

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Сергій ПЕРЕСАДА

(підпис)

“ ” _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи автоматизації,
електропривод та електромобільність»

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

на тему: Конвеєрна система для автоматизованої лінії металообробки

Виконав (-ла): студент (-ка) 3__ курсу, групи ЕП-п81

(шифр групи)

Маліборський Станіслав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник к.т.н., проф. М.В. Печеник

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


(підпис)

Консультант _____

(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Рецензент к.т.н., доц. В.В. Чумак

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


(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.



Студент _____


(підпис)

Київ – 2021 р.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

[illegible]

				141.8112.009.БР		
	ПІБ	Підп.	Дата	Конвеєрна система для автоматизованої лінії металобробки	Лист	Листів
Розробн.	Маліборський С.О.				1	1
Керівн.	Печеник М.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП ЕП-п81_	
Консульт.						
Н/контр.	Печеник М.В.					
Зав.каф.	Пересада С.М.			Відомість дипломного проекту		

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Конвеєрна система для автоматизованої лінії металообробки

Київ – 2021 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)

Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ПЕРЕСАДА

(підпис)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Маліборський Станіслав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Конвеєрна система для автоматизованої лінії металообробки

керівник проекту к.т.н., проф. М.В. Печеник,

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

затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту _____ 3 червня 2021р.

3. Вихідні дані до проекту Кількість одночасно оброблюваних заготовок на лінії при максимальній продуктивності $n_v=6$, швидкість руху конвеєрної лінії, $v=0.5$ м/с, час обробки заготовки в процесі транспортування $t_t=300$ с, маса заготовки до $m_1=30$ кг, допустиме прискорення $a_d=0.2$ м/с², Маса квадратного метру $m_m=3.6$ кг/м², довжина ділянок $l_{1,2}=100$ м, $l_{3,4}=4$ м, $l_{5,6}=2$ м, $l_{7,8}=4$ м, $l_{9,10}=95$ м, кут повороту $\beta_{1,2}=0$, $\beta_{3,4}=45$, $\beta_{5,6}=0$, $\beta_{7,8}=20$, $\beta_{9,10}=0$.

4. Зміст пояснювальної записки: Аналітичний огляд науково-технічної літератури в галузі систем безперервного транспорту з гнучким тяговим елементом, тяговий розрахунок конвеєра визначення потужності, розробка

системи керування, розрахунок і вибір її елементів, математична модель електромеханічної системи, розробка моделі для дослідження режимів роботи конвеєра з використанням пакета прикладних програм «MATLAB», дослідження динамічних режимів роботи стрічкового конвеєра, аналіз отриманих результатів, опис роботи схеми керування конвеєром, розробка креслень.

5. Перелік графічного матеріалу: Технологічну схему конвеєра, схема електрична принципова, схема за результатами дослідження один, схема за результатами дослідження два.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 08.04.21

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітичний огляд науково-технічної літератури в галузі систем безперервного транспорту з гнучким тяговим елементом.	12. 04.	Виконано
1.1	Аналіз конструктивних рішень, технологічних режимів роботи стрічкових конвеєрів.	12.04	Виконано
1.2	Огляд наукових досліджень в галузі стрічкових конвеєрів.	12.04	Виконано
1.3	Основні вимоги до електроприводів стрічкових конвеєрів, обґрунтування та вибір системи електроприводу.	12. 04.	Виконано

2	Тяговий розрахунок конвеєра визначення потужності.	19.04	Виконано
3	Розробка системи керування, розрахунок і вибір її елементів.	26.04	Виконано
4	Математична модель електромеханічної системи.	03. 05	Виконано
5	Розробка моделі для дослідження режимів роботи конвеєра з використанням пакета прикладних програм «MATLAB».	10.05	Виконано
6	Дослідження динамічних режимів роботи стрічкового конвеєра, аналіз отриманих результатів.	25.05	Виконано
7	Опис роботи схеми керування конвеєром, розробка креслень.	03.06	Виконано
8	Стартап - проект	10.06	Виконано

Студент

Малі
(ініціали)

Станіслав МАЛБОРСЬКИЙ
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

Печеник

Микола ПЕЧЕНИК

РЕФЕРАТ





Дипломний проект освітнього рівня бакалавр виконано на 78 аркушах А4 і містить 21 рисуноків, 4 таблиці, 4 схеми формату А3.

Мета даного проекту – розробка та проектування системи непрямого векторного керування асинхронним двигуном привідної станції конвеєрної лінії металообробки та дослідження її характеристик.

В даному проекті виконано: аналітичний огляд завдання, розрахунок параметрів асинхронного двигуна, моделювання для різних режимів електропривода, вибір обладнання для силової частини перетворювача частоти

Графічна частина включає: Технологічну схему конвеєра, схема технологічного процесу, приводна станція, розрахункова схема, функціональна, схема векторного керування схему електрична принципова електроприводу змінного струму.

ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, НЕПРЯМЕ ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ, ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, КОНВЕЄР, АВТОМАТИЗАЦІЯ, АВТОМАТИЧНА ЛІНІЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН.

					141.8112.009.БР				
					Конвеєрна система для автоматизованої лінії металобробки	Літ	Маса	Масштаб	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		Т			
Розроб.		Маліборський С.О.							
Перевір.		Печеник М.В.							
Н. контр.		Печеник М.В.							
Ватверд.		Пересада С.М.				Лист 1	Листів 2		

SUMMARY




The diploma project of the bachelor's educational level is executed on 78 sheets of A4 and contains 21 drawings, 4 tables, 4 schemes of the A3 format.

The purpose of this project is to develop and design a system of indirect vector control of the induction motor of the drive station of the conveyor line of metalworking and study of its characteristics.

In this project the following is performed: analytical review of the task, calculation of parameters of the induction motor, modeling for different modes of the electric drive, choice of the equipment for a power part of the frequency converter

The graphic part includes: Technological scheme of the conveyor, the scheme of the technological process, the drive station, the calculation scheme, the functional scheme, the vector control scheme, the electric circuit diagram of the AC electric drive.

ELECTRIC, INDUCTION MOTORS, INDIRECT VECTOR CONTROL,
DYNAMIC CHARACTERISTICS, STATIC CHARACTERISTICS,
CONVEYORS, AUTOMATION, AUTOMATIC LINES, FREQUENCY
CONVERTERS, ELECTRIC MOTORS

					141.8112.009.БР				
					Конвеєрна система для автоматизованої лінії металобробки				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Літ		Маса	Масштаб	
Розроб.		Маліборський С.О.			Т				
Перевір.		Печеник М.В.							
Н. контр.		Печеник М.В.							
Ватверд.		Пересада С.М.			Лист 2		Листів 2		

ЗМІСТ

ЗМІСТ	5
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ В ГАЛУЗІ СИСТЕМ БЕЗПЕРЕРВНОГО ТРАНСПОРТУ З ГНУЧКИМ ТЯГОВИМ ЕЛЕМЕНТОМ	11
1.1 Аналіз конструктивних рішень, технологічних режимів роботи стрічкових конвеєрів	11
1.1.1 Класифікація стрічкових конвеєрів	11
1.1.2 Стрічки	13
1.1.3 Привідна станція	15
1.1.4 Роликоопори.....	20
1.1.5 Підставки.....	22
1.2 Огляд наукових досліджень в галузі стрічкових конвеєрів	24
1.3 Основні вимоги до електроприводів стрічкових конвеєрів, обґрунтування та вибір системи електроприводу	25
1.4 Аналіз систем електроприводів стрічкових конвеєрів	29
2 ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	33
3 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ .	39
3.1 Принцип роботи схеми керування.....	39
3.2 Вибір елементної бази	39
3.2.1 Вибір перетворювача частоти	40
3.2.2 Вибір автоматичного вимикача	41
3.2.3 Вибір датчика контролю схода стрічки	42
3.2.4 Вибір датчика індикації заготовки.....	42
3.2.5 Вибір датчиків контролю конвеєра.....	42

	6
3.2.6 Вибір блок ручного керування.....	42
3.2.5 Вибір обладнання сигналізації.....	42
3.3 Визначення номінальних даних двигуна.....	42
3.4 Розрахунок схеми заміщення.....	45
3.5 Розрахунок параметрів регулятора швидкості.....	46
3.6 Розрахунок сумарного моменту інерції	47
4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ	49
4.1 Математична модель асинхронного електродвигуна	50
4.2 Алгоритм векторного керування електроприводом транспортної системи.....	58
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА СТАТИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРУ .	60
5.1 Розробка моделі на базі пакета прикладних програм «MATLAB Simulink».....	60
5.2 Програма дослідження	62
5.3 Дослідження перехідних процесів при пуску стрічкового конвеєра без навантаження конвеєру.....	64
5.4 Дослідження характеристик перехідних процесів конвеєру під час роботи лінії автоматизованої металообробки при мінімальній продуктивності	65
5.5 Дослідження енергетичних характеристик електромеханічної системи при мінімальній продуктивності.....	67
5.6 Дослідження характеру зміни максимальної похибки швидкості при переміщенні однієї деталі на конвеєрі в процесі циклу металообробки	67
5.7 Дослідження перехідних процесів під час технологічного циклу при максимальній продуктивності	68

	7
5.8 Аналіз похибки по швидкості при максимальній продуктивності комплексу металообробки	69
5.9 Аналіз енергетичних характеристик електромеханічної системи при максимальній продуктивності	70
ВИСНОВКИ	74
Список літератури	76
Додаток А	79

ВСТУП

В цей час серед транспортних систем безперервної дії отримали широку ступінь використання конвеєрні механізми, які при наявності високої продуктивності мають кращі економічні та експлуатаційні показники. Використовуються стрічкові конвеєри для транспортування, як штучних та і сипучих матеріалів, в багатьох галузях промисловості і технологічних комплексах.

Стрічкові конвеєри виконують переміщення вантажу в безперервному режимі, на нарізні висоти та напрямки. Дані типи конвеєрів не потребують додаткових механізмів завантаження та розвантаження, що збільшує ефективність транспортування вантажу, дана особливість є обов'язковим фактором на підприємствах з великим вантажопотоком.

В виробничих процесах використовуються релейні та цифрові схеми керування. З урахуванням сучасних потреб для виробничого процесу, все частіше піднімається питання проведення удосконалення електроприводу, шляхом автоматизації системи керування.

В сучасних підприємствах одним з головних технологічних процесів є металообробка. Для досягнення поставлених цілей в металообробці застосовуються різні методи обробки, для покращення техніко-економічних показників металообробні верстати об'єднують в одну технологічну лінію.

Створення високотехнологічної системи електромеханічного обладнання конвеєрного транспорту при металообробці, дає можливість створити автоматизовану систему металообробки.

Автоматизована лінія металообробки має ряд переваг та особливостей, основні переваги даної системи можливість широкого регулювання параметрів, автономність та надійність. Основні цілі які закладаються при проектуванні та автоматизації це створення комплексної керованої системи, яка повністю виконує заданий алгоритм, відпрацьовуючи рух і положення згідно завдання, з високою продуктивністю. Для цього використовуються поєднання декількох засобів автоматизації для отримання найкращого алгоритму керування.

В даній роботі, розглянуто особливості проектування транспортної частини автоматизованої металообробної лінії, проведено аналіз динамічних і статичних характеристик електромеханічної системи стрічкового конвеєра при транспортуванні штучної продукції.

Технологічна схема комплексу автоматизованої металообробки наведено на рисунку 1.1.

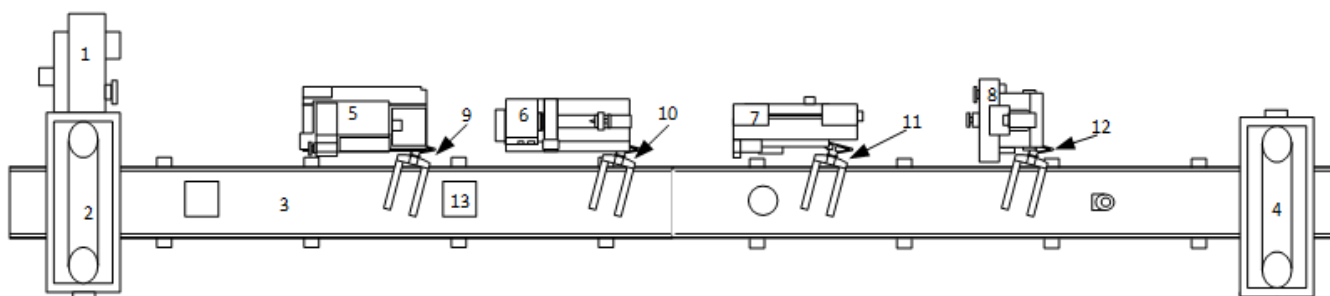


Рисунок 1–Технологічна схема автоматизованої лінії металообробки.

Технологічний комплекс складається з двох частин, транспортної та виробничої.

Конвеєрна система включає до себе привідну станцію (1) та пружно-в'язкий тяговий елемент (3), (2 та 4) – прилади завантаження та розвантаження деталей на початку і в кінці циклу металообробки.

Транспортування заготовки виконується вздовж всієї робочої зони, навантаження подається стрибкоподібно в момент появи заготовки на конвеєрній лінії.

Виробнича частина складається з металообробних верстатів та маніпуляторів. За допомогою маніпуляторів відбувається переміщення заготовки до металообробного верстату та її повернення на конвеєрну лінію. Контроль за переміщенням заготовки на конвеєрній лінії, відбувається за допомогою лазерних датчиків, які сигналізують проходження заготовки в технологічну зону обробки, в системі закладена деяка похибка роботи маніпуляторів. Маніпулятори (9, 10, 11, 12) є важливою частиною системи, вони виконують транспортування заготовки з стрічки конвеєра до верстату. В маніпуляторі закладено фіксація двох положень, перша положення - конвеєрна

стрічка, друге положення - металообробний верстат. Металообробні верстати позначені (5,6,7,8) виконують автоматичну обробку яка не потребує оператора.

Технологічний комплекс має багато варіантів автоматизації та оптимізації, це дає можливість адаптувати систему до будь-яких виробничих завдань.

Перевагою автоматизованої лінії, полягає в можливості за допомогою рухомих каркасів, змінювати відстань між верстатами. Таким чином можливо виконувати регулювання продуктивності роботи верстата. В схемі передбачена можливість повторної обробки деталі за допомогою реверсу двигуна.

Представлена робота, присвячена розробці та дослідженню транспортної конвеєрної системи, як складової металообробного автоматизованого комплексу.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ В ГАЛУЗІ СИСТЕМ БЕЗПЕРЕРВНОГО ТРАНСПОРТУ З ГНУЧКИМ ТЯГОВИМ ЕЛЕМЕНТОМ

Один з найпоширеніших транспортуючих машин це стрічкові конвеєри, вони широко використовуються в всіх галузях господарства, мають високу надійність та простоту в експлуатації.

Стрічкові конвеєри широко використовуються в складських та побутових приміщеннях для переміщення вантажу, конвеєри також використовуються на багато етапному виробництві.

Важливо зазначити що конструкція стрічкових конвеєрів, має високу гнучкість, що дає можливість створення більш складних трас для переміщення вантажів. Одним з основних недоліків стрічкових конвеєрів є їх висока вартість, а також потреба підтримувати постійний натяг конвеєрної стрічки, що може призвести до надмірного натягу і як наслідок обриву. Електропривід стрічкових конвеєрів працює в довготривалому режимі.

1.1 Аналіз конструктивних рішень, технологічних режимів роботи стрічкових конвеєрів

1.1.1 Класифікація стрічкових конвеєрів

В залежності від технологічного процесу та області використання стрічкові конвеєри класифікуються за наступними ознаками:

- 1) за видом транспортних вантажів - розділяють на два типи насипного та штучного транспортування;
- 2) за типом розташування транспортувальної стрічки - використовують конвеєри з верхньою транспортною гілкою або з нижньою гілкою, деяких випадках з двома транспортними гілками;
- 3) за цілю використання - пересувні, підземні, загального використання, спеціальні, крутосхилі;
- 4) за формулою стрічкового перерізу розрізняють механізми плоскої та жолобчатої форми;

- 5) за способом розвантаження вантажу: з розвантаженням на кінцевому пункті, розвантаження скидачем, візково-скидальне розвантаження;
- 6) за типом стрічки розрізняють рифлену та гладку;
- 7) за кількістю провідних станцій: одноприводні, багатоприводні;
- 8) за типом поставів конвеєра: з жорстким або канатним поставом;
- 9) за типом приведення в рух барабану розрізняються за кількістю провідних барабанів, існує нова технологія магнітних приводів яка активно досліджується та впроваджується в механізми;
- 10) за кутом нахилу: горизонтальні, нахилені, крутосхилі;
- 11) за формою траси конвеєра: горизонтальні, нахилені до горизонту і комбіновано горизонтально-нахилені з одним або кількома їх згинами вздовж конвеєрної траси. Загальний вигляд деяких стрічкових конвеєрів надано на рисунку 1.

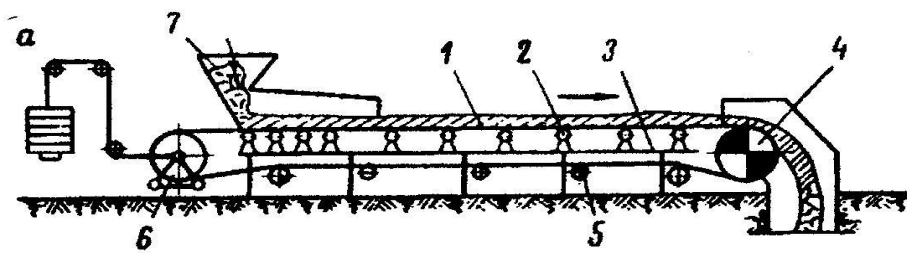


Рисунок 1.1–Технологічна схема стрічкового конвеєра

На рисунку 1.1 прийняті наступні позначення: 1 – стрічка; 2 – роликоопори верхньої гілки стрічки; 3 – постав; 4 – приводний барабан; 5 – роликоопори нижньої гілки стрічки; 6 – натяжний барабан; 7 – завантажувальний пристрій.

Існують п'ять типів стрічкових конвеєрів: Л, ЛБ, ЛУ, ЛЛ і ЛТ.

Конвеєри типу Л використовується при потребі підвищеної тягової здатності при транспортуванні насипних матеріалів при горизонтальному або з незначним нахилом розташуванні тягового елемента. Зазвичай при проектуванні таких систем закладається відсутність уловлювачів та гальма.

Стрічкові конвеєри типів ЛБ (бремсбергові конвеєри) та ЛУ (нахилені) використовують на гірничо-збагачувальних підприємствах, для транспортування насипних матеріалів, при різних нахилах поверхні до $15...23^\circ$.

Конвеєри типу ЛЛ використовувалися для транспортування персоналу в підземних комунікаціях. До даного типу конвеєрів ставлять вимоги плавності ходу і відсутність ривків.

Стрічковий конвеєр типу ЛТ (стрічково телескопічні конвеєри) це спеціалізовані конвеєри які змінюють свою довжину, стрічка конвеєра при цьому не змінюється. Для даних типі конвеєрів виготовляється спеціальна конструкція, яка є оптимізована для свого технологічного завдання.

1.1.2 Стрічки

Конвеєрна стрічка має замкнуте коло і використовується як тяговий елемент для транспортування сипучих або штучних матеріалів.

Структура можливих модифікацій конвеєрних стрічок надано на рисунку 1.2.

конвеєрні стрічки	каркасні	тканинні	багатошарові	бельтингові	нарізні	
					загорнуті	
					кордові	
			однопрокладочні			
			тросові			
	монолітні	без обкладок				
		з обкладками				
			сітчасті			

Рисунок 1.2 – Основні конструкції стрічок

Конвеєрні стрічки повинні відповідати певним параметрам: пластичність, механічна стійкість, низька вага. Вони поділяються на стрічки загального призначення і спеціалізовані. До спеціалізованих відносять: вогнестійкі, діалектризовані, теплостійкі, морозостійкі, пластичні.

Основна проблема конвеєрних стрічок є їхня вразливість до механічних пошкоджень та їх висока ціна.

В залежності від технологічного завдання розрізняють різні види стрічок.

Тканинні нарізні стрічки використовуються для захисту від пошкоджень та пропускання вологи. Даний тип стрічок складається з прокладок між якими розташований гумовий шар, для посилення механічної міцності використовують шар брикетної тканини.

Тканину яку використовують для прокладки раніше виготовляли з бавовни, але з розвитком промисловості більш доцільно використовувати синтетичні матеріали. Для покращення властивостей прокладок, використовують комбіновані тканини, які складаються з основи із синтетичного волокна і укріплення – нитками з бавовни.

Стрічка в якій використовується прокладка, характеризується підвищеною стійкістю до механічних пошкоджень. В випадках якщо потрібно посилена стійкість від ударної та механічної дії, використовують кордово-каркасні стрічки, вони складаються з шару шнурів (кордів), які переплетені між собою тонкими нитками, які більш міцні від тканинних, в той же час технологія створення таких стрічок більш складна.

Однопрокладні стрічки складаються з одного шару кордів, які підсилені поперечним плетінням в особливих випадках використовується товста тканина. Перевага таких стрічок в високій міцності, довговічність від зношування бортів та компенсація ударного навантаження.

Тросові стрічки складаються з декількох сталевих тросів переплетених між собою, в деяких випадках використовують тканину для збільшення міцності. Ці стрічки завдяки своїй структурі розподіляють навантаження на всю площу конвеєрної стрічки, що збільшує їхню стійкість та протидію ударному навантаженню. Борти тросових стрічок обплетені додатковим тросом,

що значно збільшує довговічність роботи стрічки, а також зменшує її проковзування. Недоліком даних стрічок є велика вага, великі габарити, висока тривалість стискування через велику інерцію. Тросові стрічки виготовляються із сталевого дроту що забезпечує необхідну стійкість стрічки.

1.1.3 Привідна станція

Для забезпечення необхідних умов роботи механізму використовують привідну станцію, яка складається з двигуна та редуктора, передача тягових зусиль поділяються на звичайні та спеціальні.

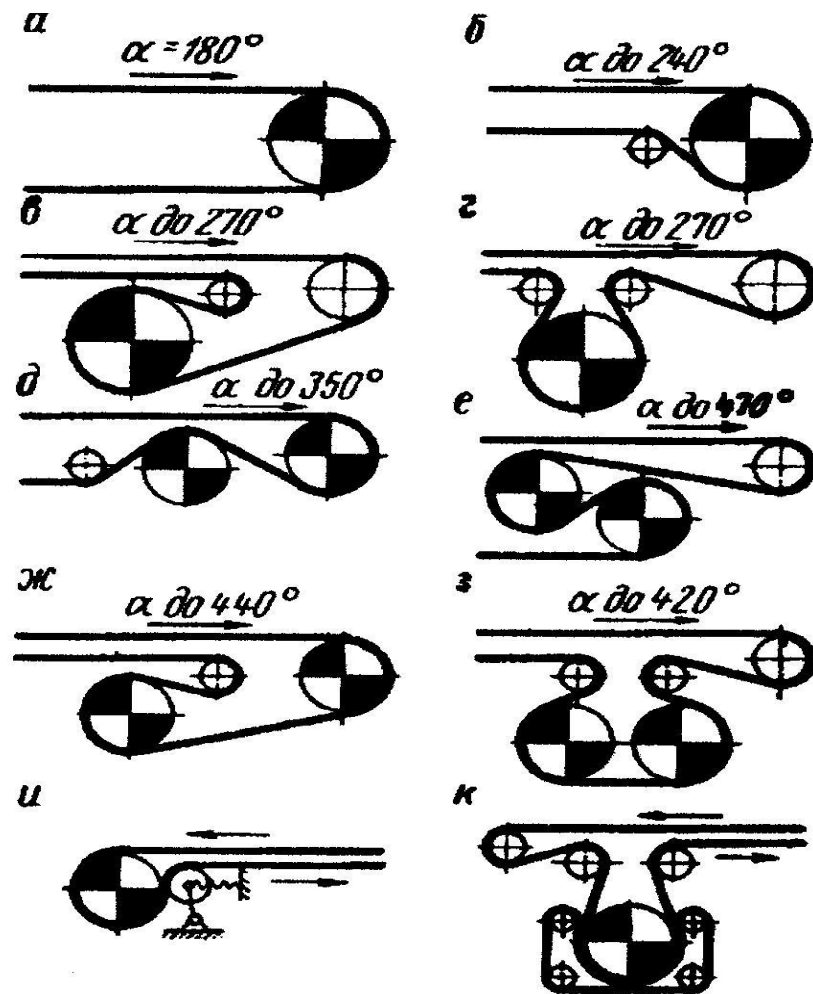


Рисунок 1.3 – Схеми різних типів привідних станцій стрічкових конвеєрів

На рисунку 1.3 прийняті наступні позначення: а-г – одnobарабанні звичайні; д-з – двобарабанні звичайні; и-к – одnobарабанні спеціальні.

Приводна станція яка просто притискає стрічку до барабана за допомогою натягу називають звичайною (рис. 1.3, а-з). Приводні станції які за допомогою

додаткових механізмів посилюють натяг стрічки, називають спеціальні привідні станції, їх виконують у вигляді притискальних стрічок (рис. 1.3, к) або притискальних роликів (рис. 1.3, и). Спеціальні привідні станції не часто використовуються в стрічкових конвеєрах, це обумовлено значному ускладненні конструкції та збільшенню втрат.

В залежності від кількості барабанів поділяють на однобарабанні (рис. 1.3, а-г та и-к) і двобарабанні (рис. 1.3, д-з). Двобарабанні системи в деяких випадках з'єднуються жорстким кінематичним зв'язком, за допомогою зубчастої передачі або диференціального редуктора, в такій системі збільшується сила натягу що підвищує ефективність системи.

Конструктивно барабани виготовляються гладкими (з металу) або фрикційними з використанням гуми, що збільшує зчеплення стрічки з барабаном. Редуктори для фрикційних барабанів виконують закритими і шестеренними.

При використанні однобарабанної системи, для зменшення габаритів, привід змонтовують в барабан, в такому випадку він називається електробарабан.

Для забезпечення безпечної експлуатації конвеєрів, з метою швидкої зупинки, використовують гальма які при вимкненні живлення електродвигуна фіксують вал двигуна. У випадках коли використовують конвеєри які працюють на похилій площині, використовують гальмо для фіксації нестійкого стану конвеєра.

Існує два види гальм які використовуються в конвеєрних системах, електромеханічні або гідравлічні. Приклад привідної станції однабарабанної системи стрічкового конвеєра показано на рисунку 1.4.

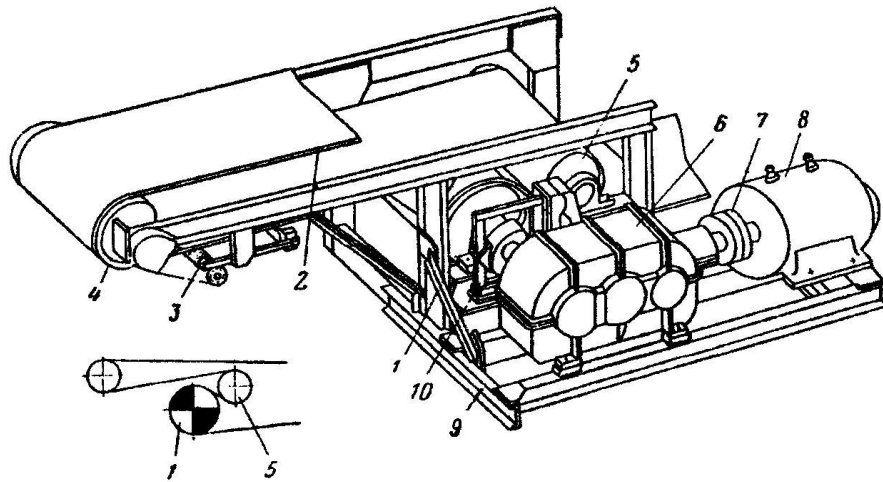


Рисунок 1.4 – Стрічковий конвеєр із звичайною однобарабанною приводною станцією

На рисунку прийняті наступні позначення: 1 – привідний барабан; 2 – стрічка; 3 – пристрій для очищення стрічки; 4 – розвантажувальний барабан; 5 – відхиляючий барабан; 6 – редуктор; 7 – муфта; 8 – двигун; 9 – рама привода; 10 – гальма.

На похилих конвеєрах при відключенні живлення використовують зворотні фіксатори (рисунок 1.5).

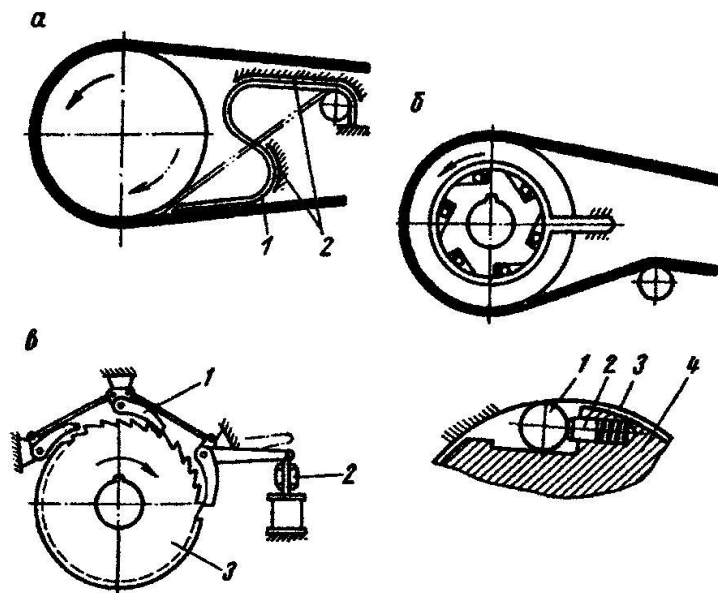


Рисунок 1.5 – Зворотні фіксатори нахилених стрічкових конвеєрів

На рисунку прийняті наступні позначення: а– стрічковий 1 – відрізок стрічки; 2 – щитки; б – роликовий 1 – ролик; 2 – штифт з пружиною; 3 – нерухома обойма; 4 – рухома обойма; в – храповий 1 – собачка; 2 – електродвигун або

електромагніт з вантажем для піднімання собачок при включенні конвеєра; 3 – храпове колесо.

Зворотні фіксатори встановлюють в систему у випадку відсутності гальма або в випадках високих навантажень на конвеєрну стрічку. В випадках використання великих кутів нахилу, використовують комбіновану систему з використанням гальма та фіксаторів, така система має високу надійність і швидко зупиняється.

Стрічковий і роликовий фіксатори використовують при незначних навантаженнях, храповий фіксатор використовують при значних навантаженнях на конвеєрну систему.

Натяжні станції класифікують на регульовані, нерегульовані і комбіновані.

В регульованих (автоматичних) натяжних станціях, зусилля натягу змінюється під час роботи конвеєра при переході від режиму пуску до режиму руху з постійною швидкістю. Така система компенсує витяжку стрічки та зменшує натяги, внаслідок таких особливостей ускладнюється конструкція та підвищується чутливість до забруднення, дана система використовується при значних потужностях привода. В момент пуску електродвигуна, регульована натяжна станція потребує значних швидкостей, для створення натягу стрічки при обертанні натяжного барабану.

Нерегульовані (жорстких) натяжні станції (рис. 1.6), натяжний барабан залишається нерухомим, в випадку ослаблення стрічки відбувається натяжка за допомогою натяжного барабана, перевага нерегульованої системи простота і конструкційна компактність, нерегульована натяжна станція не чутлива до збурення але потребує контроль натягу стрічки.

Оскільки конвеєри працюють в безперервному режимі, можливо виконувати контроль натягу перед кожним пуском. Серед нерегульованих (жорстких) натяжних станцій найбільше розповсюджені гвинтові (рис. 6, а), з нерухомою рамкою, натяг контролюється за допомогою ручної лебідки (рис. 6, б), з рухомою рамкою і ручною лебідкою (рис. 6, в) або електричною лебідкою і рухомою рамкою (рис. 6, г).

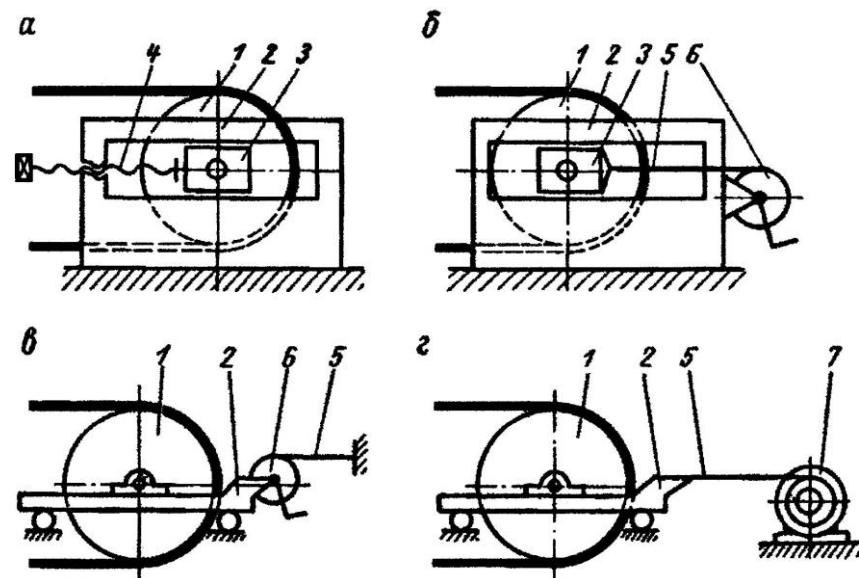


Рисунок 1.6 – Схеми нерегульованих (жорстких) натяжних станцій стрічкових конвеєрів

На рисунку прийняті наступні позначення: 1 – натяжний барабан; 2 – рама; 3 – повзун; 4 – гвинт; 5 – канат; 6 – ручна лебідка; 7 – електрична лебідка.

Комбіновані (напівавтоматичні) натяжні станції в момент пуску потребують жорсткісного натягу, до моменту пуску барабан відтягується, в момент пуску залишається на одному місці. В статичному режимі станція працює як автоматична.

Основна ціль регулювання натягу автоматичною станцією, полягає в підтриманні постійного натягу стрічки конвеєра або підтримання двох значень, постійного для статичного натягу та підвищеного для динамічного натягу в момент пуску, підтримання відношення набігаючої і збігаючої гілок приводної станції, та захист від зриву зчеплення стрічки конвеєра, та підтримання максимального натягу. Якщо при сталому режимі і при середніх умовах роботи на стрічку діє підвищене натягування, це зумовлено підвищенням в'язкості при пуску конвеєра; в другому варіанті стрічка працює з підвищеним натягом тільки короткочасно.

Натяжні станції діляться на вантажні, гідравлічні та механічні усі привода підтримують постійний натяг (один або два).

1.1.4 Роликоопори

Роликоопори стрічкових конвеєрів створені для підтримання стрічки, центрування стрічки по ходу руху та надання необхідної форми руху. Конструкційно роликоопори розділяють на рядові і спеціальні.

Рядові роликоопори призначені для підтримки стрічки та надання їй необхідної форми поперечного перерізу (рисунок 1.7, а-в), спеціальні роликоопори класифікують на центруючі, для регулювання положення стрічки відносно осі конвеєра (рисунок 1.7, г-з), для зменшення ударів транспортуючого вантажу об стрічку (рисунок 1.7, и) та для очистки стрічки від напливаючого матеріалу.

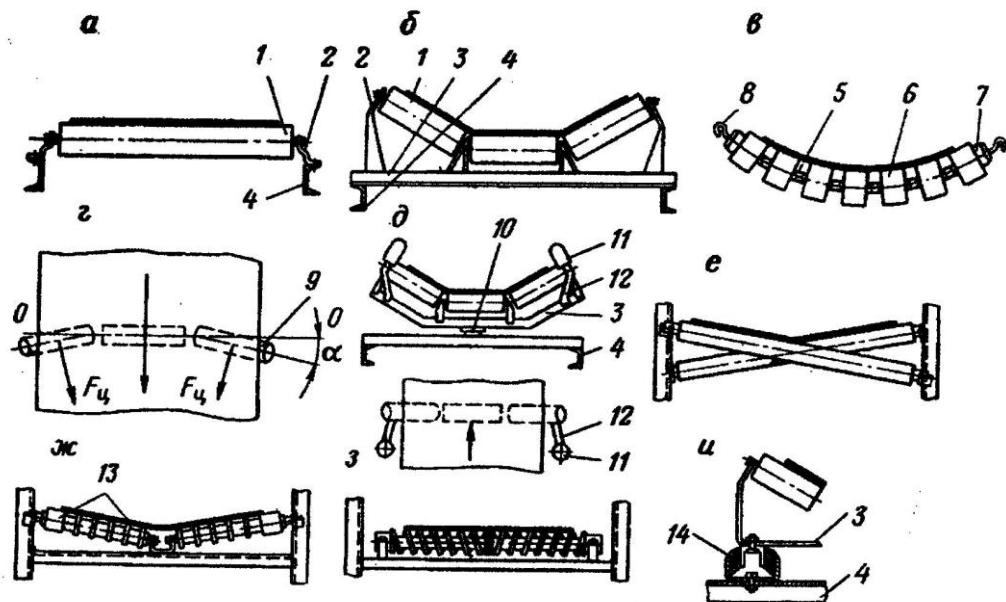


Рисунок 1.7 – Схеми рядових, центруючих та амортизуючих роликоопор стрічкових конвеєрів

На рисунку прийняті наступні позначення: 1, 9, 11 – ролики; 2, 12 – кронштейни; 3 – балка; 4 – рама; 5 – вал; 6, 13 – диски; 7 – підшипниковий вузол; 8 – канатний постав; 10 – вісь опори; 14 – амортизатор.

Роликоопори класифікують за кількістю: однороликові, двороликові, трьохроликові, чотирьохроликові і п'ятироликові. Потужні конвеєри можуть мати різну кількість роликів, але зазвичай в конвеєрах використовують однороликові або двороликові опор, вони використовуються для поліпшення центрування стрічки великої ширини та для підвищення жорсткості,

роликоопори зменшують амплітуду коливання стрічки, що зменшує знос при тривалій експлуатації.

Конструктивно роликоопори розділяють на жорсткі та гнучкі, жорсткі монтується на цапфах та осях, гнучкі монтується на ланцюгах або канатних вісях. Головний елемент роликоопори підшипникові вузли, тому іноді роликоопори розділяють за типом змащення, класифікують на регулярне змащення та довгостроковим заставним змащенням.[1]

Трьохроликові опори для лоткової стрічки (рисунок 1.7, г) класифікують, як жорсткі вони мають бічні ролики, їх особливість в можливості встановлювати та фіксувати ролики під певним кутом до основної осі конвеєра, між бічними опорами та стрічкою створюється сили тертя $F_{\text{ц}}$ що забезпечує центрування. В випадку коли роликоопори повертаються навколо своєї осі їх називають самоцентруючі роликоопори (рисунок 1.7, д), це виконується за рахунок дефлекторних роликів, що виконують бокові натискання на стрічку.

При непердикулярному встановленні частин роликів нижньої гілки центруються та надають стрічці лоткової форми (рисунок 1.7, е-ж), яка виконує очищення плоскої стрічки та центрує її відносно осі, такі ролики виконують з двох спіралей навитих в різні сторони (рисунок 1.7, з).

Для стрічкових конвеєрів існує велика кількість конструкцій роликоопор, які відрізняються окремими елементами підшипникових вузлів та їх ущільненнями (рисунок 1.8).

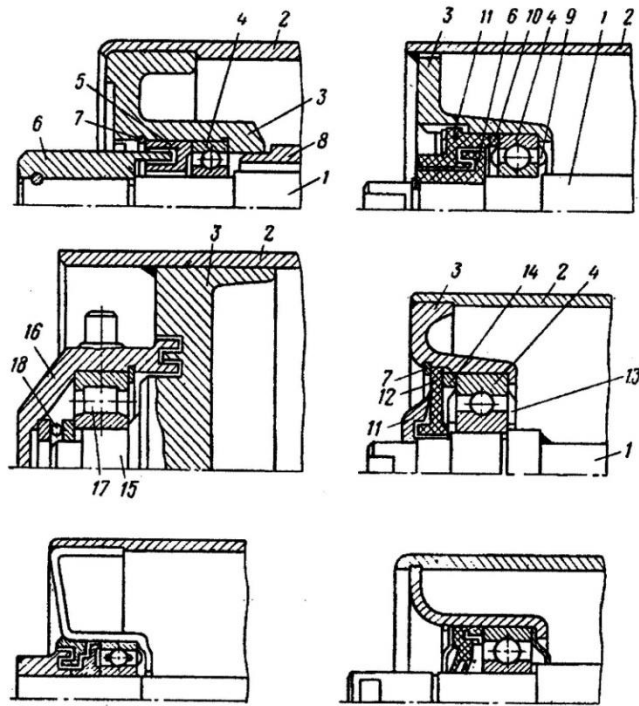


Рисунок 1.8 – Конструкції підшипникових вузлів роликів стрічкових опор
На рисунку прийняті наступні позначення: 1 – вісь; 2, 8 – труби; 3 – стакан; 4, 17, 18 – підшипники; 5, 7, 9, 10, 13, 14 – кільця; 6 – втулка; 11 – кришка; 12 – шайба; 15 – цапфа; 16 – корпус.

Серед розглянутих підшипникових вузлів опорних роликів для стрічкових конвеєрів найкращі показники мають підшипники з лабіринтними ущільненнями та захисними кільцями з довгостроковою змазкою.

1.1.5 Підставки

Для підтримання стрічки та вузлів використовують підставки, підставки стрічкових конвеєрів (рисунок 1.9), виконуються в залежності від типу переміщення.

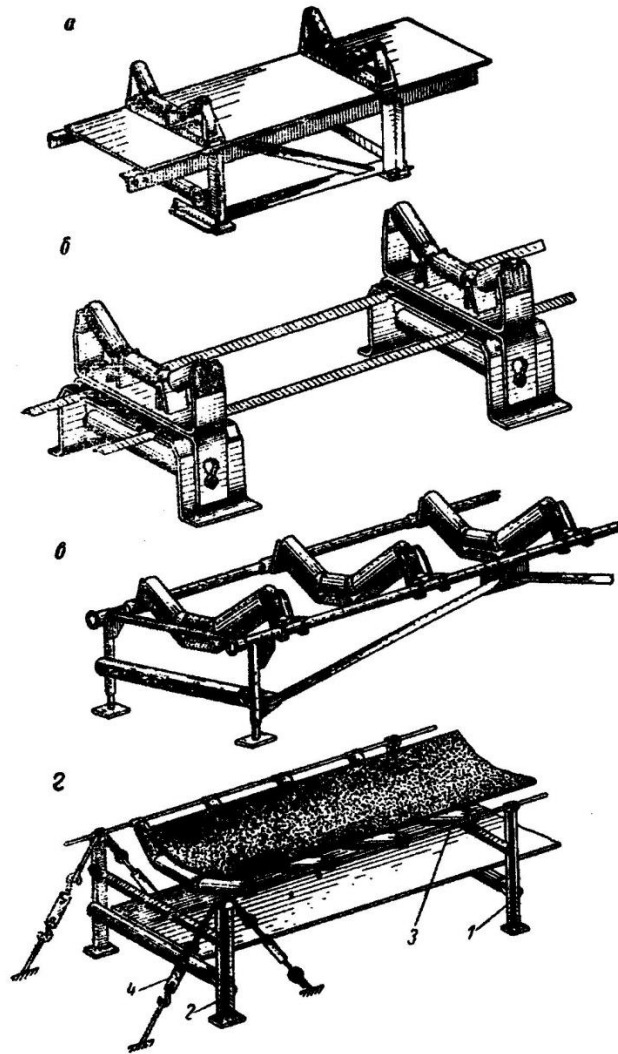


Рисунок 1.9 – Конструкції поставів та його елементи

На рисунку прийняті наступні позначення: 1 – лінійна опора; 2 – анкерна опора; 3 – канат; 4 – муфта для натягування каната.

Постави бувають двох конструкцій, стаціонарні та нестаціонарні. Серед стаціонарних виділяють: стаціонарні із сталюого прокату з прихованою нижньою гілкою стрічки конвеєра (рисунок 1.9, а), з нестаціонарних виділяють сталюого прокату з відкритою нижньою гілкою стрічки (рисунок 1.9, б) та трубчаста яка виконується стаціонарними або нестаціонарними, зазвичай підставки виконують з відкритою нижньою гілкою стрічки (рисунок 1.9, в) також використовують канатні підставки з відкритою нижньою гілкою для стрічки (рисунок 1.9, г).

Для простоти монтажу та транспортування підставки конструкційно діляться на частини по 2, або 5 м, за допомогою рамок підставки конвеєра

фіксується болтами що створює стабільну конструкцію. Для стабілізації від ударів та вібрацій використовують податливі роликоопори, вони зменшує вплив ударів на конструкції вузли.

1.2 Огляд наукових досліджень в галузі стрічкових конвеєрів

На даний момент існує два основних напрямки розвитку конвеєрних систем. Вони застосовуються для модернізації та підвищення ефективності існуючих конвеєрних систем.

Перший напрямок пропонує розвивати конвеєрні системи які використовуються при локальному та глобальному транспортуванні.

В наукових статтях в яких розглядається основні принципи даного підходу 'Development of Moving Equipment for Fishermen's Catches using the Portable Conveyor System'[2] та 'Development of an Automatic Mini-Conveyor System for Product Monitoring '[3]. Herry Susanto вчений який займається розвитком локального транспортування створює розробки в даній галузі, а також систематизує наукові дослідження для подальшої розробки та модернізації локальних транспортних систем.

Другий підхід розглядає конвеєрні системи як один з елементів автоматизованого виробництва, основні цілі та вимоги автоматизованого виробництва викладені в наукових роботах 'What is Automated Materials Handling?' [4]. Дана тема розглядається в статтях 'Load on an automated conveyor line on the speed of transportation' [5] та 'PLC Based Automated Conveyor Belt Assembly Line' [6]. На основі цих досліджень створені автоматизовані лінії обробки матеріалів в компаніях Toyota, Tesla, Samsung. Використання автоматизованого конвеєра в виробничих лініях має ряд переваг відносно звичайних ліній виробництва.

Провідна компанія яка займається розвитком автоматизованого конвеєру ACS. ACS займається впровадженням конвеєрних технологій з 1975 року. На даний момент Міністерство інновацій Японії впроваджує автоматизовані конвеєрні системи на виробництві. З урахуванням досягнутих результатів дослідження автоматизованих транспортуючих систем продовжується.

1.3 Основні вимоги до електроприводів стрічкових конвеєрів, обґрунтування та вибір системи електроприводу

Підвищення ефективності сучасних стрічкових конвеєрів досягається за допомогою використання автоматизованого управління. Автоматика дозволяє покращити характеристики конвеєрних установок та знижує вартість транспортування вантажу.

Система керування стрічкового конвеєру розробляється з метою створення системи стабілізації погонного навантаження, яке діє на стрічку конвеєра, автоматизація модульних конвеєрних ліній, стабілізації тягового зусилля конвеєра, автоматичне стеження окремих елементів і вузлів установки.

Стрічкові конвеєри транспортні машини безперервної дії, які рухаються з постійною швидкістю руху стрічки, дані системи характеризуються низкою продуктивністю роботи. Під час дослідження конвеєрних систем виявлено що при зменшенні навантаження, зменшується подача енергії що негативно впливає на робочі параметри конвеєра. За методикою Скочинського А.А створений приклад розрахунку тягового зусилля в залежності від продуктивності конвеєра та ширини робочої поверхні стрічки. Зазвичай завантаженість конвеєра залежить від продуктивності, потрібно враховувати, що значні інтервали часу конвеєр працює вхолосту без вантажу, основне зусилля отримується від руху стрічки. Це призводить до погіршення техніко-економічних показників конвеєрної системи, що спричиняє підвищення вартості транспортування вантажу та збільшення втрат енергії під час роботи.[7]

Покращити техніко-економічні показники конвеєрних систем можливо за допомогою регулювати швидкості руху несучого полотна, в залежності від завантаженості конвеєра. Сучасні технології мікропроцесорної керуючої техніки, а також використання керованих асинхронних приводів та високоточні системами управління дають можливість вирішувати завдання за допомогою метода оптимального управління.

Першим завданням при проектуванні автоматизованого конвеєрного транспорту є вирішення проблема зміни швидкості в статичних режимах, для руху робочого органу в момент розгону і гальмування потребує додаткових

зусиль. Дані режими характеризуються наявністю динамічних навантажень у конвеєрній стрічці, які створюють перевантаження та пробуксовку барабану що є аварійною ситуацією для конвеєрних систем. Друге завдання автоматизації конвеєрного транспорту є створення системи стабілізація тягового зусилля конвеєра. Тяговий розрахунок стрічкового конвеєра відповідає за визначення параметрів: потужності двигуна, сумарних тягових зусиль і сумарної маси навантаження.

За допомогою натяжних пристроїв виконується: створення і стабілізація натягу в заданих межах, компенсація подовження стрічки, обмеження провисання між опорами. Вирішення проблеми пробуксовки можливо за допомогою зміни натягу в гілках конвеєра, як приклад автоматично змінюваний натяг за допомогою каретки.

Завдання стабілізації тягового натягу, що з'являються при використанні багатодвигунних і дводвигунних конвеєрів потребує комплексного рішення з урахуванням усіх елементів системи. В таких випадках необхідно виконувати регулювання руху конвеєра та між приводами повинно бути виконано автоматичне розподілення навантаження, в незалежності від швидкості та місця розташування приводів. Розподіл навантаження спричиняє обмеження динамічного навантаження в режимах пуску та гальмування, в результаті отримуємо компенсацію механічних коливань, викликаних пружністю стрічки. Завдання стабілізації тягової здатності для багатодвигунних конвеєрів заслуговує окрему увагу, в такому випадку тяговий орган розподіляється по всій довжині конвеєра, рівномірний розподіл навантаження на приводі створює необхідність підтримувати зчеплення тягових барабанів головного конвеєра.[8]

За допомогою оптимального алгоритму управління натяжним пристроєм можливо забезпечувати зниження зусиль в стрічці в статичних і динамічних режимах, що дозволяє створити стабілізацію тягового зусилля конвеєра. Стабілізація дає можливість зменшення необхідної міцності, а як наслідок зменшення ціни конвеєрних стрічок.

В результаті застосування оптимального управління отримуємо наступні покращення системи: зменшення знос стрічки, запобігання проковзування

стрічки, зменшення пробуксовки приводу, зменшує ймовірність аварійної ситуації та дає можливість створити більш довгу конвеєрну стрічку.

Наступне завдання для збірних конвеєрів є автоматизація управління при керуванні декількома конвеєрними лініями. При об'єднанні конвеєрів в транспортні лінії, системи автоматики повинні забезпечувати узгодження робочих режимів усіх конвеєрних ліній. Узгоджена робота окремих конвеєрів з різними вантажопотоками, ускладнюються алгоритми управління. Розробка методу управління вантажопотоками для підвищення продуктивності роботи конвеєрної системи шляхом запобігання або скорочення використання окремих конвеєрів та запобігання перевантаження окремих частин збірного конвеєра. Прикладом управління вантажопотоками є використання акумулюючих ємностей для регулювання вантажопотоку при однаковій швидкості руху конвеєрів.

Для конвеєрних ліній необхідно розробити систему діагностики конвеєрного устаткування, для запобігання аварійних ситуацій. Дана система вимагає наявності автоматичного контроль за станом роликів в опорах, що в свою чергу дозволить своєчасно замінювати зношені елементи, контроль за бічним сходом стрічки, контролювання часу розгону конвеєра до заданої швидкості та припинення запуску, якщо розгін затягнувся, автоматичний контроль за заготовками що є на лінії, контроль завантажувальних та розвантажуючих пристроїв; контроль повздовжних поривів стрічки

Для систематизації вимог що застосовується при автоматизації конвеєрної лінії створюємо блок-схему (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Завдання автоматизації стрічкового конвеєрного транспорту

Для виконання вимог автоматизації використовуються технологічні вузли конвеєрної системи, автоматична діагностика відбувається за допомогою датчиків. Автоматичне управління конвеєрної лінії виконується за допомогою електричного керування (характеристиками електродвигуна), або механічного (за допомогою редуктора), стабілізація погонного навантаження виконується за допомогою технологічного блоку натяжної станції, або за допомогою алгоритму керування.

Система автоматизованого конвеєра має високо динамічну механічну характеристику. Для електродвигуна розробляється захисти від перевантаження та захисту обриву фаз та блокування системи в випадку аварійні ситуації.

З огляду на особливості статичних і динамічних властивостей, необхідно розглянути умови роботи конвеєрних установок. Система має мати можливість виконувати рух за певною траєкторією яка задається умовами технологічного процесу. Система має підтримувати швидкість на заданому рівні при зміні навантаження.

Конвеєр працює зі змінним навантаженням протягом тривалого часу, закладається можливість регулювати швидкості в межах від 5 до 30 рад/с, для забезпечення постійного навантаження вантажонесучої гілки конвеєрної установки.

Це підвищує енергоефективність використання конвеєрів, дозволяє скорочувати пробіг тягового органу, отже, збільшувати при цьому ресурси дорогої конвеєрної стрічки.

Для того, щоб обмежити динамічні навантаження, забезпечити надійне зчеплення стрічки з барабаном і вантажу зі стрічкою електричний привід конвеєрних установок, при їх великій довжині особливо, повинен обмежити прискорення при пуску прийнятною величиною і усунути динамічні коливальні навантаження, конвеєрна система має мати максимальне прискорення не більше 0.13 м/с^2 .

1.4 Аналіз систем електроприводів стрічкових конвеєрів

На даний момент існує декілька варіантів виконання схем керування в той же час відбувається активна модернізація конвеєрних систем, з метою зменшення витрат та покращення характеристик робочих режимів. На даний момент існує декілька різних конфігурацій виконання системи керування електроприводом, кожен з них має ряд переваг та недоліків. Розглянемо найбільш розповсюджені системи.

Використання фазних асинхронних двигунів при керуванні за допомогою додаткових резисторів (активних) або реакторів (реактивних) у коло обмотки статора. За допомогою опорів створюються спади напруги статора, що в свою чергу зменшує пусковий струм. При розгоні двигуна знижується ЕРС E_{2s} яка створюється в обмотці ротора. При пуску відбувається поетапне відключення опорів, що зменшує спад напруги на опорах, що викликає зростає прикладеної напруги до двигуна. Після виходу на номінальні характеристики додатковий опір заколюється накоротко, це виконується з метою зменшення втрати, які створюють опори.

Переваги асинхронних двигунів при керуванні додатковим опором:

- обмеження надвисоких струмів пуску;
- регулювання пускового моменту за допомогою зміни величини ступенів;
- плавна пускова характеристика.

Даний спосіб має суттєві недоліки:

- складність реалізації;
- потреба використання двигунів з фазним ротором, такі двигуни менш ефективні та більш дорогі, ніж двигуни з короткозамкненим ротором при однаковій потужності, для фазних двигунів значення η і $\cos\phi$ менше внаслідок особливостей конструкції. [9]

Імпульсне регулювання швидкості АД стало можливим завдяки вдосконаленню характеристик силових напівпровідникових приладів, головним чином, тиристорів. Його суть полягає в дискретно 30 (імпульсному) зміні параметрів АД або мережі живлення, при якому виникають періодичні коливання моменту АД. У сталому режимі середнє значення моменту двигуна одно статичному моменту. При імпульсному регулюванні в ланцюзі статора може бути використана схема з ТРН, наведена на рис. 2.2. Однак режим роботи тиристорів тут передбачається іншим: вони повинні відкриватися і закриватися всі одночасно. Це можливо лише в тому випадку, якщо час включеного (вимкненого) стану перевищує період напруги мережі живлення. Такий спосіб відрізняється вкрай низькими енергетичними показниками і важкими умовами роботи тиристорів і тому не знайшов застосування в промисловості. Найчастіше імпульсне регулювання застосовується в електроприводах з АТ з фазним ротором при регулюванні в ланцюзі ротора. З цією метою може бути використана схема (рис. 2.7), яка дозволяє або включити додатковий опір $R_{доб}$ в ланцюг ротора, або замкнути ротор накоротко.

При необхідності регулювати швидкість конвеєрів тип електричного приводу визначається вимогою до плавності і діапазону регулювання. Для плавного регулювання швидкості можна використовувати електроприводи по системі Г-Д, ТП-Д, безпосереднє живлення якорного ланцюга двигуна постійного струму від силового магнітного підсилювача (система БМУ-Д), а також

асинхронні електроприводи з каскадним регулюванням. У міру розвитку перетворювальної техніки і, зокрема перетворювачів частоти, для регульованих приводів конвеєрів і живильників стали використовувати частотне управління асинхронних двигунів. Застосування в цих приводах коротко замкнутих асинхронних двигунів дозволяє збільшити надійність електроприводів, безпеку їх застосування у вибухонебезпечних приміщеннях.

Частотно-регульований привід - це система управління асинхронним електродвигуном яка виконує керування частотою обертання ротора.

Конструкція частотно-регульованого приводу складається з перетворювача частоти та електродвигуна.

Частотний перетворювач - це прилад який виконує керування параметрами згідно алгоритму, він складається з випрямляча який виконує перетворення змінного струму в постійний з метою його регулювання, інвертора частіше їх називають широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), яка виконує трансформації постійного в змінний струм за допомогою алгоритму виконується регулювання частоти імпульсів.

Переваги ШІМ:

1. Низка ціна та проста структури дозволяє зробити використання ШІМ доступним.
2. Високий коефіцієнт корисної дії на який впливає простота роботи, при якому перетворення електричної енергії відбувається з мінімальними втратами комутації.
3. Можливість рекуперація енергії в гальмівних та статичних режимах.
4. При використанні модульних комплексів можливо досягти бажану потужність перетворювача.
5. Наявність широкого діапазону можливих частот при регулюванні обертання двигуна.
6. Блочно-модульна конструкція дає можливість дозволяє налаштовувати систему під технологічний процес

ШІМ має ряд недоліків:

1 Обмеженість можливих частот на виході перетворювача, дані обмеження зумовлені конструкцією перетворювача.

2. Наявність шумів вищих гармонік в системі, існує можливість зменшення шумів за допомогою фільтрів. [10]

На основі особливостей перетворювачі частоти в основному вони використовуються в асинхронних і синхронних приводах середньої та великої потужності для двигунів на малих та середніх швидкостях.

На основі розглянутих систем найбільш доцільною системою є частотне керування, яке задовольняє вимогам до електропривода. При використанні частотного керування існує два алгоритми, керування векторне та скалярне керування.

Висновки по першому розділу

За результатами проведених аналізу режимів роботи та конструктивних особливостей конвеєрних систем, сформульовані вимоги до електроприводу і в результаті порівнювального аналізу можливих систем електроприводів, на основі аналізу можливих систем електроприводів обрано як найбільш перспективна система ПЧ-АД з векторно керованим асинхронним електродвигуном. Отримані результати дають можливість виконати розрахунок та вибір елементів силового контуру електромеханічної системи.

2 ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

На рисунку 2.1 приведено розрахункова схема стрічкового конвеєра для автоматизованої лінії металообробки.

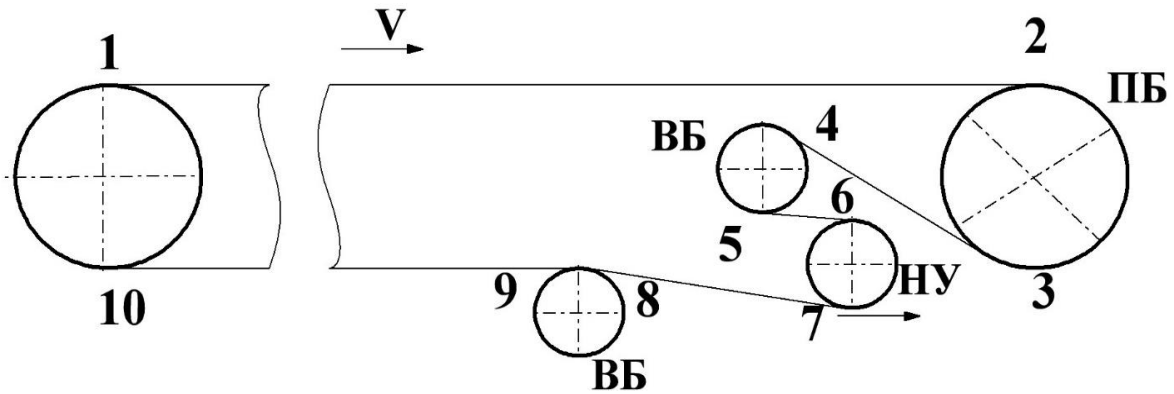


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема конвеєра

2.1 Тяговий розрахунок стрічкового конвеєру

Виконуємо тяговий розрахунок для вибору приводного двигуна за тяговим зусиллям :

Вхідні параметри для розрахунку з урахуванням вимог технологічного процесу надані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вхідні дані для розрахунку

Параметр	Величина
Кількість одночасно оброблюваних заготовок на лінії при максимальній продуктивності n_v	6
Швидкість руху конвеєрної лінії, v	0.5 м/с
Час обробки заготовки в процесі транспортування t_t	300 с
Маса заготовки до (m_1) та після (m_2) обробки	30 кг
Допустиме прискорення a_d	0.2 м/с ²

Продовження таблиці 2.1

Маса квадратного метру m_m		3.6 кг/м ²
Довжина ділянки	$l_{1,2}$	100 м
	$l_{3,4}$	4 м
	$l_{5,6}$	2 м
	$l_{7,8}$	4 м
	$l_{9,10}$	95 м
Кут повороту	$\beta_{1,2}$	0
	$\beta_{3,4}$	45
	$\beta_{5,6}$	0
	$\beta_{7,8}$	20
	$\beta_{9,10}$	0

Приймаємо значення коефіцієнтів тертя [11]

$$\mu = 0,2; \quad k_{un} = 1 + C_{un}; \quad k_{u1} = 1.08; \quad k_{u2} = 1.04; \quad k_{u3} = 1.03; \quad k_{u4} = 1.05.$$

де μ -тертя на валу двигуна

k_{u1} –тертя стрічки на першій ділянці

k_{u2} –тертя стрічки на другій ділянці

k_{u3} –тертя стрічки на третій ділянці

k_{u4} –тертя стрічки на четвертій ділянці

k_{u5} –тертя стрічки на п'ятій ділянці

Розраховуємо продуктивність не оптимізованої системи

$$\Pi = \frac{n_v \cdot m_1}{t_t + \frac{l_1}{g}} = \frac{6 \cdot 30}{300 + \frac{100}{0.5}} = 0.36, \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2.1)$$

Маса 1м транспортування вантажу відповідно до завданої продуктивності.

$$m_{\Gamma} = \frac{n_v \cdot m_1}{l_{1,2}} = \frac{30 \cdot 6}{100} = 1.8, \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}} \quad (2.2)$$

Вибір конвеєрної стрічки здійснюється на основі параметрів механічної міцності та вартості стрічки. Для проектованої системи обирається двошарова гумо-тканинна стрічка, яка забезпечує необхідну міцність при переміщенні вантажів до 80 кг на 1 м, квадратний метр стрічки важить 3.6 кг/м². Визначаємо масу одного погонного метру з врахування ширини стрічки 0.9 м.

$$m_0 = m_r \cdot S = 3.6 \cdot 0.9 = 3.55, \text{ кг.} \quad (2.3)$$

де m_r – маса квадратного метра стрічки

S – ширина стрічки

Маси окремих прямолінійних ділянок конвеєра:

Перша ділянка:

$$m_{12} = (m_0 + m_r) l_{78} = (3.55 + 1.8) \cdot 100 = 535, \text{ кг.} \quad (2.4)$$

Друга ділянка:

$$m_{34} = m_0 \cdot l_{34} = 3.55 \cdot 4 = 14.2, \text{ кг.} \quad (2.5)$$

Третя ділянка:

$$m_{56} = m_0 \cdot l_{56} = 3.55 \cdot 2 = 7.1, \text{ кг.} \quad (2.6)$$

Четверта ділянка:

$$m_{78} = m_0 \cdot l_{56} = 3.55 \cdot 4 = 14.2, \text{ кг.} \quad (2.7)$$

П'ята ділянка:

$$m_{9,10} = m_0 \cdot l_{9,10} = 3.55 \cdot 95 = 337.25, \text{ кг.} \quad (2.8)$$

Сумарна маса конвеєрної системи:

$$\begin{aligned} m'_\Sigma &= m_{5,6} + m_{3,4} k_{u1} + m_{1,2} k_{u2} k_{u1} + m_{9,10} k_{u2} k_{u1} k_{u3} + m_{7,8} k_{u1} k_{u2} k_{u3} k_{u4} = \\ &= 7.1 + 14.2 \cdot 1.08 + 535 \cdot 1.11 + 337.2 \cdot 1.15 + 14.2 \cdot 1.18 = 997.1, \text{ кг.} \end{aligned} \quad (2.9)$$

За допомогою визначених маси окремих прямолінійних ділянок визначаємо силу опору руху на ділянках.

Перша ділянка:

$$\Delta F_{1,2} = g m_{1,2} l_{1,2} c_n = 9.81 \cdot 535 \cdot 0.052 \cdot 100 = 2729, \text{ Н.} \quad (2.10)$$

Друга ділянка:

$$\begin{aligned} \Delta F_{3,4} &= g m_{3,4} l_{3,4} (c_n \cos \beta_{56} + \sin \beta_{56}) = \\ &= 9.81 \cdot 14.2 \cdot 4 (0.052 \cdot \cos 45 + \sin 45) = 317.3, \text{ Н.} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Третя ділянка:

$$\Delta F_{5,6} = g m_{5,6} l_{5,6} c_n = 9.81 \cdot 7.1 \cdot 2 \cdot 0.052 = 317.3, \text{ Н.} \quad (2.12)$$

Четверта ділянка:

$$\begin{aligned} \Delta F_{7,8} &= g m_{7,8} l_{7,8} (c_n \cos \beta_{56} + \sin \beta_{56}) = \\ &= 9.81 \cdot 14.2 \cdot 4 (0.052 \cdot \cos 20 + \sin 20) = 7.24, \text{ Н.} \end{aligned} \quad (2.13)$$

П'ята ділянка:

$$\Delta F_{9,10} = g m_{9,10} l_{9,10} c_n = 9.81 \cdot 337.2 \cdot 0.052 \cdot 95 = 1634, \text{ Н.} \quad (2.14)$$

Результативне зусилля на прямолінійних ділянках

$$\begin{aligned} F'_{\Pi} &= \Delta F_{5,6} + \Delta F_{3,4} k_{u5} + \Delta F_{1,2} k_{u5} k_{u4} + \Delta F_{9,10} k_{u5} k_{u4} k_{u3} + \Delta F_{7,8} k_{u5} k_{u4} k_{u3} k_{u2} = \\ &= 7.24 + 317.3 \cdot 1.08 + 2729 \cdot 1.11 + 1634 \cdot 1.15 + 253.8 \cdot 1.18 = 4854, \text{ Н.} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Визначимо мінімальну необхідну величину натягу в точці збігання привідного барабану

$$T_{\text{сбmin}} = \frac{F'_{\Pi} + m'_{\Sigma} a_{\text{доп}}}{e^{\mu\alpha} - k_{u1} k_{u2} k_{u3} k_{u4} k_{u5}} = \frac{4854 + 997.1 \cdot 0.2}{e^{0.13,66} - 1.18} = 4801, \text{ Н.} \quad (2.16)$$

де α - кут охопту привідного барабану

a_{don} – допустиме прискорення тягового елемента при пуску приймається в межах 0.2...0.9. [12]

Так як при розрахунках мають місце деякі припущення, то для їх врахування $T_{сб}$ приймається з деяким запасом.

$$T_{сб} = 1.1 \cdot T_{сб\min} = 1.1 \cdot 4801 = 5761, \text{ Н.} \quad (2.17)$$

Для визначення попереднього натягу стрічки обчислимо:

$$T_1 = T_0 = (T_{сб} + \Delta F_{12})k_{u1} + \Delta F_{34} = 7887, \text{ Н.} \quad (2.18)$$

Для створення отриманого натягу необхідний вантаж з вагою

$$G_{HY} = k_m T_0 = 2 \cdot 7887 = 15774, \text{ Н.} \quad (2.19)$$

де k_m – коефіцієнт передачі натяжного пристрою (1.5...3.5).

Максимальний натяг в точці набігання на привідний барабан.

$$T_{НБ} = K_{И} T_{сб} + F'_{II} + m'_{\Sigma} a_n = 1.17 \cdot 5761 + 4854 + 997.1 \cdot 0.2 = 11874, \text{ Н.} \quad (2.20)$$

де $K_{И} = k_{u1} k_{u2} k_{u3} k_{u4} k_{u5}$ – сумарний коефіцієнт тертя стрічки

Потужність привідної станції:

$$F_{ст} = T_{НБ} - T_{сб} = 11874 - 5761 = 6111, \text{ Н.} \quad (2.21)$$

Статичний момент конвеєрної системи

$$M_{\Sigma} = \frac{F_{cm} \cdot D}{2 \cdot \eta_M} = \frac{6111 \cdot 0.6}{2 \cdot 0.8} = 2292, \text{ Нм.} \quad (2.22)$$

де D – діаметр привідного барабану.

В відповідності з рекомендаціями приймаємо номінальну швидкість привідного електродвигуна 750 об/хв.

Визначаємо передатне число редуктора.

$$i = \frac{\pi D \cdot n}{60 \cdot g} = \frac{3.14 \cdot 0.6 \cdot 750}{60 \cdot 0.5} = 47.1. \quad (2.23)$$

Обираємо редуктор Ц2-300 [13] з наступними даними (таблиця 2.2)

Таблиця 2.2

Передатне число	Мт, Н*м	Маса редуктора, кг
50	3400	138

Приводим статичний момент до двигуна привідної станції.

$$M_{\Sigma}' = \frac{M_{\Sigma}}{i} = \frac{2444.8}{47.1} = 48.6, \text{ Нм.} \quad (2.24)$$

Визначається потужність двигуна для привідної станції

$$P_c = M_{\Sigma}' \cdot \omega = 48.6 \cdot 78.5 = 3796, \text{ Вт.} \quad (2.25)$$

Необхідна потужність приводного електродвигуна

$$P = k_3 P_c = 1.05 \cdot 3796 = 3985.8, \text{ Вт.} \quad (2.26)$$

де $k_3=1.05$ — коефіцієнт враховуючий динамічну складову електромеханічної системи конвеєра. [14]

Висновки по другому розділу

За результатами тягового розрахунку визначили потужність електродвигуна привідної станції, яку потребує конвеєр для подолання статичного зусилля системи при максимальній продуктивності для приведення зусилля конвеєру до валу двигуна обрано редуктор Ц2-300.

Отримані результати дають можливість в подальшому виконати вибір типу електродвигуна та виконати розрахунок його параметрів.

3 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

3.1 Принцип роботи схеми керування

Методику розробки системи керування приведеної в [15]

Реалізація схеми керування конвеєрної лінією потребує простоти та надійності. Схема складається з наступних елементів: автоматичний вимикач (QF1), перетворювач частоти (A1), асинхронний двигун (M1) два датчики положення наявності заготовок (SQ1, SQ2) датчик положення сходу стрічки (SQ3), датчиків контролю стану конвеєра (A2), та апаратура для ручного керування. Основний керуючий елемент системою є перетворювач частоти, який виконує керування, сигналізацію, та захист схеми.

Згідно правил безпеки експлуатування конвеєрних ліній, стрічкові конвеєри повинні бути обладнані такими захисними пристроями захистів:

- а) датчиками бокового сходження стрічки,
- б) захист від короткочасного КЗ
- в) датчиками, вимикають привод при зниженні швидкості до 75%, від номінальної, датчики швидкості,
- г) датчиками контролю рівня матеріалу, що транспортується в місцях перевантаження,
- д) пристроями для відключення приводу конвеєра з будь-якої точки по його довжині.

3.2 Вибір елементної бази

Структурна схема перетворювач частоти (рис. 3.1) складається з керуючий та силової частини, силова частина складається з наступних елементів : фільтра, випрямляча, клампера та інвертора. Основний принцип який закладається в перетворювач частоти, полягає у перетворенні змінної напруги в постійну, з метою її подальшого регулювання при перетворенні в змінну, яка надходить на обмотку двигуна. Фільтр виконує функцію фільтрації вищих гармонік напруги, яка надходить на випрямляч перетворювачі частоти.

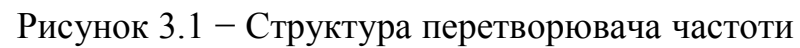


Рисунок 3.1 – Структура перетворювача частоти

Цифровий пристрій формує сигнали певної частоти які відкривають ключі інвертора. Реалізація алгоритму та зворотних зав'язків реалізується виконується в цифровому пристрої реалізація.

3.2.1 Вибір перетворювача частоти

За розрахованою потужності двигуна обирається перетворювач частоти, при виборі перетворювача потрібно враховувати особливості конструкції для використання в системах циклічної дії. Для обраного двигуна потужністю 3 кВт обирається перетворювач частоти SINAMICS G120C[16] представлений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2– Перетворювач SINAMICS G120C

Обраний перетворювач має ряд переваг над аналогами в перетворювачів закладені спеціальні цикли для конвеєрних систем з динамічно змінюються моментом. До перетворювача можливо підключення додаткових датчиків напругою 24В.

Таблиця 3.1 – Параметри перетворювача частоти

Параметр перетворювача	Величина параметру
Потужність, кВт	5.5

Вхідна напруга трифазного	380В
Вихідна напруга	Трифазне 0 ... 380В
Перевантажувальна здатність	150% для 57 с, 200% для 3с
Вихідна частота, Гц	0 ... 550
Номінальний вихідний струм, А	12.5
Вбудований гальмівний модуль	Є
Інтерфейс	Modbus / USS (база)
Потенціометр на панелі управління	На опціональній панелі IOP
Тип управління	Векторне
Вбудований мережевий фільтр	EN 61800-3 C3 (опція)

3.2.2 Вибір автоматичного вимикача

Для захисту системи від короткочасного перевантаження обирається автоматичний вимикач який відмикає систему

Вибір автоматичного вимикача вибирається за умовами робочого струму

Розраховується струм в системі

$$I_{\Sigma} = I_M + I_{пч} = 10.46 + 0.3 = 10.76, \text{ А.} \quad (3.1)$$

Де I_M - Номінальний струм двигуна

$I_{пч}$ – Номінальний струм перетворювача

Враховується поправка для реальної системи

$$I_{\Sigma 1} = 2I_{\Sigma} = 2 \cdot 10 = 20, \text{ А.} \quad (3.2)$$

Обирається автоматичний вимикач ІЕК ВА47-29 3пВ 20А [17], який задовольняє умовам захисту конвеєрної системи

3.2.3 Вибір датчика контролю схода стрічки

З метою контролю стрічки конвеєра використовується датчик КСЛ-2 [18] який є типовим для використання в системах.

3.2.4 Вибір датчика індикації заготовки

Забезпечення індикації заготовки в робочій зоні та унеможливлення виникнення аварійних ситуацій причини них сторонніх предметів на одну лінію використовують лазерні датчики "Призма"(LS5) [19]. Дальність роботи датчиків дозволяє встановити їх на початку та кінці конвеєрної лінії. Датчики виступають в ролі обмежувачі в робочій області на яку можуть бути встановлені заготовки.

3.2.5 Вибір датчиків контролю конвеєра

Для виконання загального контролю використовуємо датчик ДКЛ-3 який виконує контроль усіх можливих аварійних ситуацій в стічковому конвеєрі.

3.2.6 Вибір блок ручного керування

Блок ручного керування складається з готового блоку виконаного на базі монтажного ящика блока управління конвеєром (БУК) [20] в якому змонтовані необхідні елементи.

3.2.5 Вибір обладнання сигналізації

Для сигналізації режимів роботи конвеєрної лінії використовуються прилади освітлення AD22DS контроль режимів виконується за допомогою кнопок які підключені до блоку керування. В схемі передбачена робота в обидві сторони за допомогою ручного керування.

3.3 Визначення номінальних даних двигуна

З тягового розрахунку визначена необхідна потужність проводимо округлення в більшу сторону та обираємо електродвигун 4A132S8Y3 [21] потужністю 4 кВт. Паспортні дані електродвигуна типу 4A132S8Y3 представлено в таблиці 3.1

Таблиця 3.2 – Паспортні дані двигуна 4A132S8Y3

Номінальна потужність	$P_{2H} = 4 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1\text{ЛН}} = 380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n = 4$
Момент інерції	$J_d = 0.042 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0.83$
Коефіцієнт потужності	$\cos(\phi) = 0.7$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2.6$
Номінальне ковзання	$S_n = 0.06$
Критичне ковзання	$S_k = 0.36$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ Гц}$
Параметри Т-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\bar{x}'_1 = 0.1$
Активний опір статора	$\bar{R}'_1 = 0.068$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\bar{x}''_2 = 0.17$
Приведений активний опір ротора	$\bar{R}''_2 = 0.058$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\bar{x}'_\mu = 1.6$

Кутова швидкість статора при частоті 50 Гц

$$\omega_0 = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314, \text{ рад / с.} \quad (3.3)$$

Швидкість холостого ходу електродвигуна

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_0}{p_n} = \frac{314}{4} = 78.5, \text{ рад / с.} \quad (3.4)$$

Номінальна швидкість двигуна

$$\omega_H = \omega_{xx} (1 - s_H) = 78.5 \cdot (1 - 0.06) = 73.8, \text{ рад / с.} \quad (3.5)$$

Номінальний момент двигуна

$$M_H = \frac{P_{2H}}{\omega_H} = \frac{4000}{78.5} = 54.1, \text{ Нм.} \quad (3.6)$$

Відповідно до перевантажувальної здатності визначаємо критичний момент двигуна:

$$M_k = \lambda M_H = 2.6 \cdot 54.1 = 140.8, \text{ Нм.} \quad (3.7)$$

Визначається номінальне значення для фазної напруги та струму статора

$$U_{1\Phi H} = U_{1\text{ЛН}} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220, \text{ В;} \quad (3.8)$$

$$I_{1\Phi H} = \frac{P_{2H}}{3U_{1\Phi H}\eta\cos(\phi)} = \frac{4 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.83 \cdot 0.7} = 10.46, \text{ А.} \quad (3.9)$$

Потік статора в режимі холостого ходу при $R_1 = 0$

$$\Psi_{1XX} = \frac{\sqrt{2}U_{1\Phi H}}{\omega_0} = \frac{1.41 \cdot 220}{314} = 0.98, \text{ Вб.} \quad (3.10)$$

Для перерахунку параметрів з Г-подібної схеми в Т-подібну виконується за допомогою коефіцієнту переходу, даний перерахунок виконується для можливості використання двофазної моделі АД, Т-подібної схеми заміщення, показаної на рис. 3.2, та Г-подібній схемі заміщення, рис. 3.3.

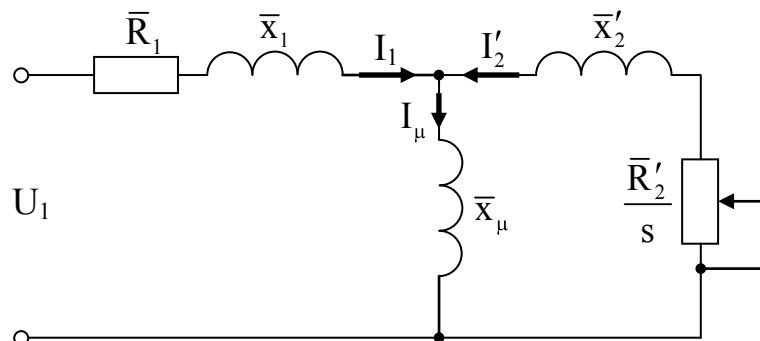


Рисунок 3.3 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

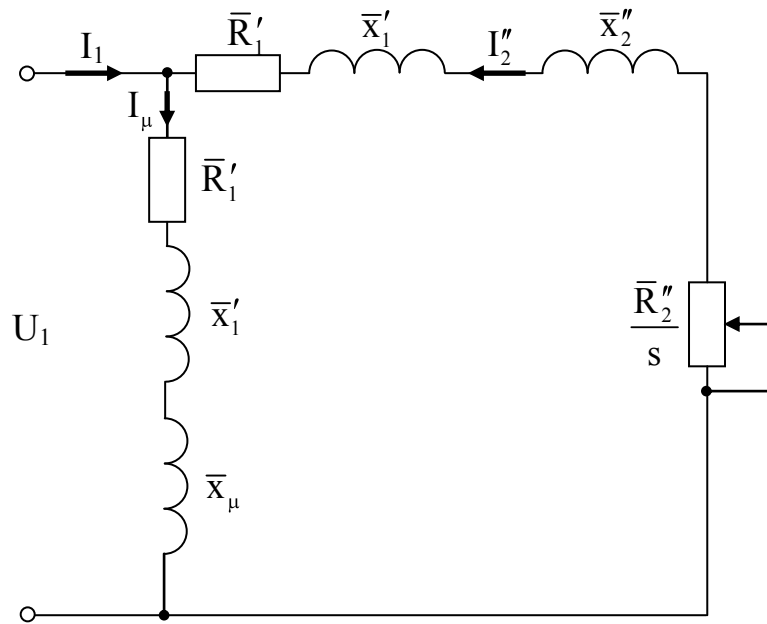


Рисунок 3.4 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Коефіцієнт перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення [22]

$$c_1 = \frac{\bar{x}_\mu + \sqrt{\bar{x}_\mu^2 + 4\bar{x}'_1\bar{x}_\mu}}{2\bar{x}_\mu} = \frac{2.1 + \sqrt{2.1^2 + 4 \cdot 0.076 \cdot 2.1}}{2 \cdot 2.1} = 1.035. \quad (3.11)$$

3.4 Розрахунок схеми заміщення

Використовуючи коефіцієнт перерахунку між схемами заміщення визначається значення опору та індуктивності статора та ротора асинхронного двигуна.

Перехід між Т-подібною та Г-подібною схемами в абсолютних одиницях

$$\bar{x}_1 = \frac{\bar{x}'_1}{c_1} = \frac{0.1}{1.034} = 0.094; \quad (3.12)$$

$$\bar{R}_1 = \frac{\bar{R}'_1}{c_1} = \frac{0.068}{1.034} = 0.064; \quad (3.13)$$

$$\bar{x}'_2 = \frac{\bar{x}''_2}{c_1^2} = \frac{0.14}{1.034^2} = 0.151; \quad (3.14)$$

$$\bar{R}'_2 = \frac{\bar{R}''_2}{c_1^2} = \frac{0.058}{1.034^2} = 0.051; \quad (3.15)$$

Значення параметрів Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

$$x_1 = \bar{x}_1 \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0.094 \frac{220}{10.46} = 1.98; \quad (3.16)$$

$$R_1 = \bar{R}_1 \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0.064 \frac{220}{10.46} = 1.34; \quad (3.17)$$

$$x_2 = \bar{x}_2' \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0.151 \frac{220}{10.46} = 3.17; \quad (3.18)$$

$$R_2 = \bar{R}_2' \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0.051 \frac{220}{10.46} = 1.08; \quad (3.19)$$

$$x_\mu = \bar{x}_\mu \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 1.9 \frac{220}{10.46} = 33.5. \quad (3.20)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{1.56}{314} = 0.0063. \quad (3.21)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2'}{\omega_0} = \frac{1.83}{314} = 0.0101. \quad (3.22)$$

Визначаємо індуктивність контуру намагнічення електродвигуна

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{33.92}{314} = 0.106. \quad (3.23)$$

Індуктивності статора і ротора

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.106 + 0.0063 = 0.113. \quad (3.24)$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.106 + 0.0101 = 0.116. \quad (3.25)$$

3.5 Розрахунок параметрів регулятора швидкості

Розрахуємо параметри ПІД-регулятора швидкості який входить в перетворювача частоти SINAMICS G120C.

Рівняння ПІД-регулятора

$$W_{\text{ПІД}}(p) = \frac{(R_3 \cdot C_3 \cdot p + 1)(R_1 \cdot C_1 \cdot p + 1)}{R_1 \cdot C_3 \cdot p} = K_{\text{П}} + \frac{1}{T_I p} + K_{\text{Д}} p; \quad (3.26)$$

Розкладаємо рівняння на складові частини

$$K_{\Pi} = \frac{R_3 \cdot C_3 + R_1 \cdot C_1}{R_1 \cdot C_3} = 0.246; \quad (3.27)$$

$$K_{\Delta} = R_3 \cdot C_1 = 0.0106; \quad (3.28)$$

$$T_I = R_1 \cdot C_3 = 0.035; \quad (3.29)$$

де: $C_3 = 1 \text{ мкФ}$,

$$R_1 = \frac{T_I}{C_3} = \frac{0.022}{10^{-6}} = 35, \text{ кОм} \quad (3.30)$$

З рівняння $C_1^2 \cdot R_1 - K_{\Pi} \cdot R_1 \cdot C_3 \cdot C_1 - K_{\Delta} \cdot C_3 = 0$, знайдемо значення C_1 :

$$C_1 = 0.68 \cdot 10^{-6};$$

Прийmemo, що $C_1 = 1 \text{ мкФ}$.

Тоді R_3 :

$$R_3 = \frac{K_{\Delta}}{C_1} = \frac{0.0106}{1 \cdot 10^{-6}} = 10600, \text{ Ом}; \quad (3.31)$$

Прийmemo, що $R_3 = 12 \cdot 10^3 \text{ Ом}$.

3.6 Розрахунок сумарного моменту інерції

Момент інерції системи складається з суми моментів інерції окремих елементів.

Момент інерції механічної частини конвеєра :

$$J_K = m_{\Sigma} \cdot \frac{g^2}{\omega_H^2} = 997.1 \cdot \frac{0.5^2}{78^2} = 0.04, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.32)$$

Визначення сумарного моменту інерції

$$J_{\Sigma} = J_{\Delta} + J_K + J_P = 0.042 + 0.04 + 0.019 = 0.101, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.33)$$

Де $J_{\Delta} = 0.042$ – Момент інерції двигуна

$J_p=0.019$ – Момент інерції редуктора

Висновки по третьому розділу

За результатами третього пункту було виконано вибір елементів системи керування для конвеєрної лінії, визначено сумарний момент інерції та параметри схеми заміщення. Обрано електродвигун типу 4A132S8Y3 перетворювач частоти SINAMICS G120C.

Отримані результати будуть використані при розробці математичної моделі електромеханічної системи конвеєра.

4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

На рисунку 4.1 у відповідності до [23] приведено структурна схема непрямого векторного керування

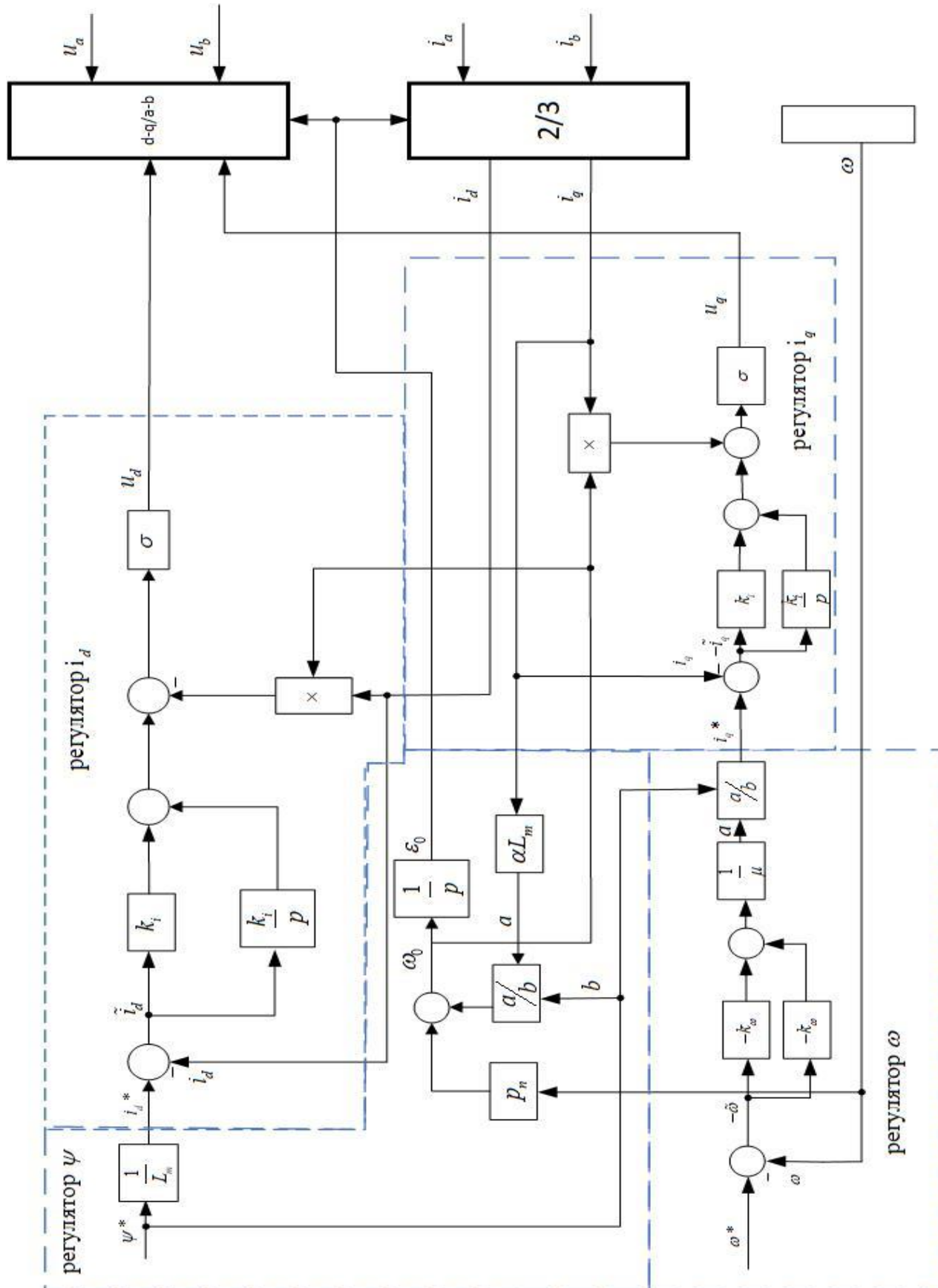


Рисунок 4.1 - Функціональна схема перетворювача частоти

Функціональна схема складається рівняння вхідними величинами яких є задане значення потокозчеплення та швидкості на виході отримується сигнал для напруги по осі d та q . Схема складається з регуляторів струму по осям d та q , регулятори швидкості який відповідає асимптотична відпрацювання заданого значення швидкості, регулятор потокозчеплення який відповідає за виконання умови орієнтації.

4.1 Математична модель асинхронного електродвигуна

Ідеалізована електрична машина описується за допомогою електромеханічних перетворень енергії, перетворення можливо спростити використовуючи еквівалентну двофазну модель. Можливість перетворення забезпечується за допомогою узагальненого математичного опису електромеханічних систем для електричних машин (ЕМ). Узагальнена електрична машина - це система рівнянь які описують реальну машину. Основний принцип узагальненої ЕМ закладений в використанні взаємозв'язку між магнітним потоком та магнітно рушійною силою (МРС), які виникають в обмотках статора та ротора, дані величини мають синусоїдальний характер. У випадках якщо МРС має несинусоїдальну форму враховуються тільки перша гармоніка магнітного потоку, вищі гармоніки приймаються як потік розсіювання.

Для спрощення подальшого розгляду електромеханічної системи електричний двигун розділяють на чотири рівняння узагальненої системи електричної машини схема якої зображена на рис. 4.1, описуються чотирма рівняннями електричної рівноваги в колах її обмоток та рівнянням електромагнітного моменту двигуна як функції струмів обмоток та механічних координат ω і θ . [24]

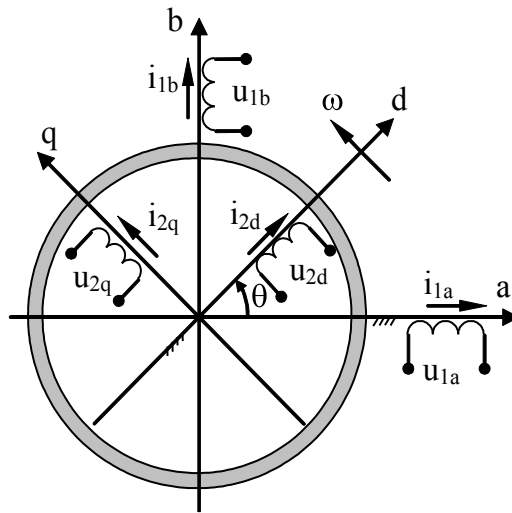


Рисунок 4.2 – Схема елементарної узагальненої двофазної машини.

На рисунку 4.1 позначено: $(a - b)$ – стаціонарна система координат статора, $(d - q)$ – система координат ротора, що жорстко зв'язана з ним. Для спрощення подальшого розвитку електромеханічних рівнянь приймаємо індекс 1 для величин які відносяться до статора та індекс 2 для величин які відносяться до ротора, $(a, b), (d, q)$ – осі системи координат, визначають положення обмоток $(a - b)$ та $(d - q)$.

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_1 &= (u_{1a}, u_{1b})^T \\ \mathbf{i}_1 &= (i_{1a}, i_{1b})^T \\ \boldsymbol{\psi}_1 &= (\psi_{1a}, \psi_{1b})^T, \end{aligned} \quad (4.1)$$

вектори змінних ротора

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_2 &= (u_{2d}, u_{2q})^T \\ \mathbf{i}_2 &= (i_{2d}, i_{2q})^T \\ \boldsymbol{\psi}_2 &= (\psi_{2d}, \psi_{2q})^T. \end{aligned} \quad (4.2)$$

де $\mathbf{u} = (\mathbf{u}_1^T, \mathbf{u}_2^T)^T$ – вектор прикладена напруга з компонент ротора та статора;

$\mathbf{i} = (\mathbf{i}_1^T, \mathbf{i}_2^T)^T$ – вектор струму з компонент ротора та статора;

$\boldsymbol{\psi} = (\boldsymbol{\psi}_1^T, \boldsymbol{\psi}_2^T)^T$ – вектор потокозчеплень з компонент ротора та статора;

$\mathbf{L}(\theta) \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$ – матриця індуктивності,

$\mathbf{R} = \text{diag}(R_1, R_1, R_2, R_2)$ – матриця активних опорів двигуна,

R_1, R_2 – активні опори статора і ротора.

Конфігурації узагальненої електричної машини, для індуктивності записується у вигляді модуля.

$$\mathbf{L}(\theta) = \begin{bmatrix} L_1 & 0 & L_{12} \cos \theta & -L_{12} \sin \theta \\ 0 & L_1 & L_{12} \sin \theta & L_{12} \cos \theta \\ \hline L_{12} \cos \theta & L_{12} \sin \theta & L_2 & 0 \\ -L_{12} \sin \theta & L_{12} \cos \theta & 0 & L_2 \end{bmatrix}, \quad (4.3)$$

де L_1, L_2 – індуктивність статора і ротора,

L_{12} – в випадку співпадіння осей отримуємо максимальну індуктивність між обмотками.

Матрицю (4.3) об'єднуємо у блочний вигляд

$$\mathbf{L}(\theta) = \begin{bmatrix} L_1 \mathbf{I} & L_{12} \mathbf{e}^{j\theta} \\ L_{12} \mathbf{e}^{-j\theta} & L_2 \mathbf{I} \end{bmatrix}, \quad (4.4)$$

де $\mathbf{I} \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$ – одинична матриця,

$$\mathbf{e}^{j\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}; \quad \mathbf{e}^{-j\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}; \quad \mathbf{J} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Оператори $\mathbf{e}^{j\theta}$ і $\mathbf{e}^{-j\theta}$ відповідають за перетворення векторів з обертальної в стаціонарну систему координат.

Для кіл статора і ротора рівняння електричної рівноваги має вигляд

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_1 &= R_1 \mathbf{i}_1 + \frac{d\psi_1}{dt} \\ \mathbf{u}_2 &= R_2 \mathbf{i}_2 + \frac{d\psi_2}{dt} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Рівняння потокозчеплень АД записуються у вигляді

$$\begin{aligned} \psi_1 &= L_1 \mathbf{i}_1 + L_{12} \mathbf{e}^{j\theta} \mathbf{i}_2 \\ \psi_2 &= L_2 \mathbf{i}_2 + L_{12} \mathbf{e}^{-j\theta} \mathbf{i}_1 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Рівняння електричної рівноваги отримуємо з рівняння (4.4) підставивши в (4.5)

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_1 &= \mathbf{R}_1 \mathbf{i}_1 + L_1 \frac{d\mathbf{i}_1}{dt} + L_{12} e^{j\theta} \frac{d\mathbf{i}_2}{dt} + L_{12} \omega e^{j\theta} \mathbf{J} \mathbf{i}_2 \\ \mathbf{u}_2 &= \mathbf{R}_2 \mathbf{i}_2 + L_2 \frac{d\mathbf{i}_2}{dt} + L_{12} e^{-j\theta} \frac{d\mathbf{i}_1}{dt} - L_{12} \omega e^{-j\theta} \mathbf{J} \mathbf{i}_1 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Дана система складається з нелінійних диференціальних рівнянь 4-го порядку. Рівняння для векторно-матричної форми перетворюється

$$\begin{bmatrix} L_1 & L_{12} e^{j\theta} \\ L_{12} e^{-j\theta} & L_2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \frac{d\mathbf{i}_1}{dt} \\ \frac{d\mathbf{i}_2}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{u}_1 - \mathbf{R}_1 \mathbf{i}_1 - \omega L_{12} e^{j\theta} \mathbf{J} \mathbf{i}_2 \\ \mathbf{u}_2 - \mathbf{R}_2 \mathbf{i}_2 + \omega L_{12} e^{-j\theta} \mathbf{J} \mathbf{i}_1 \end{pmatrix}. \quad (4.8)$$

Перетворення (4.8) у відповідності до (4.4) набуває наступної форми:

$$\begin{pmatrix} \frac{d\mathbf{i}_1}{dt} \\ \frac{d\mathbf{i}_2}{dt} \end{pmatrix} = \mathbf{L}^{-1}(\theta) \begin{pmatrix} -\mathbf{R}_1 \mathbf{i}_1 - \omega L_{12} \mathbf{J} e^{j\theta} \mathbf{i}_2 + \mathbf{u}_1 \\ -\mathbf{R}_2 \mathbf{i}_2 + \omega L_{12} \mathbf{J} e^{-j\theta} \mathbf{i}_1 + \mathbf{u}_2 \end{pmatrix} \quad (4.9)$$

В рівняннях (4.4) вказує, що матриця $e^{j\theta}$ та \mathbf{J} є комутативними, тобто є взаємозв'язок між $(e^{j\theta} \mathbf{J}) = (\mathbf{J} e^{j\theta})$, $(e^{-j\theta} \mathbf{J}) = (\mathbf{J} e^{-j\theta})$.

Отримані статичні електромеханічні характеристик повинні відповідати отриманим диференцій формі рівняння в усталеному режимі, в такому випадку рівняння перетворюються в алгебраїчні.

Матриця індуктивностей (4.4) перетворюється

$$\frac{\partial \mathbf{L}(\theta)}{\partial \theta} = \begin{bmatrix} 0 & L_{12} e^{j\theta} \mathbf{J} \\ -L_{12} e^{-j\theta} \mathbf{J} & 0 \end{bmatrix}, \quad (4.10)$$

де моменту узагальненої машини

$$\mathbf{M} = L_{12} \mathbf{i}_1^T \mathbf{J} e^{j\theta} \mathbf{i}_2 \quad (4.11)$$

З рівнянь руху ротора з сталим моментом інерції \mathbf{J} , рівняння динаміки АД мають вигляд:

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= \omega \\ \dot{\omega} &= \frac{1}{J} (L_{12} \mathbf{i}_1^T \mathbf{J} e^{J\theta} \mathbf{i}_2 - M c) \\ \begin{pmatrix} \frac{d\mathbf{i}_1}{dt} \\ \frac{d\mathbf{i}_2}{dt} \end{pmatrix} &= \mathbf{L}^{-1}(\theta) \begin{pmatrix} -R_1 \mathbf{i}_1 - \omega L_{12} e^{J\theta} \mathbf{J} \mathbf{i}_2 + \mathbf{u}_1 \\ -R_2 \mathbf{i}_2 + \omega L_{12} e^{-J\theta} \mathbf{J} \mathbf{i}_1 + \mathbf{u}_2 \end{pmatrix}\end{aligned}\quad (4.12)$$

У випадку АД з короткозамкненим ротором приймається $\mathbf{u}_2 = 0$.

Рівняння (4.12) є нелінійними диференціальним рівнянням з періодичними коефіцієнтами, де права частина яких залежить від кутового положення.

Для подолання цієї проблеми виконується перетворення моделі в нову систему координат $(u-v)$, яка залежить від кутового положення $\theta_k(t)$ та має різницю відносно стаціонарної системи $(a-b)$ і обертається з кутовою швидкістю $\omega_k = \dot{\theta}_k$. Розташування систем координат $(a-b)$, $(d-q)$, та $(u-v)$ показано на рисунку 4.4.

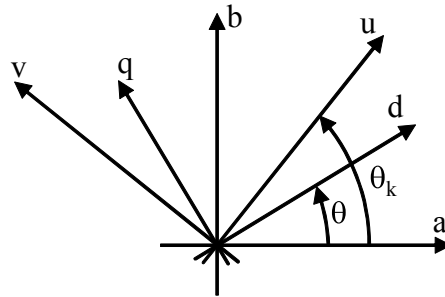


Рисунок 4.3 – Просторове розташування систем координат

Вектори змінних статора і ротора переписуються в нових координатах

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_1^{(u-v)} &= e^{-J\theta_k} \mathbf{x}_1^{(a-b)} \\ \mathbf{x}_2^{(u-v)} &= e^{-J(\theta_k - \theta)} \mathbf{x}_2^{(d-q)},\end{aligned}\quad (4.13)$$

де $\mathbf{x}_1^{(u-v)} = (x_{1u}, x_{1v})^T$, $\mathbf{x}_2^{(u-v)} = (x_{2u}, x_{2v})^T$.

Після перетворень з використанням (4.4) рівняння електричної рівноваги (4.13), а також рівняння для потокозчеплень і моменту набувають вигляду

$$\mathbf{u}_1 = R_1 \mathbf{i}_1 + \frac{d\boldsymbol{\psi}_1}{dt} + \omega_k \mathbf{J} \boldsymbol{\psi}_1 \quad (4.14)$$

$$\mathbf{u}_2 = R_2 \mathbf{i}_2 + \frac{d\boldsymbol{\psi}_2}{dt} + (\omega_k - \omega) \mathbf{J} \boldsymbol{\psi}_2$$

$$\boldsymbol{\psi}_1 = L_1 \cdot \mathbf{i}_1 + L_{12} \cdot \mathbf{i}_2 \quad (4.15)$$

$$\boldsymbol{\psi}_2 = L_{12} \cdot \mathbf{i}_1 + L_2 \cdot \mathbf{i}_2$$

$$\mathbf{M} = L_{12} \mathbf{i}_1^T \mathbf{J} \mathbf{i}_2 \quad (4.16)$$

де вектори $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{i}_1, \mathbf{i}_2, \boldsymbol{\psi}_1, \boldsymbol{\psi}_2$ представлені в системі координат $(u - v)$. Для АД з короткозамкненим ротором необхідно прийняти $\mathbf{u}_2 = 0$.

Рівняння (4.14) – (4.16), описують динамічну модель електричної частини асинхронного двигуна в координатах $(u - v)$, які обертається з кутовою швидкістю ω_k , система не залежить від кутового положення. Фіктивна машина в системі координат $(u - v)$ має взаємно фіксовані обмотки статора і ротора, як показано на рисунку 4.4.

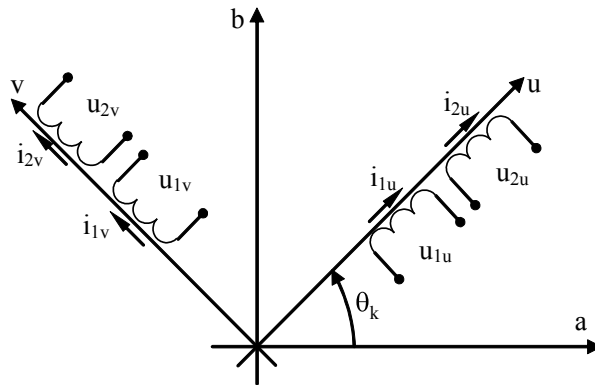


Рисунок 4.4 – Схематизація узагальненої електричної машини в системі координат $(u - v)$

Зазвичай використовують системи координат $(u - v)$:

а) $\omega_k = 0$ система координат $(u - v)$ трансформується до стаціонарної системи координат статора $(a - b)$;

б) $\omega_k = \omega$ – система координат $(u - v)$ стає системою координат ротора $(d - q)$;

с) $\omega_k = \omega_0$, де ω_0 – частота обертання поля електричної машини; при такому виборі маємо синхронну систему координат.

В залежності від задач, системи координати статора (a – b) при $\omega_k = 0$ використовується при моделюванні асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором; система координат ротора (d – q) $\omega_k = \omega$ – при дослідженні синхронних машин; синхронна система координат $\omega_k = \omega_0$ – є базовою при дослідженні та синтезі алгоритмів керування.

Виходячи з (4.12) при обраному варіанті системи координат (u – v) можуть бути сформовані моделі АД, записані через різні комбінації пар векторів, що входять в рівняння (4.14) – (4.16).

Для взаємозв'язку реальних електричних трифазних змінних $\mathbf{x}_{(abc)}$ електричної машини та двофазних змінних $\mathbf{x}_{(\alpha\beta)}$ узагальненої машини використовуються наступні вирази

$$\mathbf{x}_{(\alpha\beta)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \mathbf{x}_{(abc)} \equiv [3 \rightarrow 2] \mathbf{x}_{(abc)}, \quad (4.17)$$

де $[3 \rightarrow 2]$ – матриця перетворення векторів трифазних змінних

$\mathbf{x}_{(abc)}$ до двофазних $\mathbf{x}_{(\alpha\beta)}$;

$\mathbf{x}_{(\alpha\beta)}$ – вектор у будь-якій двофазній системі координат (a – b), (d – q), (u – v).

Зворотне перетворення визначається у вигляді

$$\mathbf{x}_{(abc)} = [2 \rightarrow 3] \mathbf{x}_{(\alpha\beta)}, \text{ де } [2 \rightarrow 3] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix}. \quad (4.18)$$

При використанні перетворення (3.17) амплітудні значення трифазних та двофазних змінних зберігаються в усталеному режимі.

Потужності в трифазній $P_{(abc)}$ та двофазній $P_{(\alpha\beta)}$ системах пов'язані коефіцієнтом $3/2$, тобто

$$P_{(abc)} = \frac{3}{2} P_{(\alpha\beta)}. \quad (4.19)$$

В теорії електромеханічного перетворення енергії прийнято використовувати, так звану, Т-подібну схему заміщення фази АД, яка показана на рис. 3.6.

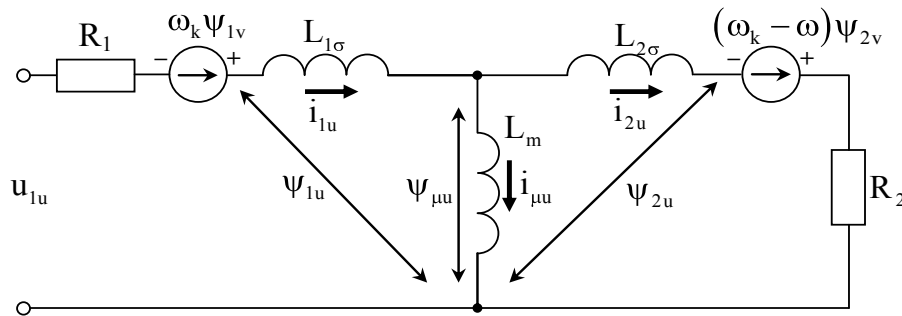


Рисунок 4.5 – Схема заміщення фази асинхронного двигуна в системі координат $(u - v)$

На рисунку прийняті наступні позначення : L_m – індуктивність намагнічування (контуру намагнічування), яка дорівнює $L_m = \frac{m}{2} L_{12}$, де m – фазність обмотки; $L_{1\sigma}, L_{2\sigma}$ – індуктивності розсіювання статора і ротора, які визначаються з виразів

$$\begin{aligned} L_1 &= L_{1\sigma} + L_m \\ L_2 &= L_{2\sigma} + L_m, \end{aligned} \quad (4.20)$$

де i_μ, Ψ_μ – струм намагнічування та головне потокозчеплення.

У трифазних АД $m=3$, тому при використанні перетворення (3.25), рівняння для потокозчеплень (4.20) та моменту записується у вигляді

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= L_1 \mathbf{i}_1 + L_m \mathbf{i}_2 \\ \Psi_2 &= L_m \mathbf{i}_1 + L_2 \mathbf{i}_2, \end{aligned} \quad (4.21)$$

$$M = \frac{3}{2} L_m \mathbf{i}_1^T \mathbf{J} \mathbf{i}_2 \quad (4.22)$$

При використанні рівнянь рівноваги, а також виразів для потокозчеплень та моменту, отримуємо базову модель асинхронного двигуна, що використовується при дослідженні електромеханічних систем.

4.2 Алгоритм векторного керування електроприводом транспортної системи

Схема працює за алгоритмом непрямого керування [25]. Структура алгоритму непрямого векторного керування складається:

- розімкнутий регулятор модуля вектора потокозчеплення:

$$\dot{i}_{ld}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^*), \quad (4.23)$$

$$\ddot{i}_{ld}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^*), \quad (4.24)$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{\dot{i}_{lq}}{\psi^*} + \phi. \quad (4.25)$$

де ψ^* , $\dot{\psi}^*$, $\ddot{\psi}^*$ – задане значення модуля вектора потокозчеплення ротора та його перша і друга похідні відповідно;

ϕ – робастифікуючий зв'язок. В стандартному випадку $\phi = 0$.

- регулятор струму по осі (d) (польової складової струму статора):

$$\begin{aligned} u_{ld} &= \sigma \left(\gamma \dot{i}_{ld}^* - \omega_0 \dot{i}_{lq} - \alpha \beta \psi^* + \dot{i}_{ld}^* - k_i \tilde{i}_d - x_d \right), \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_d, \end{aligned} \quad (4.26)$$

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

u_{ld} – компонента вектора напруги статора по осі (d)

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

- регулятор кутової швидкості:

$$\begin{aligned} i_{1q}^* &= \frac{1}{\mu\psi^*} \left(-k_{\omega} \tilde{\omega} + \hat{M}_c + \dot{\omega}^* + v\omega^* \right) \\ \dot{\hat{M}}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega} \end{aligned} \quad (4.27)$$

$$\dot{i}_{1q}^* = \frac{1}{\mu\psi^*} \left[-k_{\omega} \left(-k_{\omega} \tilde{\omega} + \mu\psi^* \tilde{i}_q \right) + \dot{\hat{M}}_c + \ddot{\omega}^* + v\dot{\omega}^* \right] - \frac{\dot{\psi}^*}{\psi^*} i_{1q}^* \quad (2.6)$$

де $\omega^*, \dot{\omega}^*, \ddot{\omega}^*$ – задана кутова швидкість, перша і друга похідні відповідно;

$\tilde{\omega} = \omega - \omega^*$ – похибка відпрацювання кутової швидкості;

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

- регулятор струму по осі (q) (моментної складової струму статора)

$$\begin{aligned} u_{1q} &= \sigma \left(\gamma i_{1q}^* + \omega_0 i_{1d} + \beta \omega p_n \psi^* + \dot{i}_{1q}^* - k_{iq} \tilde{i}_q - x_q \right), \\ \dot{x}_q &= k_{ii} \tilde{i}_q, \end{aligned} \quad (4.28)$$

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

u_{1q} – компонента вектора напруги статора по осі (q).

Висновки по четвертому пункту

Приведені математичні моделі елементів системи керування та надано алгоритм векторного керування.

Отримані результати дозволяють сформулювати в межах пакета прикладних програм MATLAB Simulink модель для дослідження електромеханічної системи транспортного механізму.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА СТАТИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ СТРИЧКОВОГО КОНВЕЄРУ

5.1 Розробка моделі на базі пакета прикладних програм «MATLAB Simulink»

На основі рівнянь алгоритму векторного керування виконується створення моделі для дослідження динамічних та статичних режимів роботи електромеханічної системи конвеєра.

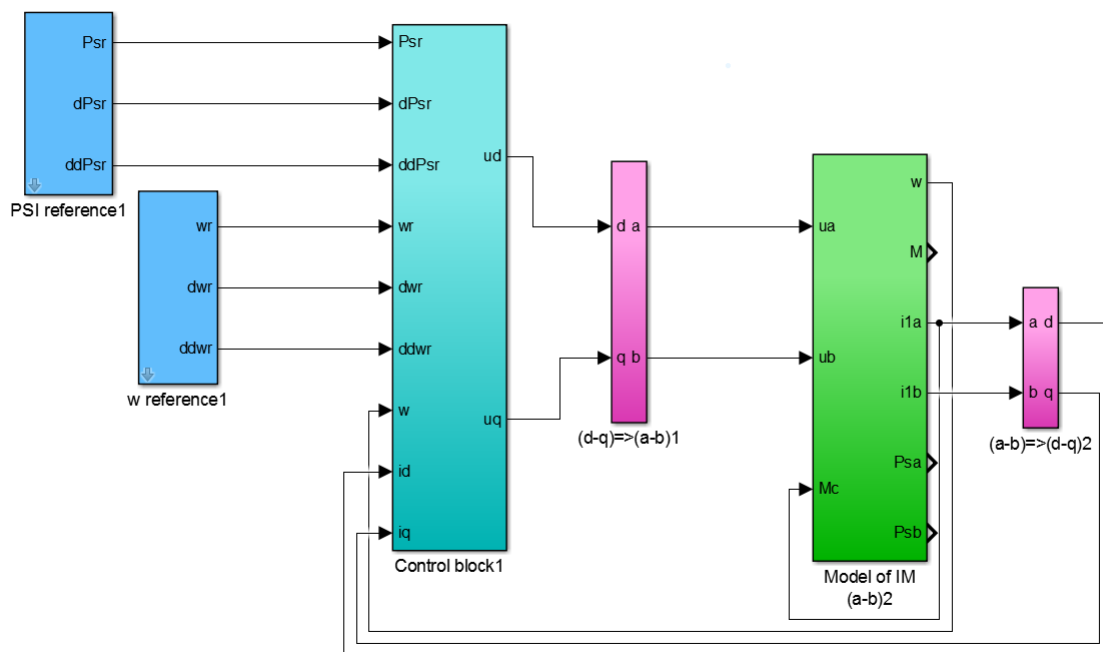


Рисунок 5.1 – Структура моделі векторного керування асинхронного електродвигуна

Математична модель векторного керування в середовищі MATLAB складається з функціональних блоків які відповідають реальному пристрою описаному математичними рівняннями. Для відпрацювання заданого алгоритму технологічного процесу, в перетворювачі частоти створюються задані значення швидкості та потокозчеплення. Control block відповідає за алгоритм векторного керування. Model IM складається з рівнянь математичні моделі асинхронного двигуна описаного двофазними рівняннями. Перехід між алгоритму векторного

керування та електричною машиною виконуються за допомогою рівнянь Кларк, які описують перетворення a-b в d-q.

Модель алгоритму непрямого векторного керування (Control block) містить:

- розімкнутий регулятор модуля вектора потокозчеплення:

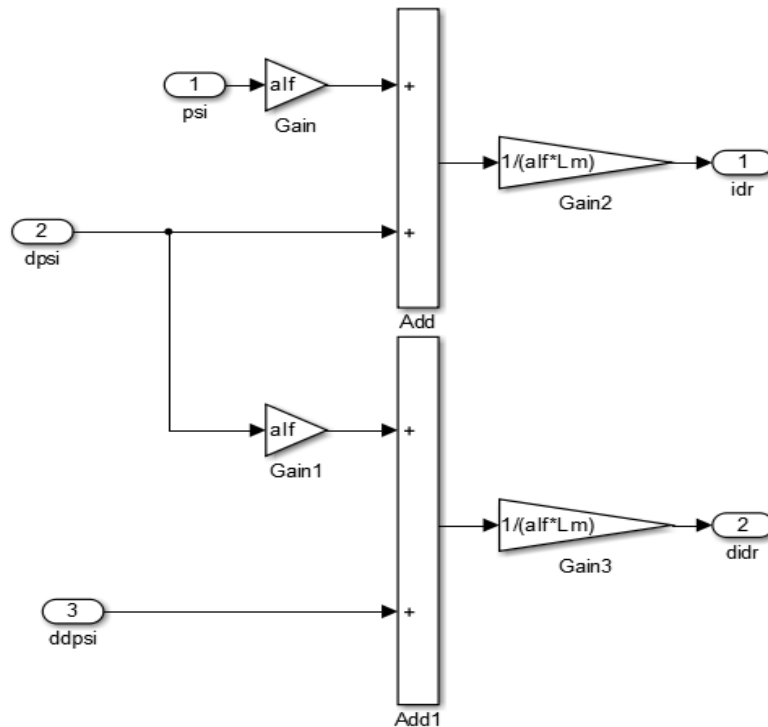


Рисунок 5.2 – Модель розімкнутого регулятора модуля вектора потокозчеплення

- регулятор струму по осі (d) (польової складової струму статора):

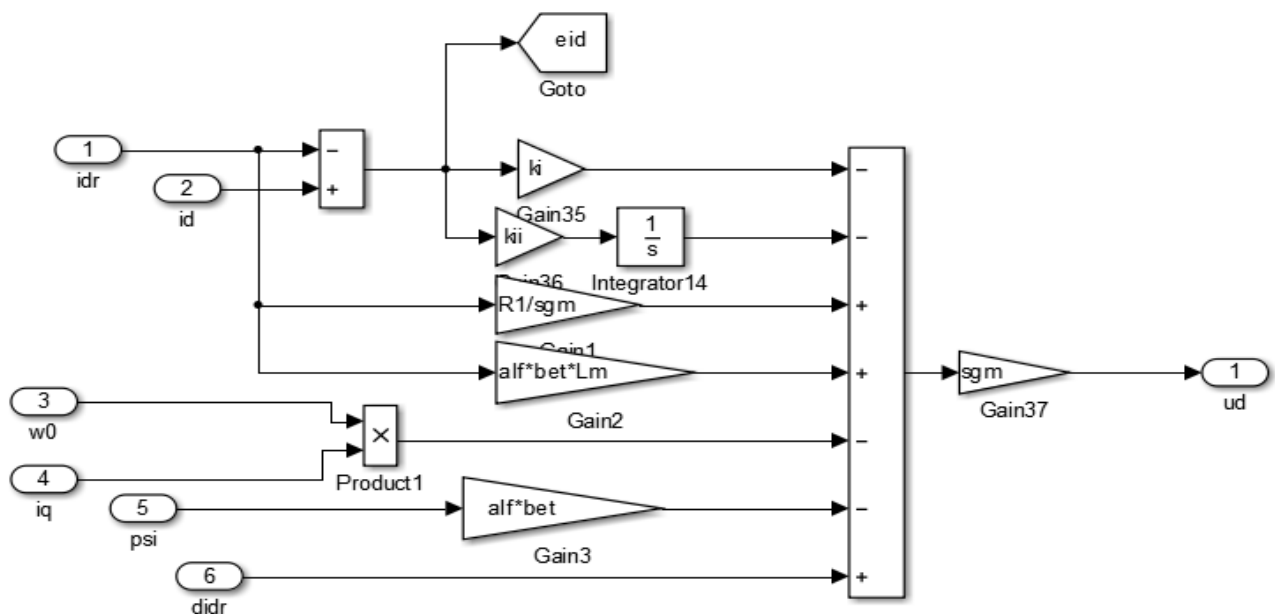


Рисунок 5.4 – Модель регулятора струму по осі (d)

- регулятор кутової швидкості:

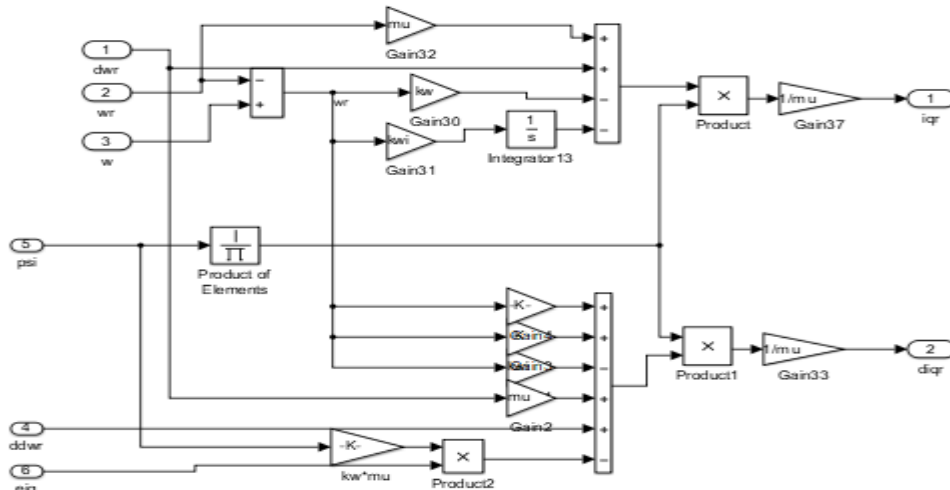


Рисунок 5.5 – Модель регулятора кутової швидкості

- регулятор струму по осі (q) (моментної складової струму статора)

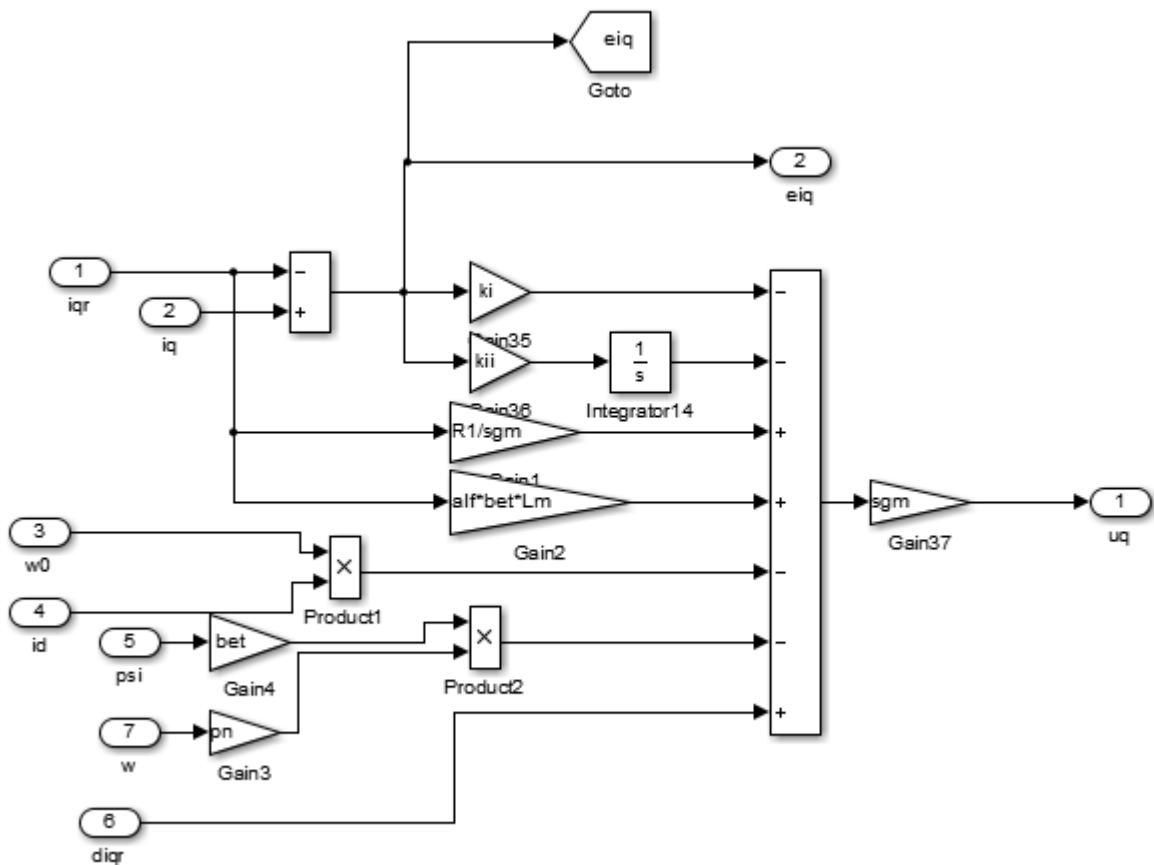


Рисунок 5.6 – Модель регулятора струму по осі(q)

5.2 Програма дослідження

Зважаючи на особливості технологічного комплексу максимальна завантаженість конвеєра складає шість деталей, врахувавши що одна деталь

завжди знаходиться в обробці, тому на завантаженість конвеєра впливають тільки п'ять деталей. В процесі технологічного циклу маса деталей зменшується на 34% від початкової маси заготовки.

Розглянуто два режими роботи технологічного комплексу, тобто обробка одної деталі та обробка шести деталей, що відповідає мінімальній та максимальній продуктивності за умовами технологічного процесу.

В даній роботі проводимо наступні дослідження: дослідження перехідних процесів під час пуску, дослідження статичних характеристик робочого циклу, дослідження енергетичних якостей системи, дослідження характеру зміни максимальної похибки при варіації навантаження, дослідження залежності втрат від варіації навантаження конвеєру в процесі обробки.

Дослідження пускових режимів виконується з метою оцінки працездатності системи. Електропривід конвеєра має подолати статичне зусилля яке створює конвеєрна стрічка.

При дослідженні енергетичних якостей системи оцінюється активна та механічна потужності, на основі чого визначаються втрати активної потужності на підставі чого робляться висновки щодо впливу на систему ступінчасто змінюючогося навантаження.

Дослідження статичних характеристик робочого циклу, виконуються з метою визначення поведінки електромеханічних параметрів, напруязі технологічного циклу.

Під час роботи технологічного комплексу маса заготовки змінюється, досліджуючи характер змін максимальних похибок при варіації навантаження, визначається залежність величини похибки кутової швидкості від маси заготовки.

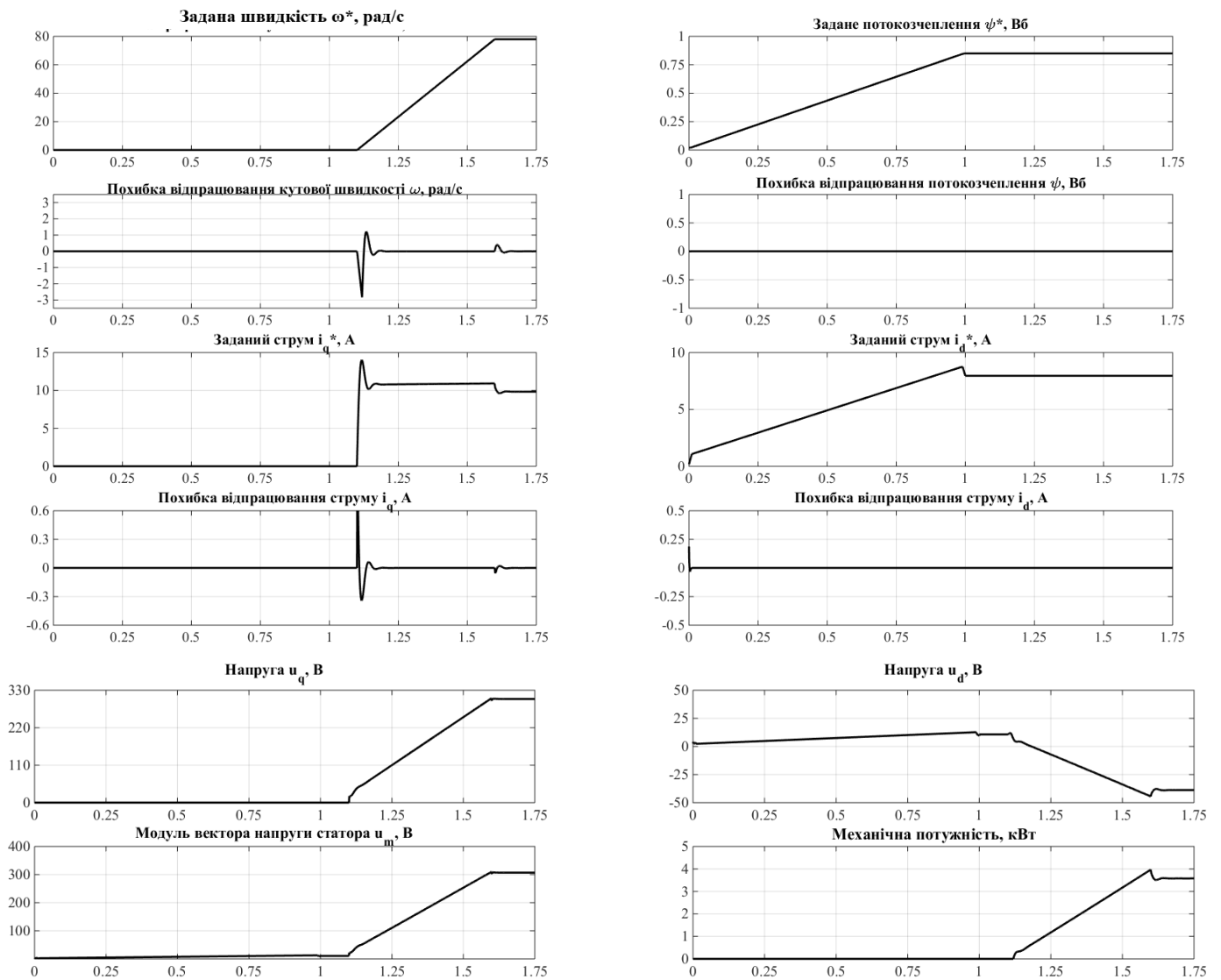
Дослідження залежності втрат від варіації навантаження конвеєру в процесі обробки, виконуються з метою оцінки впливу ваги деталі на втрати активної потужності електромеханічного комплексу.

На основі отриманих даних виконується аналіз доцільності використання розглянутої конвеєрної системи в автоматизованому металообробному комплексі.

5.3 Дослідження перехідних процесів при пуску стрічкового конвеєра без навантаження конвеєру

Пуск асинхронного електродвигуна відбувається за наступним алгоритмом: збудження електродвигуна - з 0 по 1с, для обмеження пускових струмів та моментів для забезпечення плавного наростання швидкості конвеєрної стрічки час розгону складає від 1.1 до 1.68с, після цього двигун виходить на статичну характеристику для номінальної швидкості.

При пуску електродвигуна необхідно враховувати що при великій швидкості розгону можливе виникнення коливаний в стрічці конвеєра. Результати досліджень приведені на рисунку 5.7.



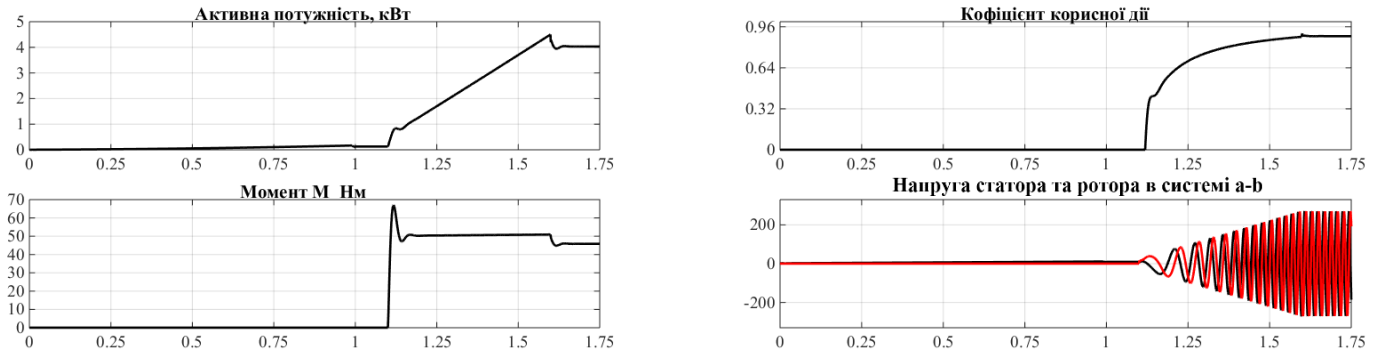
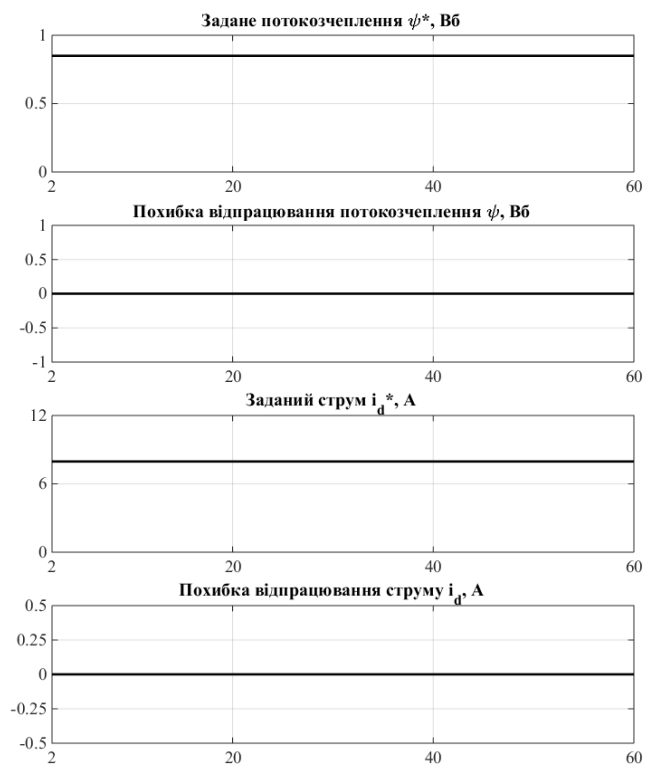
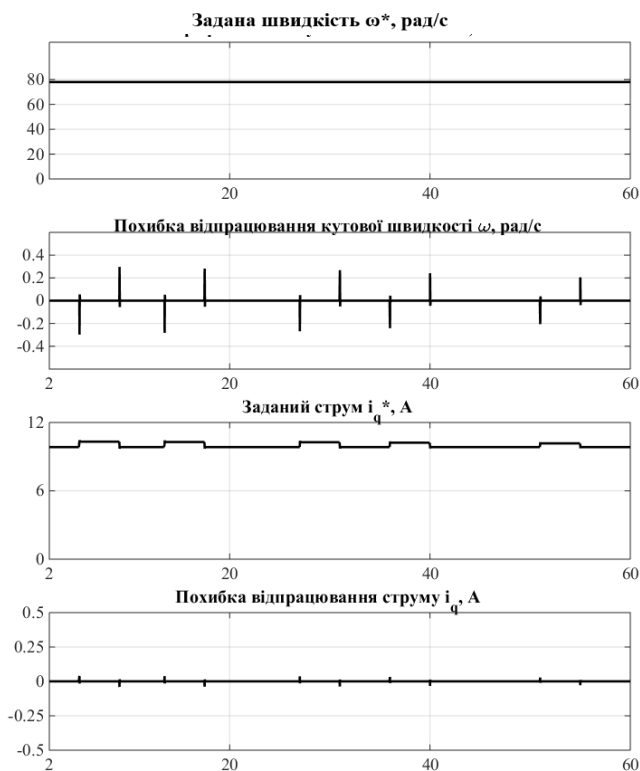


Рисунок 5.7 – Перехідні процеси пуску конвеєр

При пуску конвеєра максимальне значення струму та моменту складає відповідно $1.4I_{\text{ном}}$ та $1.45M_{\text{ном}}$. Задана швидкість в статичному режимі досягає заданого значення $\omega = \omega_{\text{ном}}$.

5.4 Дослідження характеристик перехідних процесів конвеєру під час роботи лінії автоматизованої металообробки при мінімальній продуктивності

Досліджується характер зміни максимальної похибки по швидкості та втрат активної потужності електромеханічної системи конвеєра при металообробці однієї деталі. Результати досліджень приведені на рисунках 5.8 та 5.9.



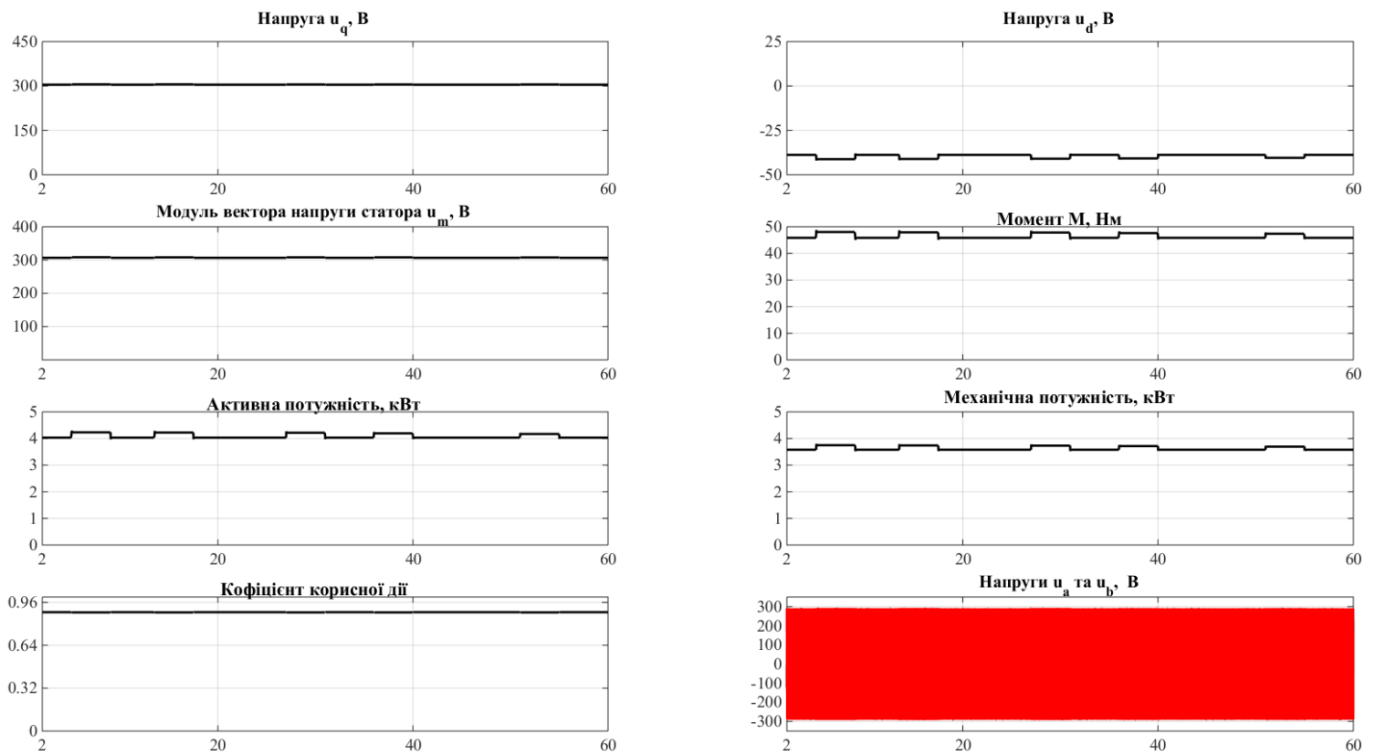


Рисунок 5.8 – Перехідні процеси при мінімальній продуктивності комплексу

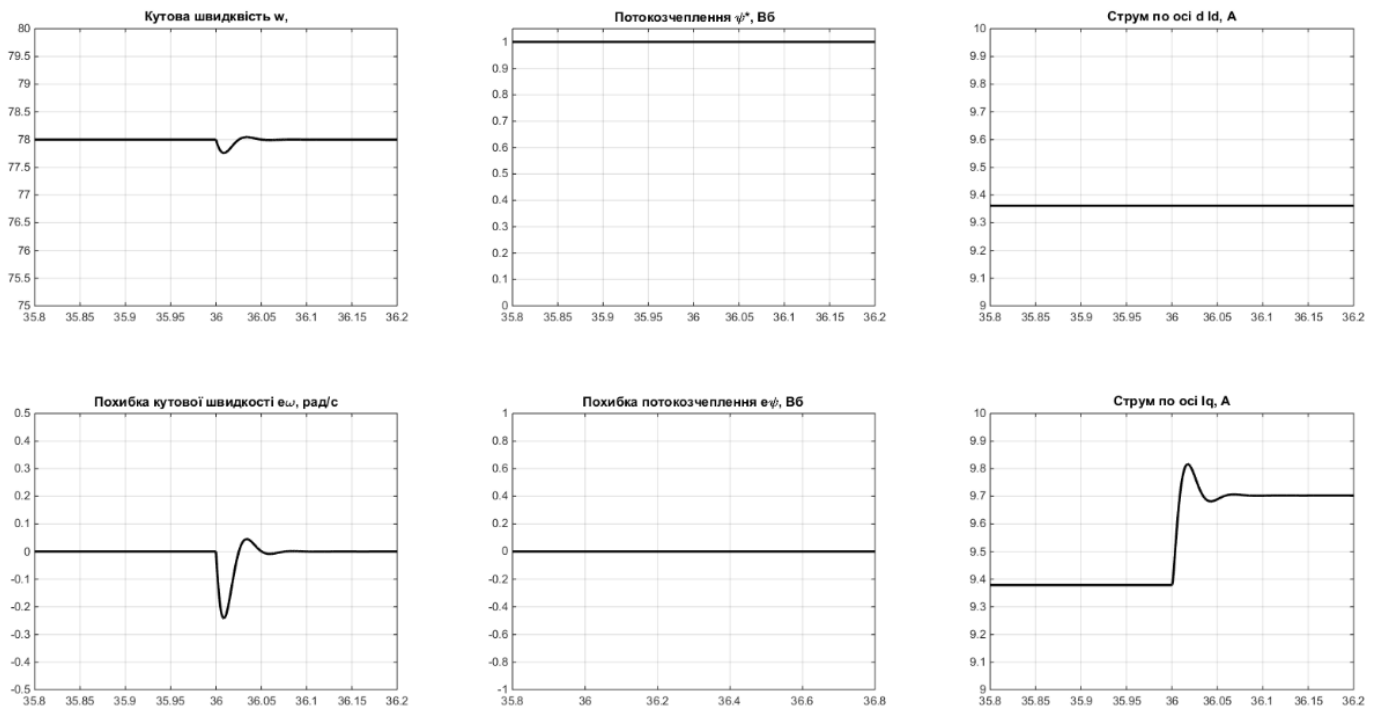


Рисунок 5.9 – Відпрацювання динамічної похибки при мінімальній продуктивності

Результати досліджень показують що при зміні навантаження при мінімальній продуктивності величина похибки знаходиться в межах до 0.24 рад/с, що складає 0.3% від номінальної швидкості, час відпрацювання похибки

складає 0.07с. Похибка поточозчеплення відсутня, межі зміни струму по осі d від 9.38А до 9.7А.

5.5 Дослідження енергетичних характеристик електромеханічної системи при мінімальній продуктивності

Виконується дослідження характеру зміни активної, механічної потужностей та рівня втрат активної потужності в залежності від зміни ваги однієї заготовки в процесі її металообробки від 30 до 20.71кг. Результати досліджень представлені на рисунку 5.10.

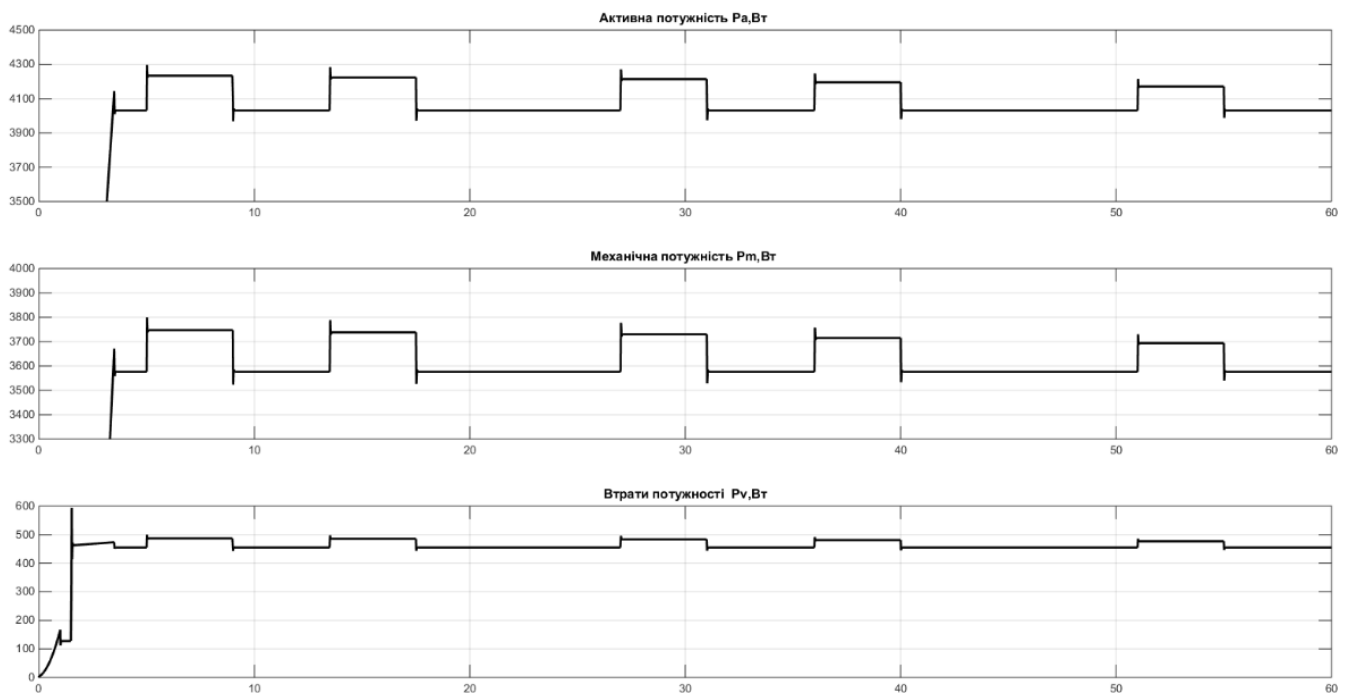


Рисунок 5.10 – Енергетична якість системи при мінімальній продуктивності

Результати досліджень показують що при зміні навантаження величина активної потужності в процесі переміщення деталі на конвеєрі змінюється в межах від 4080 Вт до 4280 Вт, механічна потужність змінюється від 3580 Вт до 3750 Вт. Втрати активної потужності коливаються в межах від 452 Вт до 497 Вт, що відповідають відносним втратам від 0.11 до 0.12 відносно активної потужності P_a .

5.6 Дослідження характеру зміни максимальної похибки швидкості при переміщенні однієї деталі на конвеєрі в процесі циклу металообробки

Досліджуються характер зміни рівня максимальної похибки швидкості в

залежності від зміни ваги деталі в процесі металообробки. Результати досліджень представлені на рисунках 5.11.

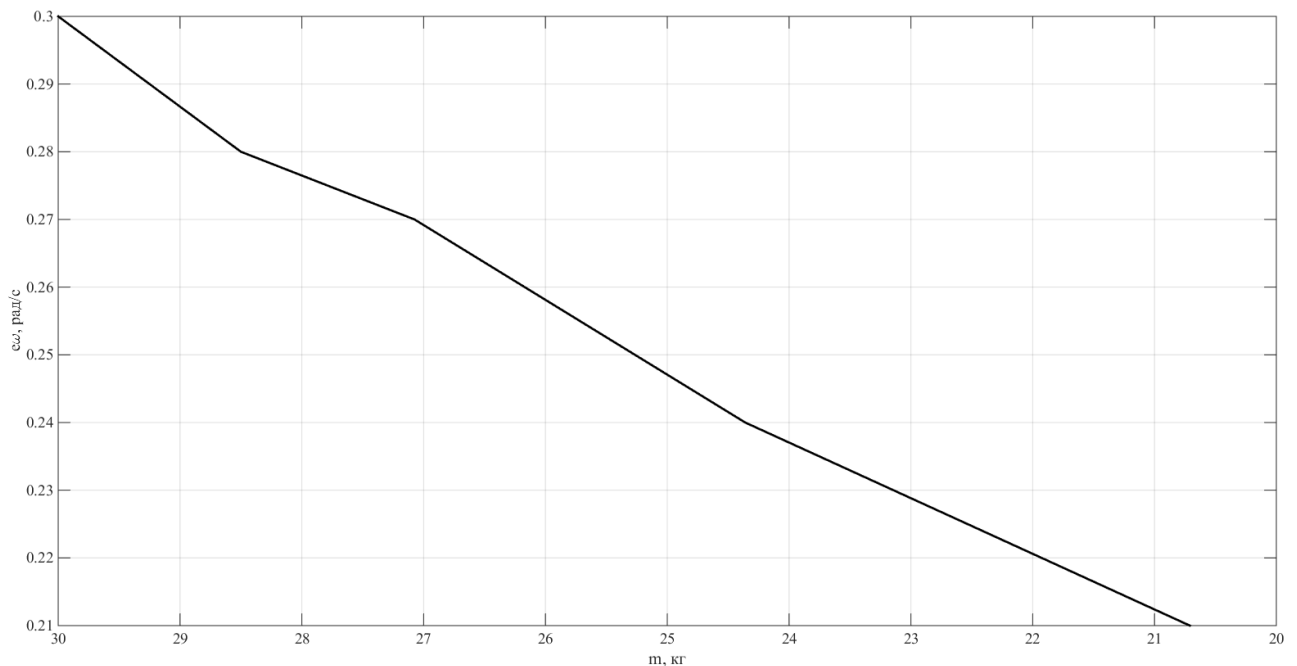


Рисунок 5.11 – Залежність похибки від ваги заготовки

На основі отриманих графіків можливо зробити висновок що при виникненні збурення внаслідок зменшення навантаження в процесі металообробки величина максимальної похибки змінюється в межах від 0.3 рад/с до 0.21 рад/с що складає 0.3%-0.22% від номінальної швидкості що знаходиться в допустимих межах при переміщенні упруго-в'язких тягових елементах.

5.7 Дослідження перехідних процесів під час технологічного циклу при максимальній продуктивності

Дослідження проводиться при переміщенні 5 деталей на конвеєрі при одночасній їх металообробці. Враховується зміна навантаження конвеєрної лінії за рахунок зменшення ваги деталей в процесі їх обробки. Вага деталей зменшується в діапазоні від 30 до 155 кг. Виконуємо дослідження перехідних процесів які відбуваються в процесі виконання одного технологічного циклу при максимальній продуктивності. Результати досліджень представлені на рисунках 5.12.

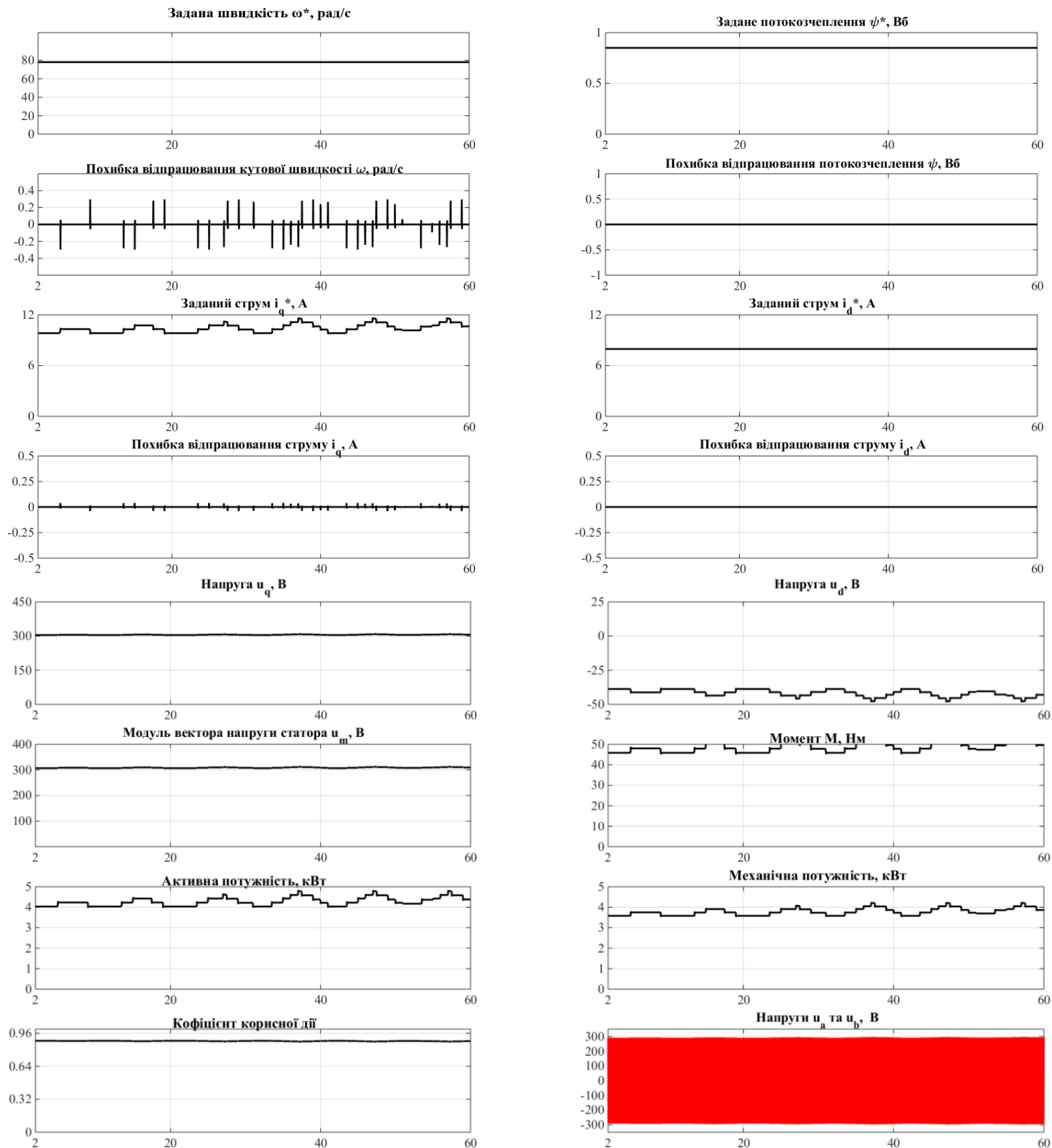


Рисунок 5.12 – Перехідні процеси при максимальній продуктивності комплексу металообробки

5.8 Аналіз похибки по швидкості при максимальній продуктивності комплексу металообробки

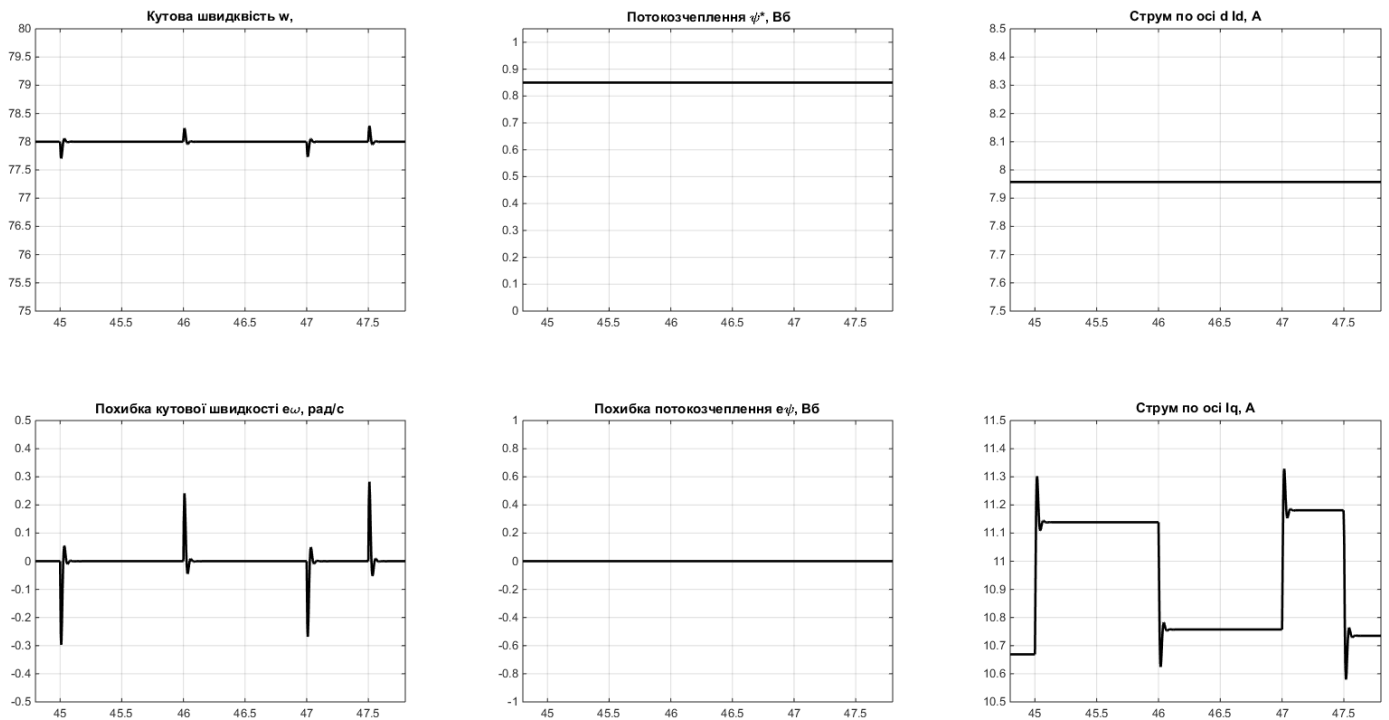


Рисунок 5.13– Відпрацювання динамічної похибки при максимальній продуктивності

Результати досліджень показують що при зміні навантаження при максимальній продуктивності величина похибки знаходиться в межах від 0.3 до 0.22 рад/с, час відпрацювання максимальної похибки складає 0.07с. Аналіз розподілення похибок від зміни навантаження показує що період відпрацювання похибки не накладається по часу на алгоритм подачі та усунення деталі з тягового елемента конвеєру, що забезпечує сталу роботу технологічного комплексу в цілому. Похибка потокосцеплення відсутня, струм по осі d від 9.38А до 9.7А.

5.9 Аналіз енергетичних характеристик електромеханічної системи при максимальній продуктивності

Результати досліджень характеру зміни активної механічної та втрат потужності в межах роботи технологічного комплексу приведено на рисунку 5.14, 5.15, 5.16.

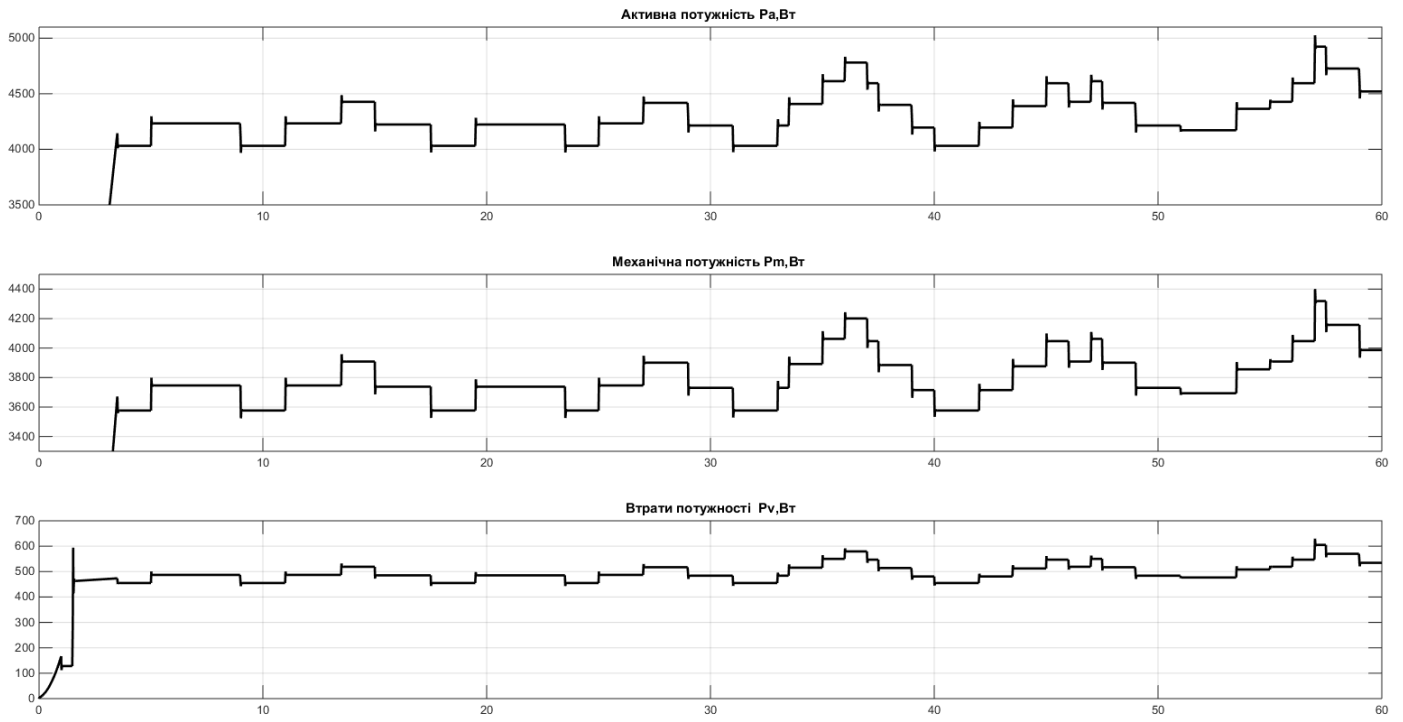


Рисунок 5.14 – Характер зміни енергетичних характеристик при максимальній продуктивності комплексу

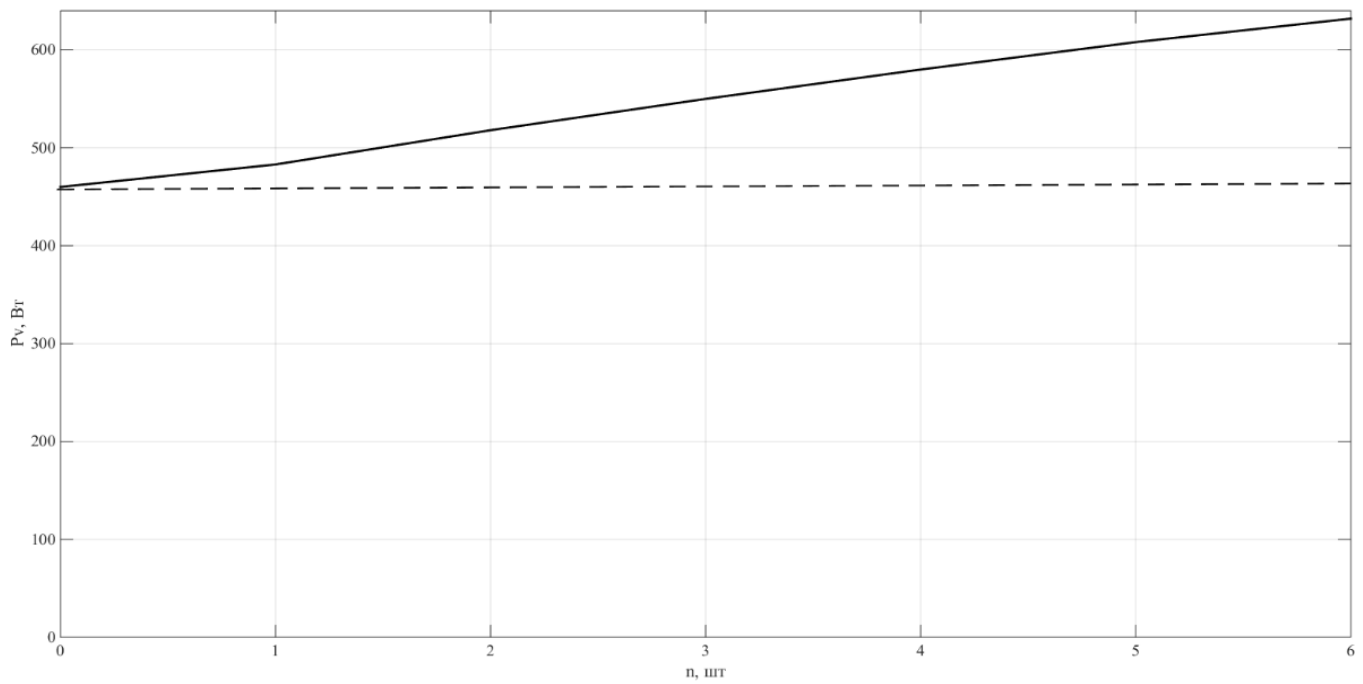


Рисунок 5.15– Залежність втрат від кількості заготовок

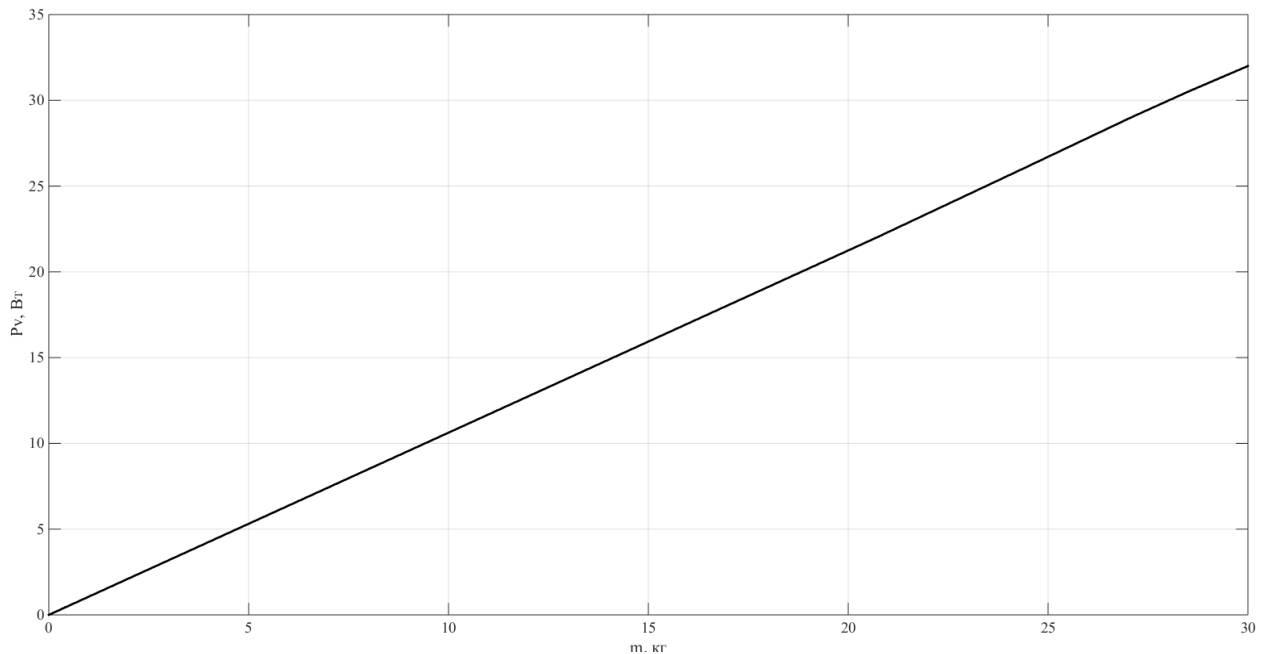


Рисунок 5.16– Залежність втрат активної потужності від ваги

Точки на рисунку 5.15 відповідають 1 рисунку 5.15 відповідає масу одної деталі в 30 кг, точка 2 відповідає двом деталям масою 58.7 кг, точка 3 відповідає трьом деталям загальною масою 85.57 кг, точка 4 відповідає чотирьом деталям масою 109.93 кг, точка 5 відповідає п'яти деталям масою 130.64 кг, точка 6 відповідає шести деталям масою 155 кг, що відповідає зменшення маси деталі після обробки на верстаті

Результати досліджень показують що при зміні навантаження при максимальній продуктивності величина активної потужності змінюється в межах від 3900 до 4610, механічна потужності від 3520 до 4180 втрати активної потужності від 415 до 500, що складає від 13% до 14.5% від P_a .

Висновки по п'ятому розділу

Аналіз отриманих результатів дослідження показує, що при металообробці як однієї деталі так і при максимальній продуктивності технологічного комплексу максимальна похибка по швидкості електромеханічної транспортної системи при перестановці деталей на конвеєрі не перевищує величини 0.3% від $\omega_{ном}$, що забезпечує усталений режим роботи транспортної системи. При цьому час відпрацювання максимальної похибки складає 0.07с, що забезпечує стійкість роботи стрічкового конвеєру та

технологічного процесу комплексу металообробки в цілому. Втрати потужності не перевищують величини 15% відносно активної потужності, що задовольняє вимоги енергетичної ефективності транспортних систем.

Дослідження показують що використання електромеханічної системи з векторно керованим асинхронним електродвигуном дозволяє забезпечити високу степінь точності відпрацювання заданого закону управління. Проведено дослідження залежності втрат активної потужності від продуктивності та ваги однієї деталі.

ВИСНОВКИ

1 Задачі поставлені в роботі виконано у повному обсязі.

2 На основі аналітичного огляду конструкцій і режимів роботи конвеєрних систем сформульовано вимоги до електроприводу, за рахунок порівняльного аналізу можливих систем електроприводу обрана, як найкраща що включає до себе перетворювач частоти та асинхронний двигун з системою векторного керування.

3 В процесі розрахунку елементів системи керування обрано асинхронний електродвигун потужністю 4кВт серії 4A132S8Y3, а також перетворювач частоти SINAMICS G120C. Виконано розрахунок регулятор швидкості.

4 На основі отриманої математичної моделі проведено розробку в межах пакета прикладних програм 'Matlab Simulink' моделі для дослідження динамічних характеристик стрічкового конвеєру.

5 Дослідження характеристик електромеханічної системи для двох крайніх режимів роботи технологічного комплексу, при мінімальній та максимальній кількості оброблюваних деталей показали що максимальна динамічна похибка по швидкості не перевищує величини 0.3 % номінального значення, час відпрацювання похибки не перевищує 0.07с, що забезпечує стійку роботу технологічного комплексу.

6 Дослідження енергетичних характеристик показало що втрати активної потужності в усьому діапазоні зміни навантаження стрічкового конвеєру з врахуванням особливостей технологічного комплексу металообробки (при мінімальній та максимальній продуктивності) не перевищують 15 % від активної потужності, що в повному обсязі відповідає рівню енергетичної ефективності конвеєра як складової частини, технологічного комплексу металообробки.

7 Аналіз режимів роботи стрічкового конвеєру показав, що використання в привідній станції векторно керованого асинхронного електродвигуна дозволяє з високою ступню точністю відпрацювати заданий закон керування швидкістю. Та забезпечити підвищення рівня економічної ефективності транспортної системи.

8 На основі отриманих результати проведених досліджень можливо рекомендувати використання електромеханічних систем з векторним керуванням при проектуванні та модернізації технологічних комплексів металообробки.

Список літератури

1. Дмитриев В. Г «Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий» // Дмитриев В. Г., Дьяченко В. П.// Издательство «Горная книга»
2. Development of Moving Equipment for Fishermen's Catches using the Portable Conveyor System [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
https://www.researchgate.net/publication/345412038_Development_of_Moving_Equipment_for_Fishermen%27s_Catches_using_the_Portable_Conveyor_System
3. 'Development of an Automatic Mini-Conveyor System for Product Monitoring [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/413/1/012021/pdf>
4. 'What is Automated Materials Handling? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: Automated material handling systems (AMHS) in libraries and archives: automated storage/retrieval and return/sorting systems
5. Load on an automated conveyor line on the speed of transportation [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
https://www.researchgate.net/publication/335844160_Load_on_an_automated_conveyor_line_on_the_speed_of_transportation
6. ' PLC Based Automated Conveyor Belt Assembly Line [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
https://www.researchgate.net/publication/320717795_PLC_Based_Automated_Conveyor_Belt_Assembly_Line
7. Разумный Ю. Т. «Анализ влияния регулирования скорости конвейерной ленты на энергоэффективность транспортных систем» // Ю. Т. Разумный, В. Н. Прокуда // УДК 621.316.7:622.647.2 - 2014
8. Бабокин Г. И. «Двухдвигательный электропривод конвейера с системой выравнивания нагрузок» // УДК 62-83:621/.69 - 2015
9. Акпанбетов Д. Б. «Система автоматического управления конвейерной линией при неравномерности загрузки» // Новосибирск: СибАК, - 2016.
10. Вимоги до конвеєрного транспорту, вантажопотоку, сфер застосування, характеристики вантажів., [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

<http://bukvar.su/promyshlennost-proizvodstvo/page,5,89079-Issledovanie-i-razrabotka-SAR-skorosti-lenty-konveyera-KL5250-dlya-ekskavatora-ERSHR-D-5250.html>

11. Иванченко Ф.К. «Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин». // Киев: Высшая школа, - 1978.
12. Ключев В.И. «Теория электропривода.» // М.: Энергоатомиздат, - 1986.
13. Дмитриева В.В. «Математическая модель магистрального конвейера как объекта управления и автоматизации» // Горные машины и автоматика. - 2001, №7.
14. Спиваковский А.О. «Транспортирующие машины» // Спиваковский А.О., Дьячков В.К. // Изд. 3-е, перераб. И доп. М., «Машиностроение» - 1983 - 487с
15. Автоматизований технологічний комплекс управління стрічковими конвеєрами. [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <http://en.iee.kpi.ua/files/ukr/33.pdf>
16. Перетворювач частоти [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://ovk.ua/shop/product/simens-sinamics-g120c-55-kvt-6>
17. Автоматичний вимикач типу ВА-2017 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: https://axiomplus.com.ua/avtomaticheskie-vyklyuchateli/product-33378/?gclid=CjwKCAjwqvyFBhB7EiwAER786YY7SW9dzk9eXuzLVnFXDfNu2w7aB2zRDGA1RmLQ1b-XNOwjMUUAAxoCszsQAvD_BwE
18. Датчик контроля схода стрічки типу КСЛ-2 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <http://delcom.com.ua/production/catalogue/ksl-2/>
19. Датчик індикації заготовки типу ПРИЗМА [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <http://prizmasensors.ru/ls5-triangulyacionnyj-lazernyj-datchik/>
20. Датчик блоку управління конвеєром [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <http://www.kit-ing.ru/node/217>
21. Бойко Е.П. Асинхронные двигатели общего назначения / Е.П. Бойко, Ю.В. Гаинцев, Ю.М. Ковалев. Под ред. В.Н. Петрова и А.Э. Кравчика. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.

22. Кіселичник О.І. «Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни “Системи керування електроприводами» для студентів денної форми навчання зі спеціальності “Електромеханічні системи автоматизації та електропривод” // - К. : НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського ” - 2002. – 49с.
23. «Матеріалознавство та машинобудування. Том II. Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя в місті Тернопіль» // - 5-6 грудня 2012. – 145 с.
24. Методические указания к курсовой работе по автоматизированному электроприводу типовых общепромышленных механизмов / Составитель. Попович Н.Г., Печеник Н.В.-К.: НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського " - 1989. – 44 с.
25. Попович Н.Г. «Методические указания к курсовой работе по автоматизированному электроприводу типовых производственных механизмов для студентов специальности «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» // Сост. Н.Г. Попович, Н.В. Печеник.-К.: «КПІ імені Ігоря Сікорського» - 1989. - 44 с.
26. Пересада С.М. «Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни ТМС-1» // С.М.Пересада, С.М. Ковбаса. – К.:НТУУ”КПІ імені Ігоря Сікорського” - 2011 р. – 80с.

Додаток А

Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт ка			
			<u>Автоматичний вимикач</u>					
		<i>QF1</i>	<i>ВА-2017 3р 25А</i>	<i>1</i>				
			<u>Перетворювач частоти</u>					
		<i>A1</i>	<i>SINAMICS G120C</i>	<i>1</i>				
			<u>Кнопка</u>					
		<i>SB1, SB2</i>	<i>XB-EA142</i>	<i>2</i>				
		<i>SB3</i>	<i>XB-EA141</i>	<i>1</i>				
			<u>Двигун</u>					
		<i>M1</i>	<i>4A132S8Y3</i>	<i>1</i>				
			<u>Датчики</u>					
		<i>A2</i>	<i>ДКЛ-3</i>	<i>1</i>				
		<i>A3</i>	<i>Призма А1</i>	<i>1</i>				
		<i>A4</i>	<i>КСЛ-2</i>	<i>1</i>				
			141.8112.009БР					
3	Лист	№ доку.	Підпис.	Дата	Конвеєрна система для автоматизованої лінії металобробки			
Розроб	Маліборський							
Первір.	Пекченик М.В							
Н.Конт	Пекченик М.В							
Затв.						Лит.	Лист	Листів
							1	2
						НТУУ КПІ ім. Сікорського ФЕА гр. ЕП-п81		

