

**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

_____ С. М. Пересада
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

**за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
по спеціалізації «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»**

(код і назва)

на тему: Електромеханічна система автоматизації кормової лінії _____

Виконав (-ла): студент (-ка) __3__ курсу, групи _____ ЕП-61 _____
(шифр групи)

Бондарчук Валентин Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник ас. Желінський Микола Миколайович

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

(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

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

(підпис)

Рецензент доц. Коваленко Михайло Анатолійович

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

(підпис)

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

Студент (-ка) _____
(підпис)

Київ – 2019 р.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/П	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	141.61201.019.БР	Пояснювальна записка	61	
3	A1	141.61201.019.БР	Креслення загального виду	1	
4	A1	141.61201.019.БР	Схема електрична принципова	1	
5	A1	141.61201.019.БР	Результати моделювання алгоритму керування	1	
6	A1	141.61201.019.БР	Структурна схема алгоритму керування	1	

				141.61201.019.БР		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Бондарчук В.М			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Желінський М.М.				2	61
Консулт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП -61_____	
Н/контр.	Приймак Б.І.					
Зав.каф.	Пересада С.М.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Електромеханічна система автоматизації кормової лінії

Київ – 2019 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)

Спеціалізація – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ С. М. Пересада
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Бондарчуку Валентину Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Електромеханічна система автоматизації кормової лінії _____

_____,
керівник проекту Желінський Микола Миколайович _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом проекту 10.06.19 _____

3. Вихідні дані до проекту кількість голів $N=1000$, маса корму на 1 голову $m=3.5\text{кг}$ _____

4. Зміст пояснювальної записки Вступ 1. Аналітичний огляд автоматизації електроприводу системи подачі корму 2. Тяговий розрахунок привідної станції. визначення потрібної потужності двигуна. 3 вибір та розрахунок силового обладнання 4. Синтез системи керування. 5. Моделювання динамічних режимів.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Структурна схема алгоритму непрямого векторного керування. Схема загального вигляду. Графіки перехідних процесів. Схема електрична принципова _____

6. Консультанти розділів проекту*

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

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
	Аналітичний огляд. Опис технологічного процесу (установки).	1.05.19	
	Визначення потрібної потужності двигуна	20.05.19	
	Вибір електродвигуна та силового електрообладнання.	20.05.19	
	Синтез (проектування) системи керування.	20.06.19	
	Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи.	20.06.19	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра містить 58 сторінок, 29 рисунків, 3 таблиці, 11 джерел інформації, 4 аркуші графічної частини.

Об'єкт дослідження – електропривод електромеханічної системи кормової лінії.

Мета роботи – виконати проектування електромеханічної системи кормової лінії з використанням асинхронного векторно регульованого електроприводу відповідно до вимог технічного завдання.

В ході роботи розроблено електропривод, що задовольняє умови технічного завдання.

СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН,
ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ, МОМЕНТ, ПОХИБКА,
ІНВЕРТОР, , РЕГУЛЯТОРИ, КОНВЕЄР

					141.61201.019.БР			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Бондарчук В. М.			Електромеханічна система автоматизації кормової лінії Реферат	Літ.	Арк.	Арк.шв
Перевір.		Желінський М.М					6	61
Рецензент						КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА каф. АЕМС, гр. ЕП -61		
Н. Контр.		Приймак Б. І.						
Затверд.		Пересада С. М.						

THE SUMMARY

The final qualifying paper of the bachelor's degree contains 58 pages, 29 figures, 3 tables, 11 sources of information, 4 sheets of graphic part.

The object of research is the electric drive of the electromechanical system of the feed line.

The purpose of the work is to carry out the design of the electromechanical feed line system using the asynchronous vector controlled electric drive in accordance with the requirements of the technical task.

In the course of work an electric drive was developed that satisfies the terms of the technical task.

ASYNCHRONOUS MOTOR, FREQUENCY CONVERTER,
ASYNCHRONOUS VECTOR CONTROLLED ELECTRIC DRIVE, FREQUENCY
CONVERTER, AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, STATIC AND DYNAMIC
CHARACTERISTICS, CONVEYER

					141.61201.019.BR			
	Letter	№ of doc.	Sign.	Date				
Devel.	V. Bondarchuk				Electromechanical system of automation of the feed line SUMMARY	L.		Pages
Checked	M. Zhelinskyi						7	61
Reviewer						«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», FEA, gr. EP-61		
N. Contr.	B. Pryymak							
Approved.	S. Peresada							

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СИСТЕМИ ПОДАЧІ КОРМУ	10
1.1 Шайбові транспортні системи подачі	11
1.2 Опис технологічної установки	12
1.3 Привідна станція	14
1.4 Трубчасті конвейери	15
1.5 Підвісні конвеєри	16
1.5 Скребкові конвеєри	22
1.6 Вимоги до електроприводу	28
2 ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК ПРИВІДНОЇ СТАНЦІЇ. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА	29
2.1 Тяговий розрахунок	29
2.2 Вибір приводного асинхронного двигуна	32
2.2.1 Розрахунок номінальних даних двигуна	33
2.2.2 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення	34
Висновки до розділу 2	38
3 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК СИЛОВОГО ОБЛАДНЯННЯ	39
Висновки до розділу 3	44
4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	45
Висновки до розділу 4	49
5 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ	50
Висновки до розділу 5	53
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	55
ДОДАТОК А М-файл для побудови графіків	57

ВСТУП

Сільське господарство – галузь української національної економіки, яка є стратегічно важливою та забезпечує Україні продовольчу незалежність і дає значній частині сільського населення робочі місця. Валовий внутрішній продукт в аграрному секторі економіки на кінець 2018 р. становив 127,3 млрд. грн, або 20%. Сільське господарство забезпечує більше 50% фонду споживання населення та є одним із лідерів серед секторів економіки в товарній структурі експорту та займає друге місце, а також вже багато років має позитивне зовнішньоторговельне сальдо. Фермерські господарства є невід'ємною частиною вітчизняного агропромислового комплексу України і займають важливе місце в забезпеченні продовольчої безпеки. У структурі вітчизняного сільського господарства вони виробляють 52,2% валової продукції сільського господарства. Також необхідно звернути увагу на розвиток фермерських господарств, оскільки тут є низка проблем: відставання від сучасних тенденцій запровадження інноваційних технологій ведення сільського господарства (нові технології та технічне забезпечення є недоступним для більшості фермерів через їх високу вартість). Тому модернізація технічних засобів сільського господарства України є стратегічно важливим питанням для української економіки.

Метою бакалаврської роботи є розробка електроприводу системи подачі корму.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СИСТЕМИ ПОДАЧІ КОРМУ

Автоматичні системи транспортування корму відіграють одну з найважливіших ролей у сучасному промисловому вирощуванні свиней.

До переваг автоматизованих систем подачі корму відносяться:

- точність виконання поставленої задачі, яку можна задати за допомогою програмних засобів керування;
- виключення негативного впливу на виробничий процес людського фактору;
- автоматичні процеси пуску та зупинки, як наслідок – мінімальні енергозатрати;
- зниження кількості ручної праці на виробництві, що дозволяє зменшити вартість виробництва та кінцеву вартість готового продукту;
- збільшення швидкості процесу годування у великих промислових агрокомплексах;
- можливість точного підбору пропорцій складових для корму.

Системи подачі корму можна розділити на системи сухого та рідкого годування.

У кожної системи є свої переваги та недоліки. Системи рідкого годування дають зменшення собівартості продукції за рахунок використання харчових відходів, але потребує високого початкового інвестування та більш високої кваліфікації робочого персоналу для управління процесами. Ризик втрат в результаті порушення технології при рідкому годуванні вище, ніж при системі сухого годування.

У зв'язку з цим на даний момент велику розповсюдженість отримали системи подачі сухого корму – вони більш надійні та дешевші.

На сучасних тваринних комплексах використовуються комбінації з різних видів кормотранспортерів. Досить часто оптимальний результат досягається при

з'єднанні спіральних та трос-шайбових або ланцюг-шайбових систем подачі. У такому випадку можна використовувати переваги обох технологій.

Спіральні транспортні системи подачі сухого корму використовуються при відсутності кутів та поворотів кормової лінії.

1.1 Шайбові транспортні системи подачі

Система сухого годування включається за допомогою таймера. При пуску установки блок приводу запускає ланцюг по кормопроводу. Одночасно вмикається впускна воронка з приводом від електродвигуна, і подає певний сорт корму, який за допомогою ланцюга або тросу, оснащеної шайбами, направляється до наступного відкритого перехідному клапану. Звідси корм потрапляє в кормопровід, що забезпечує кормом необхідний корпус. Ланцюг в кормопроводі приводиться в рух за допомогою відвідного кута з приводом від електродвигуна і подає корм в корпус до автоматів. Автомати заповнюються кормом. Після заповнення останнього автомата корм проходить через останній впуск і пускає в хід кінцевий вимикач, який зупиняє подачу корму для даного корпусу, потім починається подача в наступний корпус. Таким чином, можливо годування тварин у всіх корпусах необхідним сортом корму.

Системи подачі корму, які використовують шайбову технологію мають ряд наступних переваг:

- висока надійність механічних частин системи;
- краща гігієнічність у порівнянні з системами рідкого годування;
- простота керування;
- менші масогабаритні показники;
- можливість транспортування як сухого так і мокрого корму;

1.2 Опис технологічної установки

Система автоматичної подачі кому складається з таких компонентів:
Приймач кому зображений на рис. 1.1.

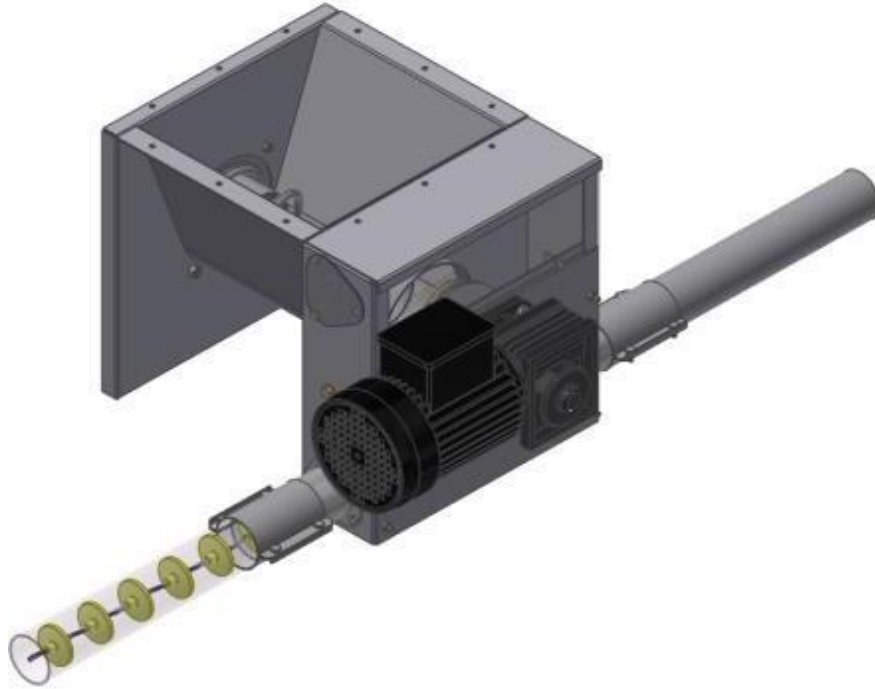


Рисунок 1.1 – Приймач кому

Приймач предає корм від бункеру до транспортної системи. Подача відбувається за допомогою шнеку, який приводиться в рух редукторним мотором. Швидкість подачі кому контролюється поршнем. Корм падає на шайботрос і транспортується дисками по кормовим лініям.

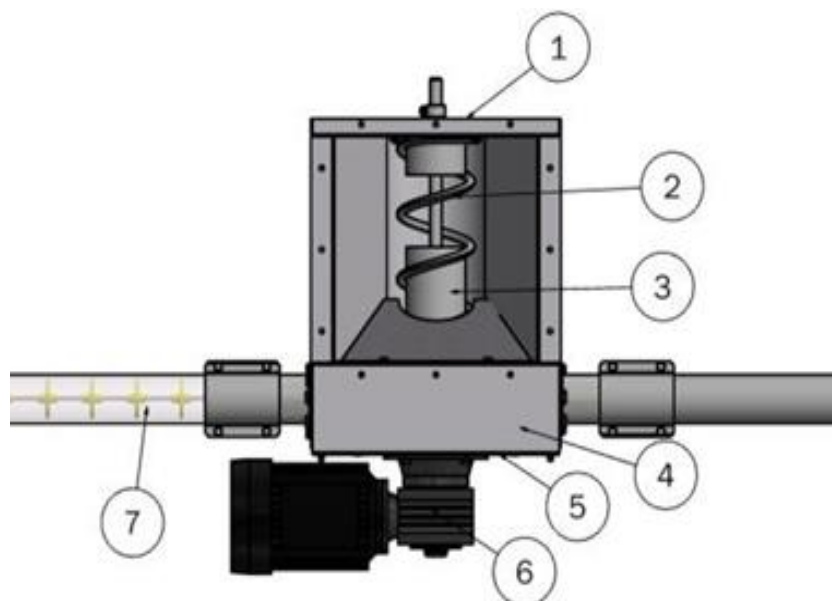


Рисунок 1.2 – Складові частини приймача кому

Пояснення до рис 1.2: 1 - замикаюча кришка; 2 – шнек; 3 – поршень; 4 – корпус; 5 – лицьова панель; 6 – редуктор; 7 – секція нагляду.

Рівень заповнення кормом перевіряється за допомогою секції нагляду (рис. 1.3).

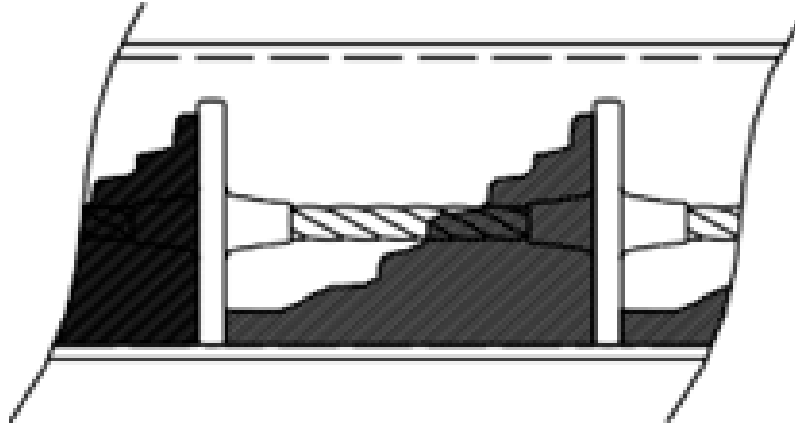


Рисунок 1.3 – Секція нагляду

Секція нагляду – це прозора труба, приєднана до приймача корму. В залежності від розміру системи рівень заповнення повинен складати 50-70%. Секція завжди повинна бути у горизонтальному положенні.

Приймач має ряд додаткового обладнання:

1. Молоток приймача (рис. 1.4) – для стандартного приймача розпушує корм і запобігає утворенню грудок в кормовій масі. Молоточок приводиться в рух шнековим приводом. Встановлюється тільки в стандартних приводах зі спіральним шнеком.

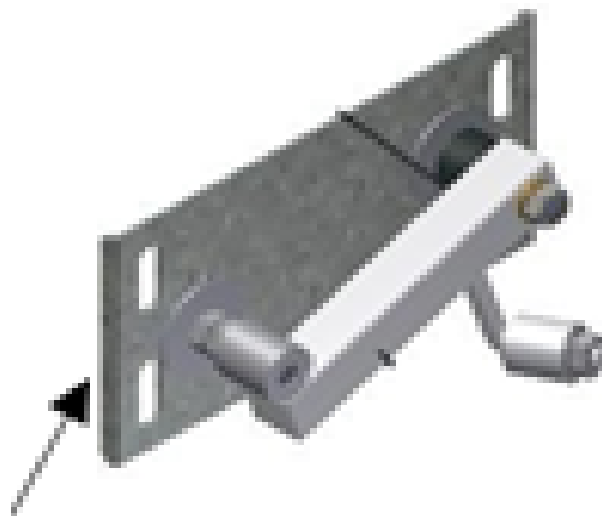


Рисунок 1.4 – Молоток приймача

2.Воронка для приймача, яка забезпечує відсутність втрат кормової маси при її потраплянні до приймача (рис. 1.5).

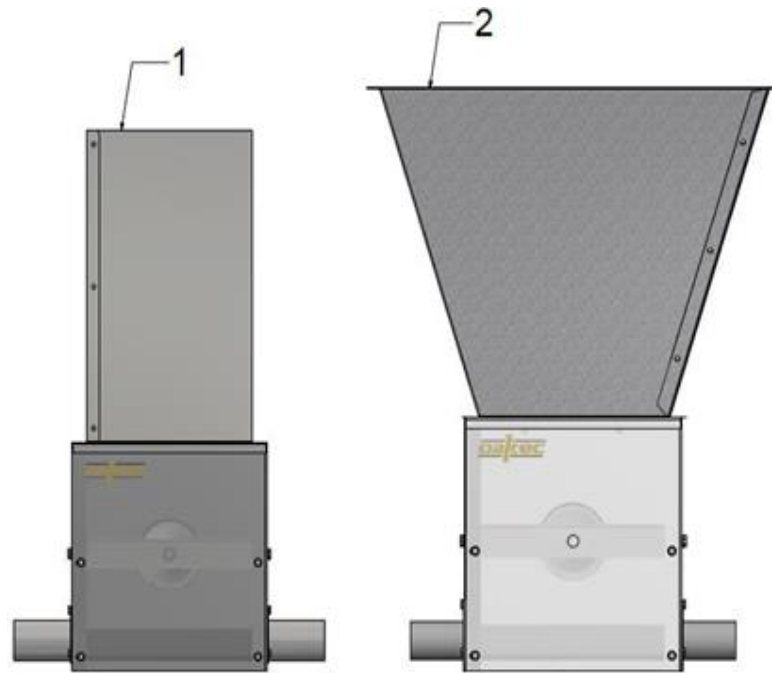


Рисунок 1.5 – Воронка для приймача

Пояснення до рис 1.5: 1 – пряма воронка; 2 – конусна воронка.

1.3 Привідна станція

Привідна станція, яка зображена на рис. 1.6, використовується для тяги троса по ланцюгу кормопроводу. Тягова сила передається від мотора через редуктор і привідне колесо до троса. Станція обладнана спеціально розробленим приводним колесом - 1. Два спеціально передбачених кільця приводного колеса передають тягу на диски троса, забезпечуючи збереження троса навіть при зношених кільцях.

Привідна станція обладнана як автоматичним - 2, так і ручним- 3- натягувачами. Натяг створюється завдяки натягувачам з пружинним механізмом - 5.

Функція керування кількістю обертів включає натягувач, індуктивний датчик - 6 і електронний блок керування. Завдяки вимірюванню швидкості руху троса, функція управління кількістю оборотів дозволяє постійно контролювати

роботу станції. У разі якщо трос занадто ослаблений, або його рух заблоковано, робота пристрою буде негайно зупинена.

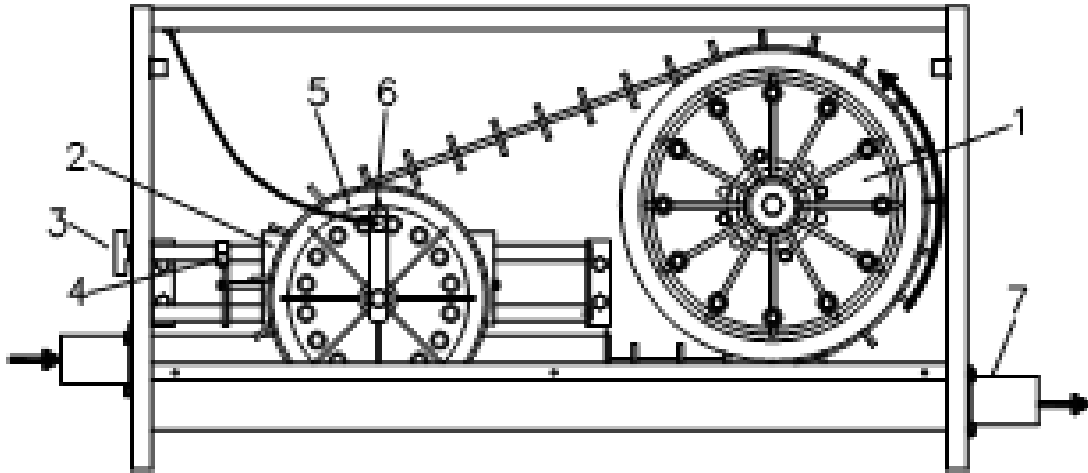


Рисунок 1.6 – Привідна станція

Пояснення до рис 1.6: 1 – привідне колесо; 2 – автоматичний натяг тросу ; 3 – ручний натяг тросу; 4 – гайка натягу ; 5 – колесо натягу; 6 – індуктивний датчик; 7 – перезідник на трубу з фланцем;

За принципом своєї роботи привідна станція являє собою трубчастий скребковий конвеєр. Тому подальші розрахунки будуть ґрунтуватися на розрахунках даного типу скребкових та підвісних конвеєрів.

1.4 Трубчасті конвейери

Трубчастий конвеєр має замкнутий контур ланцюга з прикріпленими до неї круглими або прямокутними скребками (рис 1.7). Ланцюг зі шкребками переміщається всередині герметичної труби круглого (або прямокутного перетину). траси конвеєрів найрізноманітніші. Завантаження та розвантаження - в будь-якому місці горизонтальних ділянок конвеєра. Призначені для транспортування пилоподібних, порошкоподібних, зернистих і дрібнокускових вантажів при малій середньої продуктивності в хімічній промисловості (борошно, крохмаль, чай, цукор, солод, зерно, комбікорми), деревної тирси, пилоподібного вугілля і т.д.

Герметичність труб дозволяє застосовувати для транспортування отруйних, пахучих, гарячих насипних вантажів. Широко застосовуються для роздачі кормів на птахо-і тваринницьких фермах.

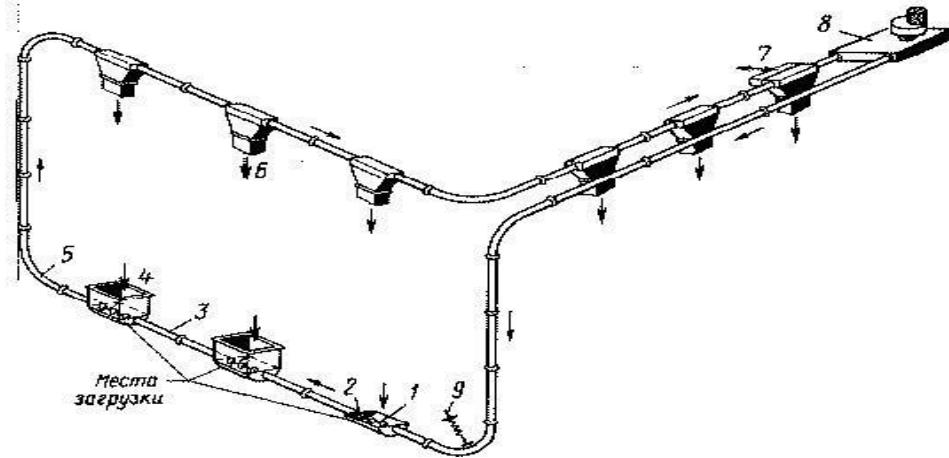


Рисунок 1.7 – Основні елементи трубчастого конвеєра

Пояснення до рис 1.7: 1 – замкнутий контур ланцюга; 2 – круглі або прямокутні скребки; 3 – герметична труба; 4 – завантажувальний пристрій; 5 – поворотні пристрої; 6 – розвантажувальний пристрій; 7 – вібраційний пристрій для очищення ланцюга і скребків від прилиплих частинок вантажу; 8 – приводний механізм; 9 – натягувач.

1.5 Підвісні конвеєри

Підвісний конвеєр – машина безперервної дії. Цей тип конвеєрів слугує для транспортування грузів по замкнутому контуру по складній просторовій трасі. Розрізняють декілька видів підвісних конвеєрів, кожен з видів має деякі зміни в конструкції:

1 Грузонесучий конвеєр – вид конвеєра, де підвісні пристрої напругу з'єднані з тяговим ланцюгом, порівняно в іншим видом здатен перемішати вантажи більшої ваги, але рухається лише по замкнутому контуру та має однакову швидкість на всіх ділянках.

2 Штовхаючий конвеєр – має більш складну конструкцію. Підвісний пристрій рухається по окремому шляху. В рух пристрій приводиться за допомогою штовхаючих елементів, ці елементи напругу зв'язані з тяговим

ланцюгом. Така конструкція дозволяє зупиняти окремі підвісні пристрої, виводити їх з робочого кола, або заводити в інші кола, не зупиняючи виробничий процес.

Внаслідок зносу технологічного устаткування та ряду інших причин, система підвісного конвеєра є нестаціонарним об'єктом, властивості якого з плином часу значно змінюються. Причому поряд з відносно плавним дрейфом параметрів, мають місце і різкі стрибкоподібні зміни характеристик системи, пов'язані, перш за все, зі зміною схем завантаження конвеєра. Крім цього, на об'єкт впливає спектр зовнішніх збурень, характер яких також варіюється від плавних і безперервних, до різких і стрибкоподібних.

Загальний вигляд підвісного конвеєра приведено на рис 1.8, де 1 – підвісний шлях; 2 – каретка, що слугує для підтримки тягового органу; 3 – тяговий орган; 4 – кріплення для підвісок

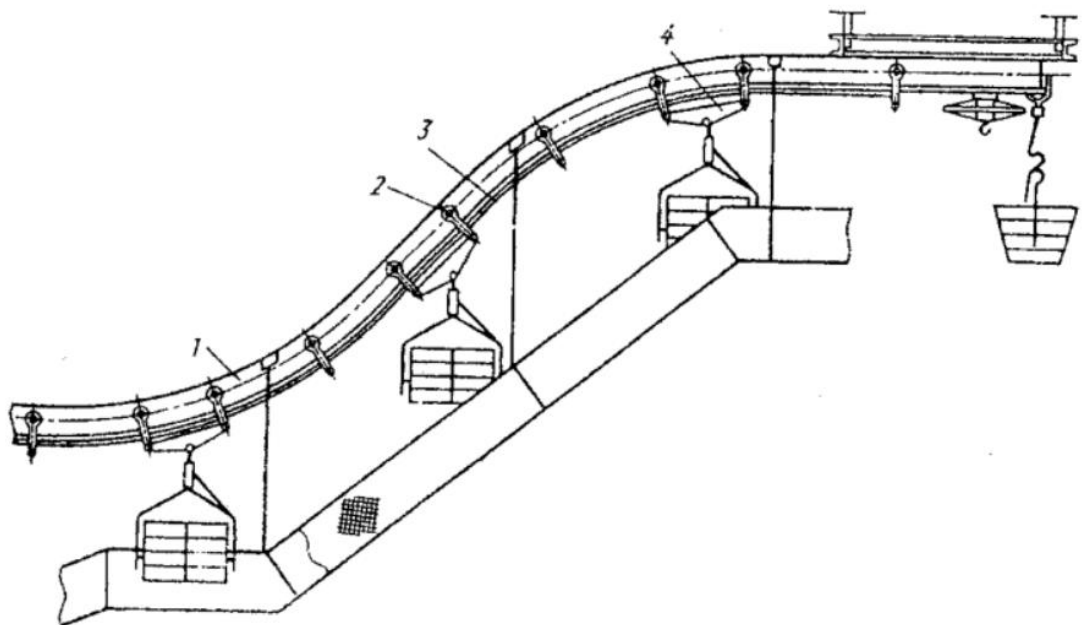


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд підвісного конвеєру

Для тягового органу застосовують ланцюги всіх типів (пластинчасті, зварні, литі і т.д.), а також сталеві канати. Іноді ланцюги виконують двошарнірними, осі яких розташовані в двох площинах, що забезпечує більшу гнучкість ланцюга в усіх напрямках. Траса підвісного конвеєра може бути

горизонтально замкнутою або мати складний профіль з підйомами, спусками і поворотами. Ці конвеєри прості і надійні в експлуатації.

Підвісні конвеєри бувають декількох типів:

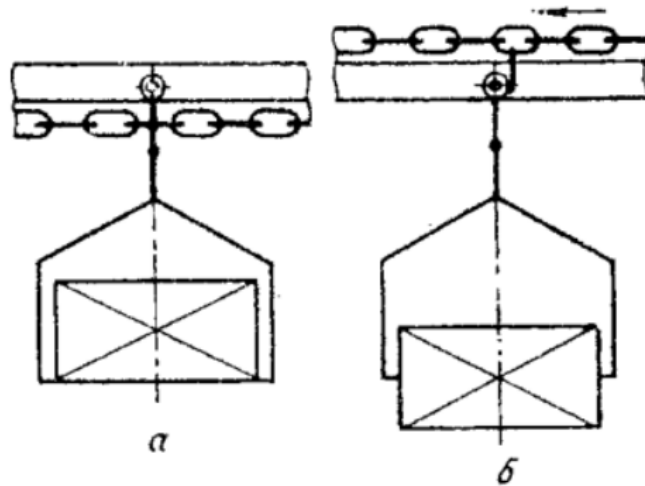


Рисунок 1.9 – Системи підвісних конвеєрів

На рис 1.9а наведено грузонесучий конвеєр, в якому грузонесуча каретка постійно з'єднана з ланцюгом; на рисунку 1.9б наведено штовхаючий конвеєр, в якому каретка з підвісками не мають постійного з'єднання ланцюгом, та рухаються за допомогою кулачків, приєднаних до ланцюга.

Тягові елементи підвісних конвеєрів – ланцюги різних типів та рідко – сталі канати – стандартні або спеціальні.

Для конвеєрів, розміщених в одній горизонтальній площині, тяговим елементом може бути будь-який ланцюг або канат. Для конвеєрів з просторовою трасою ланцюг повинен мати здатність повертатись не тільки в горизонтальній, але і вертикальній площині. Ступінь рухомості шарніра ланцюга в площині визначається радіусом перегибу конвеєра. До тягового елементу підвісного конвеєра пред'явлені наступні вимоги: максимально можлива двостороння гнучкість (тобто можливість повороту в обох площинах) в поєднанні з високою міцністю, зносостійкістю та надійністю в роботі.

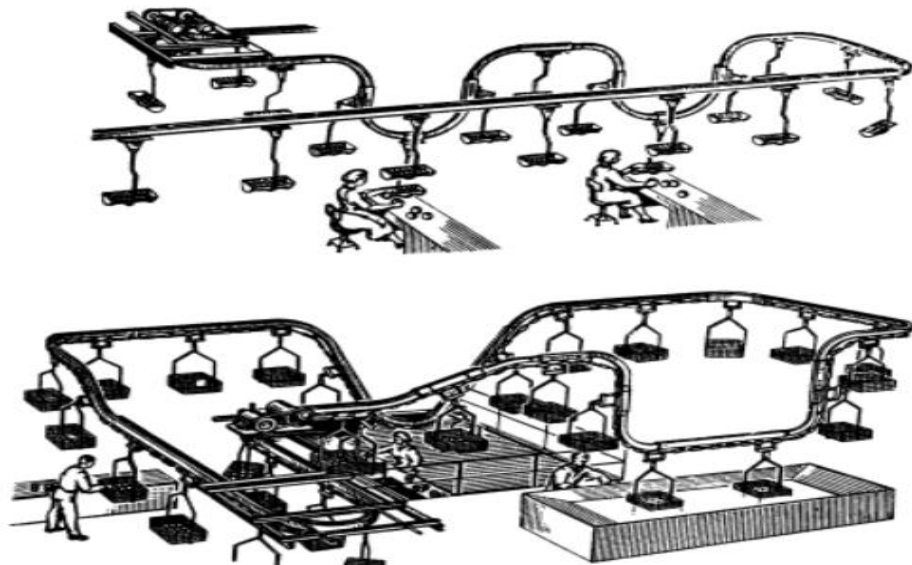


Рисунок 1.11 – Ділянки грузонесучих конвеєрів на обслуговуванні технологічних операцій.

Розрізняють ланцюги розбірні, двошарнірні різних конструкцій, комбіновані. Розбірні ланцюги складаються з шарнірних секцій та по способу виготовлення ланок можуть бути ковани або холодноштамповані.

Зовнішні ланки мають в середині перемичку для жорсткості, а на кінцях фасонні гнізда для шарнірних валиків. Вони працюють лише на розтяг і не зношуються через тертя.

Розбірний горячештампований ланцюг зображено на рис 1.12

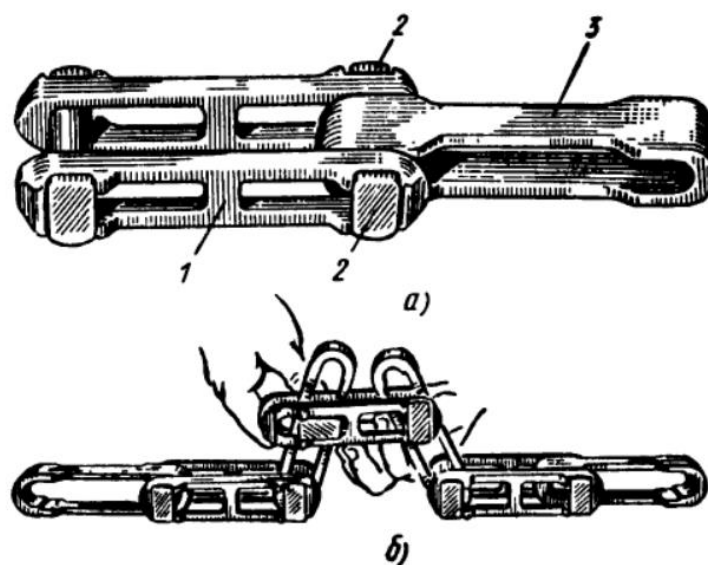


Рисунок 1.12 – Горячештампований розбірний ланцюг а – загальний вигляд; б – процес розбірки

Застосування сталюого канату (троса) в якості тягового елемента зв'язано зі значними конструктивними та експлуатаційними труднощами. Канат в порівнянні з ланцюгом має наступні переваги: 1) при одній та тій же допустимій нарузці він дешевше та легше; але різниця по вазі особливо велика (тільки в 3-5 разів) тільки при порівнянні ваги безпосередньо каната та ланцюга, а для повнісю зібраної ходової частини зниження складає лише 30-50%. 2) Канат не має шарнірних зчленувань, тобто легше піддається зносу. 3) через велику гнучкість канат дозволяє робити вертикальні перегиби з невеликими радіусами. 4) більш надійний в роботі, оскільки не розривається миттєво. 5) швидкість руху канатних конвеєрів може бути прийнята більш високою в порівнянні з ланцюговими, за рахунок плавності та безшумності роботи каната.

Наряду з цими перевагами канат має наступні недоліки: значне видовження, яке призводить до зміни шагу між каретками, складність створення надійно працюючого приводу, значний початковий натяг канату, необхідний для передачі тягового руху на фрикційному приводі, а відповідно і збільшений початковий натяг канату та збільшені навантаження на металокопструкції; складність взаємодії окремих частин каната. У зв'язку з цим канати застосовують доволі рідко.

Каретка повинна легко пересуватись, тобто мати малий коефіцієнт опору руху та надійне зчеплення з ходовим шляхом; бути міцною та зносостійкою в об'єднанні з малою власною вагою; надійно працювати в важких умовах експлуатації; мати просту та економічно доцільну копструкцію.

Внаслідок різноманітних умов роботи підвісного конвеєра, копструкції та типи кареток доволі різноманітні. Каретка (рис.1.13) складається з двох ковзанок 1 з осями та підшипниками, кронштейнерів 2, в яких кріпляться осі ковзанок, зажима 3, за допомогою якого тяговий ланцюг приєднується до кронштейна. Знизу, до зажима 3 приєднується несучий елемент – підвіска або треверса для груза.

Дворельсову колію роблять з двох кутників, або з двох гнутих профілей. Такий вид виконання колії має деякі переваги: можливість використання кареток з циліндричними катками, розмір катків на обмежується розміром колії. Серед недоліків такого виду колій є складність монтажу.

Поворотні пристрої. Траса підвісного конвеєра може мати різноманітні повороти в горизонтальній площині (рис.1.15). Для зміни напрямку руху тягового елемента на горизонтальних поворотах слугують поворотні пристрої. В якості поворотних пристроїв можуть бути використані зірки, блоки, роликові батареї та направляючі колії. Вибір того чи іншого поворотного пристрою залежить від типу тягового елемента, його натягу та радіуса повороту.

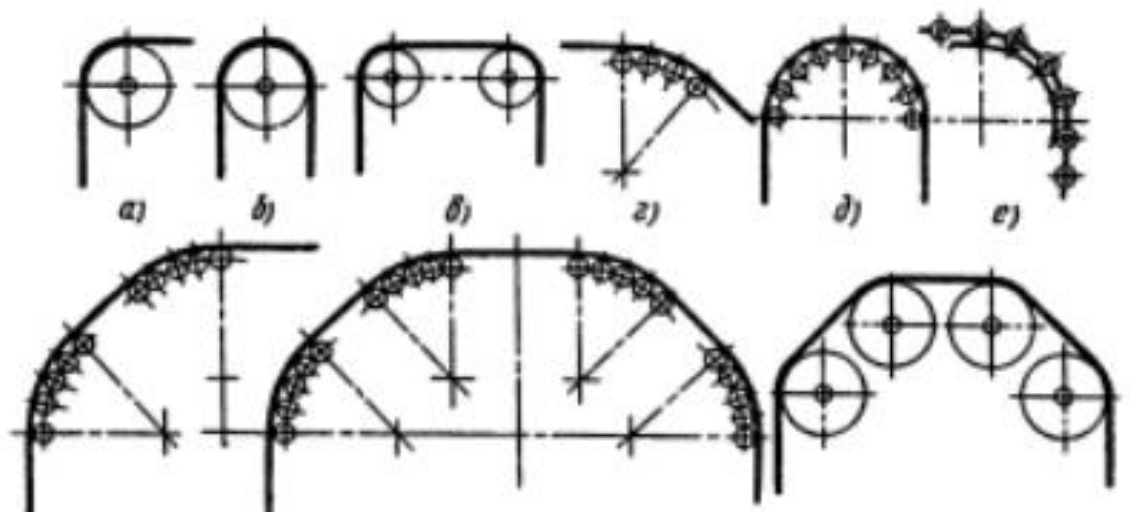


Рисунок 1.15 – Горизонтальні повороти траси конвеєра, зроблені різними шляхами: а, б, в – блоки або зірки; г, д – роликові батареї; е – направляючих колій; ж – декількох батарей, блоків зірок

1.5 Скребкові конвеєри

У 1964р. В.К.Дячковим запропонована конструкція скребкового конвеєра із закритим жолобом для забезпечення переміщення сипких вантажів під будь-якими кутами нахилу технологічних магістралей, в тому числі і вертикальних, а також дрібнодисперсних злежаних і пилоподібних вантажів. Вона складається з привідної, натяжної та поворотної станції, робочої та холостої ділянки, а також

тягового органу. Привідна станція, в свою чергу, складається з двигуна з редуктором, привідного валу та зірочки [12].

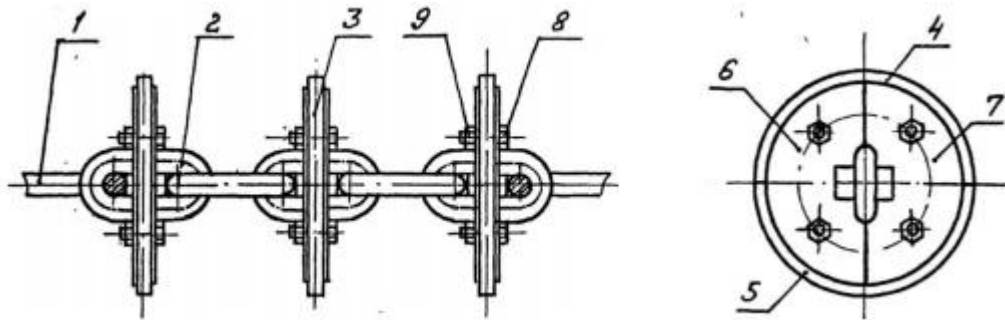


Рисунок 1.16 – Конструктивна схема трубчатого скребкового конвеєра

Характерною особливістю трубчатого скребкового конвеєра є можливість транспортування з вигинами в горизонтальній і вертикальній площинах, а також вигину траси конвеєра під кутом в 90° . Герметична трубчаста конструкція є основним контуром конвеєра, в якій розташовано замкнутий тяговий орган, що утворює вантажну і порожнякові гілки конвеєра. Форма поперечного перерізу жолоба має бути трубчастою для успішного використання суцільних скребків. На вертикальних ділянках траси трубчатого конвеєра особливої небезпеки заклинювання вантажу викликає застосування коробчастого жолоба. Загальними проблемами для усіх скребкових конвеєрів є інтенсивне зношування жолоба і тягових елементів, а саме канатів і ланцюгів. Також важливою проблемою для цих конвеєрів є підвищений зношування жолоба в місцях стикування його секцій. 21 Використання канатних і ланцюгових тягових органів і привідних зірочок вимагає звернення уваги на відому нерівномірність їх руху через періодичну зміну довжини, причому ця нерівномірність зростає у міру зносу ланок каната і ланцюга. На усіх типах скребкових конвеєрів існують проблеми забезпечення стійкості зачеплення ланок каната і ланцюга із зубами приводної зірочки при зміні кроку із-за зносу ланок, а також стійкості руху тягового органу на обвідних барабанах, що відхиляються. Специфічний характер носять вище приведені проблеми стосовно трубчастих скребкових конвеєрів. В наукових розробках [13-14], встановлено залежність роботи тертя, і відповідно, інтенсивність зношення ланок ланцюгів

від нелінійного натягування, яка є наближено пропорційна кореню кубічному з нього, при цьому є особливо чутливою до зміни натягу в межах до 50...100 кН (в залежності від відношення діаметру прутка d і радіусу заокруглення ланок R). Дана залежність дала змогу визначити, що зростання відношення d/R від 0,55 до 0,7 призводить до зростання зношення в 2-3 рази. За визначеннями Перминова Г.І. [15] виведено залежність коефіцієнта опору переміщення вантажу по жолобу для скребкових конвеєрів з жолобом відкритого типу і основним фактором якого є оптимальне відношення між швидкістю руху і площею поперечного перетину потоку вантажу по жолобу конвеєра. Експериментальні дослідження встановили, що збільшення швидкості руху тягових ланцюгів від 0,73 до 2,03 м/с призводить до зменшення опору руху приблизно в два рази. Визначено, що при подальшому збільшенні швидкості падіння опору стає незначним, а далі опір дещо зростає [16]. У дослідницьких розробках Спиваковського А.О. [17] для трубчатих конвеєрів розглядається певна небезпека заклинювання вантажу в трубі. З чого випливає твердження, що швидкість переміщення робочого органу необхідно визначати враховуючи мінімальні енерговитрати на транспортування. Буде доцільним приймати розрахунок коефіцієнту опору вантажу, як 0,2, а на вертикальних ділянках розраховувати за допомогою формул для контурних скребоків [18]. Важливу частку в енергобалансі скребкових конвеєрів займає зосереджений опір та сили тертя самого тягового органу по жолобу даного конвеєра [19]. На основі форми вільної поверхні волочіння, яка має вигляд послідовно затухаючих хвиль за допомогою кроку скребоків [20-21], визначено коефіцієнт заповнення жолоба вантажем. Беручи до уваги особливості стану вантажу у трубчастих конвеєрах обґрунтованого вивчення потребує крок скребоків, де спосіб завантаження матеріалу визначає коефіцієнт заповнення конвеєрів. Проведено аналіз теоретичних та експериментальних досліджень для розрахунку параметрів вертикальних скребкових конвеєрів із суцільними та контурними скребками для транспортування сипких матеріалів. Автором визначено залежність для розрахунку зусилля в тяговому скребковому ланцюгу на похилих та вертикальних ділянках конвеєра на основі диференціальних

рівнянь рівноваги, з урахуванням параметрів робочого органу та реологічних властивостей матеріалу. Враховуючи подані результати в роботі [22], можна зробити висновок, що при застосуванні зірочки з 10 зубчастими осередками і тягового ланцюга з кроком 80 мм збільшення кроку ланцюга до 81,5 мм приводить до збільшення амплітуди коливань швидкості каната приблизно в 2 рази, а ланцюга до 82,5 мм – в 2,5 разу.

В роботах Зенкова Р.Л. [22] наведено ряд аналітичних залежностей для визначення продуктивності різних типів конвеєрів зазначених вище в залежності реологічних властивостей сипких матеріалів, конструктивних параметрів робочих органів та розташування технологічних трас. Для визначення опору переміщення тягових скребкових ланцюгів встановлено залежності на різних ділянках транспортування, визначено величин тиску в шарнірах ланок тягових робочих органів, обґрунтовано крутні моменти на елементах приводу та потужностей на виконання технологічного процесу.

У сучасному тваринництві використовується широка номенклатура стаціонарних механічних засобів роздавання кормів з різними конструктивними рішеннями робочих органів (стрічкові, скребкові, шнекові, штангові, шайбові, спіральні або пружинні тощо), а також гідравлічні і пневматичні системи. Найбільшого поширення набули кормороздавачі з ланцюговоскребковими (КРС-15, РВК-Ф-74), канатно-дисковими (ОКС-1000, КВД-Ф-1, КВД-Ф-2, РКД-Ф-2) та гвинтовими (ТУУ-2А) робочими органами.

Канатно-скребкові можуть транспортувати сипкі матеріали складними за конфігурацією кормопроводами з горизонтальними, похилими та вертикальними ділянками. Такі конвеєри складаються з тягового органа (ланцюг або канат), на якому закріплені шайби (працюють як скребки), приводної і натяжної станцій, поворотних пристроїв і системи трубопроводів. Для свиноферм з груповим або індивідуальним (в станках) способами обслуговування тварин застосовують комплекти шайбових кормороздавачів КШ-0,5. Роздавач (рис. 1.17) представляє собою шайбовий транспортер з об'ємними груповими дозаторами 8 та системою зволоження сухих кормів у годівницях

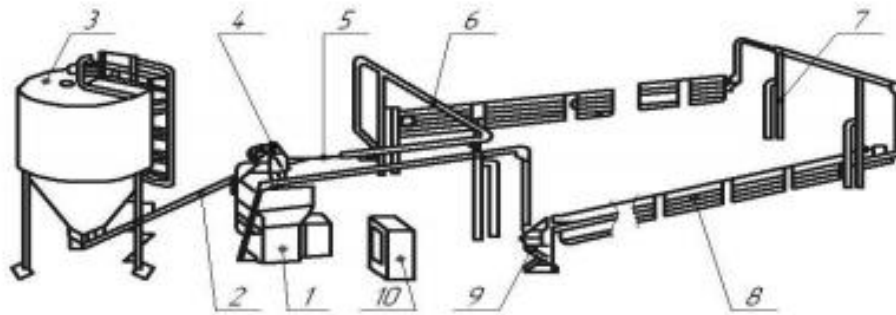


Рисунок 1.17 – Структурна схема шайбового кормороздавача КШ-0,5: 1 - привод; 2 - завантажувальний шнек; 3 - бункер-накопичувач; 4 - горловина; 5 - шайбовий канат; 6 - кормопровід; 7 - стояк; 8 - дозатор; 9 - привод дозатора; 10 - шафа керування

Для автоматизованого роздавання сухих кормів на свинофермах використовують роздавач РКА-1000 (РКА-2000), конструкції ВИЭСХ. Він має приводну станцію 1 (рис. 1.17), кормопроводи 2, дозатори 3 і бункер 5. У кормопроводі розміщений шайбовий конвеєр 4 поступально-зворотного руху, який складається з окремих секцій штоків з шайбами (на прямолінійних ділянках), ланцюгів (в зоні поворотів) і зірочок. Для зміни норм видачі в дозаторах встановлені регульовальні заслінки. Скребковий кормороздавач КРС-Ф-15А призначений для транспортування, групового дозування та розподілу кормових продуктів по 29 фронту годування у приміщеннях для утримання молодняку ВРХ. Це за кільцьований ланцюгово-скребковий транспортер 1 (рис. 1.18.) відкритого типу, змонтований на дні жолоба годівниці 2, яка має два паралельних фронти годівлі. Корм завантажується поблизу привода та транспортується скребками вздовж жолобу годівниці до її рівномірного заповнення по всій довжині.

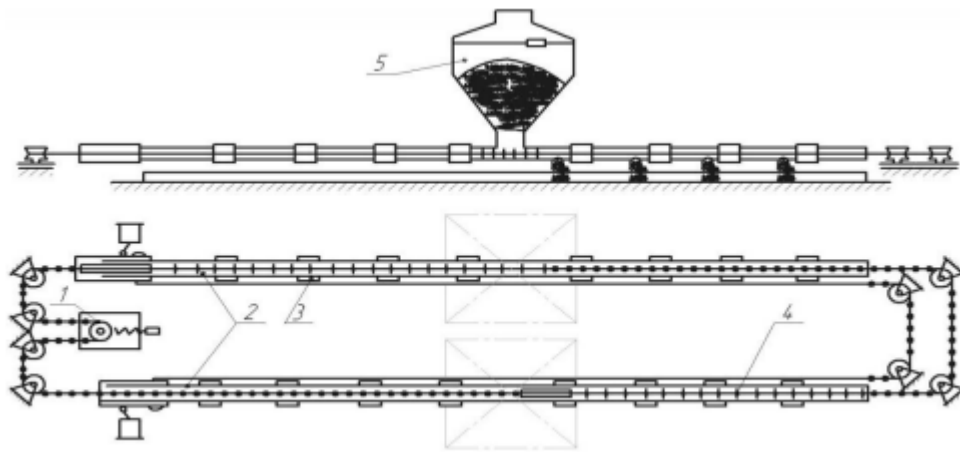


Рисунок 1.18 – Конструктивно-функціональна схема кормороздавач РКА-1000: 1-приводна станція; 2,3-кормопровод; 4-шайбовий конвеєр; 5-бункер

Трубчастий конвеєр (рис. 1.19) пристрій для транспортування сипучих матеріалів, що включає один або кілька труб 2-9, нескінченний ланцюг 10, який проходить по трубах 2-9 і яка керується ланцюговими колесами 1,12 і після чого носій пластини 13 прикріплені разом для здійснення об'ємного матеріалу 22, і щонайменше один з ланцюгових коліс 12, що відрізняється тим, що труби 30 2-9 мають прямокутний поперечний перетин і, отже, також несучі пластини 13, по суті прямокутні.

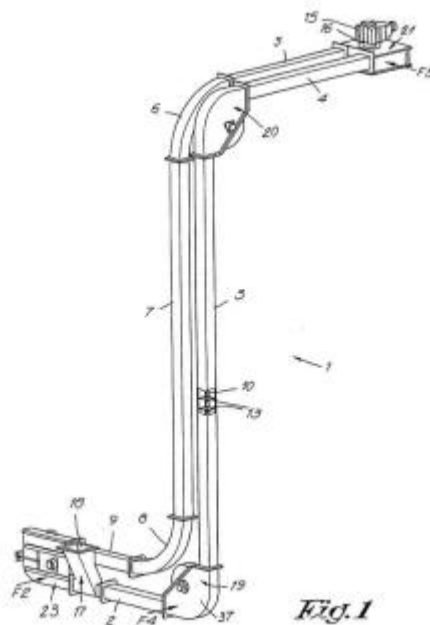


Рисунок 1.19 – Конструкція трубчастого конвеєра EP 1094019 A1

1.6 Вимоги до електроприводу

Асинхронні електроприводи добре зарекомендував себе в роботі конвеєрів. Для автоматизованого керування приводом кормової лінії необхідно розробити систему автоматизації, що дозволяє реалізувати заданий алгоритм пуску. Система лінії повинна забезпечувати наступні вимоги:

1. Плавний запуск та гальмування конвеєра.
2. Відключення конвеєра при перевищенні швидкості, або при зниженні нижче встановленого рівня, відключення при аварійних ситуаціях.
3. відключення при відсутності вантажу, відключення при перевантаженні.
4. Регулювання швидкості при різних навантаженнях.

2 ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК ПРИВІДНОЇ СТАНЦІЇ. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА

2.1 Тяговий розрахунок

Equation Chapter 2 Section 1 Для тягового розрахунку візьмемо схему загального вигляду кормової лінії, що зображена на рис. 2.1.

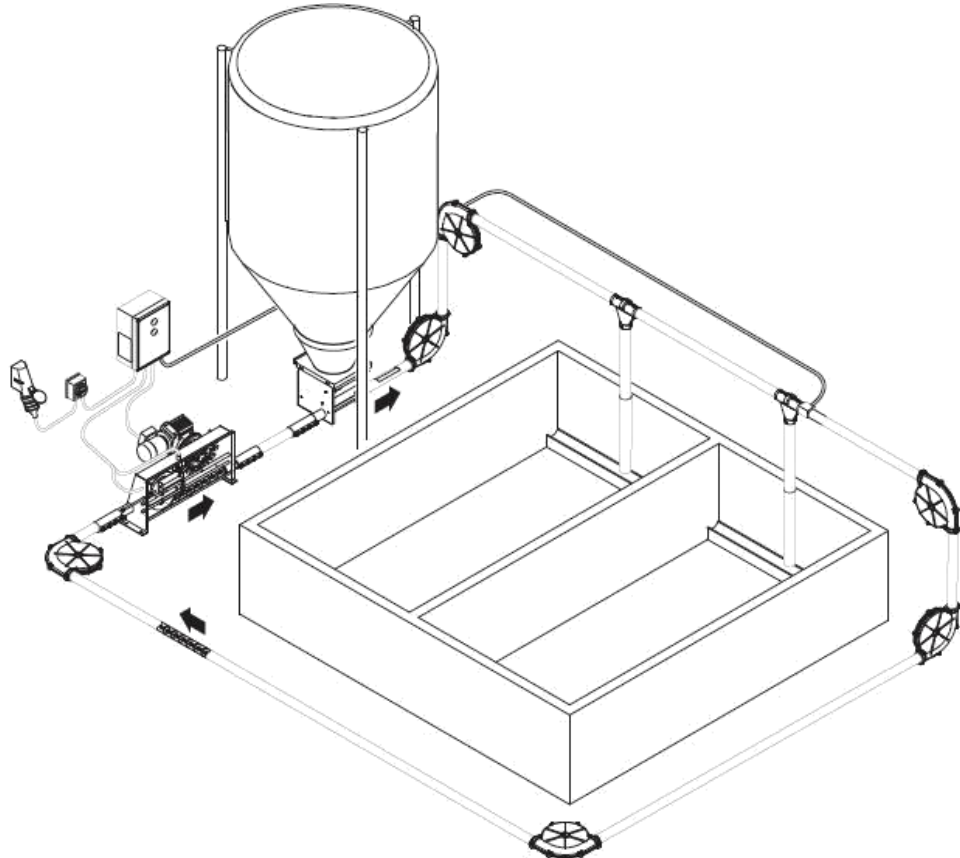


Рисунок 2.1 – схема загального вигляду кормової лінії

За методикою [3], для початку розрахунку користуємося вихідними даними, а саме:

1. Кількість голів N до яких треба транспортувати корм – 1000 голів;
2. Маса корму m_k на 1 голову складає 3кг/добу [4]

Виходячи з початкових умов, кількість корму Q , яку потрібно транспортувати, дорівнює:

$$Q = \frac{m_k N}{24} = \frac{4 \cdot 2000}{24} = 333 \text{ кг / год} = 0.333 \text{ т / год} \quad (2.1)$$

Висоту жолобу h , при заданій продуктивності та швидкості, знайдемо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{Q4\pi}{3600 \cdot \psi \rho v}} = \sqrt{\frac{0.333 \cdot 3.14}{3600 \cdot 0.7 \cdot 0.8 \cdot 0.4}} = 21.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (2.2)$$

де ψ – коефіцієнт заповнення жолобу вибирається в межах 0.5 - 0.7 [4], v – швидкість транспортування в м/с; ρ – густина вантажу [5], т/м³

Отриманий діаметр жолобу округляємо до найближчого більшого стандартного розміру. Обираємо жолоб діаметром 38 мм, при цьому діаметр скребків – 28мм [3].

Тяговий розрахунок конвеєра виконують звичайним порядком - обходом по контуру. При цьому беруть коефіцієнт опору руху ходової частини для сталевих труби і сталевих або пластикових скребків [6]

Погонна маса вантажу:

$$q = \frac{Q}{3.6v} = \frac{0.333}{3.6 \cdot 0.4} = 0.231 \text{ кг / м}^2, \quad (2.3)$$

Так як конструкторську розробку ходової частини ми не проводимо, то немає необхідності в попередньому виборі ланцюгу, і тяговий розрахунок проводимо по попередньо погонній масі q_0 конвеєру. Для виконання тягового розрахунку трасу конвеєра розбивають на ділянки, навантаження і опір яких незмінні [7].

Опір руху холостої гілки на горизонтальних та похилих ділянках:

$$W_x = qg L_x (f_c \cos \beta + \sin \beta) = 0.399 \cdot 9.81 \cdot 10 = 29.034 \text{ Н}, \quad (2.4)$$

L_x – довжина холостої гілки, м; f_c – коефіцієнт тертя скребка в трубі;

Опір руху завантаженої гілки на горизонтальних та похилих ділянках:

$$W = (q + q_0)Lg(w_r \cos \beta + \sin \beta) = (0.399 + 0.251) \cdot 174 \cdot 9.81 \cdot (0.6 \cdot 0.965 + 0.258) = 902.253 \text{ Н}, \quad (2.5)$$

де L – довжина завантаженої гілки, м; w_r – коефіцієнт опору переміщенню вантажу.

Сила опору руху на горизонтальних ділянках:

$$W_h = (q_0 + q)gL_h w' = (0.399 + 0.251) \cdot 9.81 \cdot 3 \cdot 3 = 55.66 \text{ Н}, \quad (2.6)$$

де L_h – довжина робочої гілки, м; w' – коефіцієнт опору переміщенню вантажу на вертикальних ділянках [8].

Загальний опір руху:

$$W_0 = W_x + W + W_h = 902.253 + 29.034 + 55.66 = 986.95 \text{ Н}, \quad (2.7)$$

Розрахункова потужність двигуна:

$$P = \frac{k_3 W_0 v}{1000 \cdot \eta} = \frac{2 \cdot 986.95 \cdot 0.4}{1000 \cdot 0.9} = 0.877 \text{ кВт}, \quad (2.8)$$

де η – ККД приводу; k_3 – коефіцієнт запасу

На основі отриманих значень обираємо двигун серії 4A90LB8Y3 [9].

Визначаємо момент на валу двигуна:

$$M = W_0 r = 986.95 \cdot 0.125 = 112.78 \text{ Нм}, \quad (2.9)$$

де r – радіус приводного барабану, м.

Номінальна кутова швидкість дорівнюватиме:

$$\omega_n = \frac{\pi n}{30} = \frac{3.14 \cdot 745}{30} = 78.01 \text{ рад / с}, \quad (2.10)$$

де n – номінальна частота обертання, об/хв.

Приводимо кутову швидкість через лінійну:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{0.3}{0.125} = 2.4 \text{ рад / с}, \quad (2.11)$$

Передаточне число редуктора:

$$i = \frac{W_n}{\omega} = \frac{78.01}{3.2} = 24.37, \quad (2.12)$$

Згідно отриманим даним, обираємо редуктор з 2-го стандартного ряду, з передаточним числом 28[10].

2.2 Вибір приводного асинхронного двигуна

Паспортні дані двигуна 4A90LB8Y3 [9], наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.4 – Паспортні дані двигуна 4A90LB8Y3

Параметр	Значення
Номінальна потужність	$P_{2n}=1,1\text{кВт}$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n}=380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n=4$
Момент інерції	$J_d=0,0086\text{кг} \cdot \text{м}^2$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta=0,7$
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi=0,68$
Перевантажувальна здатність	$\lambda=1,9$
Номінальне ковзання	$s_n=0,07$
Критичне ковзання	$s_k=0,27$
Номінальна частота напруги статора	$f=50 \text{ Гц}$
Параметри Г–подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\overline{x_1'}=0,15$
Активний опір статора	$\overline{R_1'}=0,13$

Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overline{x_2}''=0,3$
Приведений активний опір ротора	$\overline{R_2}''=0,11$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overline{x_\mu}=1,4$

2.2.1 Розрахунок номінальних даних двигуна

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0n}=2\pi f=2 \cdot 3,14 \cdot 50=314 \text{ рад/с.} \quad (2.13)$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$\omega_{xx}=\frac{\omega_{0n}}{p_n}=\frac{314}{4}=78,5 \text{ рад/с.} \quad (2.14)$$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n=\omega_{xx}(1-s_n)=78,5 \cdot (1-0,07)=71,47 \text{ рад/с.} \quad (2.15)$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n=\frac{P_{2n}}{\omega_n}=\frac{1100}{71,47}=15,39 \text{ Нм.} \quad (2.16)$$

Критичний момент двигуна (по перевантажувальній здатності λ з каталогу):

$$M_k=\lambda M_n=1,9 \cdot 15,39=29,24 \text{ Нм.} \quad (2.17)$$

Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора:

$$U_n=U_{1n}/\sqrt{3}=380/\sqrt{3}=220(\text{В}), \quad (2.18)$$

$$I_n=\frac{P_{2n}}{3U_n\eta\cos\varphi}=\frac{1100}{3 \cdot 220 \cdot 0,64 \cdot 0,65}=3,5 \text{ А.} \quad (2.19)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{\text{на}} = \sqrt{2} U_{\text{n}} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ В}, \quad (2.20)$$

$$I_{\text{на}} = \sqrt{2} I_{\text{n}} = \sqrt{2} \cdot 3,5 = 4,96 \text{ А}. \quad (2.21)$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $R_1=0$:

$$\psi_{1\text{XX}} = \frac{U_{\text{на}}}{\omega_{0\text{n}}} = \frac{311}{314} = 0,99 \text{ Вб}. \quad (2.22)$$

2.2.2 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення

Математична модель АД отримана для Т-подібної схеми заміщення, що показана на рис. 2.2, в той час як приведені каталожні параметри відповідають Г-подібній схемі заміщення, рис. 2.3. Для перерахунку параметрів з Г-подібної схеми в Т-подібну використовується наступна методика:

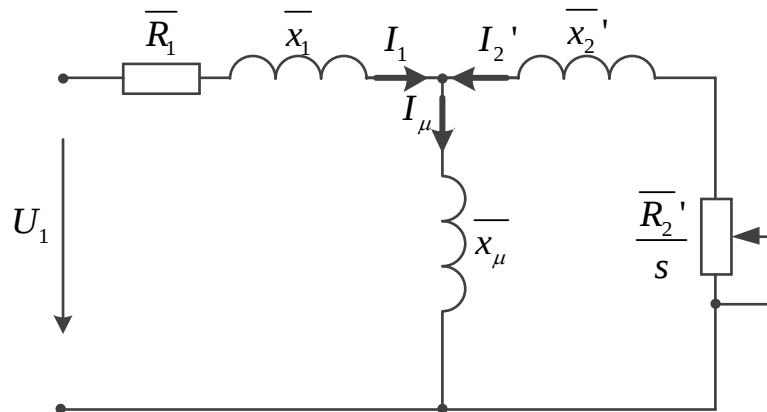


Рисунок 2.2 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

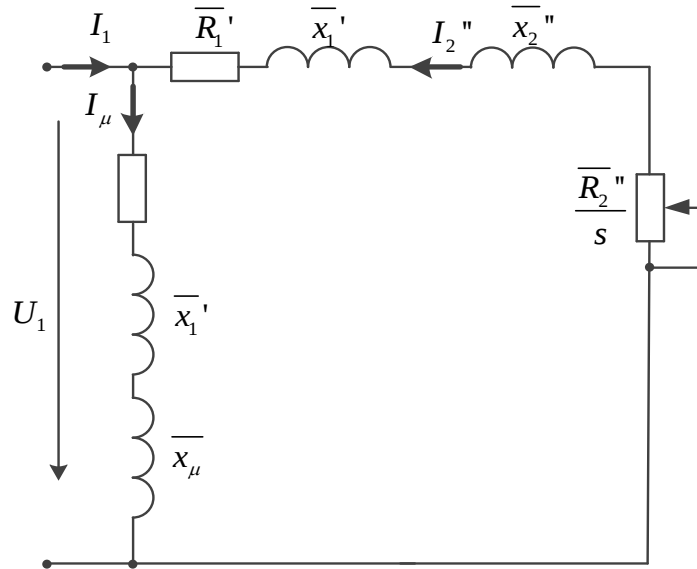


Рисунок 2.3 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Коефіцієнт перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення:

$$c_1 = \frac{\overline{x}_\mu + \sqrt{\overline{x}_\mu^2 + 4\overline{x}_1'\overline{x}_\mu}}{2 \cdot \overline{x}_\mu} = \frac{1,4 + \sqrt{(1,4)^2 + 4 \cdot 0,15 \cdot 1,4}}{2 \cdot 1,4} = 1,0976. \quad (2.23)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\overline{x}_1 = \frac{\overline{x}_1'}{c_1} = \frac{0,15}{1,0976} = 0,1367, \quad (2.24)$$

$$\overline{R}_1 = \frac{\overline{R}_1'}{c_1} = \frac{0,13}{1,0976} = 0,1184, \quad (2.25)$$

$$\overline{x}_2' = \frac{\overline{x}_2''}{c^2} = \frac{0,3}{(1,0976)^2} = 0,2733, \quad (2.26)$$

$$\overline{R}_2' = \frac{\overline{R}_2''}{c^2} = \frac{0,11}{(1,0976)^2} = 0,1002, \quad (2.27)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях запишуться:

$$x_1 = \overline{x_1} \frac{U_n}{I_n} = 0,1367 \cdot \frac{220}{3,5} = 8,5 \text{ Ом}, \quad (2.28)$$

$$R_1 = \overline{R_1} \frac{U_n}{I_n} = 0,1185 \cdot \frac{220}{3,5} = 7,4 \text{ Ом}, \quad (2.29)$$

$$x_2' = \overline{x_2'} \frac{U_n}{I_n} = 0,2733 \cdot \frac{220}{3,5} = 17,07 \text{ Ом}, \quad (2.30)$$

$$R_2 = \overline{R_2'} \frac{U_n}{I_n} = 0,1002 \cdot \frac{220}{3,5} = 6,2 \text{ Ом}, \quad (2.31)$$

$$x_\mu = \overline{x_\mu} \frac{U_n}{I_n} = 1,4 \cdot \frac{220}{3,5} = 87,48 \text{ Ом}. \quad (2.32)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{8,5}{314} = 0,0272 \text{ Гн}, \quad (2.33)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2'}{\omega_0} = \frac{17,07}{314} = 0,0544 \text{ Гн}. \quad (2.34)$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{1,4}{314} = 0,2785 \text{ Гн}. \quad (2.35)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0,0544 + 0,0272 = 0,3056 \text{ Гн}, \quad (2.36)$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0,0544 + 0,02785 = 0,3328 \text{ Гн}. \quad (2.37)$$

На основі проведених розрахунків обчислюємо значення параметрів $\alpha, \alpha_1, \beta, \gamma, \sigma, \mu_1$:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{6,22}{0,3328} = 18,8154 \text{ Ом/Гн}, \quad (2.38)$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{7,4}{0,3056} = 24,2140 \text{ OM}/\Gamma_H, \quad (2.39)$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2}\right) = 0,3056 \cdot \left(1 - \frac{0,2785^2}{0,3056 \cdot 0,3328}\right) = 0,0679 \text{ } \Gamma_H, \quad (2.40)$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \sigma} = \frac{0,2785}{0,3328 \cdot 0,0544} = 12,3233 \text{ } \Gamma_H, \quad (2.41)$$

$$\begin{aligned} \gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta &= \frac{7,4}{0,0679} + 18,8154 \cdot 0,2785 \cdot 12,3233 = \\ &= 173,5719 \text{ OM}/\Gamma_H, \end{aligned} \quad (2.42)$$

$$\mu_1 = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,2785}{0,3328} = 1,2550. \quad (2.43)$$

Таблиця 2.2 – Параметри двигуна 4A90LB8Y3

Параметр	Значення	Параметр	Значення
P_{2n} , кВт	1,1	R_1 , Ом	7,4
ω_{xx} , рад/с	78,5	R_2 , Ом	6,26
ω_n , рад/с	77,5	L_1 , Гн	0,3056
M_n , Нм	15,39	L_2 , Гн	0,3328
M_k , Нм	29,24	L_m , Гн	0,2785
λ	1,9	α , Ом/Гн	18,8154
I_{na} , А	4,96	α_1 , Ом/Гн	24,2140
ψ_{1xx} , Вб	0,99	σ , Гн	0,0679
η	0,7	β , 1/Гн	12,3233
$\cos\varphi$	0,68	γ , Ом/Гн	173,5719

Висновки до розділу 2

1. Розраховано сили, які діють лінію подачі корму, на основі яких вибрано асинхронний двигун 4A90LB8Y3 потужністю 1,1 кВт з номінальним моментом 15,39 Нм.

2. Розраховано основні параметри двигуна (R_1, R_2, L_1, L_2, L_m) для подальшого моделювання.

3 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Головним елементом системи електроприводу є перетворювач частоти.

Перетворювач частоти (автоматичний регулятор частоти або інвертор) — цей пристрій, що перетворює вхідну напругу 220В/380В частотою 50Гц, у вихідну імпульсну напругу за допомогою ШІМ (широтно імпульсної модуляції), яка формує в обмотках двигуна синусоїдальний струм частотою від 0Гц до 400Гц. Таким чином, плавно збільшуючи частоту і амплітуду напруги, що подається на обмотки асинхронного електродвигуна, можна забезпечити плавне регулювання швидкості обертання валу електродвигуна

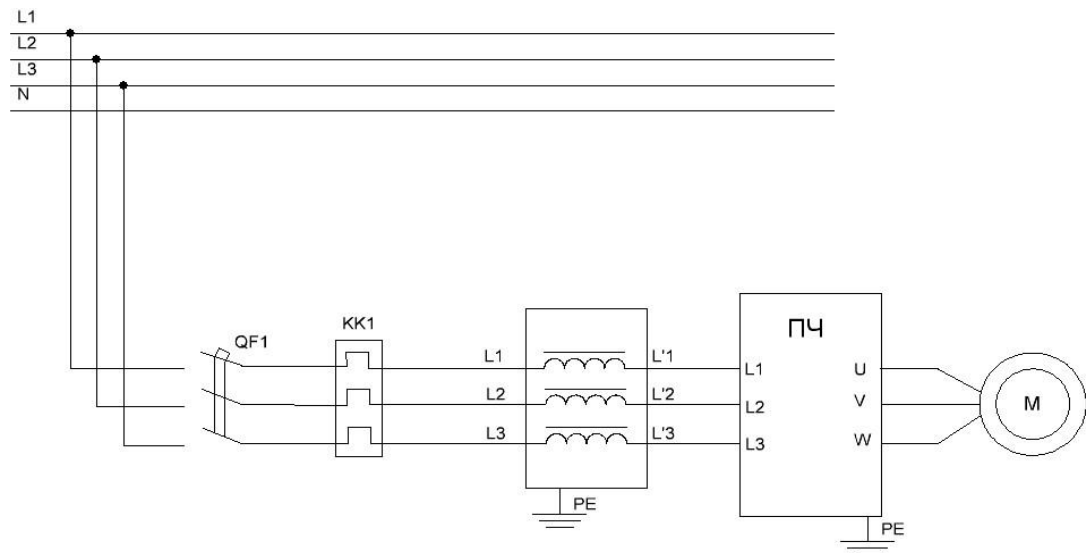


Рисунок 3.1 – Схема монтажна ПЧ з АД

Перетворювач частоти забезпечує плавний пуск і зупинку двигуна, а також дозволяє міняти напрям обертання двигуна.

Перетворювач частоти відображає на цифровому дисплеї основні параметри системи: задану швидкість, вихідну частоту, струм і напругу двигуна, вихідну потужність, момент, стан дискретних виходів, загальний час роботи перетворювача і ін.

Управління перетворювачем частоти можна здійснювати з вбудованої / виносної цифрової панелі управління, або за допомогою зовнішніх сигналів. У другому випадку швидкість обертання задається аналоговим сигналом 0-10В або 4-20мА, а команди запуску, зупинки та зміни режимів обертання подаються

дискретними сигналами. Можна відображати параметри системи у вигляді графіків на виносній графічній панелі управління.

Існує можливість управління перетворювачем частоти через послідовний інтерфейс (RS-232, RS-422 або RS-485) або від зовнішнього ПЛК з використанням спеціального протоколу (Profibus, Interbus, Device-Net, ModBus і т.д.).

Згідно з попереднім розрахунком та вибором двигуна, обираємо перетворювач частоти потужністю 1.5кВт.

Перетворювачі частоти АВВ— це сучасне обладнання, тому поряд з обов'язковими захисними функціями, такими, як захист від короткого замикання, перевищення або зникнення напруги мережі; в перетворювачах частоти реалізовані деякі додаткові функції, які дозволяють збільшити надійність роботи як самого перетворювача частоти, так і всього електроприводу в цілому. Виділяють такі додаткові захисні функції, як:

1. Тепловий захист асинхронного електродвигуна - реалізує захист від перегріву асинхронного електродвигуна програмним методом. Перегрів може бути викликаний перевищенням максимального струму обмоток і, як наслідок, виділенням надлишкового тепла. Ця функція замінює теплове реле в вихідних ланцюгах перетворювачів частоти. Її застосування не вимагає використання датчика температури двигуна.

2. Захист від різкої зміни регульованого параметра - ця функція може відрізнятися в залежності від самого регульованого параметра. наприклад:

- Визначення обриву трубопроводу - функція необхідна, наприклад, при роботі перетворювача на вентиляторних або насосних станціях. При обриві трубопроводу витрата рідини або газу збільшується за рахунок великих витоків через розрив. Швидкість асинхронного електродвигуна, при цьому, доходить до максимальної, а необхідне значення параметра не може бути досягнуто. В такому випадку перетворювач подає попереджувальний сигнал на спеціальний тривожний вихід;

- Визначення блокування трубопроводу - при блокуванні трубопроводу вище місця установки датчика тиску, тиск в системі зменшується, а швидкість роботи насоса збільшується перетворювачем. Однак, оскільки витрати газу або рідини немає, то струм двигуна залишається невеликим. Коли швидкість асинхронного електродвигуна досягає максимальної при невеликому струмі двигуна, перетворювач подає попереджувальний сигнал.

3. Захист від короточасних перевантажень - функція використовується для запобігання заклинювання валу електродвигуна. Захист спрацьовує в разі, коли струм більше, а частота менше заданого значення протягом певного часу.

4. Управління додатковим асинхронним електродвигуном - в разі, коли потужності двигуна, що працює під управлінням перетворювача, виявляється недостатньо (наприклад, для підтримки необхідного тиску або напору води в магістралі), використовується додатковий вихід для підключення додаткового асинхронного електродвигуна.

5. Пошук швидкості асинхронного електродвигуна - ця функція використовується в тих випадках, коли існує необхідність підключення до перетворювача частоти вже обертається двигун. Оснащені функцією пошуку швидкості перетворювачі аналізують параметри обертання двигуна і починають обертати електродвигун саме з тієї частоти, на якій він обертається в даний момент.

6. Функція налаштування розгону і гальмування - в цілях зменшення перевантажень при включенні і відключенні двигуна, перетворювач виробляє його плавний розгін і гальмування. Найбільш поширені види характеристик розгону і гальмування промислового застосування:

7. Використання зовнішнього гальмівного переривника - максимальна швидкість гальмування двигуна обмежується допустимим збільшенням напруги в ланці постійного струму. При збільшенні напруги і перевищенні його максимально допустимої межі можливий вихід з ладу яких вихідних силових ключів, або конденсаторів.

8. Функція пропуску резонансних частот - при роботі перетворювача існує ймовірність пропускання при розгоні і гальмуванні двигуна такі частоти, при яких в механізмі двигуна можуть спостерігатися вібрації і резонансні явища. Застосування даної функції дозволяє продовжити ресурс електроприводу і уникнути небажаних шумів при розгоні і гальмуванні.

9. Режим економії електроенергії - використовується при роботі на знижених навантаженнях для економії електроенергії. По завершенні розгону, в разі зниженого навантаження, перетворювач знижує вихідна напруга;

10. Функція підрахунку статистики роботи - для визначення виробленого ресурсу асинхронного двигуна використовується наближена оцінка середнього часу його напруцювання. Застосовуючи перетворювач частоти, з'являється можливість обліку часу напруцювання двигуна засобами самого перетворювача. Показання перетворювача свідомо є найбільш точними і не потребують будь-яких додаткових розрахунків.

Відповідно до потужності остаточно обираємо перетворювач типу ACS55-01N-07A6-2 (рис. 3.2)



Рисунок 3.2 – Частотний перетворювач ACS55-01N-07A6-2[11]

Параметри обраного перетворювача наведені в табл. 3.1

Таблиця 3.1 - технічні характеристики перетворювача

Параметр	Значення
Потужність, кВт	1.5
Номінальний струм, А	5
Піковий струм протягом 2 секунд, А	11
Максимальна вихідна частота, Гц	50
Вбудований регулятор	ПІД
Число фаз	3-ф
Напруга на вході/виході, В	380
Кількість релейних виходів	2
Сумісність з RS 422	Так

Для нормальної роботи перетворювача треба забезпечити захист від електричних та електромагнітних перешкод, які існують в мережі. Такі перешкоди призводять до проблем в роботі обладнання, яке знаходиться поблизу. Для захисту використовуються дроселі.

Автоматичний вимикач обираємо за номінальним струмом двигуна.



Рисунок 3.3 – Автоматичний вимикач компанії ABB BMS413B10

Висновки до розділу 3

1. Обраний частотний перетворювач від компанії ABB, що забезпечує необхідний алгоритм керування швидкістю.
2. Для захисту обладнання було обрано автоматичний вимикач струму на основі розрахованої потужності асинхронного двигуна.

4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Equation Chapter 4 Section 1 Для моделювання систем керування АД прийнято використовувати математичну модель, яка записується в стаціонарній системі координат (a-b).

$$\begin{aligned}
 \dot{\omega} &= \frac{1}{J}(M - M_c) - v\omega, \quad M = \mu(\psi_{2a}i_{1b} - \psi_{2b}i_{1a}) \\
 \dot{i}_{1a} &= -\gamma i_{1a} + \alpha\beta\psi_{2a} + \beta p_n \omega \psi_{2b} + \frac{1}{\sigma}u_{1a} \\
 \dot{i}_{1b} &= -\gamma i_{1b} + \alpha\beta\psi_{2b} + \beta p_n \omega \psi_{2a} + \frac{1}{\sigma}u_{1b} \\
 \dot{\psi}_{2a} &= -\alpha\psi_{2a} - p_n \omega \psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a} \\
 \dot{\psi}_{2b} &= -\alpha\psi_{2b} - p_n \omega \psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

де ω – кутова швидкість ротора; $(i_{1a}, i_{1b})^T$ – компоненти вектора струму статора в системі координат (a - b); $(\psi_{2a}, \psi_{2b})^T$ – компоненти вектора потокозчеплень ротора; $(u_{1a}, u_{1b})^T$ – компоненти вектора напруги статора; M_c – момент навантаження; V – коефіцієнт в'язкого тертя.

Додатні константи, що відносяться до електричних і механічних параметрів АД, визначені в попередньому розділі.

$$\sigma = L_1(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2}), \quad \beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}, \quad \mu = \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{J L_2}, \quad \alpha = \frac{R_2}{L_2}, \quad \gamma = (\frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta). \tag{4.2}$$

Для переходу з системи координат (a - b), у синхронну систему координат ротора (d - q), яка обертається відносно стаціонарної системи координат з швидкістю ω_0 , виконаємо перетворення Парка-Горева, яке визначається наступними рівняннями:

$$\begin{aligned} x_{dq} &= e^{-J\varepsilon_0} x_{ab}, \\ x_{ab} &= e^{J\varepsilon_0} x_{dq}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\text{де } e^{-J\varepsilon_0} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_0 & \sin \varepsilon_0 \\ -\sin \varepsilon_0 & \cos \varepsilon_0 \end{bmatrix}$$

Проблема відпрацювання заданих траєкторій кутової швидкості – потокозчеплення формулюється наступним чином. Припустимо, що для моделі АД (4.1) виконується наступне:

A.1. Струми статора та кутова швидкість ротора доступні для вимірювання.

A.2. Параметри АД відомі і незмінні.

A.3. Момент навантаження $s M_c$ невідомий, постійний та обмежений.

A.4. Задані траєкторії кутової швидкості ω^* і потокозчеплення ψ^* є обмеженими функціями з обмеженими першою та другою похідними по часу.

В умовах цих припущень відбувається проектування непрямого алгоритму керування, що забезпечує наступні цілі керування:

O.1. Глобальне асимптотичне відпрацювання заданих траєкторій швидкості – потокозчеплення, тобто

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\omega} = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi} = 0 \quad - \text{при обмеженні усіх внутрішніх змінних}$$

O.2. Асимптотичне полеорієнтування за вектором потокозчеплення ротора, тобто

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi}_q &= 0 \rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} \psi_q = 0 \\ \tilde{\psi}_q &= \psi_d \end{aligned}$$

Основні рівняння алгоритму непрямого векторного керування:

1. розімкнутий регулятор модуля вектора потокозчеплення

$$\dot{i}_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^*) \quad (4.4)$$

$$\dot{i}_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^*) \quad (4.5)$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{\dot{i}_{1q}}{\psi^*} \quad (4.6)$$

2. регулятор струму по осі (d) (польової складової струму статора)

$$\begin{aligned} u_{1d} &= \sigma \left(\gamma \dot{i}_{1d}^* - \omega_0 \dot{i}_{1q} - \alpha \beta \psi^* + \dot{i}_{1d}^* - k_i \tilde{i}_d - x_d \right), \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_{1d}, \end{aligned} \quad (4.7)$$

3. регулятор кутової швидкості

$$\begin{aligned} \dot{i}_{1q}^* &= \frac{1}{\mu \psi^*} \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \hat{M}_c + \dot{\omega}^* + v \omega^* \right) \\ \dot{\hat{M}}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega} \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\dot{i}_{1q}^* = \frac{1}{\mu \psi^*} \left[-k_\omega \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \mu \psi^* \tilde{i}_q \right) + \dot{\hat{M}}_c + \ddot{\omega}^* + v \dot{\omega}^* \right] - \frac{\dot{\psi}^*}{\psi^*} \dot{i}_{1q}^* \quad (4.9)$$

4. регулятор струму по осі (q) (моментна складова струму статора)

$$\begin{aligned} u_{1q} &= \sigma \left(\gamma \dot{i}_{1q}^* + \omega_0 \dot{i}_{1d} + \beta \omega p_n \psi^* + \dot{i}_{1q}^* - k_{iq} \tilde{i}_q - x_q \right), \\ \dot{x}_q &= k_{ii} \tilde{i}_{1q}, \end{aligned} \quad (4.10)$$

Даний алгоритм забезпечує асимптотичне відпрацювання заданої траєкторії кутової швидкості ($\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\omega} = 0$), асимптотичне відпрацювання заданих траєкторії модуля потокозчеплення, асимптотичну орієнтацію керування за вектором потокозчеплення ротора, а також асимптотичну розв'язку процесів регулювання моменту, швидкості, кутового положення та потозчеплення. Також

потрібно відмітити можливість тримання моменту та швидкості при різних моментах навантаження та динамічних моментах.

Розімкнутий регулятор модуля вектора потокозчеплення складається з рівнянь для струму статора в координатах (d-q) та швидкості обертання ротора, яке включає в себе швидкість обертання магнітного поля статора, швидкість ковзання, яка дорівнює нулю при даному алгоритмі керування. Похідні за заданим потокозчепленням $\dot{\psi}^*$, $\ddot{\psi}^*$ вводяться для форсування збудження АД.

Регулятор кутової швидкості включає в себе похідні від заданої траєкторії швидкості для забезпечення відпрацювання заданих траєкторій без похибок. При чому $\dot{\omega}^*$ має більший вплив на відпрацювання траєкторії ніж $\ddot{\omega}^*$. Потрібно зауважити наявність коефіцієнта в'язкого тертя V , який створює похилу частину в динамічному моменті двигуна. Складова в'язкого тертя на пряму залежить від швидкості.

Структура похибок відпрацювання в ізолюваних контурах регулювання кутової швидкості та контурі регулювання струму уніфікована і задана лінійним диференціальним рівнянням другого порядку з характеристичним рівнянням:

$$p^2 + k_p p + k_i = 0, \quad (4.11)$$

де k_p і k_i – значення коефіцієнтів пропорційної та інтегральної дії регуляторів швидкості та струму.

Використовуються стандартні співвідношення для розрахунку коефіцієнтів регуляторів:

$$\begin{aligned} k_i &= \frac{k_p^2}{2} (\xi = 0,707), \\ k_i &= \frac{k_p^2}{4} (\xi = 1), \end{aligned} \quad (4.12)$$

де ξ – коефіцієнт демпфування. Типове співвідношення між швидкодією контурів регулювання таке, що кожний зовнішній контур щонайменше вдвічі менш швидкодіючий ніж внутрішній, задається вибором співвідношення власних частот недемпфованих коливань в кожному з ізолюваних контурів

регулювання $\omega_{oc} > (2-3)\omega_{oo}$, $\omega_{oi}^2 = k_i$, $i = c, \omega$, де індекси c і ω відносяться до контурів регулювання струму і кутової швидкості відповідно.

Напруги, що прикладаються до обмоток статора двигуна, дорівнюють:

$$\begin{pmatrix} u_{1a} \\ u_{1b} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_0 & -\sin \varepsilon_0 \\ \sin \varepsilon_0 & \cos \varepsilon_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u_{1d} \\ u_{1q} \end{pmatrix}.$$

Висновки до розділу 4

1. Алгоритм непрямого векторного керування з розімкненим регулятором потокозчеплення та замкнутим регулятором кутової швидкості забезпечує асимптотичне відпрацювання кутової швидкості та полеорієнтування за вектором потокозчеплення ротора.

2 Динаміка ізольованих контурів регулювання струмів статора та кутової швидкості забезпечується налаштуванням пропорційних та інтегральних складових регуляторів, співвідношення між якими забезпечує налаштування на симетричний чи модульний оптимум.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ

Дослідження поведінки системи, що була синтезована в 4 розділі проводиться методом математичного моделювання в середовищі Matlab. Досліджується асинхронний двигун з параметрами, наведеними в табл. 2.2.

Послідовність операцій наступна:

На початковому інтервалі часу 0-2с відбувається збудження двигуна. Починаючи з 5с починається відпрацювання заданої траєкторії руху. Профіль моменту навантаження, зображений на рис. 5.1

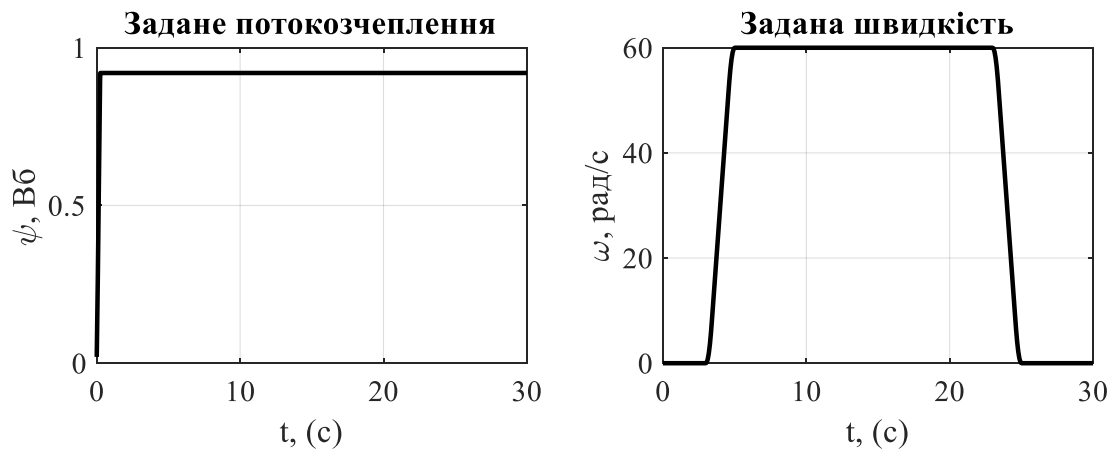


Рисунок 5.1 — Задані траєкторії потокозчеплення та швидкості



Рисунок 5.2 – Профіль моменту навантаження

На 3 секунді разом з відпрацюванням заданої траєкторії швидкості прикладається момент навантаження, профіль якого зображено на рис. 5.2. Профіль навантаження сформовано таким чином, щоб за 25 секунд показати

процес завантаження кормової лінії моментом, близьким до номінального, а також характеризує процес завантаження та розвантаження лінії.

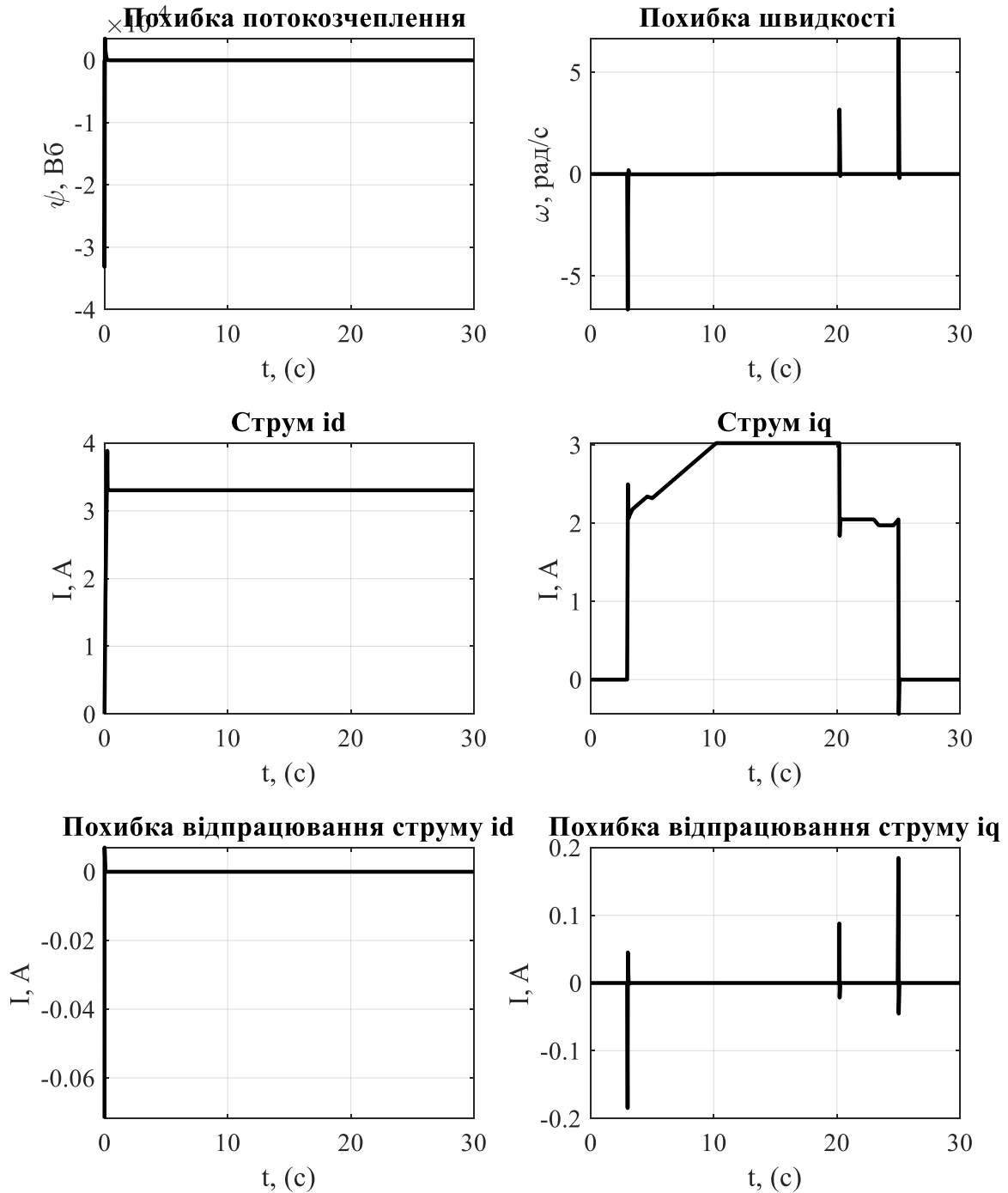


Рисунок 5.3, аркуш 1 – Перехідні процеси при дослідженні алгоритму непрямого векторного керування швидкістю для кормової лінії.

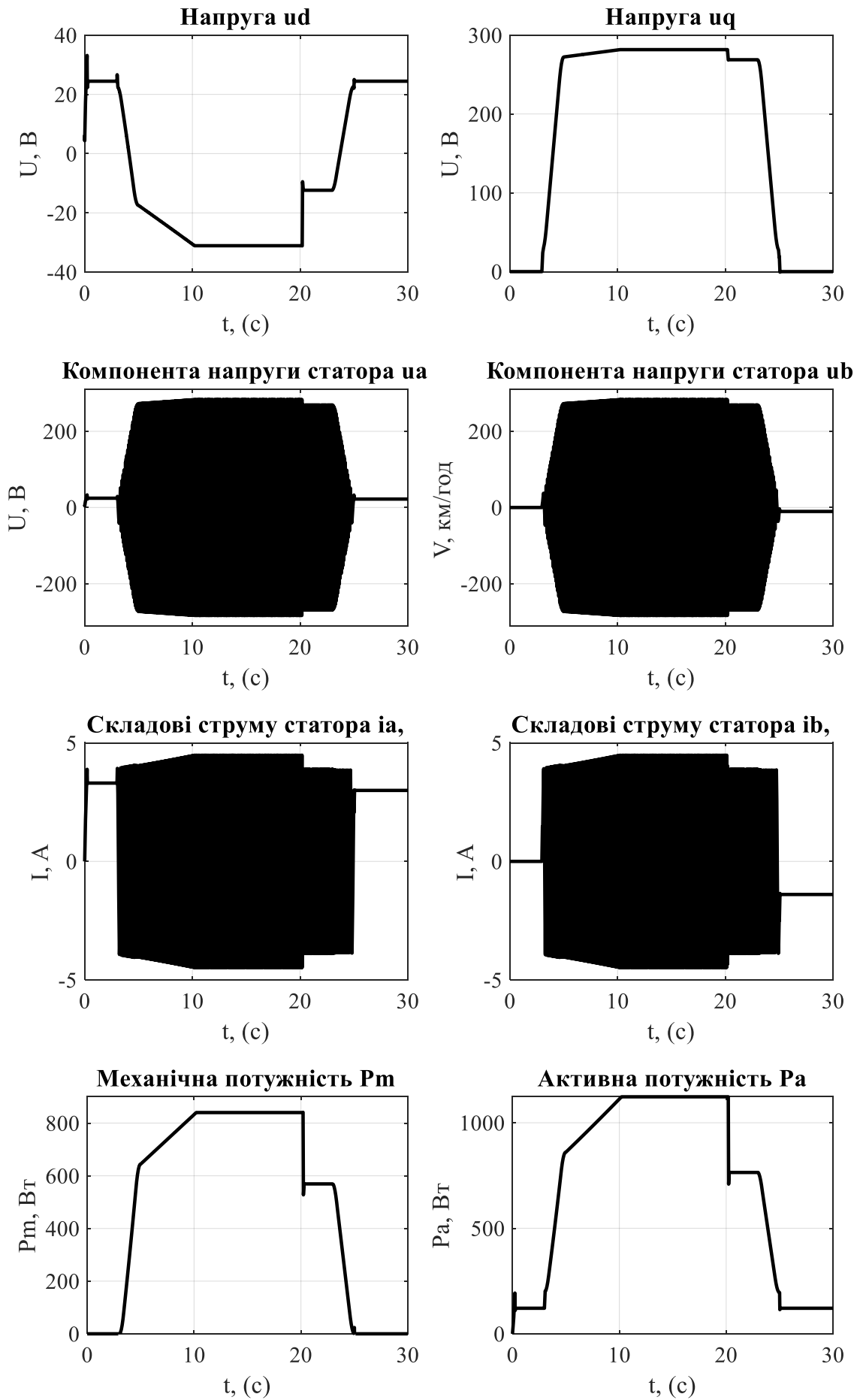


Рисунок 5.3, аркуш 2 – Перехідні процеси

З рис. 5.3 видно, що швидкість відпрацьовується без статичної похибки, присутня лише динамічна похибка величиною 7 рад/с в момент під'єднання та зміни профілю навантаження. А також з похибки відпрацювання потокозчеплення видно, що відбувається полеорієнтування за вектором потокозчеплення ротора

Висновки до розділу 5

1. Дослідження шляхом математичного моделювання алгоритму непрямого векторного керування швидкістю показали, що алгоритм забезпечує асимптотичність відпрацювання, полеорієнтування за вектором потокозчеплення ротора при під'єднанні невідомого статичного моменту

2. Обрана потужність асинхронного двигуна для стабілізації швидкості кормової лінії з повним завантаженням складає 850Вт (77% від номінального)

ВИСНОВКИ

1. Автоматизація кормової лінії забезпечується встановленням на приводний барабан керованого електроприводу.
2. Для забезпечення заданої продуктивності кормової лінії (2000 голів по 3.5 кг на кожну голову) обрано двигун потужністю. 1.1 кВт.
3. Стабілізація кутової швидкості була досягнута за допомогою алгоритму непрямого векторного керування швидкістю, що забезпечить плавність пуску , стабілізації кутової швидкості невідомому статичному моменті навантаження в широкому діапазоні зміни швидкостей.
4. Моделювання підтвердило, що алгоритм непрямого векторного керування швидкістю забезпечує глобальне асимптотичне відпрацювання швидкості та потокозчеплення, асимптотичне полеорієнтування за вектором потокозчеплення ротора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины – М.:Машиностроение, 1983.
2. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта : учеб. для вузов /Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов, – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. 120 с.
3. Автоматизовані системи подачі корму. URL: %20%D0%A8%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BB.pdf. (дата звернення 23.05.19).
4. Статі про утримання свиней. URL: https://piginfo.ru/article/?ELEMENT_ID=6661 (дата звернення 23.05.19).
5. Комбікорм для свиней. URL: https://www.pereezd.net.ua/sypuchie_gruzy.html (дата звернення 20.06.19).
6. . И.Г. Штокман, Л.И. Эппель. Прочность и долговечность тяговых органов. М., «Недра» , 1967. с.219.
7. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М.:«Машиностроение», 1983.
8. Каталог двигунів серії 4А. URL: http://storage.library.opu.ua/online/books/kaf_em/4a_katalog.pdf (дата звернення 23.05.19).
9. Кукібний О.А. Курсове проектування транспортуючих машин. К.: «Вища школа»,1973.
10. Выбор редукторов. URL: http://gidromash.com.ua/2ch_ch.html (дата звернення 17.06.19).
11. Каталог продукції ABB URL: <https://new.abb.com/drives/ru/nv-privody/standartnie-privody/acs580> (дата звернення 17.06.19).
12. Евневич А.В. Грузоподъемные и транспортирующие машины. М.: Транспорт, 1975. 312 с.
13. Иванов А.И. Машины для комплексной механизации погрузочно- разгрузочных работ с зерном. М.: Колос, 1964. 244 с.

14. Иванченко Ф.К. Конструкция и расчет ПТМ. К.: Вища школа, 1983. 351 с
15. Перминов Г.И. Влияние скорости транспортирования на сопротивление движению тягового органа скребкового конвейера. Транспорт шахт и карьеров. М.: Недра, 1971. 164-167.
16. Шахмейстер Л.Г. Подземные конвейерные установки. М.: Недра, 1976.
17. Одрин В. М. Морфологический анализ систем: Построение морфологических матриц. К. : Наукова думка, 1977. 183 с.
18. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. К.: Вища школа, 1993. 556 с.
19. Эйдерман Б.А. Закономерности формирования грузопотока и энергозатрат на скребковых конвейерах. М.: Наука, 1984. 133с
20. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузив. М. : Машиностроение, 1973. 220 с
21. Зенков Р. Л. Бункерные устройства. М. : Машиностроение, 1972. 182 с
22. Зубченко І.І. Кінематика і динаміка ланцюгових передач. Львів: Вид-во Львівського університету, 1972. 122с.

ДОДАТОК А М-файл для побудови графіків

```

set(0,'DefaultAxesFontSize',14, 'DefaultAxesFontName','Times New Roman');
set(0,'DefaultTextFontSize',14, 'DefaultTextFontName','Times New Roman');
set(0,'DefaultAxesXGrid','on', 'DefaultAxesYGrid','on');
set(0,'DefaultLineLineWidth',2);
set(0,'DefaultAxesColorOrder',[0 0 0]);
% clear all; clc; close all;
%xlim([t(1) t(end)]);
wf=20;
hf=7;
xt=4;
yt=1.01;
has=25

%% Figure 1
A=figure;
set(A, 'Units','centimeters', 'Position',[0 0 wf hf]);
movegui(A, 'center');
%%
%
subplot(1,2,1), plot(t,Psr,'k');
xlim([0 10]);
title('Задане потокозчеплення');
xlabel('t, (с)');
ylabel('\psi, Вб');
%%
subplot(1,2,2);
plot(t,wr,'k');

```

```

title('Задана швидкість');
xlabel('t, (с)');
ylabel('M, Нм');
%%%%%
%% Figure 2
A=figure;
set(A, 'Units','centimeters', 'Position',[0 0 wf hf]);
movegui(A, 'center');
%%%%%
subplot(1,2,1), plot(t,psp,'k');
title(' Похибка поточкозчеплення');
xlabel('t, (с)');
ylabel('\psi, Вб');
%%%%%
subplot(1,2,2)
plot(t, ew,'k');
title('Похибка швидкості ');
xlabel('t, (с)');
ylabel('\omega, рад/с');
%%%%%
%% Figure 3
A=figure;
set(A, 'Units','centimeters', 'Position',[0 0 wf hf]);
movegui(A, 'center');
%%%%%
subplot(1,2,1), plot(t,id,'k');
%xlim([0 3]);
title('Струм id');
xlabel('t, (с)');
ylabel('I, A');

```

```

%%%%%%%%
subplot(1,2,2)
plot(t,iq,'k');
%xlim([0 3]);
title('Струм iq');
xlabel('t, (с)');
ylabel('I, A');
%%%%%%%%
%% Figure 4
A=figure;
set(A, 'Units','centimeters', 'Position',[0 0 wf hf]);
movegui(A, 'center');
%%%%%%%%
subplot(1,2,1), plot(t,id-idr,'k');
title('Похибка відпрацювання струму id');
xlabel('t, (с)');
ylabel('I, A');
%%%%%%%%
subplot(1,2,2)
plot(t,iq-iqr,'k');
title('Похибка відпрацювання струму iq');
xlabel('t, (с)');
ylabel('I, A');
%%%%%%%%
%% Figure 5
A=figure;
set(A, 'Units','centimeters', 'Position',[0 0 wf hf]);
movegui(A, 'center');
%%%%%%%%
subplot(1,2,1), plot(t,ud,'k');

```

```

xlim([0 30]);
title('Напруга ud');
xlabel('t, (c)');
ylabel('U, B')
;
%%%%%
subplot(1,2,2)
plot(t,uq,'k');
xlim([0 30]);
title('Напруга uq');
xlabel('t, (c)');
ylabel('U, B');
%%%%%
%% Figure 6
A=figure;
set(A, 'Units','centimeters', 'Position',[0 0 wf hf]);
movegui(A, 'center');
%%%%%
subplot(1,2,1), plot(t,ua,'k');
xlim([0 30]);ylim([-311 311]);
title('Компонента напруги статора ua');
xlabel('t, (c)');
ylabel('U, B');
%%%%%
subplot(1,2,2)
plot(t,ub,'k');
xlim([0 30]); ylim([-311 311]);
title('Компонента напруги статора ub');
xlabel('t, (c)');
ylabel('U, B');

```

```

%%%%%%%%
%% Figure 14
A=figure;
set(A, 'Units','centimeters', 'Position',[0 0 wf hf]);
movegui(A, 'center');
%%%%%%%%

subplot(1,2,1),
plot(t,ia,'k');
xlim([0 30])
title('Складові струму статора ia,');
xlabel('t, (с)');
ylabel('I, A');
%%%%%%%%

subplot(1,2,2)
plot(t,ib,'k');
xlim([0 30])
title('Складові струму статора ib,');
xlabel('t, (с)');
ylabel('I, A');
%%%%%%%%

%% Figure 14
A=figure;
set(A, 'Units','centimeters', 'Position',[0 0 wf hf]);
movegui(A, 'center');
%%%%%%%%

subplot(1,2,1), plot(t,Pm,'k');
ylim([0 900]);
title('Механічна потужність Pm');
xlabel('t, (с)');

```

```
ylabel('Pm, Вт');  
%%%%  
subplot(1,2,2)  
plot(t,Pa,'k');  
  
title('Активна потужність Pa');  
xlabel('t, (с)');  
ylabel('Pa, Вт');
```