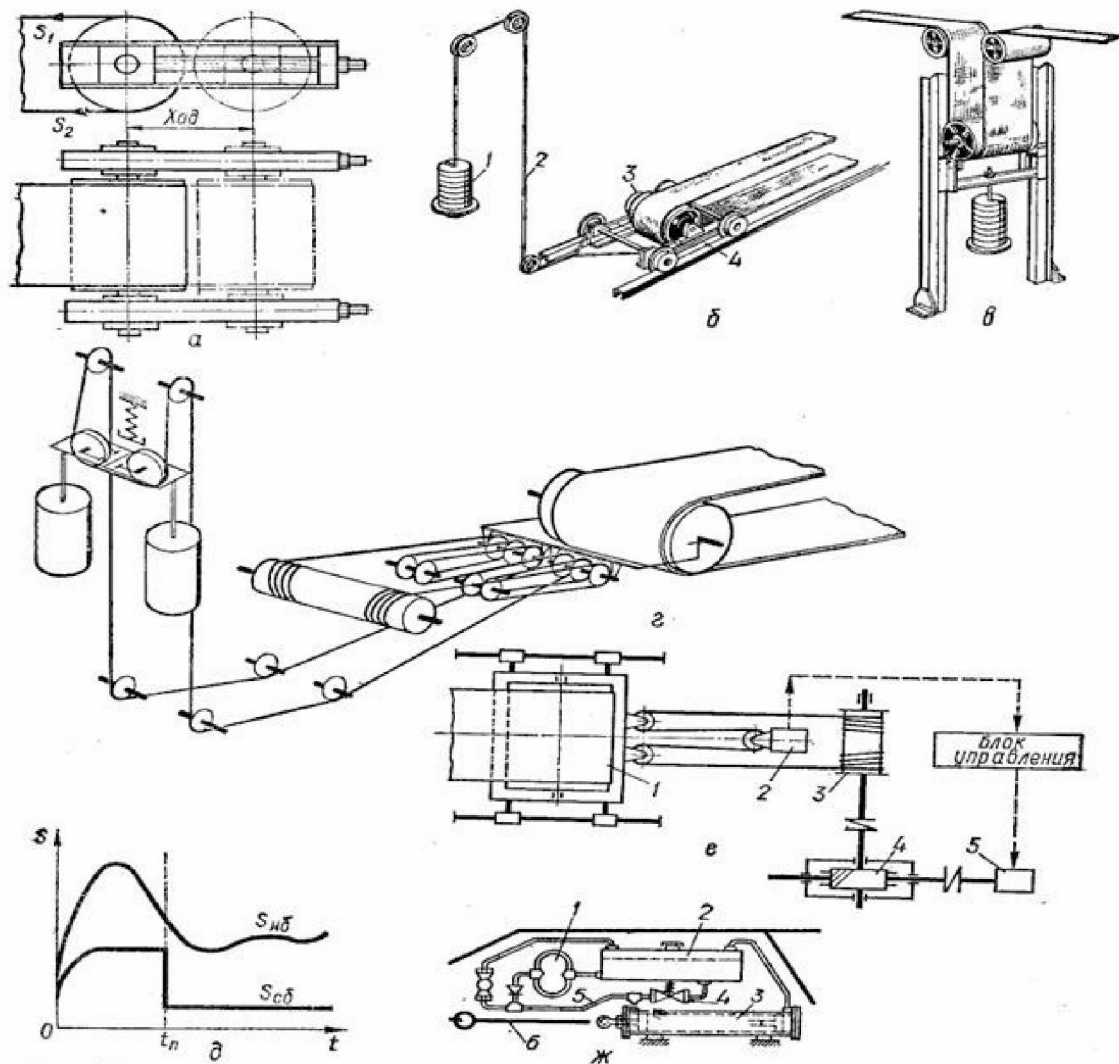


Рисунок 1.10 – Натяжні пристрої

По принципу дії вони діляться на пристрої, які працюють періодично відповідно до витягування стрічки (гвинтові, рейкові і т. д.), а також автоматичні (вантажні, пневматичні, гідравлічні).

Автоматичні пристрої можуть бути з регульованим (у залежності від значення крутного моменту приводу) або нерегульованим натягом.

Натяжний пристрій розміщують в конвеєрі, зазвичай, у місці, де натяг стрічки мінімальний. У похилих конвеєрах пристрій розташовують внизу, а хвостовий барабан використовують як натяжний. У важких конвеєрах великої довжини натяжний пристрій будується в одному вузлі з приводом з метою полегшення обслуговування й управління конвеєром.

Довжина ходу натяжного барабана залежить від довжини конвеєра L та типу стрічки: $(2 \div 1,5\%) \cdot L$ для гумо-тканинного типу і $(0,2 \div 0,15\%) \cdot L$ для гумо-тросового типу стрічок.

Гвинтові натяжні пристрої (рис. 1.10, а) знайшли застосування у конвеєрах малої довжини (до 60 м) в умовах незначної зміни температури навколишнього середовища гвинти працюють незалежно. Дані пристрої мають малі габарити, проте їм притаманний недолік – необхідність проводити періодичне підтяжку у міру витягування стрічки для уникнення пробуксовки приводного барабана. З метою поліпшення роботи конвеєра пристрій виконується підпружиненим.

У вантажному пристрої натяжний барабан автоматично переміщується під час роботи конвеєра, чим підтримується постійний натяг стрічки. За місцем розташування їх ділять на хвостові (б) та проміжні (в). Візок 4 з хвостовим барабаном 3 відповідно до витягування стрічки пересувається по рейках за допомогою каната 2 під дією вантажу 1. Їх застосовують в конвеєрах будь-якої довжини, за винятком дуже коротких. У конвеєрах великої довжини для зниження натяжної сили вантажу застосовують поліспасти пристрої (г).

Сучасні конструкції стрічкових конвеєрів широко обладнуються автоматичними лебідковими натяжними пристроями з поліспастом, які приводяться в дію електро- або гідроприводами.

Класифікація автоматичних натяжних пристроїв:

- за принципом дії – безперервні та періодичні;
- за числом керованих параметрів – один, два або три;
- за типом приводу – електричний або гідравлічний;
- за законом зміни регульованого натягу збігаючої гілки - стабілізуючий, слідкуючий і комбінований.

До стабілізуючих пристроїв висувається вимога забезпечувати сталий натяг незалежно від змін навантаження конвеєра, умов зчеплення стрічки із барабаном та інше. Під час пуску конвеєра для розгону має стабілізуючим пристроєм забезпечується підвищений натяг стрічки, необхідний для створення тягового зусилля у 1,3-1,5 рази більше, ніж при усталеному русі (рис. 1.10, д).

Якщо натяг стрічки змінюється відповідно з натягом набігаючої гілки, система регулювання слідкуюча. У комбінованих автоматичні пристрої під час пуску діють слідкуючі, а в період усталеного руху – як стабілізуючі чи навпаки.

Схему автоматичного стабілізуючого натяжного пристрою наведено на рисунку 10, е. Візок із натяжним барабаном переміщається за допомогою поліспасти барабанною лебідкою 3 від двигуна 5 через черв'ячний редуктор 4. Від датчика натягу збігаючої гілки 2, включеного в коло керування приводу автоматичного лебідки, надходить імпульс на включення двигуна 5, коли значення натягу в стрічці стає меншим від мінімального. Лебідка підтягує візок 1 до моменту, поки натяг стрічки не сягне заданого значення, після цього двигун відключається. Таким чином автоматично відбувається підтримка натягу стрічки, близького до сталого. На рисунку 1.10 ж, зображена схема гідравлічного автоматичного пристрою. При роботі шестерневого насоса 1, який живиться від резервуара 2, робоча рідина зворотним клапаном по трубопроводу 5 надходить у підпоршневу порожнину гідроциліндра 3. Поршень за допомогою канатної тяги 6 переміщує барабан до того моменту, поки натяг стрічки не набуде необхідного значення, яке визначається настройками перепускного клапана 4. Датчик зусилля натягу вбудований у канатну тягу, а тахогенератор, як датчик швидкості руху стрічки, встановлений на ролик. Так само як і в попередньому пристрої, величина натягу стрічки під час пуску приводу автоматично підвищується, а після цього знижується та залишається практично незмінною, контрольованою за допомогою датчика зусиль. Гідравлічний механізм від електроприводних відрізняється більшою надійністю та компактністю [5].

1.2.5 Завантажувальні пристрої

Завантаження стрічки конвеєра, яка рухається, здійснюється за допомогою лотка, ширина його вихідного отвору має складати 0,6-0,7 ширини стрічки; кут нахилу стінок коливається в межах 10-150°. Місце завантаження серед з

основних місць пошкодження та зносу стрічки в результаті тертя об вантаж. Головні вимоги до завантажувальних пристроїв зводяться до забезпечення заданого рівня продуктивності конвеєра та довговічності стрічки. Для досягнення останнього намагаються запобігати стрічку від руйнування падаючими шматками, зниженням зносу додаючи вантажу швидкості, що дорівнює швидкості стрічки, забезпечуючи рівномірність подачі вантажу на конвеєр, добре центруючи вантаж на стрічці. Пристрої мають бути досить простої будови та не повинні створювати значних опорів руху стрічки.

Для покращення умов завантаження завантажувальну частину конвеєра необхідно розташовувати в горизонтальному положенні або під кутом, що не перевищує $10-120^\circ$ до горизонту. У разі падіння на стрічку шматків великої маси зі значної висоти конвеєри на конвеєрах передбачаються канатні стави з хорошою амортизуючою здатністю.

На рис. 1.11 представлені схеми завантажувальних пристроїв, що здобули в практиці найбільшого поширення. З метою збереження стрічки потік вантажу спершу направляється на похилий лоток (а) чи колосники (б), через які прокидаються дрібні шматки вантажу на стрічку, утворюючи ліжко для великих шматків. Зниження енергії падаючих шматків досягається шляхом застосування гумових амортизаторів (в). Для зменшення провисання стрічки в точці розвантаження роликоопори встановлюють із меншим кроком. З метою забезпечення рівномірної подачі та додання вантажу швидкості, що дорівнює швидкості стрічки, застосовуються живильники різних типів.

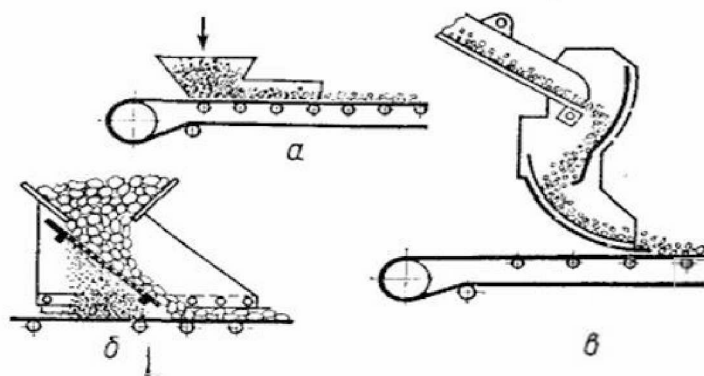


Рисунок 1.11 – Схематичний вигляд завантажувальних пристроїв

1.2.6 Розвантажувальні пристрої

За конструктивним виконанням розвантажувальні пристрої бувають знімні, відкидні та пересувні. Скидачі на сучасних конвеєрах керуються в автоматичному режимі від електромагнітного або пневматичного приводів, повітря в який подається повітропроводом. Разом з недоліками (підвищений знос стрічки, значні місцеві опори швидкість стрічки обмежують до 2 м/с) плужкові скидачі виступають єдиним пристроєм для проміжного зняття з конвеєра штучних вантажів.

Основний пристрій для проміжної розвантаження сипучих матеріалів з конвеєрів – це самохідні двобарабанні розвантажувальні візки (рис. 1.12, в). Вони можуть бути з одно та двостороннім розвантаженням. На рамі 1 розташовані два неприводних барабана 4 та роликоопори 8, по яким проходить навантажена конвеєрна стрічка. При сходженні стрічки з верхнього барабана вантаж сиплеться в воронку 7, а порожня стрічка, огинаючи нижній барабан, виходить із візка на свою трасу. На ходових колесах 10 візок переміщається по рейковому шляху за допомогою редукторного приводу 5. З метою забезпечення стійкості візка передбачено рейковий захоплення 2 з приводом 3. Шибери 9 з приводом 6 керують випуском сипучих вантажів із воронки.

На рис. 1.12 приведений загальний вигляд конвеєра з розвантажувальним візком. Візок пересувається по рейках уздовж траси відповідно до потреби розвантаження в потрібному місці (бункері). Показані крайні А, С та проміжне В положення візка на трасі.

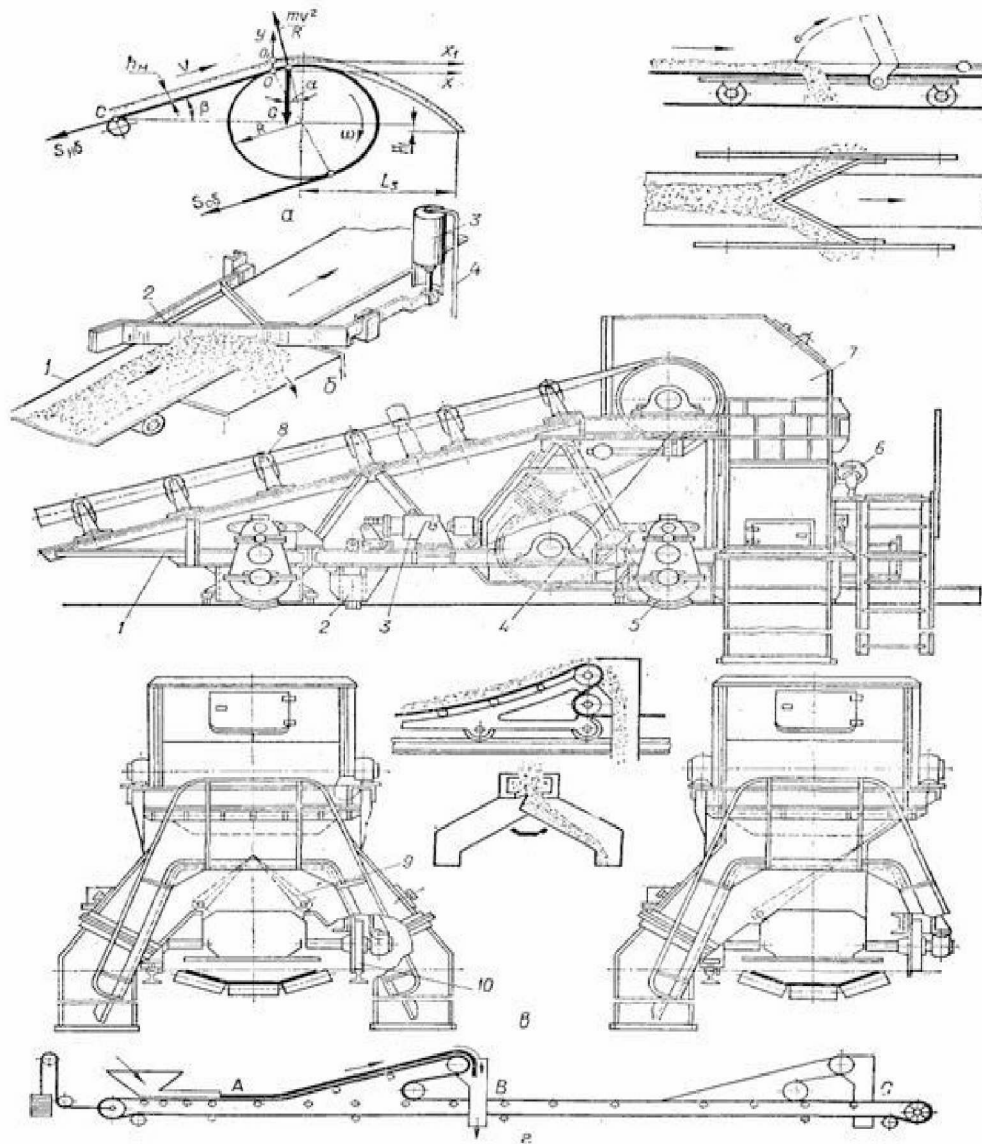


Рисунок 1.12 – Конвеєр, обладнаний розвантажувальною стрічкою

1.2.7 Стопори конвеєра

З метою запобігання мимовільного зворотного руху похилого конвеєра під час зупинки застосовують стопори (рис. 1.13): стрічкові, валикові, храпові та роликові.

Найпростішою будовою є стрічковий стопор (а), де стопорна стрічка 2, закріплена на рамі 3, затягується вниз конвеєрною стрічкою 1 між барабаном і

зупиняє конвеєр. Проте стопорна стрічка швидко зношується, тому стопор перестає діяти.

Принцип роботи валикової зупинки (б) полягає в тому, що при ході стрічки назад, барабан 4 починає обертатися в зворотному напрямку і валик 8, що розташований на похилій стінці швелера 6, заклинює барабан. Для захисту від забруднення валика встановлений щиток 5, а важіль 7 дозволяє регулювати кут нахилу стінки. Роботу храпового зупинки приведено на рисунку 1.13, в [3].

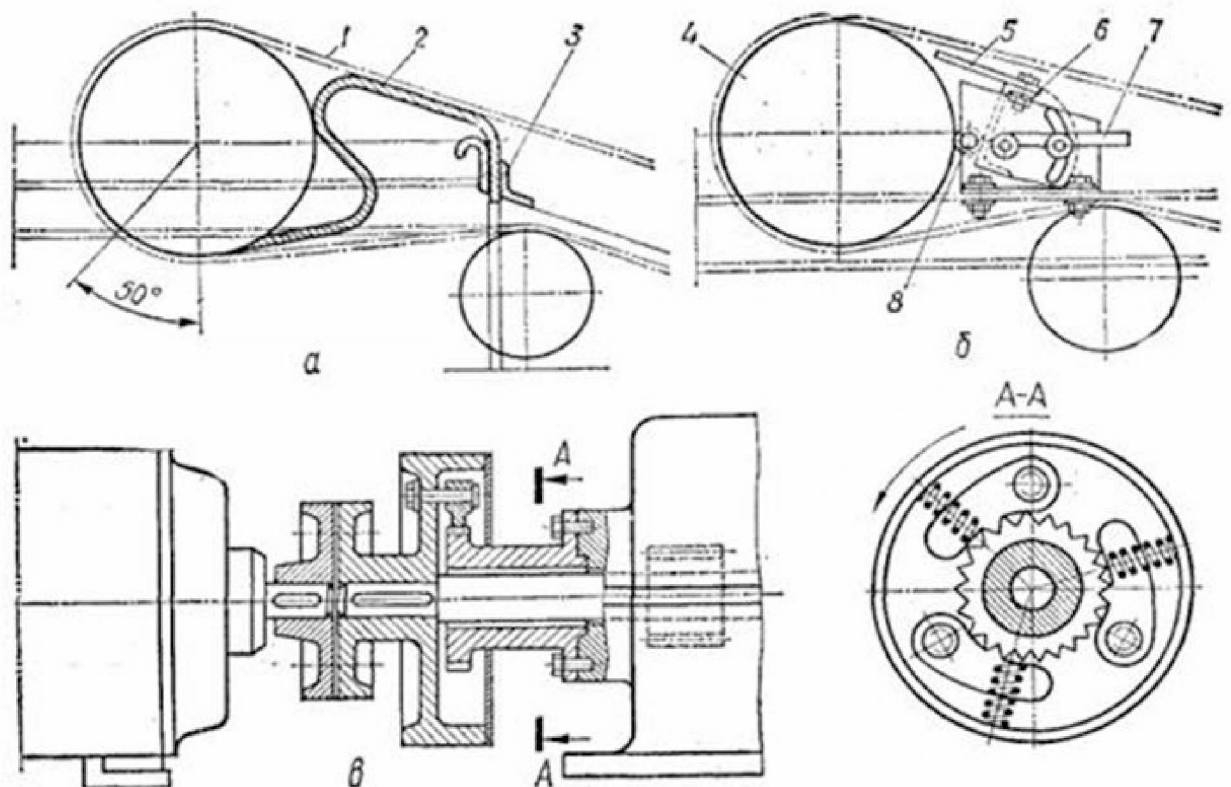


Рисунок 1.13 – Схематичні креслення методів зупинки стрічкових конвеєрів

1.3 Обґрунтування та вибір системи електроприводу

Конвеєри – це механізми безперервної дії з рівномірним розподіленням навантаження. Режим роботи двигуна в такому режимі тривалий. При розрахунку його потужності, зазвичай, не враховують навантаження під час пуску та гальмування конвеєра.

Багато з конвеєрів характеризуються недостатньою жорсткістю кінематичного ланцюга, оскільки в ньому використовуються пружні механічні зв'язки. Це впливає на вибір електропривода та системи керування через необхідність амортизації механічних коливань при запуску та гальмуванні.

Вимоги до електроприводів конвеєрів повинні бути сформульовані наступним чином:

1. Регулювання швидкості не є обов'язковим або необхідно лише в обмеженому діапазоні.
2. Вимагається збільшений пусковий момент через значення моменту тертя у стані спокою, яке вище, ніж у русі.
3. Важливо забезпечити плавні переходи, обмежуючи прискорення і ривки, щоб уникнути розгойдування або пробуксовування механізму, а також знизити динамічні зусилля в разі наявності пружних ланок. Бажано, щоб під час пуску привод конвеєра мав характеристику з постійним збільшенням пускового моменту до початку руху стрічки та з обмеженою величиною моменту під час розгону до номінальної швидкості.
4. При використанні кількох приводних барабанів, привід повинен забезпечувати синхронізацію їх роботи, тобто встановлення розрахункового розподілу тягового зусилля між ними.
5. Привід для потужних конвеєрів повинен забезпечувати знижену швидкість 1 м/с для здійснення огляду стрічки.
6. Привід потужних конвеєрів має забезпечувати можливість реверсу в режимі місцевого керування.

Конвеєри можуть бути обладнані однодвигунним чи багатодвигунним електроприводом. Випадки використання багатодвигунних електроприводів виникають у випадках конвеєрних ліній великої довжини, коли оптимальне розміщення привідної станції на трасі не забезпечує досягнення допустимого рівня максимального натягу або коли техніко-економічні показники для багатодвигунного приводу є більш ефективними, ніж для однодвигунного.

Залежно від вимог до плавності пуску та регулювання швидкості в механізмах з розподіленням навантаження використовуються такі типи електроприводів:

- електроприводи на базі короткозамкнених асинхронних двигунів з підвищеним пусковим моментом;
- електроприводи на базі асинхронних двигунів із фазним ротором для конвеєрних ліній великої довжини із забезпеченням плавного пуску.

Для приводів, де потрібне регулювання швидкості, найбільш перспективним видається електропривід за схемою ПЧ-АД, можна також передбачити використання системи АВК і електроприводів постійного струму за схемою ТП-Д.

У випадках багатодвигунних приводів для досягнення рівномірного розподілу навантаження між двигунами використовуються асинхронні короткозамкнені двигуни з підвищеними значеннями ковзання або асинхронні двигуни з фазним ротором. У першому випадку розподіл навантаження між електродвигунами поліпшується завдяки їхнім більш гнучким механічним характеристикам. У другому випадку механічні характеристики вирівнюються за рахунок включення в коло ротора одного з двигунів додаткового опору.

Окрім того, використання асинхронних двигунів із фазним ротором дозволяє вирішити проблему плавного пуску та обмеження пускових струмів, застосовуючи реостатний багатоступінчастий пуск або тиристорний регулятор струму в колі ротора.

1.3.1 Система тиристорний перетворювач-двигун.

Двигун в системі ТП-Д, може працювати в усіх чотирьох квадрантах. Руховому режиму відповідають 1 та 3 квадрант, характеристика режиму динамічного гальмування проходить через початок координат.

У даній системі основним методом гальмування є рекуперативне гальмування, яке передбачає перетворення енергії постійного струму, яку надає двигун, в енергію змінного струму шляхом перемикання системи керування в інверторний режим.

Основні переваги даної системи керування включають у себе:

- високу швидкодію перетворювача;
- більш високий ККД порівняно з системою генератор-двигун;
- низьку потужність керування;
- компактні габарити та легку масу перетворювача.

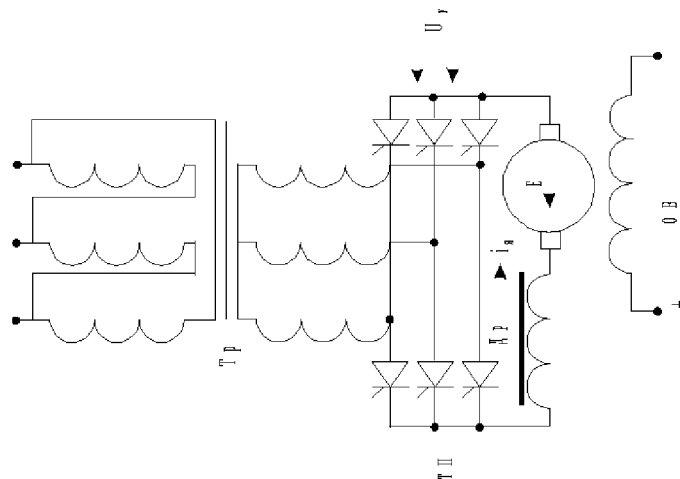


Рисунок 1.14 – Принципова схема системи керування ТП-Д

Серед недоліків відмічають:

- зниження коефіцієнта потужності перетворювача при зниженні швидкості;
- істотне викривлення кривої струму, споживаної з мережі;
- при регулюванні швидкості присутні коливання реактивної потужності, насамперед при великій потужності електроприводу, що веде до коливань напруги в мережі живлення.

1.3.2 Керування включенням в коло ротора додаткового електричного опору

Даний тип керування швидкістю потребує використання асинхронного двигуна з фазним ротором, в коло якого введений потужний опір. Як правило комутація опорів проводиться ступінчасто за рахунок почергового закорочення секцій опору.

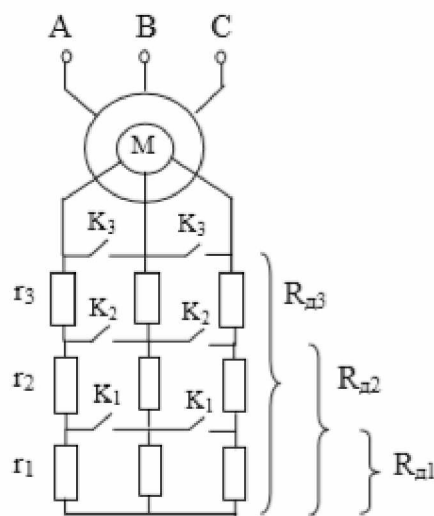


Рисунок 1.15 – Приклад включення додаткових резисторів у коло ротора

Оскільки синхронна швидкість і критичний момент від опорів не залежать, то всі штучні механічні характеристики сходяться у точці ідеального холостого ходу і мають одне значення критичного моменту навантаження.

Переваги такого керування:

- просте а надійне обладнання;
- висока надійність керування.

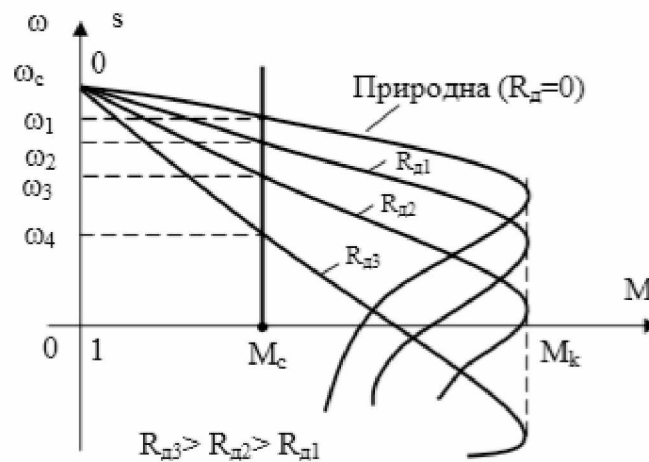


Рисунок 1.16 – Природна і штучні характеристики двигуна при введенні додаткових опорів в коло ротора

Недоліки:

- вузькообмежений діапазон керування;
- низька економічність керування викликана великими втратами енергії на опорах;
- керування швидкістю лише в першій зоні керування.

1.3.3 Керування обертовою швидкістю двигуна за допомогою перетворювача частоти

Перетворювач частоти здійснює перетворення мережевого трифазної або однофазної змінного напруги (струму) частотою 50 (60) Гц в трифазну або однофазну напругу (струм), частотою від 1 Гц до 800 Гц.

Система включає в себе електронні схеми, що містять тиристори або транзистори, які працюють в режимі електронних ключів. Основою управління є мікропроцесор, який керує силовими ключами та виконує додаткові операції.

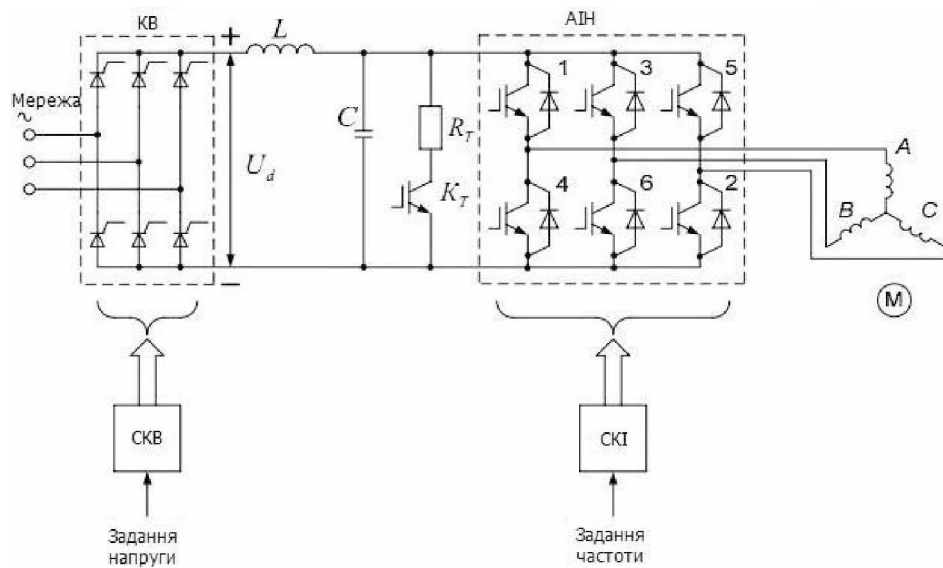


Рисунок 1.17 – Схема перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму

Переваги використання частотного керування включають:

- захист двигуна від перевантажень, коротких замикань, перегрівання та стрибків напруги в мережі живлення;
- висока точність регулювання частоти обертання двигуна;
- максимально високе значення пускового моменту;
- економія електроенергії при роботі двигуна з неповним завантаженням;
- стабілізація частоти обертання при стрибках струму;
- кероване гальмування та автоматичне включення в разі відключення напруги.

Щодо недоліків, слід відзначити:

- деякі перетворювачі частоти можуть бути джерелом завад;
- підвищені вимоги до точності вимірювальних приладів та датчиків, що призводить до збільшення вартості системи.

Після проведення порівняльного аналізу електроприводів визначено, що найбільш раціональним варіантом для стрічкового конвеєра є система електроприводу з використанням частотного перетворювача.

1.4 Висновки за розділом

На основі аналізу режимів роботи та будови стрічкового конвеєра були сформульовані вимоги до електроприводу. Проведено порівняльний аналіз різних систем керування електроприводами. Враховуючи характеристики роботи стрічкового конвеєра, була визначена найбільш відповідна система – система із перетворювачем частоти та асинхронним двигуном. Отримані результати дозволяють провести розрахунок та вибір компонентів електромеханічної системи конвеєра.

РОЗДІЛ 2. ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

2.1 Кінематична схема конвеєра. Тяговий розрахунок

Тяговий розрахунок конвеєра виконаний по методиці, наведеній в довіднику [1].

Розрахувати стрічковий конвеєр, призначений для переміщення рядового середньо кускового кам'яного вугілля. Конвеєр горизонтальний, розвантаження фронтальне, через двобарабанний скидаючий візок. Час роботи конвеєра не перевищує 12-13 годин на добу. Конвеєр розташований у закритому приміщенні з середніми умовами експлуатації.

Розрахункова продуктивність $Q = 900 \text{ т / год.}$

Розрахункова схема конвеєра зображена на рис. 2.1, його параметри приведені в табл. 2.1.

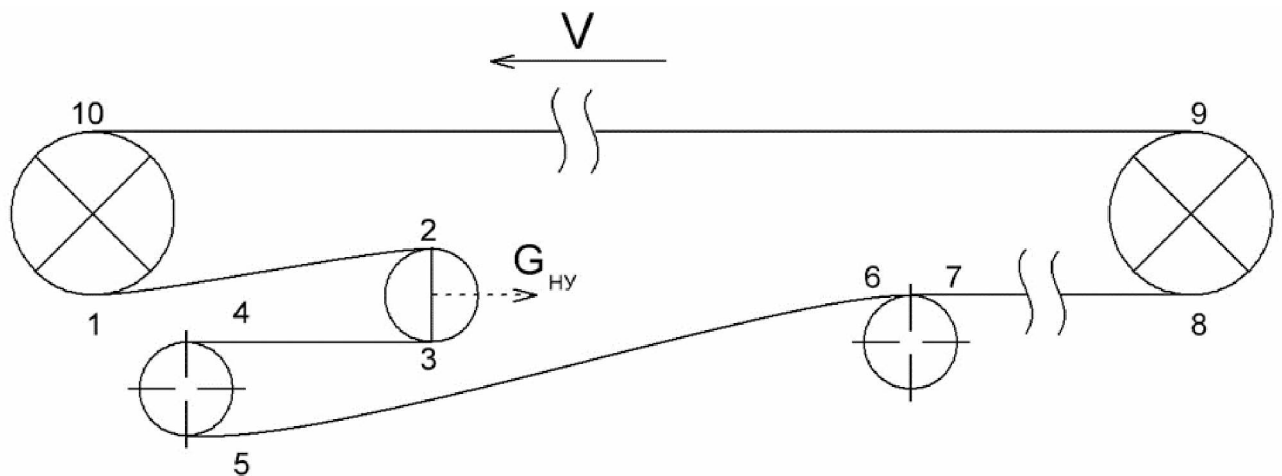


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема стрічкового конвеєра

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку

Параметри конвеєра								
Q, т/год	v, м/с	L ₁₂ , м	L ₃₋₄ , м	L ₅₋₆ , м	L ₇₋₈ , м	L ₉₋₁₀ , м	α _п , °	α _н , °
900	1,5	5	4	70	430	500	180	210

У приводного барабану встановлений відхиляючий барабан, для збільшення куту обхвату стрічки. На перегині нижньої гілки стрічки розміщений поворотний барабан. Середній розмір фракції вантажу $a' = 160 \text{ мм}$, насипність вантажу складає $\rho = 1,2 \text{ т / м}^3$.

Привод конвеєра – однобарабанний. Барабан футерований.

У приводного барабану встановлений відхиляючий барабан, для збільшення куту захвату стрічки, на перегині нижньої гілки стрічки знаходиться поворотний барабан, а на перегині верхньої гілки передбачена роликова батарея. На верхній гілці стрічки встановлені трироликові опори, кут нахилу бокових роликів яких складає $\alpha_{\text{жс}} = 30^\circ$.

Ширину стрічки знайдемо по формулі:

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{k_n \cdot v \cdot \rho \cdot k_\beta}} + 0,05 \right) = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{900}{615 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 0,95}} + 0,05 \right) = 1,07 \text{ м}$$

де k_n – коефіцієнт продуктивності, $k_n = 615$;

Q – продуктивність конвеєра, $Q = 900 \text{ т / год}$;

v – швидкість переміщення стрічки, $v = 1,5 \text{ м / с}$;

k_β – коефіцієнт зменшення перерізу вантажу на похилому конвеєрі, $k_\beta = 0,95$;

ρ – щільність насипного вантажу, $\rho = 1,2 \text{ т / м}^3$.

Зробимо перевірку вибраної ширини стрічки за умовами розміщення шматків вугілля, за виразом:

$$B_{розр} \geq X \cdot a' + 200 = 2 \cdot 160 + 200 = 520 < 1200 \text{ мм};$$

де a' – найбільший розмір середніх кусків вантажу, мм;

X – коефіцієнт вантажу, $X = 2$ – для рядового, $X = 3$ – для сортового вантажу.

Приймаємо стандартну швидкість руху конвежної стрічки $v = 1.5$ м/с [1].

Діаметр роликів приймемо рівним $d_p = 89$ мм.

Відстань між сусідніми роликівими опорами на робочій гілці конвеєра приймаємо рівними 1,3 м. На криволінійних відрізках робочої вітки встановлюємо три роликові опори з відстанню між ними 0,65 м. На неробочій гілці роликової опори встановимо на відстані 2 – 3 метри, ролики на віддаленні 2,6 м.

Тягове зусилля попередньо визначимо за виразом:

$$W_0 = k_0 \cdot L_g \left[(q + q_0 + q_p) \cdot w + (q_0 + q'_p) \cdot w \right]$$

де L_g – довжина проекції на горизонтальну площину вантажної вітки;

k_0 – коефіцієнт місцевих опорів, визначається за виразом:

$$k_0 = 1 + \frac{k'_p \cdot \Sigma a_i}{A'} = 1,5$$

де $k'_p = 1,1 \div 1,8$ – коефіцієнт, що враховує будову приводу, довжину й особливості траси конвеєра;

Σa_i – сума кутів загину стрічки по всій трасі;

$A' = 200 - 300$ – коефіцієнт, що характеризує тяжкість умов роботи (чим менші значення, тим важче умови).

q – лінійна маса переміщуваного вантажу, визначається за виразом:

$$q = \frac{Q}{3,6 \cdot v} = \frac{900}{3,6 \cdot 1,5} = 166,6 \text{ кг / м};$$

q_0 – лінійна маса стрічки, коли число прокладок $i_n = 4$:

$$q_0 = 1.1 \cdot 10^{-3} B \cdot (\delta_0 i + \delta_1 + \delta_2) = 1.1 \cdot 10^{-3} \cdot 1200 \cdot (4 \cdot 1,1 + 6 + 2) = 4 \text{ кг / м};$$

де $q_p = 21 \text{ кг / м}$ – лінійна маса частин, що обертають, роликів опор робочої гілки;

$q'_p = 9.2 \text{ кг / м}$ – лінійна маса частин, що обертають, роликів опор неробочої гілки;

$w = 0,025$; $w' = 0,022$ – коефіцієнти опорів для робочої та холостої віток, відповідно:

$$w_0 = 1.5 \cdot 9.81 \cdot 80 \cdot [(166.6 + 16.36 + 21) \cdot 0.025 + (16.36 + 9.2) \cdot 0,022] = 6664,5 \text{ Н}$$

Максимальний натяг стрічки обчислюється по формулі:

$$S_{\max} = k_3 \cdot W_0 \cdot \frac{e^{\mu \alpha}}{e^{\mu \alpha} - 1} = 1.3 \cdot 6664.5 \cdot \frac{4.33}{4.33 - 1} = 8665.8 \text{ Н}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу зчеплення між стрічкою та барабаном, $k_3 = 1,3$;

$e^{\mu \alpha} = 4,33$ – тяговий фактор [1].

Число прокладок тягового каркасу в стрічці:

$$i = \frac{S_{\max} \cdot C_n}{\sigma_p \cdot B} = \frac{8665,8 \cdot 15}{20 \cdot 1200} = 5,4 \approx 6$$

де C_n – замас міцності стрічки, $C_n = 15$;

σ_p – міцність при розриві однієї прокладки, $\sigma_p = 20 \text{ Н / мм}$.

Діаметр приводного барабану знайдемо за виразом:

$$D_n \geq k_1 \cdot k_2 \cdot i = 100 \cdot 1,5 \cdot 6 = 900 \text{ мм}$$

де k_1 – табличне значення, $k_1 = 100$;

k_2 – коефіцієнт, який враховує міцність прокладок, $k_1 = 100$;

i – кількість прокладок тягового каркасу в стрічці, $i = 6$.

Діаметри натяжного барабану:

$$D_{нат} \geq k_1 \cdot k_2 \cdot i \geq 80 \cdot 1,5 \cdot 6 = 720 \text{ мм}$$

де k_1 – табличне значення, $k_1 = 80$;

k_2 – коефіцієнт, який враховує міцність прокладок, $k_2 = 1,5$;

i – кількість прокладок тягового каркасу в стрічці, $i = 6$.

Із переліку стандартних діаметрів обираємо $D_n = 1000 \text{ мм}$.

Натяг стрічки в характерних точках траси:

– точка 1:

$$S_{36} = S_1 ;$$

– точка 2

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

– точка 3

$$\begin{aligned} S_3 &= S_2 + (q_0 + q'_p) \cdot g \cdot L_1 \cdot w' = 1,03 \cdot S_1 + (16,4 + 9,2) \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot 0,022 = \\ &= 1,03 \cdot I_1 + 27,6H; \end{aligned}$$

– точка 4

$$S_4 = S_3 \cdot K_{3-4} = (1,03 \cdot S_1 + 27,6) \cdot 1,03 = 1,06 \cdot S_1 + 29,3H$$

– точка 5

$$S_5 = S_4 + (q_0 + q_0') \cdot g \cdot L_2 \cdot w' - q_0 \cdot g \cdot H =$$

$$= 1.061 \cdot S_1 + 29.3 + (16.4 + 9.2) \cdot 9.81 \cdot 4 \cdot 0.022 - 13.64 \cdot 9.81 \cdot 20 = 1.06 \cdot S_1 - 51.3H$$

– точка 6

$$S_6 = S_5 \cdot K_{5-6} = (1.06 \cdot S_1 - 51.3) \cdot 1.03 = 1.09 \cdot S_1 - 56.1H$$

– точка 7

$$S_7 = S_6 + (q_0 - q_p) \cdot g \cdot L_3 \cdot w =$$

$$= 1.09 \cdot S_1 - 56.05(16.4 + 21) \cdot 9.81 \cdot 70 \cdot 0.025 =$$

$$= 1.092 \cdot S_1 - 697.4H;$$

– точка 8

$$S_8 = S_7 + W_3 = 1.09 \cdot S_1 - 697.4 + 2.8 = -700H$$

Опір у місці завантаження вантажу:

$$W_3 = \frac{Q \cdot f_{\pi} \cdot (v - v_1)}{3.6 \cdot (f_{\pi} - \operatorname{tg}(\beta) - n_{\sigma} \cdot f_{\sigma})} = \frac{900 \cdot 0.63 \cdot (1.5 - 0.8)}{3.6 \cdot (0.63 - \operatorname{tg}(0) - 0.25 \cdot 0.5)} = 18990H$$

де v_1 – швидкість руху вантажу в напрямку переміщення, $v_1 = 0.8 \text{ м / с}$;

Q – розрахункова або задана продуктивність, $Q = 900 \text{ т / год}$;

$n_{\sigma} = 0.25$ – коефіцієнт бокового тиску вантажу на направляючі борта;

f_{λ} – коефіцієнт тертя вантажу об стрічку, $f_{\lambda} = 0,63$;

f_{σ} – коефіцієнт тертя вантажу об борти завантажувального лотка, $f_{\sigma} = 0,5$.

– точка 9

$$\begin{aligned} S_9 &= S_8 + (q_0 + q_p + q) \cdot g \cdot L_4 \cdot w + (q_0 + q) \cdot g \cdot H = \\ &= 1,09 \cdot S_1 - 697,4 + (16,4 + 21 + 166,6) \cdot 9,81 \cdot 430 \cdot 0,025 + \\ &\quad + (16,4 + 166,6) \cdot 9,81 \cdot 20 = 1,09 \cdot S_1 + 58103 \text{ H}; \end{aligned}$$

– точка 10

$$S_{10} = S_9 \cdot K_{9-10} = (1,09 \cdot S_1 + 58103) \cdot 1,03 = 1,13 \cdot S_1 + 59846 \text{ H}$$

– точка 11

$$\begin{aligned} S_{11} &= S_{10} + (q_0 + q_p + q) \cdot g \cdot L_5 \cdot w = \\ &= 1,13 \cdot S_1 + 59846 + (16,4 + 21 + 166,6) \cdot 9,81 \cdot 500 \cdot 0,025 = 1,194 \cdot S_1 + 84857 \text{ H}; \end{aligned}$$

– точка 12

$$S_{12} = 1,19 \cdot S_1 + 101319 \text{ H}$$

Зусилля, що виникають у збігаючій і набігаючій гілках стрічки:

$$S_{1(зб)} = \frac{k_{ey} \cdot B_S}{e^{\mu\alpha} - k_{ey} \cdot A_S} = \frac{1,3 \cdot 101,3}{4,33 - 1,3 \cdot 1,19} = \frac{131,7}{2,83} = 46,5 \text{ кН};$$

$$S_{12} = S_{36} \cdot \frac{e^{\mu\alpha}}{k_{ey}} = 46,5 \cdot \frac{4,3}{1,3} = 151,4 \text{ кН}$$

Визначимо натяг стрічки в усіх характерних точках:

$$S_{36} = S_1 = 46.5 \text{ кН};$$

$$S_2 = 1.03 \cdot 46.5 = 47.8 \text{ кН};$$

$$S_3 = 47,8 + 0,00276 = 47,9 \text{ кН};$$

$$S_4 = (47.8 + 0.00293) \cdot 1.03 = 49.3 \text{ кН};$$

$$S_5 = (1.06 \cdot 46.5) - 0.00513 = 49.33 \text{ кН};$$

$$S_6 = 1.09 \cdot 46.5 - 0.0056 = 50.8 \text{ кН};$$

$$S_7 = 1.09 \cdot 46.5 - 0.697 = 50.08 \text{ кН};$$

$$S_8 = 1.09 \cdot 46.5 - 0.7 = 50.1 \text{ кН};$$

$$S_9 = 1.09 \cdot 46.5 + 58.1 = 108.8 \text{ кН};$$

$$S_{10} = 1.13 \cdot 46.5 + 59.85 = 112.16 \text{ кН};$$

$$S_{11} = 1.13 \cdot 46.5 + 84.86 = 137.17 \text{ кН};$$

$$S_{12} = 1.19 \cdot 46.5 + 101.32 = 156.8 \text{ кН}.$$

Користуючись отриманими значеннями, побудуємо діаграму натягу стрічки конвеєра у характерних точках.

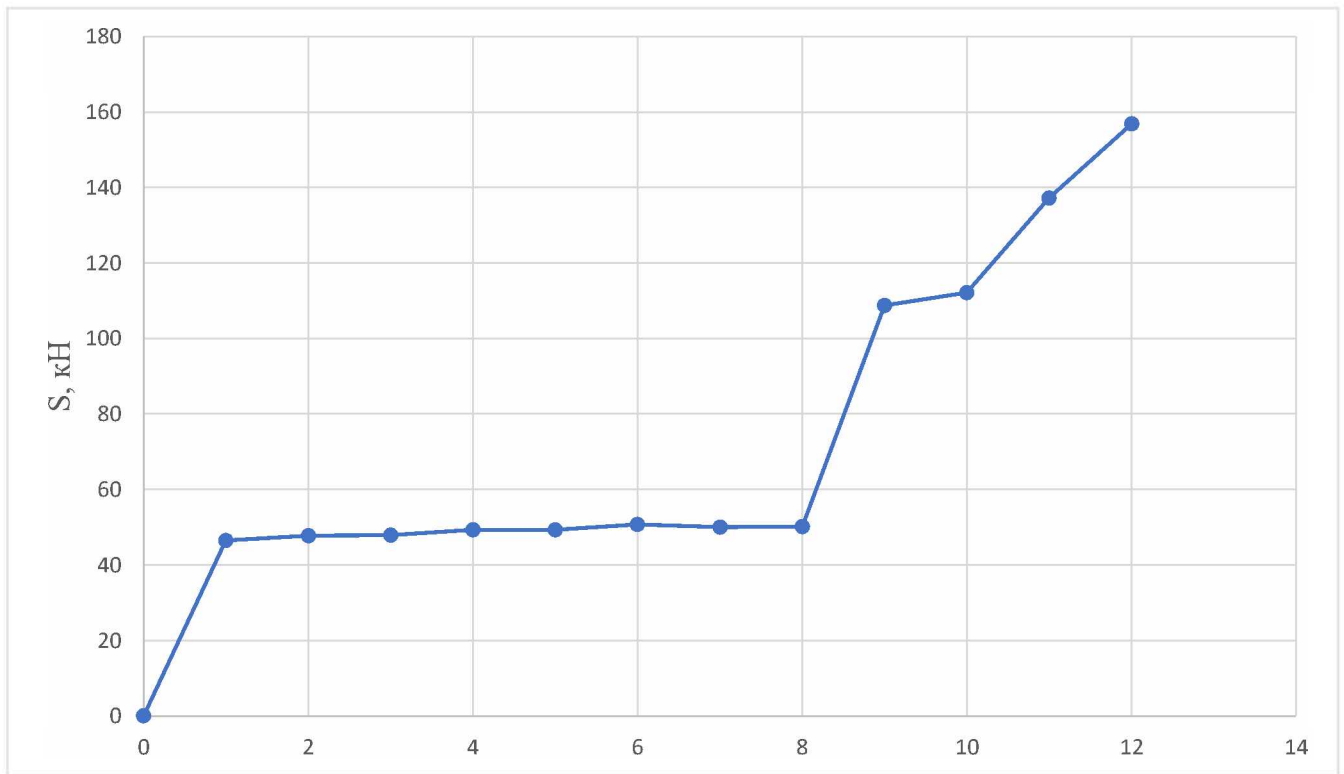


Рисунок 2.2 – Діаграма натягу стрічки конвеєра в характерних точках

Мінімальне значення натягу стрічки з умов забезпечення допустимої стріли провисання стрічки на вантажній гілці:

$$S_{\min}^{\text{вант}} \geq K_1 \cdot (q_0 + q) \cdot g \cdot l_p \cdot \cos \beta = 8 \cdot (16.4 + 166.6) \cdot 9.81 \cdot 1.3 \cdot 0.8 \cdot \cos(0) = 13427 \text{ H};$$

де K_1 – коефіцієнт, що залежить від загальної довжини конвеєра, для конвеєра довжиною більше ніж 100 метрів, $K_1 = 8$;

Для неробочої вітки:

$$S_{\min}^x \geq K_1 \cdot q_0 \cdot g \cdot l'_p \cdot \cos \beta = 8 \cdot 13.6 \cdot 9.81 \cdot 1.3 \cdot \cos(0) = 1226 \text{ H};$$

Мінімальне значення натягу неробочої вітки конвеєра $S_3 = 47.59 \text{ кН}$, яке перевищує мінімально допустимого натягу стрічки на неробочій вітці.

Фактичний запас стрічки по міцності:

$$C_n = \frac{B \cdot i_n \cdot \sigma_p}{S_{наб}} = \frac{1200 \cdot 6 \cdot 100}{156840} = 4,5$$

де B – ширина стрічки конвеєра, $B = 1200 \text{ мм}$;

i_n – кількість прокладок тягового каркасу в стрічці, $i_n = 6$;

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

Тягове зусилля на приводному барабані:

$$W_0 = S_{наб} - S_{зб} = 156,8 - 46,5 = 110,3 \text{ кН};$$

2.2 Вибір приводного двигуна

Потужність приводного двигуна конвеєра:

$$P_{дв} = \frac{k_3 \cdot W_0 \cdot v}{\eta_0} = \frac{1,1 \cdot 110,3 \cdot 1,5}{0,92} = 197,9 \text{ кВт}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, $k_3 = 1,1$;

v – фактична швидкість руху стрічки конвеєра, $v = 1,5$;

η_0 – ККД привода з урахуванням втрат на приводному барабані, $\eta_0 = 0,92$.

Вибираємо двигун 4А355М6УЗ, паспортні дані якого вказані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Паспортні дані двигуна 4A355M6У3

Номінальна потужність	$P_n = 200 \text{ (кВ)}$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_n = 380 \text{ (В)}$
Номінальна швидкість	$n_n = 1000 \text{ (об/хв)}$
Число пар полюсів	3
Момент інерції	8.8 кг/м^2
Коефіцієнт корисної дії	0,92
Перевантажувальна здатність	2,2
Номінальне ковзання	0,02
Критичне ковзання	0,83
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ (Гц)}$

Кутова швидкість обертання ротору двигуна:

$$\omega_{\partial\partial} = \frac{\pi \cdot n_{\partial\partial}}{30} = \frac{3,14 \cdot 970}{30} = 101,53 \text{ рад / с}$$

Момент на валу двигуна:

$$M_{\partial\partial} = \frac{P_n}{\omega_{\partial\partial}} = \frac{200 \cdot 10^3}{101,53} = 1970 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент:

$$M_n = 2,2 \cdot M_{\partial\partial} = 2,2 \cdot 1970 = 4335 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.3 Узгодження швидкості двигуна та стрічки. Вибір редуктора

З'єднання валів двигуна та редуктора відбувається через муфту. Обираємо МУВП №1 із гальмівним шківом, зі здатністю передавати момент $2000H \cdot m$ та моментом інерції $J = 8,6 \text{ кг} \cdot m^2$.

Частота обертання валу приводного барабана:

$$n_{\phi} = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D_n} = \frac{60 \cdot 1,5}{3,14 \cdot 0,63} = 45,7 \text{ об} / \text{хв};$$

Необхідне передатне число приводу:

$$i_0 = \frac{n_{\partial \partial}}{n_{\phi}} = \frac{970}{45,7} = 21,2;$$

Виходячи з розрахункового передатного числа та потужності приводу, приймаємо до встановлення редуктор Ц2-315 з передатним числом $i = 22$.

Фактична швидкість руху стрічки:

$$v_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_n \cdot n_{\partial \partial}}{60 \cdot i_p} = \frac{3,14 \cdot 0,63 \cdot 970}{60 \cdot 22} = \frac{1919}{1320} = 1,47 \text{ м} / \text{с};$$

Фактична продуктивність конвеєра розраховується за виразом:

$$\begin{aligned} Q_{\phi} &= k_n \cdot k_{\beta} \cdot (0,9 \cdot B - 0,05)^2 \cdot v_{\phi} \cdot p = 650 \cdot 0,95 \cdot (0,9 \cdot 1,2 - 0,05)^2 \cdot 1,47 \cdot 0,95 = \\ &= 915 \text{ т} / \text{год}; \end{aligned}$$

Сила опору руху стрічки під час пуску:

$$W_{cm.n} = k_{nc} \cdot (W_0 - q \cdot g \cdot H) + q \cdot g \cdot H = 1,2 \cdot (34937 - 166,6 \cdot 9,81 \cdot 20) + 166,6 \cdot 9,81 \cdot 20 = 35390 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Статичний момент під час пуску:

$$M_{c.n} = \frac{W_{cm.n} \cdot D_n}{2 \cdot i_p \cdot \eta_0} = \frac{35390 \cdot 0,63}{2 \cdot 22 \cdot 0,95} = 533,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Тривалість пуску:

$$t_n = \frac{J_0 \cdot \omega_{\partial\partial}}{(M_{\partial\partial} - M_{cm.n}) \cdot k_y} = \frac{12,5 \cdot 101,53}{(4335 - 533,3)} = 0,333 \text{ с};$$

де J_0 – приведений момент інерції приводу

$$J_0 = \frac{(2 \cdot q_0 + q)(1 + k_u) \cdot L \cdot D_n^2}{4 \cdot u_\phi^2 \cdot \eta_0} + (1 + \psi) \cdot (J_p + J_m) = \frac{(2 \cdot 16,4 + 166,6) \cdot (1 + 0,06) \cdot 220 \cdot 0,63^2}{4 \cdot 22^2 \cdot 0,92} + (1 + 0,15) \cdot (1,25 + 0,6) = 12,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Гальмівний момент на валу ротора двигуна, що обмежує зворотний рух стрічки зумовлений силою тяжіння вантажу при виключенні струму:

$$M_{z1} = \left[q \cdot g \cdot H - c_0 \cdot (W_0 - q \cdot g \cdot H) \right] \cdot \frac{D_n}{2 \cdot u_\phi} \eta_0 = \left[166,6 \cdot 9,81 \cdot 20 - 0,5 \cdot (34936 - (166,6 \cdot 9,81 \cdot 20)) \right] \cdot \frac{0,63}{2 \cdot 22} \cdot 0,92 = 410 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Значення гальмівного моменту на валу двигуна для обмеження вибігу стрічки конвеєра після вимикання електродвигуна:

$$\begin{aligned}
M_{z2} &= \frac{(2 \cdot q_0 + q)(1 + k_u) \cdot L \cdot D_n^2 \cdot \eta_0 \cdot \omega_0}{4 \cdot u_\phi^2 \cdot t_z} - \left[q \cdot g \cdot H + c_0 \cdot (W_0 - q \cdot g \cdot H) \right] \cdot \frac{D_n}{2 \cdot u_\phi} \cdot \eta_0 = \\
&= \frac{(2 \cdot 16.4 + 166.6) \cdot (1 + 0.08) \cdot 220 \cdot 0.63^2 \cdot 0.92 \cdot 104.67}{4 \cdot 22^2 \cdot 2} - \\
&- \left[166.6 \cdot 9.81 \cdot 20 + 0.5 \cdot (34936 - 166.6 \cdot 9.81 \cdot 20) \right] \cdot \frac{0.63}{2 \cdot 22} \cdot 0.92 = -439 \text{ Н} \cdot \text{м}
\end{aligned}$$

Вибіг стрічки після вимкнення двигуна присутній. Гальмівний пристрій необхідний для додаткового гальмування та запобігання зворотного руху стрічки з вантажем. Гальмо обирається з коефіцієнтом запасу гальмування $k_z = 1,5 - 1,75$.

2.4 Висновки за розділом

За результатами тягового розрахунку конвеєра був обраний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором модель 4A355M6Y3 потужністю 200 кВт. Виконано розрахунок і побудова діаграми натягу стрічки вздовж замкненого контуру конвеєрної траси. Отримані результати дають змогу виконати розрахунок елементів електромеханічної системи для синтезу систем керування.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

Параметри Г-подібної схеми заміщення двигуна 4A355M6У3, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 –Параметри Г-подібної схеми заміщення (в. о.)

Індуктивний опір розсіювання статора	$X_1' = 0.091$
Активний опір статора	$R_1' = 0.018$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$X_2'' = 0.13$
Приведений активний опір ротора	$R_2'' = 0.014$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$x_\mu = 3.6$

Кутова частота напруги живлення статора:

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,16 \text{ рад} / \text{с}.$$

Синхронна швидкість ротора:

$$\omega_0 = \frac{\omega_c}{p_n} = \frac{314,16}{3} = 104,7 \text{ рад} / \text{с}.$$

Номінальна кутова швидкість:

$$\omega_n = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,02) \cdot 104,7 = 102,6 \text{ рад} / \text{с}.$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{200 \cdot 10^3}{102,6} = 1949 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичний момент двигуна за перевантажувальною здатністю:

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2,2 \cdot 1949 = 4288 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номінальні фазна напруга та струм статора:

$$U_{\phi n} = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В};$$

$$I_{\phi n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{\phi n} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{200 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,92 \cdot 0,9} = 549 \text{ А}$$

Амплітудні значення напруги і струму статора:

$$U_{\phi na} = \sqrt{2} \cdot U_{\phi n} = \sqrt{2} \cdot 220 = 310 \text{ В}$$

$$I_{\phi na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 549 = 768,5 \text{ А}$$

Амплітудне значення потокозчеплення двигуна в режимі холостого хода:

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{\phi na}}{\omega_c} = \frac{310}{314} = 0,98 \text{ Вб}$$

Математична модель двигуна, яка отримана для Т-подібної схеми заміщення, приведена на рис. 3.1, проте приведені каталожні параметри

відповідають Г-подібній схемі заміщення, зображених на рис. 3.2. Перерахунок значень параметрів з Г-подібної схеми в Т-подібну проводять за методикою, що описана в [8]:

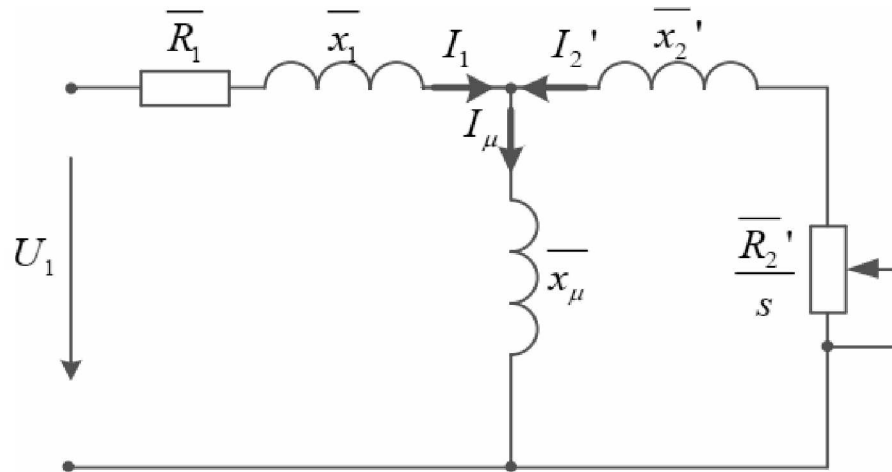


Рисунок 3.1 – Т-подібна схема заміщення АД

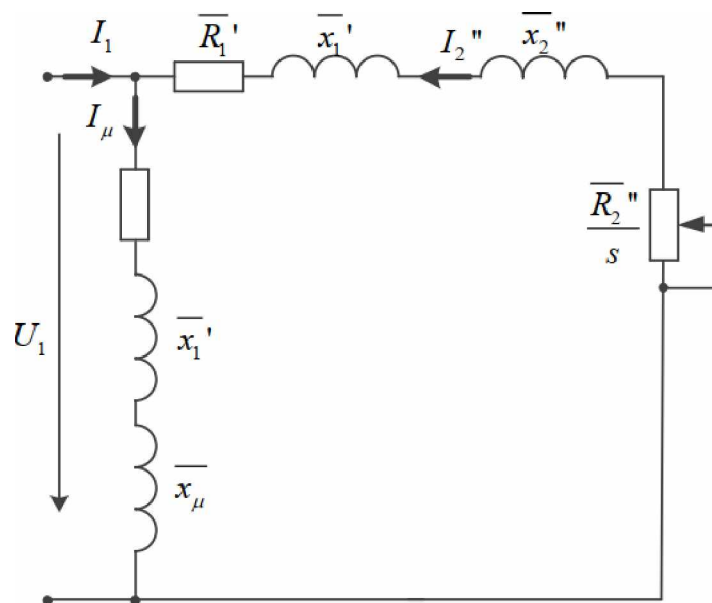


Рисунок 3.2 – Г-подібна схема заміщення АД

Коефіцієнт для приведення параметрів між Т- та Г-подібною схемами заміщення:

$$c_1 = \frac{\overline{x}_1' \cdot \overline{x}_\mu}{2 \cdot \overline{x}_\mu} = \frac{3.6 + \sqrt{12.96 + 4 \cdot 0.091 \cdot 3.6}}{2 \cdot 3.6} = 1.18.$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення:

– у відносних одиницях:

$$\bar{x}_1 = \frac{\bar{x}'_1}{c_1} = \frac{0,091}{1,18} = 0,077;$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\bar{x}'_2}{c_1^2} = \frac{0,13}{1,18^2} = 0,093;$$

$$\bar{R}_1 = \frac{\bar{R}'_1}{c_1} = \frac{0,018}{1,18} = 0,015;$$

$$\bar{R}_2 = \frac{\bar{R}'_2}{c_1^2} = \frac{0,014}{1,02^2} = 0,01.$$

– в абсолютних одиницях:

$$x_1 = \bar{x}_1 \cdot \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = 0,077 \cdot \frac{220}{549} = 0,03 \text{ Ом};$$

$$R_1 = \bar{R}_1 \cdot \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = 0,015 \cdot \frac{220}{549} = 0,006 \text{ Ом};$$

$$x'_2 = \bar{x}'_2 \cdot \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = 0,093 \cdot \frac{220}{549} = 0,037 \text{ Ом};$$

$$R'_2 = \bar{R}'_2 \cdot \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = 0,01 \cdot \frac{220}{549} = 0,004 \text{ Ом};$$

$$x_\mu = \bar{x}_\mu \cdot \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = 3,6 \cdot \frac{220}{549} = 1,44 \text{ Ом}.$$

Індуктивності розсіювання статорного і роторного кола:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_c} = \frac{0,03}{314} = 0,000096 \text{ Гн};$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x'_2}{\omega_c} = \frac{0,037}{314} = 0,000117 \text{ Гн}.$$

Індуктивність контуру намагнічування:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_c} = \frac{1,44}{314} = 0.0046 \text{ Гн}.$$

Індуктивності статорного та роторного кола:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.0046 + 0.000098 = 0.00468 \text{ Гн};$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.0046 + 0.000117 = 0.00472 \text{ Гн}.$$

3.2 Вибір перетворювача частоти

Беручи до уваги отримані параметри асинхронного електродвигуна та технологічного режиму конвеєра, обираємо перетворювач частоти.

Перетворювач частоти — це пристрій, який трансформує вхідну синусоїдальну напругу фіксованої частоти та амплітуди в вихідну імпульсну напругу змінної частоти та амплітуди, використовуючи широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Цей процес сприяє формуванню в обмотках двигуна синусоїдального струму.

Таким чином, плавно збільшуючи частоту та амплітуду напруги, що надходить до статорних обмоток асинхронного двигуна, можна забезпечити плавну зміну швидкості обертання валу ротора. Під час вибору перетворювача

частоти, важливим є спочатку врахування струму, а потім визначення потужності.[6]

Таблиця 3.4 – Параметри перетворювача частоти ES025-04-3800A

Потужність	$P_n = 200$ (кВт)
Напруга живлення	$U_n = 380$ (В)
Номінальний струм	$I_n = 380$ (А)
$M_{max}(1 \text{ хв})$	150 %
Струм протягом 1 хв	363,5 (А)
Максимальна частота на виході	400 (Гц)
Габарити перетворювача	1616x750x400 мм
Вага	220 (кг)
Скалярне керування	Наявне
Векторне керування з ЗЗ	Наявне
Векторне керування без ЗЗ	Наявне
Наявність ПІД регулятора	Наявне

Даний перетворювач підходить систем безперервної дії таких, як стрічкові конвеєри.

3.3 Вибір автоматичного вимикача

Автомати (або автоматичні вимикачі) представляють собою електричні пристрої, які використовуються для захисту електричних кіл від струмів, що виникають при коротких замиканнях, а також від непередбачених ситуацій, що можуть виникнути при перевантаженні в електромережі.

Таблиця 3.5 – Параметри автоматичного вимикача T5N 630 TMA 3p FF36 кА

Номінальний струм	$I_n = 360 \text{ (A)}$
Типу напруги	АС
Відмикаюча здатність	36 (кА)
Кількість полюсів	3

3.4 Синтез регуляторів

Структурна схема об'єкта регулювання та передавальні функції окремих ланок.

У випадку недостатньої насиченості сталі асинхронного двигуна та симетричності фаз, найкращим чином підходить еквівалентна двофазна модель асинхронного двигуна у векторній формі. Проте найбільш спрощена модель двигуна може бути отримати при лінеаризації робочої ділянки механічної характеристики. Передавальна функція регульованого двигуна при цьому, отримає наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{M_c}{\omega_0 - \omega} = \frac{\beta}{T_e \cdot p + 1},$$

де β – модуль жорсткості;

T_e – електромагнітна постійна часу двигуна.

У даному випадку, основним параметром для двигуна є обертовий момент на його валу, іншими словами двигун виступає джерелом моменту. Момент інерції самого двигуна у цьому контексті вважається частиною передавального пристрою ЕП. Це дозволяє забезпечити полегшити вирішення математичних

моделей асинхронного двигуна та використовуваного технологічного об'єкта, особливо для систем із багатьма масами. Якщо включити в передатну функцію регульованого двигуна ланку, що пов'язана керуючим впливом, у нашому випадку частотою, а також передатну функцію механічної частини у вигляді одномасової схеми, то отримаємо структурну схему двигуна.

Передатна функція перетворювача частоти може бути представлена у такому вигляді:

$$W_{nc}(p) = \frac{K_{nc}}{T_{\mu} \cdot p + 1}.$$

Виходячи з вищевказаного, складемо структурну схему об'єкта регулювання контуру швидкості рис. 3.3.

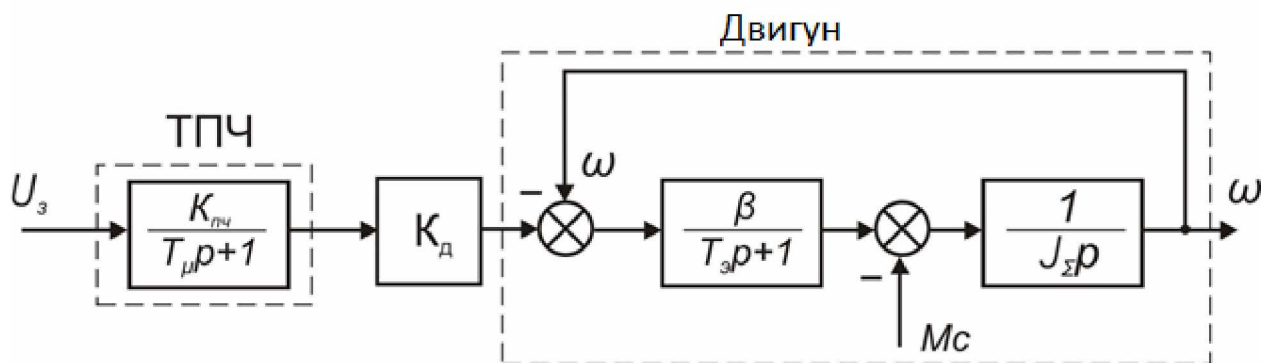


Рисунок 3.3. – Структурна схема регульованого об'єкта

Розрахунок параметрів, передавальних функцій попередньої структурної схеми:

1) Передатна функція частотного перетворювача:

$$W_{nc}(p) = \frac{K_{nc}}{T_{\mu} \cdot p + 1} = \frac{5}{0,01 \cdot p + 1},$$

де K_{nc} – коефіцієнт підсилення перетворювача, $K_{nc} = \frac{f_n}{U_3} = \frac{50}{10} = 5$;

T_{μ} – стала часу перетворювача частоти $T_{\mu} = 0,01$.

2) Електромагнітна стала часу:

$$T_e = \frac{1}{\omega_c \cdot s_k} = \frac{1}{314 \cdot 0.083} = 0.038.$$

3) Модуль жорсткості:

$$\beta = \frac{M_n}{\omega_{xx} - \omega_n} = \frac{1949}{104,7 - 102,6} = 928,2.$$

4) Електромеханічна стала часу

$$T_m = \frac{J_\Sigma}{\beta} = \frac{10.2}{928.2} = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

5) Статичний момента на валу двигуна

$$M_c = 1,7 \cdot M_n = 1,7 \cdot 1949 = 3313,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

6) Коефіцієнт передачі двигуна

$$K_{\partial\partial} = \frac{2 \cdot \pi}{p_n} = \frac{2 \cdot 3.14}{3} = 2,09.$$

Для отримання необхідних динамічних властивостей, організуємо контур регулювання зі зворотнім зв'язком за швидкістю.

1) Коефіцієнт зворотнього зв'язку за швидкістю:

$$K_\omega = \frac{U_c}{1,3 \cdot \omega_i} = \frac{10}{1,3 \cdot 102,6} = 0,07 \text{ В} \cdot \text{с.}$$

Отже, узагальнена структурна схема частотного регулювання матиме вигляд представлений на рис. 3.4:

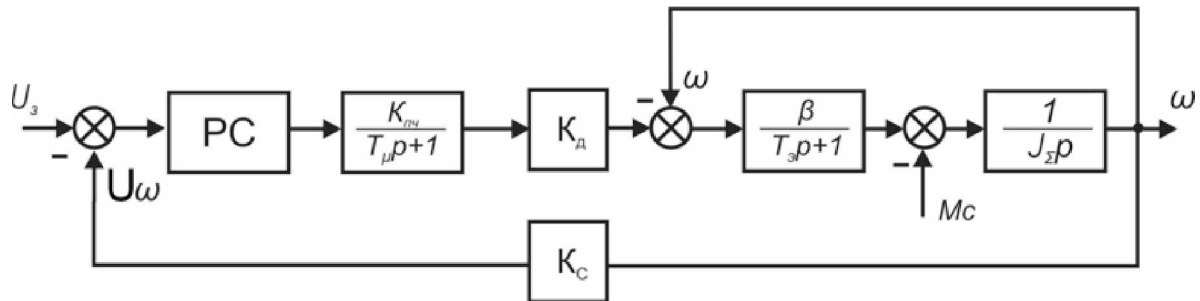


Рисунок 3.4. – Структурна схема частотного регулювання зі зворотнім зв'язком за швидкістю

2) Передатна функція двигуна:

$$\begin{aligned}
 W_o(p) &= \frac{\frac{\beta \cdot K_o}{J_\Sigma \cdot p \cdot (T_e \cdot p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_\Sigma \cdot p \cdot (T_e \cdot p + 1)}} = \frac{\beta \cdot K_o}{J_\Sigma \cdot T_e \cdot p^2 + J_\Sigma \cdot p + \beta} = \\
 &= \frac{K_o}{T_M \cdot T_e \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1} = \frac{2,1}{0,025 \cdot 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot p^2 + 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1} = \\
 &= \frac{2,1}{0,475 \cdot 10^{-3} \cdot p^2 + 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1}.
 \end{aligned}$$

Вигляд структурної схеми контуру регулювання швидкості представлений на рис. 3.5.

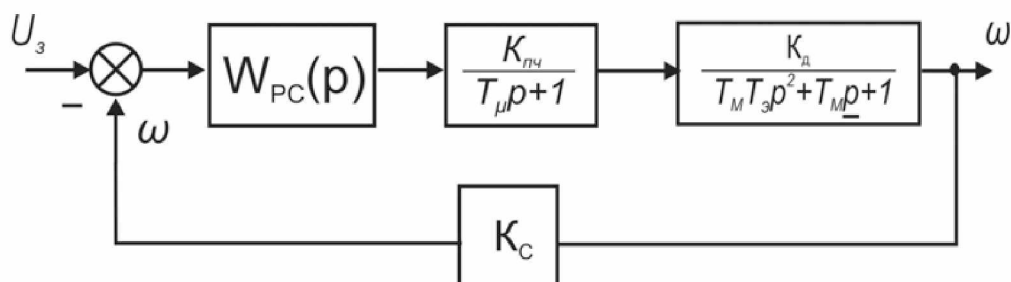


Рисунок 3.5 – Структурна схема контуру регулювання швидкості

3) Тоді передатна функція об'єкта регулювання за швидкістю:

$$\begin{aligned} W_{op}(p) &= \frac{K_I K_\partial}{(T_\mu \cdot p + 1) \cdot (T_m \cdot T_e \cdot p^2 + T_m \cdot p + 1)} = \\ &= \frac{5 \cdot 2,09}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,038 \cdot p^2 + 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)} = \\ &= \frac{10,45}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,475 \cdot 10^{-3} \cdot p^2 + 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)}. \end{aligned}$$

4) Передатна функція регулятора:

$$W_{pi}(p) = \frac{W_{рози}(p)}{W_{опи}(p)} = \frac{T_m T_e \cdot p^2 + T_m \cdot p + 1}{T_U \cdot p} = \frac{0,475 \cdot 10^{-3} p^2 + 1,09 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1}{0,00069 \cdot p},$$

де $T_U = a_c \cdot K_\omega \cdot K_i \cdot K_\partial \cdot T_m = 2 \cdot 0,07 \cdot 5 \cdot 2,09 \cdot 0,475 \cdot 10^{-3} = 0,00069 \text{ с}$.

Спростивши:

$$W_{pi}(p) = 0,69 \cdot p + 2,75 + \frac{1}{0,00069 \cdot p}.$$

3.5 Приведення моменту інерції електроприводу:

З попередніх розрахунків відомо, що:

$$J_\partial = 8,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, J_{\text{барабан}} = 8,13 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, J_{ред} = 1,76 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, i_p = 22.$$

1) Приведення до валу двигуна сумарного моменту інерції електроприводу J_Σ може бути виконане за формулою:

$$J_\Sigma = J_\partial + \sum_{i=2}^{i=n} \frac{J_i}{i_{1i}^2} + \sum_{j=1}^{j=k} m_j \rho_{1j}^2,$$

де ρ_{1j} – радіус приведення, $\rho_{1j} = \frac{v_i}{\omega_1} m$,

v – лінійна швидкість переміщення стрічки, м/с;

ω – кутова швидкість ротора двигуна, рад/с;

m_j – маса стрічки конвеєра з вантажем;

J_i – момент інерції редуктора;

i_{li} – передатне число редуктора.

2) Раніше було визначено, що лінійна маса стрічки дорівнює 16,4 кг/м.

Визначимо масу стрічки конвеєра для всієї траси:

$$m_0 = L_{\Sigma} \cdot q_0 = 1009 \cdot 16.4 = 16507.2 \text{ кг},$$

де $L_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 L_i = 5 + 4 + 70 + 430 + 500 = 1009 \text{ м}.$

3) Маса вантажу, що перебуває на робочій ділянці стрічки:

$$m_p = L_5 \cdot q = 500 \cdot 166,6 = 83300 \text{ кг} / \text{м},$$

4) Радіус приведення:

$$\rho = \frac{v}{\omega} = \frac{1.47}{101.5} = 0.014 \text{ м};$$

Тоді сумарний приведений до валу двигуна момент інерції конвеєра:

$$J_{\Sigma} = 8.8 + 1.76 + \frac{8.13}{22^2} + (99807.2 \cdot 0.014^2) = 30 \text{ кг} / \text{м}^2.$$

3.6 Висновки за розділом

Здійснено розрахунки параметрів асинхронного двигуна. Проведено синтез ПД-регулятора швидкості. Визначений сумарний приведений момент інерції конвеєра, приведений до валу двигуна. Отримані результати надають можливість сформулювати структуру системи керування та отримати його математичний опис.

4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КОНВЕСРА

Із рисунка 4.1 видно, що основою асинхронного електроприводу є перетворювач частоти, який об'єднує в собі перетворювальний і керуючий пристрій із класичного визначення електроприводу.

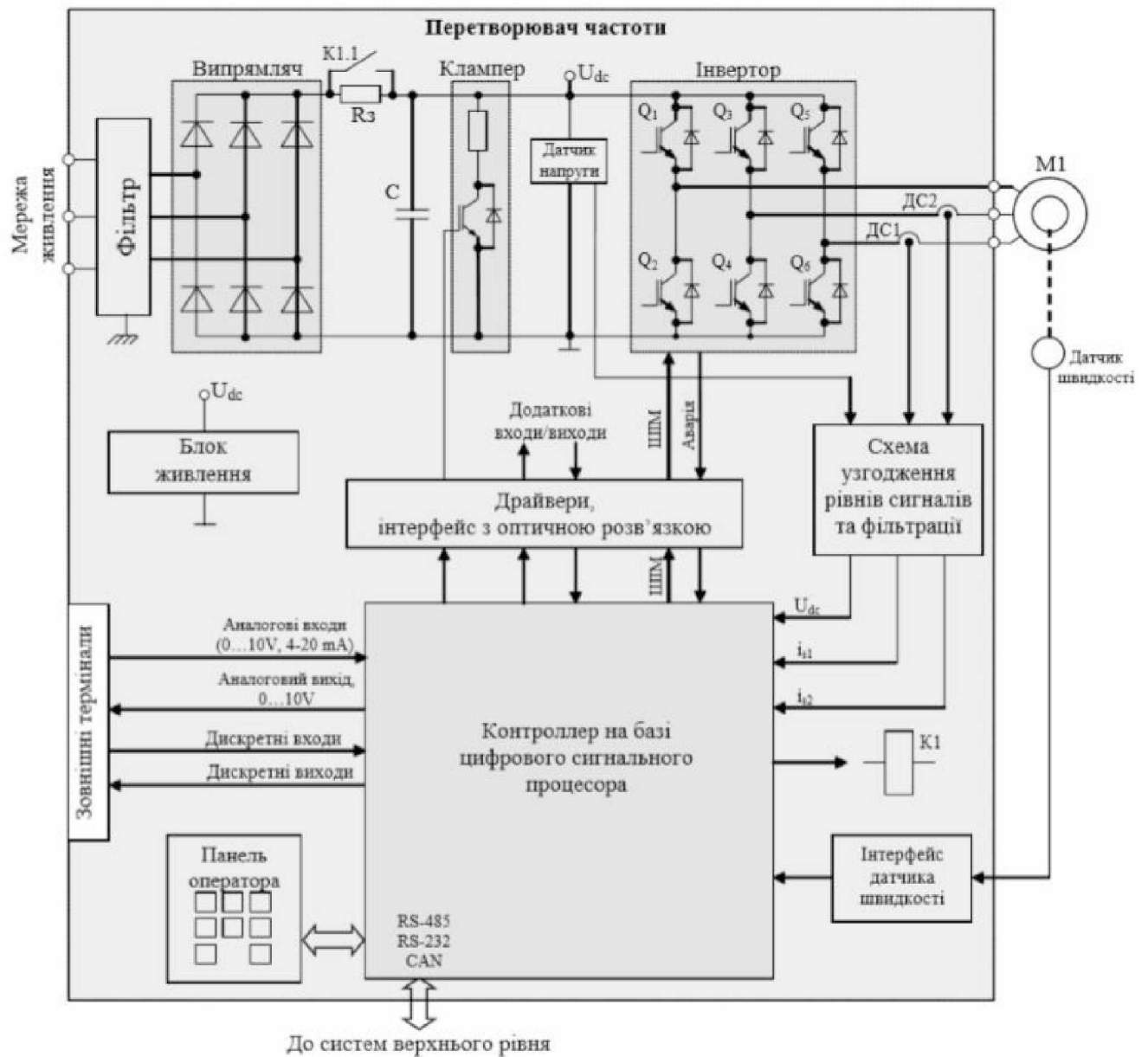


Рисунок 4.1. – Функціональна схема електроприводу ПЧ-АД

Наявність зворотних зв'язків обумовлює точність відпрацювання моменту та швидкості електроприводу.

4.1 Математичний опис моделі асинхронного двигуна у двофазній системі:

$$\dot{\theta} = \omega;$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J}(M - M_c);$$

$$M = \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{2} (\Psi_{2d} i_{1q} - \Psi_{2q} i_{1d});$$

$$\dot{i}_{1d} = -\gamma i_{1d} + \omega_0 i_{1q} + \alpha \beta \Psi_{2d} + \beta p_n \omega \Psi_{2q} + \frac{1}{\sigma} u_{1d};$$

$$\dot{i}_{1q} = -\gamma i_{1q} + \omega_0 i_{1d} + \alpha \beta \Psi_{2q} - \beta p_n \omega \Psi_{2d} + \frac{1}{\sigma} u_{1q};$$

$$\dot{\Psi}_{2d} = -\alpha \Psi_{2d} + (\omega_0 - p_n \omega) \Psi_{2q} + a L_m i_{1d};$$

$$\dot{\Psi}_{2q} = -\alpha \Psi_{2q} - (\omega_0 - p_n \omega) \Psi_{2d} + a L_m i_{1q};$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0, \varepsilon_0(0) = 0.$$

4.2 Алгоритм векторного керування асинхронного двигуна

Структура алгоритму прямого векторного керування АД складається з:

– спостерігача стану магнітного потоку:

–

$$\left| \dot{\hat{\Psi}} \right| = -\alpha \left| \hat{\Psi} \right| + \alpha L_m i_{1d};$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{i_{1q}}{\left| \hat{\Psi} \right|};$$

– регулятор магнітного потоку:

$$i_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m} \left(\alpha \Psi^* + \dot{\Psi}^* - k_\Psi \bar{\Psi} - x_\Psi \right);$$

$$\dot{x}_\Psi = k_{\Psi_i} \tilde{\Psi};$$

– регулятор струму по осі d:

$$u_{1d} = \sigma \left(\gamma i_{1d}^* - \omega_0 i_{1q} - \alpha \beta |\hat{\Psi}| + i_{1d}^* - k_{id} \dot{i}_d - x_d \right);$$

$$\dot{x}_d = k_{\tilde{i}_d} \tilde{i}_d;$$

$$i_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m} \left\{ \alpha \dot{\Psi}^* + \ddot{\Psi}^* - k_\Psi \left[-(\alpha + k_\Psi) \tilde{\Psi} + \alpha L_m \tilde{i}_d - x_\Psi \right] - \dot{x}_\Psi \right\};$$

– регулятор швидкості:

$$i_{1q}^* = \frac{1}{\mu \Psi^*} \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \tilde{M}_c + \dot{\omega}^* + v \omega^* \right);$$

$$\dot{\tilde{M}}_c = -k_{\omega_i} \tilde{\omega};$$

– модифікований регулятор струму по осі q:

$$u_{1q} = \sigma \left[\gamma i_{1q}^* + \omega_0 i_{1d} + \beta \omega p_n |\hat{\Psi}| + i_{1q}^* - k_{iq} \tilde{i}_q - x_q \right];$$

$$\dot{x}_q = k_{\tilde{i}_q} \tilde{i}_q;$$

$$\dot{i}_{1q}^* = \frac{1}{\mu \Psi^*} \left[-k_\omega \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \mu \Psi^* \tilde{i}_q \right) + \dot{\tilde{M}}_c + \ddot{\omega}^* + v \dot{\omega}^* \right];$$

де Ψ^* , Ψ^* , Ψ^* – завдання модуля вектора потокозчеплення ротора, його перша і друга похідні відповідно,

$\tilde{i}_d = i_{1d} - i_{1d}^*$ – похибка відпрацювання струму по осі (d),

$(k_i, k_{ii}) > 0$ – коефіцієнти пропорційної й інтегральної складових регуляторів струму,

$\omega^*, \dot{\omega}^*, \ddot{\omega}^*$ – завдання на кутову швидкість, перша і друга похідні відповідно,

$\tilde{\omega} = \omega - \omega^*$ – значення похибки відпрацювання кутової швидкості,

$(k_\omega, k_{\omega i}) > 0$ – коефіцієнти відповідно пропорційної та інтегральної складових регулятора швидкості;

$\tilde{i}_q = i_{1q} - i_{1q}^*$ – похибка відпрацювання струму по осі (q),

$\tilde{\Psi} = \Psi - \Psi^*$ – похибка відпрацювання оціненого потокозчеплення,

$(k_\Psi, k_{\Psi i}) > 0$ – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регулятора потокозчеплення.

Уточнену математичну модель перетворювача частоти для керування асинхронним двигуном каналами частоти та напруги статора зображена на рис. 4.2:

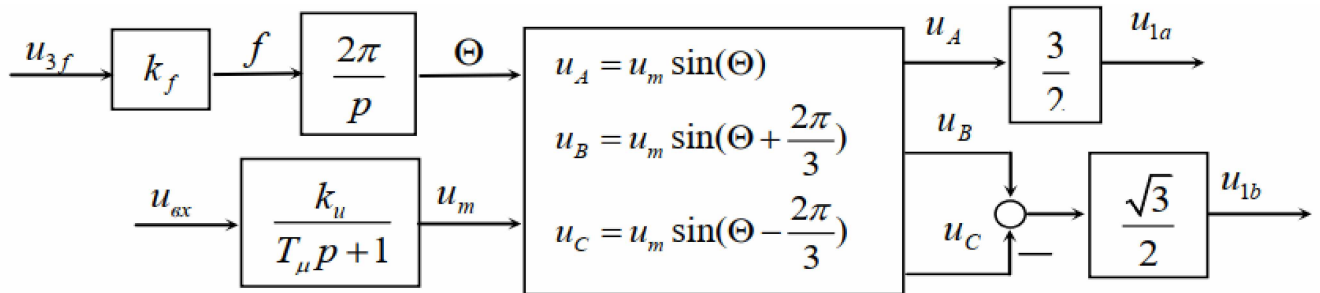


Рисунок 4.2. — Структурна схема перетворювача частоти

На рисунку 4.2 позначено: u_m – амплітуда напруги; t – час; u_A, u_B, u_C – фазні напруги статора; u_{1a}, u_{1b} – проєкції вектору напруги статора на координати системи a-b статора; k_f – коефіцієнт передачі по частоті напруги; k_u – коефіцієнт передачі по амплітуді напруги; T_μ – мала некомпенсована стала часу.

Коефіцієнти передачі перетворювача по частоті та напрузі:

$$k_f = \frac{f}{U_s} = \frac{50}{10} = 5; \quad k_u = \frac{u_{m \max}}{u_{zu \max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\phi n}}{10} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,1$$

Провівши поєднання системи диференціальних рівнянь АД з математичною моделлю ПЧ, отримаємо структурну схему рис. 4.3.

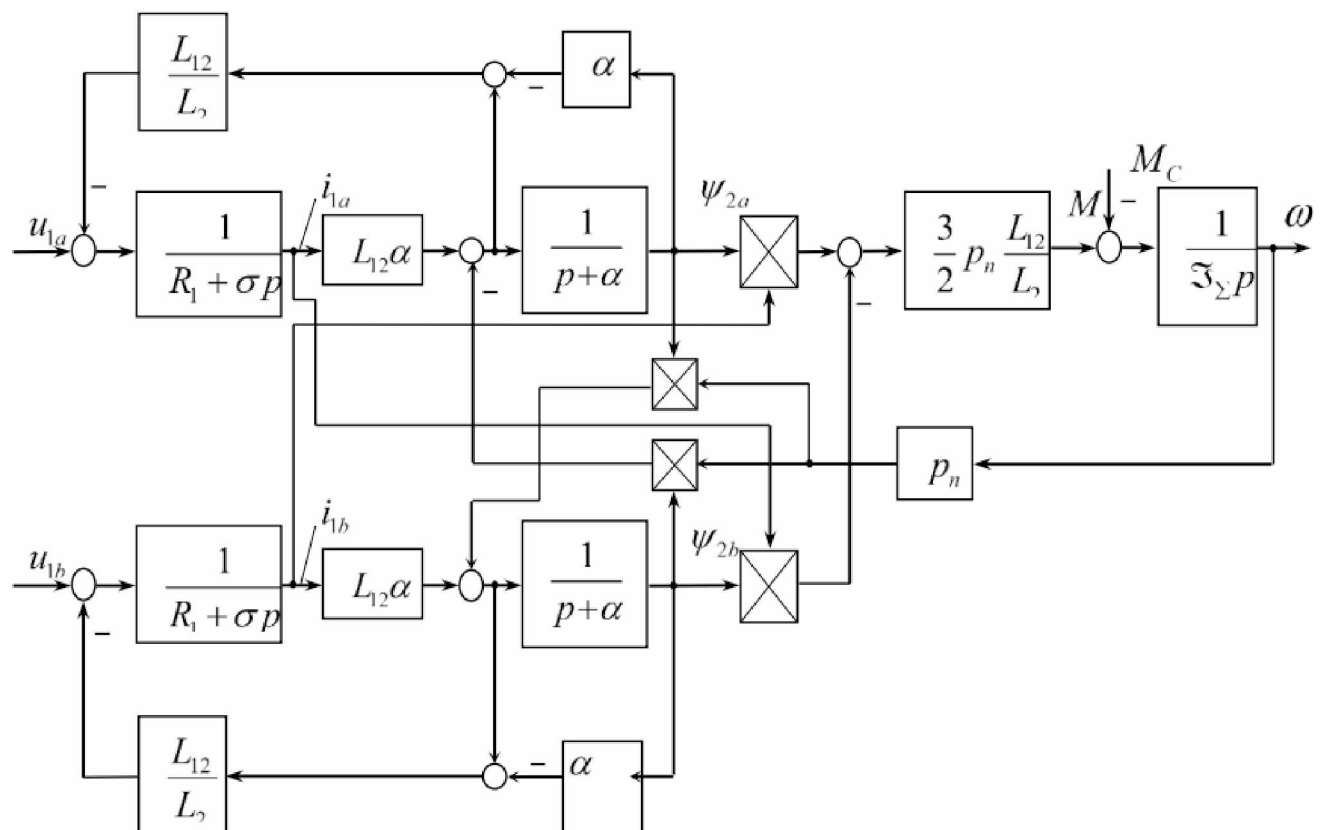


Рисунок 4.3 – Структурна схема асинхронного двигуна, описаного в а-в системі координат статора

4.3 Висновки за розділом

Визначена функціональна схема системи керування, проведений математичний опис. Складена система рівнянь, що описує асинхронний двигун. Представлена структурна схема на базі проведеного математичного опису перетворювача частоти, а також складений алгоритм керування. Отримані результати дають змогу сформувати модель для проведення досліджень динамічних процесів електроприводу стрічкового конвеєру.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТРІЧКОВОГО КОВЕЄРА. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ ДАНИХ

5.1 Математична модель для дослідження режимів роботи конвеєра

За математичним описом елементів системи електроприводу, використовуючи результати розрахунків із попередніх розділів на основі бібліотеки Simulink пакету прикладних програм MATLAB була зібрана модель для вивчення режимів роботи стрічкового конвеєра.

На рис. 5.1 приведена стандартна двофазна модель АД в системі координат a-b зібрана в середовищі Simulink MATLAB. Умовна електрична та механічна частина, а також зібрані у відповідні підсистеми. Сама модель є частиною системи векторного керування електроприводу, представленої на рис. 5.2. Тут присутні регулятори потокозчеплення струму за відповідними осями координат та швидкості. Деталізований вид цих компонентів представлений на рис. 5.3.

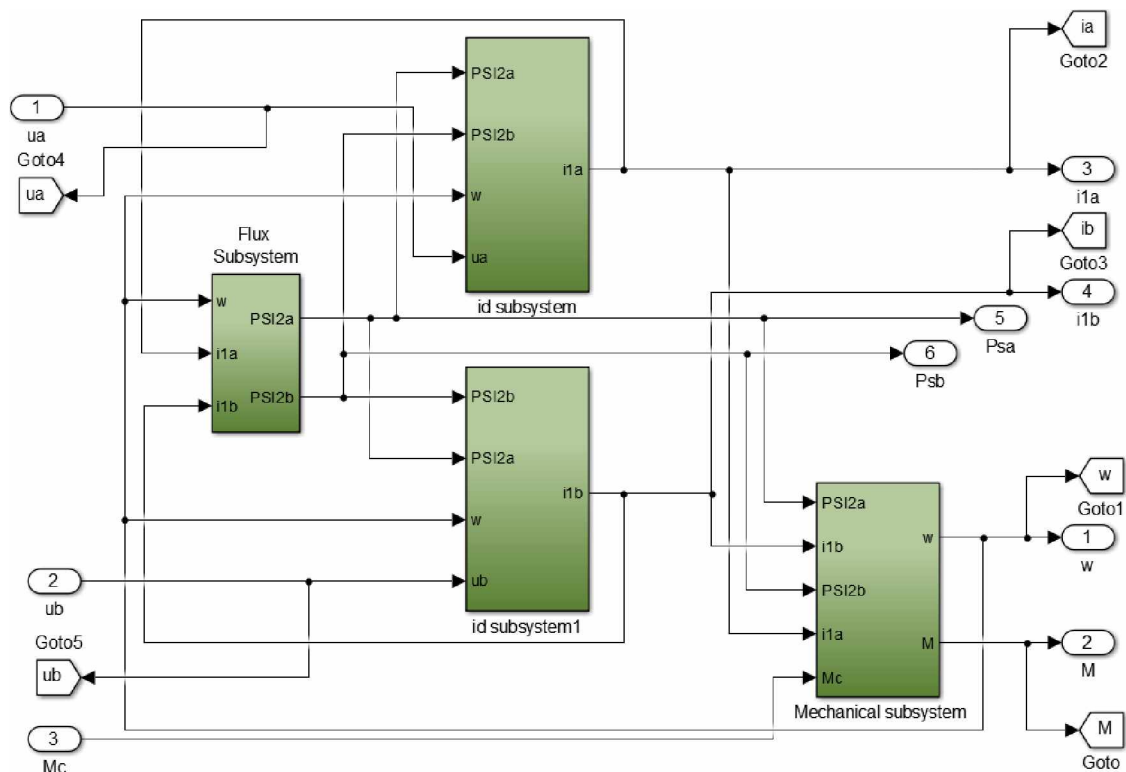


Рисунок 5.1 – Двофазна математична модель асинхронного двигуна описана в системі координат a-b зібрана в Simulink

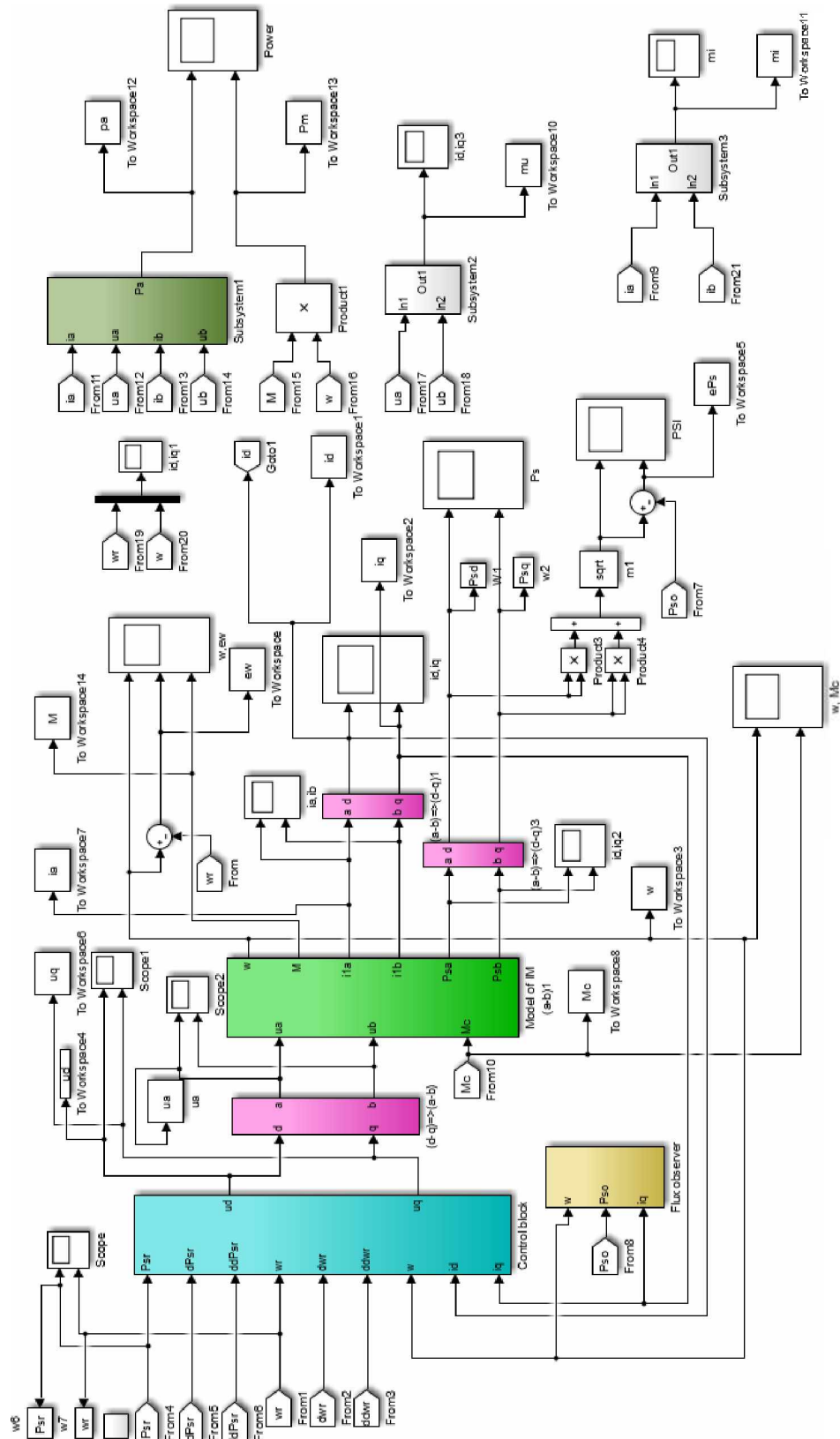


Рисунок 5.2 – Модель векторного керування в середовищі Simulink MATLAB

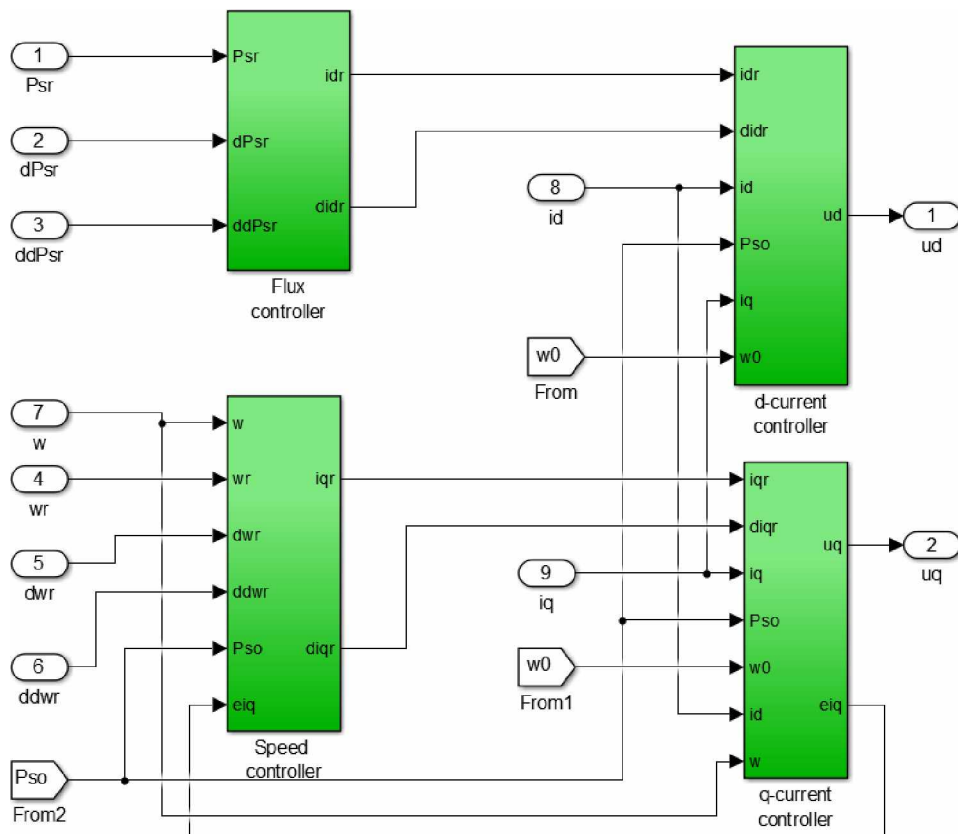


Рисунок 5.3 – Регулятори потокозчеплення, швидкості та складових струму по осях d, q в середовищі MATLAB

5.2 Дослідження динамічних режимів роботи конвеєра.

Програма роботи двигуна наступна:

Спочатку магнітна система двигуна збуджується до 0,98 Вб за 0,2 секунди. Починаючи від 1 секунди до 11 набирає швидкість $\omega = 102,6 \text{ рад/с}$ із допустимим прискоренням. Розгін проходить без вантажу на конвеєрній стрічці.

Після досягнення заданої швидкості, на 15 секунд відбувається накидання номінального навантаження M_H . При цьому динамічна похибка дорівнює 0,5 рад/с. Задане значення потокозчеплення відпрацьовується без похибок. Після 10 секунд момент навантаження знімається, а через 5 секунд починається зупинка

приводу. На 41 секундi двигун зупиняється повністю та відключається від мережі. Перехідні процеси зображені на рисунку 5.4.

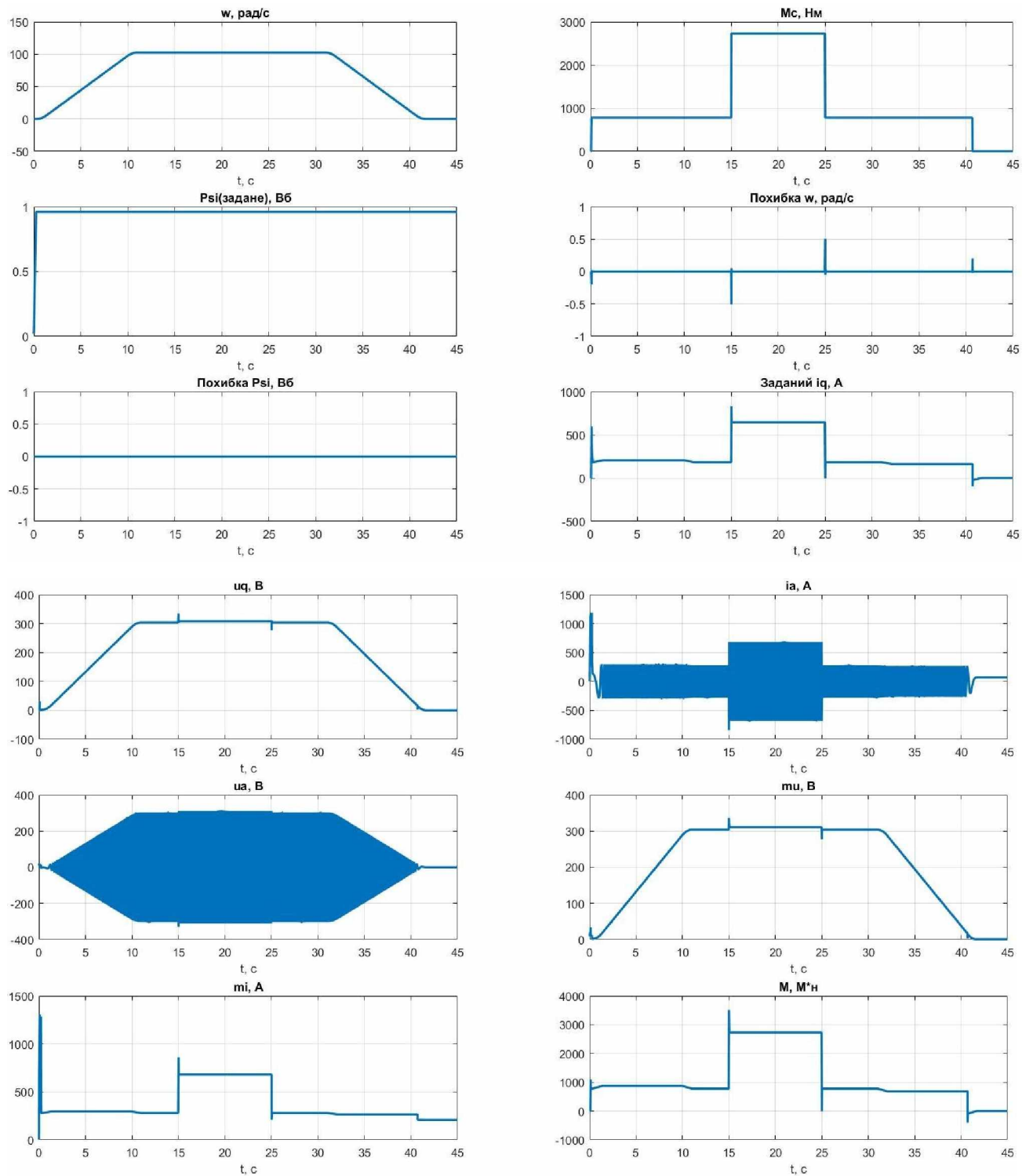
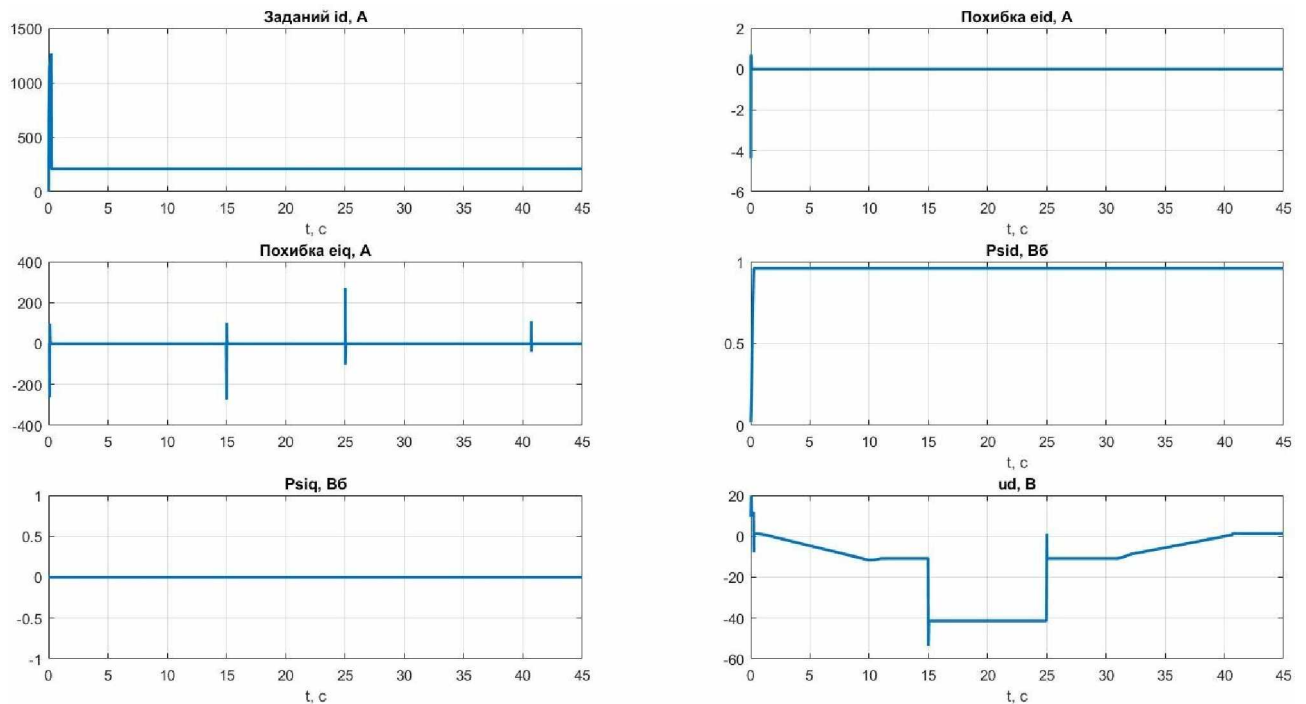


Рисунок 5.4 – Графіки перехідних процесів двигуна конвеєра, при запуску в номінальному режимі $M_C = M_H$



Продовження рисунку 5.4

З графіків (рис. 5.4) видно, що система забезпечує умови відпрацювання заданих траєкторій: кутової швидкості та модуля вектора потокозчеплення. Модуль напруги статора, під час накидання номінального моменту навантаження, зростає, тим самим компенсуючи дію моменту та забезпечуючи відпрацювання кутової швидкості на номінальному рівні. Складова струму статора по осі (d) відповідає за регулювання потокозчеплення та має стрибкоподібний характер лише на ділянці збудження АД, надалі її значення підтримується на сталому рівні, оскільки керування проходить у першій зоні.

Складова струму статора по осі (q) є моментотворюючою, тобто відповідає за регулювання моменту двигуна та повторює його форму. На часовій діаграмі модуля струму статора вирізняється ділянка збудження та ділянка відпрацювання кутової швидкості. З отриманих графіків також видно, що полеорієнтування із врахуванням похибки модуля вектору потокозчеплення по осі (q), яка приблизно дорівнює нулю. Результуюче значення потокозчеплення повністю відтворює форму вектора потокозчеплення по осі (d). У випадку ідеального полеорієнтування процеси, що протікають у механічній і електромагнітній підсистемах повністю розв'язані. Це наглядно

продемонстровано на знятих осцилограмах перехідних процесів (складова i_{ld} відвідає за регулювання поточкозчеплення, а складова i_{lq} моменту двигуна).

5.3 Аналіз характеристик електроприводу стрічкового конвеєра при змінах вантажопотоку

Дослідження проводились для значень навантаження від 0,4 до 1,1 M_H .

Двигун розганяється до номінальної швидкості $\omega_H = 102,6 \text{ рад/с}$. Робота під навантаженням триває 10 секунд. Результати у вигляді осцилограм приведені на рисунку 5.6 для $0,4 \cdot M_H$ та в табл. 5.1.

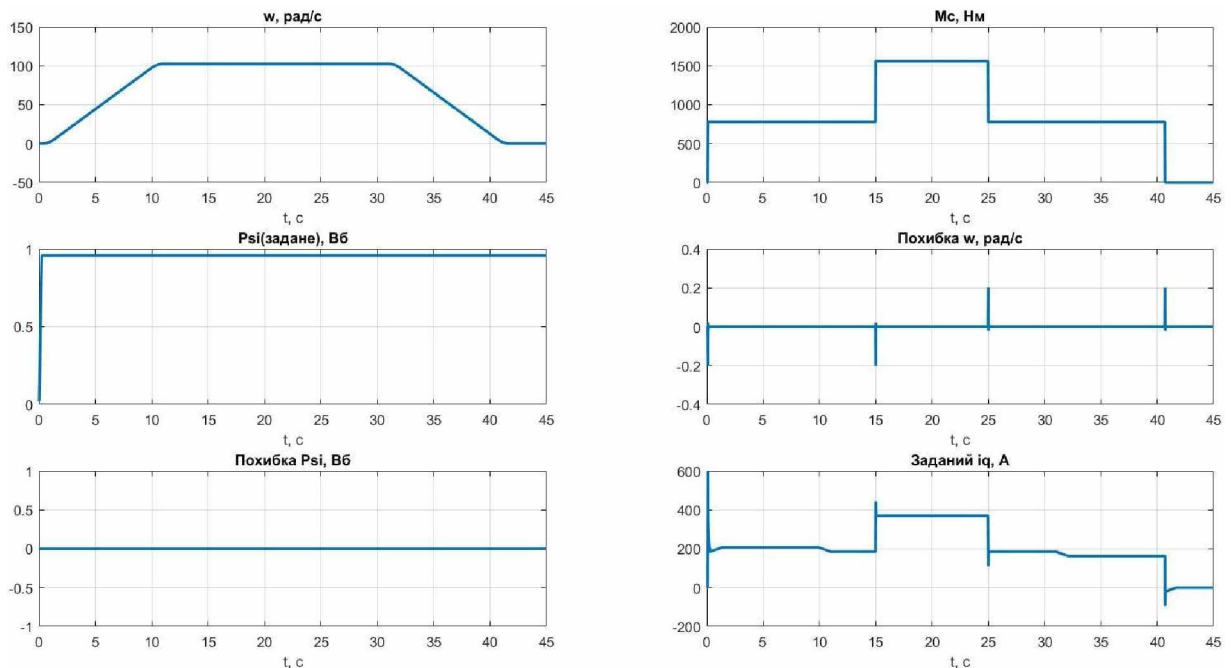


Рисунок 5.6 – Графіки перехідних процесів в електроприводі стрічкового конвеєра при навантаженні $M_c = M_H \cdot 0,4$

Аналогічні дослідження проведені для інших рівнів навантаження.

За результатами моделювання, зведеними до таблиці 5.1, видно, що похибка по швидкості при зміні моменту від $M_c = 0,4 \cdot M_H$ коливається від 0,2 рад/с до 0,53 рад/с при $M_c = 1,1 \cdot M_H$, що допустимо для транспортних систем із

гнучким тяговим елементом. Що стосується часу відпрацювання похибки, то протягом усіх досліджень був незмінним на рівні 0,35 с. З плином часу швидкість переміщення тягового елемента переходить на сталий рівень і на ньому підтримується. За даними таблиці 5.1 побудовані графіки 5.7, 5.8.

Таблиця 5.1 – Значення динамічних похибок при зміні вантажопотоку

	Зміна вантажопотоку у долях від M_H							
	$0,4 \cdot M_H$	$0,5 \cdot M_H$	$0,6 \cdot M_H$	$0,7 \cdot M_H$	$0,8 \cdot M_H$	$0,9 \cdot M_H$	$1 \cdot M_H$	$1,1 \cdot M_H$
$\Delta\omega$, рад/с	0,2	0,27	0,31	0,35	0,41	0,45	0,5	0,53
Δt , с	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35

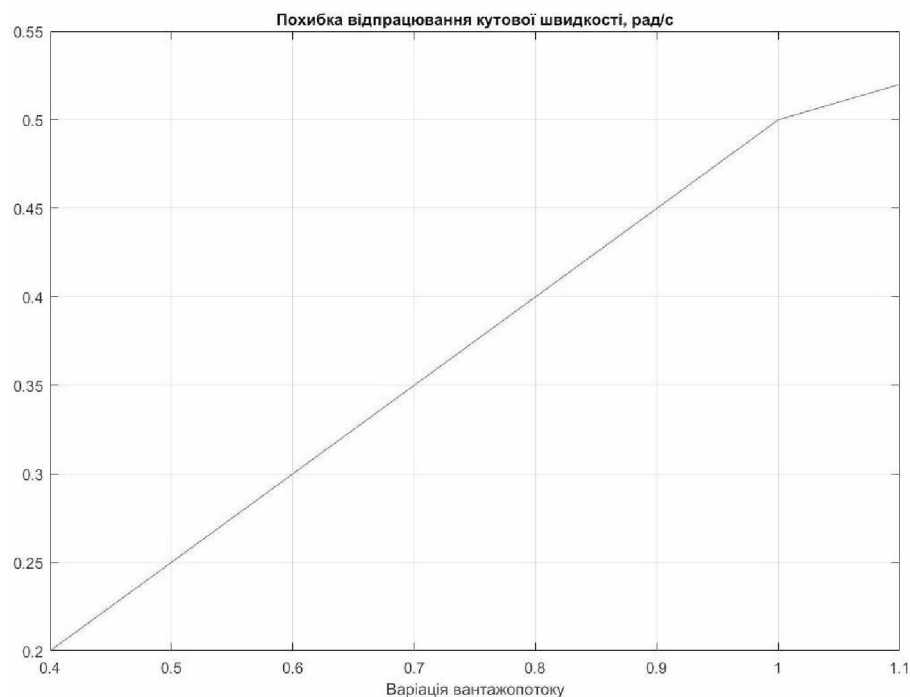


Рисунок 5.7 – Графік залежності похибки кутової швидкості двигуна від зміни вантажопотоку

Із графіку характеристики, що зображено на рисунку 5.7 видно як зростає похибка кутової швидкості зі збільшенням навантаження на стрічку. Величина похибки зростає зі збільшенням навантаження.

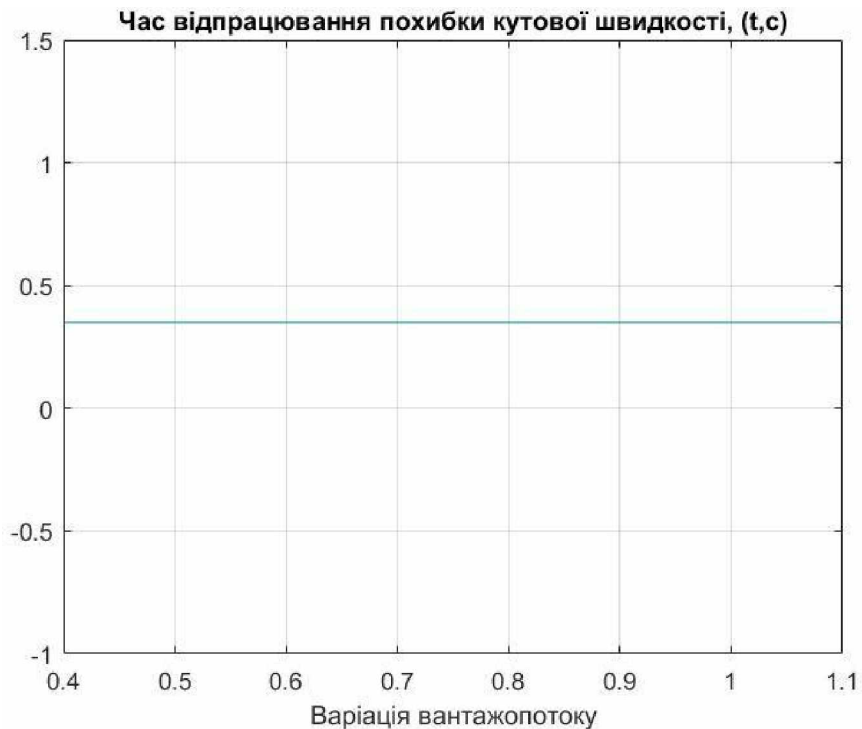


Рисунок 5.8 – Графік часу відпрацювання похибки кутової швидкості двигуна в залежності від рівня вантажопотоку

Із графіку часу відпрацювання кутової швидкості (рис. 5.8), виходить, що час відпрацювання похибки кутової швидкості від вантажопотоку на стрічці конвеєра не залежить. Таким чином можна дійти висновку, що система працює задовільно.

5.4 Висновки за розділом

За проведеними дослідженнями були отримані графіки перехідних процесів, режимів роботи стрічкового конвеєра для заданого графіка руху конвеєра. Максимальна швидкість руху траси конвеєра залишається незмінною при змінах моменту від $M_c = 0,4 \cdot M_n$ до $M_c = 1,1 \cdot M_n$, що обумовлений вантажем на стрічці і дорівнює $\omega_n = 102,6 \text{ рад/с}$. Максимальне значення похибки по швидкості в дослідженнях не перевищує величини 0,53 рад/с, що складає 0,5% від номінальної, що допустимо для транспортних систем із пружно-в'язким тяговим елементом.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено завдання аналізу динамічних режимів роботи магістрального стрічкового конвеєра. Аналіз науково-технічної літератури, що стосується стрічкових конвеєрів визначені вимоги до електроприводу. Шляхом порівняння існуючих систем обрано найбільш перспективну систему на базі векторно-керованого асинхронного двигуна.

Виконаний тяговий розрахунок конвеєра та визначений характер натягу пружно-в'язкої стрічки, побудований графік натягу у характерних точках траси. Це дозволило визначити потрібну потужність електродвигуна 200 кВт. Обрано електродвигун типу 4А з короткозамкненим ротором.

Розрахунок та вибір елементів електромеханічної системи дозволили сформувати структуру системи керування, включаючи перетворювач частоти для реалізації векторного керування та комутаційну апаратуру. Проведений математичний опис двигуна та регуляторів за принципом векторного керування.

За допомогою математичних моделей елементів системи керування у пакеті Simulink MATLAB сформовано модель для дослідження динамічних режимів роботи стрічкового конвеєра.

Результати проведених досліджень показали, що при номінальній лінійній швидкості тягового елемента, змінюючи момент навантаження від 0,4 до 1,1 від номіналу, похибка по швидкості тримається в межах 0,53 рад/с, що відповідає 0,5% від номінальної. Час, що витрачається на відпрацювання динамічної помилки, дорівнює 0,35 с, і після завершення перехідного процесу швидкість руху стрічки встановлюється на заданому рівні.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що векторна система частотного керування асинхронного двигуна забезпечує високу точність регулювання та може бути рекомендована при проектуванні електроприводів сучасних безперервних транспортних систем і при реконструкції або модернізації існуючих.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ромакин Н.Е. Конструкция и расчет конвейеров. Справочник / Н.Е. Ромакин // - Старый Оскол: ТНТ, 2011.- 504с.
2. Терехов В. М. Системы управления электроприводов / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 302 с.
3. Шаруда В. Г. Практикум з теорії автоматичного управління: навч. посіб. / В. Г. Шаруда. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2002. – 414 с.
4. Гоберман Л. А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин / Л. А. Гоберман. – М. : Машиностроение, 1988. – 464 с.
5. Турушин В. О. Машины промышленного транспорта безперервної дії : навчальний посібник / В. О. Турушин, В. В. Федорченко. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – 134 с.
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. Медведев, А.Е. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие / А.Е. Медведев, А.В. Чупин. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2009. – 325 с
8. Герман-Галкин С.Г. MATLAB & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: Корона-Век, 2008. – 368 с.