

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 освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра

за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка»
(код і назва)

на тему: Автоматизований електропривод сушильного агрегату

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕП-с51
(шифр групи)

_____ Золоторук Вадим Володимирович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник _____ к.т.н., доцент Теряєв В.І. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ _____ _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(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 _____
(підпис)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	6.050702. 5109.006.БР	Пояснювальна записка	63	
3	A1	6.050702. 5109.006.БР	Креслення загального виду	1	
4	A1	6.050702. 5109.006.БР	Схема електрична ...	1	
5	A1	6.050702. 5109.006.БР	Результати досліджень ...	1	

				6.050702. 5109.006.БР		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Золоторук В.В.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Теряєв В.І.				2	63
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП-с51	
Н/контр.	Приймак Б.І.					
Зав.каф.	Пересада С.М.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Автоматизований електропривод сушильного агрегату

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)

Напрямок підготовки – 6.050702 електромеханіка

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизований електропривод сушильного агрегату,
 керівник проекту д.т.н., доцент Теряєв Віталій Іванович,

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

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

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту: напруга живлення 380 В, 50 Гц, 3 фази; _____
загальна вага $m=12.3\text{т}$, діапазон регулювання швидкості 100:1, точність позиціонування
 $\pm 3,5^\circ$, точність підтримання швидкості $\pm 10\%$.

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналітичний огляд 2. Опис технологічного процесу та
промислового сушильного апарату 3. Вибір електродвигуна та силового обладнання 4.
Автоматизація сушильного агрегату 5. Розрахунок структурної схеми і синтез регулятора 6.
Частотне керування АД 7. Дослідження перехідних процесів при частотному керуванні АД.
 5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів,
 презентацій тощо) 1. Загальний вид агрегату 2. Схема електрична принципова 3. Результати
моделювання _____

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.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН – ГРАФІК

**виконання дипломного проекту студентом Золоторуком Вадимом
Володимировичем**

на тему «Автоматизований електропривод сушильного агрегату»

Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки про виконання
1. Аналітичний огляд в області автоматизованого електроприводу промислових сушильних агрегатів 1.1. Галузі використання та типові конструкції промислових сушильних агрегатів (з ілюстраціями) 1.2. Опис технологічного процесу та промислової установки 1.3. Формулювання вимог до електроприводу і системи автоматичного керування	22.04.19	
2. Визначення потрібної потужності електродвигуна 2.1. Енергосиловий розрахунок параметрів технологічного об'єкта 2.2. Обґрунтування вибору потужності двигуна	29.04.19	
3. Вибір електродвигуна та силового обладнання. Розробка силової схеми перетворювального пристрою	3.05.19	
4. Математична модель електромеханічного об'єкта. Розрахунок статичних та динамічних параметрів електроприводу	10.05.19	
5. Синтез (проекування) системи керування 5.1. Обґрунтування принципу керування електроприводом 5.2. Структурно-параметричний синтез системи керування 5.3. Розрахунок параметрів регуляторів і зворотних зв'язків	13.05.19	
6. Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи (шляхом моделювання). Аналіз результатів	20.05.19	
7. Спецчастина. Автоматизація технологічного процесу	27.05.19	
8. Опис силової схеми та схеми керування	31.05.19	
9. Охорона праці та техніка безпеки	31.05.19	
Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	5.06.19	

Студент

(підпис)

В.В.Золоторук
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

В.І.Теряєв
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 63 сторінках та вміщує 33 рисунка, 2 таблиці та 3 плакати А1.

В даному дипломному проекті проведено аналітичний огляд існуючих агрегатів для сушіння промислової та сільськогосподарської продукції. Обґрунтовано вибір барабанного сушильного агрегату, як найбільш ефективного та універсального. Здійснено вибір двигуна та силового електрообладнання, виконана автоматизація технологічного процесу роботи сушильного агрегату. Спроектвана схема керування електроприводами сушильного агрегату на основі логічного реле, що дає нам змогу виконувати всі операції в автоматичному режимі. Методами математичного моделювання отримано графіки перехідних процесів.

ЕЛЕКТРОПРИВОД, ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ, СУШИЛЬНИЙ АГРЕГАТ, РОЗРОБКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ДОСЛІДЖЕННЯ.

					6.050702.5109.006.БР			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Автоматизований електропривод сушильного агрегату</i> <i>Реферат</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Золоторук В.В.						
Перевір.		Теряєв В.І.					6	63
Н. Контр.		Приймак Б.І.				<i>НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»</i>		
Затверд.		Пересада С. М.				<i>Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП -с51</i>		

SUMMARY

The diploma project is executed on 63 pages and 33 pictures, 2 tables and 3 posters A1.

In this diploma project, an analytical review of existing aggregates for the drying of industrial and agricultural products has been conducted. The choice of drum drying unit as the most efficient and universal is substantiated. The choice of the engine and power electrical equipment was made, the automation of the technological process of the dryer operation was performed. The electric drive control system of the drying unit is designed on the basis of the logic relay, which allows us to perform all operations in automatic mode. The graphs of transients are obtained by mathematical modeling.

**ELECTRIC, FREQUENCY CONTROL, DRYING APPLIANCE,
DEVELOPMENT, AUTOMATIC, MATHEMATIC MODEL, RESULTS.**

					6.050702. 5109.006.BW			
	Letter	№ of doc.	Sign	Date	<i>Automated electric drive of a drying machine</i> <i>Summary</i>	L.	Page	Pages
Devel.	Zolotoruk V.V.						7	63
Checked	Teriaev V.I.					NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», FEA		
N. Contr.	Priymak B.I.							
Approved	S. Peresada							

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ ПРОМИСЛОВИХ СУШИЛЬНИХ АГРЕГАТІВ	12
1.1 Технологія процесів сушіння	12
1.2 Класифікація сушарок.....	15
1.3 Системи електроприводу та автоматизації сушильних агрегатів	21
Висновки по розділу 1	22
2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ПРОМИСЛОВОГО СУШИЛЬНОГО АППАРАТУ	23
2.1 Барабанна сушарка. Принцип дії, конструкція, особливості застосування ...	23
2.2 Опис технологічного процесу	25
2.3 Вимоги до електроприводу та системи керування.....	26
Висновки до розділу 2	27
3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	28
3.1 Розрахунок номінальних даних двигуна.....	33
3.2 Перерахунок параметрів з Г-подібної схеми заміщення в Т-подібну	34
3.3 Кінематичний розрахунок	37
Висновки до розділу 3	38
4 АВТОМАТИЗАЦІЯ СУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ	39
Висновки до розділу 4	43
5 РОЗРАХУНОК СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ І СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА.....	44
5.1 Структурна схема об'єкта регулювання і передавальні функції окремих ланок	44

5.2 Синтез контуру регулювання швидкості	47
.....	49
Висновок до розділу 5	
6 ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ У СИСТЕМІ КООРДИНАТ СТАТОРА А-В	50
Висновки до розділу 6	55
7 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЧАСТОТНОМУ КЕРУВАННІ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ У СИСТЕМІ КООРДИНАТ СТАТОРА А-В	56
Висновки до розділу 7	61
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62

ВСТУП

Сушіння використовується в багатьох технологічних процесах промисловості. Предметами сушіння можуть бути різні матеріали на різноманітних стадіях переробки (сировина, напівфабрикати, готові вироби). Завданням сушіння є покращення фізико-механічних властивостей матеріалу або надання нових, зниження його маси, покращення зберігання та транспортабельності матеріалу, особливо це може стосуватися продукції аграрного виробництва та переробної промисловості. Однією з основних сьогоденішніх світових проблем є економія енергоресурсів, застосування в сфері їх виробництва нетрадиційних джерел, впровадження енергозберігаючих технологій. Дуже важливим етапом багатьох технологічних процесів, які застосовують у хімічній, деревообробній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості України є сушіння, на яке витрачається велика кількість енергетичних ресурсів. Тільки у хімічній промисловості необхідно висушувати близько 200 тисяч різних продуктів (з них більше ніж 80% становлять дисперсні матеріали), на які витрачається біля 15% видобутого палива та електричної енергії. По статистиці, енергоємність технологічних процесів в Україні є у 3-5 разів кращою, ніж у розвинених країнах. В більшості випадків на процеси сушіння використовується у 2,5-3 рази більше енергії від необхідної для перетворення вологи на пару, що свідчить про неякісність технології сушіння. В багатьох випадках технологічні режими процесу сушіння та обладнання розраховують на основі емпіричних залежностей, що призводить до значних розбіжностей між прогнозованими параметрами процесу і реальними.

Метою даного дипломного проекту є вибір найбільш раціональної конструкції сушильного агрегату, модернізація його електроприводу, автоматизація технологічного процесу, покращення енергоефективності процесу сушіння.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ ПРОМИСЛОВИХ СУШИЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

1.1 Технологія процесів сушіння

Сушінням називають процес видалення вологи з твердих і пастоподібних матеріалів шляхом її випаровування. Матеріалам, які висушуються при цьому вдається надати необхідні властивості:(наприклад,зменшити злежуваність добрив або поліпшити розчинність барвників), здешевити їх транспортування, а також зменшити корозію апаратури і трубопроводів при зберіганні або подальшій обробці цих матеріалів.

У хімічних виробництвах, як правило, застосовують штучну сушку матеріалів в спеціальних сушильних установках, так як природна сушка на відкритому повітрі - занадто тривалий процес.

Сушіння - складний дифузійний процес, швидкість якого визначається швидкістю дифузії вологи з глибини висушуємого матеріалу. Оскільки цей процес супроводжується підведенням тепла, він є тепломасообмінним. Вологу можна видаляти з матеріалів механічними способами (віджиманням, відстоюванням, фільтруванням, центрифугуванням). Однак більш повне зневоднення досягається шляхом випаровування вологи і відводу парів, Що утворюються, тобто за допомогою теплового сушіння. Цей процес широко використовується в хімічній технології. Він часто є останньою операцією на виробництві, попередньою випуску готового продукту. При цьому попереднє видалення вологи зазвичай здійснюється більш дешевими механічними способами(наприклад, фільтруванням), а остаточне - сушкою. Такий комбінований спосіб видалення вологи дозволяє підвищити економічність процесу [1].

За способом підведення тепла до матеріалу, який сушиться розрізняють наступні види сушіння:

1) конвективна - шляхом безпосереднього зіткнення матеріалу, що висушується, з сушильним агентом;

- 2) контактна - шляхом передачі тепла від теплоносія до матеріалу через розділяючу стінку;
- 3) радіаційна - шляхом передачі тепла інфрачервоними променями;
- 4) діелектрична - шляхом нагрівання в полі струмів високої частоти;
- 5) сублимаційна - сушка в замороженому стані в вакуумі.

У хімічних виробництвах застосовується штучна сушка матеріалів в спеціальних сушильних установках, так як природна сушка на відкритому повітрі - процес занадто тривалий [2]. Процес сушіння є найчастіше завершальним, рідше проміжним етапом в різних технологічних процесах. Класичним прикладом сушки є процес сушіння деревини в деревообробній промисловості. Деревина, як і іншу сировина, може містити різні форми вологи. Запропонована наступна класифікація форм зв'язку вологи з матеріалом: хімічна, фізико-хімічна і фізико-механічна. Механізм процесу сушіння в значній мірі визначається формою зв'язку вологи з матеріалом: чим міцніше цей зв'язок, тим важче протікає процес сушіння. При сушінні зв'язок вологи з матеріалом порушується. Хімічно зв'язана волога найбільш міцно з'єднана з матеріалом в визначених співвідношеннях і може бути видалена лише при нагріванні матеріалу до високих температур або в результаті проведення хімічної реакції. Ця волога не може бути видалена з матеріалу при сушінні. В процесі сушіння видаляється, як правило, тільки волога, пов'язана з матеріалом фізико-хімічно і механічно. Найбільш легко може бути видалена механічно зв'язана волога, яка, в свою чергу, підрозділяється на вологу макрокапілярів і мікрокапілярів (капілярів із середнім радіусом приблизно більше і менше 10^{-6} см). Макрокапіляри заповнюються вологою при безпосередньому зіткненні її з матеріалом, в той час як в мікрокапілярах волога надходить як при безпосередньому зіткненні, так і в результаті поглинання її з навколишнього середовища. Волога макрокапілярів вільно віддаляється не тільки сушінням, але і механічними способами. Фізико-хімічний зв'язок об'єднує два види вологи, що відрізняються міцністю зв'язку з матеріалом: адсорбційно і осмотично пов'язану вологу. Адсорбційна міцно утримується на поверхні і в порах матеріалу. Осмотично пов'язана волога, звана також вологою набухання,

знаходиться всередині клітин матеріалу і утримується осмотичними силами. Адсорбційна волога вимагає для свого видалення значно більших витрат енергії, ніж волога набрякання. Присутність цих видів вологи особливо характерна для колоїдних і полімерних матеріалів.

Сушіння застосовують в ряді процесів хімічних технологій з отриманням порошкоподібних або гранульованих продуктів з шихти. Наприклад, виробництво фосфорних і деяких азотних добрив. У виробництві цементу по напівсухому способу здійснюють підсушування шихти до певної вологості. Сушіння використовують при виготовленні полімерних матеріалів і плівкових виробів. В даному випадку сушіння необхідне при видаленні залишків розчинника. Особливо часто процес сушки застосовується при отриманні полімеру з розчину. У харчовій промисловості застосовують сушильні установки для отримання сухофруктів і зневоднених овочів довгого зберігання. Сушіння є незамінною стадією при нанесенні лакофарбових покриттів, наприклад при виготовленні корпусів в автомобілебудуванні, поліграфії.

1.2 Класифікація сушарок

На виробництвах зустрічається велика кількість різних сушарок, що відрізняються як за способом підведення тепла до висушують матеріалу, так і за конструктивною побудовою та іншими ознаками [3].

В залежності від конструктивної будови сушарки поділяються на: камерні, тунельні, шахтні, стрічкові, барабанні, вальцові, сушарки з киплячим шаром і інші.

Зазначені види сушарок в свою чергу відрізняються по ряду ознак: по організації процесів (періодичні і безперервні); за величиною тиску в сушильній камері (атмосферні і вакуумні); за видами транспортних пристроїв: з візками, з вагонетками, з конвеєром (стрічковим, ланцюговим, пластинчастим).



Рисунок 1.1 - Класифікація сушильних апаратів

Барабанні сушарки. Найчастіше, для сушки сипучих харчових продуктів (цукрового піску, зерна, бурякових і картопляних відходів, використовуваних при виробництві спирту, жому і кукурудзяних паростків для виробництва крохмалю і патоки) застосовуються барабанні сушарки, сушильним агентом в яких виступає димовий газ і повітря.

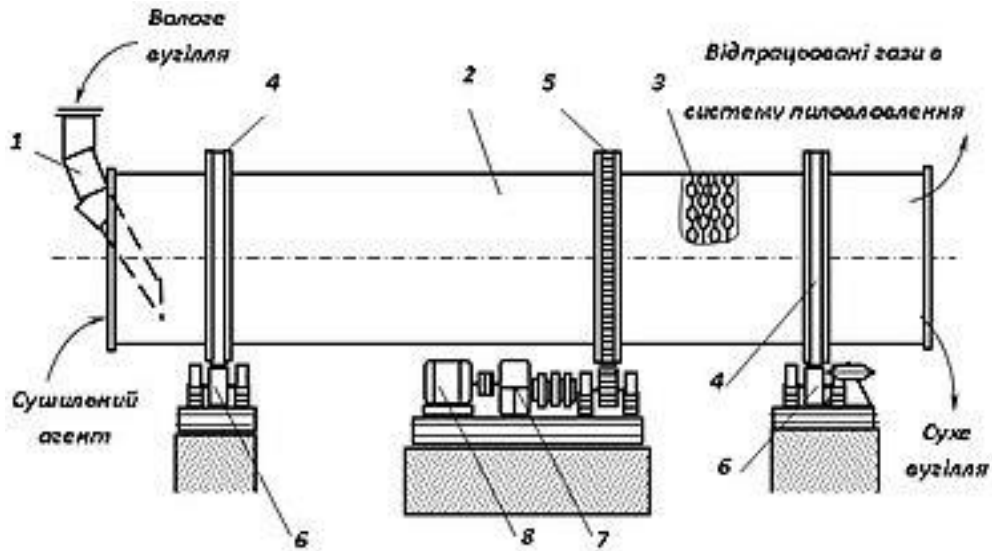


Рисунок 1.2. Барабанна сушарка

1 - завантажувальний лоток; 2 – барабан; 3 – ланцюгові насадки; 4 – бандаж; 5 – привідна вінцева шестерня; 6 – котки; 7 – редуктор; 8 – електродвигун

Тунельні сушарки. Серед інших атмосферних видів сушильних установок можна виділити тунельні сушарки, в якості сушильного агента в яких виступає топковий газ і повітря. Такий вид сушарок досить зручний, оскільки в них продукт практично не втрачає свого первинного вигляду. Так, наприклад, в харчовій промисловості така сушильна установка застосовується для висушування овочів і фруктів, макаронів і сухарів, пастили і мармеладу. Крім того, в тунельних сушарках висушуються керамічні та дерев'яні вироби [4].

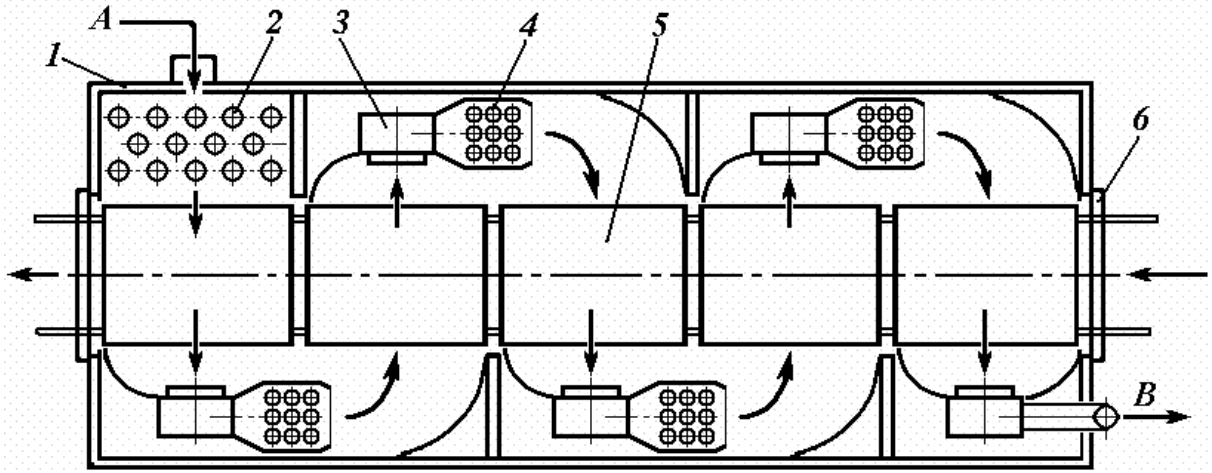


Рисунок 1.3 -Тунельна багатозональна сушарка (вид зверху)

1 – корпус; 2 – калорифер; 3 – вентилятор; 4 – калорифер додатковий; 5 – вагонетка; 6 – двері розсувні; потоки: А – повітря свіже; В – повітря відпрацьоване

Стрічкові сушарки. Стрічкові сушильні установки особливо часто використовуються для висушування овочів і фруктів, хлібних виробів, крохмалю, дрібних макаронних виробів. Такий апарат розділений на кілька відсіків з різною температурою і відносною вологістю сушки в них.

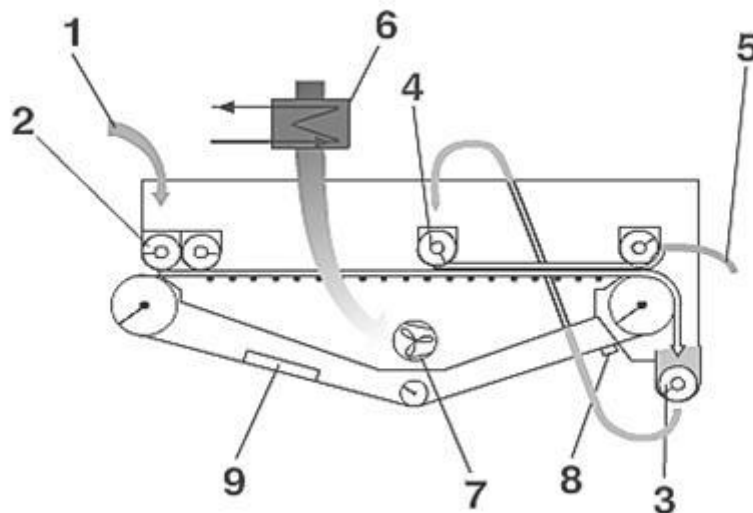


Рисунок 1.4 - Схема сушіння в стрічковій сушарці:
 1 – вологий матеріал; 2 – шнековий живильник I; 3 – розвантажувальний шнек I; 4 – шнековий живильник II; 5 – вивантаження сухого матеріалу;
 6 – теплообмінник; 7 – витяжний вентилятор; 8 - очисна щітка; 9 – пристрій для миття стрічки

Шахтні сушарки. Сушильні апарати шахтного типу використовуються для висушування сипучих продуктів, жому, зерна, бурякової стружки, овочів, а також глини, вугілля та інших подібних матеріалів. Рух висушуємо продукту здійснюється під впливом сили тяжіння, для його уповільнення сушарки оснащуються дерев'яними полицями різної конфігурації.

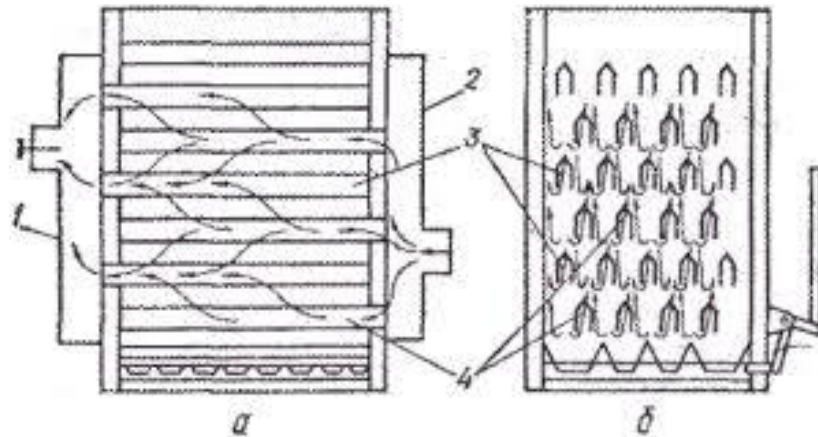


Рисунок 1.5 - Схема шахтної сушарки
а – вигляд збоку; б – переріз; 1 – відвідний трубопровід; 2 – підвідний трубопровід; 3 – відвідні короби; 4 – підвідні короби

Розпилювальні сушарки. Даний вид сушильних установок використовується для висушування рідин, як, наприклад, молоко, желатин, альбумін, барди, яйця та інше. Сушильна камера в розпилювальній сушильній установці являє собою великий порожній циліндр. У верхній частині сушарки розпорошується продукт, що подається, отримані дрібні краплі опускаються вниз і стикаються з сушильним агентом, який подається в нижню або верхню частину циліндра, в залежності від того, в якому напрямку рухається висушуваний продукт і сушильний агент (тобто прямоточний або протитечійний рух). Відбувається розпорошення продукту, шляхом розбризкування з застосуванням відцентрового розпилення. Крім того, розпорошення може проводитися пневматично з використанням стисненого газу або через форсунки. Завдяки розпорошенню, площа висушуємо продукту збільшується в багато разів, що забезпечує максимальний контакт з сушильним агентом і прискорює процес сушіння. Як правило, сушильний агент при розпилювальній сушці розвиває швидкість лише 0,2-0,4 м / с, але, навіть при такій швидкості, він захоплює дрібні елементи продукту. Для цього нагріте повітря пропускається через ряд фільтрів і циклонів. Залежно від типу висушуемого продукту, сушильні апарати володіють різними температурними і гідродинамічними властивостями, конструкцією і комплектацією, як самої сушарки, так і додаткового обладнання.

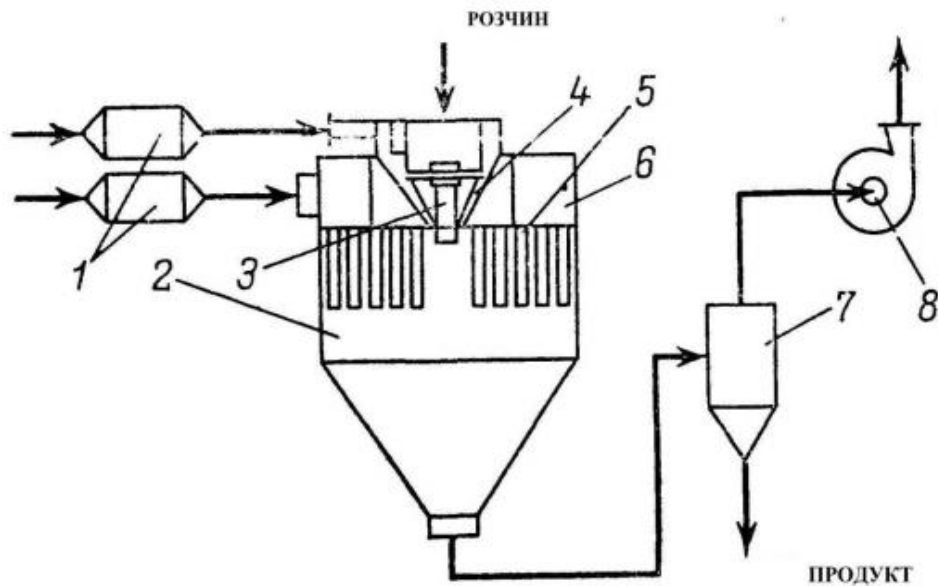


Рисунок 1.6 - Розпилювальна сушарка з комбінованим розподілом газу
 1-калорифери; 2- сушильна камера; 3- центр обіжний розпилювач; 4-
 центральний газорозподільник; 5- тангенціальний газорозподільник; 6-
 короб; 7- циклон; 8- вентилятор

Найчастіше, розпилювальні сушарки використовуються в тих випадках, коли:

1. Сушиться продукт, який не витримує тривалого впливу високої температури. Сушка здійснюється протягом декількох секунд, так що термочутливі продукти не встигають зруйнуватися в процесі сушіння;
2. Сушиться пастоподібний, липкий продукт. Розпилювальна сушка не допускає налипання продукту на стінки сушарки. Рідкі продукти за допомогою відцентрового диска перетворюються в дрібні краплі, які розкидаються по стінках циліндра. Поступово, зі зменшенням швидкості обертання диска, частки матеріалу перестають налипає на стінки циліндра, в результаті того, що просто не долітають до них або висихають шляхом.

Камерні сушарки. Висушування продуктів в таких сушарках здійснюється періодично при атмосферному тиску. Камерні сушарки, як правило, розділені на кілька відсіків, де висушуваний продукт, розташований на вагонетках або полицях, сушиться в нерухомому стані. Відсіки (камери) завантажують і вивантажують через наявні двері, а вагонетки рухають вручну або за допомогою лебідок. Одним з варіантів камерних сушарок є шафова повітряно-циркуляційна сушарка, що періодично підігрівається і оснащена вентиляцією.

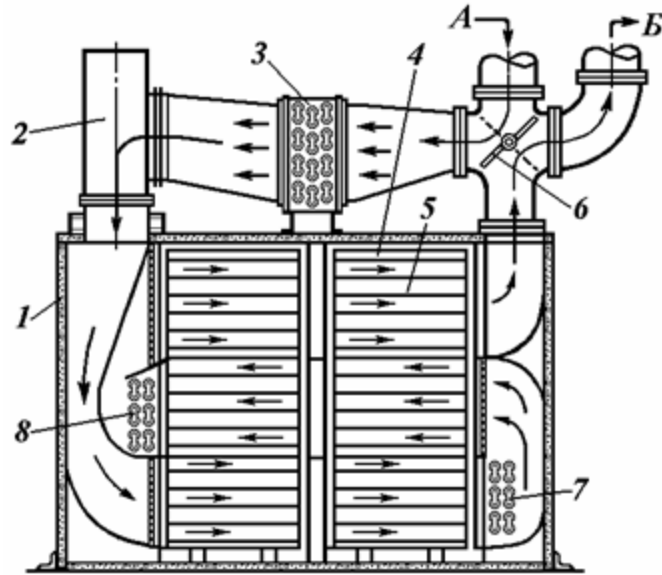


Рисунок 1.7. Камерна сушарка.

1 – корпус сушарки; 2 – вентилятор; 3, 7, 8 – калорифери; 4 – вагонетки; 5 – полиці з вологим матеріалом; 6 – шибер; потоки: А – повітря свіже; Б – повітря відпрацьоване

Сушарка віброкиплячого шару. У подібних сушильних апаратах псевдозріджений шар утворюється в результаті продування крізь опорну решітку теплоносія або шляхом механічних вібрацій. Віброкиплячий шар володіє однорідною структурою, при цьому відсутнє стирання частинок. Дрібні частинки висушуємого продукту в віброкиплячому шарі рухаються паралельно один одному. Також, поздовжнє рух вібруючого шару може бути забезпечено принципом повного витіснення. В умовах великого виробництва це дозволяє організувати перехресний потік на більш низькій швидкості газу. Тепло при цьому забезпечується за рахунок нагрівачів, розташованих в віброкиплячому шарі.

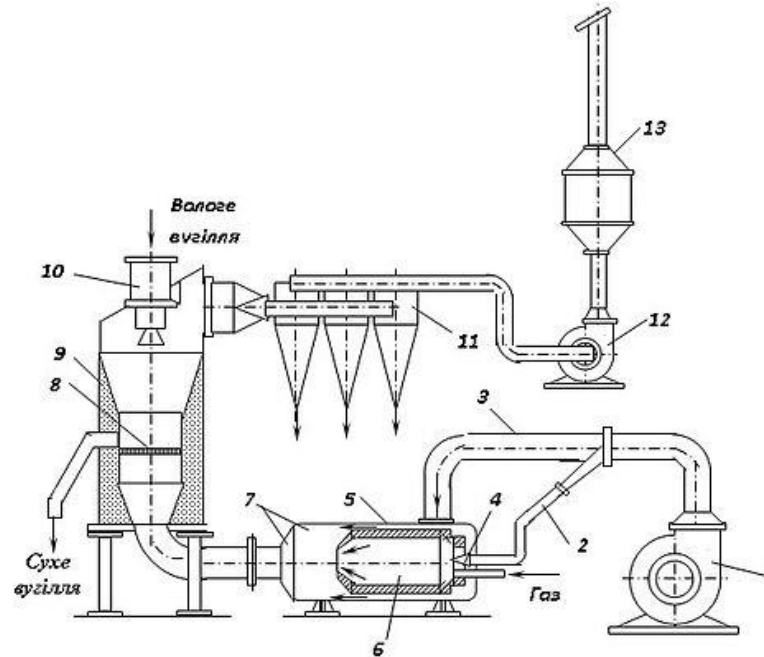


Рисунок 1.8 - Схема сушильної установки, обладнаної сушарками киплячого шару:

1 – дуттєвий вентилятор; 2,3 – повітропроводи; 4 – пальник; 5 – топка; 6 – камера згоряння; 7 – камера змішування; 8 – решітка; 9 – камера сушки; 10 – живильник; 11 – циклони; 12 – димосос; 13 – скруббер

Для подальшої розробки та дослідження приймаємо один з найбільш енергоефективних і універсальних промислових сушильних агрегатів – сушарку барабанного типу.

1.3 Системи електроприводу та автоматизації сушильних агрегатів

На даний час в сушильних агрегатах використовуються, в основному, нерегульовані системи електроприводу на основі асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором.

Пуск асинхронного електроприводу – прямий. Для об'єктів з великими моментами інерції застосовуються системи плавного пуску на основі тиристорних регуляторів напруги.

В найбільш нових розробках пропонується регульований асинхронний електропривод з частотним та векторним керуванням.

Для сушарок великої потужності знаходить застосування синхронний електропривод з прямим асинхронним пуском.

Висновки по розділу 1

В результаті аналізу методів сушіння та конструкцій сушильних агрегатів встановлено, що одним із найбільш енергоефективних та універсальних є барабанна сушарка з притоковим повітряним агентом, яка характеризується якісною і рівномірною просушкою сировини при оптимальних параметрах сушильного агрегату.

Тому в даному дипломному проекті здійснюється проектування автоматизованого електроприводу барабанного сушильного агрегату з широким спектром застосування для різних видів сировини.

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ПРОМИСЛОВОГО СУШИЛЬНОГО АППАРАТУ

2.1 Барабанна сушарка. Принцип дії, конструкція, особливості застосування

Найчастіше на підприємствах застосовуються барабанні сушильні апарати з різними режимами сушіння, залежними від вологості сировини. Температура сушильного агента (нагрітого повітря) при цьому повинна бути настільки вище, наскільки вище вологість матеріалу, який сушимо. У порівнянні з іншими типами сушарок барабанні сушарки мають ряд переваг: можливість повної автоматизації процесу; універсальність; висока якість сушіння за рахунок інтенсивного перемішування матеріалу; можливість сушити високовологий, засмічений матеріал; простота монтажу (для запуску в роботу не потрібно капітальних споруд); надійність роботи (виключається утворення застійних зон); прийнятна ціна; низьке споживання електроенергії. Виходячи з цього, вибираємо сушилку барабанного типу, яка характеризується якісною і рівномірною просушкою сировини при оптимальних параметрах сушильного агрегату [5]. Барабанна сушарка призначена для просушки сипучих матеріалів, наприклад, зерна, піску, глини, гіпсу, вапняку топковим газом і подачею висушеного матеріалу для подальшої обробки.

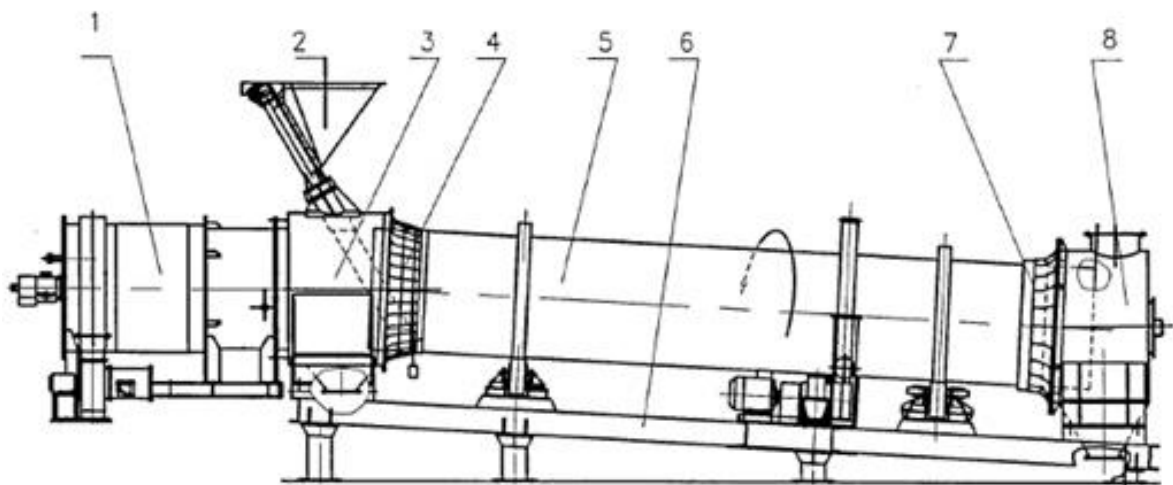


Рисунок 3.1- Барабанна сушарка:

- 1 – теплогенератор; 2 – живильник; 3 – завантажувальна камера;
 4 – ущільнення; 5 - барабан сушильний; 6 - рама агрегату; 7 – ущільнення
 “холодного” кінця барабану

Барабанна сушарка складається з з'єднаних між собою теплогенератора (або прямоочною пальника), камери завантажувальної, сушильного барабана і камери розвантажувальної. Матеріал послідовно проходить через ці складові частини агрегату і, в міру просування до камери розвантажувальної 8, нагрівається і з нього випаровується волога. Теплоносій, в даному випадку газоповітряна суміш, що утворюється в теплогенераторі 1, рухається до камери розвантажувальної 8 під впливом розрядження. Розрядження створюється витяжним вентилятором (димососом), який не входить до складу сушильного агрегату і повинен бути встановлений після розвантажувальної камери. У даній конструкції сушка проводиться методом прямооту, тобто матеріал і теплоносій рухаються в одну сторону.

Матеріал завантажується в сушильний барабан 5 через гвинтовий живильник 2 і трубу завантажувальну, встановлені на завантажувальній камері поз.3. Барабанна сушарка 5 встановлена під кутом 3° - 5° до горизонталі і може обертатися навколо поздовжньої осі зі швидкістю, що задається частотним перетворювачем, яким можна регулювати швидкість обертання приводного двигуна

Матеріал, що надійшов в сушильний барабан, постійно переміщається уздовж осі барабана, при цьому переміщується і постійно знаходиться в контакті з теплоносієм.

Для регулювання кількості матеріалу, що подається гвинтовим живильником 2, швидкість обертання двигуна приводу живильника гвинтового також регулюється частотним перетворювачем.

У міру просування до камери розвантажувальної, матеріал висушується. Волога з матеріалу несеться теплоносієм для очищення від пилоподібної фракції матеріалу, захопленої теплоносієм.

Режими сушіння підбираються при пускових та налагоджувальних роботах. При зміні вологості матеріалу на вході або інтенсивності надходження матеріалу в барабан, режим сушіння може регулюватися в основному кількістю

газоповітряної суміші, що надходить в сушильний барабан, незначною зміною його температури і швидкістю обертання барабана.

Температура подаваного з теплогенератора 7 газоповітряної суміші повинна бути не вище 900°C . Температура газоповітряної суміші на виході повинна бути не нижче 100°C для уникнення утворення конденсату в розвантажувальній частини сушильного барабана. Вологість матеріалу на вході в сушильний агрегат і виході з нього, повинна періодично контролюватися для регулювання режиму роботи сушильного агрегату.

Залежно від вологості і кількості матеріалу, буде змінюватися і кількість газоповітряної суміші, необхідної для сушіння. Тому, для стабільної роботи сушильного обладнання, зокрема, підтримки необхідної швидкості газоповітряної суміші (розрядження в тракті), повинна регулюватися і робота витяжного вентилятора (димососа), встановленого після сушильного агрегату за циклоном.

2.2 Опис технологічного процесу

Сушіння матеріалу дозволяє помітно збільшити терміни зберігання на складах, так як волога сировина швидко псується. Розглянемо обрану сушилку барабанного типу. У барабанних сушарках основним робочим органом є обертовий пустотілий сталевий циліндр - барабан. Усередині по колу закріплені вигнуті лопаті, які при обертанні барабана захоплюють матеріал, що знаходиться внизу, і піднімають його. У міру підйому лопатей матеріал зсипається з них і розподіляється по розташованим всередині барабана поличках, які можуть мати різну форму. При обертанні барабана матеріал пересипається з полички на поличку і таким чином рівномірно розподіляється по всьому барабані, при цьому його пронизує агентом сушіння, що рухається уздовж барабана. Для переміщення матеріалу вздовж барабана його встановлюють під невеликим нахилом. Рух агента сушіння зазвичай відбувається в напрямку руху матеріалу, що сприяє прискоренню його виходу з барабана. Барабан спирається на ролики (катки), при невеликих розмірах його

цапфи, укріплені з обох сторін, спираються на підшипники. Барабанні сушарки працюють під розрідженням, щоб уникнути витoku агента сушіння через нещільності назовні. З боку надходження матеріалу в барабан з боку виходу з нього передбачають ковзаючі ущільнення, які не заважаючи обертанню, в той же час перешкоджають проходженню повітря всередину. При багаторазовому пересипанні з полиці на полицю під час обертання барабана матеріал добре переміщується і рівномірно просушується. Матеріал знаходиться в барабані в розпушеному стані, тому сушка його значно прискорюється (в 2 - 3 рази) в порівнянні з сушінням такого ж матеріалу, лежачого щільним шаром в шахтних сушарках; зниження вологості його за один пропуск через барабан за умови збереження якості складає 4-5%. Заповнення обсягу барабана становить (20-25%). Сирий матеріал з приймального бункера потрапляє в барабан. Матеріал, що надійшов під час обертання, розподіляється рівномірно по секторам і полицках усередині барабана. Агент сушіння відсмоктується з камери змішувача топки, проходить через барабан, продуваючи та пересипаючи по полицках матеріал і вентилятором (на одній осі з електродвигуном) викидається назовні.

2.3 Вимоги до електроприводу та системи керування

Проектування електроприводу є відповідальним процесом, при якому фахівцям доводиться вирішувати комплекс проблем, пов'язаних із задоволенням вимог, визначених призначенням приводу і умовами його експлуатації. Для створення високопродуктивної, економічної та надійної в експлуатації сушарки двигун повинен забезпечувати:

- високу надійність в різноманітних експлуатаційних умовах;
- мінімальну споживану потужність при малій масі і габаритах, найбільшу енергоекономічність у всіх режимах роботи;
- невелику гучність і вібрацію двигуна, а також димність і токсичність відпрацьованих газів;
- хороші пускові якості та плавний пуск;

- легкість управління і автоматизацію роботи;
- простоту технічного обслуговування і ремонту;
- мінімум експлуатаційних витрат праці та матеріалів.

Одним з головних експлуатаційних вимог є забезпечення надійності електроприводу, оскільки з надійністю безпосередньо пов'язані витрати на підтримку працездатності сушильного агрегату в експлуатації і витрати, викликані простоєм машини через відмови його приводу.

Під надійністю розуміють властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники, встановлені межах заданих умов його експлуатації, технічного обслуговування і ремонтів протягом необхідного проміжку часу.

Технічні вимоги до електроприводу, систем керування та автоматизації:

- напруга живлення 3-ф, 380В, 50Гц;
- діапазон регулювання швидкості 100:1;
- плавний пуск та гальмування з часом перехідного процесу 10 с;
- захисти від короткого замикання, перевантаження, максимальних струмів, захист від само запуску;
- точність позиціонування ± 50 мм, ($\pm 3,5^\circ$);
- точність підтримання швидкості $\pm 10\%$.

Висновки до розділу 2

В цьому розділі було детально описано принцип дії та технологічний процес сушіння матеріалу в барабанній сушарці. На основі цього були сформульовані основні та технічні вимоги до електроприводу та системи керування. Це дає змогу здійснити вибір силових елементів електроприводу і перейти до його проектування та дослідження.

3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Електродвигун є одним з основних елементів машинного агрегату. Від правильності вибору типу двигуна, його потужності, частоти обертання і іншого залежать конструктивні і експлуатаційні характеристики всієї робочої машини.

При обертанні правильно встановленого і нормально працюючого сушильного барабана потужність його приводного електродвигуна використовується в основному на корисну роботу: підйом матеріалу на певну висоту, падаючи з якої, він переміщується і рухається до розвантажувальної камері, і в меншій мірі - на подолання опорів руху кінематичних ланок. До небажаних опорів відносяться: тертя ковзання поверхонь цапф опорних роликів і вкладишів підшипників, тертя кочення бандажів по роликам опори, тертя в редукторі і тертя решт корпусу сушильного барабана об поверхні частин ущільнюючих пристроїв [6]. Потужність, яка споживається на обертання барабана, може бути визначена за формулою:

$$P_{\text{сп}} = \frac{1}{\eta} (P_1 + P_2), \quad (1)$$

де P_1 - потужність, яка використовується на підйом матеріалу, кВт;

P_2 - потужність, яка використовується на подолання тертя в підшипниках роликів опори і тертя бандажів, кВт;

η - коефіцієнт, що враховує потужність, що витрачається на подолання тертя в редукторі і в ущільнюючих пристроях.

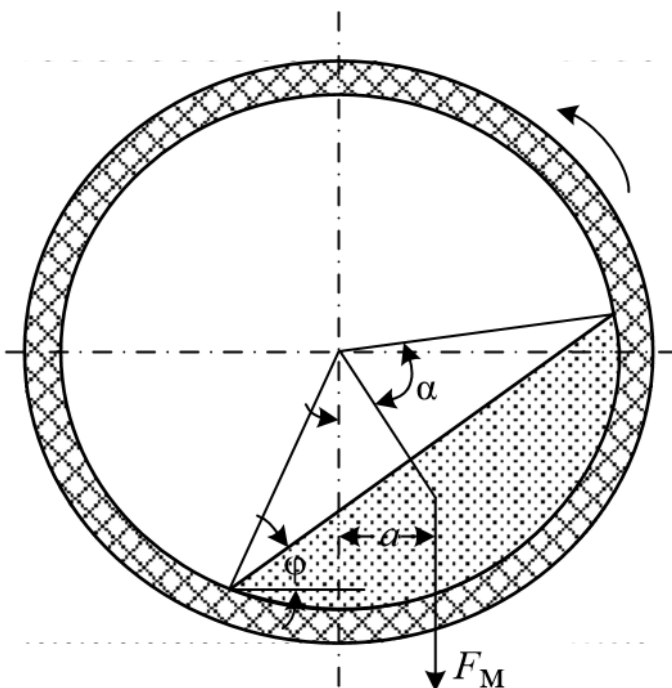


Рисунок 3.1 - Схема розташування сировини в барабані та зусиль опору

Сировина, що просушується, розташовується асиметрично щодо вертикалі, що проходить через центр перетину печі, тому утворюється постійно діючий і спрямований рух у бік, зворотний обертанню барабана, момент сили F_M ваги матеріалу (рисунок 3.1). Плече сили a - це відстань від центра ваги матеріалу до вертикалі, що йде через центр перетину барабана. Значить, потужність, необхідна для підйому матеріалу, дорівнює

$$P_1 = \frac{1000F_M v_0}{102}, \quad (2)$$

або

$$P_1 = \frac{1000S_M L \gamma_M v_0}{102},$$

де S_M - площа перетину матеріалу (кругового сегмента) в m^2 ;

L - довжина корпусу в м;

γ_M - об'ємна вага матеріалу в t / m^3 ;

v_0 - окружна швидкість центра ваги площі перетину матеріалу в m / c .

Щоб з даного рівняння визначити корисну витрачену потужність, потрібно знати обсяг матеріалу, який знаходиться в сушильному барабані або його середню площу перетину, об'ємну вагу матеріалу і його кут природного укусу при просуванні. Так як по мірі руху матеріалу вздовж сушильного барабана його фізичні властивості постійно змінюються і у теплообмінників, а також у порога, в разі, якщо корпус сушильного барабана складений з частин різного діаметру, утворюється скупчення матеріалу. Розрахунок середньої швидкості його просування і площі перетину теоретичним шляхом дуже складний. Запропоновані для цього рівняння, не відрізняються необхідною точністю за результатами зроблених по ним обчислень. Тому при отриманому нижче виведення рівняння, що визначає потужність, потрібну для підйому матеріалу, беремо, виходячи з практичних даних, що:

- коефіцієнт заповнення барабана матеріалом $k_3 = 0,23$;

- середня об'ємна вага матеріалу $\gamma_M = 0,5 t / m^3$;

- кут природного укусу сировини при русі $\phi = 42^\circ$.

Так як площа перетину матеріалу в сушильній барабані за формою - це круговий сегмент, то окружна швидкість його центра ваги при обертанні дорівнює

$$v_0 = \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{R_{ce}^3 \sin^3 a}{k_3 \pi R_{ce}^2} \sin \varphi,$$

Невідомою величиною в даному рівнянні є тільки кут a , рівний половині центрального кута, що спирається на хорду кругового сегмента, його можна знайти з рівняння

$$S_M = \frac{R_{ce}^2}{2} \cdot \left(\frac{2a\pi}{180} - \sin 2a \right),$$

Ця величина показує площу кругового сегмента. Вставивши в це рівняння замість S_M позначену для неї числову величину, рівну коефіцієнту заповнення 0,25, отримаємо вираз

$$0.23\pi R_{ce}^2 = \frac{R_{ce}^2}{2} \cdot \left(\frac{2a\pi}{180} - \sin 2a \right),$$

$$0,23 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2 = \frac{0,8^2}{2} \cdot \left(\frac{2a\pi}{180} - \sin 2a \right),$$

Звідки при $a = 65^\circ$

$$v_0 = \frac{3,14 \cdot 8}{30} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{0,8^3 \sin^3 65^\circ}{0,23 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2} \sin 40^\circ = 0,296 \text{ м/с.}$$

Тертя кочення бандажа по роликам мало впливає, якщо порівнювати його з тертям ковзання цапф роликів про вкладиші підшипників. Значить немає необхідності його обчислювати окремо, а логічніше враховувати підвищенням коефіцієнта тертя ковзання.

Тоді потужність, необхідна на подолання тертя в підшипниках роликів і бандажів про ролики, може бути знайдена з рівняння

$$P_2 = \frac{F_{тер} v_u}{102} \text{ кВт},$$

Сила тертя і окружна швидкість цапф відповідно рівні

$$F_{тер} = \frac{1000 fm}{\cos 30^\circ} = 1155,$$

$$v_{ц} = \frac{\pi r_{ц} n D_{б}}{30 D_{р}},$$

Підставивши в рівняння наведені значення для сили тертя $F_{тр}$, окружної швидкості цапфи $v_{ц}$ і зробивши скорочення, отримаємо

$$P_2 = 1,19 f r_{ц} m n \frac{D_{б}}{D_{р}},$$

де f - коефіцієнт ковзання між цапфами роликів і вкладишами підшипників;

$r_{ц}$ - радіус цапф роликів в м;

n - число оборотів барабана за хвилину;

$D_{б}$ - діаметр бандажів в м;

$D_{р}$ - діаметр опорних роликів в м;

$m = (m_1 + m_2)$ - загальна вага обертової частини барабана в т,

$m_1 = 10$ т - вага барабана;

$m_2 = 2,3$ т - вага сировини в барабані.

З цього рівняння знаходиться загальна потужність, необхідна для обертання сушильного барабана з корпусом одного діаметру по всій довжині. Якщо корпус конструктивно складається з зон різного діаметру, то необхідна потужність знаходиться для кожної зони окремо і потім підсумовується. Для підшипників роликів опори картерного типу з бронзовими вкладишами і постійною подачею масла на цапфи рекомендується коефіцієнт тертя приймати рівним 0,02 ... 0,04. З урахуванням тертя кочення бандажів по роликам дані значення необхідно підвищити до 0,03 ... 0,06. Споживання потужності на подолання тертя в редукторі і ущільнюючих пристроях повинно враховувати ККД установки. Його величина залежить від конструкції редуктора, правильності його монтажу та експлуатації і в середньому дорівнює 0,9 - для механізму закритого типу, 0,85 - для змішаного і 0,8 - для відкритого. При розрахунку необхідної потужності для обертання сушильного барабана в розрахункове рівняння беруть нормальне число обертів. Але при роботі барабан часто обертається з підвищеним числом обертів, на що потрібна підвищена потужність. У момент запуску сушильного барабана також потрібна потужність вище нормальної для подолання сили інерції обертового барабана. З огляду на

це, потужність електродвигуна барабана потрібно вибрати на 20 ... 25% вище за ту, яка визначається за рівнянням. Застосовуючи формули, робимо розрахунок потужності електродвигуна. Потужність, необхідна на підйом матеріалу, визначається за такою формулою

$$P_1 = \frac{1000 \cdot 0,6 \cdot 8 \cdot 0,5 \cdot 0,296}{102} = 6,96 \text{кВт},$$

Далі знаходимо потужність тертя барабана на роликах і бандажах. Потужність тертя барабана на роликах і бандажах відповідно буде дорівнює

$$P_2 = 1,19 \cdot 0,03 \cdot 0,1 \cdot 12,3 \cdot 8 \cdot 5,7 = 2 \text{кВт},$$

Загальна потужність

$$P_n = \frac{1}{0,845} (6,96 + 2) = 10,6 \text{кВт},$$

Потужність необхідна для запуску електродвигуна враховується без маси сировини. Тоді потужність не завантаженого барабана дорівнює

$$P_n = \frac{6,96}{0,845} = 8,237 \text{кВт},$$

З огляду на інерційну потужність барабана, яка повинна бути на 20 ... 25% вище робочої потужності, остаточно отримуємо

$$P_\delta = 1,2 \cdot 10,6 = 12,72 \text{кВт},$$

Дану потужність приймаємо за основу вибору електродвигуна, оскільки режим роботи сушильного агрегату – тривалий.

Вибираємо трифазний асинхронний двигун серії 4А180М8У3 потужністю 15кВт, синхронна частота обертання – 750 об/хв.[7] .

Вхідні дані для розрахунку параметрів асинхронного двигуна наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1– Паспортні дані двигуна [8] 4А180М8У3

Номінальна потужність	$P_{2n} = 15000(\text{Вт})$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 380(\text{В})$
Число пар полюсів	$p_n = 4$

Момент інерції	$J_d = 0.25(\text{кг} \cdot \text{м}^2)$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0.87$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0.82$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2.1$
Номінальне ковзання	$S_{\text{ном}} = 0.026$
Критичне ковзання	$S_{\text{к}} = 0.13$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50(\text{Гц})$
Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$X_1' = 0.13$
Активний опір статора	$R_1' = 0.064$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$X_2'' = 0.17$
Приведений Активний опір ротора	$R_2'' = 0.03$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$X_m = 2.4$

3.1 Розрахунок номінальних даних двигуна

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right) \quad (3.1)$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{4} = 78.5 \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right) \quad (3.2)$$

Номінальна швидкість двигуна

$$\omega_n = \omega_{xx} (1 - S_{\text{ном}}) = 78.5 (1 - 0.026) = 76.46 \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right) \quad (3.3)$$

Номінальний момент

$$M_n = \frac{P_{2H}}{\omega_n} = \frac{15000}{76.46} = 196.18(H \cdot m) \quad (3.4)$$

Критичний момент двигуна(по перевантажувальній здатності з каталогу)

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2.1 \cdot 196.18 = 411.98(H \cdot m) \quad (3.5)$$

Номінальне діюче значення фазної напруги

$$U_{1n\phi} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220(V) \quad (3.6)$$

Номінальне діюче значення струму статора

$$I_{1H} = \frac{P_{2H}}{3 \cdot \eta \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi} = \frac{15000}{3 \cdot 0.87 \cdot 220 \cdot 0.82} = 31.86(A) \quad (3.7)$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу

$$\psi_{1xx} = \frac{U_n}{U_{0n}} = \frac{311}{314} = 0.99(B\bar{b}) \quad (3.8)$$

3.2 Перерахунок параметрів з Г-подібної схеми заміщення в Т-подібну

Математична модель двигуна, отримана для Т-подібної схеми заміщення, що показана на рис. 2.1, на рис. 2.2 відповідає Г-подібній схемі заміщення. Для перерахунку параметрів з Т-подібної схеми в Г-подібну використовується методика, що наведена нижче.

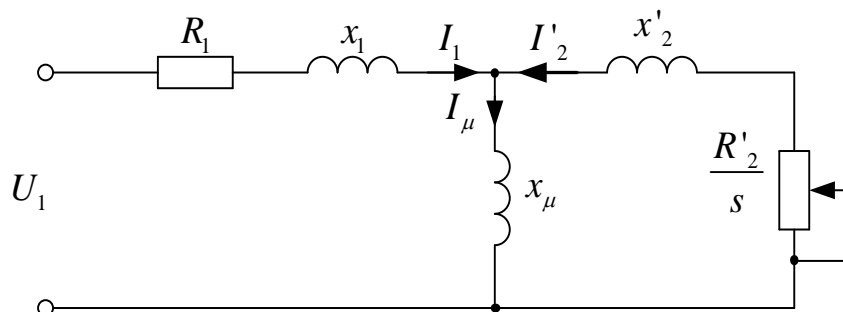


Рисунок 3.2.1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

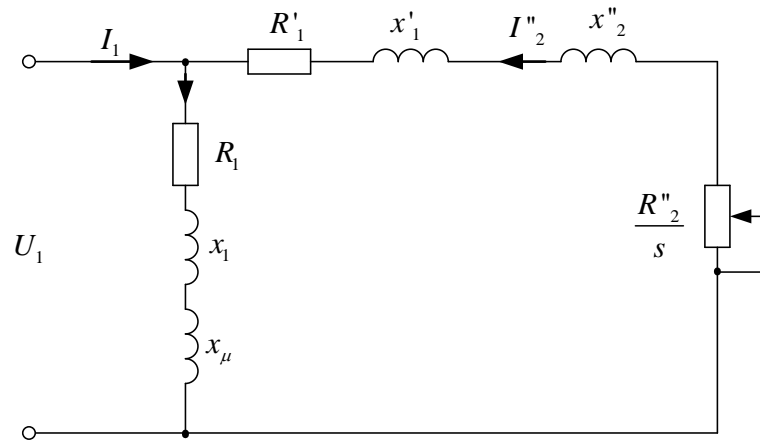


Рисунок 3.2.2 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Коефіцієнт перерахунку

$$C_1 = \frac{\bar{X}_m + \sqrt{\bar{X}_m^2 + 4\bar{X}_m \cdot \bar{X}_1}}{2 \cdot \bar{X}_m} = \frac{2.4 + \sqrt{5.76 + 4 \cdot 2.4 \cdot 0.13}}{2 \cdot 2.4} = 1.052 \quad (3.9)$$

Параметри Т-подібної схеми у відносних одиницях

$$\bar{X}_1 = \frac{\bar{X}_1}{C_1} = \frac{0.13}{1.052} = 0.123 \quad , \quad \bar{R}_1 = \frac{\bar{R}_1}{C_1} = \frac{0.03}{1.052} = 0.028 \quad (3.10)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\bar{X}_2}{C_1^2} = \frac{0.17}{1.052^2} = 0.153 \quad , \quad \bar{R}_2 = \frac{\bar{R}_2}{C_1^2} = \frac{0.03}{1.052^2} = 0.027 \quad (3.11)$$

Параметри Т-подібної схеми у абсолютних одиницях

$$X_1 = \bar{X}_1 \cdot \frac{U_{1нф}}{I_{1н}} = 0.123 \cdot \frac{220}{31.86} = 0.851(Ом). \quad (3.12)$$

$$R_1 = \bar{R}_1 \cdot \frac{U_{1нф}}{I_{1н}} = 0.028 \cdot \frac{220}{31.86} = 0.419(Ом) \quad (3.13)$$

$$X_2 = \bar{X}_2 \cdot \frac{U_{1нф}}{I_{1н}} = 0.153 \cdot \frac{220}{31.86} = 1.059(Ом) \quad (3.14)$$

$$R_2 = \bar{R}_2 \cdot \frac{U_{1нф}}{I_{1н}} = 0.027 \cdot \frac{220}{31.86} = 0.187(Ом) \quad (3.15)$$

$$X_m = \bar{X}_m \cdot \frac{U_{1нф}}{I_{1н}} = 2.4 \cdot \frac{220}{31.86} = 16.57(Ом) \quad (3.16)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{\omega_0} = \frac{0.851}{314} = 0.00271(\Gamma H)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{X_2}{\omega_0} = \frac{1.059}{314} = 0.0033(\Gamma H)$$
(3.17)

Індуктивність намагнічуючого контуру

$$L_m = \frac{X_m}{\omega_0} = \frac{16.57}{314} = 0.053(\Gamma H)$$
(3.18)

Індуктивності статора і ротора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0.00271 + 0.053 = 0.055(\Gamma H)$$

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_m = 0.00337 + 0.053 = 0.056(\Gamma H)$$
(3.19)

Обчислення значень параметрів $\alpha, \alpha_1, \beta, \beta_1, \gamma, \gamma_1, \gamma_2, \sigma, \sigma_1$

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0.187}{0.056} = 3.33 \text{ Ом} / \Gamma H,$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{0.419}{0.055} = 7.62 \text{ Ом} / \Gamma H,$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right) = 0.055 \left(1 - \frac{(0.053)^2}{0.055 \cdot 0.056} \right) = 0.0048 \Gamma H,$$

$$\sigma_1 = L_2 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right) = 0.056 \left(1 - \frac{(0.053)^2}{0.056 \cdot 0.055} \right) = 0.0049 \Gamma H,$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \cdot \sigma} = \frac{0.053}{0.056 \cdot 0.0048} = 197.17,$$
(3.20)

$$\beta_1 = \frac{L_m}{L_1 \cdot \sigma_1} = \frac{0.053}{0.055 \cdot 0.0049} = 196.66,$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot \beta = \frac{0.419}{0.0048} + 3.33 \cdot 0.053 \cdot 197.17 = 122.09 \text{ Ом} / \Gamma H,$$

$$\gamma_1 = \frac{R_2}{\sigma_1} + \alpha_1 \cdot L_m \cdot \beta_1 = \frac{0.187}{0.0049} + 7.62 \cdot 0.053 \cdot 196.66 = 117.59 \text{ Ом} / \text{Гн}.$$

Занесемо параметри 4A180M8Y3 двигуна в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри двигуна 4A180M8Y3

$P_{2H}, \text{кВт}$	15	$R_1, \text{Ом}$	0.419
$\omega_{xx}, \text{рад/с}$	78.5	$R_2, \text{Ом}$	0.187
$\omega_H, \text{рад/с}$	76.46	$L_1, \text{Гн}$	0.055
$M_H, \text{Нм}$	196.18	$L_2, \text{Гн}$	0.056
$M_K, \text{Нм}$	411.98	$L_\mu, \text{Гн}$	0.053
λ	2.1	$\alpha_1, \text{Ом/Гн}$	7.62
$I_{1на}, \text{А}$	31.86	$\alpha, \text{Ом/Гн}$	3.33
$\psi_{1xx}, \text{Вб}$	0.99	$\beta, \text{1/Гн}$	197.17
η	0.87	$\gamma, \text{Ом/Гн}$	122.09
$\cos \varphi$	0.82	$\sigma, \text{Гн}$	0.0048

3.3 Кінематичний розрахунок

Метою кінематичного розрахунку барабанної сушарки є визначення загального передавального відношення від валу електродвигуна до валу провідної ланки виконавчого механізму; розподіл загального передавального відношення всього кінематичного ланцюга між окремими передавальними механізмами, складаючими ланцюг; визначення конструктивних параметрів зубчастої передачі барабанної сушарки; визначення частот обертання валів передавальних механізмів кінематичного ланцюга, розрахунок приведенного моменту інерції електроприводу.

Загальне передавальне число приводу визначаємо зі співвідношення:

$$i = \frac{n_{д.ном}}{n_{\sigma}},$$

де $n_{\sigma} = 8 \text{ хв}$ – частота обертання барабану.

$$i = \frac{730.5}{8} = 91.31$$

Згідно з технічним завданням розрахуємо сумарний момент інерції двигуна та механізму

$$J_{\Sigma} = J_M = \frac{m}{2} R^2 = \frac{12300}{2} 0.8^2 = 3936 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J'_{\Sigma} = J_d + \frac{J_{\Sigma}}{i^2} = 0.25 + \frac{3936}{91.31^2} = 0.72 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Висновки до розділу 3

1. В цьому розділі було розраховано схему заміщення та параметри асинхронного двигуна 4A160M6У3.
2. Було здійснено перерахунок параметрів від Г-подібної схеми заміщення до П-подібної схеми.
3. В результаті цього були отримані значення параметрів електродвигуна для подальшого синтезу системи автоматичного керування та дослідження шляхом математичного моделювання.

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ СУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ

Технологічна схема промислового сушильного агрегату барабанного типу та супутніх пристроїв представлена на рис. 4.1.

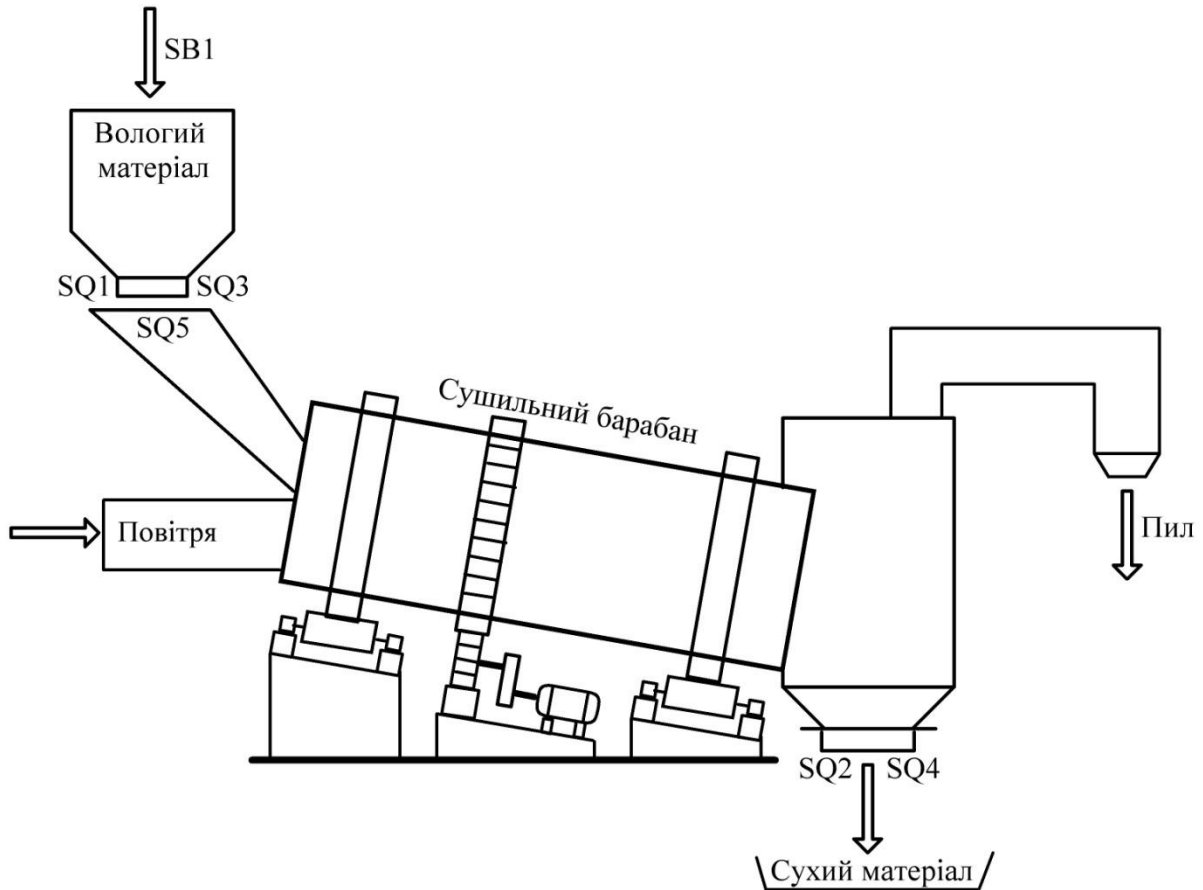


Рисунок 4.1 – Технологічна схема сушильного агрегату

Автоматизація технологічного процесу сушіння включає:

- автоматичне позиціонування висипного отвору сушильного барабану навпроти висипної воронки;
- відкривання засувки бункеру вологого матеріалу;
- автоматичне дозоване завантаження сировини в барабан;
- закривання засувки бункеру вологого матеріалу;
- виконання циклу сушіння: подачу гарячого повітря з одночасним включенням приводу обертання барабану;
- автоматичне позиціонування висипного отвору сушильного барабану навпроти висипної воронки в кінці процесу сушіння;

- відкривання висипної засувки барабану;
- вивантаження сухого матеріалу з барабану в бункер сухого матеріалу.

Для автоматизації технологічного процесу роботи сушильного агрегату використовуються наступні датчики:

- датчик положення всипного отвору відносно бункеру вологого матеріалу SQ1;
- датчик положення висипного отвору відносно бункеру сухого матеріалу SQ2;
- датчик закривання засувки всипного отвору SQ3;
- датчик закривання засувки висипного отвору SQ4;
- датчик дозатора SQ5;
- датчик розвантаження з бункеру сухого матеріалу SQ6;

Автоматичний цикл роботи починається з натиснення кнопки SB1, при цьому засувка бункеру вологого матеріалу відкривається, спрацьовують датчики SQ1 і SQ3, матеріал поступає із дозатора в сушильний барабан, в який після закривання засувки і наповнення барабану також поступає гаряче повітря, нагріте за рахунок спалення палива. Тільки після виконання цих двох умов сушильний барабан починає обертатись. При обертанні барабана частки твердого матеріалу переміщуються уздовж його осі. У тому ж напрямку прямою по барабану проходить гаряче повітря, віддаючи тепло часткам матеріалу і випаровуючи з них вологу. Після затримки часу $T=480$ с барабан зупиняється, висипний отвір позиціонується навпроти бункеру сухого матеріалу і спрацьовують датчики SQ2 і SQ4, які дають команду на відкривання засувок барабану та бункеру сухого матеріалу [9].

Електродвигуни:

- M1 – засувка бункеру вологого матеріалу;
- M2 – привід обертання сушильного барабану;
- M3 – висипна засувка барабану.

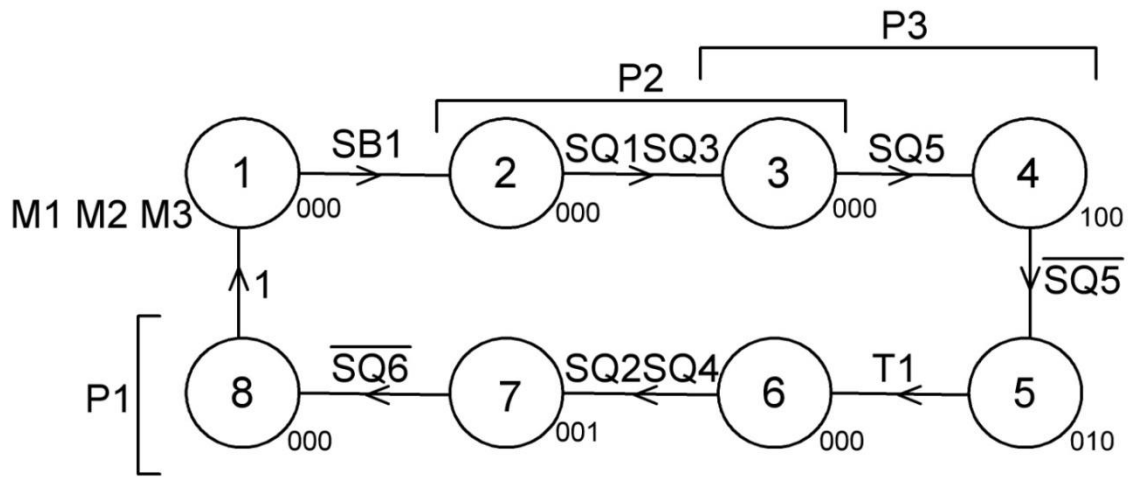


Рисунок 4.2 – Графоперехід за умовами роботи схеми

Рівняння для включення та виключення тригерів [10]:

$$Sp_1 = \overline{SQ5} \cdot \overline{P2} \cdot P3$$

$$Sp_2 = SB1 \cdot \overline{P1} \cdot \overline{P3} + T1 \cdot P1 \cdot P3$$

$$Sp_3 = SQ1 \cdot SQ3 \cdot \overline{P1} \cdot P2$$

$$Rp_1 = \overline{P2} \cdot \overline{P3}$$

$$Rp_2 = SQ5 \cdot \overline{P1} \cdot P3 + \overline{SQ6} \cdot P1 \cdot \overline{P3}$$

$$Rp_3 = SQ2 \cdot SQ4 \cdot P1 \cdot P2$$

Рівняння для таймера і вихідних сигналів:

$$T1 = P1 \cdot \overline{P2} \cdot P3$$

$$M1 = \overline{P1} \cdot \overline{P2} \cdot P3$$

$$M2 = P1 \cdot \overline{P2} \cdot P3$$

$$M3 = P1 \cdot P2 \cdot \overline{P3}$$

Вибираємо програмований логічний модуль, мінімально з двома вхідними та чотирма вихідними сигналами. Вибираємо продукцію СВ

«Альтера», а саме програмоване логічне реле LRD12TD024 [11], яке зображено на рисунку 4.3.

ПЛК призначений для вирішення простих завдань автоматизації з логічної обробкою інформації, заміни традиційних схем управління, виконаних на релейній апаратурі. Основні сфери застосування модулів знаходяться в управлінні систем освітлення, обігріву та вентиляції, контролю доступу, підйомників, транспортерів і верстатів, дверей і воріт і т.д. ПЛК містить джерело живлення, клавіатуру, пам'ять і дисплей в одному корпусі. Всі модулі містять годинник реального часу. Реле живиться постійною напругою +24 В. Для живлення використаємо блок живлення компанії MeanWell, MDR-10-24.



Рисунок 4.3 – Програмоване логічне реле LRD12TD024.

Зробимо відповідні заміни:

$M1 \rightarrow Q1$	$SQ5 \rightarrow I5$
$M2 \rightarrow Q2$	$SQ6 \rightarrow I6$
$M3 \rightarrow Q3$	$SB1 \rightarrow I7$
$SQ1 \rightarrow I1$	$P1 \rightarrow M1$
$SQ2 \rightarrow I2$	$P2 \rightarrow M2$
$SQ3 \rightarrow I3$	$P3 \rightarrow M3$
$SQ4 \rightarrow I4$	

Запишемо рівняння для ПЛК:

$$\begin{aligned}
 & i5 - m2 - M3 - \uparrow M1 \\
 & m2 - m3 - \downarrow M1 \\
 & I7 - m1 - m3 - \uparrow M2 \\
 & T1 - M1 - M3 \\
 & I5 - m1 - M3 - \downarrow M2 \\
 & i6 - M1 - m3 \\
 & I1 - I3 - m1 - (Q4 \\
 & I2 - I4 - M1 - (Q5 \\
 & Q4 - M2 - \uparrow M3 \\
 & Q5 - M2 - \downarrow M3 \\
 & M1 - m2 - M3 - (T1 \\
 & m1 - m2 - M3 - (Q1 \\
 & M1 - m2 - M3 - (Q2 \\
 & M1 - M2 - m3 - (Q3
 \end{aligned}$$

Висновки до розділу 4

В цьому розділі була виконана автоматизація технологічного процесу роботи сушильного агрегату згідно технологічного процесу, графоперехід якого показаний на рисунку 4.2. Було здійснено програмування та синтез логічного реле LRD12TD024 компанії СВ «Альтера», спроектована схема керування електроприводами сушильного агрегату на його основі. Це дає змогу виконувати всі послідовні операції, що здійснюються сушильним агрегатом в автоматичному режимі.

5 РОЗРАХУНОК СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ І СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА

5.1 Структурна схема об'єкта регулювання і передавальні функції окремих ланок

За умови не насиченості магнітного ланцюга двигуна, симетричності фаз і найчастіше використовують еквівалентну двофазну модель двигуна у векторній формі.

1. Але більш спрощену модель можна отримати при лінеаризації робочої ділянки механічної характеристики [12]. При цьому передатна функція регульованого двигуна може бути записана у вигляді аперіодичної ланки:

$$W(p) = \frac{M_{\text{Д}}}{\omega_0 - \omega} = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1},$$

де β - модуль жорсткості робочої ділянки механічної характеристики;

T_E - електромагнітна стала часу двигуна.

В цьому випадку вихідною координатою є момент на валу двигуна, тобто двигун розглядається в якості джерела моменту. Момент інерції самого двигуна доцільно віднести до передавального пристрою електропривода. Це дозволяє забезпечити зручність в узгодженні математичної моделі двигуна і технологічного об'єкта, особливо для багатомасового об'єкта ЕМС.

Якщо доповнити передаточну функцію двигуна ланкою, що зв'язує керуючий вплив, у нашому випадку, частоту, з різницею швидкостей, а також передатною функцією механічної частини у вигляді і одномасової схеми, то отримаємо структурну схему асинхронного двигуна з приведеним механізмом. При доповненні цієї схеми передатною функцією перетворювача частоти,

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{K_{\text{ПЧ}}}{T_{\mu} \cdot p + 1} \text{ отримуємо:}$$

наступну структурну схему об'єкта регулювання контуру швидкості (див. рис.5.1)

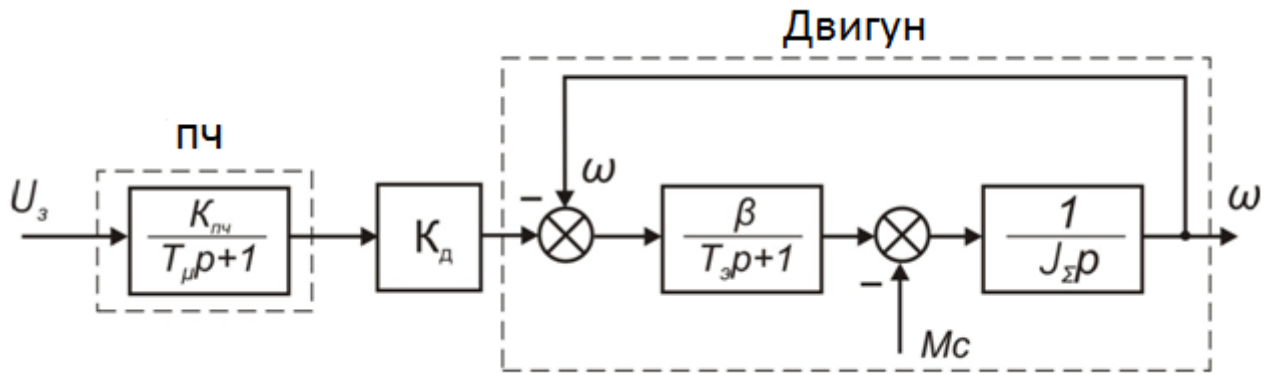


Рисунок 5.1 - Структурна схема об'єкта регулювання

Розрахуємо параметри передатних функцій даної структурної схеми.

Передатна функція ПЧ :

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

де $K_{ПЧ} = \frac{f_H}{U_3} = \frac{50}{10} = 5$ - коефіцієнт підсилення ПЧ;

U_3 - напруга завдання;

$T_{\mu} = 0,01$ с - некомпенсована стала часу ПЧ.

Інші параметри схеми:

ω_{0H} - номінальна швидкість ідеального холостого ходу;

T_E - електромагнітна стала часу двигуна;

ω_H - номінальна швидкість двигуна;

M_H - номінальний момент двигуна;

β - модуль статичної жорсткості;

J_M - момент інерції механізму;

T_M - електромеханічна стала двигуна;

M_c - момент навантаження;

k_D - коефіцієнт передачі електродвигуна.

Параметри передаточних функцій ланок структурної схеми (рис. 5.1) визначимо за наступними співвідношеннями:

$$K_D = \frac{2\pi}{p}; \quad T_E = \frac{1}{\omega_{0эл.н} \cdot s_{к.н}}; \quad \beta = \frac{M_H}{\omega_{0н} - \omega_H}; \quad J_{\Sigma} = J_D + \frac{J_M}{i^2},$$

$\omega_{0эл.н} = 2\pi f_{1н} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314$ 1/с – номінальна кругова частота мережі;

$f_{1н} = 50$ Гц – номінальна частота мережі;

$s_{к.н} = 0,13$ – критичне ковзання на номінальній механічній характеристиці;

$M_H = 196,18$ Нм - номінальний момент на валу двигуна;

$\omega_{0н} = 2\pi f_{1н}/p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50/4 = 78,5$ рад/с – номінальна швидкість холостого ходу двигуна;

$\omega_H = 76,46$ рад/с – номінальна швидкість двигуна,

J_D, J_M - моменти інерції двигуна та механізму,

$i = 1$ – передаточне відношення редуктора.

Визначимо параметри структурної схеми по наступних співвідношеннях:

$$T_E = \frac{1}{\omega_{0эл.н} \cdot s_{к.н}} = \frac{1}{314 \cdot 1} = 0,0245 \text{ с};$$

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_0 - \omega_H} = \frac{196,18}{78,5 - 76,46} = 96,16 \text{ Нм} \cdot \text{с};$$

Звідси електромеханічна стала часу та коефіцієнт передачі двигуна дорівнюють

$$T_M = \frac{J'_{\Sigma}}{\beta} = \frac{0,72}{96,16} = 0,0075 \text{ с};$$

$$K_D = \frac{2 \cdot \pi}{p} = \frac{2 \cdot 3,14}{4} = 1,57.$$

5.2 Синтез контуру регулювання швидкості

З метою отримання необхідних динамічних властивостей системи використовуємо контур регулювання із зворотним зв'язком по швидкості, оптимізований методом послідовної корекції.

Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості:

$$K_{\omega} = \frac{U_3}{1,3 \cdot \omega_H} = \frac{10}{1,3 \cdot 76,46} = 0,1.$$

Таким чином, узагальнена структурна схема частотного регулювання (рисунок 5.2) буде мати такий вигляд:

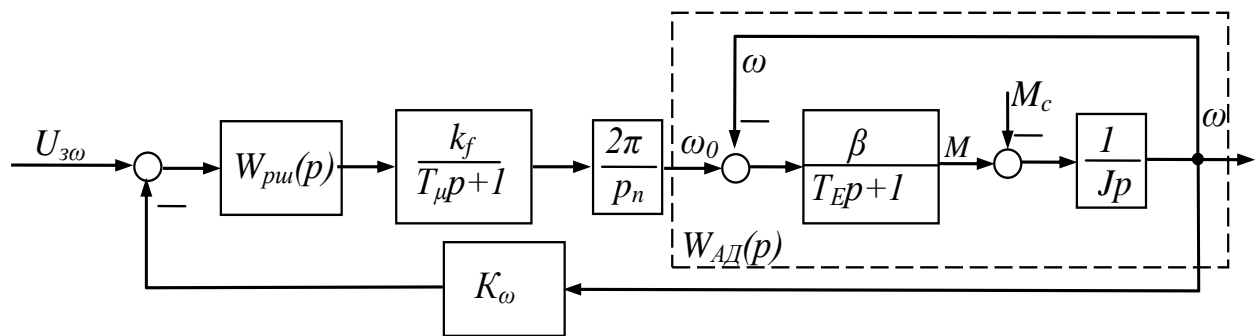


Рисунок 5.2 - Структурна схема електроприводу при частотному керуванні

Передаточна функція двигуна

$$\begin{aligned} W_D(p) &= \frac{\frac{\beta \cdot K_D}{J_{\Sigma} \cdot p \cdot (T_E \cdot p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_{\Sigma} \cdot p \cdot (T_E \cdot p + 1)}} = \frac{\beta \cdot K_D}{J_{\Sigma} \cdot T_E \cdot p^2 + J_{\Sigma} \cdot p + \beta} = \frac{K_D}{T_M \cdot T_E \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1} = \\ &= \frac{1,57}{0,0075 \cdot 0,0245 \cdot p^2 + 0,0075 \cdot p + 1} = \frac{1,57}{0,00018 \cdot p^2 + 0,0075 \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

Структурна схема контуру регулювання швидкості представлена на рисунку 5.3.

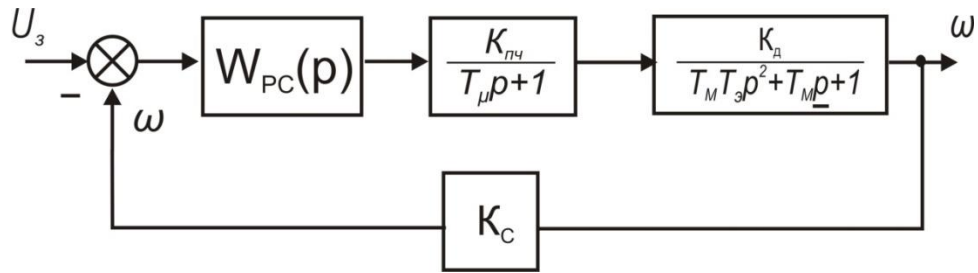


Рисунок 5.3 - Структурна схема контуру регулювання швидкості

Звідси передатна функція об'єкта регулювання за швидкістю буде:

$$W_{ОРШ}(p) = \frac{K_{ПЧ} \cdot K_D}{(T_{\mu} \cdot p + 1) \cdot (T_M \cdot T_E \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{5 \cdot 1.57}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,0075 \cdot 0,0245 \cdot p^2 + 0,0075 \cdot p + 1)} = \frac{7,85}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,00018 \cdot p^2 + 0,0075 \cdot p + 1)}$$

Визначимо передаточну функцію регулятора швидкості

$$W_{РШ}(p) = \frac{W_{РОЗ.Ш}(p)}{W_{ОРШ}(p)} = \frac{T_M \cdot T_E \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1}{T_U \cdot p} = \frac{0,00018 \cdot p^2 + 0,0075 \cdot p + 1}{0,0118 \cdot p}$$

$$\text{де } T_U = a_{ш} \cdot K_{\omega} \cdot K_{ПЧ} \cdot K_D \cdot T_M = 2 \cdot 0,1 \cdot 5 \cdot 1,57 \cdot 0,0075 = 0,0118 \text{ с,}$$

$a_{ш} = 2$ - коефіцієнт демпфування контуру швидкості; дане значення відповідає оптимальному за швидкодією перехідному процесу.

Після перетворень отримуємо передаточну функцію ПІД-регулятора швидкості:

$$W_{РШ}(p) = 0,015 \cdot p + 0,635 + \frac{1}{0,0118p},$$

Де $T_D = 0,015$ - стала часу диференціювання;

$K_{II} = 0,635$ - коефіцієнт передачі;

$T_I = 0,0118$ - стала часу інтегрування регулятора.

В результаті, вихідний розімкнутий контур регулювання з двома великими сталими часу T_E і T_M ми замінили оптимізованим контуром, що володіє астатизмом першого порядку, а також забезпечує високу швидкодію завдяки малості сталих часу, що залишилися не скомпенсованими.

Як впливає з отриманого результату для одночасної компенсації двох сталих часу буде потрібно пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор швидкості.

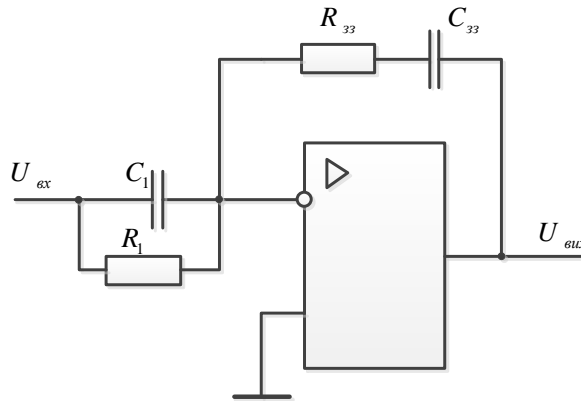


Рисунок 5.4- ПІД регулятор швидкості

Висновок до розділу 5

В цьому розділі здійснено синтез контуру регулювання швидкості на основі лінеаризованої моделі АД. Визначені параметри регулятора швидкості, які подальше будуть використані у середовищі Matlab.

6 ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ У СИСТЕМІ КООРДИНАТ СТАТОРА А-В

При уточненому дослідженні динаміки системи автоматичного керування використовується двофазна модель асинхронного двигуна в координатах статора а-в.

Модель АД в системі координат а-в виведемо в такий спосіб.

Для опису електричної частини двигуна скористаємося рівняннями електричної рівноваги у формі рівнянь Кірхгофа:

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= R_1 \cdot \bar{i}_1 + \frac{d\bar{\psi}_1}{dt}; \\ \bar{U}_2 &= R_2 \cdot \bar{i}_2 + \frac{d\bar{\psi}_2}{dt} - J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \bar{\psi}_2,\end{aligned}\tag{6.1}$$

де $\bar{\psi}_1$ й $\bar{\psi}_2$ - потокозчеплення відповідно статора і ротора, які визначаються дією струмів усіх чотирьох обмоток машини:

$$\begin{aligned}\bar{\psi}_1 &= L_1 \cdot \bar{i}_1 + L_m \cdot \bar{i}_2; \\ \bar{\psi}_2 &= L_2 \cdot \bar{i}_2 + L_m \cdot \bar{i}_1.\end{aligned}\tag{6.2}$$

Виключимо з рівняння \bar{i}_2 і $\bar{\psi}_1$, для цього виразимо \bar{i}_2 з останнього рівняння і підставимо у формулу для $\bar{\psi}_1$ одержимо:

$$\bar{i}_2 = \frac{\bar{\psi}_2 - L_m \cdot \bar{i}_1}{L_2};\tag{6.3}$$

$$\bar{\psi}_1 = L_1 \cdot \bar{i}_1 + L_m \left(\frac{\bar{\psi}_2 - L_m \cdot \bar{i}_1}{L_2} \right) = \left(L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \right) \cdot \bar{i}_1 + \frac{L_m}{L_2} \cdot \bar{\psi}_2.\tag{6.4}$$

Підставимо (6.3) у друге рівняння (6.1):

$$\overline{U}_2 = R_2 \cdot \frac{\overline{\psi}_2 - L_m \cdot \overline{i}_1}{L_2} + \frac{d\overline{\psi}_2}{dt} - J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \overline{\psi}_2. \quad (6.5)$$

З (6.5) виражаємо $\frac{d\overline{\psi}_2}{dt}$:

$$\frac{d\overline{\psi}_2}{dt} = -\frac{R_2}{L_2} \cdot \overline{\psi}_2 + J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \overline{\psi}_2 + \frac{R_2 \cdot L_m}{L_2} \cdot \overline{i}_1 + \overline{U}_2. \quad (6.6)$$

Для одержання $\frac{d\overline{i}_1}{dt}$ скористаємося першим рівнянням (6.1) підставивши в нього значення $\overline{\psi}_1$:

$$\overline{U}_1 = R_1 \cdot \overline{i}_1 + \frac{d}{dt} \left(\left(L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \right) \cdot \overline{i}_1 + \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{\psi}_2 \right); \quad (6.7)$$

$$\overline{U}_1 = R_1 \cdot \overline{i}_1 + \left(L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \right) \cdot \frac{d\overline{i}_1}{dt} + \frac{L_m}{L_2} \cdot \frac{d\overline{\psi}_2}{dt},$$

уведемо заміну $\sigma = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}$ і виразимо $\frac{d\overline{i}_1}{dt}$:

$$\frac{d\overline{i}_1}{dt} = -\frac{R_1 \cdot \overline{i}_1}{\sigma} - \frac{L_m}{\sigma L_2} \cdot \left(-\frac{R_2}{L_2} \cdot \overline{\psi}_2 + J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \overline{\psi}_2 + \frac{R_2 \cdot L_m}{L_2} \cdot \overline{i}_1 + \overline{U}_2 \right) + \frac{\overline{U}_1}{\sigma}. \quad (6.8)$$

Увівши наступні позначення для рівнянь (6.7) і (6.8) з урахуванням

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2}, \beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}, \sigma = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}, \quad (6.9)$$

одержимо:

$$\frac{d\overline{i}_1}{dt} = -\frac{R_1}{\sigma} \cdot \overline{i}_1 - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot \overline{i}_1 + \alpha \cdot \beta \cdot \overline{\psi}_2 - \beta \cdot J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \overline{\psi}_2 - \beta \cdot \overline{U}_2 + \frac{\overline{U}_1}{\sigma}; \quad (6.10)$$

$$\frac{d\overline{\psi}_2}{dt} = -\alpha \cdot \overline{\psi}_2 + J \cdot \omega \cdot p_n \cdot \overline{\psi}_2 + \alpha \cdot L_m \cdot \overline{i}_1 + \overline{U}_2. \quad (6.11)$$

Запишемо похідні за часом для компонентів струмів статора і потокозчеплень ротора, враховуючи отримані вище вираження:

$$\begin{aligned}\frac{di_{1a}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} \cdot i_{1a} - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot i_{1a} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2a} + \beta \cdot \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2b} - \beta \cdot U_{2a} + \frac{U_{1a}}{\sigma}; \\ \frac{di_{1b}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} \cdot i_{1b} - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot i_{1b} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2b} - \beta \cdot \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2a} - \beta \cdot U_{2b} + \frac{U_{1b}}{\sigma}; \\ \frac{d\psi_{2a}}{dt} &= -\alpha \cdot \psi_{2a} - \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2b} + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1a} + U_{2a};\end{aligned}\quad (6.12)$$

$$\frac{d\psi_{2b}}{dt} = -\alpha \cdot \psi_{2b} + \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2a} + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1b} + U_{2b}.$$

Рівняння моменту електромеханічного перетворювача, виражене в системі координат статора (a-b), має вигляд:

$$M = L_m \cdot \overline{i_1^T} \cdot J \cdot \overline{i_2} = \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{i_1^T} \cdot J \cdot (\overline{\psi_2} - L_m \cdot \overline{i_1}) = \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{i_1^T} \cdot J \cdot \overline{\psi_2} - \frac{L_m^2}{L_2} \cdot \overline{i_1^T} \cdot J \cdot \overline{i_1}.\quad (6.13)$$

$$\text{Оскільки } \overline{i_1^T} \cdot J \cdot \overline{i_1} = 0, \text{ тоді } M = \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{i_1^T} \cdot J \cdot \overline{\psi_2} = \frac{L_m}{L_2} \cdot (\psi_{2a} \cdot i_{1b} - \psi_{2b} \cdot i_{1a}).\quad (6.14)$$

Динамічна модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором має вигляд:

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot p_n \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot (\psi_{2a} \cdot i_{1b} - \psi_{2b} \cdot i_{1a}) - M_C \right];\quad (6.15)$$

$$\begin{aligned}\frac{di_{1a}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} \cdot i_{1a} - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot i_{1a} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2a} + \beta \cdot \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2b} + \frac{U_{1a}}{\sigma}; \\ \frac{di_{1b}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} \cdot i_{1b} - \alpha \cdot \beta \cdot L_m \cdot i_{1b} + \alpha \cdot \beta \cdot \psi_{2b} - \beta \cdot \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2a} + \frac{U_{1b}}{\sigma};\end{aligned}\quad (6.16)$$

$$\begin{aligned}\frac{d\psi_{2a}}{dt} &= -\alpha \cdot \psi_{2a} - \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2b} + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1a}; \\ \frac{d\psi_{2b}}{dt} &= -\alpha \cdot \psi_{2b} + \omega \cdot p_n \cdot \psi_{2a} + \alpha \cdot L_m \cdot i_{1b},\end{aligned}\tag{6.17}$$

У рівняннях позначені:

ω – кутова швидкість;

i_{1a}, i_{1b} – компоненти вектора струму статора;

ψ_{2a}, ψ_{2b} – компоненти вектора потокозчеплення ротора;

U_{1a}, U_{1b} – компоненти вектора напруги статора;

R_1, R_2 – активні опори статора і ротора;

L_1, L_2 – індуктивності статора і ротора;

L_m – індуктивність намагнічуючого контуру;

$L_{1\sigma}, L_{2\sigma}$ – індуктивності розсіювання статора і ротора;

p_n – число пар полюсів;

$$M = \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot (\psi_{2a} \cdot i_{1b} - \psi_{2b} \cdot i_{1a}) - \text{момент, що створюється двигуном.}$$

Для розрахунків параметрів моделі асинхронного двигуна в системі координат а-в необхідна наявність наступних паспортних і довідникових даних електродвигуна, які наведені в таблиці 3.1.

Уточнена математична модель перетворювача частоти для керування асинхронним двигуном по каналах частоти і напруги статора представлена на рис. 6.1.

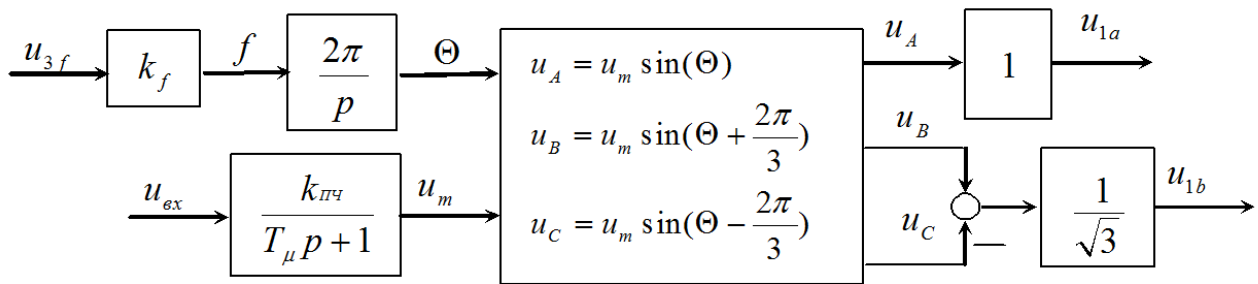


Рисунок 6.1 - Структурна схема перетворювача частоти

На рис. 6.1 позначені: u_m - амплітуда напруги;

t - час; u_A, u_B, u_C - фазні напруги статора;

u_{1a}, u_{1b} - проекції вектора напруги статора на осі a-b системи координат статора;

k_f - коефіцієнт передачі по частоті;

$k_{пч}$ - коефіцієнт передачі по амплітуді;

T_μ - некомпенсована стала часу. Коефіцієнти передачі перетворювача по частоті та напрузі, відповідно, рівні:

$$k_f = \frac{f_H}{u_{3f \max}}; k_u = \frac{u_{m \max}}{u_{3u \max}}. \quad (6.18)$$

Поєднавши систему диференціальних рівнянь асинхронного двигуна з математичною моделлю перетворювача, одержимо наступну структурну схему (рис. 6.2):

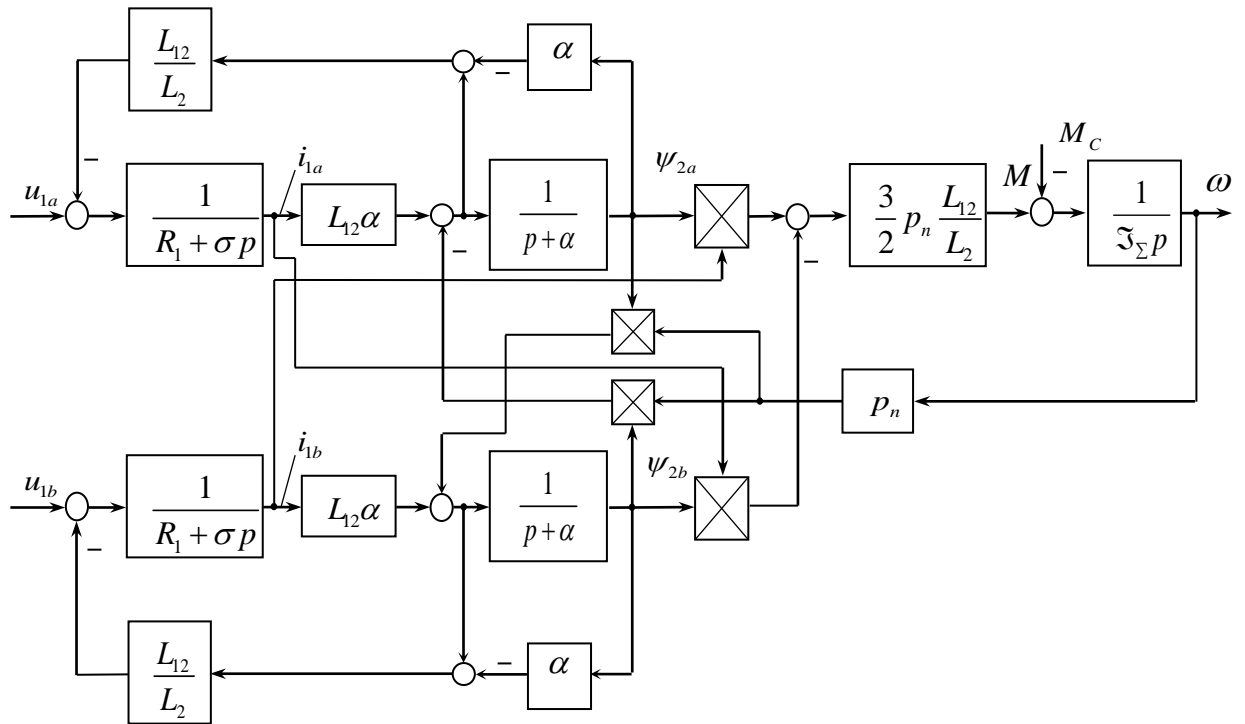


Рисунок 6.2- Структурна схема асинхронного двигуна в системі координат статора a-b

Висновки до розділу 6

В цьому розділі було зроблено синтез САК при використанні методу послідовної корекції при частотному регулюванні швидкості асинхронного двигуна. Також були розраховані параметри ПД-регулятора швидкості для системи ПЧ-АД. Це дає змогу провести дослідження статичних та динамічних режимів електроприводу.

7 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЧАСТОТНОМУ КЕРУВАННІ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ У СИСТЕМІ КООРДИНАТ СТАТОРА А-В

Виконаємо дослідження перехідних процесів методом математичного моделювання, використовуючи математичну модель частотного замкненого керування у програмному середовищі MATLAB «Simulink».

Основні блоки системи ПЧ-АД, які використовуються при моделюванні представлені на рис. 7.1-7.3.

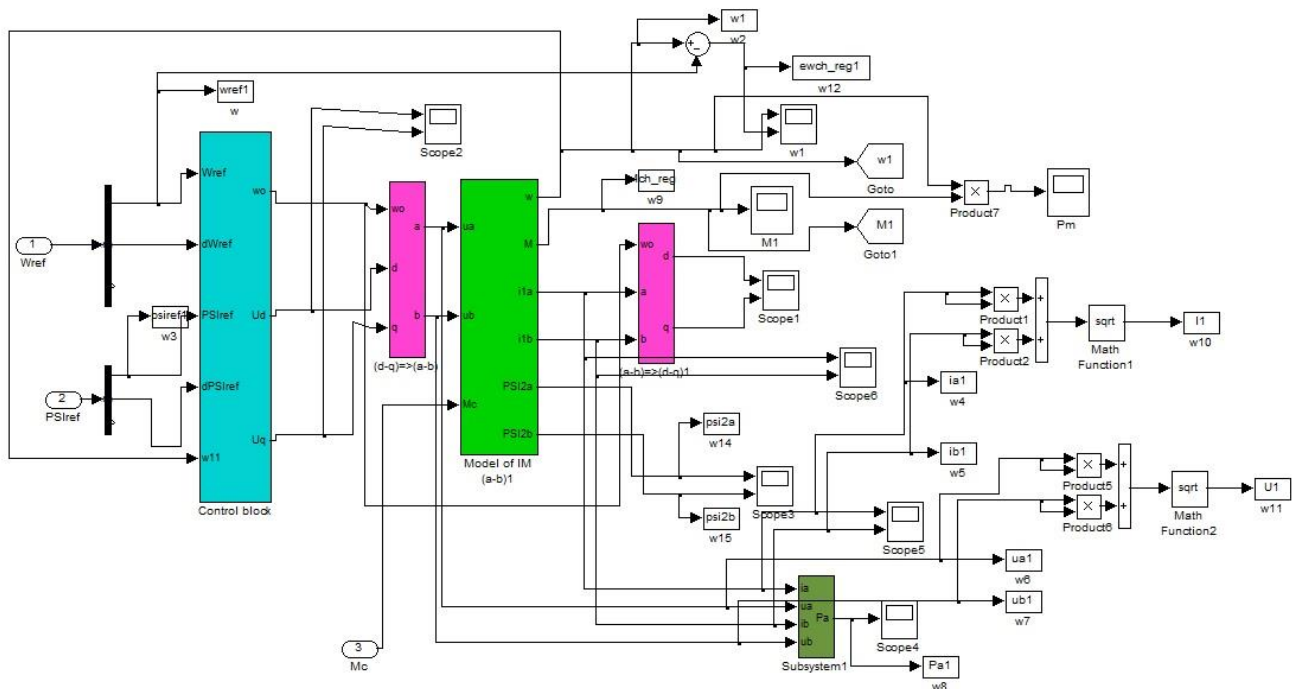


Рисунок 7.1 – Загальний вигляд досліджуваної моделі

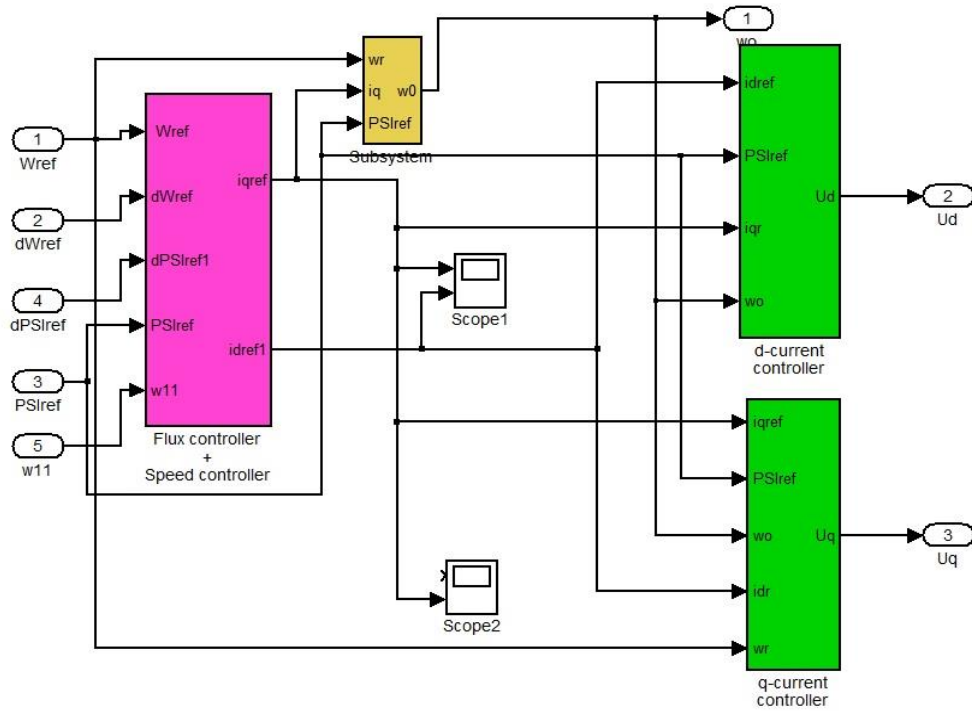


Рисунок 7.2 – Блок керування

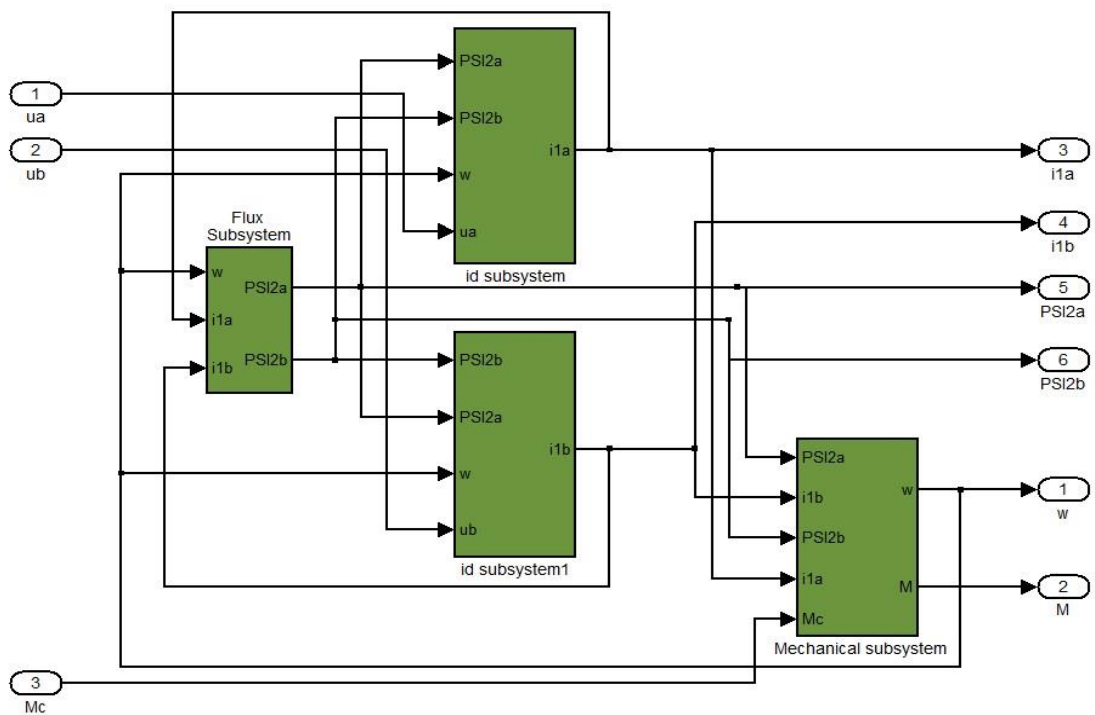


Рисунок 7.3 – Блок асинхронного двигуна

Здійснимо дослідження перехідних процесів прямого пуску електродвигуна з наступним накиданням моменту навантаження M_H .

В результаті отримаємо графіки перехідних процесів, які зображені на рис.7.4-

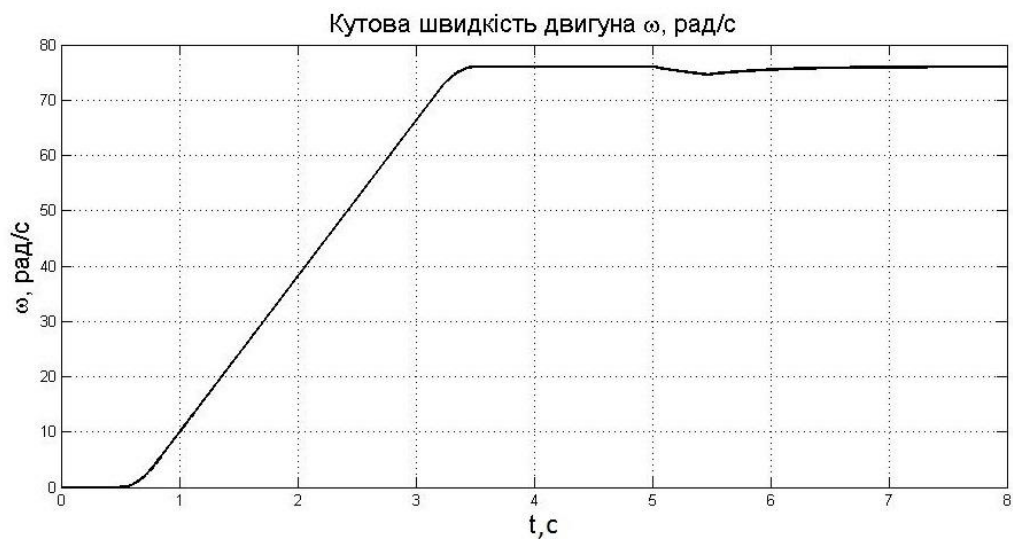


Рисунок 7.4 – Графік перехідного процесу кутової швидкості двигуна

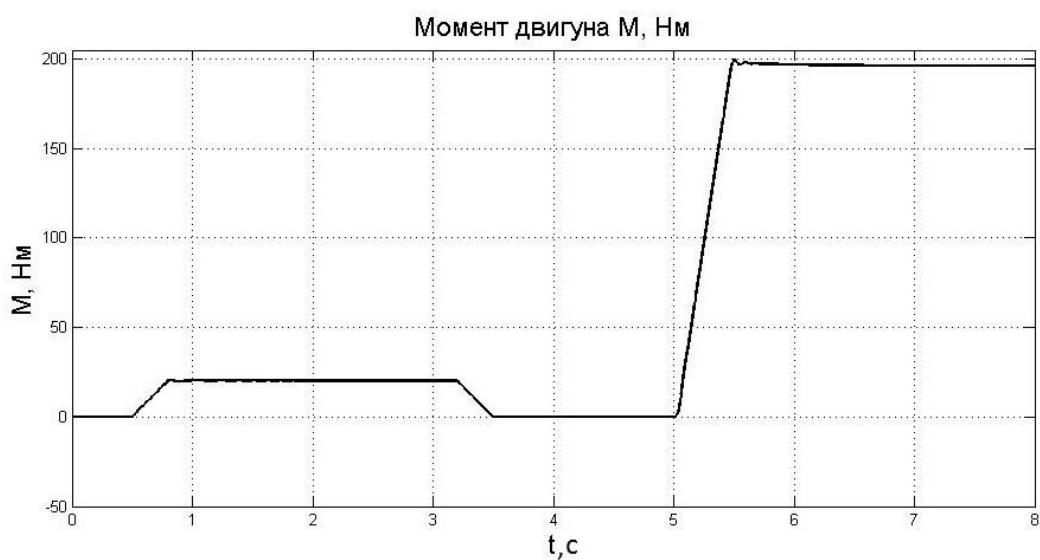


Рисунок 7.5 – Графік перехідного процесу моменту двигуна

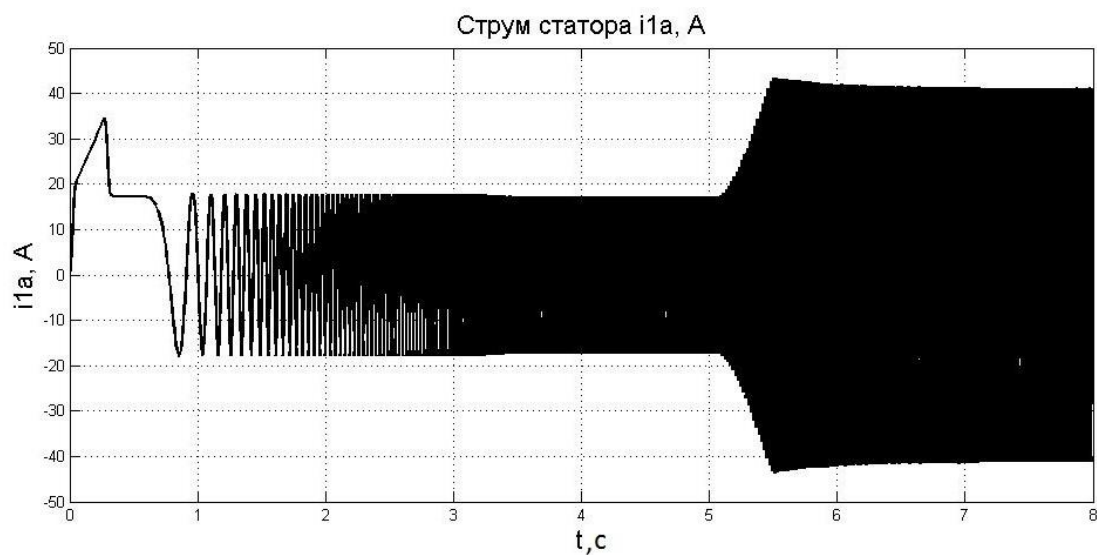


Рисунок 7.6 -Графік перехідного процесу струму статора двигуна

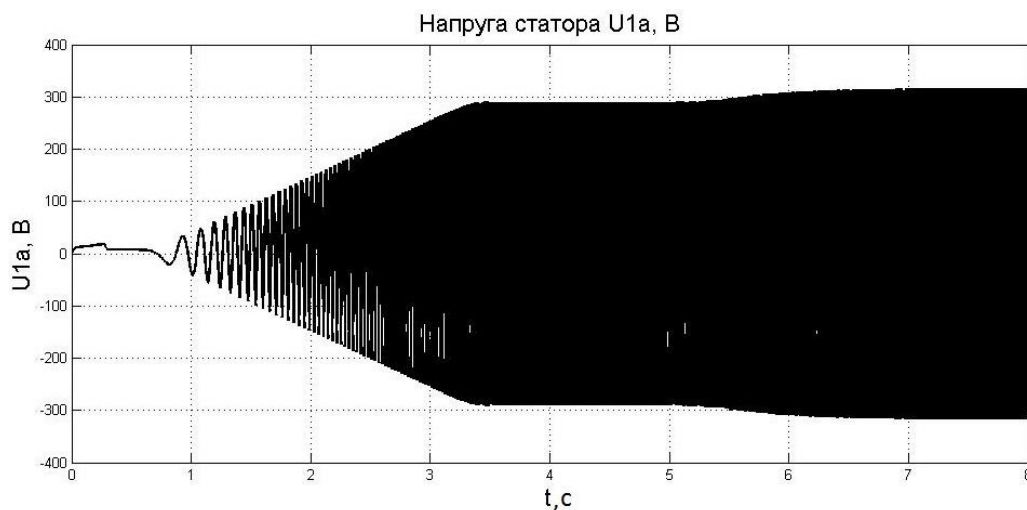


Рисунок 7.7 -Графік переходного процесу напруги статора двигуна

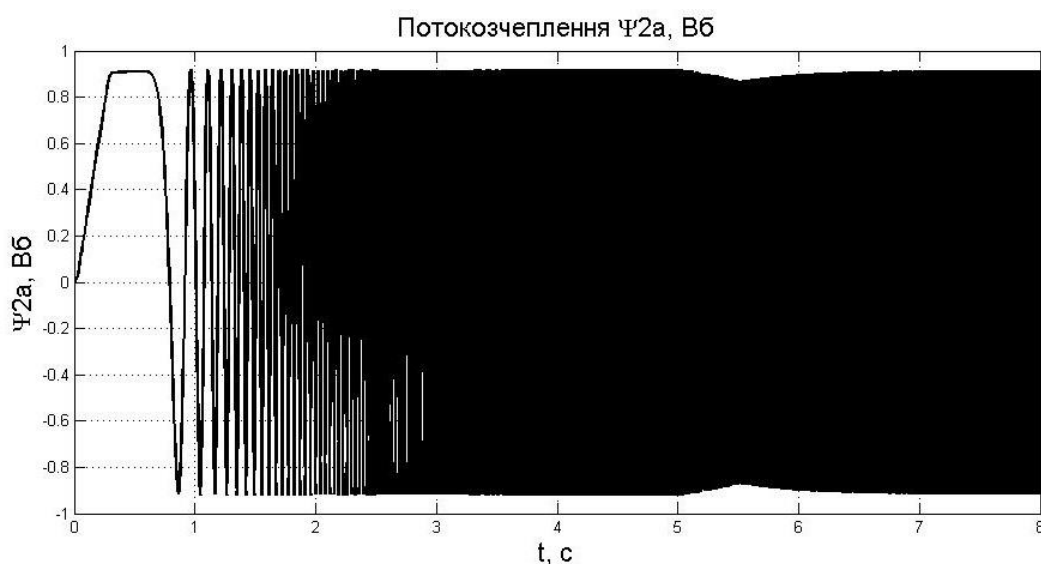


Рисунок 7.8 - Графік переходного процесу потокозчеплення двигуна

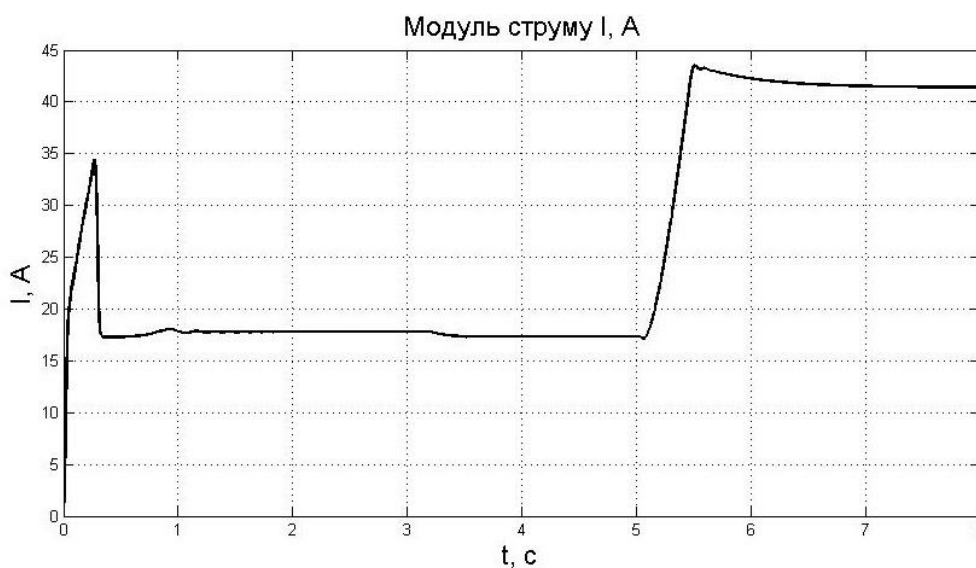


Рисунок 7.9 - Графік переходного процесу модуля струму двигуна

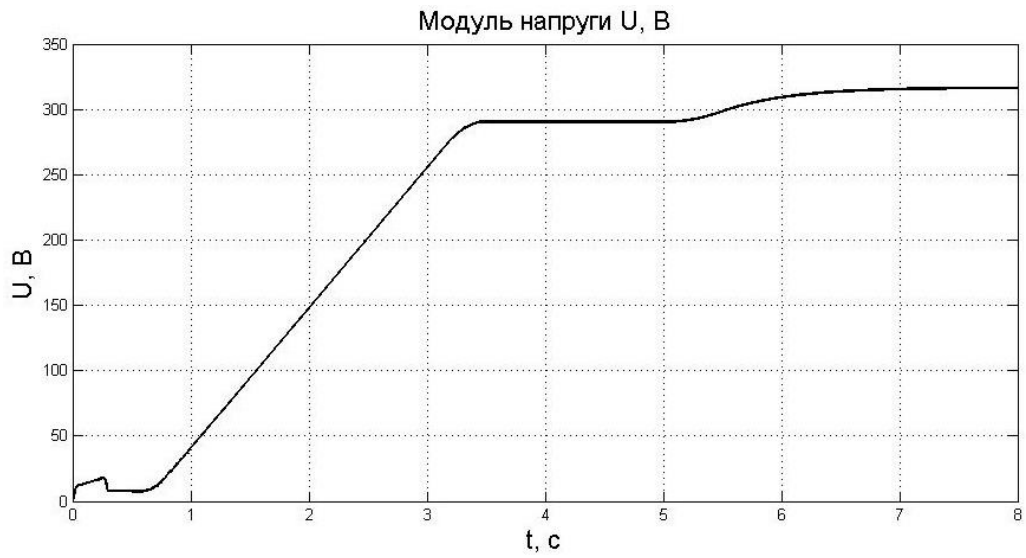


Рисунок 7.10 -Графік переходного процесу модуля напруги двигуна

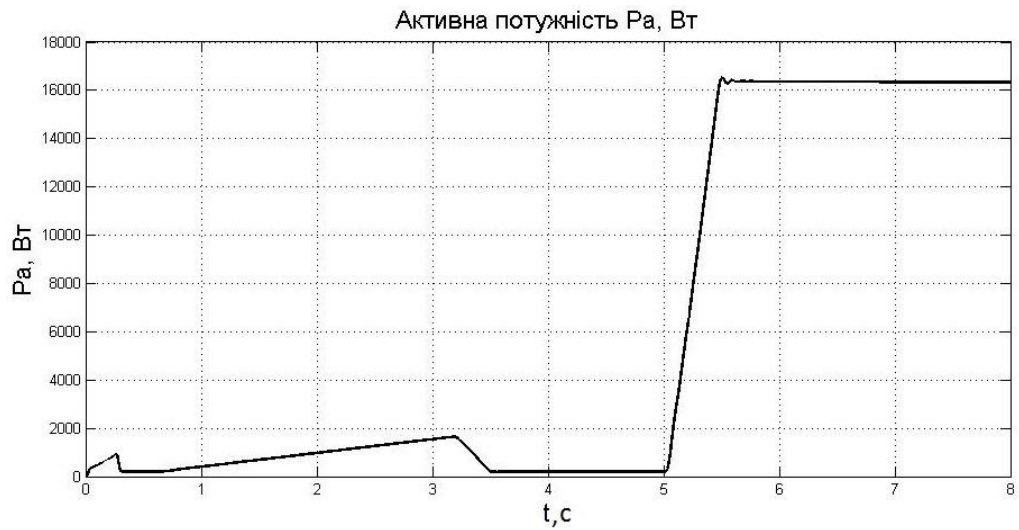


Рисунок 7.11 -Графік переходного процесу активної потужності двигуна

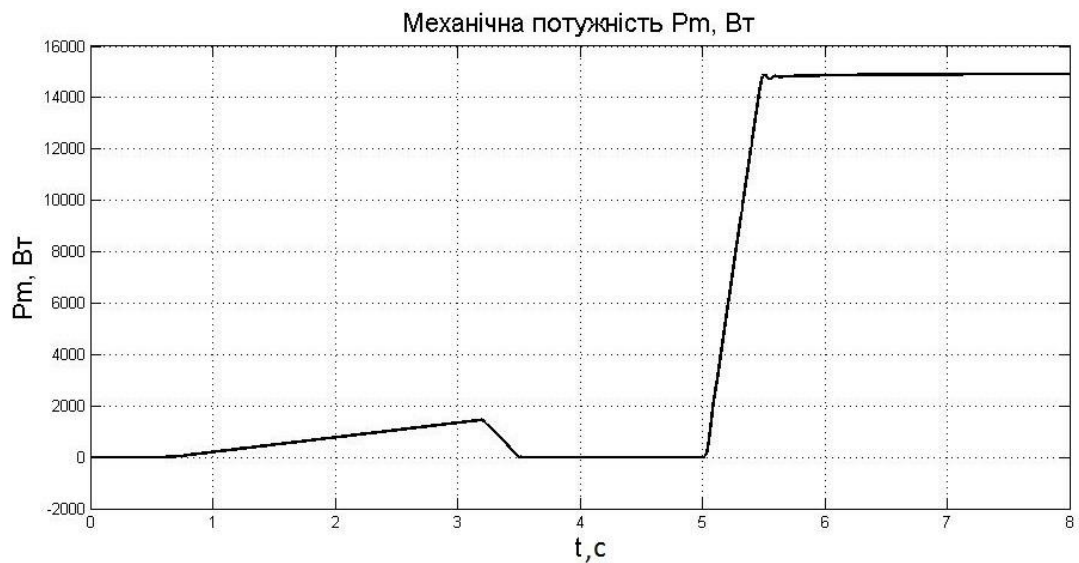


Рисунок 7.12 -Графік переходного процесу механічної потужності двигун

На отриманих графіках бачимо, що двигуном відпрацьовується задана траєкторія швидкості. Значення напруг та струмів не перевищують критичних значень та відповідають допустимим значенням двигуна. Активна потужність, споживана двигуном, зростає до номінального значення при розгоні.

Час перехідного процесу (із задатчиком інтенсивності)

$$t_{n.n} = 3c$$

Коливальність та пере регулювання відсутня.

Динамічне падіння швидкості після накидання навантаження:

$$\omega_{дин} = \frac{(\omega_{уст} - \omega_{min})}{\omega_{уст}} \cdot 100\% = \frac{(76 - 74.6)}{76} \cdot 100\% = 1.84 \%$$

Час відновлення швидкості $t_{вш} = 2c$.

Висновки до розділу 7

На основі розрахованих параметрів двигуна складена модель ПЧ-АД в середовищі Matlab. Виведено графіки кутової швидкості, моменту, струму, напруги, потужностей і потокозчеплення.

Результати моделювання динамічних режимів при пуску і накиданні навантаження свідчать про те, що розроблена система електропривода відповідає вимогам технічного завдання: час перехідного процесу при пуску складає 3с, перерегулювання та коливальність відсутні, а динамічне падіння швидкості після накидання навантаження $\omega_{дин} = 1.84\%$.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті на основі проведеного аналітичного огляду існуючих агрегатів для сушіння промислової та сільськогосподарської продукції обґрунтовано вибір сушильного агрегату барабанного типу, який є найбільш ефективним і універсальним для різних видів висушеної сировини. Розрахована потужність та здійснено вибір двигуна і силового електрообладнання, виконана автоматизація технологічного процесу роботи сушильного агрегату.

Спроектвана схема керування електроприводами сушильного агрегату на основі логічного реле, що дає змогу виконувати всі операції завантаження, позиціонування та розвантаження в автоматичному режимі.

Проведено синтез САК на основі лінеаризованої моделі асинхронного двигуна з використанням методу послідовної корекції при частотному регулюванні швидкості асинхронного двигуна. Розраховано параметри ПД-регулятора швидкості, які потім були використані у повній моделі електроприводу.

Результати проведених досліджень перехідних процесів методом математичного моделювання підтверджують працездатність розробленого електроприводу та відповідність вимогам завдань на проектування.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Раздел 15. Сушка. М, 1973, 49 с.
2. Рашковская Н.Б. Сушка в химической промышленности. Л, 1977, 80 с.
3. Шапиро М.С. Сушильные аппараты. Каталог-справочник. М, 1966, 84 с.
4. Нестеров А.В. Сушка. СПб, 2016, 75 с.
5. Статья. _Барабанная сушилка - принцип работы. Сушильные барабаны Алматы. URL: http://www.pke.kz/ru/articles/684-barabannaja_sushilka___princip_raboty_sushilnyje_barabany_almaty/
6. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок./М.–Л.: *Госэнергоиздат*, 1962.
7. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е.А. Соболенская. — М.: *Энергоиздат*, 1982.
8. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Издание 6-е, исправленное. *Москва: Энергия*, 1977.
9. Автоматизація технологічних процесів, установок і комплексів – 1: Методичні вказівки до виконання домашньої контрольної роботи для студентів денної форми навчання напряму підготовки 6.050702 "Електромеханіка", спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" денної форми навчання/ Уклад. С.О. Бур'ян, С.В. Король – К.: *НТУУ "КПІ"*, 2016. – 62 с.
10. Ковальчук О.В. Логічний синтез дискретних схем автоматики: навч. посіб. – К.: *НТУУ «КПІ»*, 2008. – 168 с. ISBN 978-966-622-294-0.
11. Сайт СВ Альтера Електротехніка & Автоматизація. URL: <http://www.svaltera.ua/catalog/728/6946.php>
12. Попович М.Г., Теряєв В.І., Кіселичник О.І., Бур'ян С.О. Особливості синтезу та дослідження електромеханічних систем з послідовною корекцією та частотно регульованими асинхронними двигунами. - Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – *Кременчук: КДПУ*, 2007. – Вип. 3/2007 (44) частина 2. – с. 12-16