

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Розроблення системи керування електроприводом барабанного
сушильного агрегату

Виконав: студент 3 курсу, групи 3-пМЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Самбур Є.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кожушко Г.М.


(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кодратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій


О.В. Шефер
«01» квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Самбуру Євгенію Володимировичу

1. Тема роботи «Розроблення системи керування електроприводом барабанного сушильного агрегату»
керівник роботи Кислиця Світлана Григорівна, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу №1481/1-фа від 08.12.2023.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Документація на стенд діагностики плати управління силової схеми. Документація на сушильний агрегат. Номінальна напруга 220В, частота 50 Гц.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд. Опис технології виробництва та перспективи удосконалення електричного приводу сушильного агрегату. Вибір електроприводу механізму та попередній розрахунок потужності електричного двигуна. Розрахунок режимів частотно-регульованого електричного приводу та складання його структурної та функціональної схем. Складання структурної та функціональної схем ПЛ-АД. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) Загальний вигляд;
 - 2) Структурна схема пропонованого частотно-регульованого приводу;
 - 3) Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу;
 - 4) Структурна схема системи ПЧ-АД із зворотним зв'язком за швидкістю;
 - 5) Структурна схема моделі системи ПЧ – АД – барабанний сушильний агрегат у MATLAB;
 - 6) Графіки;
 - 7) Висновки.
6. Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата	Категорія	Відсоток	
1	Аналітичний огляд. Постановка задач на кваліфікаційну роботу	25.04.24	I	20%	Пл. 1
2	Опис технології виробництва та перспективи удосконалення електричного приводу сушильного агрегату	08.05.24		40%	Пл. 2,3
3	Вибір електроприводу механізму та попередній розрахунок потужності електричного двигуна.	23.05.24	II	60%	Пл. 4,5
4	Розрахунок режимів частотно-регульованого електричного приводу та складання його структурної та функціональної схем. Складання структурної та функціональної схем ПЛ-АД	30.05.24		80 %	Пл. 6
5	Висновки по роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.24	III	100%	Пл. 7,8

Студент

(підпис)

Самбур Є.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра

«Розроблення системи керування електроприводом барабанного
сушильного агрегату»

Робота містить 59 сторінок, 12 літературних джерел.

Ключові слова: барабанний сушильний агрегат, система керування,
асинхронний двигун, перетворювач частоти.

У бакалаврській роботі розроблена система управління електроприводом барабанного сушильного агрегату, за схемою перетворювач частоти -асинхронний двигун. Розроблено математичну та віртуальну моделі пропонуваного електроприводу. Дослідження віртуальної моделі в середовищі Matlab показало гарну якість перехідних процесів, які відповідають вимогам технологічного процесу.

ABSTRACT

bachelor's qualification work

"Development of the electric drive control system of the drum drying unit"

The work contains 59 pages, 12 literary sources.

Keywords: drum drying unit, control system, asynchronous motor, frequency converter.

In the bachelor's thesis, the control system of the electric drive of the drum drying unit was developed, according to the scheme of the frequency converter - asynchronous motor. Mathematical and virtual models of the proposed electric drive have been developed. The study of the virtual model in the Matlab environment showed a good quality of transient processes that meet the requirements of the technological process.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	8
1.1 Опис технології виробництва та перспективи удосконалення електричного приводу сушильного агрегату.....	8
1.2 Фізико-механічні властивості сировини.....	12
1.3 Технологія сушіння насіння.....	14
1.4 Вибір електроприводу механізму та попередній розрахунок потужності електричного двигуна.....	17
1.5 Аналіз по розділу та постановка задачі на проектування.....	22
2 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ ТА СКЛАДАННЯ ЙОГО СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМ.....	24
2.1 Вибір типу електричного механізму. Розрахунок потужності електричного двигуна сушильного агрегату.....	24
2.2 Кінематичний розрахунок.....	31
2.3 Розрахунок статичного режиму електричного приводу.....	39
2.4 Вибір перетворювача частоти та апаратури керування.....	45
2.5 Структурна та функціональна схеми частотно-регульованого електричного приводу.....	46
3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ СУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB.....	49
3.1 Складання структурної та функціональної схем ПЛ-АД.....	49
3.2 Математична модель барабанного сушильного агрегату.....	51
3.3 Моделювання системи ПЧ-АД – барабанний сушильний агрегат у Matlab.....	52
ВИСНОВКИ.....	58
Список літератури.....	59

ВСТУП

Основний напрямок виробничої діяльності цеху – виробництво рослинних масел. Видобування олії включає такі стадії: підготовка сировини; форпресування; фільтрація сирої олії; екстракцію олії з макухи; роздільна рафінація форпресової та екстракційної олії; відбілювання та вінтеризація; дезодорація олії. На даний час потужність підприємства дозволяють переробляти до 200 тисяч тон соняшнику на рік.

У барабанних сушарках основним робочим органом є пустотілий сталевий циліндр, що обертається, який називається барабаном. Усередині по колу укріплені вигнуті лопаті, які при обертанні барабана захоплюють насіння, що знаходиться внизу, і піднімають його. У міру підйому лопат насіння зсипається з них і розподіляється по розташованим усередині барабана поличкам, які можуть мати різну форму. При обертанні барабана насіння пересипається з полички на поличку і таким чином рівномірно розподіляється по всьому перерізу його; при цьому воно пронизується агентом сушіння, що рухається вздовж барабана. Для переміщення насіння вздовж барабана встановлюють його з невеликим нахилом. Рух повітря зазвичай відбувається у напрямку руху насіння, що сприяє прискоренню виходу з барабана. Барабан спирається на ролики; при невеликих розмірах цапфи, укріплені з обох торців, спираються на підшипники. Барабанні сушарки працюють під розрідженням, щоб уникнути витоку повітря через нещільність назовні. З боку надходження насіння в барабан і з боку виходу з нього передбачають ковзаючі лабіринтові ущільнення, які, не заважаючи обертанню, одночасно перешкоджають проходженню повітря всередину. При багаторазовому пересипанні насіння з полиці на полицю під час обертання барабана воно добре перемішується і рівномірно просушується. Насіння знаходиться в барабані в розпушеному стані, тому сушіння його значно прискорюється (в 2-3 рази) в порівнянні з сушінням насіння, що лежить щільним шаром у шахтних сушарках; зниження вологості його за пропуск через барабан за умови збереження якості становить

4—5%. Заповнення об'єму барабана становить (20-25%), кількість випаровується в ньому вологи (вологонапруга) при температурі повітря 150-200 °С знаходиться в межах 20 - 40 кг/м³ на годину [1].

Актуальність теми. Сучасний електропривод є конструктивною єдністю електромеханічного перетворювача енергії (двигуна), силового перетворювача та пристрою управління. Він забезпечує перетворення електричної енергії на механічну відповідно до алгоритму роботи технологічної установки. Сфера застосування електричного приводу у промисловості, на транспорті та у побуті постійно розширюється. В даний час вже більше 60% всієї електричної енергії, що виробляється у світі, споживається електричними двигунами. Отже, ефективність енергозберігаючих технологій значною мірою визначається ефективністю електроприводу. Розробка високопродуктивних, компактних та економічних систем приводу є пріоритетним напрямком розвитку сучасної техніки.

Перспективи вдосконалення електричного приводу сушильного агрегату ось у чому:

- обґрунтовано доцільність розробки індивідуального частотно-керованого асинхронного електроприводу для сушильної установки;
- обґрунтовано вибір раціонального закону частотного керування електроприводом сушильної установки;
- отримані основні аналітичні співвідношення для частотно-керованого електроприводу сушильної установки;

У завдання входить розгляд конструктивних особливостей механізму, вибір двигуна та частотного перетворювача для нього та розрахунок потужності, система керування тощо.

1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Опис технології виробництва та перспективи удосконалення електричного приводу сушильного агрегату

На підприємстві добування олії включає такі стадії: підготовка сировини; форпресування; фільтрація сирової олії; екстракцію олії з макухи; роздільна рафінація форпресової та екстракційної олії.

На етапі підготовки насіння до вилучення олії проводиться їх очищення від забруднень та сміття, калібрування за розмірами. Далі слідує обвалення насіння, дроблення рушанки, подрібнення ядра.

Наступний етап – це форпресування. Форпресування це отримання рослинної олії з очищеного і подрібненого насіння, шляхом віджиму (пресування). На даному етапі можна витягти від 60% до 85% олії. Такий віджимання називається «холодним віджимом», а отримане масло називається сирим. Далі олію відстоюють і виробляють фільтрацію для звільнення олії від суспендованих у ньому частинок.

Сутність фільтрації полягає у продавлюванні олії через пори напівпроникної перегородки, через яку проходить рідке середовище (масло) і не проходить (або майже не проходить) суспендовані частинки.

Макуха отримана після фопресування відправляють на екстракцію. В основі процесу екстракції лежить здатність рослинних олій розчинятися в органічних розчинниках. Як розчинники для вилучення олії з рослинної сировини застосовують екстракційний бензин марки «А» і нефракс.

Рафінація складається з таких стадій: гідратація, нейтралізація, відбілювання, виморожування, дезодорація.

Основна мета гідратації – вилучення з нерафінованої олії фосфатидів та деяких гідрофільних речовин. Масло обробляють розчином лимонної або фосфорної кислоти, а потім виробляють поділ фаз з використанням

сепараторів або ємнісних апаратів з пристроєм, що перемішує - нейтралізаторів.

Нейтралізація включає процес обробки олії лугом для видалення жирних кислот.

Відбілювання використовується для проведення адсорбційного очищення від різних пігментів та залишків фосфатидів та мила після лужної нейтралізації. Як адсорбент, як правило, використовують кислотно активовану відбільну землю (глину) – природний мінерал монтморилоніт.

Виморожування (вінтеризація) використовується для видалення з олій воскоподібних речовин. Проводиться у спеціальних апаратах – кристалізаторах та експозиторах. У процесі виморожування масло змішують з кизельгуром, або перлітом і повільно охолоджують до температури 5-8 °С, потім витримують кілька годин і відправляють на фільтрацію.

Дезодорація є завершальною стадією. Олія, що знаходиться в дезодораторі, обробляється гострим паром при температурах 225 - 260 °С, і залишковому тиску 1-3 мм.рт.ст. В результаті проводиться видалення речовин, що одорують, пестицидів, гербіцидів і жирних кислот [2].

Сушіння насіння дозволяє помітно покращити якість рослинної олії, а також збільшує термін зберігання на складах, так як насіння з вологістю більше 7 відсотків швидко псується. Виходячи з цього, я вважаю за необхідне впровадити у процес виробництва спеціальну установку для сушіння сировини.

Розглянемо вибрану сушарку барабанного типу. У барабанних сушарках основним робочим органом є пустотілий сталевий циліндр, що обертається, званий барабаном. Усередині по колу укріплені вигнуті лопаті, які при обертанні барабана захоплюють насіння, що знаходиться внизу, і піднімають його. У міру підйому лопат насіння зсипається з них і розподіляється по розташованим усередині барабана поличкам, які можуть мати різну форму. При обертанні барабана насіння пересипається з полички на поличку і таким чином рівномірно розподіляється по всьому перерізу його; при цьому воно

пронизується агентом сушіння, що рухається вздовж барабана. Для переміщення насіння вздовж барабана встановлюють його з невеликим нахилом. Рух повітря зазвичай відбувається в напрямку руху насіння, що сприяє прискоренню його виходу з барабана. Барабан спирається на ролики; при невеликих розмірах його цапфи, укріплені з обох торців, спираються на підшипники. Барабанні сушарки працюють під розрідженням, щоб уникнути витoku повітря через нещільність назовні. З боку надходження насіння в барабан і з боку виходу з нього передбачають ковзаючі лабіринтові ущільнення, які, не заважаючи обертанню, одночасно перешкоджають проходженню повітря всередину. При багаторазовому пересипанні насіння з полиці на полицю під час обертання барабана воно добре перемішується та рівномірно просушується. Насіння знаходиться в барабані в розпушеному стані, тому сушіння його значно прискорюється (в 2-3 рази) в порівнянні з сушінням насіння, що лежить щільним шаром у шахтних сушарках; зниження вологості його за пропуск через барабан за умови збереження якості становить 4—5%. Заповнення об'єму барабана становить (20-25%), кількість випаровується в ньому вологи (вологонапруга) при температурі повітря 150-200 ° знаходиться в межах 20 - 40 кг/м³ на годину [3].

Вибираємо сушарку стаціонарну зернову сушарку барабанного типу, яка наведена на рис. 1.1, де 1 - скребковий транспортер сирого зерна; 2 - самопливна труба; 3 - барабан; 4 - вентилятор; 5 - камера, що відводить; 6 - скребковий транспортер для сухого зерна; 7 - шнек; 8 - вентилятор холодного повітря; 9 - охолоджувальна колонка; 10 - шлюзовий затвор. СЗСБ-8. Сире насіння з приймального бункера, що піднімається скребковим транспортером, самопливною трубою потрапляє в барабан діаметром 1600 мм і довжиною 8000 мм, який спирається на чотири пари роликів і робить 8 об/хв. Насіння, що надійшли під час обертання, рівномірно розподіляється по секторах і поличках всередині барабана.

Агент сушіння відсмоктується із змішувальної камери топки, проходить через барабан, продуваючи насіння, що пересипається по поличках, і

вентилятором (на одній осі з електродвигуном) викидається назовні. Насіння з барабана надходить у камеру, що відводить, з якої через шлюзовий затвор зсипається на скребковий транспортер і подається їм на шнек, що служить для завантаження охолоджувальної колонки. Надлишок насіння із шнека зсипається по самопливній трубі під охолоджувач [4].

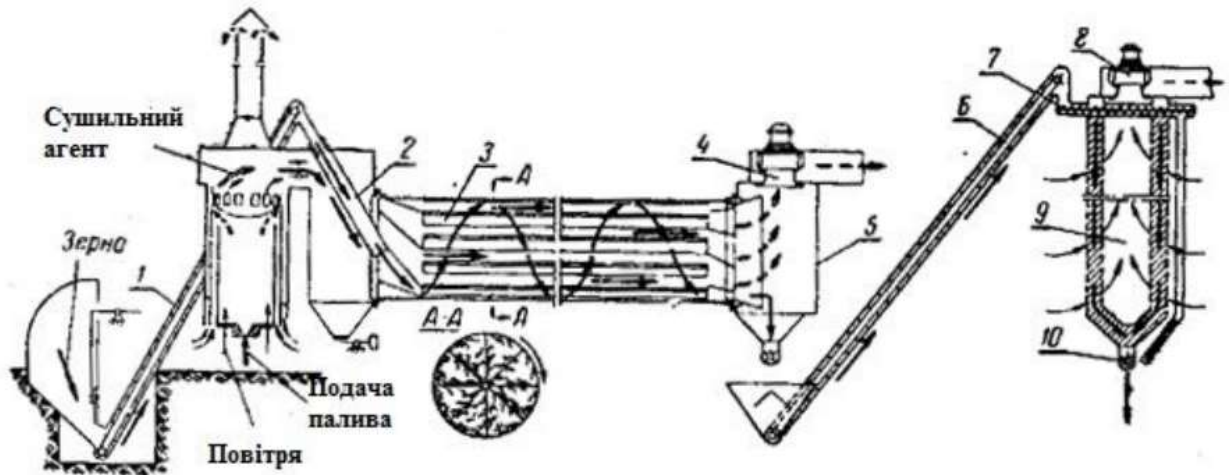


Рисунок 1.1 - Барабанна зерносушарка СЗСБ-8 [4]

Охолоджувальна колонка складається з двох вертикальних циліндрів із перфорованими стінками. Діаметр внутрішнього циліндра колонки 760 мм, зовнішнього 1260 мм, висота колонки 2750 мм. Простір між стінками циліндрів заповнюється просушеним насінням. Атмосферне повітря входить через отвори в стінці зовнішнього циліндра, продує шар насіння і надходить у внутрішній циліндр, звідки відсмоктується вентилятором (також на одній осі з електродвигуном) та викидається назовні. Насіння з охолоджувальної колонки випускають через шлюзовий затвор.

Топка сушарки на рідкому паливі складається з двох вертикальних циліндрів, з яких внутрішній служить камерою згоряння. У нижній частині її встановлюють форсунку голкового типу. Паливо подається до форсунки насосом і розпоршується повітрям, яке нагнітається вентилятором високого тиску з приводом електродвигуна. У верхній частині камери згоряння встановлено відбивач. Повітря для охолодження стін камери згоряння надходить знизу в кільцевий простір між циліндрами. Це повітря поєднується

з топковими газами при виході їх із камери згоряння. Для зниження температури повітря зовнішнє повітря підводиться через вікна.

Для зменшення втрат тепла в навколишнє середовище і щоб уникнути опіків обслуговуючого персоналу, огорожують топку циліндричним кожухом. Над топкою встановлена коробка змішувача, на якій змонтована розточувальна труба. У коробці є дверцята для регулювання впуску повітря. Заслінка для перемикання агента в сушарку, а також заслінка розпалювальної труби блоковані так, що при відкриванні однієї з них інша закривається.

1.2 Фізико-механічні властивості сировини

Важливою фізико-механічною властивістю рослинної сировини як об'єкта сушіння є сипкість, що характеризується кутом природного укосу. Визначальне значення на сипкість насіння соняшника надають вологість насіння, вміст сторонніх домішок та його характер, і навіть поверхню, якою переміщуються насіння. Кут природного укосу сухого насіння соняшника коливається від 27 до 35 °С, вологого - до 42 °С, що значно вище, ніж у злакових культур. Ці особливості насіння соняшнику викликають певні труднощі за її потокової обробки. Легкі насінини, маючи підвищений коефіцієнт внутрішнього тертя, на деяких ділянках технологічної схеми пересуваються повільніше, ніж зерно колосових культур або кукурудзи. Тому при роботі з насінням соняшника труби зерносушарок повинні мати більший діаметр і їх встановлюють під великим кутом нахилу.

Наявність повітряного прошарку між ядром та плодовою оболонкою насіння, а також значний вміст жиру є причиною нижчої швидкості витання насіння соняшника, ніж для зерна. Тому щоб уникнути винесення повноцінного насіння з коробів шахти і камери нагрівання сушарки швидкість повітря повинна бути нижчою, ніж при сушінні зернових культур [5].

Подовжена форма сім'янок соняшнику та порівняно шорстка поверхня зумовлюють велику свердловистість. Так, свердловість соняшника

коливається не більше 60-80%, а рису 50-65, пшениці 35-45 і кукурудзи 35-55%. Отже, насіння соняшнику, маючи велику шпаруватість, чинить менший опір при проходженні повітря в сушарках і сушаться швидше, ніж насіння інших культур.

Гігроскопічність – одна з найважливіших властивостей зерна, що визначають режими його зберігання та сушіння. Для насіння соняшнику як капілярнопористих колоїдних тіл характерні всі форми зв'язку, які за класифікацією академіка Л.А. Ребіндери, поділяються на хімічну, фізико-хімічну та механічну. У процесі сушіння насіння їх основні фізичні та хімічні властивості повинні зберегтися, отже, хімічно пов'язану вологу не треба видаляти.

Вологість насіння соняшника, при якій залишається хімічно та адсорбційно пов'язана волога, часто називають критичною. Ця волога не бере участі в життєвих процесах, не може бути використана більшістю мікроорганізмів для підтримки своєї життєдіяльності і тому не впливає на стійкість насіння соняшнику у процесі зберігання. Отже, сушити насіння необхідно до такої вологості, щоб у них залишалася переважно адсорбційно зв'язана вода.

Рівноважна вологість насіння соняшнику, тобто. вологість, коли він насіння не віддають і поглинають вологу, залежить від температури, від носійної вологості атмосферного повітря, олійності.

За всіх рівних умов рівноважна вологість олійних культур у 2 рази менша, ніж зернових. Це меншим вмістом в насінні олійних культур гідрофільних колоїдів і наявністю великої кількості жиру. Зі збільшенням вмісту олійності в насінні рівноважна вологість соняшнику зменшується, оскільки з підвищенням олійності зменшуються вміст гідрофільних речовин і відповідно збільшується вміст гідрофобних [6].

1.3 Технологія сушіння насіння

Специфічні властивості насіння соняшнику як об'єкта сушіння, неоднорідність сім'янки (наявність ядра, плодової та насінневої оболонки), природна неоднорідність насіння за розмірами, масою та вологістю, низька міцність плодової оболонки, вологоінерційність, низька теплопровідність, термолабільність пред'являють особливі вимоги до способу сушіння та конструкції сушильних пристроїв. При сушінні не повинно погіршуватися якість і зменшуватися вихід олії, не повинно відбуватися розтріскування лущиння та збільшення олійної домішки. Не допускається збільшення в процесі сушіння кислотного та йодного чисел жиру, зміна смакових та харчових переваг соняшникової олії.

Одним із найбільш раціональних методів покращення технологічних властивостей, збереження якості та підвищення стійкості насіння соняшника в процесі зберігання є теплове сушіння.

При сушінні насіння соняшника велике значення має не лише температура нагріву насіння, але й тривалість її дії. Значення коефіцієнтів теплопровідності, температуропровідності для одиничного насіння значно відрізняються від тих же показників для щільного шару. Для швидкого нагрівання насіння необхідна така конструкція сушильного апарату, в якому забезпечувався б нагрівання кожного одиничного насіння окремо. В цьому випадку можна значно підняти температуру агента сушіння при зниженні тривалості нагрівання до декількох секунд. Короткочасне висушування насіння соняшника при вищій температурі краще, ніж повільне висушування при низькій.

При сушінні соняшникового насіння необхідний обґрунтований вибір температурних режимів. Сушіння має протікати з мінімальними витратами тепла та електроенергії, з максимальною швидкістю видалення вологи при найкращих технологічних властивостях висушеного матеріалу.

Сушка являє собою комплекс явищ, що одночасно протікають і впливають один на одного. Це - перенесення тепла від повітря до матеріалу, що висушується через його поверхню, випаровування вологи, переміщення вологи всередині матеріалу, перенесення вологи з поверхні матеріалу в сушильну зону.

Застосування того чи іншого способу сушіння може сприяти в одному випадку збігу напрямку переміщення вологи як внаслідок вологопровідності, так і термовологопровідності, а в іншому випадку процес випаровування вологи в результаті вологопровідності гальмує процес випаровування вологи в результаті термовологопровідності. У першому випадку процес випаровування вологи протікатиме значно інтенсивніше, ніж у другому. Для того щоб ці процеси випаровування вологи збігалися у напрямку, необхідно, щоб температура поверхні насіння соняшнику була нижчою за температуру всередині ядра. Сушіння буде значно гальмуватися, коли температура поверхні сім'янки вища за температуру всередині ядра.

При сушінні насіння соняшнику в шахтних прямоточних сушарках явище термовологопровідності перешкоджає переміщенню вологи зсередини до поверхні та інтенсивність потоку вологи дорівнює різниці між інтенсивністю потоку вологи в результаті вологопровідності та інтенсивністю потоку вологи в результаті термовологопровідності. При рециркуляційному сушінні волога випаровується як під впливом процесу вологопровідності, так і під впливом термовологопровідності.

Температура матеріалу в процесі сушіння не дорівнює температурі повітря. У першому періоді сушіння температура матеріалу дорівнює температурі змоченого термометра, тому можна застосовувати високі температури повітря. Наприклад, при температурі повітря 200 °С і вологовмісті його 0,008 кг / кг температура змоченого термометра, а отже, і температура матеріалу дорівнює 47 °С. При підвищенні температури повітря до 350 °С при даному вмісті вологи вміст температура змоченого термометра збільшується до 60 °С.

При сушінні насіння соняшнику в шахтних сушильних апаратах необхідне їх початкове очищення від сміттєвих домішок, оскільки вони можуть призвести до засмічення сушарки та її загоряння. Насіння, що має високу вологість, в такому сушильному апараті можуть піддаватися дво-, а, нерідко, і триразовому сушінню. Поточність обробки при цьому порушується, що викликає труднощі в роботі з насінням, що знову надходить. В результаті нерівномірного руху шахтними перерізами при їх обробці гарячим повітрям, насіння прогрівається нерівномірно, температурна різниця може становити до 10 градусів. Це пов'язано з тим, що біля стін шахт насіння переміщується повільніше, ніж у центрі. Крім того, недостатня пропускну здатність сушарки може призвести до перегріву частини насіння.

Рециркуляційні сушильні апарати, на відміну від прямоочних, дозволяють висушувати насіння з різною вологістю за один цикл. Технологія сушіння насіння в рециркуляційних сушильних апаратах з камерами нагріву в падаючому шарі полягає в чергуванні короткострокового нагріву насіння у висхідному потоці гарячого повітря при температурі 250-350 ° С, відлеження нагрітого насіння, їх охолодженні та рециркуляції. При даному способі одночасно з сушінням насіння відбувається і їх очищення від домішок.

При висушуванні насіння соняшника в сушарках рециркуляційного типу дуже важливо рівномірно розподіляти насіння по всьому перерізу камери, а також не допускати скупчення олійного пилу в камері нагріву та усувати попадання іскор з топки в камеру нагріву, оскільки сушарки цього типу є пожежонебезпечними.

Перевагою вентильованих бункерів є їхня простота та тривалий термін експлуатації. М'які режими сушіння не допускають травмування насіння соняшника. Однак такий спосіб сушіння набагато триваліший за інші за часом, і характеризується нерівномірністю просушування насіння. Щоб цього уникнути, вентилятор періодично необхідно відключати, а насіння ретельно перемішувати.

Найчастіше на підприємствах застосовуються барабанні сушильні апарати з різними режимами сушіння, що залежать від вологості сирого насіння. Температура сушильного агента (нагрітого повітря) при цьому повинна бути настільки вищою, наскільки вищою є вологість насіння соняшника. Висушування насіння в сушарках барабанного типу здійснюється в шарі насіння, що пересипається, при його продуві гарячим повітрям.

Спочатку сушіння температура сушильного агента, залежно від вологості насіння, утримується лише на рівні 250-350 °С, на виході із сушарки – 50-80 °С. У середньому, сушіння насіння соняшника у барабанних сушарках триває 15-20 хвилин.

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 роботи не потрібно капітальних споруд); надійність роботи (виключається утворення застійних зон); прийнятна ціна; низьке споживання електроенергії.

Виходячи з цього, вибираємо сушарку барабанного типу, яка характеризується якісним та рівномірним просушуванням сировини при оптимальних параметрах сушильного агрегату.

1.4 Вибір електроприводу механізму та попередній розрахунок потужності електричного двигуна

Сировина, що просушується, розташовується не симетрично щодо вертикалі, що проходить через центр перерізу печі, тому він викликає постійно діючий і спрямований у бік, протилежну обертання барабана, момент сили G_m ваги матеріалу (рисунок 1.2). Плеч цієї проходить через центр перерізу барабана. Отже, потужність, необхідна підйому матеріалу, буде розрахована з урахуванням цих особливостей.

Щоб можна було визначити корисну потужність, необхідно знати кількість матеріалу, що знаходиться в барабані, або його середню площу перерізу, об'ємну вагу матеріалу і його кут природного укосу при русі.

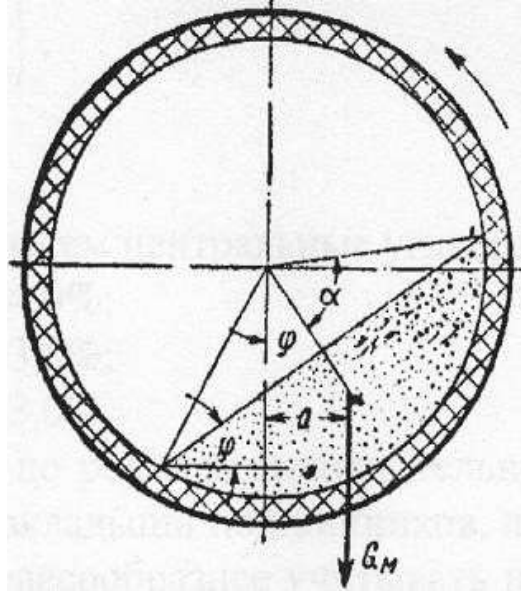


Рисунок 1.2 – Схема розташування сировини в барабані

У міру переміщення матеріалу вздовж барабана його фізичні властивості безперервно змінюються і у теплообмінників, а також у порога, якщо корпус барабана складений з частин різного діаметра, відбувається скупчення матеріалу, визначення середньої швидкості руху і площі перерізу теоретичним шляхом пов'язане з дуже великими труднощами. Запропоновані для цієї мети рівняння, відрізняючись складністю, не відрізняються ще й потрібною точністю за результатами вироблених за ними обчислень. Тому при викладеному нижче виведенні рівняння, що визначає потужність, необхідну для підйому матеріалу, приймаємо, виходячи з практичних даних.

Визначається загальна потужність, яка потрібна для обертання барабана з корпусом одного діаметра по всій довжині. Якщо корпус складається із зон різного діаметра, то потрібна потужність обчислюється для кожної зони окремо і потім підсумовується.

Для підшипників опорних роликів картерного типу з бронзовими вкладишами та безперервною подачею олії на цапфи рекомендується коефіцієнт тертя вибирати рівним 0,02-0,04. З урахуванням тертя кочення бандажів за роликами наведені значення необхідно підвищити до 0,03 - 0,06.

Витрата потужності на подолання тертя в приводному механізмі та ущільнювальних пристроях враховується ККД установки. Величина його залежить від конструкції приводного механізму, правильності його монтажу та експлуатації та в середньому дорівнює 0,9 – для механізму закритого типу, 0,85 – для змішаного та 0,8 – для відкритого.

При визначенні необхідної потужності для обертання барабана розрахункове рівняння підставляють нормальне число оборотів. Але при експлуатації барабан часто обертається з підвищеною кількістю обертів, на що потрібна і підвищена потужність. У момент пуску барабана також необхідна потужність вище нормальної на подолання сили інерції барабана, що обертається. Враховуючи це, потужність електродвигуна барабана слід вибирати на 20-25% вище за ту, яка визначається за рівнянням.

Застосовуючи формули, робимо розрахунок потужності електродвигуна.

Потужність, необхідна для пуску електродвигуна, враховується без маси насіння.

Враховуючи і інерційну потужність барабана, яка повинна бути на 20-25% вище робочої потужності, остаточно отримаємо потужність двигуна.

Вибираємо трифазний асинхронний двигун серії АІР 160S6 потужність – 11 кВт, синхронна швидкість обертання – 1000 об/хв, ковзання – 3%. З урахуванням ковзання номінальна частота обертання $n_{\text{ном}} = 970$ об/хв. Зміною числа пар полюсів та за допомогою редуктора ми змінюємо частоту обертання двигуна.

Модернізація полягає у застосуванні сучасного частотно-регульованого електроприводу (ЧРП) сушильного агрегату (ІВ) складається з асинхронного або синхронного електричного двигуна (М) та перетворювача частоти (ПЧ) (рис. 1.3).

Електричний двигун перетворює електричну енергію в механічну енергію і надає руху виконавчому органу технологічного механізму.

Перетворювач частоти управляє електричним двигуном і являє собою електронний статичний пристрій. На виході перетворювача формується електрична напруга зі змінними амплітудою та частотою.

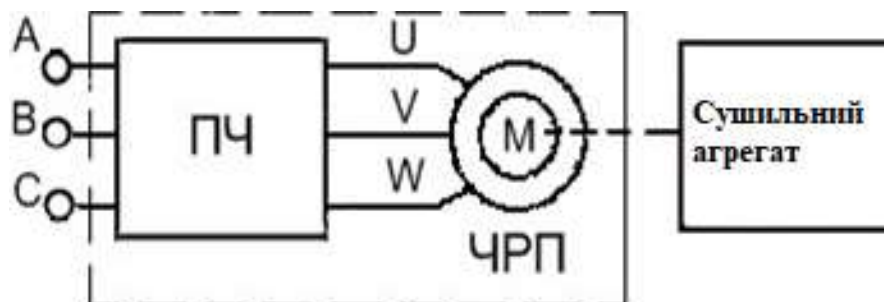


Рисунок 1.3 - Структурна схема пропонованого частотно-регульованого приводу

Назва «частотно регульований електропривод» обумовлена тим, що регулювання швидкості обертання двигуна здійснюється зміною частоти напруги живлення, що подається двигун від перетворювача частоти.

Протягом останніх 10-15 років у світі спостерігається широке та успішне впровадження частотно-регульованого електроприводу для вирішення різних технологічних завдань у багатьох галузях економіки. Це насамперед розробкою і створенням перетворювачів частоти на принципово новій елементній базі, головним чином біполярних транзисторах із ізольованим затвором IGBT.

Області застосування – металургія (наприклад, привод рольгангів), текстильна промисловість, верстатобудування (наприклад, електрошпинделі та металорізальні верстати), центрифуги, полірувальні машини, електропривод вентиляторів та насосів та інші.

Зарубіжні фірми, зокрема Siemens, Fanyk, ABB та ін. широко застосовують частотне керування для вентиляторів, насосів у горизонтальних та вертикальних роботах, транспортерах. Американські та англійські фірми широко використовують частотне керування приводами в нафтовій та газовій

промисловостях. Використовуються приводи як з централізованим, так і з індивідуальними перетворювачами.

При подальших міркуваннях говоритимемо про трифазний частотно регульований електропривод, оскільки він має найбільше промислове застосування.

У синхронному електричному двигуні частота обертання ротора n_2 в режимі дорівнює частоті обертання магнітного поля статора n_1 .

В асинхронному електричному двигуні частота обертання ротора n_2 в режимі, що встановився, відрізняється від частоти обертання n_1 на величину ковзання s .

Частота обертання магнітного поля n_1 залежить від частоти напруги живлення. При живленні обмотки статора електричного двигуна трифазною напругою з частотою створюється магнітне поле, що обертається.

Швидкість обертання цього поля визначається за відомою формулою

$$\omega_1 = \frac{2\pi f}{p}, \quad (1.1)$$

де p – число пар полюсів статора.

Перехід від швидкості обертання поля

$$n_1 = \frac{60}{2\pi} \omega_1, \quad (1.2)$$

де 60 - коефіцієнт перерахунку розмірності. Підставивши в рівняння (1.2) швидкість обертання поля, отримаємо

$$n_1 = \frac{60f}{p}. \quad (1.3)$$

Таким чином, частота обертання ротора синхронного та асинхронного двигунів залежить від частоти напруги живлення.

На цій залежності і заснований метод частотного регулювання, змінюючи за допомогою перетворювача частоту f на вході двигуна, ми регулюємо частоту обертання ротора.

У найбільш поширеному частотно-регульованому приводі на основі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором застосовуються скалярне та векторне частотне керування.

1.5 Аналіз по розділу та постановка завдання на проектування

При обертанні правильно зібраного і нормально працюючого барабана потужність його приводного електродвигуна витрачається більшою мірою на корисну роботу: підйом матеріалу на певну висоту, сповзаючи з якої він переміщується і поступово переміщається до розвантажувального кінця, і в меншій мірі - на подолання шкідливих опорів. До шкідливих опорів відноситься тертя ковзання між поверхнями цапф опорних роликів і вкладишів підшипників, тертя кочення бандажів по опорних роликах, тертя в приводному механізмі і тертя кінців корпусу барабана поверхні деталей ущільнювальних пристроїв.

Я вважаю за доцільне спроектувати барабанний сушильний апарат з різними режимами сушіння, що залежать від вологості сирого насіння. Температура сушильного агента (нагрітого повітря) при цьому повинна бути настільки вищою, наскільки вищою є вологість насіння соняшника. Висушування насіння в сушарках барабанного типу здійснюється в шарі насіння, що пересипається, при його продуві гарячим повітрям. Спочатку сушіння температура сушильного агента, залежно від вологості насіння, утримується лише на рівні 250-350 °С, на виході із сушарки – 50-80 °С. У середньому, сушіння насіння соняшника у барабанних сушарках триває 15-20 хвилин.

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

роботу не потрібно капітальних споруд); надійність роботи (виключається утворення застійних зон); прийнятна ціна; низьке споживання електроенергії.

У зв'язку з цим у цій роботі необхідно вирішити такі завдання:

- вибрати тип електричного механізму і зробити розрахунок потужності електричного двигуна, а також виконати розрахунок редуктора сушильного агрегату:

- Розрахувати статичний режим електричного приводу;
- Розрахувати динамічний режим електричного приводу;
- Вибрати перетворювач частоти та апаратуру управління;
- Скласти структурну та функціональну схеми частотно-регульованого електроприводу;

- Дослідити систему управління електричним приводом сушильного агрегату серед Matlab.

2 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ПРИВОДУ ТА СКЛАДАННЯ ЙОГО СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМ

2.1 Вибір типу електричного механізму. Розрахунок потужності електричного двигуна сушильного агрегату

При обертанні правильно зібраного і нормально працюючого барабана потужність його приводного електродвигуна витрачається більшою мірою на корисну роботу: підйом матеріалу на певну висоту, сповзаючи з якої він переміщується і поступово переміщається до розвантажувального кінця, і в меншій мірі – на подолання шкідливих опорів.

До шкідливих опорів відноситься тертя ковзання між поверхнями цапф опорних роликів і вкладишів підшипників, тертя кочення бандажів по опорних роликах, тертя в приводному механізмі та тертя кінців корпусу барабана поверхні деталей ущільнювальних пристроїв [7].

Потрібну потужність на обертання барабана можна визначити за формулою

$$N_n = \frac{1}{\eta} (N_1 + N_2) \text{кВт}, \quad (2.1)$$

де N_1 - Потужність, що витрачається на підйом матеріалу.

N_2 - Потужність, що витрачається на подолання тертя в підшипниках опорних роликів і тертя бандажів по опорних роликах; η - коефіцієнт, що враховує потужність, яка витрачається на подолання тертя в приводному механізмі та у ущільнювальних у будівлях.

Сировина, що просушується, розташовується не симетрично щодо вертикалі, що проходить через центр перерізу печі, тому він викликає постійно діючий і спрямований у бік, протилежну обертанню барабана, момент сили G

m ваги матеріалу (рис. 2.2). Плечем цієї сили ϵ відстань від центру тяжіння матеріалу до вертикалі, що проходить через центр перерізу барабана. Отже, потужність, необхідна для підйому матеріалу, дорівнює

$$N_1 = \frac{1000G_M v_0}{102}, \quad (2.2)$$

або

$$N_1 = \frac{1000F_M L Y_M v_0}{102},$$

де F_M - площа перерізу матеріалу (кругового сегмента) в m^2 ;

L - довжина корпусу в m ;

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

v_0 - окружна швидкість центру тяжкості площі перерізу матеріалу в m/c .

Щоб за наведеним рівнянням можна було визначити корисну потужність, необхідно знати кількість матеріалу, що знаходиться в барабані, або його середню площу перерізу, об'ємну вагу матеріалу і його кут природного укосу при русі.

Так як у міру переміщення матеріалу вздовж барабана його фізичні властивості безперервно змінюються і у теплообмінників, а також у порога, якщо корпус барабана складений з частин різного діаметра, відбувається скупчення матеріалу, визначення середньої швидкості його руху та площі перерізу теоретичним шляхом пов'язане з дуже великими труднощами. Запропоновані для цієї мети рівняння, відрізняючись складністю, не відрізняються ще й потрібною точністю за результатами вироблених за ними обчислень.

Тому при викладеному нижче виведенні рівняння, що визначає потужність, необхідну для підйому матеріалу, приймаємо, виходячи з практичних даних, що:

коефіцієнт заповнення барабана матеріалом до $K_3 = 0,25$.

середня об'ємна вага матеріалу $Y_M = 0,47 t/m^3$;

кут природного укусу матеріалу (насіння соняшнику) при $\varphi = 42^\circ$.

Так як площа перерізу матеріалу в барабані формою є круговим сегментом, окружна швидкість його центру тяжкості при обертанні дорівнює

$$v_0 = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{R_{CB}^3 \sin^3 a}{k_3 \pi R_{CB}^2} \sin \varphi. \quad (2.3)$$

Невідомою величиною в наведеному рівнянні є лише кут a , що дорівнює половині центрального кута, що спирається на хорду кругового сегмента, його можна знайти з рівняння

$$F_M = \frac{R_{CB}^2}{2} \left(\frac{\pi \cdot 2a}{180} - \sin 2a \right), \quad (2.4)$$

ця величина виражає площу кругового сегмента.

Підставляючи це рівняння замість F_M прийняту нею числову величину, відповідну коефіцієнту заповнення $=0,25$, отримуємо вираз

$$0,25 \cdot \pi \cdot R_{CB}^2 = \frac{R_{CB}^2}{2} \left(\frac{\pi \cdot 2a}{180} - \sin 2a \right), \quad (2.5)$$

$$0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2 = \frac{0,8^2}{2} \left(\frac{3,14 \cdot 2a}{180} - \sin 2a \right),$$

Звідки при $a = 65^\circ$

$$v_0 = \frac{3,14 \cdot 8}{30} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{0,8^2 \sin^3 65^\circ}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2} \sin 42^\circ,$$

при $v_0 = 0,283$

$$N_1 = \frac{1000 \cdot 0,5024 \text{ м}^2 \cdot 8 \text{ м} \cdot 0,47 \text{ т/м}^3 \cdot 0,283 \text{ м/с}}{102} = 5,24 \text{ кВт}.$$

Тертя кочення бандажа по роликах незначно порівняно з тертям ковзання цапф роликів про вкладиші підшипників, тому немає необхідності його обчислювати окремо, а доцільніше враховувати підвищення коефіцієнта тертя ковзання.

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

$$N_2 = \frac{P_{mp} v_{\psi}}{102} \text{ кВт.} \quad (2.6)$$

Сила тертя та окружна швидкість цапф відповідно рівні

$$P_{mp} = \frac{1000_{mp} f G}{\cos 30^{\circ}} = 1155; \quad (2.7)$$

$$v_{\psi} = \frac{\pi \cdot r_{\psi} n}{30} \cdot \frac{D_{\psi}}{D_p}. \quad (2.8)$$

Підставивши в рівняння (2.6) наведені значення сили тертя P_{mp} окружної швидкості цапфи v_{ψ} і зробивши скорочення, маємо:

$$N_2 = 1,19 f r_{\psi} G n \frac{D_{\psi}}{D_p}, \quad (2.9)$$

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

r_{ψ} - Радіус цапф роликів в м;

n - число обертів барабана за хвилину;

D_{ψ} - Діаметр бандажів в м;

D_p - діаметр опорних роликів в м;

$G = (G_1 + G_2)$ - Загальна вага обертової частини барабана в т.

$G_1 = 8$ тон - вага барабана

$G_2 = 1,9$ тони - вага сировини в барабані.

За цим рівнянням визначається загальна потужність, потрібна для обертання барабана з корпусом одного діаметра по всій довжині. Якщо корпус складається із зон різного діаметра, то потрібна потужність обчислюється для кожної зони окремо і потім підсумовується.

Для підшипників опорних роликів картерного типу з бронзовими вкладишами та безперервною подачею олії на цапфи рекомендується

коефіцієнт тертя вибирати рівним 0,02-0,04. З урахуванням тертя кочення бандажів за роликками наведені значення необхідно підвищити до 0,03 - 0,06.

Витрата потужності на подолання тертя в приводному механізмі та ущільнювальних пристроях враховується ККД установки. Величина його залежить від конструкції приводного механізму, правильності його монтажу та експлуатації та в середньому дорівнює 0,9 – для механізму закритого типу, 0,85 – для змішаного та 0,8 – для відкритого.

При визначенні необхідної потужності для обертання барабана розрахункове рівняння підставляють нормальне число оборотів. Але при експлуатації барабан часто обертається з підвищеною кількістю обертів, на що потрібна і підвищена потужність.

У момент пуску барабана також необхідна потужність вище нормальної на подолання сили інерції барабана, що обертається. Враховуючи це, потужність електродвигуна барабана слід вибирати на 20-25% вище за ту, яка визначається за рівнянням.

Застосовуючи формули, робимо розрахунок потужності електродвигуна.

Потужність, що витрачається на підйом матеріалу визначається за такою формулою

$$N_1 = \frac{1000 \cdot 0,5024 \text{ м}^2 \cdot 8 \text{ м} \cdot 0,47 \text{ т/м}^3 \cdot 0,283 \text{ м/с}}{102} = 5,24 \text{ кВт.}$$

Далі визначаємо потужність тертя барабана на роликках та бандажах.

Потужність тертя барабана на роликках і бандажах відповідно дорівнюватиме.

$$N_2 = 1,19 \cdot 0,03 \cdot 0,1 \text{ м} \cdot 9,9 \text{ т} \cdot 8 \text{ м} \cdot 5,7 \text{ м} = 1,611 \text{ кВт.}$$

Загальна потужність

$$N_n = \frac{1}{0,845} (5,24 \text{ кВт} + 1,611 \text{ кВт}) = 8,08 \text{ кВт.}$$

Потужність необхідна для пуску електродвигуна обліковується без маси насіння $N_{\text{п}}$ - потужність порожнього барабана дорівнює

$$N_n = \frac{1}{0,845} 5,24 = 6,2. \quad (2.10)$$

Враховуючи інерційну потужність барабана, яка має бути на 20-25% вище робочої потужності, остаточно отримуємо

$$N_{\text{двигуна}} = 8,08 * 1,2 = 9,7 \text{ кВт.}$$

Вибираємо трифазний асинхронний двигун серії АІР 160S6 потужність – 11 кВт, синхронна швидкість обертання – 1000 об/хв, ковзання – 3%.

З урахуванням ковзання номінальна частота обертання $n_{\text{ном}} = 970$ об/хв.

Технічні характеристики двигуна АІР 160S6 представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1-Технічні характеристики двигуна АІР 160S6

Електро- двигун	Потужн. кВт	об/хв	Струм при 380В, А	КПД, %	Коеф. потуж.	Іп/ Ін	Мп/Мн	Мmax/ Мн	Момент інерції, кг*м ²	Маса, кг
АІР160S6	11	970	24,5	87,5	0,78	6,5	1,7	2,1	0,0700	125

2.1.2 Визначення крутних моментів на валах приводу. Обертальний момент на барабані дорівнює

$$M_B = \frac{9550 \cdot N}{n} \quad (2.11)$$

$$M_B = \frac{9550 \cdot 8,08}{8} = 9.645 \text{ Н/м.}$$

Обертальний момент на валу первинної шестерні

$$M_{ш} = \frac{M_B}{\eta_1 \cdot i_{ц}}, \quad (2.12)$$

де $i_{ц}$ - передавальне число зубчастої передачі, приймаємо $i_{ц} = 10$,
 $\eta_1 = 0,94 \div 0,96$ - ККД циліндричної передачі, приймаємо $\eta_1 = 0,95$ У чисельному
 значенні отримуємо:

$$M_{ш} = \frac{9.645.5}{0.95 \cdot 10} = 1015.3 \text{ Н/м.}$$

Обертальний момент на первинному валу редуктора (на валу електродвигуна) M_{n1}

$$n_{11} = \frac{M_{ш}}{\eta_1 \cdot i_p}, \quad (2.13)$$

$$M_{n1} = \frac{1015,3}{0,95 \cdot 12} = 89,1 \text{ Н/м.}$$

Обертвий момент порожнього барабана дорівнює

$$M_{п} = \frac{9550 N_{п}}{n}, \quad (2.14)$$

$$M_{п} = \frac{9550 \cdot 6,2}{8} = 7\,401,3 \text{ Н / м.}$$

Обертаючий момент на первинному валу редуктора (на валу електродвигуна) $M_{п n1}$: Коефіцієнт передачі шестерні та редуктора = 120;

M порожнього барабана дорівнює 68,35 Н/м.

2.2 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 приводу між окремими передавальними механізмами, що становлять ланцюг; визначення конструктивних параметрів зубчастої передачі барабанної сушарки; визначення частот обертання валів передавальних механізмів кінематичного ланцюга

2.2.1 Визначення передавального числа приводу

Кінематична схема приводу показана на рис. 2.1. Загальне передатне число приводу визначаємо із співвідношення

$$i = \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{Б}}}, \quad (2.15)$$

де $n_{\text{Б}} = 8 \text{ хв}^{-1}$ - Частота обертання барабана.

$$i = \frac{970}{8} = 121.25.$$

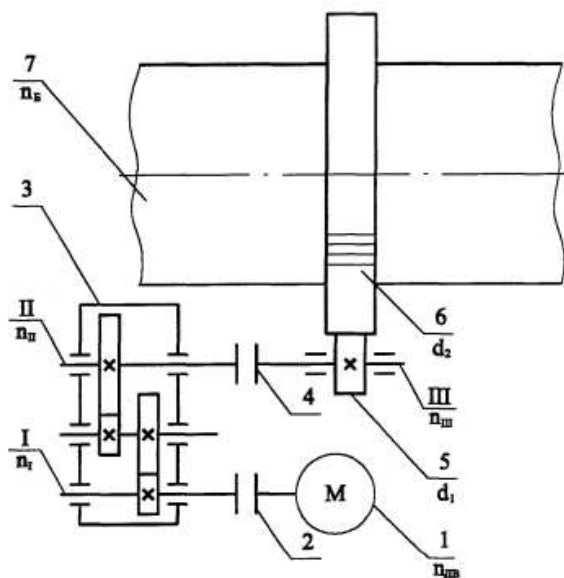


Рисунок 2.1 – Кінематична схема приводу

1- електродвигун; 2,4 - муфти; 3- редуктор; 5-підвінцова шестерня;
6 - вінцева шестерня; 7- барабан

2.2.2 Розподіл загального передавального числа приводу. Для багатоступінчастих передач:

$$i_1 \cdot i_2 \cdot i_3, \quad (2.16)$$

де i_1, i_2, i_3 - передавальні числа окремих щаблів.

Враховуючи передбачуване влаштування механізму, а також прагнучи забезпечити пропорційність деталей приводу, зокрема діаметр первинної шестерні повинен вписуватися в розміри сторін торця редуктора. Передатне число редуктора буде рівним

$$i_{ред} = \frac{i}{i}, \quad (2.17)$$

$$i_{ред} = \frac{121,25}{10} = 12,25.$$

2.2.3 Визначення частоти обертання валів. Частота обертання валу електродвигуна, а отже і швидкохідного валу редуктора буде

$$N_{ном} = n_1 = 970 \text{ об/мин.} \quad (2.18)$$

Частота обертання тихохідного валу редуктора визначається так

$$n_2 = \frac{n_{ном}}{i_{ред}}; \quad (2.19)$$

$$n_2 = \frac{970}{12,125} = 80 \text{ об/мин.}$$

Частота обертання первинної шестерні: $n_{III} = n_{II} = 80 \text{ об/хв.}$

Отримані значення частот обертання зведено таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Частоти обертання валів (барабану)

Вал електродвигуна	Швидкохідний вал	Тихохідний Вал	Підвінцова шестерня	Барабан
970	970	80	80	8

2.2.4. Проектний розрахунок зубчастої циліндричної передачі. Визначення контактної напруги, що допускається. Розрахунок ведемо за [7].

Допустима контактна напруга визначається за залежністю

$$\sigma_{HP1(2)} = \frac{\sigma_{HLim}}{S_H} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot K_L \cdot K_{xH}, \quad (2.20)$$

де σ_{Hlim} - межа контактної витривалості зуба, відповідна еквівалентному числу циклів, МПа;

S_H - коефіцієнт безпеки; для зубчастих коліс з однорідною структурою матеріалу, $S_H = 1,1$ [7];

Z_R - коефіцієнт, що враховує шорсткість сполучених поверхонь зубів, для зубчастих передач 9 ступеня точності $Z_R = 0,9$;

Z_V - Коефіцієнт, що враховує окружну швидкість; при $v < 5$ м /с ,
 $Z_V = 1,0$;

L_K - коефіцієнт, що враховує вплив мастила; через недостатність експериментальних даних приймається рівним одиниці , $K_L = 1$;

K_{xH} - коефіцієнт, що враховує розмір зубчастого колеса; орієнтовно приймаємо $K_{xH1} = 1,0$, $K_{xH2} = 0,93$

Межа контактної витривалості зуба, що відповідає еквівалентному числу циклів

$$\sigma_{HLim} = \sigma_{HLimb} \cdot K_{HL}, \quad (2.21)$$

де σ_{HLimb} - допустима контактна напруга, що відповідає базовому числу циклів напруг;

K_{HL} - коефіцієнт довговічності при розрахунку контактну витривалість.

Допустима контактна напруга, що відповідає базовому числу циклів напруг:

$$\sigma_{HLimb} = 1.8 \cdot H_{HB} + 67, \quad (2.22)$$

де H_{HB} - середня твердість для двох граничних значень твердості коліс.

У чисельному значенні отримуємо

$$\begin{aligned} \sigma_{Hlimb1} &= 1,8 \cdot \frac{269 + 302}{2} + 67 = 581 \text{ МПа}; \\ \sigma_{Hlimb2} &= 1,8 \cdot \frac{235 + 262}{2} + 67 = 514 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Коефіцієнт довговічності при розрахунку на контактну витривалість

$$K_{HL} = \sqrt{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}}, \quad (2.23)$$

де N_{HO} - базова кількість циклів зміни напруг відповідне тривалій межі витривалості;

N_{HE} – еквівалентна кількість циклів зміни напруг.

Базова кількість циклів зміни напруг відповідає тривалій межі витривалості

$$N_{HO} = 30 \cdot H_{HB}^{2.4}; \quad (2.24)$$

$$N_{HO1} = 30 \cdot \left(\frac{269 + 302}{2} \right)^{2.4} = 2.35 \cdot 10^7;$$

$$N_{HO2} = 30 \cdot \left(\frac{235 + 262}{2} \right)^{2.4} = 1.68 \cdot 10^7.$$

При постійному навантаженні та зачепленні з одним колесом

$$N_{HE} = 60 \cdot L_h \cdot n, \quad (2.25)$$

де L^h - повна кількість годин роботи за розрахунковий термін служби, приймаємо $L_h = 50000 \text{ год}$; n – частота обертання. У чисельному значенні отримуємо

$$N_{HE1} = 60 \cdot 50000 \cdot 80 = 24 \cdot 10^7,$$

$$N_{HE2} = 60 \cdot 50000 \cdot 8 = 2.4 \cdot 10^7.$$

$$N_{HE1} > N_{HO1}, \text{ то } K_{HL} = 1.$$

$$K_{HL2} = \sqrt{\frac{1.68 \cdot 10^7}{2.4 \cdot 10^7}} = 0.84.$$

Межа контактної витривалості зуба, що відповідає еквівалентному числу циклів

$$\sigma_{Hlim1} = 581 \cdot 1 = 581 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{Hlim2} = 514 \cdot 1.04 = 535 \text{ МПа}.$$

Підставляючи отримані значення формулу (2.20) отримаємо:

$$\sigma_{HP1} = \frac{581}{1.1} \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 475 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{HP1} = \frac{535}{1.1} \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.84 = 368 \text{ МПа}.$$

Для прямозубих коліс як σ_{HP} приймається допустима контактна напруга того зубчастого колеса, для якого воно менше. Таким чином

$$\sigma_{HP} = 368 \text{ МПа}.$$

Визначення міжосьової відстані.

Визначаємо міжосьову відстань вінцевого зачеплення за формулою

$$\alpha_{\omega} = K_{\alpha} \cdot (i + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{ш} \cdot K_{H\beta}}{i \cdot \psi_{ba} \cdot T_{HP}^2}}, \quad (2.26)$$

де $T_{ш}$ - крутний момент на шестірні;

$K_{H\beta}$ - коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження за шириною;

K_a - допоміжний коефіцієнт, для прямозубих передач

$$K_a 490 a^{1/3};$$

ψ_{ba} - коефіцієнт ширини коліс щодо міжосьової відстані; приймаємо $\psi_{ba} = 0,15$.

Коефіцієнт $K_{H\beta}$ вибираємо залежно від відносної ширини зубчастого вінця шестерні ψ_{bd} :

$$\psi_{bd} = \frac{\psi_{ba} \cdot (i + 1)}{2}; \quad (2.27)$$

$$\psi_{bd} = \frac{0,15 \cdot (12 + 1)}{2} = 0,975.$$

Тоді відповідно до $K_{H\beta} = 1,09$ [7].

Значення міжосьової відстані за формулою (2.26)

$$a_{\omega} = 490 \cdot (10 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{1015,3 \cdot 1,09}{10 \cdot 0,15 \cdot 368^2}} = 948,4 \text{ мм.}$$

Відповідно до [7] отримане значення округляємо до найближчого стандартного значення

$$a_{\omega} = 1000 \text{ мм}$$

Визначення модуля передачі.

Значення модуля m для покращених коліс визначається з наступного виразу

$$m = (0.001 \dots 0.002) \cdot a_{\omega}; \quad (2.28)$$

$$m = 1,01 \cdot 1000 = 10 \text{ мм.}$$

приймаємо стандартне значення модуля $m = 10 \text{ мм}$.

Сумарна кількість зубів

$$Z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot \alpha_{\omega} \cos \beta}{m}; \quad (2.29)$$

$$z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot \cos 0}{10} = 200 \text{ шт.}$$

Число зубів шестерні та колеса. Число зубів шестерні

$$Z_1 = \frac{Z_{\Sigma}}{i_{\text{ц}} \cdot 1} \geq Z_{1\text{min}}; \quad (2.30)$$

$$z_1 = \frac{200}{10 + 1} = 18,1 \text{ шт.}$$

Значення z_1 округляємо у найближчу сторону до цілого числа.

Приймаємо $z_1 = 18$.

Число зубів колеса визначаємо за формулою

$$Z_2 = Z_{\Sigma} - Z_1; \quad (2.31)$$

$$Z_2 = 200 - 18 = 182.$$

Фактичне передатне число.

Знаходимо фактичне передатне число

$$i_{\Phi} = \frac{Z_2}{Z_1}; \quad (2.32)$$

$$i_{\Phi} = \frac{182}{18} = 10,11.$$

Відхилення фактичного передавального від номінального

$$\left[\frac{(10,11 - 10)}{10,11} \right] \cdot 100\% = 1,08\% < 4\%, [7].$$

Розрахунок основних геометричних параметрів.

Визначаємо дільний діаметр шестерні

$$d_1 = Z_1 \cdot \frac{m}{\cos \beta}; \quad (2.33)$$

$$d_1 = 18 \cdot \frac{10}{\cos 0} = 180 \text{ мм.}$$

Визначаємо ділительний діаметр колеса:

$$d_2 = Z_2 \cdot \frac{m}{\cos \beta}; \quad (2.34)$$

$$d_2 = 182 \cdot \frac{10}{\cos 0} = 1820 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметр початкового кола шестерні

$$d_{\omega 1} = \frac{2 \cdot \alpha_{\omega}}{i_{\omega} + 1}; \quad (2.35)$$

$$d_{\omega 1} = \frac{2 \cdot 1000}{10 + 1} = 181.8 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметр початкового кола шестірні:

$$d_{\omega 2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 10}{10 + 1}. \quad (2.36)$$

Визначаємо діаметр кола вершин шестерні

$$d_{a1} = d_1 + 2(1 + x_1 - y)m, \quad (2.37)$$

де y – коефіцієнт сприйнятого зміщення;

a – міжосьова відстань.

$$y = -\frac{(a_{\omega} - a)}{m}, \quad (2.38)$$

$$y = -(1000 - 100) \cdot 10 = 0;$$

$$d_{a1} = 180 + 2 \cdot (1 + 0.3 + 0) \cdot 10 = 206 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметр кола вершин колеса

$$d_{a2} = d_2 + 2(1 + x_2 - y)m; \quad (2.39)$$

$$d_{a2} = 1820 + 2 \cdot (1 - 0.3 + 0) \cdot 10 = 1834 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметр западин зубів шестерні:

$$d_{f1} = d_1 - 2(1.25 - x_1)m; \quad (2.40)$$

$$d_{f1} = 180 \cdot 2 \cdot (1.25 - 0.3) \cdot 10 = 161 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметр западин зубів колеса

$$d_{f2} = d_2 - 2(1.25 - x_2)m; \quad (2.41)$$

$$d_{f2} = 1820 - 2 \cdot (1.25 + 0.3) \cdot 10 = 1789 \text{ мм.}$$

Робоча ширина вінця шестерні

$$b_\omega = \psi_{ba} \cdot \alpha_\omega; \quad (2.42)$$

$$b_\omega = 0.15 \cdot 1000 = 150 \text{ мм.}$$

$$h = 0.5(d_{a1} - d_{f1}); \quad (2.43)$$

$$h = 0.5 \cdot (206 - 161) = 22 \text{ мм.}$$

2.2.5 Визначення окружної швидкості та призначення ступеня точності.

Окружна швидкість шестерні визначається за формулою

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n}{60 \cdot 1000}; \quad (2.44)$$

$$v = \frac{3.1418080}{60 \cdot 1000} = 0.75 \text{ м/с.}$$

Керуючись [7] для відкритих тихохідних передач зі зниженою вимогою точності з $v \leq 2 \text{ м/с}$ призначається 9 ступінь точності.

2.3 Розрахунок статичного режиму електричного приводу

При розрахунку статичного режиму роботи електроприводу необхідно побудувати статичні характеристики елементів, що дозволяють визначити кількісні та якісні показники статичних режимів системи.

Механічні характеристики двигуна та виробничого механізму.

Номінальна частота обертання

$$\omega_{ном} = \pi * n_n / 30 = 3,14 * 970 / 30 = 101,53 \text{ рад/сек.} \quad (2.45)$$

Синхронна частота обертання

$$\omega_o = \pi * n_o / 30 = 3,14 * 1000 / 30 = 104,67 \text{ рад/сек.} \quad (2.46)$$

Номінальний момент

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{11000}{101,53} = 108,34 \text{ Н * м.} \quad (2.47)$$

Критичне ковзання

$$S_k = S_{ном} * (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,03 * (2,1 + \sqrt{2,1^2 - 1}) = 0,1184. \quad (2.48)$$

Критичний момент асинхронного двигуна

$$M_k = \lambda * M_{ном} = 2,1 * 108,34 = 227,5 \text{ Н * м.} \quad (2.49)$$

Залежність ковзання від частоти обертання

$$s(\omega) = 1 - \omega / \omega_o. \quad (2.50)$$

Рівняння механічної характеристики АД (формула Клосса)

$$M(\omega) = - \frac{2 * M_k}{\frac{s(\omega)}{s_k} + \frac{s_k}{s(\omega)}}. \quad (2.51)$$

Різні виробничі механізми мають різні механічні характеристики. Однак можна отримати деякі узагальнення, якщо скористатися наступною емпіричною формулою:

$$M_c = M_0 + (M_{c,ном} - M_0) \cdot (\omega / \omega_{ном})^x, \quad (2.52)$$

де M_c - момент опору виробничого механізму при швидкості ω ;

M_0 - момент тертя в рухомих частинах механізму;

$M_{c,ном}$ - момент опору при номінальній швидкості $\omega_{ном}$;

x – показник ступеня, що характеризує зміну моменту при зміні швидкості.

Барабанна сушарка відноситься до механізму, що не залежить від швидкості. У цьому $x=0$ і момент опору M_c залежить від швидкості ω .

Пуск двигуна барабанної сушарки відбувається при не заповненому барабані тому $M_{ч.м.ч} = 68,35$.

Так як у міру переміщення матеріалу вздовж барабана його фізичні властивості безперервно змінюються і у теплообмінників, а також у порога, якщо корпус барабана складений з частин різного діаметра, відбувається скупчення матеріалу, визначення середньої швидкості його руху та площі перерізу теоретичним шляхом пов'язане з дуже великими труднощами. Запропоновані для цієї мети рівняння, відрізняючись складністю, не відрізняються ще й потрібною точністю за результатами вироблених за ними обчислень. Тому при викладеному нижче виведенні рівняння, що визначає потужність, необхідну для підйому матеріалу

Пускові моменти АД загальнопромислових серій на природній механічній характеристиці невеликі і становлять $(0,3 - 2,0) M_n$. А струми ротора та статора надзвичайно великі і досягають $(5 - 10) I_n$. Пусковий момент двигуна:

$$M_n = K_n * M_{ном} = 1,7 * 108,34 = 184,178 \text{ Н} * \text{м}. \quad (2.53)$$

Пусковий струм двигуна:

$$I_n = K_i * I_{ном} = 6,5 * 24,42 = 158,73 \text{ A.} \quad (2.54)$$

$$\begin{aligned} \text{при } w = 0, \quad s(\omega) &= 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{0 \text{ рад/сек}}{104,67 \text{ рад/сек}} = 1, \\ \text{при } w = 10, \quad s(\omega) &= 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{10 \text{ рад/сек}}{104,67 \text{ рад/сек}} = 0,9045, \\ \text{при } w = 20, \quad s(\omega) &= 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{20 \text{ рад/сек}}{104,67 \text{ рад/сек}} = 0,809, \\ \text{при } w = 30, \quad s(\omega) &= 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{30 \text{ рад/сек}}{104,67 \text{ рад/сек}} = 0,7134, \\ \text{при } w = 60, \quad s(\omega) &= 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{60 \text{ рад/сек}}{104,67 \text{ рад/сек}} = 0,427, \\ \text{при } w = 70, \quad s(\omega) &= 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{70 \text{ рад/сек}}{104,67 \text{ рад/сек}} = 0,331, \\ \text{при } w = 90, \quad s(\omega) &= 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{90 \text{ рад}}{104,67 \text{ сек}} \text{ рад/сек} = 0,14, \\ \text{при } w = 100, \quad s(\omega) &= 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{100 \text{ рад/сек}}{104,67 \text{ рад/сек}} = 0,045, \\ \text{при } w = 104,67, \quad s(\omega) &= 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{104,67 \text{ рад/сек}}{104,67 \text{ рад/сек}} = 0. \end{aligned}$$

Розрахунок та побудова графіків виробляємо на ЕОМ, використовуючи програму Excel.

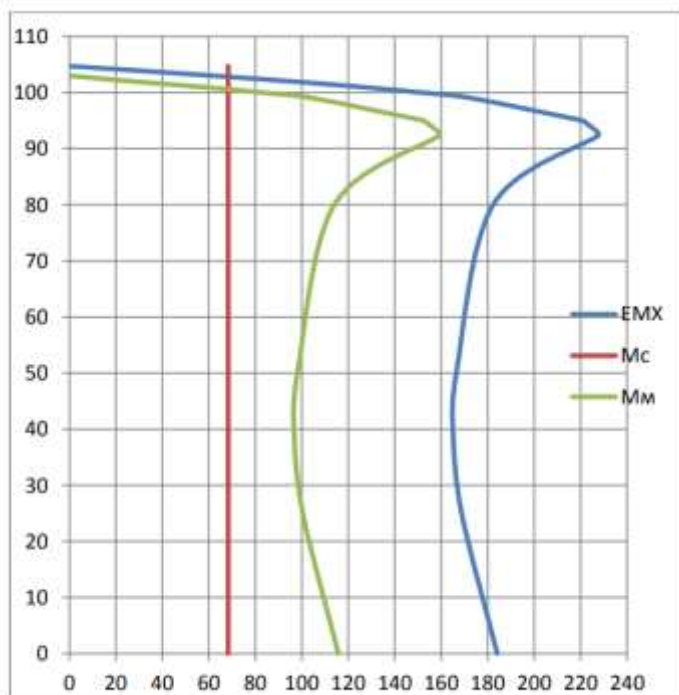


Рисунок 2.2 - Механічні характеристики АД та механізму.

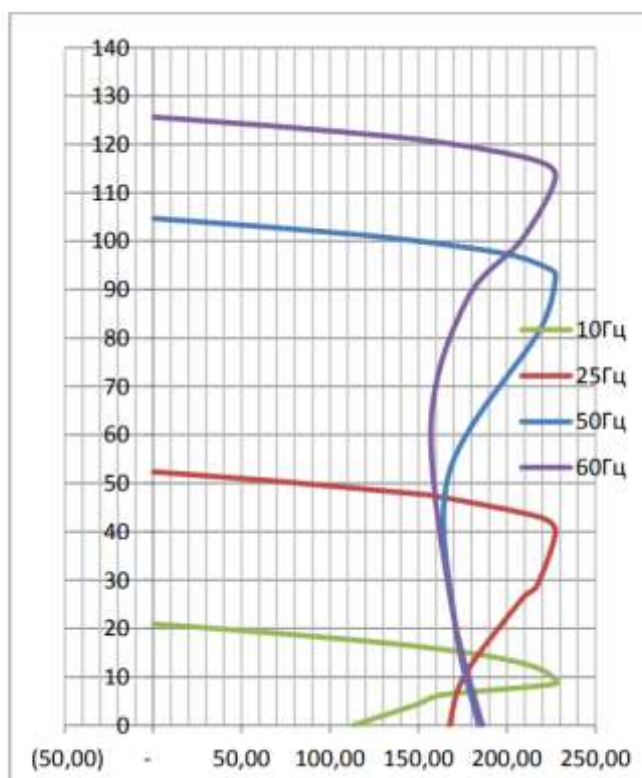


Рисунок 2.3 - Механічні характеристики АД при зміні частоти за законом $U/f = \text{const}$.

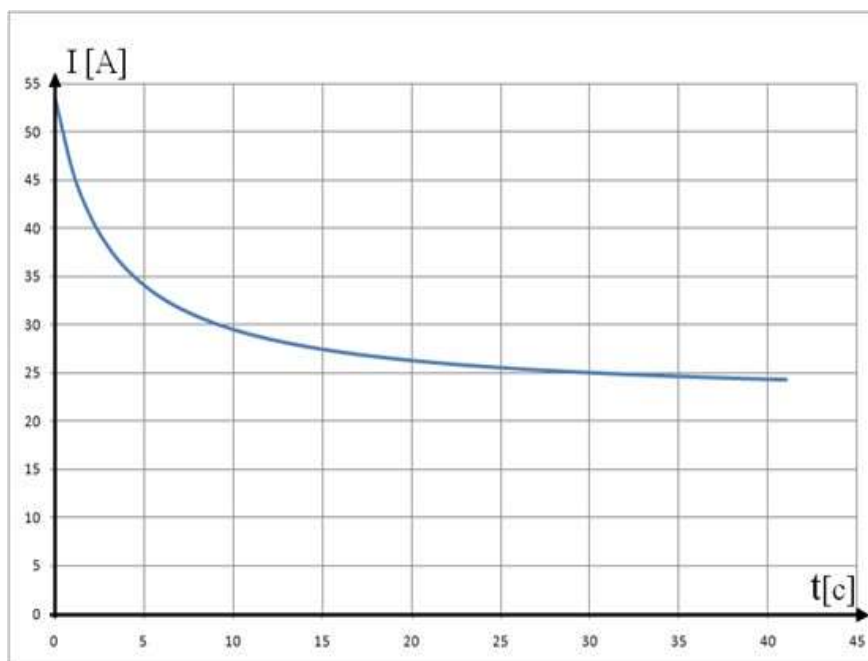


Рисунок 2.7 – Графік залежності пускового струму від часу

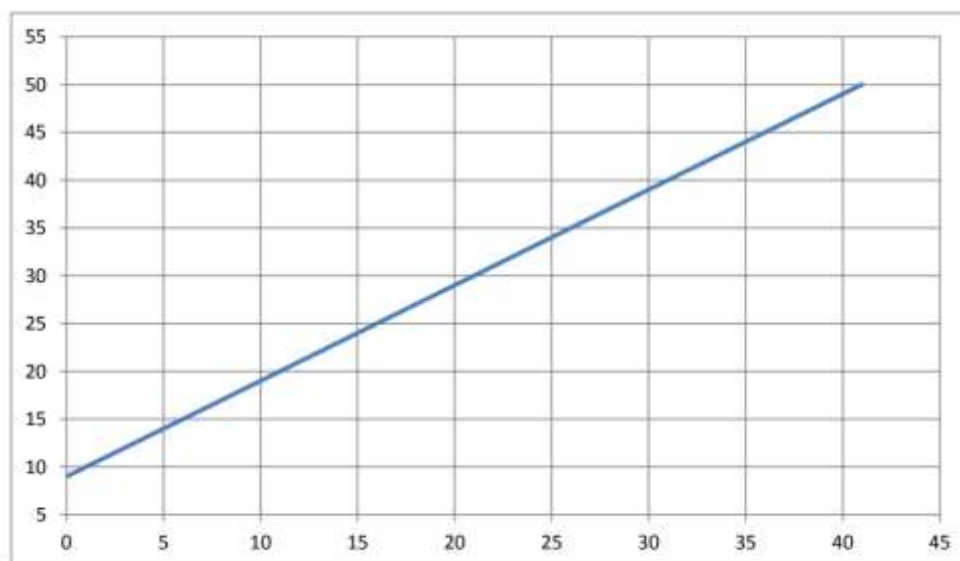


Рисунок 2.8 - Графік залежності частоти часу пуску

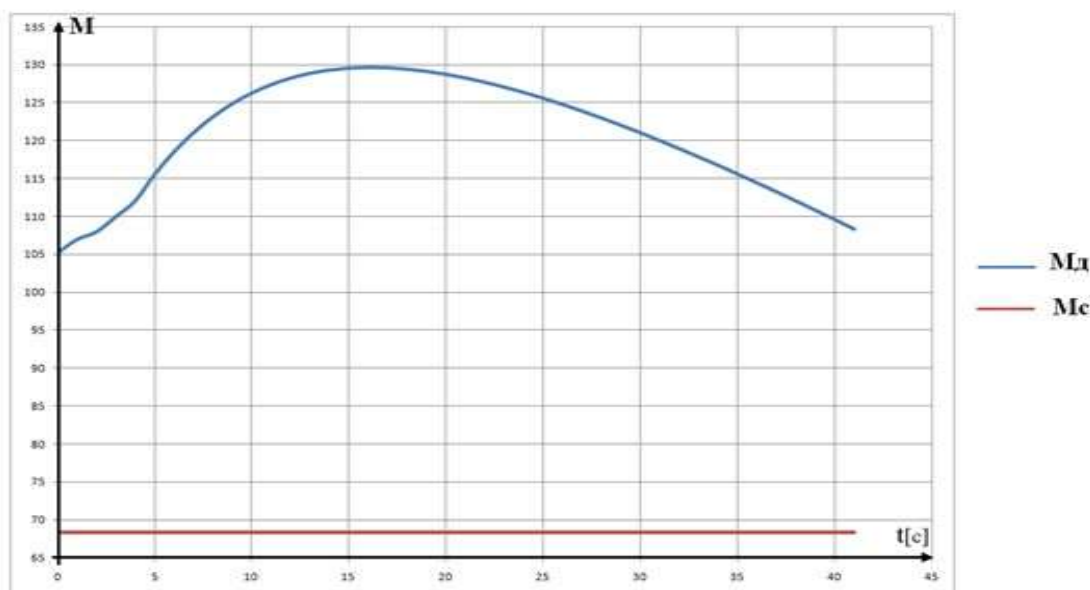


Рисунок 2.9 - Графік залежності M_c та $M_{дот}$ часу при частотному пуску

2.4 Вибір перетворювача частоти та апаратури керування

Спосіб регулювання швидкості обертання двигуна вибираємо частотний, так як цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості в необхідному діапазоні, а одержувані характеристики мають високу жорсткість. Визначення напруги та частоти необхідні для роботи двигуна в заданій точці, зводиться до уточнення можливості забезпечення перетворювача рівня напруги та частоти при різних навантаженнях та коливаннях напруги мережі живлення. Під час живлення асинхронного двигуна від перетворювача частоти у процесі перетворюється напруга промислової частоти. У напругу регулювання амплітуди та регулювання частоти виникають втрати напруги та потужності перетворювача. Зазвичай перетворювач має внутрішній зворотний зв'язок, і при зміні навантаження двигуна вихідна напруга і частота практично не змінюватися.

Тому надалі напруга і частота на статорі електродвигуна поєднуватимемо незалежними від навантаження. Синхронна швидкість двигуна залежить від частоти мережі живлення і числа пар полюсів.

Для стійкої роботи двигуна необхідно зміню частоти підтримувати здатність двигуна, що перевантажувала, що забезпечуватися регулюванням напруги на статорі за різними законами. Залежність від частоти та від характеру зміни статичного моменту. Ці особливості необхідно враховувати при розрахунку частоти та амплітуди напруги. Найбільш поширений закон зміни амплітуди напруги пропорційно до частоти у вигляді закону: $U/f = \text{const}$, при такому законі максимальний момент постійний і не залежить від частоти.

2.5 Структурна та функціональна схеми частотно регульованого електричного приводу

Частотний перетворювач можна розділити на три основні частини: некерований випрямляч, інвертор та систему управління випрямлячем та інвертором.

Функціональна схема системи автоматичного керування електродвигуном AIP160S6 з частотним перетворювачем наведена на рис. 2.14.

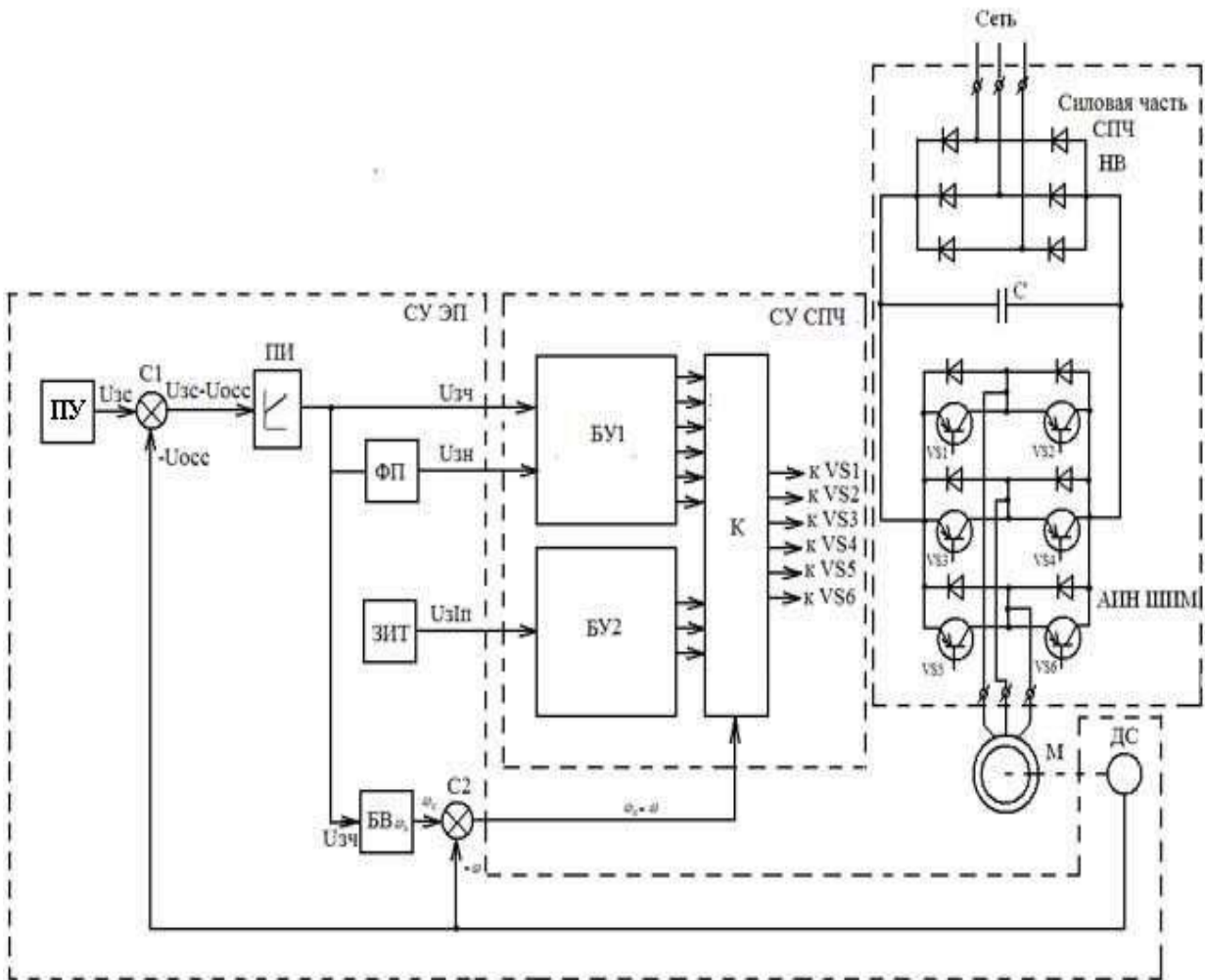


Рисунок 2.10 - Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу

Відповідно до функціональної схеми до складу електроприводу входять:

- виконавчий двигун (М) - АІР160S6
- статичний перетворювач частоти (СПЧ), що складається з силової частини та системи управління статичним перетворювачем частоти (СУ РПЧ);
- система керування електроприводом (СУ ЕП).

Як виконавчий двигун в електроприводі використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Силова частина СПЧ включає некерований випрямляч (НВ), автономний інвертор напруги з широтно-імпульсною модуляцією (АІН ШІМ) і конденсатор у ланці постійного струму С. Система управління статичним перетворювачем складається з трьох блоків:

- блок БУ1, який формує імпульси управління напівпровідниковими ключами VS1-VS6, які забезпечують синусоїдальну широтно-імпульсну модуляцію трифазної вихідної напруги статичного перетворювача частоти при роботі електроприводу у руховому режимі;

- блок БО2, який формує імпульси управління напівпровідниковими ключами VS2, VS3, які забезпечують широтно-імпульсну модуляцію постійної напруги, що прикладається до двох послідовно з'єднаних фаз обмотки статора при можливій роботі електроприводу в режимі динамічного гальмування;

- комутатор проходження імпульсів керування К.

- Система управління електроприводом включає наступні елементи і блоки:

- Пульт керування (ПУ);
- датчик швидкості ДВ;
- пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ);
- два суматори С1 та С2;
- функціональний перетворювач (ФП);
- задатчик інтенсивності гальмування (ЗІГ);
- блок обчислення синхронної частоти обертання (БВ ω_0).

При роботі в руховому режимі електропривод є замкнутою системою автоматичного регулювання зі зворотним зв'язком по частоті обертання. Необхідне значення частоти обертання двигуна і пуск двигуна при частотному регулюванні встановлюється за допомогою ПУ сигнал з виходу якого надходить на позитивний вхід суматора С1. На негативний вхід суматора С1 надходить сигнал, пропорційний до фактичної частоти обертання двигуна. Різниця сигналів, що знімається з виходу суматора С1, надходить на вхід пропорційно-інтегрального регулятора, який задає необхідну залежність зміни частоти напруги і величини напруги на виході статичного перетворювача частоти. Функціональний перетворювач ФП виконує необхідний зв'язок між частотою напруги та чинним значенням напруги на виході СПЛ.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ СУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

3.1 Складання структурної та функціональної схем системи ПЧ-АД

Одним із найбільш ефективних шляхів розвитку енергозберігаючих технологічних режимів при керуванні сушильними агрегатами є електропривод. В даний час домінуюче положення займають частотно - регульовані асинхронні електроприводи з системами автоматичного управління, що дозволяє вирішити не тільки технологічні завдання сушильних агрегатів, але й проблему енергозбереження.

Формування необхідних статичних та динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електроприводу можливе лише у замкнутій системі регулювання його координат, функціональна схема якого представлена на рис. 3.1, де Р – регулятор; Д – датчик змінних електроприводу; ПЧ – перетворювач частоти.

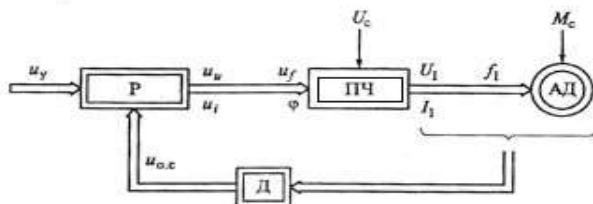


Рисунок 3.1 – Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД

Для збільшення діапазону регулювання швидкості до цієї системи регулювання необхідно введення негативного зворотного зв'язку по швидкості. Тож у математичному описі перехідних процесів електроприводу враховується зворотний за швидкістю. Структурна схема системи ПЧ-АД з негативним зворотним зв'язком за швидкістю матиме вигляд:

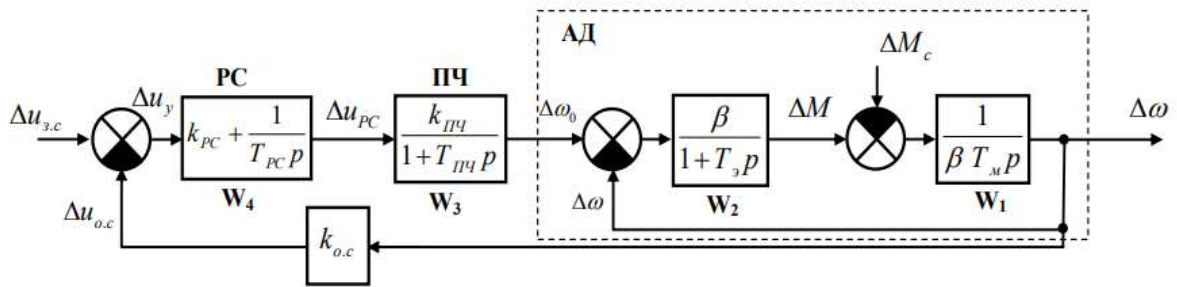


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи ПЧ-АД із зворотним зв'язком за швидкістю

Зазначимо, що структурна схема, відповідно до рисунка 3.2, є лінеаризованою системою електроприводу. На схемі прийнято такі позначення: β - модуль жорсткості механічної характеристики; T_e – еквівалентна електромагнітна постійна часу ланцюгів статора та ротора АД; $k_{ч}$ – передавальний коефіцієнт функції ПЧ; $T_{ч}$ - Постійна часу ланцюга управління ПЧ; T_m - електромеханічна постійна часу.

Рівняння руху, згідно з передатною функцією W_1 структурної схеми, можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta M - \Delta M_c} = \frac{1}{\beta T_m p}, \quad (3.1)$$

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{\beta T_m} (\Delta M - \Delta M_c), \quad (3.2)$$

Відповідно до передавальної функції W_2 матимемо наступне співвідношення:

$$\frac{\Delta M}{\Delta\omega_0 - \Delta\omega} = \frac{\beta}{1 + T_s p}, \quad (3.3)$$

яке можна написати у вигляді диференціального рівняння:

$$T_s \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M = \beta (\Delta\omega_0 - \Delta\omega), \quad (3.4)$$

Рівняння ПЧ, виходячи з передавальної функції W_3 запишемо:

$$T_{ПЧ} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 = k_{ПЧ} \Delta U_{PC}, \quad (3.5)$$

а РС (передаточна функція W_4) представимо рівнянням:

$$\Delta U_{PC} = k_{PC} (\Delta U_{з.с} - \Delta U_{о.с}) + \int_n^t (\Delta U_{з.с} - \Delta U_{о.с}) dt, \quad (3.6)$$

Приріст ΔU_y запишемо в наступному вигляді:

$$\Delta U_y = \Delta U_{з.с} - k_{о.с} \Delta\omega, \quad (3.8)$$

де $\Delta U_{з.с}$ - Збільшення задає сигналу; k - Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості.

Таким чином, математичний опис частотно-регульованого електроприводу сушильного агрегату можна представити наступною системою рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\omega}{dt} &= \frac{1}{\beta T_u} (\Delta M - \Delta M_c), & (3.9) \\ T_s \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M &= \beta (\Delta\omega_0 - \Delta\omega), \\ T_{ПЧ} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 &= k_{ПЧ} \Delta U_{PC}, \\ T_{PC} \frac{d\Delta U_{PC}}{dt} &= k_{PC} T_{PC} \frac{d\Delta U_y}{dt} + \Delta U_y, \\ \Delta U_y &= \Delta U_{з.с} - k_{о.с} \Delta\omega. \end{aligned}$$

3.2 Математична модель барабанного сушильного агрегату

Розглянемо сушильний агрегат як об'єкт управління та наведемо математичний опис його статичних та динамічних режимів на основі математичної моделі сушильного агрегату [3].

Математичний опис характеристик сушильного агрегату запишеться у такому вигляді:

$$H = h_0 * \omega^2 + b * \omega - r_n * q^2, \quad (3.10)$$

де h_0 - наведений натиск холостого ходу сушильного агрегату;

b – коефіцієнт, що характеризує лінійну залежність між швидкістю обертання та завантаженням барабана сушильного агрегату;

r_n - коефіцієнт, що характеризує внутрішній механічний опір сировини в барабані.

У рівнянні (3.10) два перші члени визначають процес передачі енергії від редуктора агрегату, а третій член визначає сумарні втрати сушильного агрегату, пропорційні квадрату продуктивності. З цього випливає, що динамічні показники та інерційність сушильного агрегату визначається двома першими доданками рівняння (3.10). Для отримання залежностей, що характеризують поведінку сушильного агрегату в динаміці, позначимо $z = \rho_0 * \omega_5 + \rho * \omega$ як динамічну складову характеристику барабанного сушильного агрегату.

Динамічну характеристику сушильного агрегату з урахуванням перехідних процесів у ньому можна подати у вигляді:

$$T_H \frac{dz}{dt} + z = b * \omega + h_0 * \omega^2, \quad (3.11)$$

або

$$z = \frac{1}{T_H p + 1} (b * \omega + h_0 * \omega^2). \quad (3.12)$$

Слід зазначити, що барабанний сушильний агрегат єдиний механізм, який має махову масу, складену ротором електродвигуна і робочим редуктором, з'єднаним з барабаном і має механічну постійну часу.

3.3 Моделювання системи ПЧ-АД – барабанний сушильний агрегат у Matlab

Математична модель системи ПЧ–АД зі зворотним зв'язком за швидкістю – барабанний сушильний агрегат, на основі системи рівнянь (3.9) та (3.11), матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\omega}{dt} &= \frac{1}{\beta T_M} (\Delta M - \Delta M_c), \\ T_s \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M &= \beta (\Delta\omega_0 - \Delta\omega), \\ T_{ПЧ} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 &= k_{ПЧ} \Delta U_{PC}, \\ T_{PC} \frac{d\Delta U_{PC}}{dt} &= \Delta U_y - k_{PC} T_{PC} k_{OC} \frac{d\Delta\omega}{dt} - k_{PC} T_{PC} k_{OC} \Delta\omega, \\ T_H \frac{dz}{dt} + z &= b * \omega + h_0 * \omega^2, \end{aligned} \quad (3.13)$$

де T_H - постійна часу перехідних процесів у редукторі барабана (аналогічна електромагнітному постійному часу електродвигуна).

Для зручності дослідження перехідних процесів динаміки системи ПЧ – АД зі зворотним зв'язком за швидкістю та барабанний сушильний агрегат, після нескладних перетворень, систему рівнянь (3.13) представимо у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \frac{1}{\beta T_M} (x_2 - A), \\ \frac{dx_2}{dt} &= \frac{\beta}{T_s} x_3 - \frac{\beta}{T_s} x_1 - \frac{1}{T_s} x_2, \\ \frac{dx_3}{dt} &= \frac{k_{ПЧ}}{T_{ПЧ}} x_4 - \frac{1}{T_{ПЧ}} x_3, \\ \frac{dx_4}{dt} &= u - \frac{k_{PC} T_{PC} k_{OC}}{T_{PC}} \frac{dx_1}{dt} - \frac{k_{PC} T_{PC} k_{OC}}{T_{PC}} x_1, \\ \frac{dx_5}{dt} &= \left(\frac{b}{T_H} + \frac{2h_0 x_0}{T_H} \right) x_1 - \frac{1}{T_H} x_5, \end{aligned} \quad (3.14)$$

Програма розв'язання системи (3.14), при параметрах асинхронного двигуна АІР160S6:

$$P_{НОМ} = 11 \text{кВт}; n = 970 \text{об/мин}; \beta = 5,085; T_M = 0,1; T_s = 0,05,$$

параметрах ПЧ:

$$k_{ПЧ} = 5; T_{ПЧ} = 0,001,$$

параметри регулятора швидкості, коефіцієнта зворотного зв'язку:

$$k_{PC} = 0,86; T_{PC} = 0,35; k_{OC} = 0,3,$$

а також параметри барабанного сушильного агрегату:

$$b = 0,57; h_0 = 0,1; x_0 = 35; T_H = 0,045,$$

представлена на рис.:

```
function MMN
    x0=[0;0;0;0;0];
    [T,X]=ode45(@nass,[0 20],x0);
    plot(T,X(:,1),'g-');
    hold on
    plot(T,X(:,5),'k-');
    hold off
    grid
    function dx=nass(t,x)
    dx=zeros(5,1);
    dx(1)=1.96*x(2)-78.6*x(1);
    dx(2)=101.7*x(3)-101.7*x(1)-20*x(2);
    dx(3)=5000*x(4)-1000*x(3);
    dx(4)=5*(1-exp(-t/3))-0.74*(1.96*x(2)+0.56*x(1)-
    80*x(1)^2)-0.74*x(1);
    dx(5)=140*x(1)-20*x(5);
    end
end
```

У програмі для вирішення системи диференціальних рівнянь (3.14) використовується чисельний метод Рунге – Кутта [4].

Графіки перехідного процесу системи ПЧ – АД та сушильного агрегату представлені на рис. 3.3, 3.4.

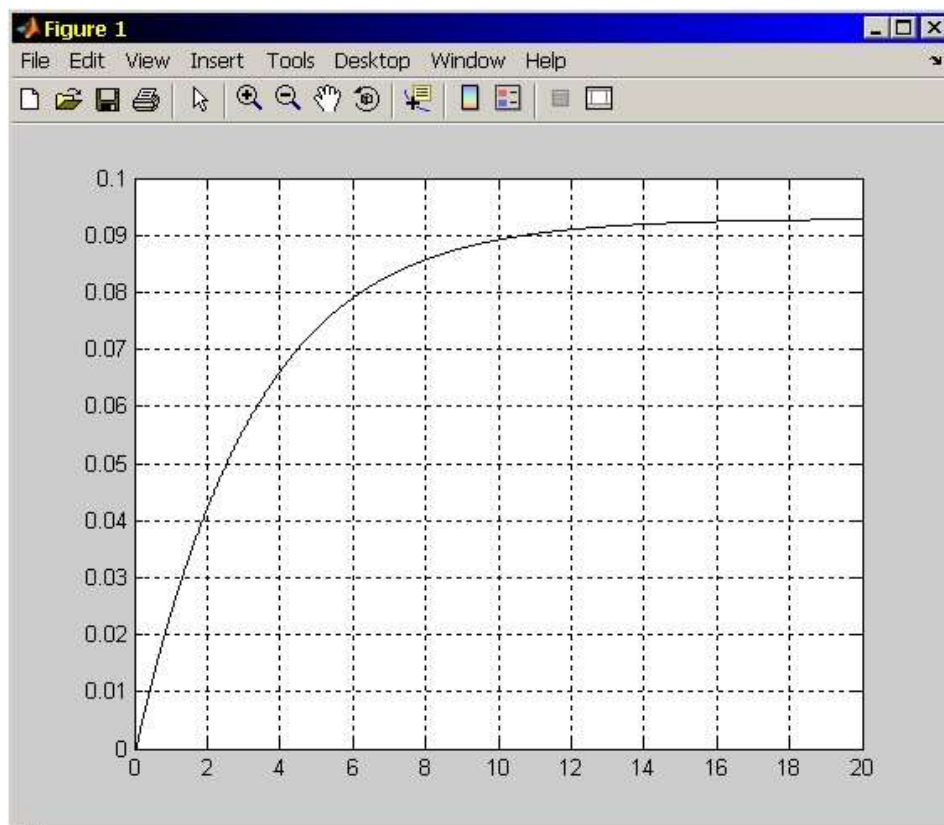


Рисунок 3.3 - Перехідний процес швидкості системи ПЧ – АД агрегату при завантаженому барабані

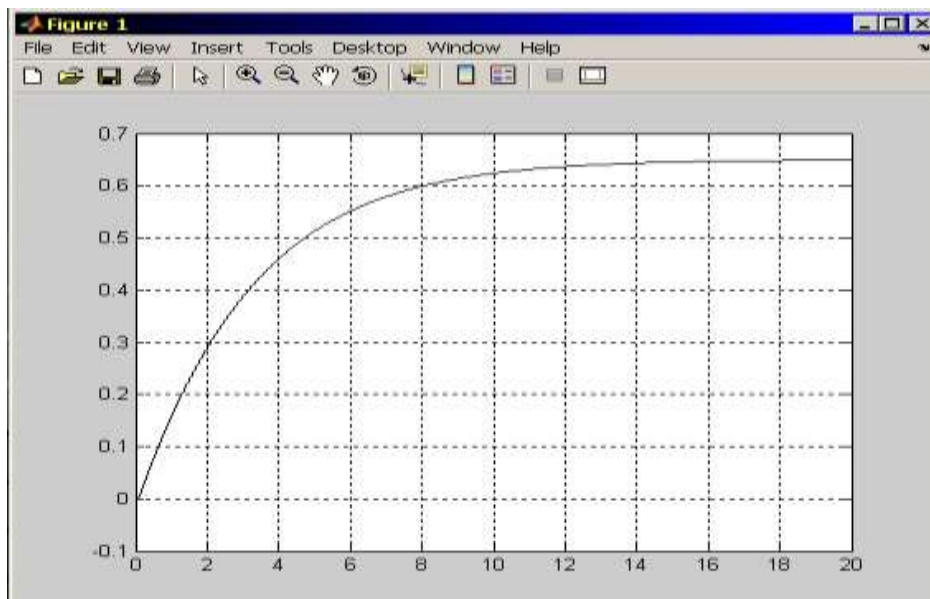


Рисунок 3.4 - Перехідний процес залежності завантаження від швидкості при порожньому барабані

Однак, на основі передавальних функцій (рис. 3.2), динаміка системи ПЧ – АД – барабанний сушильний агрегат може бути досліджена на структурній схемі моделі, представленій на рис. 3.5.

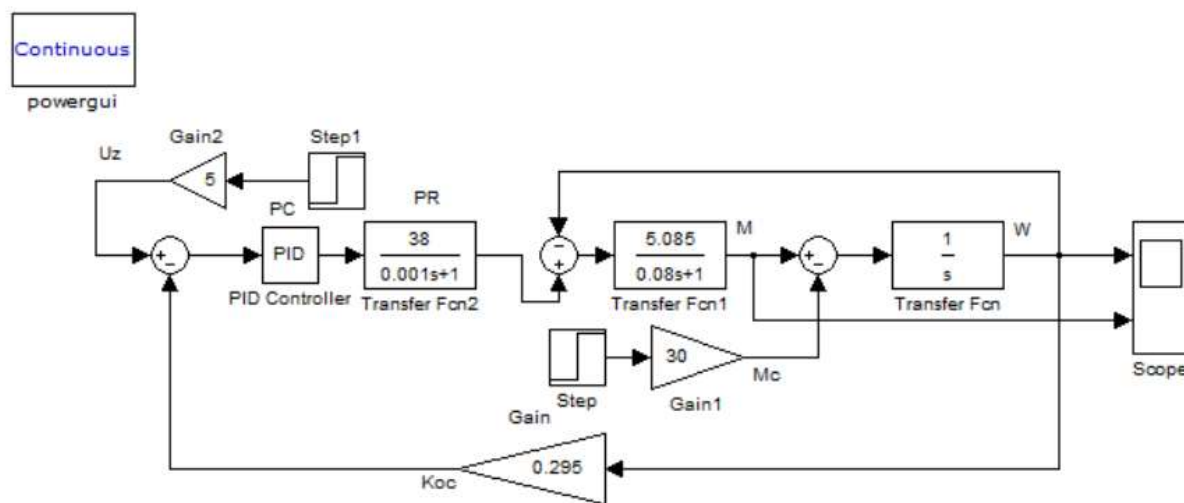


Рисунок 3.5 - Структурна схема моделі системи ПЧ – АД – барабанний сушильний агрегат у MATLAB

На рис. 3.6, 3.7 показані перехідні процеси системи ПЧ – АД і барабанний сушильний агрегат при зміні параметрів регулятора швидкості ПЧ – АД (k_{PC3} , $T_{PC0.1}$).

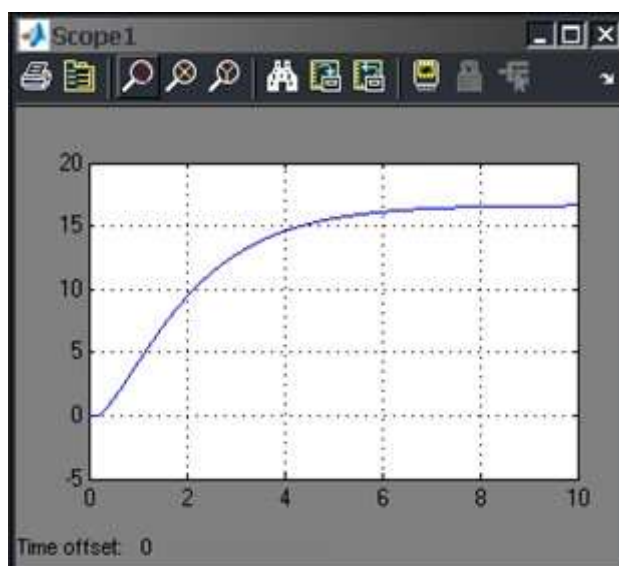


Рисунок 3.6 – Перехідний процес системи ПЧ-АД при коефіцієнті посилення регулятора швидкості $K_c=0.1$

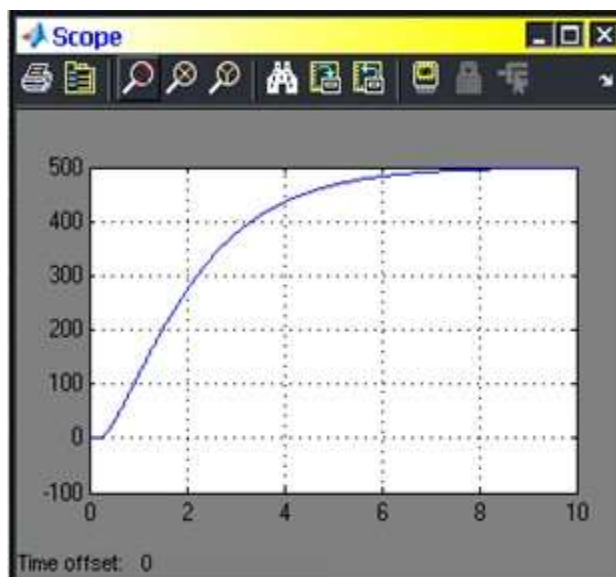


Рисунок 3.7 - Перехідний процес системи ПЧ-АД при коефіцієнті посилення регулятора швидкості $T_c=3$

Візуальне дослідження осцилограм (рис. 3.6, 3.7) показує, що швидкість обертання барабана за якісними характеристиками відповідає швидкості системи ПЧ - АД зі зворотним зв'язком за швидкістю. Візуальне дослідження осцилограм (рис. 3.8, 3.9) показує, що темпи наростання швидкості барабана (прискорення) вищі, ніж темп наростання завантаження барабана.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було розроблено систему управління електроприводом барабанного сушильного агрегату, за схемою перетворювач частоти - асинхронний двигун. Розрахований та обраний двигун типу АІР 160S6 для механізму сушильного агрегату, перетворювач частоти на базі АІН. Розроблено математичну та віртуальну моделі пропонованого електроприводу. Дослідження віртуальної моделі в середовищі Matlab показало гарну якість перехідних процесів, які відповідають вимогам технологічного процесу.

В результаті проведеного порівняння видно, що варіант електроприводу з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором і перетворювачем частоти економічно доцільніше, ніж асинхронний двигун без регулювання, так як час окупності електроприводу, що впроваджується менше нормативного.

Електропривод із частотно-керованим електродвигуном дозволяє здійснювати більш якісне просушування зерна та забезпечує більшу продуктивність. Крім того, можливий економічний ефект від таких факторів:

- Економія сировини за рахунок точнішої її витрати залежно від потреби;
- Економія від простою устаткування рахунок зниження аварійності внаслідок поривів у мережі (зниження надлишкового тиску, навантаження на цех з устаткуванням).

Список літератури

1. „Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва”/І.І.Мартиненко, Б.Л.Головинський, В.П.Лисенко та інші; за редакцією І.І.Мартиненко. – К.: Урожай, 1995. – 224 с.
2. Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. „Електрообладнання та автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок”: Навчальний посібник – К.: Вища школа, Головне видавництво, 1989. – 343 с.
3. „Довідник сільського електрика”/ В.С. Олійник, В.М.Гайдук, В.Ф.Гончар та ін.: за редакцією В.С.Олійника. – 3-е вид. перероблене і доповнене. – К.: Урожай, 1989. – 265 с.
4. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. Підручник» / І.І.Мартиненко, В.П.Лисенко, Л.П.Тищенко, В.С.Лукач. – К.: Вища школа, 1999. – 201 с.
5. Дацишин О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв / О. В.Дацишин, А. І. Ткачук, О. В. Гвоздєв та ін. / За редакцією О. В. Дацишина. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2008. – 488с.
6. Станкевич, Г. М.Сушіння зерна : підручник для студентів закладів вищої освіти, які навчаються за спец. "Технологія зберігання і переробки зерна" та працівників зернової галузі. / Г. М. Станкевич, Т. В. Страхова, А. В. Борта. — Вид. 2-ге, перероб і допов. — Одеса : КП ОМД, 2021. — 248 с.
7. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. — К.: Либідь, 2005. — 680 с.
8. Сен П. Тиристорні електроприводи постійного струму/П.Сен// Пер. з англ. - М.: Вища школа, 1985. - 232 с.

9. Ковчин С.А., Сабінін Ю.А. Теорія електроприводу/С.А.Ковчин, Ю.А.Сабінін. - С-Пб: Вища школа, 1999. - 496 с.
10. Гольц М.Є., Гудзенко О.Б. Швидкодіючі електроприводи постійного струму із широтно-імпульсними перетворювачами / М.Є.Гольц, А.Б.Гудзенко. - М.: Вища школа, 1986. - 184 с.
11. Забродін Ю.С. Промислова електроніка/Ю.С.Забродін. - М.: Вищ. школа, 1982. - 496 с.
12. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. — К.: Либідь, 2007. — 656 с.

ДОДАТКИ

1 DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS

1.1 Description of production technology and prospects for improving the electric drive of the drying unit

At the enterprise, oil extraction includes the following stages: preparation of raw materials; prepressing ; crude oil filtration; extraction of oil from cake; separate refining of prepress and extraction oil.

At the stage of preparation of seeds for oil extraction, they are cleaned of dirt and debris, calibrated according to size. This is followed by the collapse of the seeds, the crushing of the husk , and the crushing of the core.

The next stage is prepressing . Forpressing is obtaining vegetable oil from cleaned and crushed seeds by pressing (pressing). At this stage, it is possible to extract from 60% to 85% of oil. Such pressing is called "cold pressing ", and the resulting oil is called raw. Next, the oil is settled and filtered to free the oil from particles suspended in it.

The essence of filtration consists in forcing oil through the pores of a semi-permeable partition, through which the liquid medium (oil) passes and suspended particles do not pass (or almost do not pass).

The cake obtained after fopressing is sent for extraction. The extraction process is based on the ability of vegetable oils to dissolve in organic solvents. As solvents for extracting oil from vegetable raw materials, extraction gasoline of the "A" brand and nefrax are used .

Refining consists of the following stages: hydration, neutralization, bleaching, freezing, deodorization.

The main purpose of hydration is to remove phosphatides and some hydrophilic substances from unrefined oil. The oil is treated with a solution of citric or phosphoric acid, and then phase separation is carried out using separators or capacitive devices with a stirring device - neutralizers.

Neutralization involves the process of treating oil with alkali to remove fatty acids.

Bleaching is used for adsorptive cleaning of various pigments and phosphatide and soap residues after alkaline neutralization. As an adsorbent, as a rule, acid-activated bleached earth (clay) is used - the natural mineral montmorillonite.

Freezing (winterization) is used to remove waxy substances from oils. It is carried out in special devices - crystallizers and expositors . In the process of freezing, the oil is mixed with kieselguhr or perlite and slowly cooled to a temperature of 5-8 °C , then kept for several hours and sent for filtration.

Deodorization is the final stage. The oil in the deodorizer is treated with hot steam at temperatures of 225-260 °C and a residual pressure of 1-3 mmHg . As a result, odor-causing substances , pesticides, herbicides and fatty acids are removed .

Drying seeds allows you to significantly improve the quality of vegetable oil, and also increases the storage period in warehouses, since seeds with a moisture content of more than 7 percent deteriorate quickly. Based on this, I consider it necessary to introduce a special installation for drying raw materials into the production process.

Consider the selected tumble dryer. In drum dryers, the main working body is a rotating hollow steel cylinder called a drum. Curved blades are reinforced in a circle inside, which, when the drum rotates, capture the seed located below and lift it up. As the blades rise, the seeds fall from them and are distributed on the shelves located inside the drum, which can have different shapes. When the drum rotates, the seeds are spilled from shelf to shelf and thus evenly distributed across its entire cross-section; at the same time, it is penetrated by a drying agent moving along the drum. To move the seeds along the drum, it is installed with a slight inclination. The movement of the drying agent usually occurs in the direction of movement of the seed, which helps to accelerate its exit from the drum. The drum rests on rollers; with small sizes, its trunnions, reinforced at both ends, rest on bearings. Drum dryers operate under vacuum to avoid leakage of the drying agent through leaks to the outside. On the side of the seed entering the drum and on the exit side, sliding

labyrinth seals are provided, which, while not interfering with the rotation, at the same time prevent the passage of air inside. When the seed is repeatedly poured from shelf to shelf during the rotation of the drum, it is well mixed and evenly dried. The seed is in the drum in a loose state, so its drying is significantly accelerated (by 2-3 times) in comparison with the drying of seeds lying in a dense layer in mine dryers; the decrease in its humidity due to its passage through the drum, under the condition of maintaining quality, is 4-5%. Filling the volume of the drum is (20-25%), the amount of moisture evaporated in it (moisture tension) at a drying agent temperature of 150-200 ° is within 20-40 kg/m³ per hour.

We choose a dryer, a stationary drum-type grain dryer, which is shown in Figure 1.1, where 1 is a raw grain scraper conveyor; 2 - gravity pipe; 3 - drum; 4 - fan; 5 - the diverting chamber; 6 - scraper conveyor for dry grain; 7 - screw; 8 - cold air fan; 9 - cooling column; 10 - sluice gate. SZSB-8. Raw seed from the receiving hopper, which is lifted by a scraper conveyor, enters a drum with a diameter of 1600 mm and a length of 8000 mm through a gravity pipe, which rests on four pairs of rollers and makes 8 rpm. The seeds that arrived during the rotation are evenly distributed among the sectors and shelves inside the drum.

The drying agent is sucked from the mixing chamber of the furnace, passes through the drum, blowing the seeds that spill over the shelves, and is thrown out by the fan (on the same axis as the electric motor). The seed from the drum enters the diverting chamber, from which it is poured onto the scraper conveyor through the sluice gate and fed to the auger, which serves to load the cooling column. Excess seed from the auger is poured down the gravity pipe under the cooler.

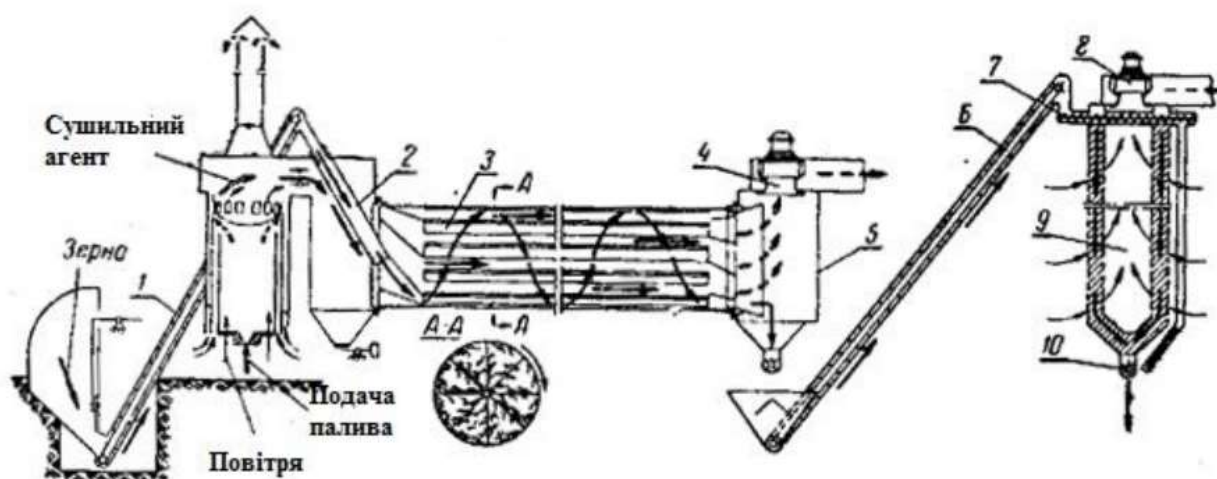


Figure 1.1 - SZSB-8 drum grain dryer

The cooling column consists of two vertical cylinders with perforated walls. The diameter of the inner cylinder of the column is 760 mm, the outer cylinder is 1260 mm, the height of the column is 2750 mm. The space between the cylinder walls is filled with dried seeds. Atmospheric air enters through the holes in the wall of the outer cylinder, blows the seed layer and enters the inner cylinder, from where it is sucked by a fan (also on the same axis as the electric motor) and thrown out. The seeds are released from the cooling column through the sluice gate.

The firebox of a liquid fuel dryer consists of two vertical cylinders, of which the inner one serves as a combustion chamber. A needle-type nozzle is installed in its lower part. The fuel is fed to the nozzle by a pump and sprayed with air, which is forced by a high-pressure fan driven by an electric motor. A reflector is installed in the upper part of the combustion chamber. Air for cooling the walls of the combustion chamber enters from below into the annular space between the cylinders. This air combines with the combustion gases as they leave the combustion chamber. To reduce the temperature of the drying agent, outside air is supplied through the windows.

To reduce heat loss to the environment and to avoid burns to service personnel, the furnace is surrounded by a cylindrical casing. A mixer box is installed above the furnace, on which a boring pipe is mounted. The box has a door to adjust the air

intake. The valve for switching the agent in the dryer, as well as the valve of the ignition pipe, are blocked so that when one of them is opened, the other closes.

1.2 Physical and mechanical properties of raw materials

An important physical and mechanical property of plant raw materials as a drying object is flowability, which is characterized by the angle of a natural slope. The moisture content of the seeds, the content of foreign impurities and its nature, and even the surface on which the seeds move are of decisive importance for the flowability of sunflower seeds. The angle of natural slope of dry sunflower seeds ranges from 27 to 35 °C, wet - up to 42 °C, which is much higher than that of cereal crops. These features of sunflower seeds cause certain difficulties during its flow processing. Light seeds, having an increased coefficient of internal friction, in some areas of the technological scheme move more slowly than grain of ear crops or corn. Therefore, when working with sunflower seeds, the pipes of grain dryers should have a larger diameter and be installed at a large angle of inclination.

The presence of an air layer between the kernel and fruit shell of the seed, as well as a significant fat content, is the reason for the lower rate of germination of sunflower seeds than for grain. Therefore, in order to avoid the removal of full-fledged seeds from the boxes of the mine and the heating chamber of the dryer, the speed of the drying agent should be lower than when drying grain crops.

The elongated shape of the sunflower seeds and the relatively rough surface lead to a large pitting. So, the drilling capacity of sunflower varies no more than 60-80%, and rice 50-65, wheat 35-45 and corn 35-55%. Therefore, sunflower seeds, having a large porosity, offer less resistance when the drying agent passes through the dryers and dry faster than the seeds of other crops.

Hygroscopicity is one of the most important properties of grain that determine its storage and drying regimes. Sunflower seeds as capillary-porous colloidal bodies are characterized by all forms of connection, which according to the classification of Academician L.A. Rebinders are divided into chemical, physico-chemical and

mechanical. In the process of drying seeds, their main physical and chemical properties should be preserved, therefore, chemically bound moisture should not be removed.

The humidity of sunflower seeds, at which chemically and adsorptively bound moisture remains, is often called critical. This moisture does not participate in life processes, cannot be used by most microorganisms to support their vital activity, and therefore does not affect the stability of sunflower seeds during storage. Therefore, it is necessary to dry the seeds to such a humidity level that they have mainly adsorption bound water.

Equilibrium humidity of sunflower seeds, i.e. humidity, when the seeds do not release and absorb moisture, depends on the temperature, the carrier humidity of the atmospheric air, oiliness.

All other things being equal, the equilibrium moisture content of oil crops is 2 times lower than that of grain crops. This is due to the lower content of hydrophilic colloids in the seeds of oil crops and the presence of a large amount of fat. With an increase in the oil content in the seeds, the equilibrium humidity of sunflower decreases, because with an increase in oil content, the content of hydrophilic substances will decrease and the content of hydrophobic substances will increase accordingly.

1.3 Seed drying technology

The specific properties of sunflower seeds as an object of drying, the heterogeneity of the seed (the presence of the kernel, fruit and seed coats), the natural heterogeneity of the seeds in terms of size, weight and moisture, low strength of the fruit coat, moisture inertia, low thermal conductivity, and thermolability pose special requirements to the method of drying and the design of drying devices. During drying, the quality should not deteriorate and the yield of oil should not decrease, the shell should not crack and the oil content should not increase. It is not

allowed to increase the acid and iodine values of fat during the drying process, nor to change the taste and nutritional benefits of sunflower oil.

One of the most rational methods of improving technological properties, preserving quality and increasing the stability of sunflower seeds during storage is thermal drying.

When drying sunflower seeds, not only the heating temperature of the seeds is of great importance, but also the duration of its action. The values of coefficients of thermal conductivity and thermal conductivity for a single seed are significantly different from the same indicators for a dense layer. For rapid heating of seeds, such a design of the drying apparatus is necessary, in which heating of each individual seed would be provided separately. In this case, it is possible to significantly raise the temperature of the drying agent while reducing the duration of heating to a few seconds. Short-term drying of sunflower seeds at a higher temperature is better than slow drying at a low temperature.

When drying sunflower seeds, a justified choice of temperature regimes is necessary. Drying should take place with minimum heat and electricity consumption, with the maximum speed of moisture removal with the best technological properties of the dried material.

Drying is a complex of phenomena that occur simultaneously and affect each other. This is the transfer of heat from the drying agent to the material being dried through its surface, evaporation of moisture, movement of moisture inside the material, transfer of moisture from the surface of the material to the drying zone.

The use of one or another drying method can contribute in one case to the coincidence of the direction of movement of moisture both as a result of moisture conductivity and thermal moisture conductivity, and in another case, the process of moisture evaporation as a result of moisture conductivity inhibits the process of moisture evaporation as a result of thermal moisture conductivity. In the first case, the process of moisture evaporation will proceed much more intensively than in the second. In order for these processes of moisture evaporation to coincide in the direction, it is necessary that the temperature of the surface of the sunflower seed is

lower than the temperature inside the kernel. Drying will be significantly slowed down when the temperature of the seed surface is higher than the temperature inside the core.

When drying sunflower seeds in mine direct-flow dryers, the phenomenon of thermal moisture conduction prevents the movement of moisture from the inside to the surface, and the intensity of the moisture flow is equal to the difference between the intensity of the moisture flow as a result of moisture conduction and the intensity of the moisture flow as a result of thermal moisture conduction. During recirculation drying, moisture evaporates both under the influence of the process of moisture conductivity and under the influence of thermal moisture conductivity.

The temperature of the material during drying is not equal to the temperature of the drying agent . In the first period of drying, the temperature of the material is equal to the temperature of the wetted thermometer, so it is possible to use high temperatures of the drying agent . For example, at an air temperature of 200 ° C and its moisture content of 0.008 kg / kg, the temperature of the wet thermometer, and therefore the temperature of the material, is 47 ° C. When the air temperature rises to 350 ° C, with a given moisture content, the temperature of the wet thermometer increases to 60 ° WITH.

When drying sunflower seeds in mine dryers, it is necessary to clean them initially from garbage impurities, as they can lead to clogging of the dryer and its ignition. Seeds with high humidity can be dried twice , and often three times, in such a drying apparatus . At the same time, the flow of processing is disturbed, which causes difficulties in working with the newly arriving seeds. As a result of uneven movement through mine sections during their treatment with hot air, the seeds heat up unevenly, the temperature difference can be up to 10 degrees. This is due to the fact that near the walls of the mines the seeds move more slowly than in the center. In addition, the insufficient throughput of the dryer can lead to overheating of some of the seeds.

Recirculation dryers, unlike direct-flow dryers, allow you to dry seeds with different moisture content in one cycle. The technology of drying seeds in

recirculation dryers with heating chambers in the falling layer consists in alternating short-term heating of seeds in an upward flow of hot air at a temperature of 250-350 °C, settling of heated seeds, their cooling and recirculation. With this method, at the same time as the seeds are dried, they are cleaned of impurities.

When drying sunflower seeds in recirculation-type dryers, it is very important to evenly distribute the seeds over the entire cross-section of the chamber, as well as to prevent the accumulation of oil dust in the heating chamber and to eliminate the ingress of sparks from the furnace into the heating chamber, since dryers of this type are fire-hazardous.

The advantage of ventilated bunkers is their simplicity and long service life. Soft drying modes prevent injury to sunflower seeds. However, this method of drying is much longer than others in terms of time, and is characterized by uneven drying of seeds. To avoid this, the fan must be periodically turned off, and the seeds should be thoroughly mixed.

Most often, enterprises use drum dryers with different drying modes, depending on the moisture content of raw seeds. The temperature of the drying agent (heated air) should be as high as the humidity of the sunflower seeds. Drying of seeds in drum-type dryers is carried out in a layer of spilled seeds, when it is blown with hot air.

At the beginning of drying, the temperature of the drying agent, depending on the moisture content of the seeds, is kept at only 250-350 °C, at the exit from the dryer - 50-80 °C. On average, drying sunflower seeds in drum dryers takes 15-20 minutes.

Compared to other types of dryers, drum dryers have a number of advantages: the possibility of full automation of the process; versatility; high quality of drying due to intensive mixing of the material; the possibility of drying highly humid, clogged material; ease of installation (capital structures are not required to start the work); reliability of work (the formation of stagnant zones is excluded); reasonable price; low power consumption.

Based on this, we choose a drum-type dryer, which is characterized by high-quality and uniform drying of raw materials with optimal parameters of the drying unit.

1.4 Selection of the mechanism's electric drive and preliminary calculation of the power of the electric motor

The raw material being dried is not located symmetrically with respect to the vertical line passing through the center of the furnace section, so it causes a constantly acting and directed in the direction opposite to the rotation of the drum, the moment of force G_M of the weight of the material (Figure 1.2). The shoulder of this passes through the center of the section of the drum. Therefore, the power required to lift the material will be calculated taking into account these features.

In order to determine the useful power, it is necessary to know the amount of material in the drum, or its average cross-sectional area, the volume weight of the material and its angle of natural inclination during movement.

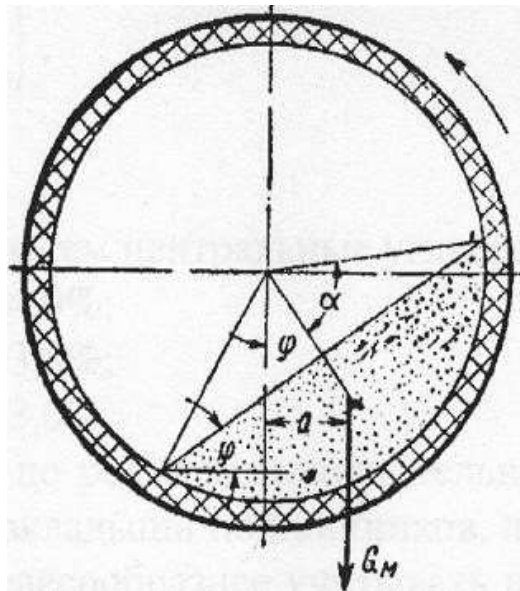


Figure 1.2 – Schematic of the arrangement of raw materials in the drum

As the material moves along the drum, its physical properties change continuously in the heat exchangers, as well as in the threshold, if the drum body is made up of parts of different diameters, there is an accumulation of material, the determination of the average speed of movement and the cross-sectional area theoretically is associated with great difficulties. The equations proposed for this purpose, while differing in complexity, do not differ in the required accuracy according to the results of the calculations made according to them. Therefore, in deriving the equation below, which determines the power required for lifting the material, we accept it based on practical data.

The total power required to rotate a drum with a body of the same diameter along its entire length is determined. If the housing consists of zones of different diameters, the required power is calculated for each zone separately and then summed up.

For crankcase-type support roller bearings with bronze liners and continuous oil supply to the trunnions, it is recommended to choose a friction coefficient equal to 0.02-0.04. Taking into account the friction of the tires rolling on the rollers, the given values must be increased to 0.03 - 0.06.

Power consumption to overcome friction in the drive mechanism and sealing devices is taken into account in the efficiency of the installation. Its value depends on the design of the drive mechanism, the correctness of its installation and operation, and is on average equal to 0.9 - for a closed type mechanism, 0.85 - for a mixed type and 0.8 - for an open type.

When determining the required power for drum rotation, the normal number of revolutions is substituted into the calculation equation. But during operation, the drum often rotates with an increased number of revolutions, which requires increased power. At the moment of starting the drum, a higher than normal power is also required to overcome the inertial force of the rotating drum. Taking this into account, the power of the electric motor of the drum should be chosen 20-25% higher than that determined by the equation.

Using formulas, we calculate the power of the electric motor.

The power required to start the electric motor is taken into account without the weight of the seed.

Taking into account the inertial power of the drum, which should be 20-25% higher than the working power, we will finally get the power of the engine.

We choose a three-phase asynchronous motor of the AIR 160S6 series, power - 11 kW, synchronous rotation speed - 1000 rpm, slip - 3%. Taking into account the slip, the nominal rotation frequency $n_{nom} = 970$ rpm. By changing the number of pairs of poles and using a gearbox, we change the frequency of rotation of the motor.

The modernization consists in the application of a modern frequency - regulated electric drive (CFR) of the drying unit (IV) consisting of an asynchronous or synchronous electric motor (M) and a frequency converter (FR) (Figure 1.3).

The electric motor transforms electrical energy into mechanical energy and provides movement to the executive body of the technological mechanism.

The frequency converter controls the electric motor and is an electronic static device. An electric voltage with variable amplitude and frequency is formed at the output of the converter.

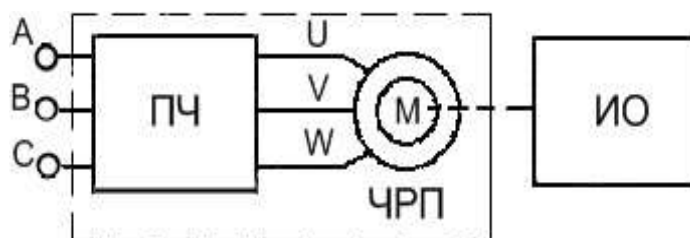


Figure 1.3 - Structural diagram of the proposed frequency -regulated drive

The name " frequency -controlled electric drive" is due to the fact that the regulation of the motor rotation speed is carried out by changing the frequency of the power supply voltage supplied to the motor from the frequency converter.

During the last 10-15 years, the world has seen a wide and successful introduction of a frequency -regulated electric drive to solve various technological tasks in many sectors of the economy. This is primarily the development and creation

of frequency converters based on a fundamentally new element base, mainly bipolar transistors with an isolated IGBT gate.

Areas of application are metallurgy (for example, the drive of roller conveyors), textile industry, machine tool construction (for example, electric spindles and metal cutting machines), centrifuges, polishing machines, electric drive of fans and pumps, and others.

Foreign companies, in particular Siemens, Fanyk, ABB, etc. widely used frequency control for fans, pumps in horizontal and vertical operations, conveyors. American and English firms widely use frequency control drives in the oil and gas industries. Drives with both centralized and individual converters are used.

In further considerations, we will talk about the three-phase frequency-regulated electric drive, since it has the largest industrial application.

In a synchronous electric motor, the frequency of rotation of the rotor n_2 in the mode is equal to the frequency of rotation of the magnetic field of the stator n_1 .

In an asynchronous electric motor, the rotation frequency of the rotor n_2 in the established mode differs from the rotation frequency n_1 by the amount of slip s .

The frequency of rotation of the magnetic field n_1 depends on the voltage frequency feeding. When powering the stator winding of an electric motor with a three-phase voltage with frequency is created rotating magnetic field.

The speed of rotation of this field is determined by the well-known formula

$$\omega_1 = \frac{2\pi f}{p}, \quad (1.1)$$

where p is the number of stator pole pairs.

Transition from field rotation speed

$$n_1 = \frac{60}{2\pi} \omega_1, \quad (1.2)$$

where 60 is the dimension conversion factor. Substituting the field rotation speed into equation (1.2), we get

$$n_1 = \frac{60f}{p}. \quad (1.3)$$

Thus, the frequency of rotation of the rotor of synchronous and asynchronous motors depends on the frequency of the supply voltage.

The method of frequency regulation is based on this dependence, by changing the frequency f at the motor input with the help of a converter, we regulate the frequency of rotation of the rotor.

In the most common frequency -controlled drive based on asynchronous motors with a short-circuited rotor, scalar and vector frequency control are used.

1.5 Analysis by section and formulation of the design task

When rotating a properly assembled and normally working drum, the power of its drive electric motor is spent to a greater extent on useful work: raising the material to a certain height, sliding from which it is mixed and gradually moved to the unloading end, and to a lesser extent - on overcoming harmful resistances. Harmful resistances include sliding friction between the surfaces of the trunnions of support rollers and bearing liners, friction of tires rolling on support rollers, friction in the drive mechanism and friction of the ends of the drum body on the surface of parts of sealing devices.

I consider it expedient to design a drum dryer with different drying modes depending on the moisture content of raw seeds. The temperature of the drying agent (heated air) should be as high as the humidity of the sunflower seeds. Drying of seeds in drum-type dryers is carried out in a layer of spilled seeds, when it is blown with hot air. At the beginning of drying, the temperature of the drying agent , depending on the moisture content of the seeds, is kept at only 250-350 °C, at the exit from the dryer - 50-80 °C. On average, drying sunflower seeds in drum dryers takes 15-20 minutes.

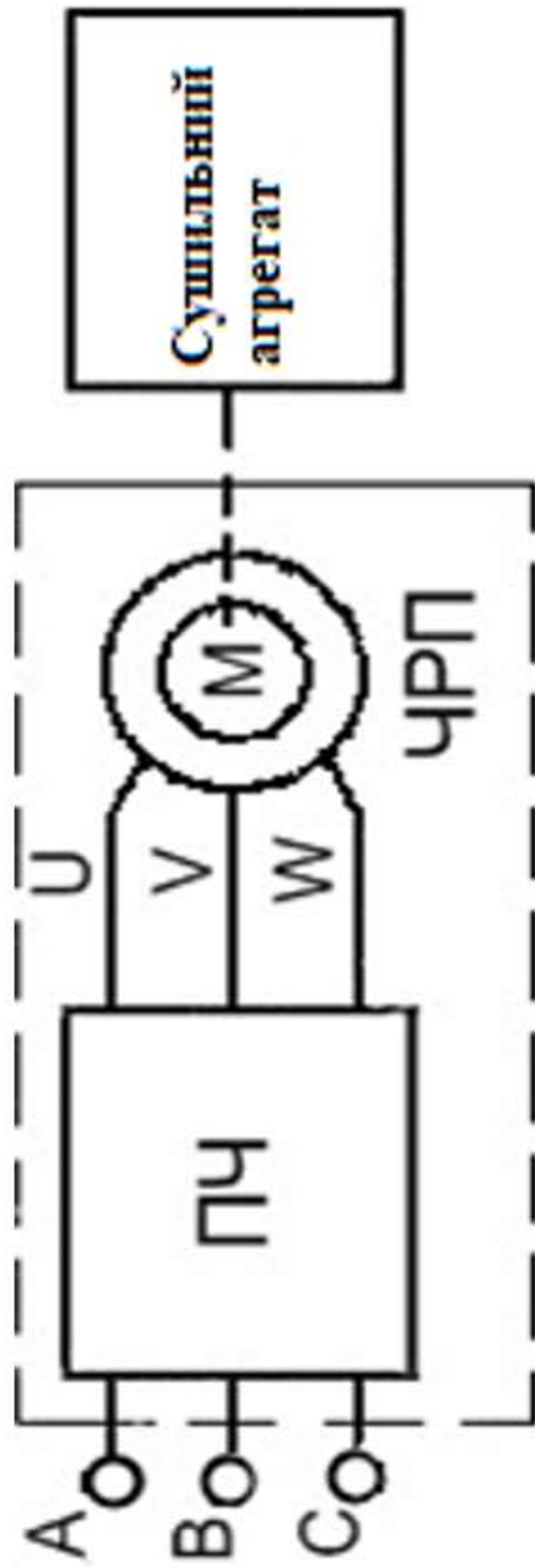
Compared to other types of dryers, drum dryers have a number of advantages: the possibility of full automation of the process; versatility; high quality of drying due to intensive mixing of the material; the possibility of drying highly humid , clogged material; ease of installation (no capital facilities are required to start the

work); reliability of work (the formation of stagnant zones is excluded); reasonable price; low power consumption.

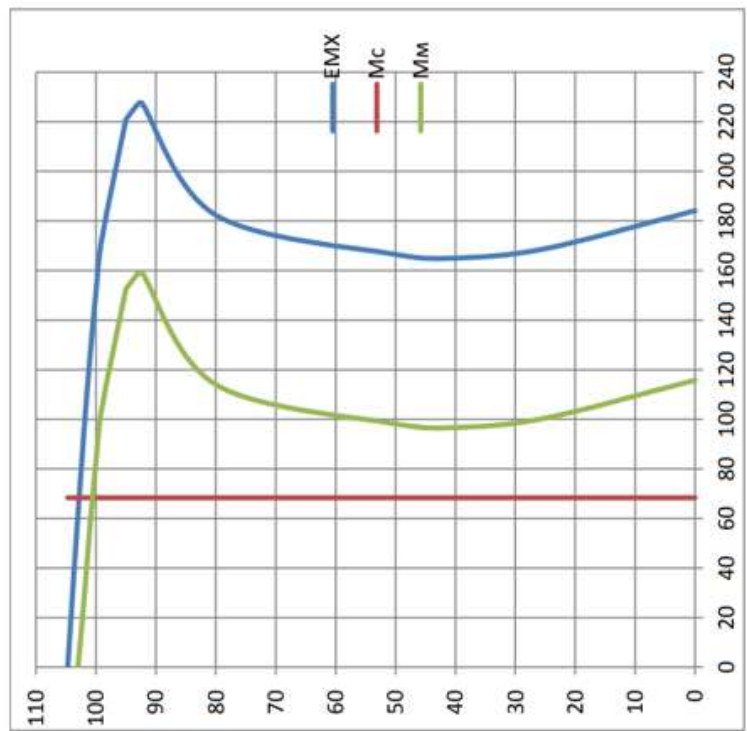
In this regard, the following tasks must be solved in this work:

- choose the type of electric mechanism and calculate the power of the electric motor, as well as calculate the gearbox of the drying unit:
- Calculate the static mode of the electric drive;
- Calculate the dynamic mode of the electric drive;
- Choose a frequency converter and control equipment;
- Make structural and functional diagrams of a frequency -regulated electric drive;
- Investigate the control system of the electric drive of the drying unit in Matlab .

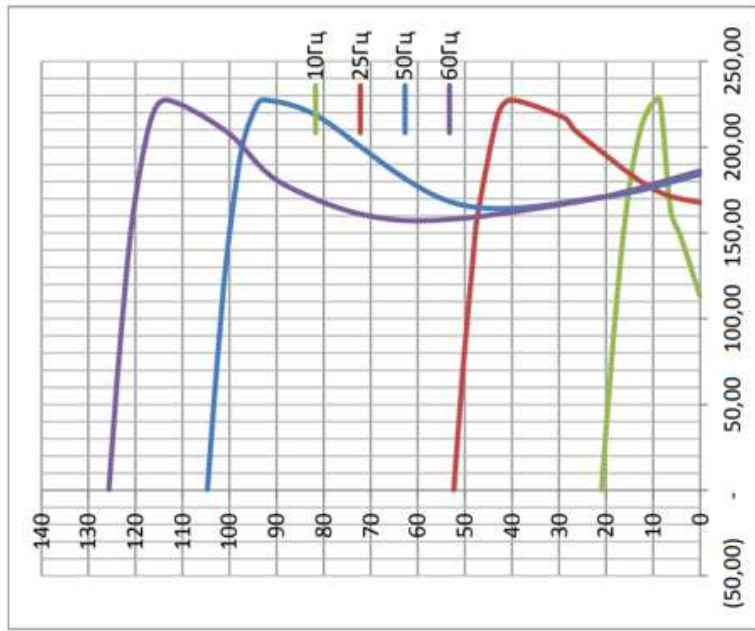
**Структурна схема пропонованого
частотно-регульованого приводу**



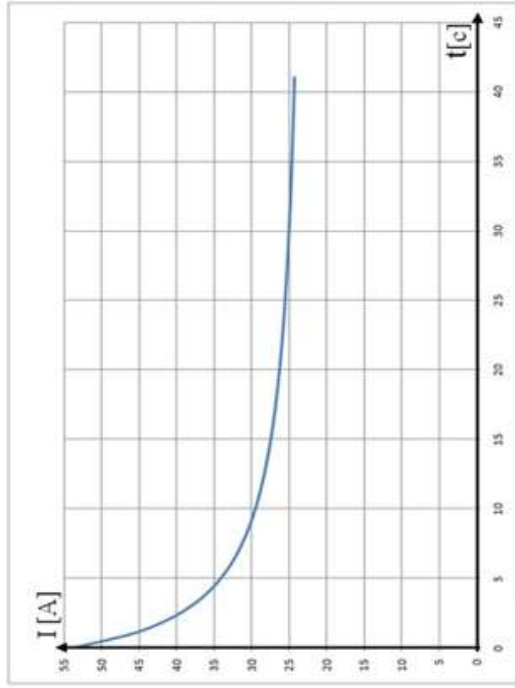
Механічні характеристики АД при зміні частоти за законом $U/f=\text{const}$



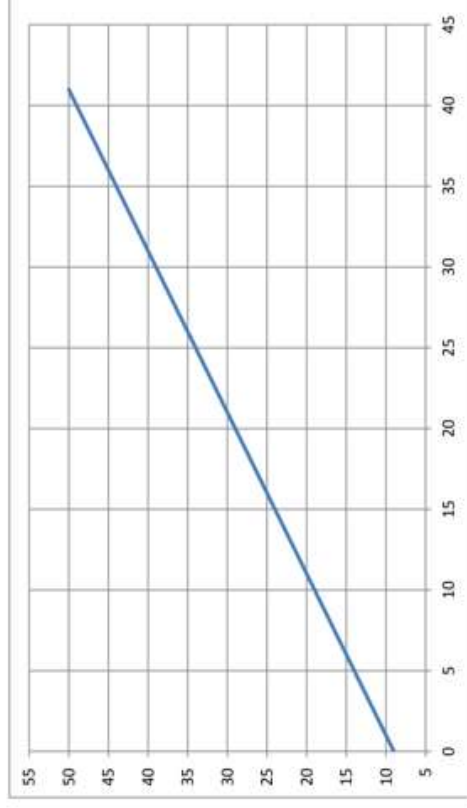
Механічні характеристики АД та механізму



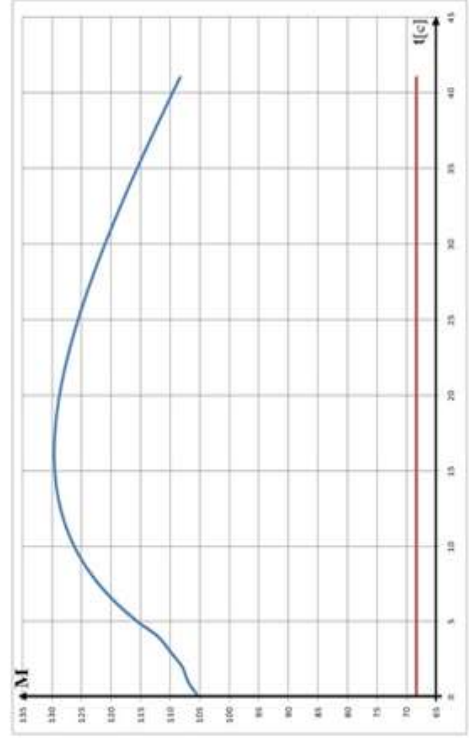
Графік залежності пускового струму від часу



Графік залежності частоти часу пуску



3

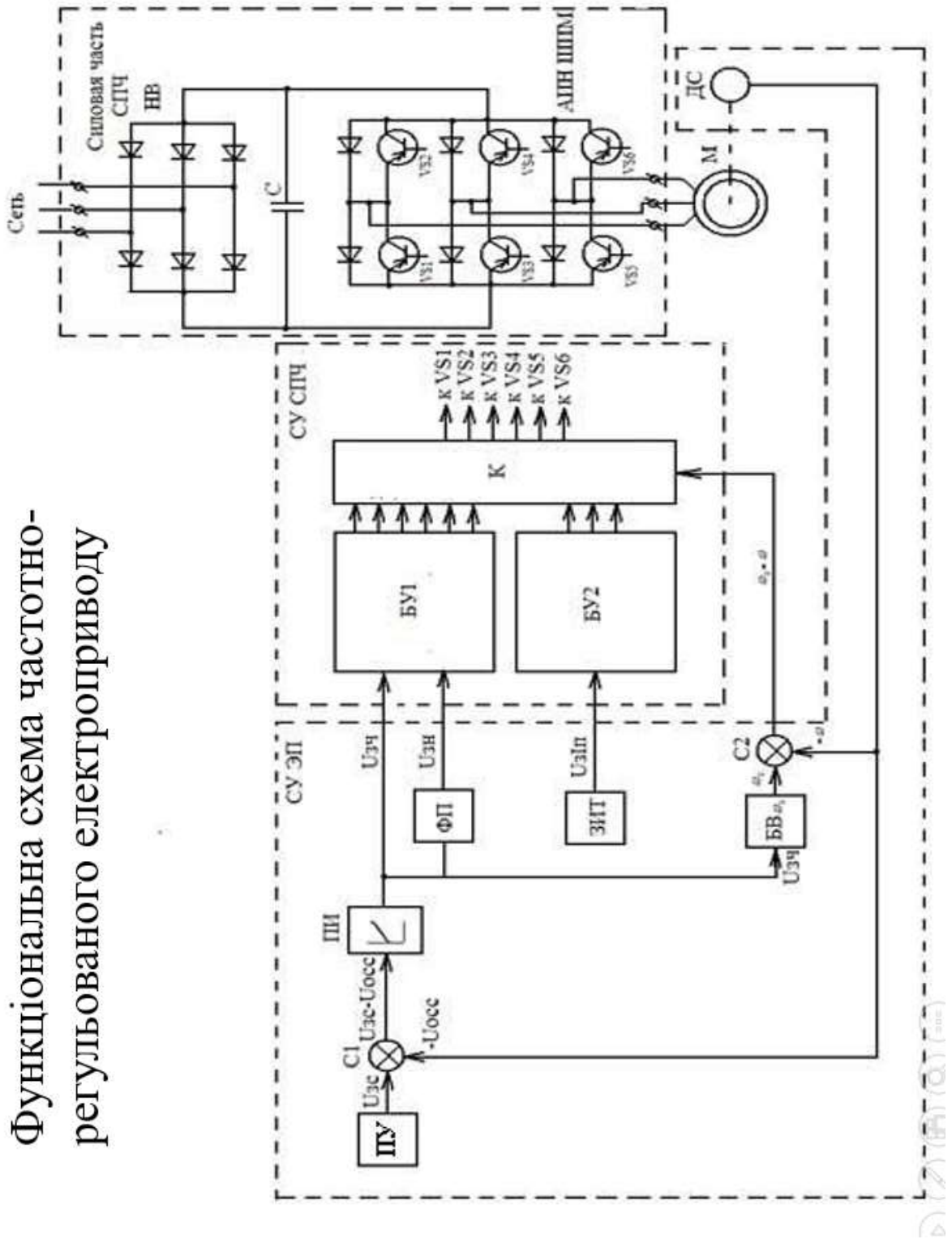


Графік залежності M_c та $M_{дог}$ часу при частотному пуску

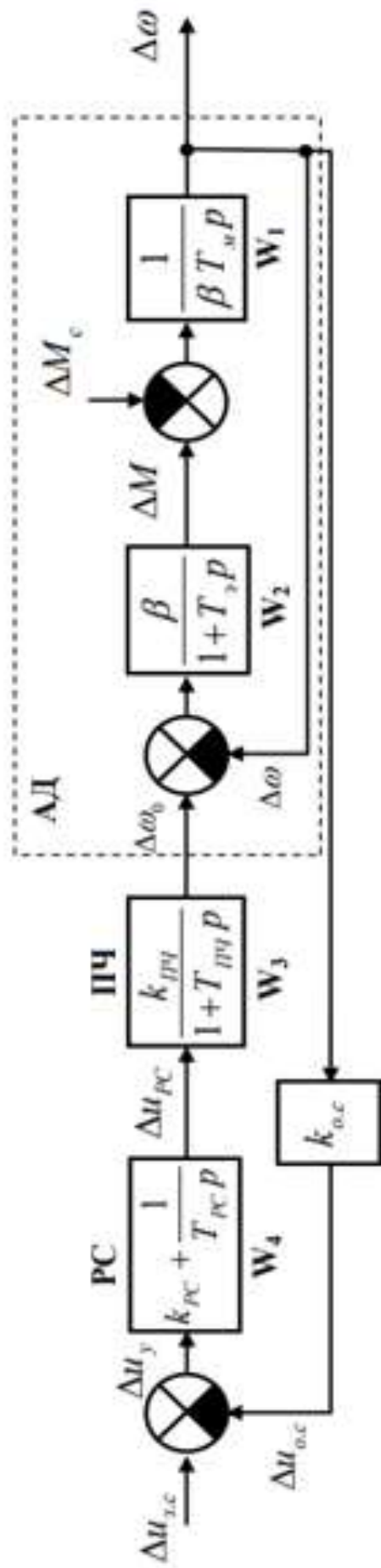
M_L
 M_c

Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу

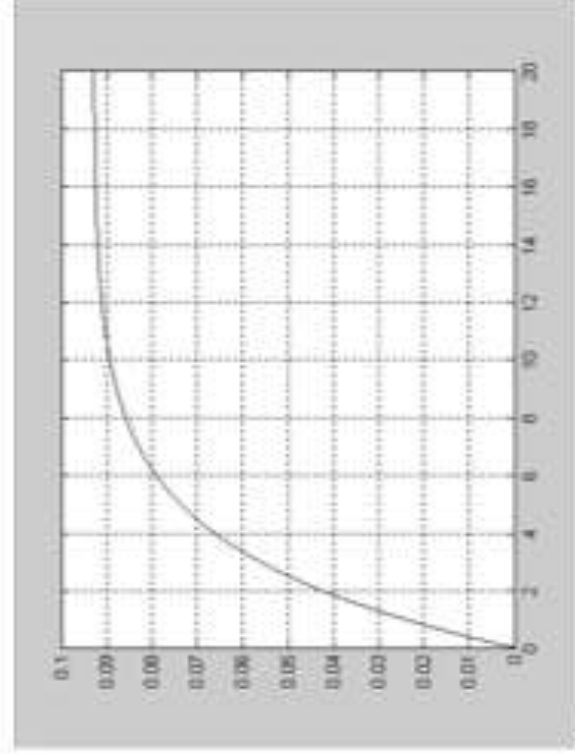
4



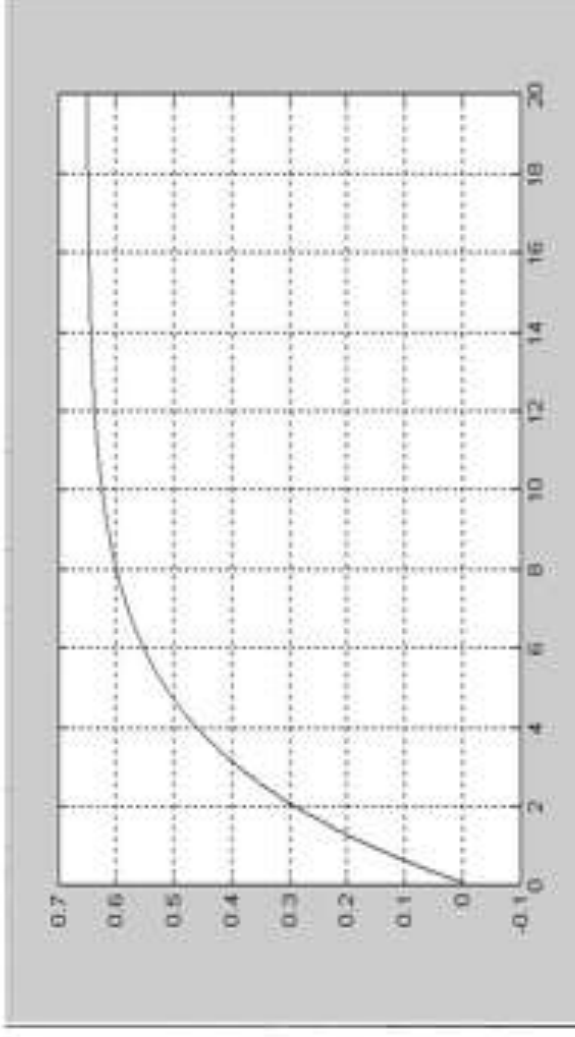
Структурна схема системи ПЧ-АД із
зворотнім зв'язком за швидкістю



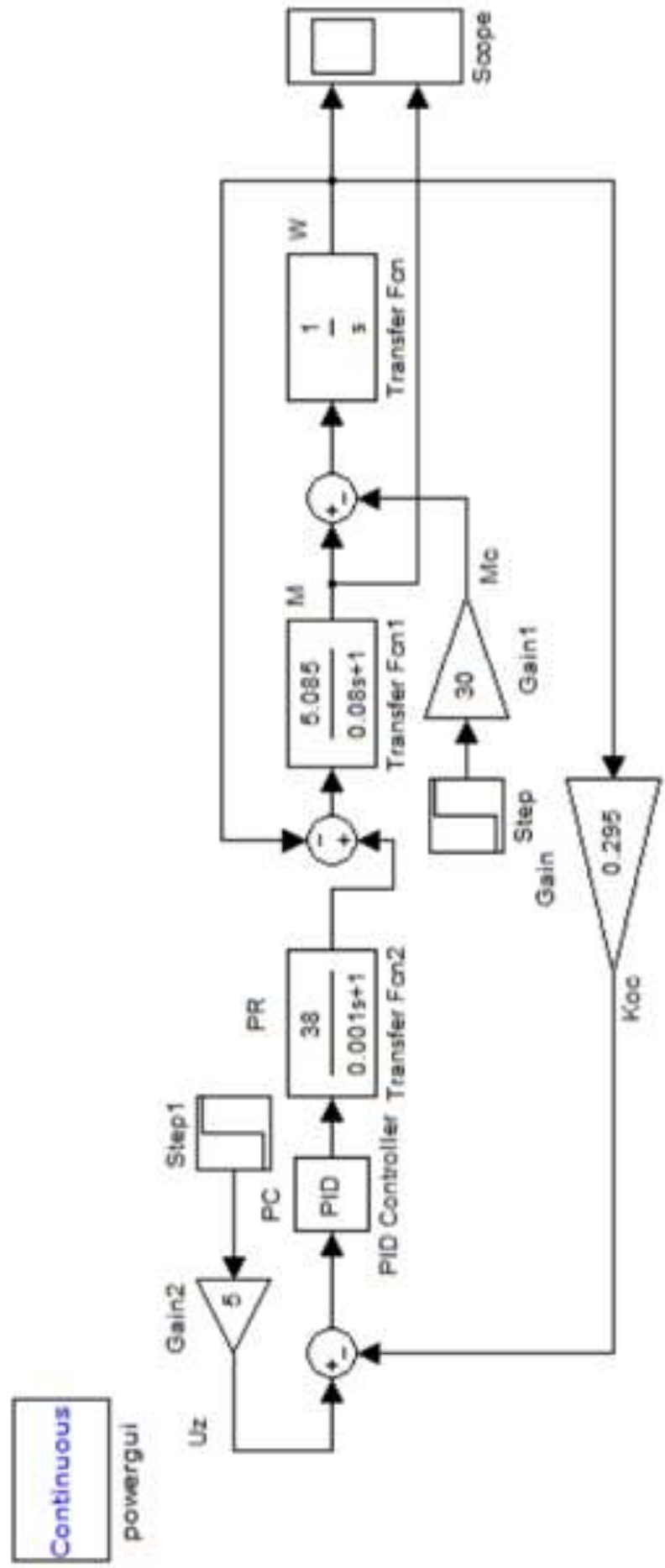
Перехідний процес швидкості системи ПЧ – АД агрегату при завантаженню барабані



Перехідний процес залежності завантаження від швидкості при порожньому барабані



Структурна схема моделі системи ПЧ – АД –
 барабанний сушильний агрегат у MATLAB



Перехідний процес системи ПЧ- АД при коефіцієнті посилення регулятора швидкості $K_c = 0.1$

Перехідний процес системи ПЧ- АД при коефіцієнті посилення регулятора швидкості $\Gamma_c = 3$

