

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра електромеханіки та мехатроніки



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на тему «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ ДЛЯ
СОНЯШНИКА»

Здобувача Павлюк О.С.

II курсу групи АЕММ-20

Керівник доцент Шейда Голбад К.А.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 19.12.2023р., протокол №: 5.

Завідувач кафедри Е та М _____ Петро ОСАДЧУК

Одеса - 2023рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Автоматизація та робототехніка

Кафедра: Електромеханіка та мехатроніка

Ступень вищої освіти: Магістр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри ЕтаМ

д.т.н., доц. Осадчук П.І.

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Павлюка Олександра Сергійовича

1. Тема роботи: «Дослідження та вдосконалення електроприводу барабанної сушарки для соняшника»

Керівник роботи: Шейда Голбад Камбіз Ахмадович, доктор філософії, доцент.

Затверджено наказом ОНТУ № 663-03 від 06.11.2023р.

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 15.11. 2023р.

3. Вихідні дані роботи: Технічні характеристики сушарки СЗСБ-8А.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: розгляд конструктивних особливостей механізму, вибір двигуна, частотного перетворювача для нього, розрахунок потужності, система управління, розробка керування електроприводу барабанної сушильної установки, що відповідає сучасним вимогам.

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації: 1. Схема технологічної лінії сушки насіння. 2. Загальний вигляд барабанної сушки СЗСБ-8А. 3. Кінематична схема приводу сушарки. 4. Механічні характеристики асинхронного двигуна. 5. Функціональна схема ПЧ та його зовнішній вигляд. 6. Схема включення ПЧ. Модель АД для дослідження в режимі прямого пуску. 7. Динамічні характеристики двигуна: частоти обертання, електромагнітного моменту та струмів ротора. 8. Модель електроприводу з частотним регулюванням. 9. Динамічні характеристики ЕП при частоті $f_1=50$ Гц. 10. Динамічні характеристики ЕП при частоті $f_2=25$ Гц.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз літературних джерел	Шейда Голбад К. А., доцент		
2. Вибір електроприводу	Шейда Голбад К. А., доцент		
3. Визначення параметрів апаратури управління	Шейда Голбад К. А., доцент		
4. Економічна обґрунтованість			

7. Дата видачі завдання: « ____ » _____ 2023 р.

Керівник _____ Шейда Голбад К.А.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів	Прим.
1	Загальна характеристика роботи. Актуальність теми. Об'єкт та предмет дослідження. Мета роботи. Завдання дослідження. Методи дослідження.	10.08.2003	
2	Технологія сушіння насіння. Дослідження конструкції і технічної характеристики електроприводу барабанної сушарки. Вибір електроприводу і попередній розрахунок потужності електричного двигуна. Розрахунок механічних характеристик. Кінематична схема приводу. Розрахунок динамічного режиму електричного приводу.	07.09.2023	
3	Дослідження процесів при частотному регулюванні в самому електродвигуні. Прямий пуск електродвигуна. Моделювання динамічних режимів електроприводу у середовищі MATLAB Simulink. Використання методів імітаційного моделювання.	10.10.2023	
	Розрахунок економічної доцільності удосконалення електроприводу барабанної сушарки	13.11.2023	
	Охорона праці та безпека життєдіяльності	11.12.2023	
4	Перевірка роботи на добросовісність	19.12.2023	
5	Попередній перегляд кваліфікаційної роботи магістра	20.12.2023	
6	Захист кваліфікаційної роботи магістра	26.12.2023	

Здобувач СВО _____ Павлюк О.С.

Керівник _____ Шейда Голбад К.А.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач СВО _____ Павлюк О.С.

РЕФЕРАТ

Павлюк О.С. «Дослідження та вдосконалення електроприводу барабанної сушарки для соняшника». Кваліфікаційна робота магістра. – Одеса, 2023. 91 с.

В роботі поставлена актуальна науково-технічна задача – теоретичне обґрунтування, моделювання і розрахунки регульованого асинхронного електропривода, що забезпечують його високі техніко-економічні, енергетичні, експлуатаційні й технологічні показники.

Розроблений і досліджений частотно-регульований електропривод барабанної сушарки для обробки насіння соняшника. Розроблена імітаційна модель перетворювача напруги й запропонований алгоритм його роботи. Показана можливість підвищення енергетичної ефективності при використанні перетворювача напруги в порівнянні з традиційним прямим підключенням асинхронного двигуна до електричної мережі.

Розраховані економічна ефективність та час окупності модернізованого електроприводу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: асинхронний електропривод, перетворювач частоти, енергетична ефективність, імітаційна модель.

ABSTRACT

Pavlyuk O.S. "Research and improvement of the electric drive of the drum dryer for sunflower". Master's qualification work. – Odesa, 2023. 91 p.

The work presents an actual scientific and technical task - theoretical substantiation, modeling and calculations of a regulated asynchronous electric drive, which ensure its high technical and economic, energy, operational and technological indicators.

A frequency-regulated electric drive of a drum dryer for processing sunflower seeds has been developed and tested. A simulation model of the voltage converter was developed and the algorithm of its operation was proposed. The possibility of increasing energy efficiency when using a voltage converter compared to the traditional direct connection of an asynchronous motor to the electrical network is shown.

The economic efficiency and payback time of the modernized electric drive are calculated.

KEY WORDS: asynchronous electric drive, frequency converter, energy efficiency, simulation model.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	9
1.1 Характеристика насіння соняшника.....	9
1.2 Опис технологічного процесу сушки насіння соняшника.....	10
1.3 Огляд апаратів та особливості сушіння насіння соняшника.....	11
1.4 Сушіння насіння соняшника у сушарках барабанного типу.....	14
1.5 Конструкційне виконання барабанних сушарок.....	15
1.6 Характеристики сушарок	20
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	25
2.1 Попередній розрахунок потужності електричного двигуна	25
2.2 Визначення моментів на валах приводу.....	31
2.3 Кінематичний розрахунок.....	32
2.3.1 Визначення передавального числа приводу барабану.....	33
2.3.2 Розподіл загального передавального числа приводу.....	33
2.3.3 Розрахунок допустимої контактної напруги	34
2.3.4 Визначення міжосьової відстані.....	36
2.4 Визначення модуля передачі.....	37
2.5 Розрахунок механічних характеристик	40
2.6 Розрахунок динамічного режиму електричного приводу.....	46
2.6.1 Розрахунок втрат енергії під час пуску і гальмуванні.....	48
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АПАРАТУРИ КЕРУВАННЯ..	52
3.1 Вибір перетворювача частоти	52
3.2 Вибір апаратури керування.....	54
3.3 Схема вмикання частотного перетворювача	55
3.4 Вибір захисного апарату.....	58

					<i>KPM.EmM.1.841-03.2.2</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Дослідження та вдосконалення електроприводу барабанної сушарки для соняшника</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Павлюк О.С..</i>						
<i>Керівник</i>		<i>Шейда Голдбат</i>						
<i>Зав.кафедри</i>		<i>Осадчук П.І.</i>				ОНТУ, АЕМмз-20а		

3.5 Структурна і функціональна схема керування електроприводом.....	58
3.6 Частотне керування асинхронних двигунів.....	61
3.7 Складання структурної та функціональної схем системи ПЧ – АД.....	62
3.8 Математична модель барабанного сушильного агрегату.....	64
3.9 Моделювання системи ПЧ - АД – барабанна сушарка у середовище MATLAB Simulink.....	65
3.10 Прямий пуск електродвигуна.....	67
3.11 Пуск з частотним регулюванням.....	68
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОБГРУНТОВАНІСТЬ.....	71
4.1 Розрахунок капіталовкладень.....	71
4.2 Розрахунок поточних річних експлуатаційних витрат.....	72
4.3 Розрахунок витрат на електроенергію і ремонт обладнання.....	73
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	75
5.1 Безпека життєдіяльності.....	75
5.2 Виробнича санітарія і гігієна праці.....	75
5.3 Освітлення.....	77
5.4 Вентиляція.....	80
5.5 Виробничий шум і вібрація.....	81
5.6 Електробезпека.....	83
5.7 Пожежна безпека.....	84
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	87

ВСТУП

На сучасному етапі функціонування харчових виробництв особливо актуальним є заощадження матеріальних та енергетичних ресурсів, а саме – виробничих площ, що використовуються. Збільшення економічної ефективності використання технологічного обладнання харчових виробництв може досягатись багатьма шляхами. Необхідно впроваджувати такі нові технічні рішення, використання яких може створити можливість зменшення витрати енергії на проведення технологічного процесу із одночасним зменшенням втрат сировини, технологічних матеріалів та середовищ. Низька продуктивність сушильних комплексів і недостатня забезпеченість ними призводять до того, що через несвоєчасну сушку на зернотоках щорічно втрачається значна частина врожаю зерна. У сільськогосподарському виробництві використовують різноманітні прийоми для інтенсифікації процесу сушіння сировини: використання електроактивованого повітря, попередній нагрів зерна, застосування рециркуляційних режимів, вакуумування зони сушки, зміна газового складу сушильної камери і багато інших. Найбільш широко застосовують барабанні сушарки як пересувні, так і встановлені стаціонарно [2]. Вони характеризуються здатністю обробляти різну сировину, мають просту конструкцію, надійні в роботі.

Але барабанні сушарки також мають і певні недоліки:

- нераціональне використання виробничих площ;
- значна енергоємність роботи;
- складність регулювання параметрів процесу сушіння.

Такі недоліки знижують економічну ефективність використання даного виду технологічного обладнання. Доцільним є пошук можливості збільшення економічної ефективності використання барабанних сушарок шляхом вдосконалення конструкції їх вузлів. Розроблені конструкції мають передбачати високу технологічність у виробництві та низьку собівартість.

Процес сушіння рослинної сировини відноситься до складних, що обумовлено великою кількістю збурень, що впливають на ефективність роботи обладнання.

Актуальність теми. Сучасний електропривод являє собою конструктивну єдність електромеханічного перетворювача енергії (двигуна), силового перетворювача і пристрої управління. Він забезпечує перетворення електричної енергії в механічну відповідно до алгоритму роботи технологічної установки. Сфера застосування електричного приводу в промисловості, на транспорті і в побуті постійно розширюється. В даний час вже понад 60% усієї вироблюваної в світі електричної енергії споживається електричними двигунами. Отже, ефективність енергозберігаючих технологій в значній мірі визначається ефективністю електроприводу. Розробка високопродуктивних, компактних і економічних систем приводу є пріоритетним напрямком розвитку сучасної техніки.

Об'єктом дослідження в даній роботі є барабанна сушарка для сушіння рослинної сировини.

Предмет дослідження - електропривод барабанної сушарки.

Метою роботи є розробка керування електроприводу барабанної сушильної установки, що відповідає сучасним вимогам.

У завдання входить розгляд конструктивних особливостей механізму, вибір двигуна, частотного перетворювача для нього, розрахунок потужності, система управління і т.п.

Методи дослідження. Розробка керування електроприводу барабанної сушильної установки здійснені з використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії машин і механізмів, електротехніки і теорії електроприводів.

Наукова та практична новизна одержаних результатів. В результаті проведеного дослідження було доведено, що варіант електроприводу з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором і перетворювачем частоти

економічно доцільніше, ніж асинхронний двигун без регулювання, так як час окупності впроваджуваного електроприводу менше нормативного.

Електропривод з частотне керованим електродвигуном дозволяє здійснювати більш якісну просушування сировини і забезпечує більшу продуктивність.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Характеристика насіння соняшника

Важливою фізико-механічною властивістю насіння соняшника 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°, вологого - до 42°, а високовологого та засміченого (засміченість до 8%) досягає 55°, 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 [1].

Труднощі обробки насіння соняшника пов'язані з фізичними особливостями та відмінністю їх від злакових культур. Так, насипна щільність насіння соняшнику, що надходить на хлібоприймальні підприємства, залежно від вологості та засміченості коливається в межах 326...440 кг/м³, тобто вдвічі менше, ніж у пшениці, тому і в 2 рази менше маса насіння, що надходить у сушарку.

Гігроскопічність - одна з найважливіших властивостей зерна, що визначають режими його зберігання та сушіння. Для насіння соняшнику як капілярно-пористих колоїдних тіл характерні всі форми зв'язку, які 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 адсорбційне 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 адсорбційна зв'язана вода [1].

1.2 Опис технологічного процесу сушки насіння соняшника

Для насіння соняшнику розрізняють чотири стани за вологістю: сухий до 7,0%, середньої сухості понад 7,0 до 8,0%, вологий понад 8,0 до 9,0%, сирий понад 9,0%. У насінні сухої та середньої сухості майже немає вільної вологи, і зберігати їх можна тривалий час.

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, відбуватися розтріскування лушпиння 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 забезпечується нагрівання кожного одиничного насіння окремо. В цьому випадку можна значно підняти температуру агенту 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 [2].

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

При короткочасному нагріванні матеріалу температуру агента сушіння можна значно збільшити. Межею є температура, при якій температура випаровування близька до допустимої температури нагрівання матеріалу.

При високій температурі агента сушіння прогрів насіння до допустимих температур та випаровування вологи з поверхні відбуваються протягом декількох секунд. Подальше підведення тепла недоцільне. Таким чином, для максимального використання тепла та збереження якості насіння рекомендується застосовувати максимально можливі температури агента сушіння при невеликій тривалості нагрівання.

Сушіння насіння дозволяє помітно поліпшити якість олії, а так само збільшує терміни зберігання на складах, так як насіння з вологістю більше 7 відсотків швидко псується. Виходячи з цього, необхідне запровадити в процес виробництва спеціальну установку для сушки сировини [2].

1.3 Огляд апаратів та особливості сушіння насіння

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

буде значно гальмуватися, коли температура поверхні сім'янки вище температури всередині ядра.

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

При сушінні насіння соняшнику в шахтних сушильних апаратах необхідна їх первісна очищення від бур'янів домішок, оскільки вони можуть привести до засмічення сушарки і її загоряння. значно ускладнює роботу з новонародженим насінням. Сушіння в шахтних зерносушарках супроводжується погіршенням технологічних переваг насіння. Насіння, що мають високу вологість, в такому сушильному апараті можуть підвергатися і дво і трикратній сушці. Потоковість обробки при цьому порушується, що викликає труднощі в роботі з насінням, яке надходить. В результаті нерівномірного руху по шахтним перетинах при їх обробці гарячим повітрям, насіння прогріваються нерівномірно, температурна різниця може складати до 10°C. Це пов'язано з тим, що під стінами шахт насіння переміщуються повільніше, ніж в центрі. Крім того, недостатня пропускну здатність сушарки може привести до перегріву частини насіння.

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

При висушуванні насіння соняшнику в сушарках рециркуляційного типу дуже важливо рівномірно розподіляти насіння по всьому перетину камери, а

також не допускати скупчення олійного пилу в камері нагрівання й запобігати потраплянню іскор з топки в камеру нагрівання, оскільки сушарки даного типу є пожежонебезпечними.

Перевагою вентильованих бункерів є їх простота і тривалий термін експлуатації. М'які режими сушіння не допускають травмуванню насіння соняшнику. Однак такий спосіб сушіння набагато триваліше інших 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, залежними від вологості сирого насіння. Температура сушильного агента (нагрітого повітря) при цьому повинна бути настільки вище, наскільки вище вологість насіння соняшнику. Висушування насіння в сушарках барабанного типу відбувається в шарі, де пересипається насіння, при його продуві гарячим повітрям.

В началі сушки температура сушильного агента, в залежності від вологості насіння, утримується на рівні 250-350°C, на виході з сушарки - 50-80°C, нагрів насіння 40-50°C. Витрата умовного палива на 1кг випареної вологи - 0,3 кг, витрати електроенергії - 0,05кВт в годину, продуктивність сушарки 180т на добу. В середньому, сушка насіння соняшнику в барабанних сушарках триває 15-20 хвилин.

Барабанні сушарки, у порівнянні з іншими типами сушарок, мають ряд переваг: можливість повної автоматизації процесу, універсальність, висока якість сушіння за рахунок інтенсивного перемішування матеріалу, можливість сушити високовологий, засмічений матеріал, простота монтажу (для запуску в роботу не потрібно капітальних споруд), надійність роботи (виключається утворення застійних зон), прийнятна ціна, низьке споживання електроенергії [2].

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

1.4 Сушіння насіння соняшника у сушарках барабанного типу

Для сушіння насіння соняшника застосовують барабанні сушарки з диференційованими режимами сушіння залежно від вологості насіння. Температура агента сушіння повинна бути тим вищою, чим вище вологість насіння. Великими недоліками застосування барабанних сушарок є часткове розтріскування лущиння та обвалення насіння, низьке знімання вологи за один пропуск через сушарку (3,0 - 2,5%), низька продуктивність. Як усунути ці недоліки, розглянемо нижче.

Обираємо стаціонарну зерносушарку барабанного типу СЗСБ-8 (рис 1.1)

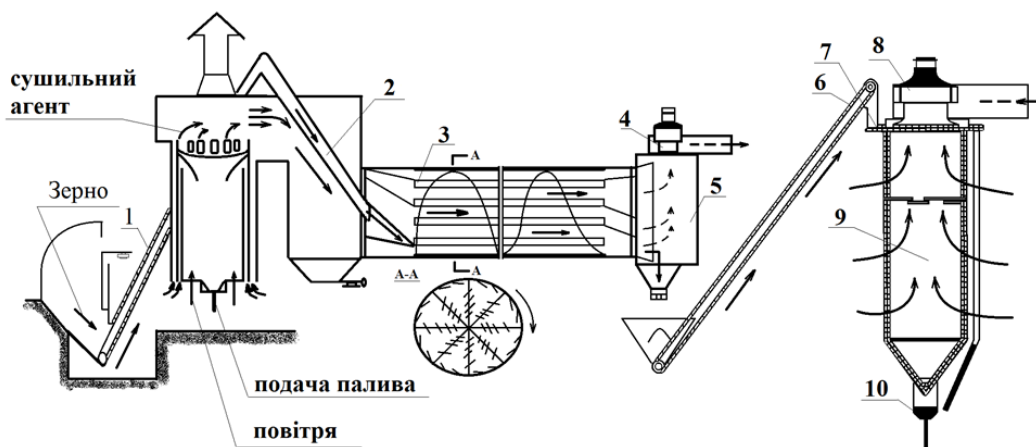


Рисунок 1.1 - Барабанна зерносушарка СЗСБ-8

1 - скребковий транспортер сирого зерна; 2 - самопливна труба; 3 - барабан; 4 - вентилятор; 5 - відвідна камера; 6 - скребковий транспортер для сухого зерна; 7 - шнек; 8 - вентилятор холодного повітря; 9 - охолоджувальна колонка; 10 - шлюзовий затвор.

Сире насіння з приймального бункера, що піднімає скребковий транспортер, по самопливної трубі потрапляє в барабан діаметром 1600мм, довжиною 8000мм, який спирається на чотири пари роликів і робить 8 об/хв. Насіння, яке надійшло під час обертання, розподіляється рівномірно по секторам і поличках усередині барабану. Агент сушіння відсмоктується з камери змішувача топки, проходить через барабан, продуваючи насіння, що пересипається по поличках, і вентилятором (на одній осі з електродвигуном) викидається назовні. Насіння з барабана надходить в камеру відведення, з якої через шлюзовий затвор зсипається на скребковий транспортер і подається ним на шнек, слугуючи для завантаження

охолоджувальної колонки. Надлишок насіння з шнека зсипається по самопливній трубі під охолоджувач.

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

Топка сушарки на рідкому паливі складається з двох вертикальних циліндрів, з яких внутрішній слугує камерою згоряння. У нижній частині її встановлюють форсунку голчастого типу. Паливо подається до форсунки насосом і розпорошується повітрям, що нагнітається вентилятором високого тиску з приводом від електродвигуна. У верхній частині камери згоряння встановлений відбивач. Повітря для охолодження стінок камери згоряння надходить знизу в кільцевий простір між циліндрами. Це повітря змішується з топковими газами при виході їх з камери згоряння. Для зниження температури агента сушіння зовнішнє повітря підводиться через вікна.

Для зменшення втрат тепла в навколишнє середовище і щоб уникнути опіків обслуговуючого персоналу топку огороджують циліндричним кожухом. Над топкою встановлена змішувальна коробка, на якій змонтована розпалювальна труба. У коробці є дверцята для регулювання впуску повітря. Заслінка для перемикання агента в сушарку, а також заслінка розпалювальної труби заблоковані так, що при відкриванні однієї з них інша закривається [3].

1.5 Конструкційне виконання барабанних сушарок

В сушильній техніці барабанні сушарки є найбільш поширеним типом. Спочатку такі сушарки являли собою відкриту трубку, що обертається, через яку пропускалися гарячі димові гази, що вступали в тепло - і масообмін з рухомим по

трубі матеріалом. Барабанні сушарки застосовуються для сушки сипучих і малосипучих матеріалів (колчедан, вугілля, фосфорити, мінеральні солі, руда, добрива, пісок, різні хімічні продукти і т. д.). Висока пристосовність дозволила їм знайти застосування в багатьох галузях промисловості, а також і при індустріальному виробництві кормів.

По конструктивному використанню барабанні сушарки дуже різноманітні. Сушарка може бути виконана у вигляді єдиної труби, може також являти собою систему, що складається з великого числа труб різних діаметрів, вставлених одна в іншу.

Найбільш поширена барабанна сушарка (рис. 1.2) являє собою циліндричний похилий барабан з двома бандажами, які при обертанні барабана котяться по опорних роликах. Матеріалу поступає з підведеного кінця барабана через живильник, захоплюється гвинтовими лопатями, на яких він підсушується, після чого переміщається вдовж барабана, що має кут нахилу до горизонталі до 6° .

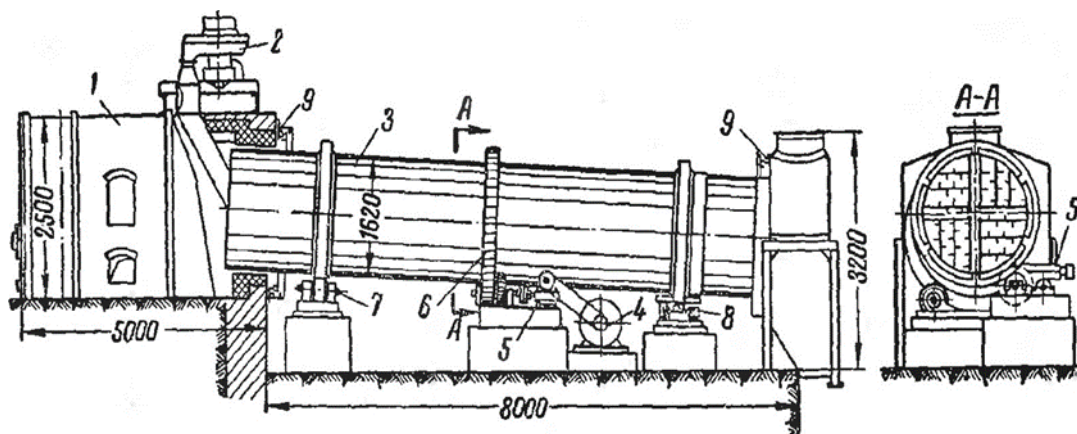


Рисунок 1.2 - Барабанна сушарка

1 - топка; 2 - тарілчастий живильник; 3 - корпус барабана; 4 - електродвигун; 5 - редуктор; 6 - зубчаста передача; 7 - опорні ролики; 8 - опорно-упорні ролики; 9 - лабіринтові ущільнення

Осьове зміщення барабана запобігається напологливими роликами. На торцях барабана є камери: в одній передбачено введення газів і завантаження вологого матеріалу, в іншій - виведення сухого продукту та сушильного агента, що відпрацював. Матеріал переміщається в сушарці за допомогою внутрішньої насадки, що рівномірно розподіляє його по перетину барабана. Конструкція насадки залежить від розміру шматків і властивостей матеріалу, що висушується.

Насадка здійснює механічну перевалку матеріалу, скидаючи його в потік сушильного агента. Її призначення полягає в тому, щоб процес теплообміну вологого матеріалу з сушильним агентом здійснювався по можливо більшому поперечному перетину барабана [3].

Сировина надходить у барабан по тічці, яка в деяких випадках обладнана спеціальним пристроєм, що подає (рис. 1.3). Іноді тічки забезпечені сорочкою, в якій рухається вода або повітря, що охолоджує. Це дозволяє уникнути прилипання матеріалу до стінки, що омивається гарячими газами.

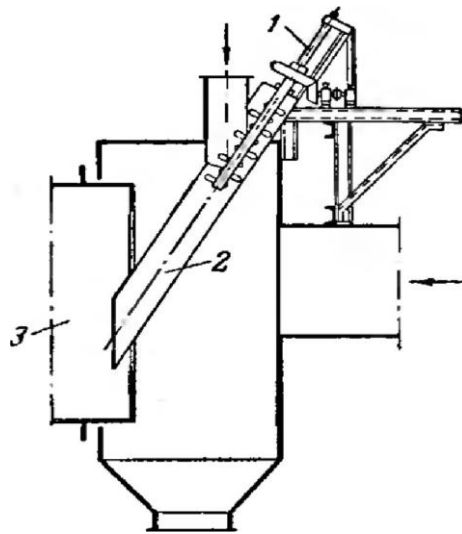


Рисунок 1.3 - Завантажувальний пристрій барабана

1 – шнек; 2 - течка; 3 - барабан

В залежно від властивостей матеріалу, що висушується, у середині барабана встановлюють різні насадки (рис. 1.4). При обертанні барабана лопаті насадки підхоплюють сировину, піднімають і скидають, при цьому збільшується поверхня його дотику з газами. Падаючи, матеріал омивається сушильним агентом та висушується. Із завантажувальної камери матеріал надходить на приймально-гвинтову насадку, приварену до корпусу барабана під кутом. Приймально-гвинтовою насадкою сировина подається на основну насадку. На внутрішні стінки барабана встановлюється підйомно-лопатева насадка для крупнокускових матеріалів, схильних до налипання. При сушінні матеріалів, що мажуться використовують самоочищаються прямі поворотні лопатки. Для матеріалів з

гарною сипкістю встановлюється секторна насадка. Для матеріалів з дуже дрібними частинками, що дають велике пилення, застосовується перевалочна система із закритими осередками. Розташування лопаток в секторах має бути таким, щоб людина могла вільно очистити насадки від налиплого матеріалу. Залежно від внутрішнього пристрою барабана заповнення його сировиною може сягати 20-28⁰.

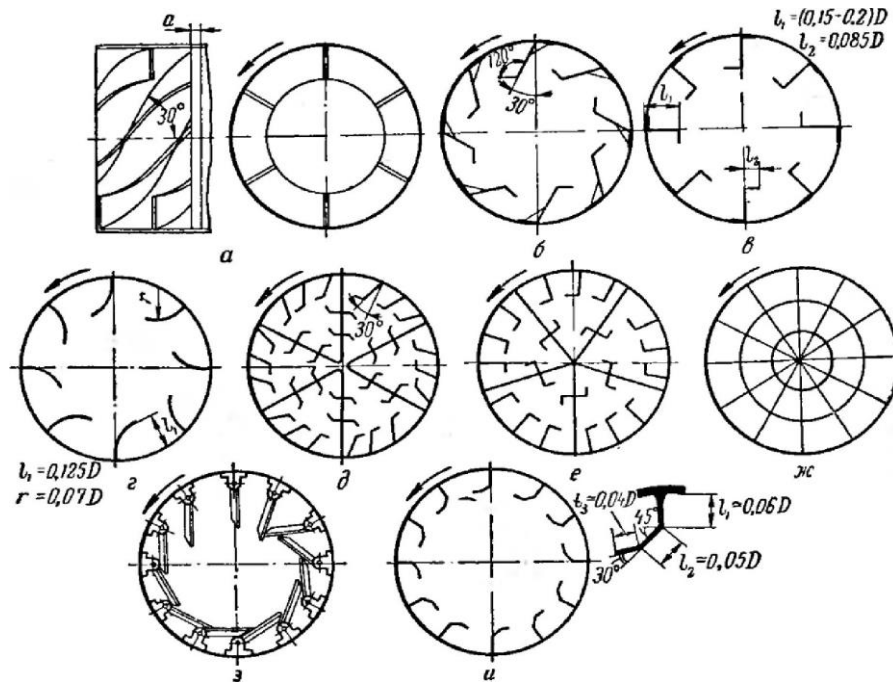


Рисунок 1.4 - Схеми різних типів внутрішніх пристроїв барабана

Для барабанів, що працюють на димових газах (рис. 1.5), замість приймальної камери передбачено встановлення спеціального листа, що кріпиться до топки. На обох торцях барабана ставляться ущільнюючі пристрої, що перешкоджають виходу димових газів, але не заважають обертанню барабана [2]. Ланцюгові насадки 3 слугують для запобігання замазуванню барабана вугіллям і розпушуванню матеріалу, що сушиться. Вихідний вологий матеріал надходить у барабан по завантажувальному лотку 1. Переміщення матеріалу забезпечується обертанням барабана і його нахилом під кутом 3-5⁰ до горизонту. Вологий матеріал при русі розпушується, перемішується насадками і висушується від зіткнення з гарячими газами і нагрітою внутрішньою поверхнею барабана. Сухий матеріал видається з барабана через розвантажувальну камеру (на рис. не

показана). Відпрацьовані димові гази очищають від пилу послідовно у батарейному і мокрому пиловловлювачах і після очищення викидають в атмосферу.

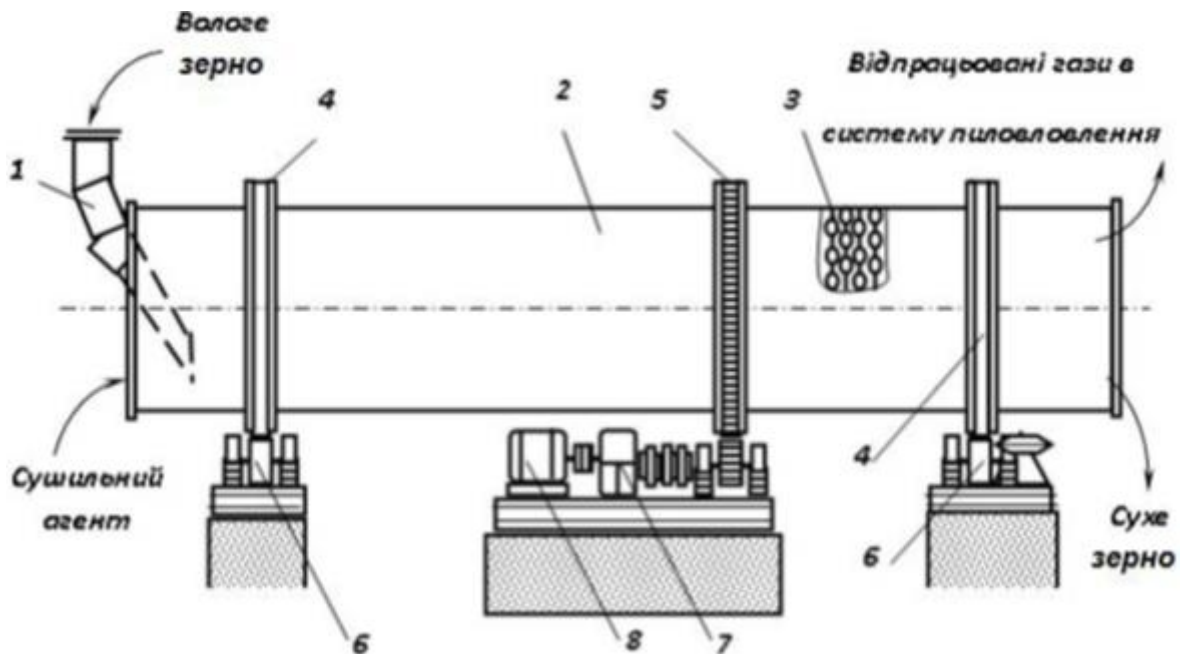


Рис. 1.5 - Загальний вигляд установки сушильного барабана

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

Барабанні сушарки з комбінованим обігрівом (рис. 1.6) знаходять застосування при сушінні термостійких матеріалів, так як процес здійснюється в протитечії з сушильним агентом і в контакті з гарячим повітрям.

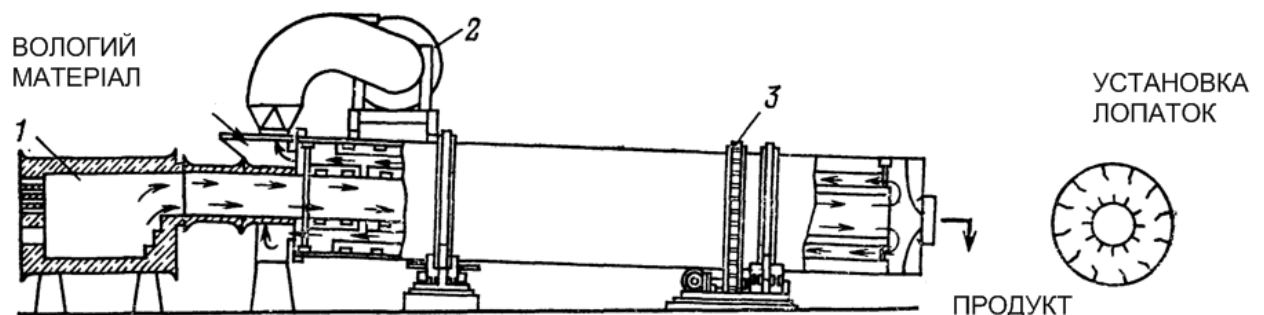


Рисунок 1.6 – Барабанна сушарка з комбінованим підведенням тепла

1 – топка; 2 – димосос; 3 - барабан

Висушуваний матеріал переміщається в кільцевому просторі між стінками барабана та центральної труби. Димові гази з топки 1 надходять всередину труби і віддають частину тепла матеріалу, що висушується через стінку. Потім гази надходять у кільцеве місце, вступаючи в контакт з матеріалом. Процес сушіння проходить інтенсивне, з малою витратою сушильного агенту і з мінімальним пиловиносом.

Барабанні сушарки з поперечним продуванням шару матеріалу агентом сушіння (рис. 1.7) можуть працювати при нижчих початкових температурах газу завдяки поперечному руху матеріалу та сушильного агенту.

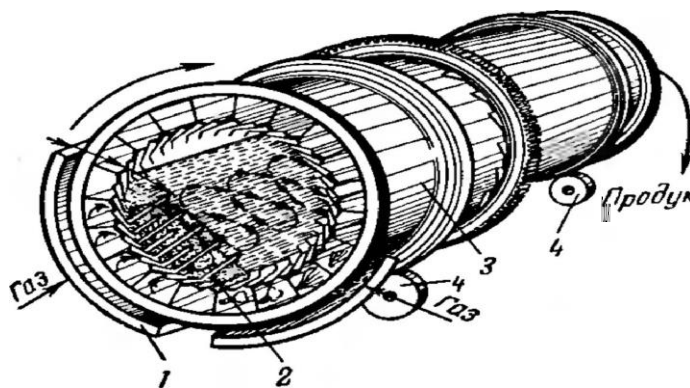


Рисунок 1.7 - Барабанна сушарка з поперечним продуванням шару матеріалу:

1 - газовий короб; 2 - лопатки; 3 - барабан; 4 - опорні ролики

У барабанних сушарках сушіння в більшості випадків проводиться топковими газами. Топкові гази отримують у спеціальних топках, і якщо вони мають високу температуру, для отримання сушильного агента з необхідною температурою їх розбавляють повітрям. При використанні рециркуляції сушильного агента необхідна установка спеціальних циклонів для очищення відпрацьованих газів від пилу. Іноді як сушильний агент замість топкових газів використовується повітря [3].

1.6 Характеристики сушарок

Сушарка СЗСБ-8А (рис. 1.8) призначена для сушіння насінного і фуражного зерна будь-якої початкової вологості та засміченості. Дану машину використовують у складі зерноочисних-сушарних комплексів КЗС-25Б.

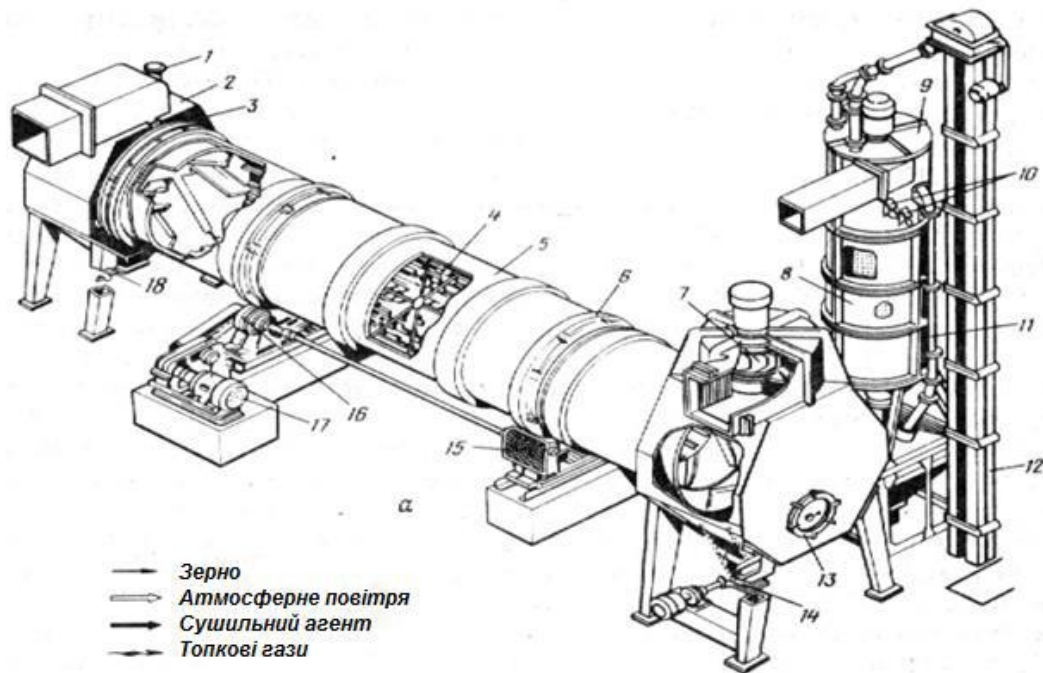


Рисунок 1.8 - Барабанна сушарка СЗСБ-8А

1 – перехідник; 2 – топки блок; 3 – завантажувальна труба; 4 – лопаті; 5 — кільце; 6 — хрестовина; 7 — полицка; 8 — сушильний барабан; 9 і 12 — вентилятори; 10 і 11 — циліндри; 13 і 14 — датчики рівня; 15 — конус; 16 і 20 — шлюзові затвори; 17 — норія; 18 – бункер; 19 — вивантажна камера; 21 — ролики; 22 – привідна станція

Барабанна зерносушарка СЗСБ-8А складається з топкового блоку 2, перехідника 1, сушильного барабана 8, вивантажної камери 19, вентилятора 9, охолоджувальної колонки, норії 17, приводної станції 22, повітрепроводів і паливної системи. Топковий блок призначений для спалювання рідкого палива і утворення теплоносія (суміш топкових газів з повітрям) з параметрами, необхідними для сушки. Блок складається з пальника, камери згорання, камери змішувача, відбивного екрану і автоматичної системи. Пальник забезпечений вентилятором і форсункою для розпилювання палива. Паливо подається у форсунку насосом з бака, встановленого за межами будівлі. Подачею палива управляє автоматика, за допомогою якої встановлюють і підтримують температуру теплоносія. Сушильний барабан включає шестисекційну хрестовину 6 і обичайки. На промінні хрестовини закріплені палички 7 для пересипання зерна. На внутрішній поверхні на початку і кінці барабана змонтовані лопаті 4, розташовані по гвинтових лініях. На вихідному кінці барабана встановлений

конусний патрубок, до торця якого приєднано підпірне кільце з люками. Обичайка барабана укладена в два кільця-бандажі 5, якими барабан спирається на приводні і підтримуючі ролики 21. Барабан приводиться в обертання приводною станцією 22, частота його обертання 8 обертів за хвилину. На даху вивантажної камери 19 встановлений вентилятор 9, засмоктує теплосій від топкового блоку. Внизу камера звужується, утворюючи вивантажний лоток, на якому змонтований шлюзовий затвор 20. Охолоджувальна колонка призначена для охолодження сировини після сушки і складається із зовнішнього 10 і внутрішнього 11 перфорованих циліндрів, вентилятора, шлюзового затвора 16 і автоматики для підтримки необхідного рівня сировини в кільцевій камері колонки. Робочий процес сушіння полягає в наступному: вологий матеріал, що подається по трубі 3 в завантажувальну камеру, висипається на гвинтові лопаті 4. Насіння поступають в барабан під дією теплоносія, рухомого усередині барабана від топкового блоку 2 до вентилятора 9, натиску вороха в зоні завантаження і гвинтових лопаток. Полички 7 захоплюють порції насіння, піднімають їх вгору і скидають вниз. Теплоносій, проходячи через барабан, пронизує насіння, що зсипається з поличок, і нагріває їх. В результаті нагріву волога з насіння випаровується, поглинається теплоносієм і віддається з сушарки. Відпрацьований теплоносій вентилятор 9 викидає в атмосферу. Кількість теплоносія, що проходить через барабан, регулюють за допомогою дроселя вентилятора залежно від критичної швидкості висушуваного насіння. Висушене зерно, безперервно вивантажуване шлюзовим затвором 20, поступає в норію 17 і завантажується зверху в охолоджувальну колонку. Холодне повітря, всмоктуване вентилятором 12 через отвори зовнішнього циліндра 10, проходить через шар зерна, охолоджує його і по внутрішньому циліндру 11 поступає у вентилятор. Шлюзовий затвор 16 безперервно вивантажує насіння з охолоджувальної колонки, тому зерно в колонці рухається вниз. Датчики 13 і 14 автоматично підтримують постійний рівень насіння в кільцевій камері охолоджувальної колонки. На технологічній схемі барабанної сушарки СЗСБ-8А (рис. 1.9) показано

рухи продукту через робочий простір зерносушарки, від завантажувальної камери до камери вивантаження просушеного продукту.

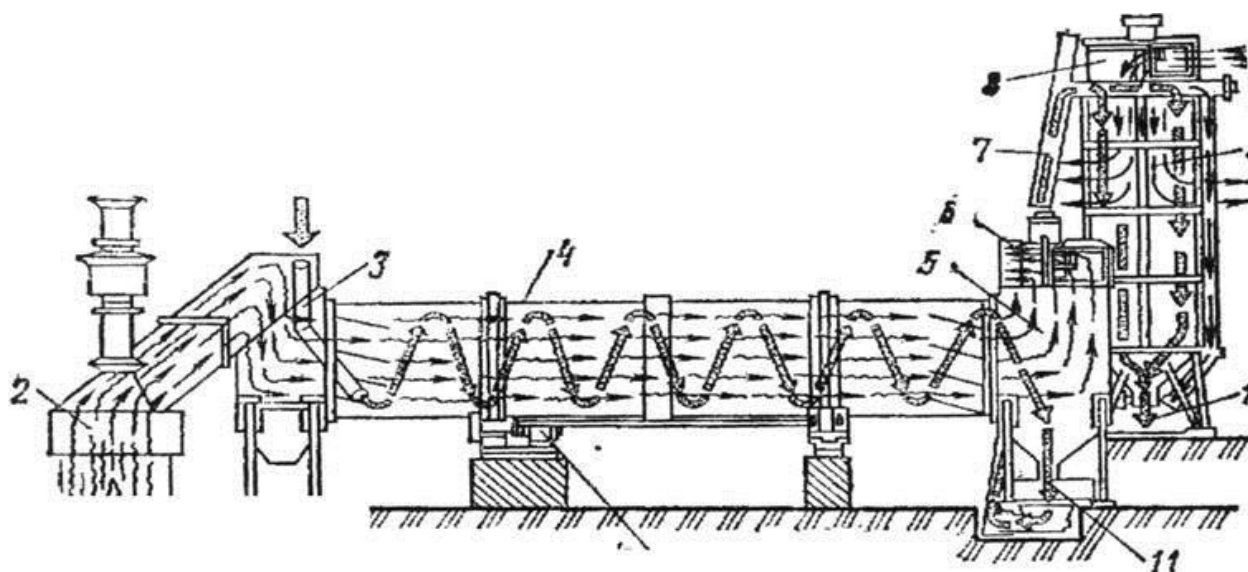


Рисунок 1.9 - Технологічна схема зерносушарки СЗСБ-8А

1 – топка, 2 – коробка змішувача, 3 – завантажувальна камера, 4 – барабан, 5 – завантажувальна камера, 6 і 8 – вентилятори, 7 – транспортер, 9 – охолоджувальна колонка, 10 – вихід сухого зерна, 11 – шлюзовий затвор, 12 – привід барабана.

Продуктивність сушарки при зниженні вогкості зерна з 20 до 14 % складає 2,8 т/год. Робочі органи приводяться в дію електродвигунами сумарною потужністю 38кВт. Питома витрата умовного палива 12,8 кг/т.

Зерносушарка барабанна СЗСБ-8А (рис. 1.10) є найбільш високошвидкісним пристроєм із усієї серії СЗСБ. Маючи подібні вузли з молодшою моделлю СЗСБ-8, вона більш ефективна. В літньо-осінній період, при зниженні вологості зерна з 20% до 14% продуктивність сушарки складає до 10 т/год. Також досягнуто нижча питома витрата палива, яка дорівнює 5,7 кг на т/год. Це стало можливим завдяки більшому об'єму сушильного барабана. Повний обсяг барабанної ємності в зерносушарці СЗСБ-8А становить 18 метрів кубічних, а зерновий об'єм 4,7 метра кубічних, що перевищує показники попередньої моделі більш ніж на 10% та 15% відповідно. При цьому за рахунок збільшення внутрішнього об'єму барабан модифікованої сушарки став мати і більшу масу, що вимагало збільшити потужність приводу барабана до 7,5 кВт. Сушарка забезпечує зниження вологості

зерна за один прохід до 6%. Габаритні розміри моделі СЗСБ-8А: висота 8 м, довжина 16м, ширина 6,5м.

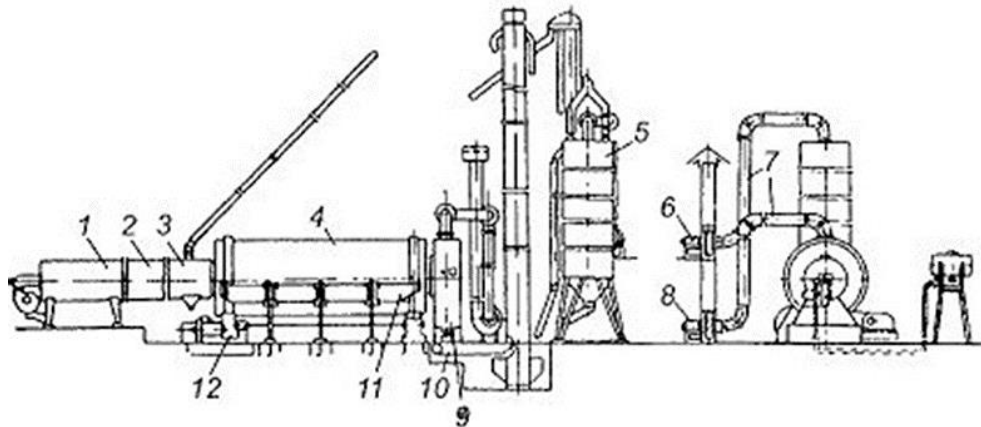


Рисунок 1.10 - Конструкція зерносушарки барабанної СЗСБ-8А

1 - топковий блок; 2 - перехідник; 3 - завантажувальна камера; 4 - сушильний барабан; 5 - колонка охолоджувальна; 6 - вентилятор; 7 - повітропроводи; 8 - вентилятор; 9 - розвантажувальна камера; 10 - транспортер; 11 - огороження барабана; 12 - привідна станція

Барабан має невеликий нахил горизонтальної осі. Регулюючи кут барабана можна змінювати швидкість просування насіння системою і як наслідок варіювати продуктивність барабанної сушарки. Частота обертання барабанної ємності становить 8 об/хв. Сировина через завантажувальну камеру надходить у барабан для просушки, внутрішня поверхня якого оснащена вигнутими лопатями. Обертання барабана забезпечує захоплення насіння та його пересипання з полиці на полицю. Агент сушіння надходить через завантажувальну камеру, обдує матеріал, що висушується, а потім витягується за допомогою вентилятора. Його температура знаходиться в діапазоні від 90 до 250 градусів за Цельсієм. Топка сушильного агрегату може працювати як на рідкому чи побутовому паливі, так і бути пристосованою до природного газу. Зерносушарка барабанна СЗСБ-8А працює за прямоточним принципом руху сушильного агента та сировини. У міру обертання барабана зерно, що висушується, поступово просувається до розвантажувального пристрою. Далі зернова маса потрапляє в охолоджувальну колонку, де переміщається між стінками циліндрів і обдувається атмосферним

повітрям зниження температури, а потім через шлюзовий затвор зерно витягується з сушарки [3].

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

2.1. Попередній розрахунок потужності електричного двигуна

Потужність приводного електродвигуна витрачається в більшій мірі на корисну роботу: підйом матеріалу на певну висоту, сповзаючи з якою, 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 опорним роликам тертя у приводному механізмі і тертя решт корпусу барабана про поверхні деталей ущільнювачів пристроїв.

Потрібна потужність на обертання барабана можна визначити за формулою:

$$P_n = \frac{1}{\eta} (P_1 + P_2) \text{кВт} \quad (2.1)$$

де P_1 - потужність, що витрачається на підйом матеріалу;

P_2 - потужність, що витрачається на подолання тертя в підшипниках опорних роликів і тертя бандажів по опорним роликам;

η - коефіцієнт, що враховує потужність, яка витрачається на подолання тертя у приводному механізмі і в ущільнюючих пристроях.

Просушуюча сировина розташовується не симетрично щодо вертикалі, що проходить через центр перетину, внаслідок чого, виникає постійно діючий і спрямований у бік, протилежний обертання барабана, момент сили G_M ваги матеріалу (рис. 2.1). Сила - це відстань від центру ваги матеріалу до вертикалі, що проходить через центр перетину барабана. Отже, потужність, необхідна для підйому матеріалу, дорівнює:

$$P_1 = \frac{1000 G_M v_0}{102} \quad (2.2)$$

або

$$P_1 = \frac{1000 S_M L Y_M v_0}{102} \quad (2.3)$$

де S_M - площа кругового сегменту, м²;

L - довжина корпусу, м;

Y_M - об'ємна вага матеріалу, т/м³;

v_0 - окружна швидкість центра ваги площі перетину матеріалу, м/сек.

Для визначення корисно витраченої потужності, необхідно знати кількість матеріалу знаходиться в барабані, його середню площу перетину, об'ємну вагу матеріалу і його кут природного відсікання при русі.

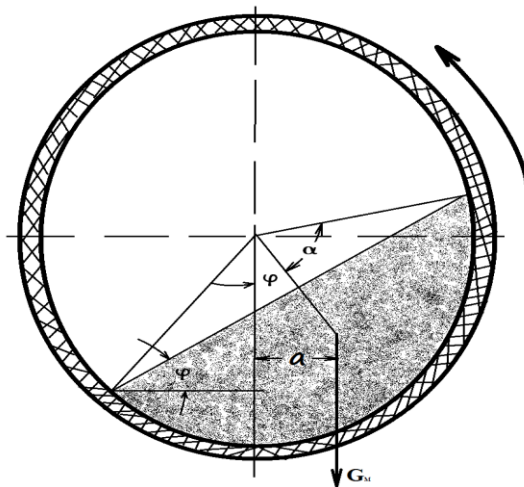


Рисунок 2.1 - Схема розташування сировини у барабані

У міру переміщення матеріалу уздовж барабана його фізичні властивості безперервно змінюються і у теплообмінників, а також у порога, якщо корпус барабана складений з частин різного діаметру, відбувається накопичення матеріалу. Визначення середньої швидкості його руху і площі перетину теоретичним шляхом пов'язано з дуже великими труднощами. Запропонування для цієї мети рівняння, не відрізняються потрібною точністю по результатам проведених по ним обчислень. Виходячи з цього, висновок рівняння визначального необхідну для підйому матеріалу потужність розраховуємо виходячи з практичних даних, де:

- коефіцієнт заповнення барабана матеріалом $k_z = 0,25$;
- середня об'ємна вага матеріалу $Y_M = 0,47$ т/м³;
- кут природного відсікання насіння соняшника при русі $\varphi = 42^\circ$.

Площа перетину матеріалу в барабані за формою є круговим сегментом, тому окружна швидкість його центра ваги при обертанні дорівнює:

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

Невідомою величиною в наведеному рівнянні є лише кут α , рівний половині центрального кута, що спирається на хорду кругового сегмента. Знаходимо його з рівняння:

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

Величина у цьому рівнянні виражає площу кругового сегмента.

Підставляючи в це рівняння замість S_M прийняту для неї числову величину, відповідну коефіцієнту заповнення $k_3 = 0,25$, отримуємо вираз:

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

$$0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2 = \frac{0,8^2}{2} \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 2\alpha}{180} - \sin 2\alpha \right) \quad (2.6)$$

звідки при $\alpha = 65^\circ$

$$v_0 = \frac{3,14 \cdot 8}{30} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{0,8^2 \cdot \sin^3 65^\circ}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2} \cdot \sin 42^\circ \quad (2.7)$$

при $v_0 = 0,283$

$$P_1 = \frac{1000 \cdot 0,5024 \cdot 8 \cdot 0,47 \cdot 0,283}{102} = 5,24 \text{ кВт.} \quad (2.8)$$

У порівнянні з тертям ковзання цапф роликів про вкладиші підшипників, тертя кочення бандажу по роликах незначне. Немає необхідності обчислювати його окремо, а доцільніше враховувати підвищенням коефіцієнта тертя ковзання. Потужність, необхідна для подолання тертя в підшипниках роликів та бандажів по роликах, може бути знайдена з рівняння:

$$P_2 = \frac{F_{тр} v_{ц}}{102} \text{ кВт.} \quad (2.9)$$

Відповідно, сила тертя і окружна швидкість цапф рівні:

$$F_{тр} = \frac{1000_{тр} f G}{\cos 30^\circ} = 1155, \quad (2.10)$$

$$v_{ц} = \frac{\pi r_{ц} n}{30} \cdot \frac{D_{б}}{D_{р}} \quad (2.11)$$

Підставивши в рівняння (2.9) наведені значення для сили тертя $F_{тр}$ окружної швидкості цапфи v_0 і зробивши скорочення, маємо:

$$P_2 = 1,19 \cdot f r_{ц} \cdot G_n \cdot \frac{D_{б}}{D_{р}} \quad (2.12)$$

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

$r_{ц}$ - радіус цапф роликів, м;

n - число оборотів барабана за хвилину;

$D_{б}$ - діаметр бандажів, м;

$D_{р}$ - діаметр опорних роликів, м;

$G_n = (G_1 + G_2)$ - загальна вага обертається барабана, т;

$G_1 = 8$ тонн - вага барабана;

$G_2 = 1,9$ тонн - вага сировини у барабані.

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

Для підшипників опорних роликів картерного типу з бронзовими вкладишами і безперервною подачею масла на цапфи рекомендується обирати коефіцієнт тертя рівним 0,02-0,04. З урахуванням тертя кочення бандажів по роликам, наведені значення необхідно підвищити до 0,03-0,06 [3].

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

Для визначення необхідної потужності для обертання барабана в розрахункове рівняння підставляють нормальне число обертів. Але при експлуатації барабан часто обертається з підвищеним числом оборотів, на що

потрібна підвищена потужність. У момент пуску барабана також необхідна потужність вище нормальної на подолання сили інерції обертового барабана. Тому, потужність електродвигуна барабана слід вибрати на 20-25% вище за ту, яка визначається за рівнянням [5].

Застосовуючи формули, виробляємо розрахунок потужності електродвигуна.

$$P_1 = \frac{1000 \cdot 0,5024 \cdot 8 \cdot 0,47 \cdot 0,283}{102}$$

$$P_1 = 5,24 \text{ кВт}$$

Розрахунок потужності тертя барабана на роликах і бандажах:

$$P_2 = 1,19 \cdot 0,03 \cdot 0,1 \cdot 9,9 \cdot 8 \cdot 5,7$$

$$P_2 = 1,611 \text{ кВт}$$

загальна потужність:

$$P_3 = \frac{1}{0,845} \cdot (5,24 + 1,611)$$

$$P_3 = 8,08$$

Визначена потужність необхідна для пуску електродвигуна, та враховується без маси насіння. Потужність порожнього барабана дорівнює:

$$P_{\text{п}} = \frac{1}{0,845} \cdot 5,24$$

Остаточну потужність двигуна отримуємо з урахуванням інерційної потужності барабана, яка на 20 – 25% вище за робочу потужність:

$$P_{\text{дв}} = 8,08 \cdot 1,2$$

$$P_{\text{дв}} = 9,7 \text{ кВт.}$$

Обираємо асинхронний загальнопромисловий трифазний електродвигун серії АІР 160S6 з короткозамкненим ротором.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики двигуна АІР 160 S6

Потужність	11 кВт
Частота обертання поля статора	1000 об/хв
Швидкість обертання вала	970 обертів
Тип	Асинхронний
Номинальний струм	24,5А

ККД	87,5%
Коефіцієнт потужності	0,78
Співвідношення моментів струму M_p/M_n	2,0
Співвідношення моментів сили M_{\max}/M_n	2,1
Відношення струму I_p/I_n	6,5
Момент інерції	0,07 кг·м ²
Діаметр валу	38 мм
Ковзання	3%
Вага	137,5 кг

З урахуванням ковзання номінальна частота обертання $n_{ном} = 970$ 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 (ІО) складається з асинхронного або синхронного електричного двигуна (М) та перетворювача частоти (ПЧ) (рис. 3.2).

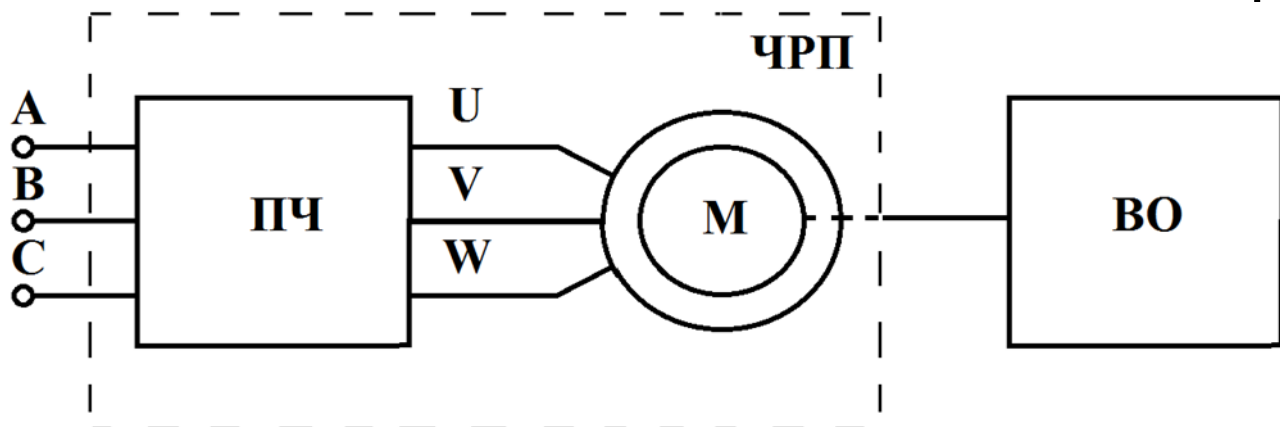


Рисунок 2.2 Структурна схема пропонованого частотно-регульованого приводу

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

Перетворювач частоти управляє електричним двигуном і є електронним статичним пристроєм. На виході перетворювача формується електрична напруга зі змінними амплітудою та частотою. Назва «частотно - регульований електропривод» обумовлена тим, що регулювання швидкості обертання двигуна здійснюється зміною частоти напруги живлення, що подається на 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 пояснюється, насамперед, розробкою та створенням перетворювачів частоти на принципово новій елементній базі, головним чином біполярних транзисторів із ізольованим затвором IGBT.

Зарубіжні фірми, зокрема Siemens, Fanuc, ABB та ін. застосовують частотне керування для вентиляторів, насосів горизонтальних та вертикальних роботах, транспортерах. Американські та англійські фірми широко використовують частотне управління приводами в нафтової та газової промисловості. Використовуються приводи, як з централізованим, і з індивідуальними перетворювачами. При подальших міркуваннях говоритимемо про трифазне частотно-регульованому електроприводі, так як він має найбільше промислове застосування.

2.2 Визначення моментів на валах приводу.

Момент, що обертає на барабані дорівнює:

$$M_B = \frac{9550 \cdot P_{II}}{n} \quad (2.13)$$

$$M_B = \frac{9550 \cdot 8,08}{8} = 9645,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Обертний момент на валу підвентцової шестерні:

$$M_{ш} = \frac{M_B}{\eta_1 I_{II}} \quad (2.14)$$

де I_{II} - передавальне число зубчастої передачі, приймаємо $I_{II} = 10$,

η_1 - ККД циліндричної передачі, приймаємо $\eta_1 = 0,95$

У чисельному значенні отримуємо:

$$M_{ш} = \frac{9645,5}{0,95 \cdot 10} = 1015,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{n1} = \frac{M_{ш}}{\eta_1 I_p} \quad (2.15)$$

1 - електродвигун; 2, 4 - муфти; 3 - редуктор; 5 - підвенцова шестерня; 6 - венцова шестерня; 7 - барабан.

2.3.1 Визначення передавального числа приводу барабану

Загальне передавальне число приводу визначаємо зі співвідношення.

$$I = \frac{n_{\text{ном}}}{n_B} \quad (2.17)$$

де n_B - частота обертання барабана, дорівнює 8 хв.

$$I = \frac{970}{8} = 121,25$$

2.3.2 Розподіл загального передатного числа приводу.

Для багатоступеневих передач:

$$I_1 \cdot I_2 \cdot I_3 \quad (2.18)$$

де I_1, I_2, I_3 - передавальні числа окремих ступенів.

Ураховуючи передбачену будову механізму, а також прагнучі забезпечити відповідність деталей приводу, зокрема діаметр підвенцової шестерні повинен вписуватися в розміри сторін торця редуктора.

Передатне число редуктора дорівнюватиме:

$$I_{\text{ред}} = \frac{I}{I_{\text{ц}}} \quad (2.19)$$

$$I_{\text{ред}} = \frac{121,25}{10} = 12,125$$

Частота обертання валу електродвигуна та швидкохідного валу редуктора становитиме:

$$n_{\text{ном}} = n_1 = 970 \text{ об/хв.} \quad (2.20)$$

Частота обертання тихохідного валу редуктора визначається:

$$n_2 = \frac{n_{\text{ном}}}{I_{\text{ред}}} \quad (2.21)$$

$$n_2 = \frac{970}{12.125} = 80 \text{ об/хв}$$

Частота обертання підвенцової шестерні $n_{\text{ш}} = n_2 = 80 \text{ об / хв.}$

Отримані значення частот обертання зведені в таблицю 2.2

Таблиця 2.2

Частоти обертання валів (барабана)

Вал електродвигуна $n_{ном}$, об/хв	Бистрохідний вал n_1 , об/хв	Тихохідний вал n_2 , об/хв	Підвенцова шестерня $n_{ш}$, об/хв	Барабан n_B , об/хв
970	970	80	80	8

2.3.3 Розрахунок допустимої контактної напруги

Допустиме контактне напруження визначається за залежністю:

$$\sigma_{HP1(2)} = \frac{\sigma_{HLim}}{S_H} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot K_L \cdot K_{xH}, \quad (2.22)$$

де σ_{HLim} - межа контактної витривалості зуба, відповідний еквівалентному числу циклів, МПа;

S_H - коефіцієнт безпеки, для зубчастих коліс з однорідною структурою матеріалу S_H дорівнює 1,1;

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

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

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

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

Межа контактної витривалості зуба, відповідний еквівалентному числу циклів:

$$\sigma_{HLim} = \sigma_{HLimb} \cdot K_{HL} \quad (2.23)$$

де σ_{HLimb} - допустиме контактне напруження, відповідне базовому числу циклів напружень;

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

Допустиме контактне напруження, відповідне базовому числу циклів напружень:

$$\sigma_{HLimb} = 1,8 \cdot H_{HB} + 67 \quad (2.24)$$

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

У чисельному значенні отримуємо:

$$\sigma_{HLimb1} = 1,8 \cdot \frac{269 + 302}{2} + 67 = 581 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{HLimb2} = 1,8 \cdot \frac{235 + 262}{2} + 67 = 514 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт довговічності при розрахунку на контактну витривалість:

$$K_{HL} = \sqrt{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}} \quad (2.25)$$

де N_{HO} - базове число циклів зміни напруг відповідне тривалій межі витривалості;

N_{HE} - еквівалентне число циклів зміни напруг.

Базове число циклів зміни напруг відповідне тривалого межі витривалості:

$$N_{HO} = 30 \cdot H_{HB}^{2,4} \quad (2.26)$$

$$N_{HO1} = 30 \cdot \left(\frac{269 + 302}{2}\right)^{2,4} = 2,35 \cdot 10^7$$

$$N_{HO2} = 30 \cdot \left(\frac{235 + 262}{2}\right)^{2,4} = 1,68 \cdot 10^7$$

При постійному навантаженні і зачепленні з одним колесом

$$N_{HE} = 60 \cdot L_h \cdot n, \quad (2.27)$$

де L_h - повне число годин роботи за розрахунковий термін служби, приймаємо

$L_h = 50000$ год;

n - частота обертів.

У чисельному значенні отримуємо:

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

$$N_{HE2} = 60 \cdot 50000 \cdot 8 = 2,4 \cdot 10^7$$

Враховуючі, що $N_{HE1} > N_{HO1}$, то $N_{HL} = 1$

$$N_{HL2} = \sqrt{\frac{1,68 \cdot 10^7}{2,4 \cdot 10^7}} = 0,84$$

Межа контактної витривалості зуба, відповідний еквівалентному числу циклів

$$\sigma_{HLimb1} = 581 \cdot 1 = 581 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{HLimb2} = 514 \cdot 1 = 514 \text{ МПа}$$

Підставляючи отримані значення в формулу (1.20) отримаємо:

$$\sigma_{HP1} = \frac{581}{1,1} \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 475 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{HP2} = \frac{535}{1,1} \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,84 = 368 \text{ МПа}$$

Для прямозубих коліс в якості σ_{HP} приймається допустима контактна напруга того зубчастого колеса, для якого воно менше. Таким чином $\sigma_{HP} = 368 \text{ МПа}$.

2.3.4 Визначення міжосьової відстані.

Визначаємо міжосьову відстань вінцевих зачеплень за формулою:

$$\alpha_{\omega} = K_{\alpha} \cdot (I + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{III} \cdot K_{H\beta}}{I \cdot \psi_{ba} \cdot T_{HP}^2}} \quad (2.28)$$

де T_{III} - обертаючий момент на шестірні;

$K_{H\beta}$ - коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині;

K_{α} - допоміжний коефіцієнт, для прямозубих передач, $K_{\alpha} = 490 \text{ МПа}$;

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

Коефіцієнт $K_{H\beta}$ вибираємо в залежності від відносної ширини зубчастого вінця шестерні ψ_{ba} :

$$\psi_{bd} = \frac{\psi_{ba} \cdot (i+1)}{2} \quad (2.29)$$

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

Тоді відповідно до $K_{H\beta}=1,09$

Значення міжосьової відстані за формулою (3.51):

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

Отримане значення округляємо до найближчого стандартного значення $\alpha_{\omega}=1000\text{мм}$.

2.4 Визначення модуля передачі

Значення модуля m для поліпшених коліс визначається з виразу:

$$m = (0,01 \dots 0,02) \cdot \alpha_{\omega} \quad (2.30)$$

$$m = 1,01 \cdot 1000 = 10$$

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

Сумарне число зубців

$$Z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot \alpha_{\omega} \cdot \cos \beta}{m} \quad (2.31)$$

$$Z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot \cos 0}{10} = 200 \text{ шт} \quad (2.32)$$

Кількість зубів шестерні:

$$Z_1 = \frac{Z_{\Sigma}}{i_{ц}+1} \geq Z_{1min} \quad (2.33)$$

$$Z_1 = \frac{200}{10 + 1} = 18,1 \text{ шт}$$

Значення Z_1 округляємо в найближчу сторону до цілого числа, $Z_1 = 18$.

Число зубів колеса визначаємо за формулою

$$Z_2 = Z_{\Sigma} - Z_1 \quad (2.34)$$

$$Z_2 = 200 - 18 = 182$$

Знаходимо фактичне передавальне число:

$$I_{\phi} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (2.35)$$

$$I_{\phi} = \frac{182}{18} = 10,11$$

Відхилення фактичного передавального від номінального

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

Визначаємо ділительний діаметр шестерні:

$$d_1 = Z_1 \cdot \frac{m}{\cos\beta} \quad (2.36)$$

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

Ділительний діаметр колеса:

$$d_2 = Z_2 \cdot \frac{m}{\cos\beta} \quad (2.37)$$

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

Діаметр початкової окружності шестерні:

$$d_{\omega 1} = \frac{2 \cdot a_{\omega}}{I_{\psi} + 1} \quad (2.38)$$

$$d_{\omega 1} = \frac{2 \cdot 1000}{10 + 1} = 181,8 \text{ мм}$$

$$d_{\omega 2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 10}{10 + 1} = 1818 \text{ мм}$$

Діаметр окружності вершин шестерні:

$$d_{a1} = d_1 + 2(1 + x_1 - y)m \quad (2.39)$$

де y - коефіцієнт сприйманого зсуву;

a - ділительна міжосьова відстань.

$$y = -\frac{a_{\omega} - a}{m} \quad (2.40)$$

$$y = -\frac{1000 - 100}{10} = 0$$

Враховуючі коефіцієнти зміщення підвенцової шестерні $x_1 = 0,3$; венцової шестерні $x_2 = -0,3$

$$d_{a1} = 180 + 2 \cdot (1 + 0,3 - 0) \cdot 10 = 206 \text{ мм}$$

діаметр окружності вершин колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2(1 + x_2 - y)m \quad (2.41)$$

$$d_{a2} = 1820 + 2 \cdot (1 - 0,3 - 0) \cdot 10 = 1834 \text{ мм.}$$

Діаметр западин зубів шестерні:

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot (1,25 - x_1) \cdot m \quad (2.42)$$

$$d_{f1} = 180 - 2 \cdot (1,25 - 0,3) \cdot 10 = 161 \text{ мм}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot (1,25 - x_2) \cdot m \quad (2.43)$$

$$d_{f2} = 1820 - 2 \cdot (1,25 + 0,3) \cdot 10 = 1789 \text{ мм}$$

Робоча ширина вінця шестерні:

$$b_\omega = \psi_{ba} \cdot a_\omega \quad (2.44)$$

$$b_\omega = 0,15 \cdot 1000 = 150 \text{ мм.}$$

висота зуба:

$$h = 0,5(d_{a1} - d_{f1}) \quad (2.45)$$

$$h = 0,5(206 - 161) = 22,5 \text{ мм.}$$

Визначаємо кружну швидкість шестерні за формулою:

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad (2.46)$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 180 \cdot 80}{60 \cdot 1000} = 0,75 \text{ м/с}$$

модуль зачеплення $m = 10$;

число зубів: підвенцової шестерні $Z_1 = 18$; венцової шестерні $Z_2 = 182$.

Нормальний вихідний контур по СТ РЕВ 308 – 76:

ділильний діаметр шестерні: підвенцової $d_1=180\text{мм}$; венцової $d_2=1820\text{мм}$;

початковий діаметр підвенцової шестерні $d_{\omega 1}=181,8\text{мм}$;

венцової шестерні $d_{\omega 2}=1818\text{мм}$;

діаметр вершин зубів шестерні: підвенцової $d_{a1} = 206 \text{ мм}$;

венцової $d_{a2} = 1834\text{мм}$;

діаметр западин зубів: підвенцової шестерні $d_{f1} = 161\text{мм}$;

венцової шестерні $d_{f2} = 1789\text{мм}$;

міжосьова відстань $a_{\omega} = 1000\text{мм}$;

ширина зубчастого вінця $b_{\omega} = 150\text{мм}$;

висота зуба приймаємо $h = 22\text{мм}$;

ступінь точності 9.

2.5 Розрахунок механічних характеристик

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

Механічні характеристики двигуна і виробничого механізму:

номінальна частота обертання

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 970}{30} = 101,53 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (2.48)$$

синхронна частота обертання

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,67 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.49)$$

номінальний момент

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{11000}{101,53} = 108,34 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.50)$$

критичне ковзання

$$S_k = S_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,03 \cdot (2,1 + \sqrt{2,1^2 - 1}) = 0,1184 \quad (2.51)$$

критичний момент асинхронного двигуна

$$M_k = \lambda \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,1 \cdot 108,34 = 227,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.52)$$

залежність ковзання від частоти обертання

$$S(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} \quad (2.53)$$

рівняння механічної характеристики АД (формула Клосса)

$$M(\omega) = -\frac{2 \cdot M_k}{\frac{S(\omega)}{S_k} + \frac{S_k}{S(\omega)}} \quad (2.54)$$

Різні виробничі механізми мають різні механічні характеристиками. Деякі узагальнення можна отримати, якщо скористатися наступною емпіричною формулою:

$$M_c = M_0 + (M_{\text{с.НОМ}} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}}\right)^x \quad (2.55)$$

де M_c - момент опору виробничого механізму при швидкості ω ;

M_0 - момент тертя в рухомих частинах механізму;

$M_{\text{с.НОМ}}$ - момент опору при номінальній швидкості $\omega_{\text{НОМ}}$;

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

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

Пуск двигуна барабанної сушарки відбувається при не заповненому барабані тому

$$M_{\text{с.НОМ.Н}} = 68,35$$

Пускові моменти АД загальнопромислових серій на природній механічній характеристиці невеликі і становлять (0,3 - 2,0) M_n . Струми ротора і статора надзвичайно великі і досягають (5 - 10) I_n .

Визначаємо пусковий момент двигуна:

$$M_{\Pi} = K_{\Pi} \cdot M_{\text{НОМ}} = 1,7 \cdot 108,34 = 184,178 \text{ Нм.} \quad (2.56)$$

пусковий струм двигуна:

$$I_n = K_i \cdot I_{\text{НОМ}} = 6,5 \cdot 24,42 = 158,73 \text{ А} \quad (2.57)$$

$$\text{при } \omega=0 \quad s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{0 \text{ рад/с}}{104,67 \text{ рад/с}} = 1 \quad (2.58)$$

$$\text{при } \omega=10 \quad s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{10 \text{ рад/с}}{104,67 \text{ рад/с}} = 0,9045 \quad (2.59)$$

$$\text{при } \omega=20, \quad s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{20 \text{ рад/с}}{104,67 \text{ рад/с}} = 0,809 \quad (2.60)$$

$$\text{при } \omega=30, \quad s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{30 \text{ рад/с}}{104,67 \text{ рад/с}} = 0,7134 \quad (2.61)$$

$$\text{при } \omega=60, \quad s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{60 \text{ рад/с}}{104,67 \text{ рад/с}} = 0,427 \quad (2.62)$$

$$\text{при } \omega=70, \quad s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{70 \text{ рад/с}}{104,67 \text{ рад/с}} = 0,331 \quad (2.63)$$

$$\text{при } \omega=90, \quad s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{90 \text{ рад/с}}{104,67 \text{ рад/с}} = 0,14 \quad (2.64)$$

$$\text{при } \omega=100, \quad s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{100 \text{ рад/с}}{104,67 \text{ рад/с}} = 0,045 \quad (2.65)$$

$$\text{при } \omega=104,67, \quad s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{104,67 \text{ рад/с}}{104,67 \text{ рад/с}} = 0 \quad (2.66)$$

Таблиця 3.3

Розраховані дані механічної характеристики двигуна

ω	$M_{\text{д}}(\omega)$	$M_{\text{с}}(\omega)$	$M_{\text{м}}(\omega)$
0	184,1072	68,35	115,7572
25	168,8057	68,35	100,4557
40	165,0309	68,35	96,68094
50	166,5043	68,35	98,15425
80	182,3424	68,35	113,9924
92,32	227,5	68,35	159,15
93	227,1398	68,35	158,7898
95	220,9225	68,35	152,5725
99	173,072	68,35	104,722
100	151,2857	68,35	82,93567
101	125,2391	68,35	56,88907
102	95,23261	68,35	26,88261

103	61,92705	68,35	-6,42295
103,3	51,43504	68,35	-16,915
103,6	40,76794	68,35	-27,5821
103,9	29,96046	68,35	-38,3895
104,2	19,04891	68,35	-49,3011
104,5	8,07079	68,35	-60,2792
104,7	0	68,35	-68,35

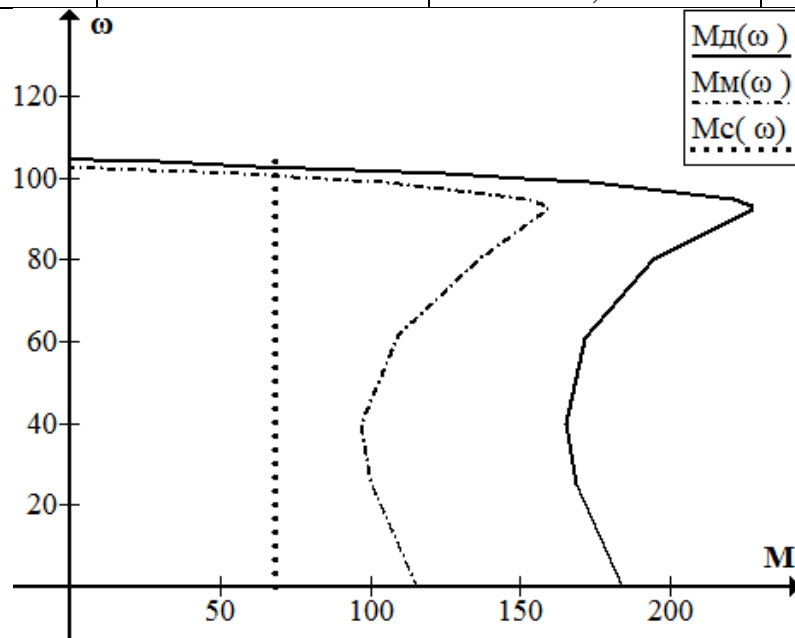


Рисунок 2.4 Механічні характеристики АД і механізму.

Номінальні втрати потужності для двигуна АІР160S6:

$$\Delta P_H = P_H \cdot \frac{1-\eta_H}{\eta_H} \quad (2.67)$$

$$\Delta P_H = 1571 \text{ Вт}$$

Змінні втрати потужності при $\alpha = 0$:

$$\Delta P_v = \frac{\Delta P_H}{\alpha+1} = 982,14 \text{ Вт} \quad (2.68)$$

$$R_1 = \frac{\Delta P_v - M_H(\omega_0 - \omega_H)}{3_{1H}^2} = 0,3590 \text{ м} \quad (2.69)$$

$$X_k = \sqrt{\left(\frac{3 \cdot U_{\phi H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot M_H} - R_1\right) - R_1^2} = 2,665 \text{ Ом} \quad (2.70)$$

Номінальне ковзання:

$$S_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} = 0,03 \quad (2.71)$$

$$R'_2 = \frac{M_H - (\omega_0 - \omega_H) \cdot [(R_1 \cdot \frac{R'_2}{S_H}) + X_K^2]}{3 \cdot U_{\Phi H}^2} \quad (2.72)$$

Втрати потужності в роторі в номінальному режимі:

$$\Delta P_{2H} = M_H \cdot (\omega_0 - \omega_H) = 340,206 \text{ Вт} \quad (2.73)$$

Відповідно, отримуємо:

$$R'_2 = \frac{340,206 \cdot [(0,359 + \frac{R'_2}{0,03})^2 + 2,665^2]}{3 \cdot 220^2}$$

Спростуємо та отримуємо:

$$2,603R_2'^2 - 0,9439R_2' + 0,0169 = 0$$

Знаходимо корні квадратного рівняння:

$$R_{2_1}' = 0,318R_{2_2}' = 0,019$$

Приймаємо значення $R_2' = 0,3668$

Струм ротора:

$$I'_{2H} \sqrt{\frac{\Delta P_{2H}}{3 \cdot R_2'}} = 11,95 \text{ А} \quad (2.74)$$

Побудова ЕМХ при f рівній 10, 25, 50, 60 Гц. Використовуємо формули:

$$\omega_1 = \omega_0 \cdot \frac{f}{50} \quad (2.75)$$

$$S_K = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_K \cdot \frac{f}{50})^2}} \quad (2.76)$$

$$\omega_K = \omega_1 \cdot (1 - S_K) \quad (2.77)$$

$$M_K = \frac{3 \cdot (U_{\Phi H} \cdot \frac{f}{50})^2}{2 \cdot \omega_1 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_K \cdot \frac{f}{50})^2}]^2} \quad (2.78)$$

$$M_{\Pi} = \frac{3 \cdot (U_{\phi H} \cdot \frac{f}{50})^2}{\omega_1 \cdot [(R_1 + R_2')^2 + (X_K \cdot \frac{f}{50})^2]} \quad (2.79)$$

$$M = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + s_K)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2a \cdot s_K} \quad (2.80)$$

$$\alpha = \frac{R_1}{R_2'} = 0,044. \quad (2.81)$$

Розраховані дані наведені у рисунку 2.4 та в таблиці 2.5, 2.6 і 2.7

Рисунок 2.4 Механічні характеристики АД при зміні частоти за законом

$$U/f = const.$$

Таблиця 2.5

Розрахункові дані для побудови графіків MX

s	M(10Гц)	M(25Гц)	M(50Гц)	M(60Гц)
0,0001	0,08	0,19	0,38	0,46
0,002	6,91	7,68	7,68	9,22
0,01	74,7	56,7	38,15	45,6
0,02	137,9	74,7	74,7	88,5
0,04	183,4	137,9	137,9	158,4
0,07	211,02	163,03	199,28	214,7
0,1	224,2	219,15	224,45	227,45

0,118	227,4	227,4	227,4	208,8
0,22	163,7	216,9	218,6	177,5
0,5	148,3	208,7	167,5	157,23
0,8	122,05	176,28	170,7	168,5
1	112,9	167,5	184,13	186,11

Таблиця 2.6

Розрахунок даних для побудови M_X при $f = 10, 25, 50, 60$ Гц

f	$U\phi'$	ω_1	S_K	ω_K	M_K	M_{II}
10	44	20,94	0,59	8,54	227,4	112,9
25	110	52,36	0,23	39,9	227,4	167,5
50	220	104,72	0,118	92,3	227,4	184,1
60	264	125,66	0,098	113,2	227,4	186,1

Таблиця 2.7

Розрахункові дані для побудови графіків M_X

s	M(10Гц)	M (25Гц)	M (50Гц)	M (60Гц)
0,0001	0,08	0,19	0,38	0,46
0,002	6,91	7,68	7,68	9,22
0,01	74,71	56,72	38,15	45,64
0,02	137,94	74,71	74,71	88,57
0,04	183,42	137,94	137,94	158,39
0,07	211,02	163,03	199,28	214,68
0,1	224,24	219,15	224,24	227,45
0,1184	227,45	227,45	227,45	208,82
0,22	163,77	216,98	218,66	177,50
0,5	148,35	208,77	167,51	157,23
0,8	122,05	176,28	170,70	168,59
1	112,96	167,59	184,13	186,11

2.6 Розрахунок динамічного режиму електричного приводу

Розраховуємо приведенний момент інерції системи «Електродвигун - робоча машина» щодо валу електродвигуна: φ

$$J = K_2 \cdot (J_{\text{дв}} + J_m \cdot I_{\text{передат}}) \quad (2.82)$$

$$J = 1,2 \cdot \left(0,123 + 3168 \cdot \frac{1}{121} \right) = 25,64$$

де $K_2 = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує момент інерції редуктора між електродвигуном і валом робочої машини. Знаходимо моменти інерції для електродвигуна і робочої машини. За каталожними значенням махового моменту визначаємо:

$$J_{\text{дв}} = 0,123 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.83)$$

$$J_{\text{р.м}} = \frac{m \cdot R^2}{2} = \frac{8000 \cdot 0,8^2}{2} = 2560 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.84)$$

де m - маса барабана сушарки;

R - радіус барабана.

Використовуючи побудовані механічні характеристики електродвигуна $M_{\text{д}} = \varphi_I(\omega)$, робочої машини $M_{\text{с}} = \varphi_I(\omega)$, графічно визначаються значення динамічного моменту рівні різниці:

$$M_{\text{д}} - M_{\text{с}} = M_{\text{дин}} \quad (2.85)$$

Графік динамічного моменту розбивається на ряд ділянок по осі ω , для яких динамічний момент можна прийняти постійним. Точність тим вище, чим на більшу кількість ділянок розділений графік динамічного моменту. Отримані на окремих ділянках значення динамічних моментів відкладаються вгору по осі ω від початку координат (рисунок 3.5). Для першої ділянки виходить відрізок OB . Крапку B з'єднують з точкою A , яка розташована від початку координат на відстані, рівному в масштабі величині моменту інерції системи J . Паралельно AB проводять пряму OC з початку координат. Пряма OC характеризує шукану функцію $\omega = f_1(t)$ для першого інтервалу $\Delta\omega$. Повна тривалість пуску дорівнює сумі інтервалів. Провівши

аналогічне побудове для всіх наступних ділянок, по результуючої кривої визначається шукане час пуску електроприводу $t_{\text{п}}$.

Використовуючи побудовані механічні характеристики електродвигуна робочої машини і динамічного (надлишкового) моменту, можна без побудови функції $\omega = f_1(t)$ аналітично розрахувати шукане час пуску приводу (t_n).

Ціна ділення:

$$t = \frac{M_{\text{скр}} \cdot n_{\text{проп}}}{J} = 5,8 \text{ с.} \quad (2.86)$$

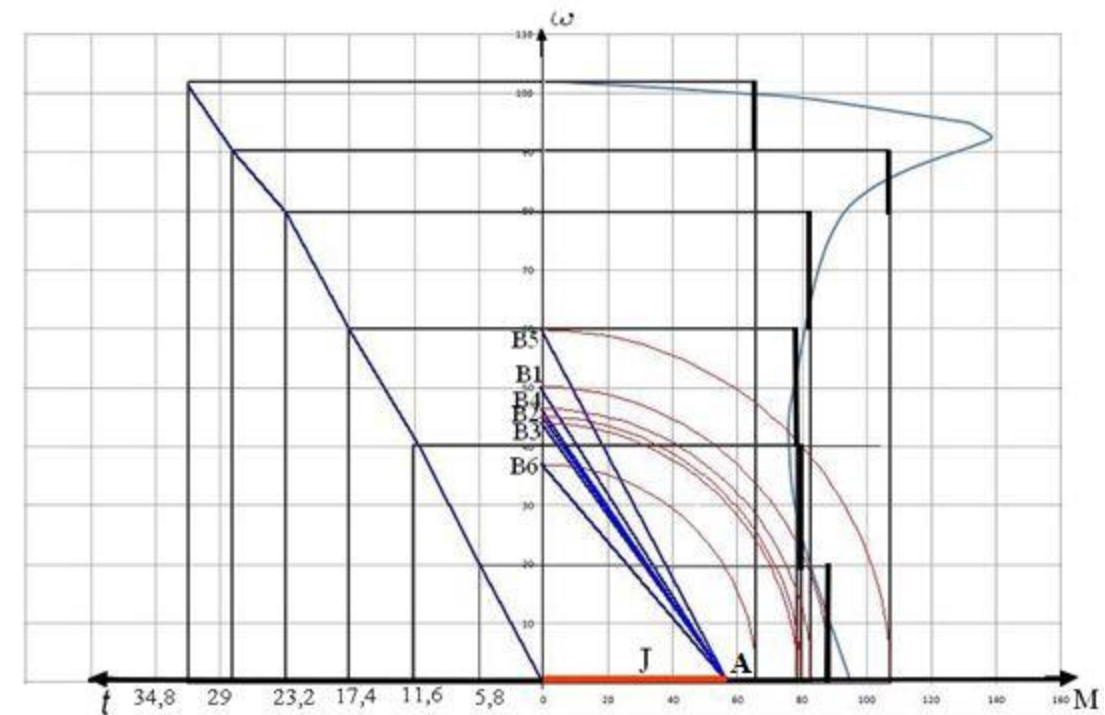


Рисунок 3.5 Графоаналітичне рішення рівняння руху електроприводу

Тривалість розгону електроприводу на кожному інтервалі частот обертання розраховують за висловом:

$$\Delta t_i = J \cdot \frac{\Delta \omega_i}{M_{\text{дин}}} \quad (2.87)$$

Повна тривалість пуску дорівнює сумі часткових тривалостей t

$$t_n = J \sum_{i=1}^m \frac{\Delta \omega_i}{M_{\text{дин}}} \quad (2.88)$$

$$t_n = 25,54 \cdot \frac{20}{88} + 25,54 \cdot \frac{20}{80} + 25,54 \cdot \frac{20}{79} + 25,54 \cdot \frac{20}{82} + 25,54 \cdot \frac{10}{109} + 25,54 \cdot \frac{13}{66} = 32.26$$

де $M_{\text{дин}}$ - середній динамічний момент на i ділянці характеристики, приймається постійним, Нм.

2.6.1 Розрахунок втрат енергії під час пуску і гальмуванні

Втрати енергії при пуску асинхронного електродвигуна визначаються електричними втратами енергії в його обмотках, які прямо пропорційні квадрату сили струму. Втрати енергії при пуску асинхронного електродвигуна з навантаженням (Дж) розраховуємо за формулою:

$$\Delta W_1 = 0,81 \cdot \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n \cdot (1 + \alpha)} \right) \cdot P_n \cdot K_i^2 \cdot t_n \quad (2.89)$$

$$\Delta W_1 = 0,81 \cdot \left(\frac{1 - 0,875}{0,875 \cdot (1 + 0,6)} \right) \cdot 11000 \cdot 6,5^2 \cdot 32,26 = 1084 \text{ кДж}$$

де $t_n=32,26$ - тривалість пуску електродвигуна, с;

K_i - кратність пускового струму асинхронного електродвигуна;

α - коефіцієнт рівний відношенню постійних втрат потужності двигуна до змінних, приймаємо $\alpha = 0,6$.

Визначаємо час самогальмування двигуна і будуємо графік залежності швидкості від часу:

$$t_{c.m} = \frac{J \cdot \omega_0}{M_c} = \frac{25,54 \cdot 101,53}{68,35} = 37,94 \text{ с} \quad (2.90)$$

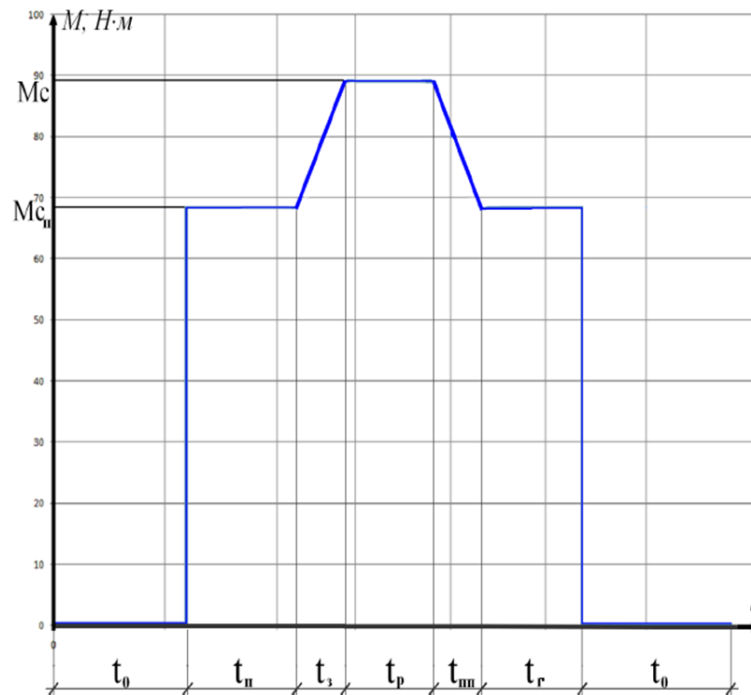


Рисунок 2.6 - Навантажувальна діаграма барабанної сушарки

де t_0 - час простою барабанної сушарки, (профілактичні роботи);

t_n – час пуску порожнього барабана (32,26 с);

t_z - завантаження насіння, (згідно з технологічним процесом);

t_p - час роботи (тривалий режим);

t_{mm} - припинення подачі насіння;

t_r - час гальмування. (37,94 с).

Втрати енергії при частотному пуску асинхронного електродвигуна з навантаженням (Дж) розраховуються за формулою:

$$\Delta W_1 = \sum 0,81 \cdot \left(\frac{1-\eta_H}{\eta_H \cdot (1+\alpha)} \right) \cdot P_H \cdot k_i^2 \cdot \Delta t_n \quad (2.91)$$

де Δt_n - тривалість пуску електродвигуна при не незмінній частоті, с;

$k_i = \frac{I}{I_{ном}}$ - кратність пускового струму асинхронного електродвигуна;

α - коефіцієнт, який дорівнює відношенню постійних втрат потужності двигуна до змінних, приймаємо $\alpha = 6,0$.

Таблиця 2.8

Розрахунок втрат енергії ΔW_1 при частотному пуску на кожному інтервалі часу

t	Рспожив	U_{ϕ}	КПД	I	ΔW_1
0	1697,44	39,6	0,34	53,5	3623
1	1924,45	44	0,41	45,8	2654
2	2151,46	48,4	0,46	41,1	2140
3	2378,46	52,8	0,51	38	1826
4	2605,47	57,2	0,54	35,7	1616
5	2832,47	61,6	0,58	34	1466
6	3059,48	66	0,61	32,7	1354
7	3286,	70,4	0,63	31,7	1268
8	3513,49	74,8	0,65	30,8	1200
9	3740,5	79,2	0,67	30,1	1144
10	3967	83,6	0,69	29,5	1098

Втрати потужності при частотному пуску становлять $\Delta W_1 = 45,5$ кДж при прямому пуску (як розраховано раніше) $\Delta W_1 = 1084$ кДж.

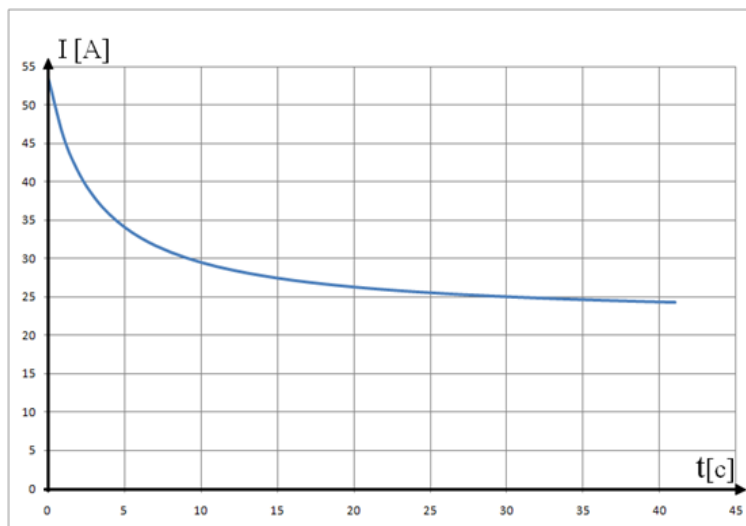


Рисунок 2.7 -Графік залежності пускового струму від часу

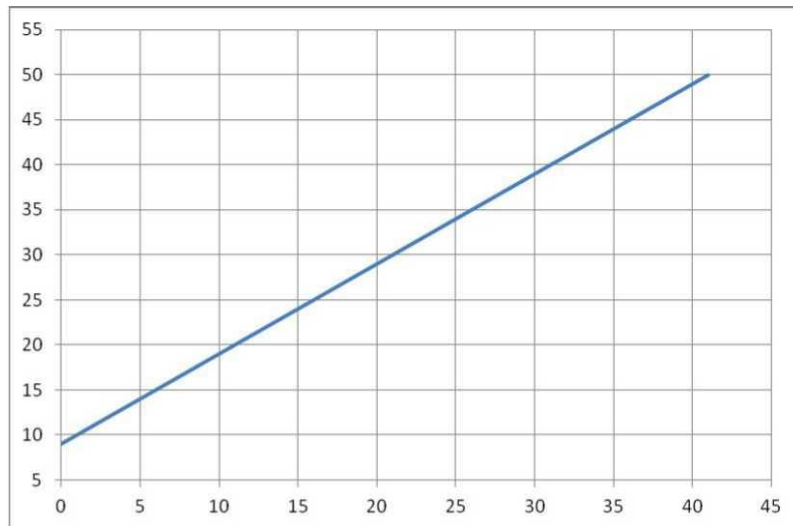


Рисунок 2.8 Графік залежності частоти від часу пуску

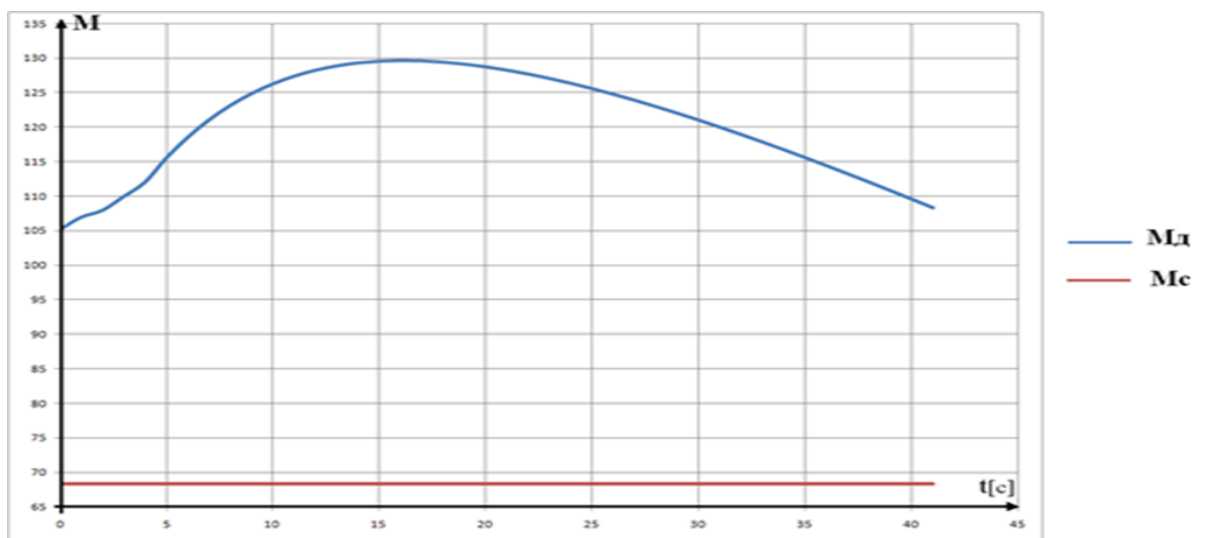


Рисунок 2.9 - Графік залежності Mc і Md от часу при частотному пуску

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АПАРАТУРИ КЕРУВАННЯ

3.1 Вибір перетворювача частоти

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 і частоти необхідні для роботи двигуна в заданій точці, зводиться до уточненню можливості забезпечення перетворювача рівня напруги і частоти при різних навантаженнях і коливаннях напруги мережі живлення. При живленні асинхронного двигуна від перетворювача частоти в процесі перетворюється ся

напруга промислової частоти. В напрузі регулювання амплітуди і регулювання частоти виникають втрати напруги і потужності перетворювача. Як правило, перетворювач має внутрішні зворотні зв'язки, і при зміні навантаження двигуна вихідна напруга і частота практично не змінюються. Виходячи з цього в подальшому напругу і частоту на статорі електродвигуна будемо поєднувати незалежними від навантаження. Синхронна швидкість двигуна залежить від частоти живильної мережі і числа пар полюсів.

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{r} \quad (3.1)$$

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

Не залежить від частоти також :

$$\Delta\omega_\varepsilon = \omega_0 - \omega_\varepsilon = \text{const} \quad (3.2)$$

Це дозволяє в розрахунках використовувати прийом паралельного перенесення природної механічної характеристики. При цьому природна характеристика перемістяться уздовж осі « ω » і встановлюються в токах $W_{\text{зад}}$, $M_{\text{зад}}$.

З паспортних даних перетворювачів частоти слід, що:

$$I_{\text{max.пр}} = 15000I_{\text{н}}$$

Номінальний струм перетворювача частоти повинен бути не менше:

$$I_{\text{пч}} = \frac{I_{\text{maxdv}}}{1,5} = \frac{24,42}{1,5} = 16,28 \text{ А} \quad (3.3)$$

За $I_{пч}$ вибирається перетворювач частоти з урахуванням вимоги технічного завдання. Потужність перетворювача частоти повинна перевищувати потужність двигуна на 20%, тоді:

$$P_{пч} = 1,2 \cdot 11 = 13,2 \text{ кВт.}$$

Обираємо перетворювачі частоти Siemens моделі SINAMICS V20



Рисунок 3.1 Зовнішній вигляд перетворювача частоти SINAMICS V20

Таблиця 3.1

Характеристики частотного перетворювача SINAMICS V20

Модель	Потужність	Струм	Кількість фаз/напруга на вході	Частота живлення	Число/тип аналогових входів	Число/тип аналогових виходів
SINAMICS V20	15,0кВт	31А	3-ф/380 В	50/60Гц	2(0-5(10)V або 0(4)-20mA)	1 (0-10V або 0(4)-20mA)

Перевірочний розрахунок з умови, що перетворювач частоти забезпечує перевантажувальний пусковий момент 136% від номінального.

Max момент на валу двигуна AIP160S6

$$M_{136\%} = 1,36 \cdot M_{\text{НОМ}} \cdot \left(\frac{I_{\text{НОМ}}}{I_{dv}} \right) = 1,36 \cdot 108,3 \cdot \frac{32}{24,42} = 193 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.4)$$

де $I_{\text{НОМ}}$ - номінальний струм перетворювача частоти, дорівнює 32 А;

I_{dv} - номінальний струм двигуна, дорівнює 24,42 А.

Виконується умова:

$$M_{136\%} = 193 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 95,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3.2 Вибір апаратури керування

Поряд з апаратами ручного управління широке застосування получила релейно-контактна апаратура, що дозволяє управляти електроприводами та іншими електроустановками дистанційно за допомогою кнопок управління. Насамперед до цієї апаратури відносяться магнітні пускачі і контактори.

Частотний перетворювач SINAMICS V20, якій ми обрали, може оснащуватися як місцевим так і дистанційним пультом управління. Пульт місцевого управління, розміщений на лицьовій панелі блок, містить кнопки управління і настройки параметрів роботи, світлодіоди для відображення режимів роботи і п'ятирозрядний цифровий індикатор. Натискання будь-якої кнопки на пульті, якщо команда прийнята, відображається зміною стану відповідних світлодіодів, розташованих поруч з кнопкою.

3.3 Схема вмикання частотного перетворювача

Автоматичний вимикач при подачі напруги на інвертор автоматичний може захистити ланцюг електропостачання. Реактор змінного струму (застосування реактора змінного струму) здатне погасити вищі гармоніки в мережі на вході перетворювача частоти і поліпшити коефіцієнт реактивної потужності перетворювача. Застосування реактора змінного струму рекомендується в наступних випадках:

- якщо потужність джерела в 10 і більше разів перевищує потужність інвертора;

- якщо тиристорні перемикачі та компенсатори реактивної потужності підключені до того ж джерела живлення, що і перетворювач частоти;
- якщо існує великий дисбаланс напруги в фазах (більше 3%).

Фільтр для усунення неполадок використовується для придушення електромагнітних завад, вироблених конвертером і перешкоджає їх проходженню в мережу. При виборі електромагнітного фільтра необхідно узгодити його тип з системою електропостачання — 3-х фазна 3-х дротова, 3-х фазна 4-х дротова або однофазна. Кабель заземлення повинен бути якомога коротшим. Розташовувати фільтр необхідно якомога ближче до перетворювача частоти [6].

Контактор може використовуватися в якості переривника подачі електроживлення з метою захисту від поширення аварії. Не можна використовувати контактор для включення і виключення двигуна. Вихідний електромагнітний фільтр обмежує шум і витоку струму на виході з приладу.

Вихідний реактор змінного струму, якщо протяжність лінії між інвертором і двигуном понад 20 м, може обмежити надструми від інвертора і ємнісні струми від протяжних проводів між інвертором і двигуном.

Рубильники, перемикачі, автоматичні вимикачі відносяться до пусковий низьковольтної апаратури. Номінальний струм рубильника повинен бути не менше трикратного номінального струму електродвигуна:

$$I_{\text{нсруб}} = 3I_{\text{нсдв}} \quad (3.5)$$

При установці рубильників, перемикачів або пакетних вимикачів, а також для розриву ланцюга в разі виникнення струмів короткого замикання застосовують запобіжники.

Автоматичні вимикачі слугує для автоматичного розмикання перевантажених електричних ланцюгів і в разі інших ситуацій, а також для включень і відключень в нормальних умовах.

Обираємо автомат захисту для трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором.

Таблиця 3.2

P_n , кВт	I_n , А	U_n , В	n_n , об/хв	ККД, %	$\cos\varphi_n$	Кратність пускового струму K_1
11	24,4	220	970	87,5	0,74	6,5

атал
ожні
дані

двигуна АІР160S6

Пусковий струм буде

$$I_{\text{пуск}} = I_n \cdot K_i = 24,4 \cdot 6,5 = 158,6 \text{ А} \quad (3.5)$$

При використанні перетворювача частоти максимальний струм при пуску електродвигуна (таблиця 3.6), $I_{\text{max}} = 53,5 \text{ А}$.

Розраховуємо струм уставки теплового розчеплювача:

$$I_{\text{нуст}} = 1,25 \cdot I_n = 1,25 \cdot 53,5 = 66,9 \text{ А} \quad (3.6)$$

Виберемо автомат $I_{\text{авт}} = 25 \text{ А}$ і встановимо струм теплового розчеплювача регулятором на 80 А. Модель S203 В 25А 6000, Фірма виробник АВВ. Визначимо необхідний струм електромагнітного розчеплювача.

$$I_{\text{елр}} = 1,25 \cdot I_{\text{max}} = 1,25 \cdot 53,5 = 66,9 \text{ А} \quad (3.7)$$

Перевіримо обраний автомат по току спрацьовування електромагнітного розчеплювача. За умовами пуску автомат обраний правильно, оскільки

$$I_{\text{срелр}} > I_{\text{елр}}, \text{ тобто } 80 > 66,9$$

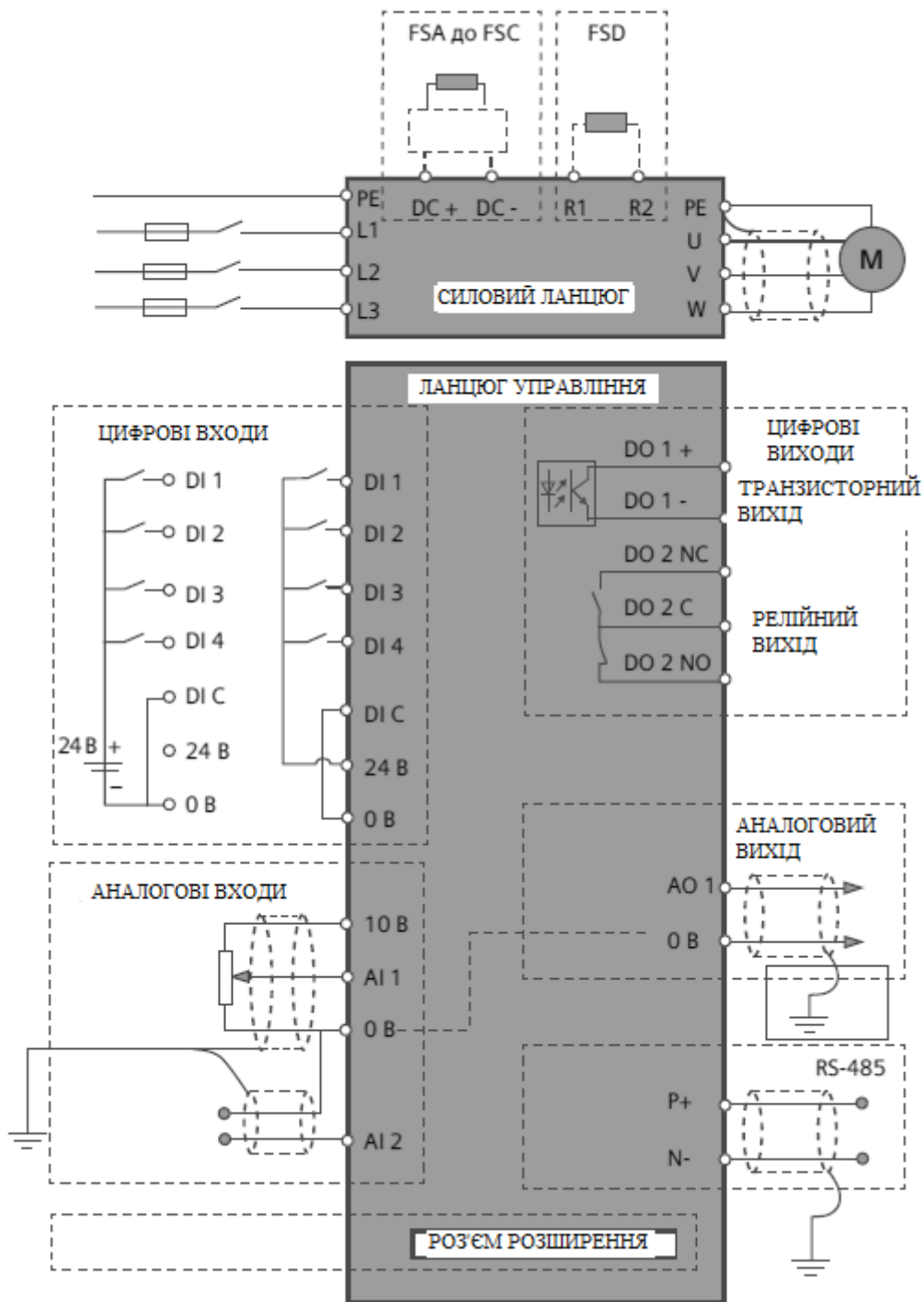


Рисунок 3.2 Схема включення SINAMICS V20

Перевіримо комутаційну здатність автомата. Ефективне значення допустимого струму короткого замикання для обраного автомата при напруги 220В ($I_{\phi \text{ кор зам}} = 1500 \text{ A}$) має бути більше $I_{\phi \text{ кор зам}}$ мережі.

3.4 Вибір захисного апарату

Для захисту проводів і кабелів електричних мереж напругою до 1000 В від струмів короткого замикання встановлюють запобіжники. Захисним елементом запобіжника є плавка вставка, що включається послідовно в ланцюг струму. При збільшенні струму лінії вище певної величини плавка вставка розплавляється, ланцюг струму розривається, оберігаючи провід від неприпустимого перегріву.

Розрахунковий струм лінії рівним номінальному струму двигуна: $I_{дл} = 24,4\text{А}$. Вибравши номінальний струм плавкої вставки по тривалому току лінії ($I_B > I_{дл}$), отримаємо співвідношення $I_B > 24,4\text{ А}$.

При виборі плавкою вставки по пусковому струму двигуна $I_B \geq I_{\max}$.

Згідно з вимогами вибираємо запобіжник ПР-2 220В 15-60 А, з номінальним струмом спрацьовування 60 А.

Враховуючі, що застосовується частотний перетворювач, проводку необхідно здійснювати екранованим кабелем, прокладених в трубах і каналах сталі.

Визначимо робочий струм навантаження:

$$I_{\text{раб}} = I_{\text{н}} = 24,4\text{ А} \quad (3.8)$$

Вибираємо по каталогу найближчі перетин кабелю по довгостроково-допустимому току АПВВГЕ - 4x10.

3.5 Структурна і функціональна схема керування електроприводом

У загальній структурній схемі розкриваються вхідні і вихідні змінні кожної ланки системи електроприводу (рис.3.3). Частотний перетворювач можна розділити на три основні частини: некерований випрямляч, інвертор і систему керування випрямлячем і інвертором.

Згідно із функціональною схемою системи автоматичного керування електродвигуном АІР160S6 з частотним перетворювачем до складу електроприводу входять:

- виконавчий двигун (М) - АІР160S6

- статичний перетворювач частоти (РПЛ), що складається з силової частини і системи керування статичним перетворювачем частоти (СУ РПЛ);
- система керування електроприводом (СУ ЕП).

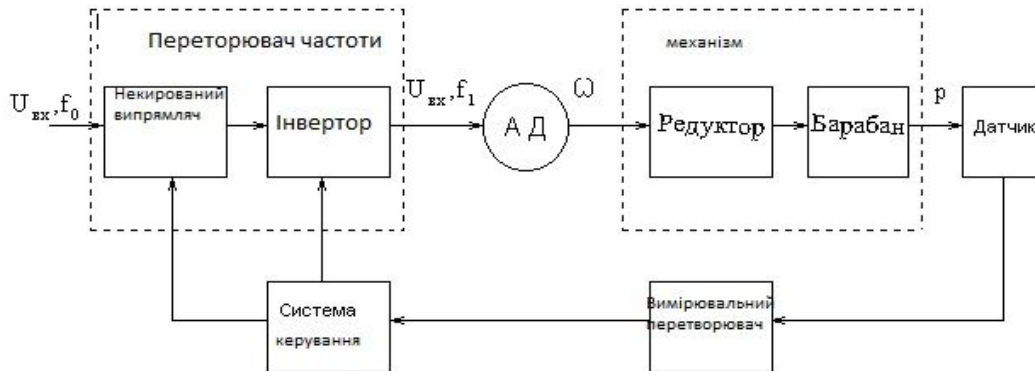


Рис. 3.3 Загальна структурна схема електроприводу

В якості виконавчого двигуна в електроприводі використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Силова частина РПЛ включає в себе некерований випрямляч (НВ), автономний інвертор напруги з широтне-імпульсною модуляцією (АІН ШІМ) і конденсатор в колі постійного струму С. Система керування статичним перетворювачем складається з трьох блоків:

- блок БУ1, який формує імпульси керування напівпровідниковими ключами VS1-VS6, які забезпечують синусоїдальну широтне-імпульсну модуляцію трифазного вихідного напруги статичного перетворювача частоти при роботі електропривода в руховому режимі;
- блок БУ2, який формує імпульси керування напівпровідниковими ключами VS2, VS3, які забезпечують широтне-імпульсну модуляцію постійної напруги, що прикладається до двох послідовно з'єднаних фаз обмотки статора при можливій роботі електропривода в режимі динамічного гальмування;
- комутатора проходження імпульсів управління К.

Система керування електроприводом включає в себе наступні елементи і блоки:

- пульт керування ПУ;
- датчик швидкості ДШ;

- пропорційно-інтегральний регулятор ПІ;
- два суматора С1 і С2;
- функціональний перетворювач ФП;
- задатчик інтенсивності гальмування ЗІГ;
- блок обчислення синхронної частоти обертання БВ ω_0 .

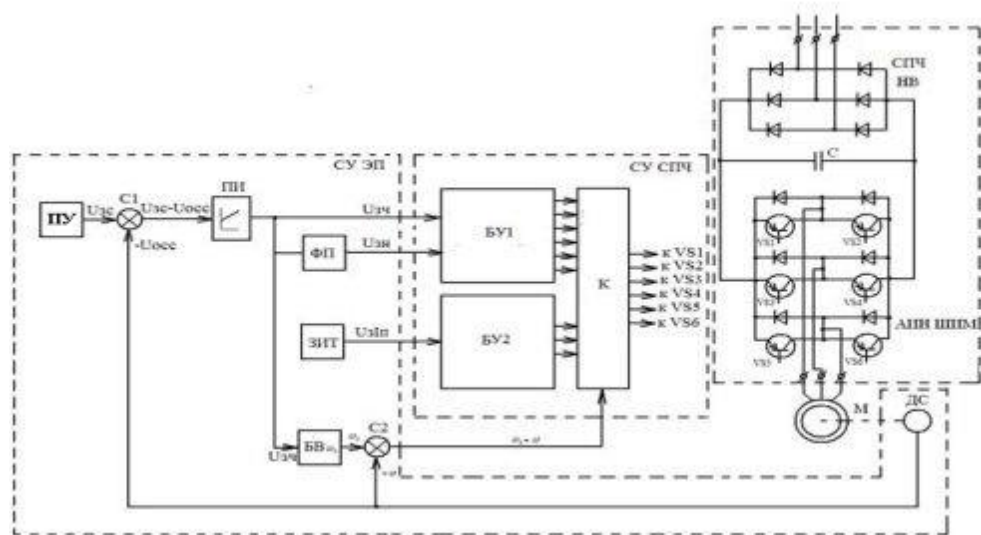


Рис. 3.4 Функціональна схема частотне-регульованого електроприводу

При роботі в руховому режимі електропривод являє собою замкнуту систему автоматичного регулювання із 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 фактичній частоті 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 і діючим значенням напруги на виході РПЛ. Цей зв'язок визначається законом скалярного управління Костенко, який для електроприводів зі статичною навантаженням має такий вигляд

$$\frac{U_1}{f_1} = const \quad (3.8)$$

де U_1 - величина діючого значення фазної напруги обмотки статора;
 f_1 – частота струму обмотки статора.

3.6 Частотне керування асинхронних двигунів

Основним завданням частотного керування є дослідження роботи АД при різних зв'язках між каналами управління напругою і частотою харчування статора, званих законами керування, а також визначення законів, які забезпечують оптимальні умови роботи двигуна в статичних і перехідних режимах. Згідно закону Костенко, для забезпечення оптимального режиму роботи асинхронного двигуна при всіх значеннях частоти та навантаження відносно напругу двигуна необхідно змінювати пропорційне добутку відносної частоти на квадратний квадратний корінь з відносного моменту двигуна.[] Цей закон частотного керування можна записати рівнянням:

$$\gamma = \alpha\sqrt{\mu} \quad (3.9)$$

де $\mu = M/M_{ном}$ - відносний електромагнітний момент.

Якщо магнітне коло машини слабо насичена і активним опором статора можна знехтувати, то АД в цьому випадку буде працювати при майже незмінному коефіцієнті потужності, запасі статичної стійкості і абсолютному ковзанні.

Припустимо, що коефіцієнт перевантажувальної здатності при регулюванні залишається постійним, то критичний момент, залежить від квадрата величини магнітного потоку, також повинен залишатися постійним і ставлення моментів при двох різних частотах дорівнюватиме:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\Phi_1^2}{\Phi_2^2} \Rightarrow \frac{\Phi_1}{\Phi_2} \sqrt{M_1} \quad (3.10)$$

Якщо знехтувати активним опором статора, то напруга статора буде врівноважуватися ЕРС основного магнітного потоку і буде лінійно пов'язано з частотою і величиною магнітного потоку, а відношення напруг рівнятиме:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\Phi_1 f_1}{\Phi_2 f_2} \quad (3.11)$$

Для деяких найпростіших випадків із закону Костенко можна виключити відносний момент. Вважаючи з точністю до ковзання $\omega_1 \approx \omega$, уявімо рівняння механічної характеристики навантаження ступеневою функцією $M = C\omega k$ або, в відносних одиницях, як $\mu = \alpha k$, отже отримуємо вираз:

$$\gamma = \alpha 1 + \frac{k}{2} \quad (3.12)$$

Для типових видів навантаження отримаємо закони керування (таб. 3.3).

Таблиця 3.3

Закони керування

	Вид навантаження		
	Статична	Вентиляторна	Постійна потужність
	$k = 0$	$k = 2$	$k = -1$
	$M = const$	$M = C\omega^2$	$M\omega = const$
Закони керування	$\gamma = \alpha$	$\gamma = \alpha 2$	$\gamma = \sqrt{\alpha}$

3.7 Складання структурної та функціональної схем системи ПЧ - АД

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

Формування необхідних статичних та динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електроприводу можливо лише в замкнутій системі регулювання його координат (рис. 3.4)

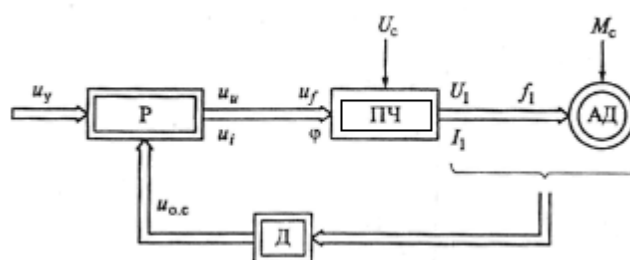


Рисунок 3.4 – Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД

Р – регулятор; Д – датчик змінних електроприводів; ПЧ – перетворювач частоти

Для збільшення діапазону регулювання за швидкістю в дану систему регулювання необхідно введення негативного зворотного зв'язку за швидкістю. Тому в математичному описі перехідних процесів електроприводу враховується зворотний зв'язок за швидкістю. Структурна схема системи ПЧ-АД з негативним зворотним зв'язком за швидкістю матиме вигляд:

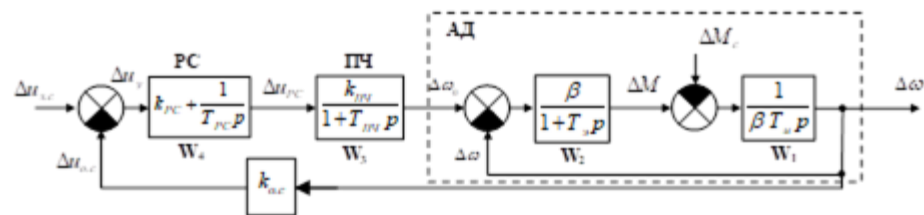


Рисунок 3.5 Структурна схема системи ПЧ-АД із зворотною зв'язком за швидкістю

Структурна схема є лінеаризованою системою електроприводу. На схемі прийнято наступні позначення:

β – модуль жорсткості механічної характеристики;

T_e – еквівалентна електромагнітна постійна часу ланцюгів статора та ротора АД;

$k_{ПЧ}$ – передавальний коефіцієнт функції ПЧ;

$T_{ПЧ}$ - 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:

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta M - \Delta M_c} = \frac{1}{\beta T_M p}$$

(3.10)

або

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{\beta T_M} (\Delta M - \Delta M_c)$$

(3.11)

де $\Delta\omega$ - збільшення швидкості;

ΔM - збільшення моменту;

ΔM_c - збільшення статичного моменту навантаження.

Відповідно до передавальної функції W_2 матимемо наступне співвідношення:

$$\frac{\Delta M}{\Delta\omega_0 - \Delta\omega} = \frac{\beta}{1 + T_e p}$$

(3.12)

яке можна написати у вигляді диференціального рівняння:

$$T_e \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M = \beta(\Delta\omega_0 - \Delta\omega) \quad (3.13)$$

де $\Delta\omega_0$ - збільшення кутової швидкості електромагнітного поля АД.

Рівняння ПЧ, виходячи з передавальної функції W_3 :

$$T_{пч} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 = k_{пч} \Delta U_{PC} \quad (3.14)$$

PC – передаточна функція W_4 представимо рівнянням:

$$\Delta U_{PC} = k_{PC}(\Delta U_{зс} - \Delta U_{оз}) + \int_0^t (\Delta U_{зс} - \Delta U_{оз}) dt \quad (5.6)$$

або

$$T_{PC} \frac{d\Delta U_{PC}}{dt} = k_{PC} T_{PC} \frac{d\Delta U_y}{dt} + \Delta U_y \quad (3.15)$$

Приріст у ΔU_y запишемо в наступному вигляді:

$$\Delta U_y = \Delta U_{зс} - k_{зз} \Delta\omega \quad (3.16)$$

де $\Delta U_{зс}$ - збільшення сигналу, що задає;

$k_{зз}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості.

Таким чином, математичний опис частотно – регульованого електроприводу сушильного агрегату можна уявити наступною системою рівнянь:

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{\beta T_M} (\Delta M - \Delta M_c) \quad (3.17)$$

$$T_e \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M = \beta(\Delta\omega_0 - \Delta\omega) \quad (3.18)$$

$$T_{пч} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 = k_{пч} \Delta U_{PC} \quad (3.19)$$

$$T_{PC} \frac{d\Delta U_{PC}}{dt} = k_{PC} T_{PC} \frac{d\Delta U_y}{dt} + \Delta U_y \quad (5.12)$$

$$\Delta U_y = \Delta U_{зс} - k_{зз} \Delta\omega \quad (3.20)$$

3.8 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 [6].

Математичне опис характеристик сушильного агрегату запишеться у такому вигляді:

$$H = h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega - rn \cdot q^2 \quad (3.21)$$

де h_0 - наведений натиск холостого ходу сушильного агрегату;

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

rn - коефіцієнт, що характеризує внутрішній механічний опір сировини у барабані.

У рівнянні (3.21) 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. Для отримання залежностей, що характеризують поведінку сушильного агрегату в динаміці, позначимо

$$z = h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega \quad (3.22)$$

як динамічна складова характеристика барабанного сушильного агрегату.

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

$$T_H \frac{dz}{dt} + z = h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega \quad (3.23)$$

$$z = \frac{1}{T_H p + 1} (h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega) \quad (3.24)$$

Барабанний сушильний агрегат є єдиний механізм, який має махову масу, складену ротором електродвигуна та робочим редуктором, з'єднаним з барабаном і має механічну постійну часу.

3.9 Моделювання системи ПЧ - АД – барабанна сушарка в середовищі MATLAB Simulink

Математична модель системи ПЧ - АД зі зворотним зв'язком по швидкості – барабанний сушильний агрегат, на основі системи рівнянь матиме такий вигляд:

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{\beta T_M} (\Delta M - \Delta M_c) \quad (3.25)$$

$$T_e \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M = \beta (\Delta\omega_0 - \Delta\omega) \quad (3.26)$$

$$T_{пч} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 = k_{пч} \Delta U_{PC} \quad (3.27)$$

$$T_{PC} \frac{d\Delta U_{PC}}{dt} = \Delta U_y - k_{PC} T_{PC} k_{33} \frac{d\Delta U_y}{dt} - k_{PC} T_{PC} k_{33} \Delta\omega \quad (3.28)$$

$$T_H \frac{dz}{dt} + z = h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega \quad (3.29)$$

де T_H - стала 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:

представимо в наступному вигляді:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{\beta T_M} (x_2 - A) \quad (3.30)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{\beta}{T_e} x_3 - \frac{\beta}{T_e} x_1 - \frac{1}{T_e} x_2 \quad (3.31)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = \frac{k_{пч}}{T_{пч}} x_4 - \frac{1}{T_{пч}} x_3 \quad (3.32)$$

$$\frac{dx_4}{dt} = u = \frac{k_{PC} T_{PC} k_{33} dx_1}{T_{PC}} \cdot \frac{dx_1}{dt} - \frac{k_{PC} T_{PC} k_{33}}{T_{PC}} x_1 \quad (3.33)$$

$$\frac{dx_5}{dt} = \left(\frac{b}{T_H} + \frac{2h_0 x_0}{T_H} \right) x_1 - \frac{1}{T_H} x_5 \quad (3.34)$$

де $x_1 = \Delta\omega$, $x_2 = \Delta M$, $x_3 = \Delta\omega_0$, $x_4 = \Delta U_{PC}$, x_0 - коефіцієнт лінеаризації змінної ω^2 .

Програма розв'язання системи, при параметрах асинхронного двигуна

AIP160S6: $P_{НОМ} = 11\text{кВт}$; $n = 970 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$; $\beta = 5,085$; $T_M = 0,1$; $T_e = 0,05$

параметрах ПЧ: $k_{пч} = 5$; $T_{пч} = 0,001$

параметрах регулятора швидкості, коефіцієнта зворотного зв'язку:

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

параметри барабанної сушарки: $b = 0,57; h_0 = 0,1; x_0 = 35; T_H = 0,045$

3.10 Прямий пуск електродвигуна

Для дослідження процесів при частотному регулюванні в самому електродвигуні й далі в системі регульованого електропривода використовуємо метод імітаційного моделювання й у якості засобу моделювання електромеханічних систем приймемо програму MATLAB *Simulink*.

Результати моделювання візуально спостерігаються за допомогою осцилографа (*Scope*) і двокоординатного графобудівника (*XY- Graf*).

На виході асинхронного двигуна сформована мультіплексорна шина m , яка поєднує всі вихідні сигнали двигуна, передбачені розроблювачами бібліотеки *SimPowerSystems*. Для їхнього використання додано блок *Bus Selector* з бібліотеки *Simulink*.

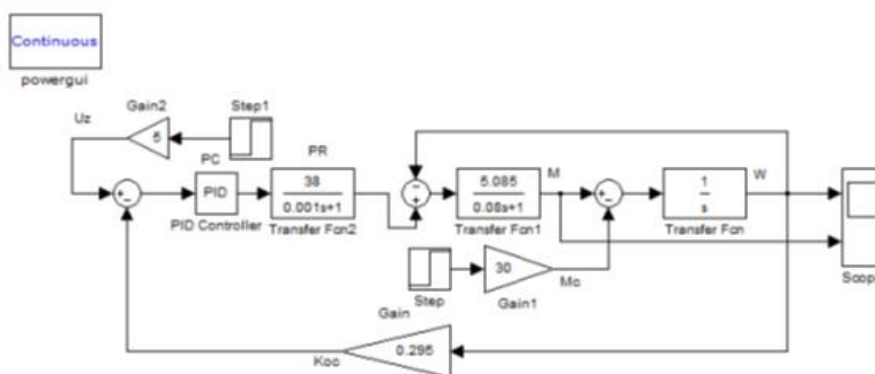


Рисунок 3.6 Структурна схема моделі системи ПЧ – АД барабанна сушарка в MATLAB *Simulink*

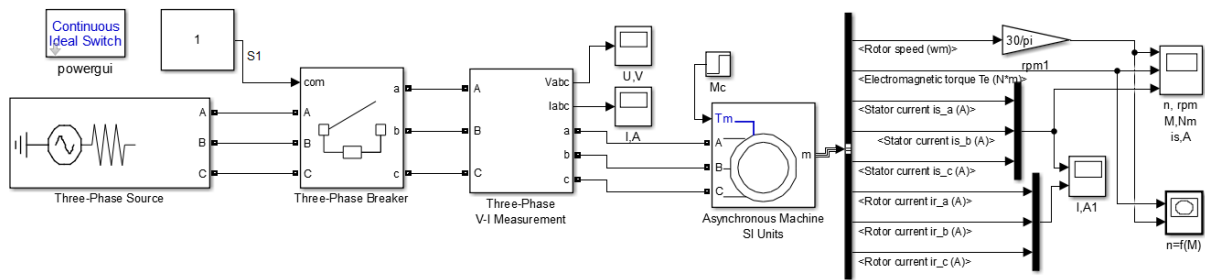


Рисунок 3.7 Модель асинхронного двигуна в режимі прямого пуску

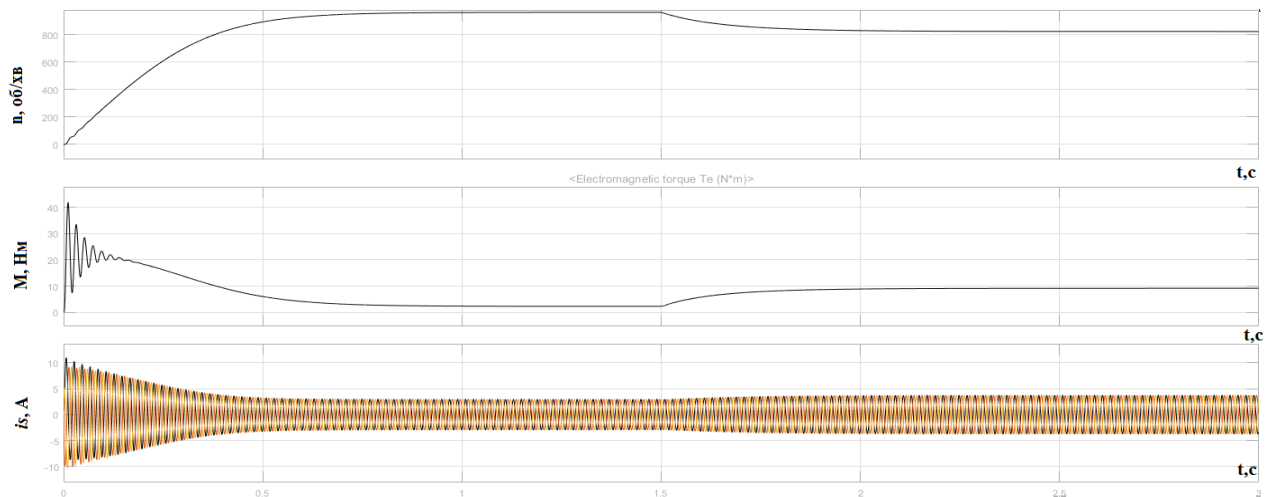


Рисунок 3.8 Динамічні характеристики при прямому пуску асинхронного двигуна: частоти обертання, електромагнітного моменту та струмів статора.

3.11 Пуск з частотним регулюванням

Результати імітаційних досліджень електродвигуна при законі регулювання

$$\frac{U_1}{f_1} = const$$

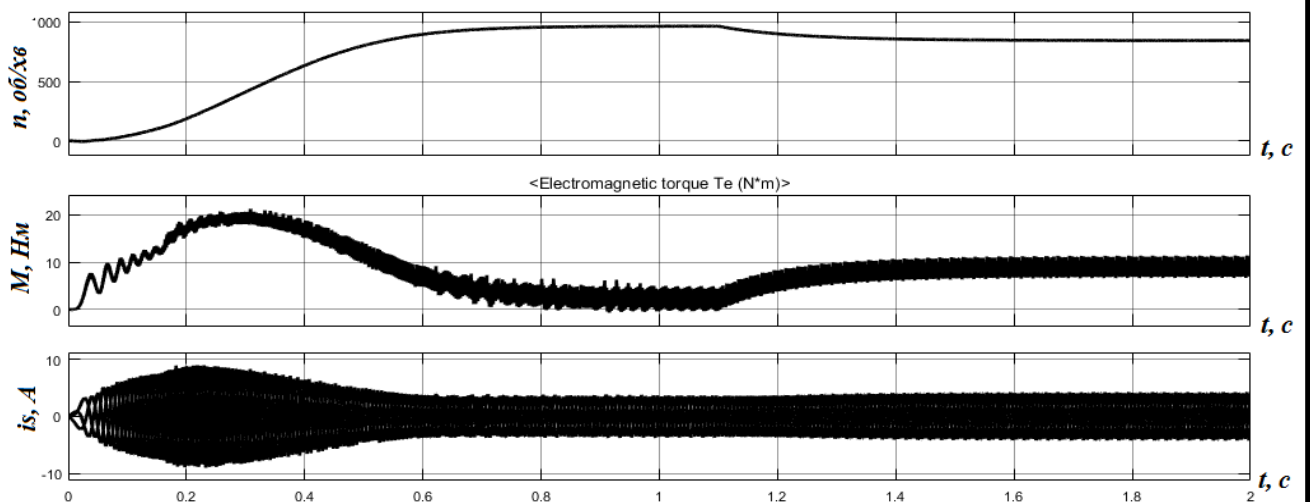


Рисунок 3.12 – Динамічні характеристики асинхронного електропривода з частотним регулюванням при частоті $f_1=50$ Гц для номінального режиму роботи

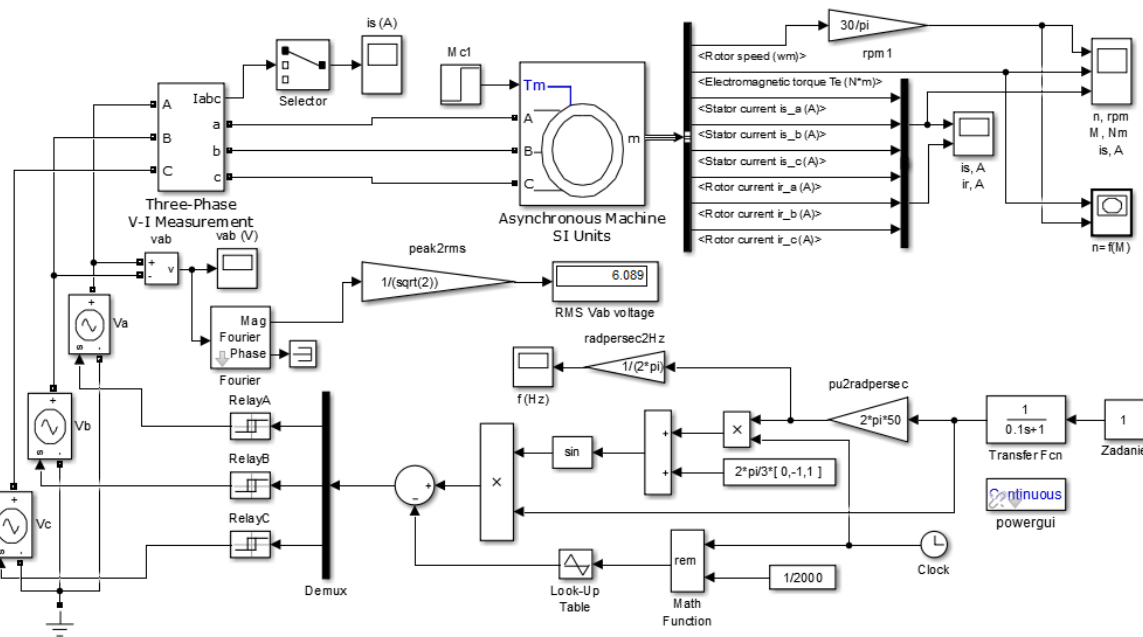


Рисунок 3.13 – Модель асинхронного електропривода з частотним регулюванням

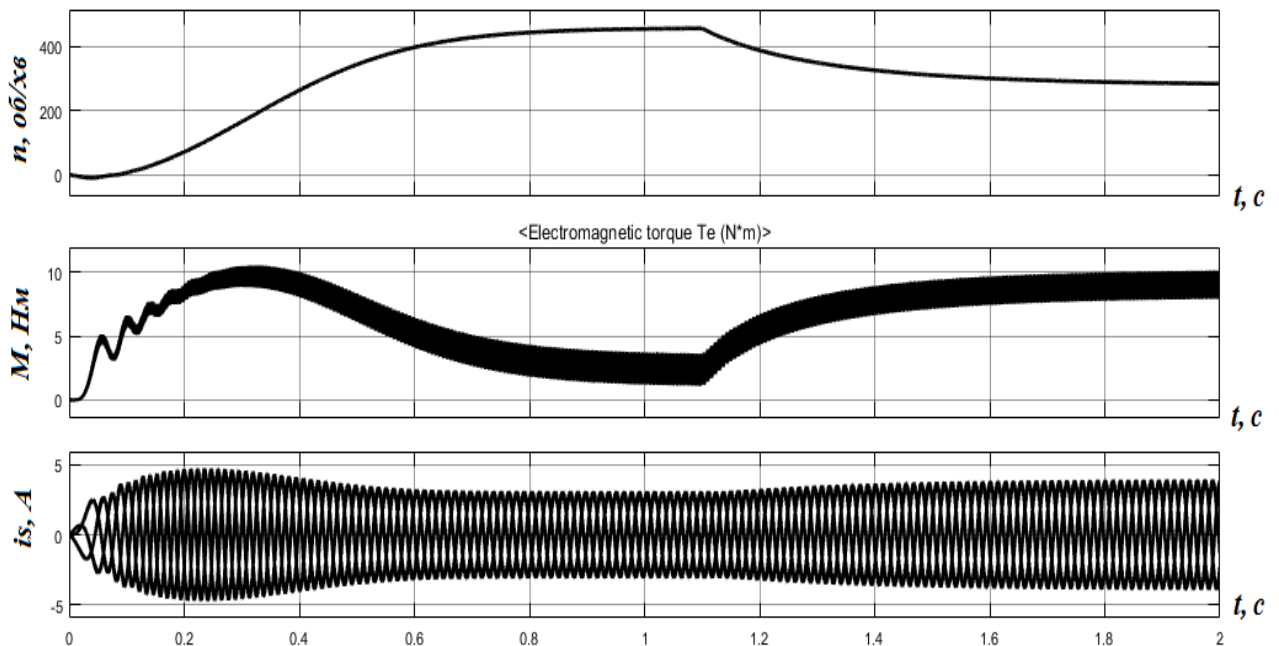


Рисунок 3.14 - Динамічні характеристики асинхронного електропривода з частотним регулюванням при частоті $f_1=25$ Гц для номінального режиму роботи

Таким чином, для того, щоб реалізувати принцип частотного керування асинхронним двигуном, необхідно і з урахуванням виду навантаження керувати

напругою, що підводиться до статора двигуна, взаємопов'язане зі зміною частоти живлення.

Функцію перетворення параметрів електричної енергії мережі живлення до таких значень, які необхідні для нормальної роботи приводного двигуна, а також функцію дозування величини електричної енергії, що підводиться до двигуна для регулювання його швидкості і виконує перетворювальне пристрій.

У системах регульованого електроприводу знаходять застосування всі основні типи перетворювальних пристроїв: випрямлячі, що перетворюють змінну напругу в постійне; інвертори, які здійснюють зворотне випрямлячів перетворення енергії; безпосередні перетворювачі частоти; регулятори змінного і постійного напруги, що забезпечують перетворення рівня напруги без зміни його частоти.

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

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОБГРУНТОВАНІСТЬ

4.1 Розрахунок капіталовкладень

Досвід експлуатації барабанної сушарки та дослідження техніко-економічної ефективності їх застосування показали, що при правильному доборі параметрів системи керування показники економічної ефективності суттєво зростають. Витрати на підготовку виробництва знижуються до 10 разів, продуктивність праці підвищується до 6 разів, знижується трудомісткість просушування зерна при значному підвищенні якісних характеристик просушування.

Використання системи управління дозволяє підвищити продуктивність барабанної сушарки, забезпечити гнучкість виробництва та створити високий техніко-економічний ефект. Підвищення продуктивності забезпечується за рахунок скорочення допоміжного і машинного часу обробки, автоматизації настановних переміщень, тобто зменшується трудомісткість просушування зерна. Точність обробки зростає за рахунок усунення помилок оператора, можливих під час ручної обробки.

Розроблена система управління ПЧ-АД має ширший діапазон регулювання частот обертання валу двигуна. Це дозволяє економити електроенергію та покращувати якість просушування.

Оптимізація системи керування електроприводом барабанної сушарки дозволяє знизити витрату електроенергії, збільшити ресурс роботи електродвигунів, збільшити термін служби асинхронного двигуна і зменшити зовнішній вплив на режим роботи сушарки.

Витрата енергії при просушуванні є істотною величиною, що враховується при проектуванні нових сушарок, що визначає потужність головного двигуна агрегату і потужність, що передається всіма передатними пристроями.

У виборі апаратних засобів вирішальними чинниками були висока надійність елементної бази. В якості апаратних забезпечень були обрані датчики швидкості і підсумовують пристрої і вторинні перетворювачі, що забезпечують формування вхідних електричних аналогових сигналів системи управління, а також прилади, що показують, і органи управління. За рахунок цього досягається економічний ефект, що складається з кількох складових:

- енергозбереження до 15%;
- збільшення $\cos\phi$ до 0,9-0,95;
- збільшення ККД до 97%;
- спільне керування регуляторами.

У роботі впроваджується система «перетворювач частоти – асинхронний двигун» або «ПЧ-АД» – асинхронний двигун, регулятор швидкості, тиристорний перетворювач частоти, датчики швидкості та пускорегулююча апаратура.

Сумарні капіталовкладення системи ПЧ-АД:

- асинхронний двигун АІР 160S6 - 22800 грн;
- редуктор 1Ц2У-200 – 29550 грн
- перетворювач частоти Siemens SINAMICS V20 - 47700 грн (у ціну входить пускрегулююча апаратура).

Витрати на транспортування системи «перетворювач частоти асинхронний двигун» приймаються рівними 10% від його вартості. Монтажні витрати становлять приблизно 7% вартості обладнання.

Вартість відповідної системи ПЧ-АД:

$$\sum K = (22800 + 47700 + 29550) + (22800 + 47700 + 29550) \cdot 0,17 \\ = 117059 \text{ грн}$$

4.2 Розрахунок поточних річних експлуатаційних витрат

Поточні річні видатки на експлуатацію:

$$B = B_{\text{фзп}} + B_e + B_n \quad (5.1)$$

де $B_{\text{фзп}}$ – фонд оплати заробітної плати;

B_e – видатки на електроенергію для виробничих потреб;

V_n – накладні витрати (15 % від суми решти витрат)

$$V_{фзп} = K \cdot V_{зп} \cdot 12$$

де K – кількість обслуговуючого персоналу, при роботі у дві зміни становить 6 осіб (2 основних и 1 допоміжний в зміну)

Z_{cp} – середня заробітна плата в Україні у 2023 році за даними Держстату, становитиме 17,176.00 грн. З урахуванням нічних змін та разових премій приймаємо місячну заробітну плату 17,176.00 грн.

Фонд оплати праці за рік складе:

$$V_{фзп} = V_{фзп} = 6 \cdot 17176 \cdot 12 = 1236672 \text{ грн}$$

При режимі роботи барабанної сушарки до модернізації чисельність робітників становила 8 осіб: з них: 4 основних і 4 допоміжних. Річний

Річна економія по фонду заробітної плати склала: 412224 грн

4.3 Розрахунок витрат на електроенергію і ремонт обладнання

Визначимо річний робочий час.

Таблиця 4.1

Баланс робочого часу

	Виробництво у 2 зміни по 8 часів
Число календарних днів у році	355
Вихідні дні	52
Святкові	10
Дні простою на ремонт обладнання	12
Число робочих днів на рік	291

З урахуванням на технічну перерву (0,5 год в зміну) робочий час за рік становитиме 4365 годин.

Електрична потужність буде дорівнює 11 кВт / год. Обсяг спожитої електроенергії за рік складе: $11 \cdot 4365 = 48015$ кВт

На сьогодні кінцева ціна для більшості українських підприємств коливається в межах 5-6 грн за кіловат годину, виходячи з цього у вартісному вираженні маємо:

$$48015 \cdot 6 = 288090 \text{ грн}$$

Економія електроенергії складе 10%.

Економію електроенергії також дає зменшення витрат на ремонт обладнання, матеріалів поточний на ремонт, 10% від вартості обладнання.

Економія витрат за цією статтею становить: 11706 грн.

Загальна економія складається з трьох основних складових:

- економії фонду заробітної плати;
- економії електроенергії;
- економії на утриманні та ремонт обладнання

$$\sum E = 412244 + 28809 + 11706 = 452759 \text{ грн}$$

Термін окупності капітальних вкладень розраховується за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{B} = \frac{117059}{452759} = 0,25 \text{ року}$$

5. РОЗДІЛ. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Безпека життєдіяльності

Забезпечення здорових і безпечних умов праці має величезне значення. Охорона праці виявляє і вивчає можливі причини нещасних випадків на виробництві, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів з метою усунення цих причин і створення безпечних і сприятливих для людини умов праці.

Охорона праці - це система законодавчих, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [8].

У нашій країні приймаються основоположними документами у галузі охорони праці в нашій країні є Конституція, Закон «Про охорону праці».

Також, в області правового врегулювання охорони праці намітилися певні і поліпшення, пов'язані з найбільш чіткою регламентацією обов'язків роботодавців щодо забезпечення здорових і безпечних умов праці, гарантіями прав працівників на працю в умовах відповідних вимогам охорони праці, створенням системи органів державного контролю і нагляду за дотриманням, трудового законодавства та інших нормативних правових актів, що містять норми трудового права, розширенням прав професійних спілок в зазначеній галузі.

5.2. Виробнича санітарія і гігієна праці.

Особову увагу потребує безпека і екологічність технологічного обладнання та фактори, що впливають на організм людини, що виникли в процесі

експлуатації технологічного обладнання, що знаходиться в робочому приміщенні. Загальні санітарно-технічні вимоги до виробничих приміщень, робочих місць і зон, а також до мікроклімату викладені в санітарних нормах і правилах санітарних нормах проектування підприємства [8].

Важливе значення для охорони праці працівників підприємств має правильне планування і пристрій виходів, проходів, сходів і площадок. Вони повинні відповідати будівельним, експлуатаційним, санітарно-технічним та протипожежним вимогам. Розміри майданчика визначаються відповідно до будівельно-санітарними нормами з урахуванням можливого розширення підприємства на перспективу. Площадка повинна бути на сухому, незатопленому місці з прямим сонячним освітленням, природним провітрюванням, мати відносно рівну поверхню, розташовуватися поблизу до джерела води з відведенням стічних вод. Також має бути забезпечено зручний підхід, під'їзд транспортних засобів, дотримані умови охорони праці і техніки безпеки, а також протипожежного захисту. Шум, створюваний технологічним устаткуванням, а також установками вентиляції або повітряного опалення приймаються по допустимих рівнів шуму на робочих місцях.

Приміщення з тепловиділеннями (більше 20 ккал / м³с), а також виробництва з великим виділенням шкідливих газів, парів і пилу слід розташовувати біля зовнішніх стін будівель, а також розмішати припливно-витяжної вентилятор.

Оздоблення стін повинна бути міцною, гігієнічної, економічної в експлуатації і відповідати естетичним вимогам.

Підлогу у виробничих приміщеннях, слід робити з матеріалів, що забезпечують зручну очищення їх і відповідають експлуатаційним вимогам даного виробництва. Раціональне розміщення технологічного обладнання всередині приміщень має істотне значення як для організації технологічних процесів, підвищення продуктивності праці, так і для його охорони. Розміщення обладнання повинно бути зручним і безпечним в експлуатації. Водопостачання підприємства повинно забезпечити потребу підприємства в питній воді, для господарсько-гігієнічних, виробничих і протипожежних ланцюгів.

Всі підприємства згідно з санітарними правилами і нормами повинні мати каналізаційні споруди, призначені для прийому, видалення та знешкодження стічних вод, а також відведення їх на певні ділянки.

У виробничих і допоміжних приміщеннях освітлення, опалення, вентиляція і кондиціонування повітря забезпечують можливість створення оптимальних параметрів повітряного середовища (виробничого мікроклімату), що сприяють збереженню здоров'я людини і підвищенню його працездатності.

Температура повітря в виробничих приміщеннях залежно від тяжкості робіт в холодний і перехідний періоди року повинна бути від 14 до 21°C, в теплий період - від 17 до 25°C. Відносна вологість - в межах 60 - 70%, швидкість руху повітря - не більше 0,2 – 0,5 м / с. У теплий період року температура повітря в приміщеннях не повинна бути вище зовнішньої більш ніж на 3-5°C, але не вище 28°C, а швидкість руху повітря –до 2м / с.

Фактори виробничого середовища, що роблять шкідливий вплив на здоров'я і працездатність людини, називаються професійними шкідливостями.

Професійні шкідливості при певній силі і діяльності впливу на організм людини можуть викликати професійні хвороби. Розрізняє власне професійні хвороби, що викликаються виключно або переважно дією професійних шкідливих умов, в умовно-професійні захворювання, в походженні яких може грати роль і професійний фактор.

Складовою частиною гігієни праці є фізіологія праці, що вивчає фізичні процеси в організмі людини, пов'язані з його трудовою діяльністю. Фізіологія праці вирішує задачу раціональну з фізіологічної точки зору організацію праці, при якій знижується стомлюваність людини, підвищується працездатність і продуктивність праці. Удосконалення умов праці на підприємствах здійснюється шляхом раціоналізації технологічних процесів, впровадженням сучасної техніки, виявленням і усуненням шкідливих чинників, а також проведенням профілактичних і захисних заходів.

5.3 Освітлення

Раціональне освітлення в приміщенні, призначеному для роботи з технологічним обладнанням створюється при наявності як природного, так і штучного освітлення. У цехах і службових приміщеннях, як правило, застосовується бічне природне освітлення, але одного природного освітлення не достатньо, так як завод працює і в темний, і в світлий час доби. Штучне освітлення

виконується люмінесцентними лампами з рівномірним розміщенням світильників по площі приміщення. Штучне освітлення по характеру виконуваних завдань ділиться на робоче, аварійне, евакуаційне.

Правильно спроектоване і виконане висвітлення на підприємстві забезпечує можливість нормальної виробничої діяльності. Збереження зору людини, стан його центральної нервової системи і безпеку на виробництві значною мірою залежать від умов освітлення. Від освітлення залежать також продуктивність праці і якість продукції, що випускається. Для перевірки відповідності освітленості на робочих місцях на підприємстві 2 рази в рік фахівці з охорони праці проводять заміри освітленості за допомогою люксметра. Рекомендоване освітлення робочих приміщень для заводу коливається в межах 200-500ЛК (в залежності від призначення приміщення на заводі) [8].

Природне освітлення найбільш сприятливе для людини, проте воно не може в повній мірі забезпечити необхідну освітленість виробничих приміщень. Тому в практичній діяльності широко використовується штучне освітлення. Раціональне штучне освітлення передбачає рівномірну освітленість, без різких змін і пульсацій, сприятливий спектральний склад світла і достатню яскравість. Поєднання загального і місцевого освітлення утворює комбіноване освітлення.

При проектуванні підприємств розраховується потреба природного і штучного освітлення. Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50 до 90 градусів з вертикаллю в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше 200кд/м^2 , захисний кут світильників повинен бути не менше 40 градусів. Світильники місцевого освітлення повинні мати не просвічує відбивач із захисним кутом не менше 40 градусів.

Як джерела світла при штучному освітленні слід застосовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ і компактні люмінесцентні лампи.

Недостатнє освітлення призводить до сильного напруження очей, швидкої стомлюваності, короткозорості, зниження якості роботи. Яскраве освітлення дратує сітківку ока, засліплює, очі швидко втомлюються, росте виробничий травматизм.

Для розрахунку штучного освітлення використовується наступна методика: для приміщення виробничого цеху рекомендована освітленість $E_n = 200 \text{ ЛК}$. Забезпечення рівномірного розподілу освітленості досягається в тому випадку, якщо відношення відстані між центрами світильників L до висоти їх підвісу над робочою поверхнею H_p складе для світильників типу ЛД 1,4. Таким чином

$$\frac{L}{H_p} = 1,4 \quad (5.1)$$

Визначаємо приблизну кількість світильників в приміщенні зі співвідношення:

$$N = \frac{(A \cdot B)}{L} \quad (5.2)$$

де A і B - два характерних розміру приміщення, м^2 .

L - відстані між центрами світильників, м .

За значенням показника приміщення для коефіцієнтів відбиття стін $\mu_c = 30\%$ і стелі $\mu_{cl} = 50\%$ визначається коефіцієнт використання світлового потоку ламп, залежить від ККД і кривої розподілу сили світла світильника, висоти підвісу світильників і показника приміщення. Світловий потік групи ламп світильника при люмінесцентних лампах розраховують за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{100 \cdot E_n \cdot S \cdot z \cdot k}{N \cdot \eta} \quad (5.3)$$

де E_n - нормована мінімальна освітленість, ЛК;

S - площа освітлюваного приміщення, м^2 ;

z - коефіцієнт мінімальної освітленості, рівний відношенню $E_{\text{ср}} / E_{\text{мін}}$;

значення якого для ламп люмінесцентних дорівнює 1,1;

k - коефіцієнт запасу, дорівнює 1,5;

N - число світильників в приміщенні;

η - коефіцієнт використання світлового потоку ламп, залежить від ККД розподілу сили світла світильника, коефіцієнтів відбиття стін і стелі, висоти підвісу світильників і показника приміщення.

5.4 Вентиляція

Система вентиляції є невід'ємною частиною для захисту повітря робочої зони і атмосфери від підвищеної запиленості. За допомогою вентиляції можна регулювати температуру, вологість і чистоту повітря в приміщеннях. Кондиціонування повітря створює оптимальний штучний клімат. При розпакуванні, упаковці товару, при роботі обладнання, такого як машина по луценню насіння і багатьох інших роботах утворюється пил. Постійне перебування значної кількості працюючих на підприємствах вимагає більш інтенсивного повітрообміну. Недостатній повітрообмін в приміщеннях підприємств послаблює увагу і працездатність робітників, викликає нервову дратівливість, і як результат - знижує продуктивність і якість праці. Розрізняють природну і штучну вентиляцію.

Природна вентиляція забезпечує повітрообмін в приміщеннях в результаті дії вітрового і теплового напорів, одержуваних внаслідок рівної щільності повітря зовні і всередині приміщень. При природній вентиляції циркуляція повітря відбувається через вентиляційні канали, розташовані в стінах, ліхтарі і спеціальні повітропроводи [7].

Штучна вентиляція (механічна) досягається за рахунок роботи вентиляторів або ежекторів. Вона може бути припливної, витяжний і припливно-витяжної. При припливної вентиляції подача повітря здійснюється вентиляційним агрегатом, а видалення повітря - через ліхтарі або дефлектори. Вона застосовується, як правило, в приміщеннях, що мають надлишок тепла і малу концентрацію шкідливих речовин. Витяжна вентиляція передбачає відкачування повітря з приміщень за допомогою вентиляційного агрегату. Ця система використовується при вентиляції приміщень, що мають в повітрі велику концентрацію шкідливих речовин, а також вологи і тепла. Припливно-витяжна система вентиляції здійснюється за допомогою окремих вентиляційних систем, які повинні

забезпечити однакову кількість подаваного і видаляється з приміщень повітря. В приміщеннях, в яких постійно виділяються шкідливі речовини, витяжна вентиляція повинна перевищувати приливну приблизно на 20%. У цих випадках витяжка проводиться з місць скупчення шкідливих речовин, а подача чистого повітря на робочі місця.

За призначенням розрізняють загальну і місцеву вентиляцію. Загальна вентиляція забезпечує обмін повітря для всього приміщення, а місцева - для окремих робочих місць. В окремих виробничих приміщеннях, в яких існує небезпека прориву великої кількості шкідливих речовин за короткий час, влаштовують додаткову аварійну вентиляцію. Для аварійної вентиляції використовують осьові вентилятори мають велику продуктивність. Їх встановлюють у спеціальних нішах. В даний час встановлюють аварійну вентиляцію з автоматичним включенням з одночасною подачею звукового сигналу.

Для забезпечення необхідних умов праці важливе значення має визначення кратності повітрообміну, потужності вентиляційних систем. Повітрообміном прийнято називати кількість повітря, яке необхідно подавати в приміщення і видаляти з нього, в кубічних метрах на годину. Кількість повітря в виробничих приміщеннях визначимо за формулою:

$$L = k \cdot V \quad (5.4)$$

де k - кратність повітрообміну, 1/г;

V - внутрішній об'єм в приміщенні, м³.

Визначення повітрообміну відповідно до кількості людей у приміщенні:

$$L = L_1 \cdot NL \quad (5.5)$$

де L_1 – норма повітря на одну людину, м³/год·люд;

NL – кількість людей в приміщенні.

20-25 м³/год на одну людину при мінімальній фізичній активності;

45 м³/год на одну людину при легкій фізичній роботі;

60 м³/год на одну людину при важкій фізичній роботі.

5.5 Виробничий шум і вібрація

На підприємстві виникає шум і вібрація різної природи від роботи різних механізмів, агрегатів, устаткування [8]. Шум і вібрації, що перевищують межі гучності і частоти звукових коливань, являють собою професійну шкідливість. Під впливом шуму у людини може змінюватися кров'яний тиск, а тривале його дію в ряді випадків призводить до часткової або повної втрати слуху. Шум впливає на

продуктивність праці робітників, послаблює увагу, викликає туговухість та глухоту, дратує нервову систему, в результаті чого знижується сприйнятливність до сигналів небезпеки, що може призвести до нещасного випадку.

Зменшення шуму можна досягти за рахунок раціонального планування будівель, відповідно до якої найбільш галасливі приміщення повинні бути сконцентровані в глибині території в одному місці. Вони повинні бути віддалені від приміщень для розумової праці та огорожені зоною зелених насаджень, частково поглинають шум. Агрегати з найбільш інтенсивним шумом (вище 130 дБ) слід розміщувати поза територією підприємств та житлової зони, з підвітряного боку і відокремлювати від меж населених пунктів шумозахисної зоною або стіною. Агрегати, що створюють шум більше 90 дБ, повинні розміщуватися в ізольованих приміщеннях. Крім заходів технологічного і технічного характеру, широко застосовуються засоби індивідуального захисту - антифони, виконані у вигляді навушників або вкладишів.

Під вібрацією розуміється рух точки або механічної системи, при якому відбувається почергове зростання, і убування в часу значень, принаймні, однієї координати. Причиною порушення вібрації є виникаючі при роботі машин і агрегатів неврівноважені силові дії, джерелом яких є зворотно-поступово рухаються системи, а також неврівноважені обертові маси. Іноді вібрації створюються ударами взаємодіючих деталей в зубчастих зачепленнях, підшипникових вузлах та інших механізмах. Наявність дисбалансу і всіх цих випадках призводять до появи неврівноважених сил, що викликають вібрацію.

Основними параметрами вібрації, яка відбувається за синусоїдальним законом є: частота, амплітуда зсуву, швидкість, прискорення, період коливання. У виробничих умовах майже не зустрічаються вібрації вигляді простих гармонійних коливань. Вібрація вимірюється віброметрами. Найбільш поширеними є ручний віброграф ВР-1, що вимірює вібрації неелектричним методом. За допомогою цього вібрографа вимірюються коливання з амплітудою від 0.5 до 5 мм і з частотою від 5 до 100 Гц.

При нормуванні шуму використовують два методи нормування, по певному спектру шуму та за рівнем звуку в дБ. Перший метод є основним для постійних шумів і дозволяє нормувати рівні звукового тиску в восьми октавних смугах частот з середньо геометричними частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 і 8000 Гц.

Санітарними нормами встановлені гранично допустимі величини вібрації у виробничих приміщеннях підприємств.

5.6 Електробезпека

Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання підприємства, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Порушення правил електробезпеки при використанні технологічного обладнання, електроустановок та безпосереднього зіткнення з струмоведучими частинами установок, що знаходяться під напругою, створює небезпеку ураження електричним струмом. Для забезпечення безпечних умов праці при експлуатації електроустановок необхідно знати дію електричного струму на організм людини, міри захисту від поразки томом, надання допомоги людині, яка потерпіла від впливу електроструму. Термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні крові, кровоносних судин: електростатичне - в розкладанні крові; біологічне - в роздратуванні живих тканин організму, що може

привести до припинення діяльності органів кровообігу і дихання. За даними багатьох досліджень встановлено, що струм силою більше 0,05 А може смертельно травмувати людину протягом 0,1 с. Найбільше число поразок від електричного струму (близько 85%) припадає на установки напругою до 1000 в. Щодо безпечним для людини в сирих приміщеннях прийнято вважати напругу до 12 В, в сухих приміщеннях - до 36 В, так як при випадковому зіткненні величина струму, що проходить через організм не перевищує 0,01 А. Для людського організму небезпечні як змінний, так і постійний струм. Найбільш небезпечний змінний струм, який має частоту 50 Гц; частота 400 Гц менш небезпечна [40-44]. В якості заземлюючих провідників доцільно використовувати металеві конструкції будівель, металеві трубопроводи водопроводу мають з'єднання з землею. В електроустановках напругою до 1000 В опір заземлюючого пристрою повинен бути не більше 4 Ом. У разі виникнення напруги на корпусі електроустановки з захисним заземленням електричний струм пройде по паралельній ланцюга, але не через тіло людини, а заземлюючих пристроїв. Струм, що проходить через тіло людини не представить великої небезпеки, так як опір тіла людини значно більше (1000 Ом), ніж опір заземлення (4 Ом) [7].

5.7 Пожежна безпека

Пожежна безпека підприємства забезпечується системами запобігання пожежі і протипожежного захисту, в тому числі організаційно-технічними заходами.

У проектованій установці загоряння може відбутися з кількох причин:

- несправність електричної проводки, а також електричних проводів;
- коротке замикання електричної мережі.

Щоб уникнути ризику пожежі обладнання, щомісяця проводяться перевірки на цілісність ізоляційного покриття проводів, проводяться перевірки дії аварійних виходів для евакуації при пожежі. Для боротьби з пожежею в приміщенні повинні бути в наявності вогнегасники, протипожежний стенд і встановлено пожежну сигналізацію.

Вогнегасники за видом використовуваних засобів гасіння підрозділяються на три групи: пінні, газові, порошкові. З вогнегасника вогнегасна речовина може подаватися під тиском газів, що утворюються в результаті хімічної реакції (пінні); під тиском газів або заряду, що знаходяться над вогнегасною речовиною (вуглекислотні), аерозольні (повітряно-пінні); під тиском робочого газу, що знаходиться в окремому балоні (повітряно-пінні); вільним закінченням вогнегасної речовини (порошкові, типу ОП-1). Пінні вогнегасники за конструкцією поділяються на хімічні, повітряно-пінні і рідинні для подачі повітряно-механічної піни. Хімічні пінні вогнегасники (ОХП-Ю, ОП-14, ОП-9ММ) застосовують для гасіння пожеж твердих горючих матеріалів, легкозаймистих і горючих рідин. Повітряно-пінні вогнегасники (ОВП-5 і ОВП-Ю) застосовують для гасіння загорянь різних речовин і матеріалів за винятком лужних металів і речовин, горіння яких відбувається без доступу, а також електроустановок що знаходяться під напругою. Газові вогнегасники поділяються на вуглекислотні (діоксид вуглецю у вигляді газу або снігу), аерозольні і вуглекислотні - брометілови. Вуглекислотні вогнегасники (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8) застосовуються для гасіння загорянь в приміщеннях з електрообладнанням, а також там, де вода може викликати псування майна. Для гасіння загорянь легкозаймистих рідин, твердих речовин електроустановок, що знаходяться під напругою і інших матеріалів (крім лужних металів кисень містять речовин) застосовують аерозольні (ОА-1, ОА-3) і вуглекислотні - брометілови (ОУБ-3, ОУБ-7) вогнегасники. Порошкові вогнегасники (ОП-1, ОПС-6 і ОПВ-10) використовують для гасіння загорянь легкозаймистих і горючих рідин, лужноземельний металів, електроустановок, що знаходяться під напругою. Спрінкерні і дренчерні системи мають заповнюватися не тільки водою, але і водними розчинами, а також рідким і газоподібними вогнегасниками [7].

ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті був розроблений і досліджений частотно-регульований електропривод барабанної сушарки для обробки насіння соняшника.

Відповідно до сучасних вимог була обрана система управління, яка побудована на базі частотного перетворювача і асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Була розрахована потужність необхідного електродвигуна, обраний асинхронний двигун типу AIP160S6 потужністю в 11 кВт, а також було побудовано його механічні характеристики.

Для асинхронного електродвигуна був обраний частотний перетворювач з програмованим управлінням типу фірми Siemens моделі SINAMICS V20 потужністю 15 кВт, з номінальної напругої мережі живлення 380В при частоті 50Гц.

Дослідження математичної моделі в середовищі MATLAB *Simulink* показали її працездатність, а характеристики запропонованого регульованого електроприводу задовольняють технологічним процесом.

Було розглянуто правила технічної експлуатації машини і техніки безпеки при її обслуговуванні персоналом. Сушильний барабан працює в автоматичному

режимі. Тривала і безпечна його робота забезпечується грамотної експлуатацією при дотриманні викладених раніше правил.

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 впроваджуваного електроприводу менше нормативного.

Електропривод з частотне-керуваним електродвигуном дозволяє здійснювати більш якісну просушування зерна і забезпечує більшу продуктивність

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зміна фізико - хімічних властивостей соняшникового насіння під час його зберігання / Максимова І.М., Манк В.В., Ковалевська Є.І., Тимохін В.В. //Наукові праці УДУХТ- 2001. - № 9-с. 73-74.

2. Технічні засоби післязбиральної обробки насіння соняшнику/Є.В. Михайлов, С.В. Кюрчев, О.С. Колодій, Н.О. Задосна, В.О. Верхованцева, Л.М. Чсрнишова, Н.О. Полянничко / Мелітополь, видавниче - поліграфічний центр ТОВ «Форвардпрес» -2019р. - 203 с.,

3. Технологічне обладнання для переробки продукції рослинництва: Лабораторний практикум / В.Ф. Ялпачик, Н.П. Загорко, Н.О. Паляничка, С.Ф. Буденко, К.О. Самойчук, Кюрчев С.В., В.О. Верхованцева, В.О. Олексієнко, В.Г. Циб. // – Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. – 277 с.

4. 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.

5. Електрообладнання та автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок / Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. / Навчальний посібник – К.: Вища школа, Головне видавництво, 1989. – 343 с.

6. Автоматизований електропривод ч. 2 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.І. Теряєв. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.– 204 с.

7. Васійчук В.О. Основи цивільного захисту. Навч. посібник / В.О. Васійчук, В.Є Гончарук, С.І. Качан, С.М. Мохняк. - Львів: Видавництво НУ "ЛП", 2010. - 417с.

8. Запольський А.К., Українець А.І. Екологізація харчових виробництв: Підручник.-К: Вища школа, 2005.-433 с.