

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

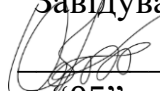
(повне найменування інституту, назва факультету)

Суднових електроенергетичних систем

(повна назва кафедри)

Рекомендовано до захисту

Завідувач кафедри СЕЕС

 д.т.н., доц. Обрубов А.В.
"05" червня 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

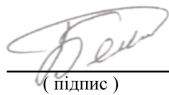
на здобуття ступеня вищої освіти "бакалавр"

на тему:

"Проектні дослідження системи автоматизованого електроприводу барабанної зерносушарки"

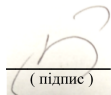
Виконав: студент IV курсу, групи 4367ст3
напряму підготовки (спеціальності)
141 "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)


(підпис)

Бельчев Валерій Олександрович

(прізвище та ініціали)


(підпис)

Керівник к.т.н., доц. Ставинський Р.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. Білюк І.С.

(прізвище та ініціали)



м. Миколаїв 2026 р.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
Кафедра Суднових електроенергетичних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Напрямок підготовки 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д. т. н., проф.

Волянська Я. Б.



"15" лютого 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Бельчеву Валерію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Проектні дослідження системи автоматизованого електроприводу барабанної зерносушарки.

керівник проекту (роботи) Ставинський Р.А., к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "22" квітня 2026 р. №286-уч.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) до 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) потужність електродвигуна для приводу барабану 7,5 кВт; частота обертання 1500 об/хв.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

4.1. Технологічне обладнання для сушіння зерна.

4.2. Розрахунок потужності та вибір елементів електроприводу барабану зерносушарки.

4.3. Розрахунок автоматизованої системи керування електроприводом барабана зерносушарки.

4.3. Охорона праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів

5.1. Технологічна схема зерносушарки.

5.2. Схема електрична принципова керування електроприводами зерносушарки.

5.3. Силова частина та імітаційна модель системи.

5.4. Перехідні характеристики системи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

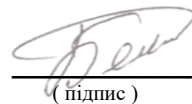
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Ставинський Р.А.		
			3.06.26

7. Дата видачі завдання 15.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

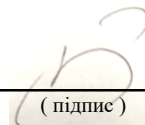
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічне обладнання для сушіння зерна.	6.04.2026	виконано
2	Розрахунок потужності та вибір елементів електроприводу барабану зерносушарки.	20.04.2026	виконано
3	Розрахунок автоматизованої системи керування електроприводом барабана зерносушарки.	7.05.2026	виконано
4	Охорона праці.	3.06.26	виконано

Студент


(підпис)

Бельчев В.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник


(підпис)

к.т.н., доц. Ставинський Р.А.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота присвячена питанням автоматизації та оптимізації технології сушіння зерна шляхом удосконалення роботи електроприводу барабанної зерносушарки. Метою дослідження є аналіз та розробка регульованого електроприводу барабана, який дозволяє оптимізувати процес сушіння за рахунок точного керування швидкістю обертання.

В результаті аналізу вихідних даних й технічних вимог обрано оптимальну схему привода та базовий електродвигун. Проведено повний електротехнічний розрахунок силового перетворювача з вибором компонентів реверсивної тиристорної мостової схеми (трансформатори, тиристори, дросель). Досліджено статичні режими роботи замкненої та розімкненої системи, скориговано навантажувальну діаграму повного робочого циклу та виконано розрахунок перехідних процесів електродвигуна.

Ключові слова: барабанна зерносушарка, електропривід, система керування.

ANNOTATIONS

The thesis is devoted to the issues of optimization and automation of grain drying technology by improving the operation of the electric drive of the drum grain dryer. The purpose of the research is the development and analysis of an adjustable electric drive of the drum, which allows optimizing the drying mode by precisely controlling the rotation speed.

As a result of the analysis of the initial data and technical requirements, the optimal drive scheme and the basic electric motor were selected/ a full electrical calculation of the power converter was performed with the selection of components of the reversible thruster bridge circuit (transformer, thrusters, choke). The static modes of operation of the closed and open systems were investigated. The load diagram of the full duty cycle was adjusted. And the calculation of the transient process of the electric drive was performed.

Keywords: drum grain dryer, electric drive, control system.

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Лист
						4
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП 6

1. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА 7

1.1 Агротехнічні основи сушіння зерна 7

1.2 Характеристика барабанних зерносушарок 14

2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВА

ЕЛЕКТРОПРИВОДУ БАРАБАНА ЗЕРНОСУШАРКИ 19

2.1 Характерні особливості будови та роботи барабанної сушарки 19

2.2 Виконання розрахунку барабану зерносушарки 21

2.3 Вибір електропривода барабану зерносушарки 34

3. РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ БАРАБАНА ЗЕРНОСУШАРКИ 44

3.1 Розрахунок параметрів системи автоматичного керування
електроприводом барабана зерносушарки 44

3.2 Аналіз силової частини системи 46

3.3. Розрахунок параметрів динамічної моделі електроприводу 48

3.4 Дослідження динамічної моделі електроприводу за допомогою пакета
Simulink 51

4. ОХОРОНА ПРАЦІ 54

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів роботи зерносушарки. 54

4.2 Вимоги безпеки при роботі 55

4.3. Заходи з охорони праці 60

ВИСНОВКИ 62

ЛІТЕРАТУРА 63

ВСТУП

Економічний розвиток вимагає підвищення якості та збереження врожаю. Старовинні «класичні» методи сушіння зерна, які спираються на інтуїцію та досвід оператора, стають неефективними, коли досягнення максимальної продуктивності без надлишкового споживання палива та зниження якості зерна вже неможливе.

Зростання цін на енергоносії робить це завдання особливо актуальним. Розв'язання цієї проблеми можливе за допомогою провадження передових технологій та комплексної автоматизації сушіння, що дозволить оптимізувати процеси і знизити витрати.

Автоматизація сушіння без участі оператора теоретично можлива, але створення такої системи сушарки нерентабельна, оскільки вартість буде занадто дорогою. Висока вартість такої системи пов'язана з необхідністю врахування та інтегрування великої кількості контрольованих параметрів, закономірностей та процесів. На сьогоднішній день, такі дослідження проведені не повною мірою та потребують подальшого вивчення. Тому повне виключення оператора з технологічного процесу сушіння не є раціональним рішенням.

Найефективнішим способом вирішення цієї проблеми є використання напівавтоматичної системи управління процесом сушіння. Це означає, що оператор активує сушарку, налаштовує її на оптимальний режим і передає контроль автоматизованій системі, яка буде підтримувати процес у необхідних межах.

Автоматизована система для барабанної зерносушарки обов'язково має регульований електропривод, що забезпечує можливість налаштування та підтримання оптимальної швидкості обертання барабана, як зазначено в [1].

Автоматизоване управління забезпечує оптимальне підтримання заданих режимів сушіння. Це в свою чергу, дозволяє зменшити споживання паливно-енергетичних ресурсів (до 15%) та знизити ризик загоряння зерна.

1. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА

1.1 Агротехнічні основи сушіння зерна

Для довгострокового зберігання зерна найефективнішим методом є його сушіння. Сушіння дозволяє знизити вологість зерна після збирання. Якщо його вологість становить 33- 34% до сушіння, то після спостерігається зниження вологості на 14-15%. Це покращує якість зерна і суттєво знижує витрати на його переробку.

Довговічність зберігання зерна визначається ключовими параметрами, такими як вологість та температура зерна, а також умовами навколишнього середовища. Важливу роль відіграє також доступ повітря до зерна, що здійснює вплив на процес дихання зерна. В залежності від цих факторів , виділяють три основні режими зберігання зернового матеріалу:б сухий, охолоджений та герметичний.

Повітря є основним агентом для сушіння зерна у більшості методів. Сушіння здійснюється за рахунок передачі тепла повітрям до зерна та видалення вологи шляхом випаровування.

Методи сушіння зерна можна класифікувати на дві ключові категорії:

- 1) штучний (за допомогою тепла) – процес сушіння, що відбувається у спеціальних установках для сушіння;
- 2) природний – це сушіння зерна за допомогою повітряного потоку, без нагрівання.

В свою чергу, штучне сушіння має такі види:

- а) метод конвекції;
- б) метод кондукції (контактне сушіння);
- в) електричний метод;
- г) метод сорбції;
- д) облучення (опромінення) зерна.

До штучного методу сушіння зерна належить метод кондукції, коли використовується контактування зернового матеріалу із твердою сушильною

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ док.ум.	Підпис	Дата		7

речовиною, яка здатна поглинати вологу. До таких речовин відносяться активоване вугілля, суха деревина та сульфат натрію.

Використання технічного сульфату натрію, оскільки він має високу поглинальну здатність до вологи, забезпечує рівномірне сушіння зерна при змішуванні його з зерновим матеріалом. При вологості від 20% до 24% необхідно перемішувати зерно лише два рази на добу. Більша вологість вимагає частішого перемішування – щодня три або чотири рази на добу для ефективного видалення надлишкової вологи. Період сушіння зазвичай становить від 5 до 10 днів.

Повітряно-сонячне сушіння залишається актуальним методом для сушіння зерна у малих об'ємах. У цьому процесі волога випаровується ззовні, через поверхню насипу зернових культур. Це означає, що чим тонший шар зерна, тим швидше і ефективніше насіннєвий матеріал втрачає вологу. Саме тому при цьому методі сушіння зерно насипають товщиною не товще десяти – двадцяти см.

Принцип природного методу сушіння зерна полягає у створенні середовища, яке сприяє підвищенню вологоємності повітря та пари навколо зерна. Саме повітря у даному методі виступає агентом сушіння і здатне поглинати більше вологи при підвищенні температури.

Використання теплого повітря найчастіший метод, який використовується як при сонячному природному сушінні, так і у зерносушарках.

Понад 50 років сушіння зерна здійснювалося за допомогою нагрітого повітря. Навіть з появою нових технологій у сфері обробки зернових культур, сушіння залишається актуальним завданням для агропромислового комплексу.

На даний час людством вже використовуються високоефективні комбайни. Залучення сучасної техніки дозволило суттєво скоротити час збирання зернових. З метою забезпечення довготривалого зберігання зернових культур аграрними комплексами використовуються високопродуктивні

сушарки, як дозволяють швидко підготувати зерно для зберігання та скоротити час його сушіння.

Зерносушарки – це високоефективне обладнання, де для висушування зерна використовується суміш продуктів згоряння палива та повітря. Основним видом палива для них, як правило, є природний газ. При оптимальному контролі концентрації продуктів згорання, вони не школять якості зернових культур. Зерносушарки великої потужності зазвичай працюють на рідкому паливі. Інші види енергії на сьогодні не представляють серйозної конкуренції для природного газу та рідкого палива.

Існує кілька основних типів зерносушарок, а саме: шахтні, вібраційні, камерні, барабанні та рециркуляційні, кожен з яких має свої особливості.

В конвенційних зерносушарках для сушіння зерна використовується нагріте повітря. Сушіння здійснюється за рахунок передачі тепла від нагрітого повітря до зерна. Повітря поглинає вологу, яка виділяється із зерна під час сушіння, й виводить її зовні.

Принцип роботи конвенційної сушарки полягає у нагріванні повітря за допомогою газу або рідкого палива, яке при спалюванні змішується з нагрітим повітрям та діє на зерно. Відсутність негативного впливу на зернові культури забезпечується правильним налаштуванням газового пальника. Також конвенційні сушильні апарати, що працюють на газі, обладнані теплообмінником, який забезпечує постачання свіжого повітря у сушильну камеру.

Конвекційний метод сушіння зерна по теперішній час залишається найбільш популярним та ефективним способом підведення тепла. Для цього зазвичай використовують рідке паливо або природний газ. Найбільш сучасним є впровадження сушіння за допомогою інфрачервоного випромінювання (метод облучення), проте масове застосування зерносушарок на основі цієї технології поки що не реалізоване.

Вибір зерносушарки визначається наступними факторами:

- продуктивність;
- безпека;
- вартість;
- недійсність терморегуляції;
- постійна продуктивність;
- наявність транспортних засобів.

Одним із найважливіших чинників є спосіб очищення сушарки, простий спосіб очищення особливо актуальний при сушінні різних партій зернового матеріалу. Якість зерна безпосередньо залежить від сушіння, яке може негативно вплинути на його схожість. Сушіння також може призвести до підгоряння зерна та зниження якостей борошна.

Розглянемо основні види сушильних апаратів.

Шахтні сушарки, як показано на рисунку 1.1, складаються з пари шахт, що мають рівний об'ємі оснащені вертикальними транспортними системами.



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд шахтної зерносушарки

Постійний фундамент є стандартним для таких сушарок. Принцип їх роботи простий: зерно, під впливом власної ваги, проходить через сушарку. Гаряче повітря подається знизу вгору. Після сушіння зерно потрапляє у спеціальні камери для охолодження. Шахтні сушарки призначені для обробки партій зерна обсягом 8 та 16 тонн. Режим сушіння для продовольчого та насінного зерна відрізняється. Наприклад, при сушінні продовольчого зерна за один цикл відбувається видалення певної кількості вологи. Вміст вологи у зерні становить 5-6%, а продуктивність сушіння – 8-16 тон на годину. У насінного зерна вміст вологи знижується до 3-4%, а продуктивність – до 4-8 тонн на годину. Попереднє очищення сушарки від соломи та лушпиння є необхідною умовою для пожежної безпеки.

Барабанні сушарки (рис. 1.2) представляють собою альтернативний тип сушіння, який за продуктивністю та ефективністю видалення вологи за один цикл (5-6% для продовольчого зерна та 3+4% для насінного) не поступається шахтним сушаркам. Ключовими компонентами барабанної сушарки є: топка, барабан й камера охолодження. На валу барабана розміщені металеві пластини, які забезпечують рух зерна по горизонтальній спіралі. Барабанні сушарки характеризуються компактністю, що сприяє їх легкому транспортуванню. Однак, незважаючи на це, найчастіше їх застосовують у нерухомому форматі.



Рис. 1.2. Загальний вигляд барабанної зерносушарки

Ще одним із різновидів сушарок є камерні сушарки закритого типу. Такий вид сушарок характеризується значними розмірами та механічною подачею зерна. У їхній конструкції є повітропровід, який забезпечує проходження повітря через дві камери з перфорованою підлогою. Ефективність просушування забезпечується написанням зернового матеріалу висотою не більше 80 см, щоб забезпечити ефективне просушування. За допомогою нагрітого повітря здійснюється продування зерна, яке може бути нагріте до потрібної температури.

У сушарки завантажується перший шар, потім після його висихання – другий, і так далі до повного заповнення силосу зерном. Для наповнення силосу зерном і видалення шару рівної товщини існує спеціальне устаткування. Для рівномірного видалення вологи в сушарці є вбудовані шнеки для забезпечення можливості перемішування зерна в процесі сушіння. Волога видаляється разом із розвантаженням сухого зерна.

Розглянемо рециркуляційні сушарки (рис. 1.3), які конструктивно схожі з шахтними. Але вони мають істотні відмінності.



Рис. 1.3. Загальний вигляд рециркуляційної зерносушарки

В цих сушарках зерно завантажується зверху в шахту, швидко нагрівається, та під власною вагою, воно опускається вниз. Частина зерна

направляється на склад, а інша - у другу шахту, де відбувається змішування вже нагрітого сухого зерна з новим, ще не просушеним. Це призводить до часткового висихання зерна. Після цього воно відправляється в першу шахту до повного сушіння. Технологія змішування сухого та волого зерна не є випадковою. Його перевага полягає в можливості економити паливо. Ці сушарки призначені для обробки продовольчого зерна та мають високу продуктивність, яка може досягати 70 тонн за годину.

В даний час аграрні підприємства застосовують зерносушарки, як мобільні, так і рухомі, що працюють безперервно. Вони оснащені примусовою подачею теплоносія та механізованими системами завантаження та вивантаження зерна.

Проаналізуємо технологічні характеристики процесу сушіння зерна в сушарках. В барабанній зерносушарці зернові продукти переміщуються по обертовому барабану у вздовж барабана, проходячи через потік теплоносія. Температура теплоносія, необхідна для сушіння продовольчого зерна, становить 180-200°C, а для насіння – 100-160°C. Продовольча пшениця нагрівається до 50°C, насіння – до 48°C.

В шахтній зерносушарці зерно, під впливом гравітації, рухається вниз. Теплоносій, що нагрівається до 100-140°C, подається на зустріч із зерном, просушуючи його. В результаті цього процесу температура зерна підвищується до 50°C, а насіння – до 45°C.

Після обробки в барабанній зерносушарці вологість зерна знижується з 25% до 17 %, у той час як шахтна сушка дозволяє досягти показника 19%. На заводах випускають різні моделі зерносушарок: пересувні СЗПБ-2.0, стаціонарні СЗСБ-4.0 та СЗСБ-8.0, шахтні стаціонарні СЗШ-16 та СЗШ-8.0, і пересувні ЗСПЖ-8. Зерносушарки можуть бути використані як окремо (наприклад, СЗПБ-2.0; СЗСБ-4.0; ЗСПЖ-8), так і в рамках комплексних систем очищення та сушіння зерна (СЗШ-16.0, СЗШ-8.0, СЗСБ-4.0), що об'єднуються в технологічні лінії [2].

1.2 Характеристика барабаних зерносушарок

Зерносушарки барабанного типу СЗПБ-2, СЗСБ-4 та СЗСБ-8, з пропускною здатністю 2, 4 і 8 тонн за годину, призначені для сушіння продовольчого зерна, насіння трав'яних культур та виробництва білкового-вітамінного трав'яного борошна [2].

Технологічну схему зерносушарки типу СЗСБ-8 зображено на рис.1.4. Такими сушарками комплектуються комплекси післязбиральної обробки зерна типу КЗС-20Б.

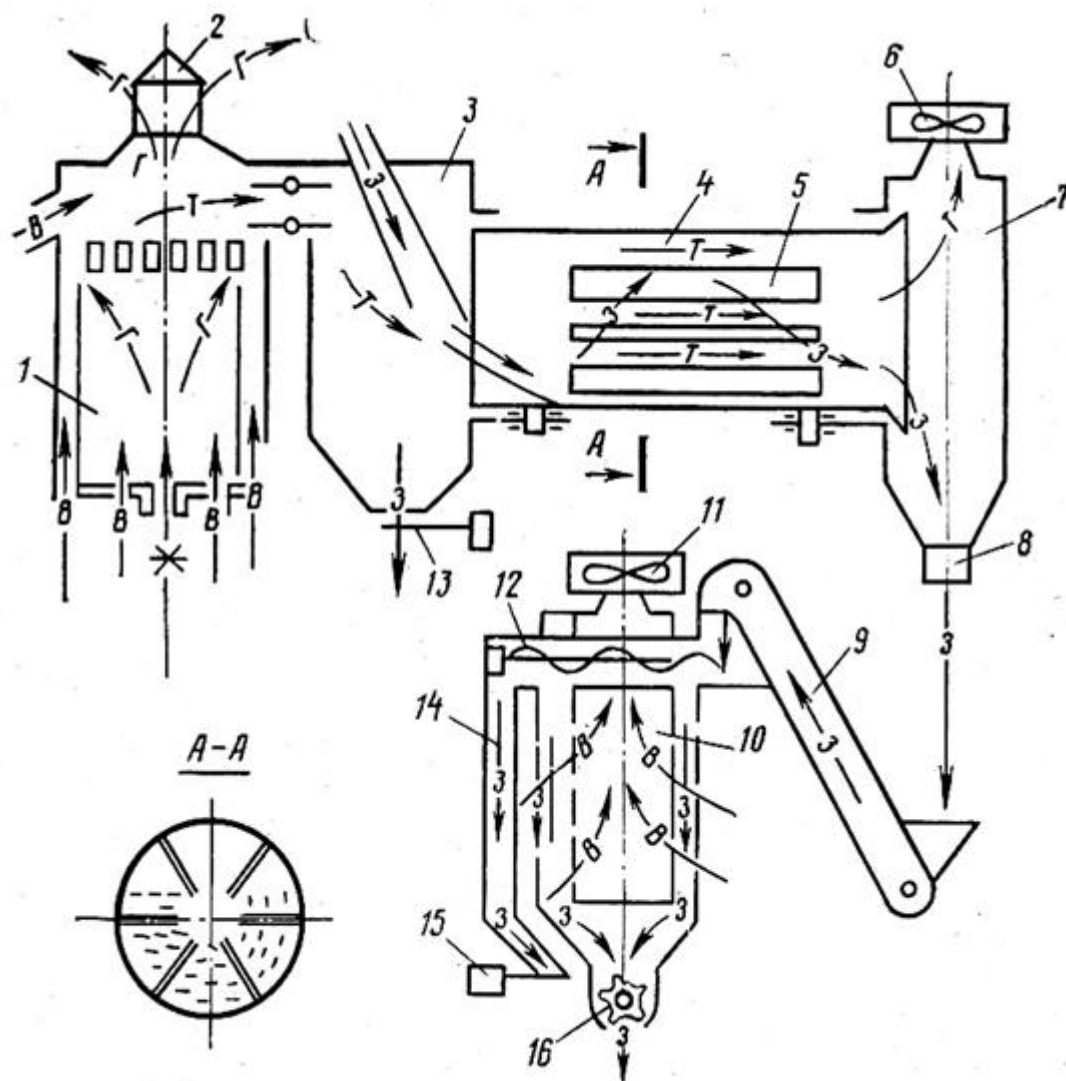


Рис. 1.4. Технологічна схема зерносушарки СЗСБ-8

Зерносушарка складається з таких основних елементів: 1 топки, 3 завантажувальної камери, 4 сушильного барабана, оснащеного 5 піднімальними

лопатками, 7 розвантажувальної камери, 9 елеватора та 10 охолоджувальної колонки, що має 12 шнек. Для обертання сушильного барабана використовується електродвигун потужністю 7,5 кВт, який передає крутний момент через двоступеневий редуктор та ремінну передачу. Важливо забезпечити рівномірний і безперервний потік зерна в сушильний барабан. Зерно подається в барабан за допомогою гвинтових транспортерів. Надлишкове зерно відводиться через підпірне кільце, розташоване на завантажувальній камері, і направляється клапаном-блимавкою 13 до приймального бункера.

Теплоносій і 5 лопатки переміщують зерно вздовж барабана, після чого воно потрапляє в 7 розвантажувальну камеру. З камери 7 зерно, проходячи через 8 шлюзовий затвор, 9 елеватором і подається в 10 охолоджувальну колонку, де під впливом 11 вентилятора охолоджується за допомогою зовнішнього повітря. Для забезпечення рівномірного потоку зерна та його транспортування вгору по колонці використовується 12 горизонтальний шнек. Під час завантаження колонки зайве зерно потрапляє в 14 зерно злив, оснащений 15 клапаном з контактною сенсорною системою. Активізація 16 шлюзового затвора відбувається завдяки сигналам від контактної датчика та датчика верхнього рівня зерна. Зерно випускається порціями до моменту спрацювання датчика мінімального рівня, розташованого у верхній частині охолоджувальної колонки.

Теплоносій готується в 1 топці, де рідке паливо (газ або суміш 75% газу та 25% моторного палива) спалюється. Нагрівання повітря, що подається до топки, здійснюється за допомогою отриманих теплоносіями газів. Побічні гази виводяться через 2 трубу, а відпрацьований теплоносій скидається в атмосферу за допомогою 6 вентилятора.

Схема керування двома зерносушарками моделі СЗБ-8, якими комплектується система КЗС-20Б, представлена у вигляді принципіального електричного схематика на рис. 1.5. Вона включає в себе системи дистанційного

запуску та зупинки, а також управління топкою, оснащена світловими та звуковими сигналізаціями.

За допомогою автоматів QF1, QF2 та перемикача SA1 можна вибрати потрібний режим роботи обладнання: лише перша або друга зерносушарка, або їх спільна робота (положення перемикача SA1 встановлюється на 1, 2 або 3).

Після запуску зерносушарки активуються автомати SF1 та SF2, забезпечуючи живлення системи керування. Потім кнопкою SB2 вмикається магнітний пускач KM16.

Після увімкнення блоку-контактів KM16:3, реле KV3 змушує звучати попереджувальний сигнал НА. Однак, після того, як агрегати стартують, цей сигнал можна вимкнути натискаючи на кнопку SV21, управління якою здійснюється реле KV1 через KV3.

Розглянемо функціонування схеми (див. рис. 1.5) під час пуску першої зерносушарки. Натискання кнопок SB4 та SB6 призведе до активізації електроприводів M1 (потужністю 10 кВт), які керують 6 вентиляторами сушильного 4 барабана, та M2 (потужністю 4 кВт), що відповідає за роботу 1 топки. Одночасно з активізацією блок-контактів KM2:3, запускається таймер KT1. Після 150 секунд затримки закриття контакту KT1:1, трансформатор запалювання TV1 та електромагнітний клапан VA1 вмикаються, що призводить до подачі палива у топку. Встановлення полум'я в топці активує фотореле KV5, яке, у свою чергу, включає реле на KV4. Реле отримавши само підживлення через свій контакт KV4, відключає реле KT1.

Якщо протягом 15 секунд після запуску в топці не з'явиться полум'я, реле KT1 протягом 165 секунд від моменту запуску шунтує ланцюг В. Це призведе до спрацювання реле KV5 та подальшого спрацювання реле KV4. Реле KV4, використовуючи один контакт, вимкне реле часу КТІ, а іншим контактом розірве один з двох живлячих магнітний пускач KM2. Після цього реле KT1, разшунтує ланцюг В, вимкне фотореле KV5. Фотореле KV5, у свою чергу, розірве ланцюг живлення KV4 та KM2, що призведе до вимкнення вентилятора

топки. Контакти КМ2:3 відключають напругу з автомата контролю полум'я та активують звуковий сигнал НА через реле КV1:2 у разі загаснення полум'я, незалежно від причин. Для повторного запуску оператором необхідно спочатку усунути причину загаснення полум'я.

Після успішного запуску топки, натискання на кнопки SV12 та CB14 активує магнітні пускачі КМ5 та КМ6. Це призводить до запуску електродвигунів М5 (потужністю 7,5 кВт), що керують сушильним барабаном 4, та М6 (потужністю 5,5 кВт), що керують вентилятором 11 охолоджувальної колонки 10. Кнопки SV16...SV20 керують магнітними пускачами КМ13...КМ15, які запускають електроприводи для різних видів норій: М13 – охолоджувальних колонок, М14 – сушарок з розвантаженням, та М15 – проміжних. Кожен електродвигун має потужність 2,2 кіловат.

Електропривод М3 розвантажувального пристрою, призначений для 8 сушарок, можна активувати лише після того, як розвантажувальна норія буде введена в експлуатацію.

Так само, як і в першій зерносушарці, електродвигуни М7...М12 другої зерносушарки управляються за допомогою включення та відключення.

Електроприводом М4 розвантажувальні пристрої 16 охолоджувальної колонки 10 можна керувати вручну за допомогою кнопок SV9 й SV10 або автоматично за допомогою датчиків рівня зерна (перемикач SA2 у другому випадку ставлять у положення 2).

Величини нижнього й верхнього рівнів зерна в охолоджувальній колонці контролюються датчиками рівня SL1 і SL2. Якщо рівень зерна досягне граничного нижнього значення, то розмикаються контакти SL1 і розвантаження охолоджувальної колонки припиняється. Коли зерно досягає граничного верхнього рівня, то замикаються контакти спочатку S, а потім SL2, і починається розвантаження колонки.

Зупиняє зерносушарку оператор, по черзі відключаючи обладнання в послідовності, зворотній пуску, за допомогою кнопок «Стоп» SV19...SB1. В

екстрених випадках зупинка усіх машин одночасно відбувається кнопкою S5 або SB1.

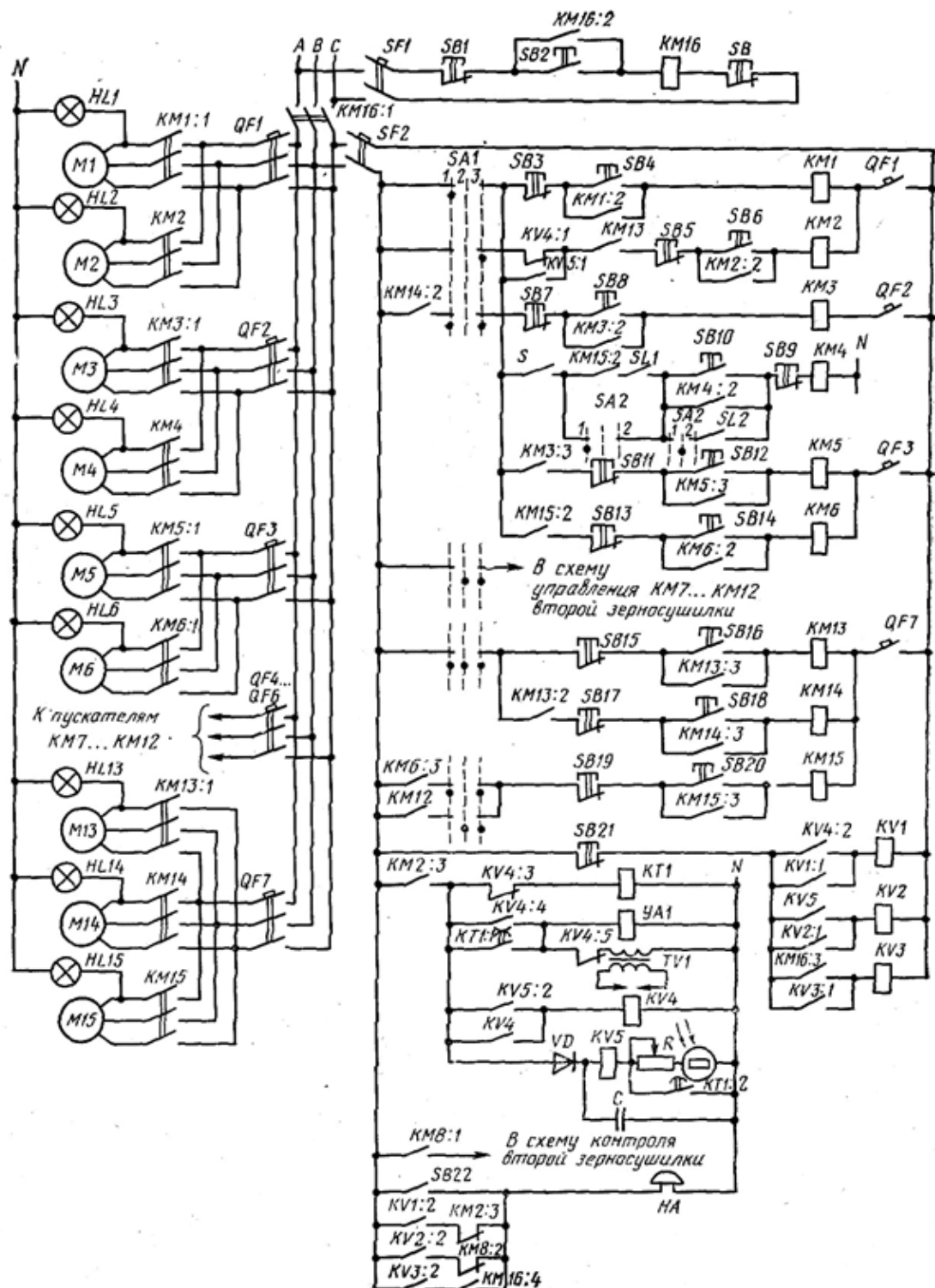


Рис. 1.5. Електрична принципова схема управління барабаними зерносушарками СЗБ-8

2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ БАРАБАНАУ ЗЕРНОСУШАРКИ

2.1. Характерні особливості будови та роботи барабанної сушарки

Барабанна сушарка СЗСБ-8.0 має циліндричну форму, виготовлену зварюванням. На її зовнішню поверхню прикріплені бандажні опорні елементи, кільця жорсткості та приводний зубчастий венець. Кут нахилу осі барабана варіюється від 3 до 6 градусів по відношенню до горизонталі.

Сушарки цього типу належать до атмосферних сушарок безперервної дії, призначених для сушіння сипучих продуктів. Для цього процесу використовуються або топкові гази, або нагріте повітря як сушильний агент.

Принципова схема барабанної сушарки представлена на рисунку 2.1

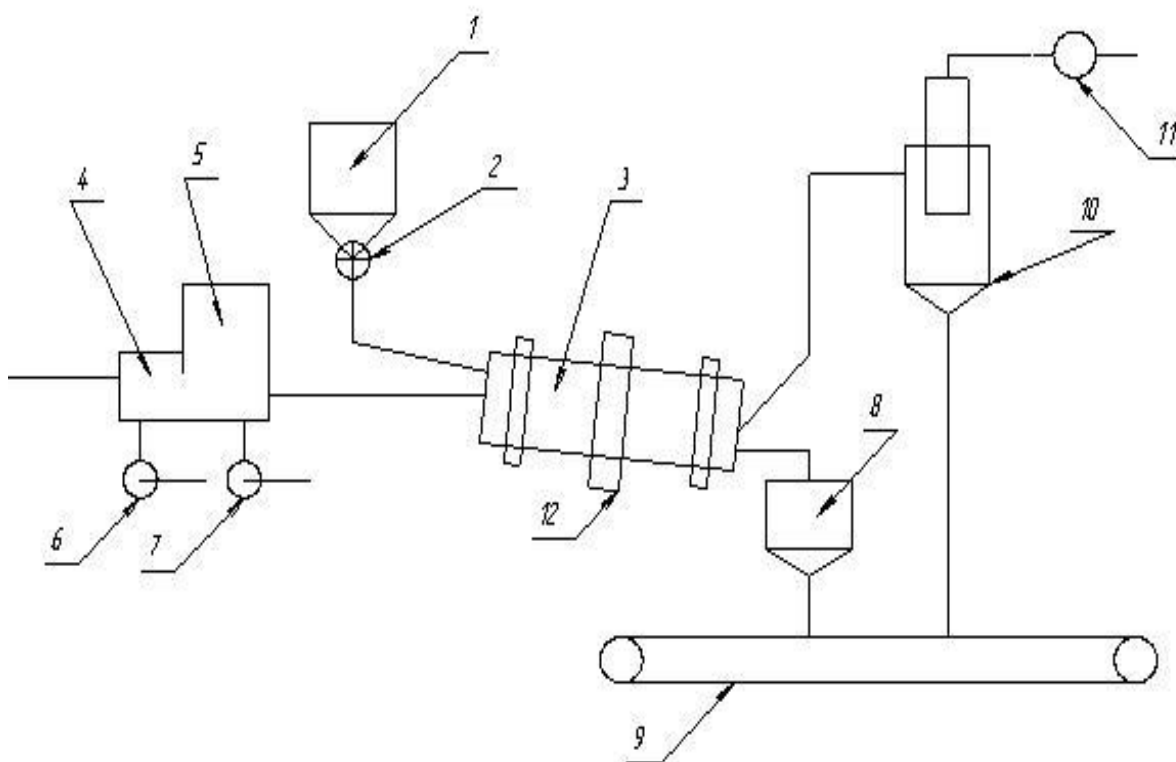


Рис. 2.1. Принципова схема барабанної сушарки:

1- барабан; 2- живильник; 3 – сушильний барабан; 4- топки;
5 – змішувальна камера; 6, 7, 11 – вентилятори; 8 – проміжний бункер;
9- транспортер; 10- циклон; 12- зубчаста передача.

Продукт вивантажений із бункера 1, за допомогою живильника 2 потрапляє в обертовий барабан 3 сушильної установки. Паралельно з продуктом установку подається суміш топкових газів, що виробляється топкою 4, та повітря. Ця суміш змішується в камері 5. Повітря та топки нагнітаються вентиляторами 6 та 7. Після сушіння продукт виходить з іншого боку барабана 8 і транспортується пристроєм 9.

Перед скиданням відпрацьованого сушильного агента в атмосферну, він піддається очищенню в циклоні номер 10. Іноді для підвищення ефективності очищення використовують мокре пиловловлення.

Вентилятор 11 забезпечує подачу сушильного агента до камери сушіння установкою щоб уникнути витікання сушильного агента через негерметичні з'єднання конструкції, в камері сушіння підтримується легкий вакуум. Обертання барабана відбувається за допомогою електродвигуна та зубчастої передачі 12.

Всередині барабана знаходяться насадки, форма яких залежить від властивостей продукту, який сушиться. З боку завантажувальної камери встановлена багатозапорна гвинтова насадка, що може мати різну кількість спіральних лопат (від 6 до 16), визначену розміром самого барабана. Для обробки продуктів з високою адгезією до стін барабана, для їх подрібнення та очищення використовуються ланцюги. У деяких випадках замість ланцюгів можуть бути встановлені ударні механізми. Їх фіксують на зовнішні поверхні барабана.

Вибір схеми барабанної сушарки залежить від характеристик та властивостей продукту.

Наприклад, якщо зерновий продукт має хорошу сипкість і розмір часток до восьми міліметрів, то для сушіння використовуються секторні насадки з діаметром барабана від 1000 мм до 1600 мм. У випадку, коли продукт має високу адгезію або частки більші за 8 мм, застосовуються підйомно - лопатеві пристрої, які забезпечують ефективніше перемішування та сушіння. Якщо

зернова культура, хоч і має тенденцію до налипання, відновлює свою пудристість після сушіння, то для барабанних сушарок з розміром барабана в діапазоні 1000-3500 мм застосовується спочатку пристрої з підйомними лопатами для перевалювання, а потім – секторні насадки.

Виробництво барабанів, завантажувальних та розвантажувальних камер переважно здійснюється з використанням вуглецевих сталей. У деяких випадках для виготовлення цих елементів можуть використовуватися жаростійкі сталі спеціальних марок, іноді частково або повністю.

Окрім атмосферних, існують також вакуумні барабанні сушарки періодичної дії, які класифікуються на сушарки з середнім та глибоким вакуумом.

2.2 Виконання розрахунку барабану зерносушарки

2.2.1 Визначення матеріального балансу барабанної установки для сушіння зерна.

Визначення матеріального балансу сушарки є ключовим фактором у розрахунках процесу сушіння. На першому етапі потрібно визначити початковий рівень вологовмісту продукту (ω_1) та його кінцевий рівень після сушіння (ω_2).

Вологість матеріалу можна виразити через відношення загального вмісту води W до суми, що складається з води W та сухої речовини $G_{\text{сух}}$. Альтернативно, вологість можна визначити як відношення води W до маси абсолютно сухої речовини $G_{\text{сух}}$.

Отже, вологість у відсотках можна визначити, виходячи з того, що

$$\omega = \frac{W}{G_{\text{сух}} + W} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Відсоткова абсолютна вологість визначається співвідношенням:

$$\omega^a = \frac{W}{G_{\text{сух}}} \cdot 100 \quad (2.2)$$

Для визначення загальної та абсолютної вологості застосовуються наступні вирази:

$$\omega^a = \frac{100\omega}{100 - \omega} \% ; \quad (2.3)$$

$$\omega = \frac{100\omega^a}{100 + \omega^a} \% . \quad (2.4)$$

Використовуємо наступні позначення:

G_1 – маса вологого матеріалу, що подається в сушарку, виражена в кілограмах на годину.

G_2 – маса сушеного матеріалу, отриманого з сушарки, виражена в кілограмах на годину

W – об'єм води, який було виділено з продукту.

Визначити кількість абсолютно сухої речовини дозволить використання цієї формули:

$$G_{\text{сух}} = \frac{G_1(100 - \omega_1)}{100} = \frac{G_2(100 - \omega_2)}{100} \quad (2.5)$$

За допомогою рівняння 2,5 визначимо кількість висушеного матеріалу:

$$G_2 = G_1 \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \quad (2.6)$$

Подібно, визначимо обсяг продукту, що направляється на сушіння:

$$G_1 = G_2 \frac{100 - \omega_2}{100 - \omega_1} \quad (2.7)$$

За допомогою формули 2.8 можна розрахувати обсяг води, що випаровується з продукту:

$$W = G_1 - G_2 = G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} \quad (2.8)$$

Аналогічно можна використати вираз 2.9:

$$W = G_2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1} \quad (2.9)$$

При розрахунку сушильних установок продуктивність сушарок визначається відносно вмісту вологості висушеного продукту на одиницю об'єму камери сушіння або площі нагрівання. Цей показник називається напругою сушарки. Значення напруги залежить від конструкції сушильного апарата, початкової вологості продукту та інших параметрів. Для зручності введення позначень:

V - розмір сушильної камери в кубічних метрах; t – час сушіння, в роках.

Визначимо розмір сушильної камери, вимірюючи його у кг на кубометр за годину вологовмісту.

$$A_v = \frac{W}{\tau V} \quad (2.10)$$

Для контактних сушарок величина поверхневого нагрівання, що впливає на вологість, за формулою 2.11, яка має одиницю виміру $\text{кг/м}^3 \times \text{год}$.

$$A_F = \frac{W}{\tau F}, \quad (2.11)$$

де F – позначає площу нагрівання, виміряну у квадратних метрах; W – масу видаленої вологи, виражену у кілограмах.

2.2.2 Означення рівноваги вологості в сушарці.

Використовуючи рівняння матеріального балансу сушарки, можна обчислити кількість сушильного агента (повітря), необхідного для процесу сушіння. Це досягається шляхом складання рівняння балансу вологи. Припустимо, що сушіння відбувається стабільно і не відбуваються втрати вологи. Тоді волога надходить у сушильну камеру разом із продуктом та сушильним агентом, а відводиться з висушеним продуктом та відпрацьованим повітрям. У такому разі рівняння балансу вологи набуває такого вигляду:

$$G_1 \frac{\omega_1}{100} + L \frac{d_1}{100} = G_2 \frac{\omega_2}{100} + L \frac{d_2}{100} \quad (2.12)$$

L – позначає масу абсолютно сухого повітря, необхідну для процесу сушіння, виражених в кілограмах на годину;

d_1 та d_2 – вологовміст сушильного агента (повітря) перед виходом та після виходу з сушильної камери, вимірювальний у грамах на кілограм сухого повітря.

Кількість сухого повітря, необхідна для випаровування 1 кг води, дорівнює $l = L / W$. Отже, питома витрата сухого повітря, виражена у одиницях кг/кг, може бути обчислена за цією формулою:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1} \quad (2.13)$$

Калорифер підвищує температуру повітря з t_0 до t_1 , при цьому вологість у сушильній камері не змінюється ($d_0=d_1$). На основі цього можна представити формулу 2.13 у такому вигляді:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_0} \quad (2.14)$$

2.2.3 Теплообмінний баланс сушарки

Сформуємо рівняння теплового балансу для процесу сушіння, що відбувається в реальних умовах сушарки:

$$\begin{aligned} LI_0 + Wc_{вл}g_1 + G_2c''_m g_1 + G_{тр}c_{тр}t'_{тр} + Q_k + Q_d = \\ = LI_2 + G_2c''_m g_2 + G_{тр}c_{тр}t'_{тр} + Q_n, \end{aligned} \quad (2.15)$$

I_0 та I_2 характеризують теплоємність повітря, що надходить до сушильної камери та не виходить з неї, вимірювану в кілокалоріях на кілограм.

$c_{вл}$, c''_m та $c_{тр}$ - це питомі теплоємності для води, сушеного матеріалу та транспортних систем, виражені в калоріях на кілограм - градус Цельсія.

Температура води та продукту перед входом у сушильну камеру, а також після її проходження, вимірюється за шкалою Цельсія.

G_2 та $G_{тр}$ - показують масу сушеного продукту та транспортних пристроїв, що рухаються через сушильну камеру, у грам-годинах.

Q_k - позначає тепло, що постачається калорифером, і вимірюється в одиницях: кілокалорії на кілограм. Q_d , навпаки, описує тепло, яке виробляють

додаткові нагрівачі, і вимірюється в кілокалоріях за годину. Q_p – це тепловтрати у навколишнє середовище, також вимірювані в кілокалоріях за годину.

Сформуємо рівняння теплового балансу сушарки, розглядаючи випарування 1 кілограма вологи:

$$q_k + q_d = l(I_2 - I_0) + q_m + q_{mp} + q_n - c_{вл} g_1 \quad (2.16)$$

Питання витрати тепла в калорифері буде сформульоване у вигляді показника, вираженого в кілокалоріях на кілограм.

$$q_k = l(I_2 - I_0) + (q_m + q_{mp} + q_n) - (c_{вл} g_1 + q_d) \quad (2.17)$$

Використання виразу можливо:

$$q_k = l(I_2 - I_0), \quad (2.18)$$

де I_i – теплоємність сушильного агента на виході з калорифера.

Прийнявши, що:

$$(c_{вл} g_1 + q_d) - (q_m + q_{mp} + q_n) = \Delta \quad (2.19)$$

Можна представити рівняння теплового балансу у такому вигляді:

$$l(I_2 - I_0) = \Delta \quad (2.20)$$

Рівняння (2.19) ілюструє тепловий обмін всередині сушильної камери, демонструючи відхилення фактичного процесу сушіння від теоретичного. Для теоретичної сушарки, яка не втрачає тепло, можна скласти рівняння теплового балансу, що описує ситуацію.

$$l(I_2 - I_0) = 0 \quad (2.21)$$

У цьому випадку $l \times I_1 = l \times I_2$, що свідчить про незмінність теплоємності повітря в обох точках теоретичної сушарки: на вході та на виході. Це означає, що теплоємність залишається сталою ($I_1 = I_2 = \text{const}$)/

2.2.4. Аналіз параметрів сушильного барабана з урахуванням технологічних вимог.

Рисунок 2.2 демонструє технологічний розрахунок сушильного барабана, що дозволяє визначити оптимальні параметри установки: діаметр і довжину. Для цього розрахунку використовується об'єм барабана V_6 та бажана

продуктивність сушарки. Такий розрахунок є ключовим елементом у загальному проектуванні сушарки.

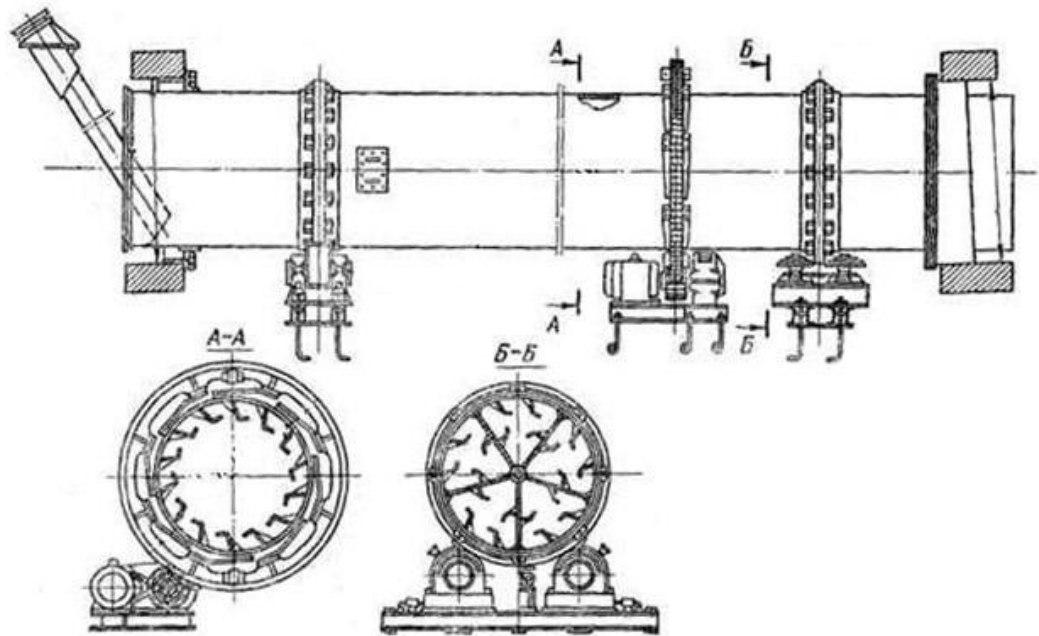


Рис. 2.2. Конструкція сушильного барабана

На підставі розрахованого загального об'єму сушильного барабана можна визначити стандартні параметри для конструювання такої установки.

Для визначення об'єму барабана необхідна сума об'єму, необхідного для сушіння продукту та об'єму для його прогріву.

$$V_{\bar{o}} = V_{\text{суш}} + V_{\text{прогр}} \quad (2.22)$$

Щоб визначити необхідний обсяг $V_{\text{суш}}$ для процесу сушіння, можна скористатися такою математичною формулою:

$$V_{\text{суш}} = \frac{W}{K_v \cdot \Delta X_{cp}}, \quad (2.23)$$

де K_v означає об'ємний коефіцієнт масопередачі, ΔX_{cp} – середня рушійна сила масопередачі, яка вимірюється : кілограм води / метр кубічний.

Розрахунок рушійної сили масопередачі можна здійснити за допомогою наступного рівняння:

$$\Delta X_{cp} = \frac{\Delta X_{\delta} - \Delta X_{\mu}}{\ln \frac{\Delta X_{\delta}}{\Delta X_{\mu}}} = \frac{\Delta p_{cp} M_{\epsilon}}{p_0 V_0 \frac{T_0 t_{cp}}{T_0}}, \quad (2.24)$$

де $\Delta X_{\delta} = X_1^* - X_1$ – початкова сила, що діє під час процесу сушіння, кг/м³;

$\Delta X_{\mu} = X_2^* - X_2$ – сила руху на заключній стадії процесу сушіння, кг/м³;

$X_1^* - X_2^*$ – баланс вмісту води на вході та виході сушарки, виражений у кг/м³;

Δp_{cp} – середня сила руху, яку можна визначити за допомогою формули:

$$\Delta p_{cp} = \frac{\Delta p_{\delta} - \Delta p_{\mu}}{\ln \frac{\Delta p_{\delta}}{\Delta p_{\mu}}}, \quad (2.25)$$

де $\Delta p_{\delta} = p_1^* - p_1$ – початкова сила процесу сушіння, Па;

$\Delta p_{\mu} = p_2^* - p_2$ – сила руху на заключній стадії сушіння, Па;

p_1^*, p_2^* – тиск насиченої пари, що діє на вологий матеріал, визначається на початку та в кінці сушіння. Величина визначається за допомогою температури мокрого термометра сушильного агента, з використанням діаграми Разміна (і-д діаграма вологого повітря), що ілюструє зв'язок між цими параметрами [4]/

p_1, p_2 – тиск водяної пари в газі на початковій та заключній стадіях сушіння, Па.

Значення визначається за формулою:

$$p = \frac{\frac{X}{M_{\hat{a}}} P_0}{\frac{1}{M_{\hat{n}.\hat{a}}} + \frac{X}{M_{\hat{a}}}}, \quad (2.26)$$

де X – вологовміст на вході або виході із сушильної камери.

Під час сушіння кристалічних продуктів, коли поверхнева вода видаляється під час руху сушильного агента паралельно до висушуваного матеріалу, швидкість масообміну прямо корелює з масовіддачею. Це свідчить про те, що ефективність сушіння буде визначатися коефіцієнтом масовіддачі.

Коефіцієнт масовіддачі для барабанної сушарки можна визначити за допомогою формули, отриманої на основі експериментальних даних:

$$\beta_v = 1,6 \cdot 10^{-2} \frac{(\omega \rho_{cp})^{0,9} n^{0,7} \beta^{0,54} P_0}{c \rho_{cp} (P_0 - \rho)} \quad (2.27)$$

де ρ_{cp} – середня густина сушильного агента, виражена в кг/м³, визначається за формулою:

$$\rho_{cp} = \frac{MT_0}{V_0(T_0 + t_{cp})}, \quad (2.28)$$

Де c – середня теплоємність сушильного агента характеризується відсотковим показником наповненості барабана сухими матеріалами. Розрахунок парціального тиску водяної пари в сушильному барабані, позначеного як p (в Паскалях), здійснюється за допомогою визначеної методики.

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2} \quad (2.29)$$

де ω - швидкість просушування агента в барабані, що вимірюється метрами за секунду, залежить від швидкості обертання барабана, яка зазвичай коливається в межах 2-12 обертів на хвилину.

Рівняння (2.27) можна використовувати при: $\omega \rho_{cp} = 0,6 \dots 1 \dots 1,8$ кг/м² · с; $n = 1,5 \dots 5$ об/хв; $\beta = 10 \dots 25 \dots 25\%$.

Якщо значення параметрів перевищують допустимий діапазон, для визначення об'єму барабана необхідно використати формулу, яка дозволяє розраховувати об'єм на основі об'ємної напруги, що спостерігається при вологому середовищі.

$$V_{\sigma} = \frac{3600W}{A_v}, \quad (2.30)$$

Де A_v – значення об'ємної напруги при вологості.

Таблиця 2.1 демонструє зв'язок між швидкістю сушильного агента, розміром часток і насипною густиною висушуваного матеріалу.

Таблиця 2.1 вибір швидкості сушильного агента в барабані

Розмір часток, мм	Значення швидкості ω при насипній густині				
	350	1000	1400	1800	2200
0,3 – 2	0,5 – 1,0	2,0 – 5,0	3,0 – 7,5	4,0 – 8,0	5,0 – 10,0
Більше 2-х	1,0 – 3,0	3,0 – 5,0	4,0 – 8,0	6,0 – 10,0	7,0 – 12,0

Ефективність заповнення барабана залежить від типу встановленого перевалочного пристрою. Підйомно-лопатеві пристрої забезпечують одну схему заповнення, тоді як розподільні з відкритими та закритими камерами – іншу. Для визначення об'єму сушильного простору можна використати формулу (2.23).

Для розрахунку необхідного об'єму барабану сушильного агрегату, який забезпечить підсушку вологої сировини, використовують наступну формулу:

$$V_{\text{прог}} = \frac{Q_n}{K_v \Delta t_{cp}}, \quad (2.31)$$

де Q_n - розрахунок витрати тепла на нагрів продукту до температури t_{m1} здійснюється за допомогою наступної формули:

$$Q_n = G_n c_m (t_{m1} - \Theta_1) + W_e c_e (t_{m1} - \Theta_1), \quad (2.32)$$

Де K_v – коефіцієнт теплопередачі за об'ємом, кВт/м³*К.

Він розраховується по формулі: $K_v = 16(\omega \rho_{cp})^{0,9} n^{0,7} \beta^{0,54}$, (2.33)

де Δt_{cp} – середній показник різниці температур, °С;

c_v – теплоємність повітря;

Θ_1 – температура вологого матеріалу, $\Theta_1 = T_0$.

Необхідно знайти Δt_{cp} . Визначити температуру можна, аналізуючи зміну температури сушильного агента t_k під час його взаємодії з продуктом, який нагрівається до температури t_{m1} . Цей розрахунок базується на рівнянні теплового балансу.

$$Q_n = L_{c.z.}(1 + X_1)c_z(t_1 + t_x) \quad (2.34)$$

Згідно з рівнянням (2.34), можна визначити температуру, t_x :

$$t_x = t_1 - \frac{Q_n}{L_{c.z.}(1 + X_1)c_z} \quad (2.35)$$

Розрахунок середньої різниці температур здійснюється за допомогою формули:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1 - \Theta_1) + (t_x - t_{m1})}{2}$$

(2.36)

За допомогою наявних даних можна визначити необхідний об'єм сушильного барабана $V_{прогр}$ для нагріву вологої сировини. Для цього застосовується формула (2.31), яка дає можливість виконати відповідні розрахунки і отримати точне значення.

Використовуючи формулу (2.31) та всі необхідні дані, можна обчислити об'єм сушильного барабана $V_{прогр}$, що забезпечить ефективне підсушування вологої сировини. На основі відомого обсягу сушильного барабана можна розрахувати його геометричні характеристики, зокрема довжину та діаметр, використовуючи доступні дані.

Вибір ключових розмірів барабана для сушильного обладнання здійснюється, посилаючись на нормативні документи, каталоги та довідники, що відповідають обсягу сушильного простору. Якщо розрахункові залежності для визначення коефіцієнтів масо- та теплопередачі відсутні, можна скористатися орієнтовним підходом: визначити об'єм барабана за допомогою параметра A_v , який відображає об'ємну напругу за вологою.

У числі проведених досліджень встановлено значення A_v для окремих матеріалів, дані про які представлені у таблиці 2.2.

На основі інформації, наведеної в таблиці 2.2, ми встановлюємо ключові параметри барабанної сушарки: її розмір у довжину та діаметр.

Таблиця 2.2

Результати досліджень процесу сушіння деяких матеріалів у барабанних сушарках

Матеріал	ω_n %	ω_k %	$t_{1,3}$	$t_{1,3}$	A_v , кг/м ³ год	Тип внутрішніх пристроїв
Гніт бурячний	84	12	750	100-125	185	Розподільна
Зерно (пшениця)	20	14	200	50-80	20-30	Розподільна
Мезга сукурудзяна	68	12	300	100	40-50	Розподільна
Цукровий пісок	3,0	0,15	100	40	8-9	Підйомно- лопатева

Таблиця 2.3 містить основні характеристики барабанів сушарок. Ефективність сушіння в барабані залежить від дисперсності та густоти матеріалу, що піддається сушінню.

Для визначення оптимальних робочих швидкостей (м/с) при сушінні монодисперсних речовин можна звернутися до даних таблиці 2.1, де наведено рекомендації з вибору швидкості процесу.

Таблиця 2.3

Характеристики барабанів сушарок

Показники	Заводський номер					
	7450	7119	5843	6720	7207	7208
Внутрішній діаметр барабана, м	1,5	1,8	2,2	2,2	2,8	2,8
Довжина барабана, м	8	12	12	14	12	14
Довжина стінок, мм	10	12	14	14	14	14

Обсяг сушильного простору, м ³	14,1	30,5	45,6	53,2	74,0	86,2
Кількість осередків, шт.	25	28	28	28	51	51
Частота обертання барабана, об/хв.	5	5	5	5	5	5
Важальна маса, т.	13,6	24,7	42	45,7	65	70
Використовувана потужність двигуна, Вт.	5,9	10,3	12,5	14,7	20,6	25,8

Розрахуємо середній час перебування матеріалу в сушарці:

$$t = \frac{G_m}{G_k + \frac{W}{2}} \quad (2.37)$$

Кількість матеріалу, що перебуває в сушарці (кг) дорівнює:

$$G_i = V \beta \rho_i . \quad (2.38)$$

Розрахуємо час перебування та кут нахилу барабана:

$$\alpha = \left(\frac{30l}{dnt} + 0,007w_o \right) \frac{180}{\pi} \quad (2.39)$$

Якщо отриманий результат α виявився меншим за 0,5, то кількість обертів барабана зменшують для повторного виконання розрахунку.

Для того, щоб запобігти вивітрювання часток висушеного матеріалу з найменшим діаметром потоком сушильного агента, необхідно визначити максимально допустиму швидкість його руху. Визначення цієї швидкості здійснюється шляхом розрахунку швидкості перенесення, яка дорівнює швидкості вільного падіння ($W_{c.в.}$), використовуючи спеціальну формулу:

$$w_{c.в.} = \frac{\alpha_{cp}}{d\rho_{cp}} \left(\frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}} \right), \quad (2.40)$$

де, α_{cp} й ρ_{cp} - в'язкість та густина сушильного агента при середній температурі;

d – найменший діаметр часток матеріалу, м;

$Ar = d^3 \rho_{cp} \rho_{cp} q / \alpha_{cp}$ - критерій Архімеда;

ρ_c - густина часток висушуваного матеріалу.

Швидкість руху сушильного агента в сушарці повинна бути меншою, ніж швидкість, з якою переміщуються частини матеріалу. Дише за цієї умови розрахунок ключових параметрів сушильного барабана можна вважати завершеним. У іншому разі, потрібно знизити швидкість сушильного агента, визначену під час розрахунку, і провести весь процес розрахунку знову.

Окрім визначення основних розмірів сушильного барабана, важливо ідентифікувати ключові компоненти та елементи, що формують структуру сушильного агрегату.

2.2.5 Перевірка розважування барабана

На рисунку 2.3 зображено барабан сушарки, що має діаметр 1,6 метра і довжину 7,5 метра. Його вага становить три тисячі сто (3100) кілограмів. Для правильного функціонування барабана, сила, необхідна для його обертання, не повинна перевищувати 10 кілограмів на кожен тону маси, тобто для даного барабана – максимум 31 кілограм. Необхідно також запобігти самовільному обертанню барабана в будь-якому положенні. Рух барабана здійснюється за допомогою зміщення центру ваги від точки обертання.

Необхідні умови якісного виготовлення барабана

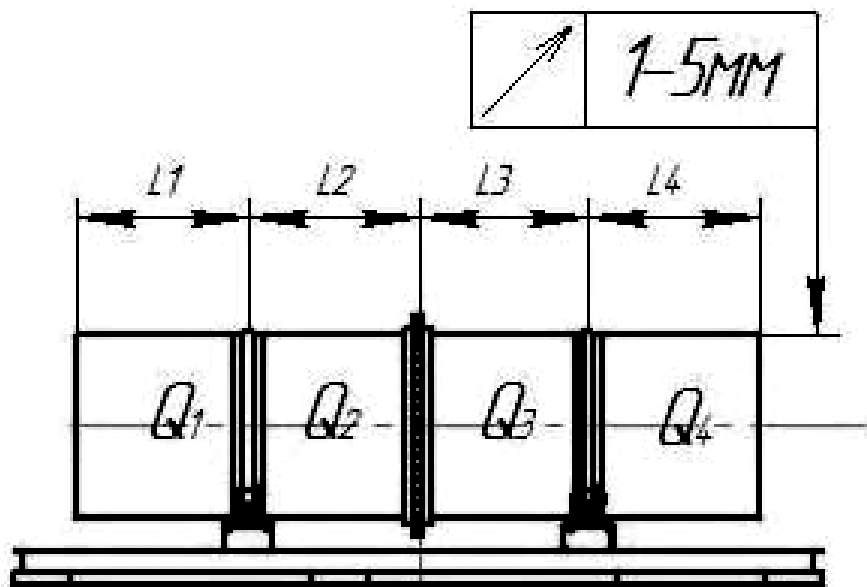


Рис. 2.3 Розважування барабана

Розміри частин барабана – $L_1=L_2=L_3=L_4$.

Вага частин барабана – $Q_1=Q_2=Q_3=Q_4$.

Для барабанів, виготовлених з листової сталі, важливо забезпечити їхню поздовжню стабільність. Така стабільність досягається шляхом точного розміщення бігових доріжок роликів, які фіксують барабан у необхідній позиції.

Дистанція від зовнішніх країв барабана до бігових доріжок повинна співпадати з відстанню між доріжками, розташованими в середині барабана. Розміщення бігових доріжок по краю барабана не дозволяється, оскільки це може призвести до деформації та провисання барабана. Ризик такого провисання підвищується після аварійних зупинок під навантаженням або якщо барабан довго зберігається без використання.

Бігові доріжки можна розмістити вздовж барабана, за умови, що товщина його стін не менша за 3 міліметра на метр довжини. Для сушіння значних обсягів матеріалів барабанних сушарках рекомендується збільшити відстань між біговими доріжками.

Недотримання цих вимог призводить до суттєвого зниження ресурсу приводних механізмів, що обслуговують барабан. Зміна прогину барабана впливає на зазор між вінцем сушарки і приводною шестернею, що погіршує стан зубів як на вінці, так і на шестерні, прискорюючи їх зношування.

2.3 Вибір електропривода барабану зерносушарки

Автоматичне керування електроприводами здійснюється за допомогою керованих перетворювачів та регуляторів. Ці пристрої забезпечують автоматичну настройку параметрів електропривода, наприклад, моменту та швидкості, з використанням зворотних зв'язків. Найширше поширення мають електромашинні та вентильні перетворювачі, які дозволяють керувати напруженою постійного струму та частотою змінного струму. Ці перетворювачі використовуються в системах електропривода, таких як система генератор-

двигун, система тиристорного перетворювача-двигун та система перетворювача частоти - асинхронний двигун. Для регулювання швидкості та моменту також можна застосувати реостатне регулювання, яке забезпечує гнучкість у керуванні роботою двигуна. Вибір найефективнішого методу регулювання серед усіх можливих варіантів виступає на першому місці при розробленні електроприводів.

Кожна з наведених вище систем має як свої сильні сторони, так і свої слабкі місця. Оцінка цих переваг та недоліків, з урахуванням технічних вимог та специфіки виробничого обладнання, дозволить прийняти обґрунтоване рішення щодо вибору системи регулювання.

Система генератор-двигун (Г-Д) продовжує ефективно функціонувати. Її ключовими перевагами є відсутність спотворень електропостачання з мережі та мінімальне використання реактивної потужності. Інтеграція синхронного двигуна в перетворювальний агрегат дозволяє керувати струмом збудження, що забезпечує стабільну роботу електропостачання з високих коефіцієнтом $\cos\phi$. Це, в свою чергу, компенсує реактивну потужність, необхідну для роботи інших пристроїв.

У системі Г-Д є ряд серйозних недоліків, що впливають із необхідності трьох етапів електромеханічного перетворення енергії. Така схема призводить до обмеженої ефективності з точки зору маси, розмірів та енергоспоживання. Для отримання бажаних регулювальних характеристик необхідно значно витрачати дефіцитні ресурси: мідь, високоякісну сталь та робочу силу. Загалом, коефіцієнт корисної дії системи залишається низьким.

Асинхронні двигуни пропонують ряд переваг, що роблять систему перетворювача частоти - асинхронний двигун (ПЧ-АД) перспективною. Але регулювання частоти виявляється складнішим процесом у порівнянні з регулюванням напруги, оскільки він зазвичай потребує додаткових операцій енергетичного перероблення. Це призводить до зниження коефіцієнта корисної

дії системи ПЧ-АД, а також до меншої швидкості та економічності в порівнянні з системою тиристорного перетворювача-двигун (ТП-Д).

Аналіз реостатного регулювання виявляє його обмежену точність, обмежений діапазон регулювання та недостатню плавність дій. Використання резисторів і комутаційних елементів призводить до маси габаритних недоліків. Крім того, розширення діапазону регулювання супроводжується зниженням коефіцієнта корисної дії. Незважаючи на ці недоліки, метод залишається привабливим через свою простоту та низьку вартість впровадження.

Зерносушарка приводиться в дію електроприводом постійного струму, що базується на системі ТП-Д. популярність цієї системи зумовлена її надзвичайною ефективністю. Вона відрізняється економічністю, швидкою реакцією (час налаштування тиристорного перетворювача при напівпровідниковій СІФК не перевищує 0,01 секунди) та високою продуктивністю. Енергетичні витрати у тиристорах під час роботи на номінальному струмі є мінімальними і становлять лише 1-2% від номінальної потужності мотора, що робить її енергоефективною.

Тиристорний перетворювач має певні недоліки, серед яких варіювання коефіцієнта потужності $\cos\phi$ у широких межах та помітне спотворення хвилі струму, який він черпає з мережі, що може призвести до негативних наслідків.

Розглянемо схему перетворювача з мостовою конструкцією, що функціонуватиме за умови спільного управління через погодження.

2.3.1 Розрахунок потужності та вибір двигуна

Номінальна потужність двигуна:

$$P_{\text{экв}} = M_{\text{экв}} \cdot \omega_{\text{расч}} \cdot k_3 = 34,764 \cdot 144,673 \cdot 1,3 = 6,538 \text{ кВт},$$

де $k_3=1,3$ – коефіцієнт, який врахує розбіжності між навантажувальною діаграмою механізму та навантажувальною діаграмою двигуна.

Умови вибору двигуна:

$P_n \geq P_{\text{экв}}$ й $\omega_n \approx \omega_{\text{расч}}$ вибираємо, користуючись [1] двигун постійного струму належного збудження 2ПФ160МУХЛ4.

Номинальні параметри двигуна:

- потужність $P_H=7,5$ кВт ;
- напруга живлення $U=220$ В;
- синхронна частота обертання $n=1500$ об/хв;
- максимальна частота обертання $n_{\max}=4200$ об/хв;
- коефіцієнт корисної дії ККД=83%;
- опір якоря $R_{\text{я}}=0.145$ Ом;
- опір додаткових полюсів $R_{\text{доп}}=0,101$ Ом;
- опір обмотки збудження $R_{\text{в}}=53,1$ Ом;
- індуктивність кола якоря $L_{\text{я}}=4$ мГн;
- момент інерції $J_{\text{дв}}=0,083$ кг*м².

Проаналізуємо роботу двигуна за умови можливого перевантаження та нагрівання

Сумарний момент інерції J_{Σ} з урахуванням моменту інерції механізму:

$$J_{\Sigma}=1,2J_{\text{дв}}+J_{\text{мех}}=1,2*0,083+0,025=0,1246 \text{ кг}\cdot\text{м}^2, \quad (2.41)$$

де $J_{\text{мех}}$ – момент інерції механізму.

$$J_{\text{мех}} = m\rho^2 = \frac{mR_o^2}{i_p^2 \cdot i_n^2} = \frac{(3000 + 25) \cdot 0,245^2}{85^2 \cdot 1^2} = 0,025 \text{ кг}\cdot\text{м}^2. \quad (2.42)$$

Динамічний момент:

$$M_{\text{дин}} = 2,5M_{\text{ном}} - M_{\text{сн}} = 2,5 \cdot 47,747 - 106,918 = 12,448 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (2.43)$$

де $M_{\text{ном}}$ – номінальний момент двигуна.

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 30}{\pi \cdot n_{\text{ном}}} = \frac{7500 \cdot 30}{3,14 \cdot 1500} = 47,747 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.44)$$

Кутове прискорення:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\text{дин}}}{J_{\Sigma}} = \frac{12,448}{0,1246} = 99,906 \text{ 1/с}^2. \quad (2.45)$$

Час роботи привода з прискоренням:

$$t_1 = \frac{\omega_{\text{расч}}}{\varepsilon} = \frac{144,673}{99,906} = 1,448 \text{ с}. \quad (2.46)$$

Кут, на який прокручено барабан на час прискорення:

$$S_1^1 = \frac{V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}}}{2} \cdot t = \frac{0.417 - 0}{2 \cdot \pi} 180 \cdot 1.448 = 302 \text{ град.} \quad (2.47)$$

Кут, що проходить барабан без прискорення:

$$h^1 = h - 2S_1^1 = 1200 - 2 \cdot 302 = 696 \text{ град.} \quad (2.48)$$

Час роботи привода без прискорення:

$$t^1 = \frac{h^1}{V} = \frac{11.396}{0.417} = 27.329 \text{ с.} \quad (2.49)$$

Час циклу з урахуванням прискорення:

$$t_y = 2(2t_1 + t^1 + t_{\text{паузы}}) = 2(2 \cdot 1.448 + 27.329 + 326.139) = 3865.9 \text{ с.}$$

Еквівалентний момент:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{(M_{\text{сн}} + M_{\text{дин}})^2 \cdot t_1 + M_{\text{сн}}^2 \cdot t^1 + (M_{\text{сн}} - M_{\text{дин}})^2 \cdot t_1 + (M_{\text{сс}} + M_{\text{дин}})^2 \cdot t_1 + M_{\text{сс}}^2 \cdot t^1 + (M_{\text{сс}} - M_{\text{дин}})^2 \cdot t^1}{t_y}}$$

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{119,37^2 \cdot 1,45 + 106,92^2 \cdot 27,39 + 94,47^2 \cdot 1,45 + 55,98^2 \cdot 1,45 + 68,43^2 \cdot 27,39 + 80,88^2 \cdot 1,45}{386,59}} = 35,53 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{екв}} = 35,53 < M_{\text{н}};$$

$$M_{\text{max}} \leq 2.5 \cdot M_{\text{н}} = 2,5 \cdot 47,748 = 119,37 \text{ Нм}$$

Оскільки всі вимоги дотримано, обраний двигун відповідає вимогам нагрівання та допустимого навантаження.

2.3.2 Вибір схеми і розрахунок елементів силового перетворювача.

Для керування електродвигуном постійного струму обираємо трифазну мостову схему керованого випрямляча. Схему наведено на рисунку 2.4

2.3.3 Вибір трансформатора.

Вибір силового трансформатора виконується за розрахунковим значенням струмів I_1 та I_2 , напруги U_2 і типової потужності $S_{\text{тр}}$.

Розрахункове значення напруги $U_{\phi 2}$ вторинної обмотки трансформатора, що має m -фазний ТП із навантаженням на якір двигуна в зоні безперервних

струмів, з урахуванням необхідного запасу на спадання напруги в силовій частині, визначається за формулою:

$$U_{2\phi.pacч} = k_u k_c k_\alpha k_R U_d = 0.461 \cdot 1.1 \cdot 1.1 \cdot 1.05 \cdot 220 = 128,854 \text{ В}, \quad (2.50)$$

де $k_u=0,461$ – коефіцієнт, що характеризує відношення напруги $U_{2\phi}/U_{d0}$ у реальному випрямлячі;

$k_c=1,1$ – коефіцієнт запасу по напрузі, що враховує можливе зниження напруги мережі;

$k_\alpha=1,1$ – коефіцієнт запасу, який враховує неповне відкриття вентилів при максимальному керуючому сигналі;

$k=1,05$ – коефіцієнт запасу по напрузі, що враховує спадання напруги в обмотках трансформатора, у вентилях і за рахунок перекриття анодів;

$U_d=220 \text{ В}$ – номінальна напруга двигуна.

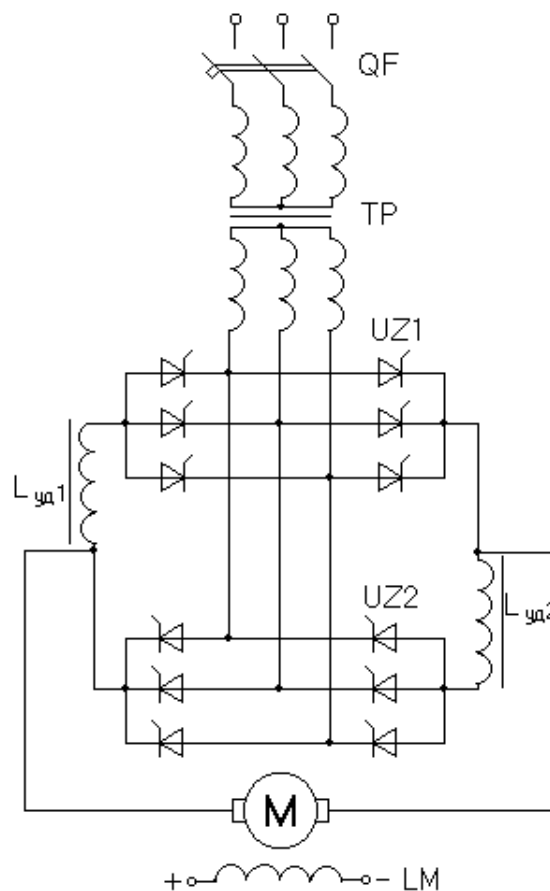


Рис. 2.4. Мостова реверсивна схема тиристорного перетворювача

Розрахункове значення вторинної обмотки:

$$I_{2расч} = k_I k_i I_d = 0.815 \cdot 1.1 \cdot 41.073 = 36,822 \text{ А}, \quad (2.51)$$

де $k=0,815$ – коефіцієнт схеми, який характеризує відношення струмів $I_{2\phi}/I_d$ в ідеальній схемі;

$k_i=1,1$ – коефіцієнт, який враховує відхилення форми анодного струму вентилів від прямокутної;

I_d – значення номінального струму двигуна.

$$I_d = \frac{P_n}{\eta \cdot U_n} = \frac{7500}{0,83 \cdot 220} = 41,073 \text{ А}. \quad (2.52)$$

Розрахункова потужність силового трансформатора:

$$S_{mp} = k_s k_\alpha k_i U_d I_d \cdot 10^{-3} = 1,065 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 220 \cdot 41,073 \cdot 10^{-3} = 11,644 \text{ кВА},$$

де $k_s=1,065$ – коефіцієнт схеми, який характеризує відношення потужностей $S_{тр}/U_d I_d$ для ідеального випрямляча з навантаженням на проти - ЕРС.

Обираємо силовий трансформатор, що відповідає всім вимогам:

$$\underline{S}_n \geq 11,644 \text{ кВА}; U_{2фн} \geq 128,854 \text{ В}; I_{2фн} \geq 36,822 \text{ А}.$$

Вказаним вимогам задовольняє трансформатор ТС-16.

Паспортні дані трансформатора:

$$S_n=16 \text{ кВА}; U_{1нл}=380 \pm 5\% \text{ В}; U_{2нл}=230-133 \text{ В}; P_0=213 \text{ Вт}; P_k=529 \text{ Вт}; U_k=4,6\% Y/Y_0-\Delta.$$

Значення коефіцієнта трансформації:

$$k_{mp} = 0,95 \frac{U_{1нл}}{U_{2нл}} = 0,95 \frac{380}{230} = 1,57. \quad (2.53)$$

Розрахунковий струм первинної обмотки:

$$I_{1расч} = I_{1н} = \frac{I_{2расч}}{k_{mp}} = \frac{36,822}{1,57} = 23,45 \text{ А}. \quad (2.54)$$

2.3.4 Вибір тиристорів.

Середнє значення струму тиристора:

$$I_{dcc} = k_{zi} \frac{I_d}{k_{ox} m_{mp}} = 2,5 \frac{41,073}{0,35 \cdot 3} = 97,793 \text{ А}, \quad (2.55)$$

де $k_{zi}=2,5$ – коефіцієнт запасу за струмом;

k_{ox} – коефіцієнт, який враховує інтенсивність охолодження силового вентиля при природному охолодженні $k_{ox}=0,35$;

$m_{тр}=3$ – число фаз трансформатора.

Максимальна зворотна напруга:

$$U_{Bmax} = k_{zn} k_{Uoob} U_{d0} = 1,8 \cdot 1,065 \cdot 279,51 = 535,82 \text{ В}, \quad (2.56)$$

де $k_{zn}=1,8$ – коефіцієнт запасу по напрузі, який враховує можливі підвищення напруги мережі живлення (включаючи режим неробочого руху) і періодичні викиди U_{Bmax}/U_{d0} , які обумовлено процесом комутації вентилів;

$k_{Uoob}=1,065$ коефіцієнт зворотної напруги, що дорівнює співвідношенню напруг U_{Bmax}/U_{d0} для мостової реверсивної схеми випрямлення;

U_{d0} – напруга перетворювача $\alpha=0$

$$U_{d0} \approx k_c k_\alpha k_R U_d = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \cdot 220 = 279,51 \text{ В}. \quad (2.57)$$

З довідника [9] обираємо тиристор серії T151-100.

2.3.5 Вибір продуктивності дроселів.

При наявності неврівноваженої напруги, зрівняльний струм може циркулювати через трансформатор, обходячи навантаження. Це призводить до втрат у вентилях та обмотках трансформатора, що в свою чергу може спричинити аварійне відключення обладнання.

Визначення необхідної величини індуктивності зрівняльних дроселів залежить від вимоги, щоб амплітуда змінної складової зрівняльного струму не перевищувала 10%.

$$L_{yd.pasc} \geq \frac{\sqrt{2} U_n^1}{m \omega_c 0,05 I_n}, \quad (2.58)$$

де U_n^1 – подвоєне ефективне значення першої гармоніки випрямленої напруги:

$$U_n^1 = \frac{U_n}{U_{d0}} U_{d0} \cdot 2 = 0,26 \cdot 220 \cdot 2 = 114,4 \text{ В}, \quad (2.59)$$

де $U_{\text{п}}/U_{\text{д0}}=0.26$ – визначено для $m=6$ й $\alpha=90^\circ$;

$m=6$ – число фаз випрямлення.

$$L_{\text{уд.расч}} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot 114.4}{6 \cdot 314 \cdot 0.05 \cdot 41.073} = 0,042 \text{ Гн.} \quad (2.60)$$

Зрівняльні дроселі обираємо частково насичені, тобто

$$L_{\text{уд}}=0,7L_{\text{уд.расч}}=0,029 \text{ Г.} \quad (2.61)$$

Обираємо дросель серії ФОС-150 з індуктивністю $L_{\text{уд}}=0,03$ Гн.

Розрахуємо індуктивність погладжую чого дроселя:

$$L_{\text{дннобх}} \geq \frac{\sqrt{2}U_{\text{н}}}{m\omega_c 0.05I_{\text{н}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 72.673}{6 \cdot 314 \cdot 0.05 \cdot 41.073} = 0,027 \text{ Гн,} \quad (2.62)$$

де $U_{\text{п}}=U_{\text{п}}^1/2=72,673$ Гн. – діюче значення першої гармоніки напруги
необхідна величина індуктивності згладжуючого дроселя:

$$L_{\text{сд}}=L_{\text{необх}}-(L_{\text{дв}}+2L_{\text{тр}}+L_{\text{уд}}), \quad (2.63)$$

де $L_{\text{дв}}$ – індуктивність якоря і додаткових полюсів двигуна:

$$L_{\text{дв}} = 5,73 \frac{U_{\text{д}}}{pn_{\text{н}}I_{\text{д}}} = 5,73 \frac{220}{2 \cdot 1500 \cdot 41.073} = 0,010 \text{ Гн.;} \quad (2.62)$$

$2L_{\text{тр}}$ – індуктивність двох фаз трансформатора, приведена до контуру
двигуна

$$2L_{\text{тр}} = \frac{2 \cdot u_{\text{k}} \% \cdot U_{2\phi}}{\omega_c I_{2\phi} \cdot 100} = \frac{2 \cdot 4.6 \cdot 230 / \sqrt{3}}{314 \cdot 36.822 \cdot 100} = 0,00106 \text{ Гн.} \quad (2.64)$$

$$L_{\text{сд}}=0,027 - (0,010 + 0,00106 + 0,03) = - 0,014 \text{ Гн.}$$

Оскільки $L_{\text{сд}} < 0$, то згладжуючий дросель не потрібен.

2.3.6 Визначення розрахункових параметрів силового кола ТП-Д.

Розрахунковий опір кола випрямленого струму;

$$R_{\text{р}} = k(R_{\text{я}} + R_{\text{дн}}) + R_{\text{щ}} + R_{\text{н}}, \quad (2.65)$$

де $k=1+\alpha(t_{\text{н}}-t_{\alpha})=1+0.004(100-15)=1.34$; $\alpha=0,004$ – температурний коефіцієнт
опору міді;

$t_{\text{н}}=100$ °С – робоча температура двигуна для класу ізоляції В;

$t_{\alpha}=15^{\circ}$ – температура навколишнього середовища;

$R_{щ}$ – опір щіткового контакту:

$$R_{щ} = 2 / I_d = 2 / 41.073 = 0.049 \text{ Ом}; \quad (2.66)$$

R_n – опір перетворювача:

$$R_n = 2R_m + R_{y\partial} + \frac{x_m m}{2\pi}, \quad (2.67)$$

де R_T – активний опір обмоток трансформатора:

$$R_m = \frac{\Delta P_{\kappa}}{m_{mp} I_{1n}^2 k_{mp}^2} = \frac{529}{3 \cdot 550,07 \cdot 2,46} = 0,130 \text{ Ом}; \quad (2.68)$$

x_T – значення індуктивного опору обмоток трансформатора:

$$x_m = \frac{u_k \% \cdot U_{1\phi n}}{100 \cdot I_{1n} \cdot k_{mp}^2} = \frac{4,6 \cdot 220}{100 \cdot 23,45 \cdot 2,46} = 0,175 \text{ Ом} \quad (2.69)$$

$R_{y\partial}$ – активний опір зрівняльних дроселів:

$$R_{y\partial} = R_m / m_{mp} = 0,130 / 3 = 0,043 \text{ Ом}. \quad (2.70)$$

Визначимо значення опорів

$$R_n = 2 \cdot 0,130 + 0,043 + \frac{0,175 \cdot 6}{2\pi} = 0,470 \text{ Ом}; \quad (2.71)$$

$$R_p = 1,34 \cdot (0,145 + 0,101) + 0,049 + 0,470 = 0,878 \text{ Ом}. \quad (2.72)$$

Виходячи із технічних характеристик та вимог до працездатності барабанної сушарки, була обрана схема ЕП. Аналіз і огляд існуючих систем регулювання підтвердили доцільність використання системи тиристорний перетворювач-двигун.

Розрахунки, проведені для барабана, дозволили попередньо визначити тип двигуна, а потім його придатність до умов нагрівання та перевантаження

Обраний двигун серії 2П відповідає всім встановленим вимогам.

Процес розрахунку силового перетворювача складався з вибору його компонентів та визначення розрахункових характеристик силового кола ТП-Д.

3. РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ БАРАБАНА ЗЕРНОСУШАРКИ

3.1. Розрахунок параметрів системи автоматичного керування електроприводом барабана зерносушарки

3.1.1. Визначення розрахункових параметрів кола якоря.

До розрахункових параметрів кола якоря відносяться загальні індуктивний та активний опори.

Загальна індуктивність кола якоря визначається сумою індуктивності обмотки якоря двигуна та індуктивності фази трансформатора, що входять у його склад.

Індуктивність якоря двигуна

$$L_{\partial} = \beta \cdot \frac{U_n}{P_{\partial} \cdot I_n \cdot \omega_n} = 0.25 \cdot \frac{220}{2 \cdot 18.4 \cdot 157} = 0.0095 \text{ Гн}, \quad (3.1)$$

де $\beta = 0.25$ – коефіцієнт, який враховує ступінь компенсації машини;

$P_d = 2$ – кількість пар полюсів двигуна.

Індуктивний опір трансформатора

$$x_m = \frac{U_L \cdot U_{2\phi}}{I_2} = \frac{0.095 \cdot 217.14}{11.74} = 1.76 \text{ Ом}, \quad (3.2)$$

де $U_L = 0.095$ – індуктивна складова напруги короткого замикання у відносних одиницях.

Індуктивність фази трансформатора, приведена до кола випрямленого струму

$$L_m = \frac{x_m}{\omega} = \frac{1.76}{314} = 0.0056 \text{ Гн}, \quad (3.3)$$

де $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}$ – кутова частота.

Під час живлення двигуна від тиристорного перетворювача, струм у колі якоря може бути нестабільним, що призводить до зростання втрат в двигуні та погіршення механічних характеристик приводу. Для мінімізації впливу нестабільних струмів індуктивність кола якоря слід збільшити.

Сумарна індуктивність кола якоря

$$L_{\Sigma} = L_m + L_{\partial} = 0.0056 + 0.0095 = 0.0151 \text{ Гн}. \quad (3.4)$$

Необхідна сумарна величина індуктивності кола якоря, яка забезпечує безперервність струму

$$L_{mp} \geq \frac{\kappa_n \cdot U_{do}}{m \cdot \omega \cdot I_{min}} = \frac{0.531 \cdot 254}{3 \cdot 314 \cdot 1.84} = 0.078 \text{ Гн}, \quad (3.5)$$

де $m = 3$ – число фаз випрямлення;

$$I_{min} = 0.1 \cdot I_n = 0.1 \cdot 18.4 = 1.84 \text{ А}. \quad (3.6)$$

Аналізуючи сумарну індуктивність кола якоря та порівнюючи її з необхідною величиною, можна зробити висновок про необхідність встановлення дроселя з індуктивним параметром для плавного регулювання струму в колі якоря.

$$L_{dp} \cong L_{mp} - L_{\Sigma} = 0.078 - 0.0151 = 0.063 \text{ Гн}. \quad (3.7)$$

Активний опір двигуна

$$R_d = \alpha \cdot (R_a + R_{on}) + R_{щ} = 1.2 \cdot (0.405 + 0.36) + 0.109 = 1.027 \text{ Ом}, \quad (3.8)$$

де $R_{щ} = \frac{2}{I_n} = \frac{2}{18.4} = 0.109 \text{ Ом}$ – опір щіток.

Активний опір обмоток трансформатора

$$R_m = \frac{U_{\alpha} \cdot U_{2\phi}}{I_2} = \frac{0.02 \cdot 217.14}{11.74} = 0.37 \text{ Ом}, \quad (3.9)$$

де $U = 0.02 \dots 0.03$ – активна складова напруги короткого замикання.

Значення комутаційного опору

$$R_{\kappa} = \frac{x_m \cdot m}{2 \cdot \pi} = \frac{1.76 \cdot 3}{2 \cdot \pi} = 0.84 \text{ Ом}, \quad (3.10)$$

де $m = 3$ – параметр схеми.

Усереднений активний опір вентиля

$$R_{\epsilon} = \frac{\Delta U_{\epsilon}}{I_n} = \frac{2}{18.4} = 0.109 \text{ Ом}, \quad (3.11)$$

де $U_{\epsilon} = 1 \dots 3 \text{ В}$ – падіння напруги на вентилі. Прийmemo $U_{\epsilon} = 2 \text{ В}$.

Активний опір перетворювача

$$R_n = R_m + R_{\kappa} + R_{\epsilon} = 0.37 + 0.84 + 0.109 = 1.319 \text{ Ом}. \quad (3.12)$$

Активний опір обмотки погладжуючого дроселя

$$R_{др} = 0.05 \text{ Ом.} \quad (3.13)$$

Сумарний активний опір кола якоря

$$R_{\Sigma} = R_{\partial} + R_n + R_{\partial p} = 1.127 + 1.319 + 0.05 = 2.495 \text{ Ом.} \quad (3.14)$$

3.2. Аналіз силової частини системи

При підключенні двигуна постійного струму з незалежним збудженням до тиристорного перетворювача необхідно врахувати особливості роботи цього живильника. Це обумовлено тим, що імпеданс силового кола двигуна підвищується. Внаслідок цього жорсткість електромеханічної системи ТП-ДПС НЗ втрачає свою природну жорсткість, яка характерна для самого двигуна. Це може призвести до більших коливань швидкості двигуна від номінальної у разі зміни навантаження, оскільки система менш стійка до змін.

3.2.1. Статичні характеристики системи ТП-ДПС НЗ.

Спрощена схема заміщення силового кола (рис. 3.1) дозволяє одержати електромеханічні характеристики системи ТП-ДПС НЗ.

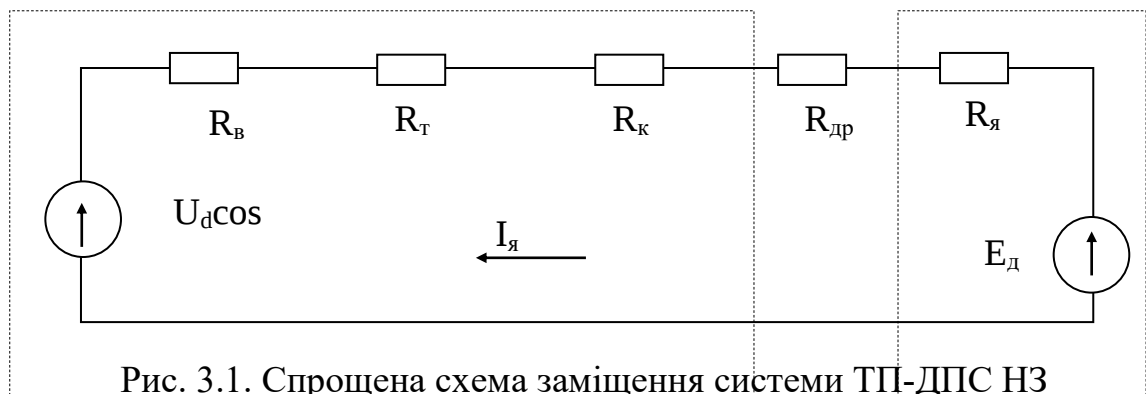


Рис. 3.1. Спрощена схема заміщення системи ТП-ДПС НЗ

Тиристорний перетворювач представлено джерелом живлення з ЕРС рівною $U_d \cos(\alpha)$ і опорами R_{∂} , R_m , R_k , складовими опором перетворювача R_n . Електродвигун характеризується ЕРС E_{∂} і опором якірного ланцюга R_{∂} . Використання згладжуючого фільтру в системі ТП-ДПТ НВ виражено його активним опором.

Відповідно до другого закону Кірхгофа

$$U_{d0} \cos \alpha - E_{\partial} = I_{\partial} \cdot (R_{\partial} + R_m + R_k + R_{\partial p} + R_{\partial});$$

$$U_{do} \cos \alpha - E_o = I_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma}. \quad (3.15)$$

Враховуючи те, що $E_d = k\Phi_n$ одержимо

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{U_{do} \cdot \cos \alpha}{k\Phi_n} - \frac{I_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma}}{k\Phi_n}; \\ \omega &= \frac{U_{do} \cdot \cos \alpha}{k\Phi_n} - \frac{M_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma}}{(k\Phi_n)^2}. \end{aligned} \quad (3.16)$$

На цьому етапі розрахунок можна уточнити рівняння електромеханічної характеристики, що описує роботу двигуна при номінальних параметрах напруги.

$$\omega = 193.413 - 1.98 \cdot I_{\Sigma}; \quad (3.17)$$

$$\omega = 193.413 - 1.517 \cdot M_{\Sigma}. \quad (3.18)$$

Обмежимося надалі аналізом електромеханічних характеристик двигуна. Для побудови характеристики відоме положення двох точок (0; 193.413 рад/с) (18.4 А; 157 рад/с).

Статизм системи ТП-ДПТ НВ в номінальному режимі

$$\delta = \frac{\Delta \omega_n}{\omega_o} = \frac{I_n \cdot R_{\Sigma}}{k\Phi_n \cdot \omega_o} = \frac{18.4 \cdot 2.495}{1.26 \cdot 193.413} = 0.188. \quad (3.19)$$

Визначимо значення швидкості системи ТП-ДПС НЗ на заданих навантаженнях

$$\omega_1 = 193.413 - 1.98 \cdot I_1 = 193.413 - 1.98 \cdot 28.047 = 137.88 \text{ рад/с};$$

$$\omega_2 = 193.413 - 1.98 \cdot I_2 = 193.413 - 1.98 \cdot 19.332 = 155.136 \text{ рад/с};$$

$$\omega_3 = 193.413 - 1.98 \cdot I_3 = 193.413 - 1.98 \cdot 10.618 = 172.389 \text{ рад/с};$$

$$\omega_4 = 193.413 - 1.98 \cdot I_4 = 193.413 - 1.98 \cdot 6.102 = 181.331 \text{ рад/с}.$$

Положення нижньої граничної характеристики встановимо, використовуючи задане значення діапазону регулювання

$$\omega_{н.мин} = \frac{\omega_n}{D} = \frac{157}{45} = 3.489 \text{ рад/с}. \quad (3.20)$$

Ця швидкість забезпечується при напрузі перетворювача

$$\begin{aligned} (U_{do} \cdot \cos \alpha)_{мин} &= \omega_{н.мин} \cdot k\Phi_n + I_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma} = \\ &= 3.489 \cdot 1.26 + 18.4 \cdot 2.495 = 50.304 \text{ В} \end{aligned} \quad (3.21)$$

При цьому швидкість неробочого руху

$$\omega_{o.мин} = \frac{U_{мин}}{k\Phi_n} = \frac{50.304}{1.26} = 39.924 \text{ рад/с.} \quad (3.22)$$

Двигун функціонує на нижньому межевому значенні в режимі, що протилежний вмиканню, при струмі. I_1 , що суперечить умові.

Жорсткість електро механічної характеристики

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = -\frac{M_n \cdot k\Phi_n}{I_n \cdot R_{я}} = -\frac{20.8 \cdot 1.26}{18.4 \cdot 2.495} = -0.571. \quad (3.23)$$

Отже, результат відповідає нашим прогнозам. Жорсткість характеристики зменшилася у порівнянні з природною, і для нормальної роботи необхідне регулювання швидкості.

3.3 Розрахунок параметрів динамічної моделі електроприводу

3.3.1 Вибір елементів та розрахунок параметрів зворотних зв'язків.

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю

$$k_{шв} = U_{з.мах} / \omega_n = 10/157 = 0,13 \text{ В} \cdot \text{с}, \quad (3.24)$$

де $U_{з.мах} = 10 \text{ В}$ – максимальне значення напруги керування задатчика.

В якості датчика швидкості обираємо тахогенератор ТД-201 з наступними параметрами:

- коефіцієнт передачі $k_{тр} = 1,23 \text{ В} \cdot \text{с};$
- опір обмотки якоря $R_a = 780 \text{ Ом};$
- максимальний струм навантаження $I_{н.мах} = 0,2 \text{ А};$
- максимальна частота обертання $n_{мах} = 2200 \text{ об/хв};$
- напруга збудження $U_B = 110 \text{ В};$
- струм збудження $I_B = 0,1 \text{ А}.$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом визначимо за формулою

$$k_c = \frac{U_{рш.о}}{I_{а.мах}} = \frac{10}{200} = 0,05 \text{ В/А}, \quad (3.25)$$

де $U_{рш.о} = 10 \text{ В}$ – напруга обмеження регулятора швидкості;

$I_{а.мах} = 200 \text{ А}$ – максимальне значення струму якоря двигуна.

В якості датчик струму використаємо елемент АІ, який підключається до стандартного шунту з параметрами:

- тип елементу ДТ-1АІ;
- вхідна напруга $U_{\text{вх}} = 0,075 \dots 0,2 \text{ В};$
- вхідний опір $R_{\text{вх}} = 0,01 \text{ Ом};$
- номінальний опір $R_{\text{н}} = 0,01 \text{ Ом};$
- коефіцієнт підсилення $k_y = 40 \dots 140$

Коефіцієнт передачі датчика струму визначаємо як

$$k_{\text{дс}} = k_{\text{ш}} k_y, \quad (3.26)$$

де $k_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{ш}}}{I_{\text{ш}}}$ - коефіцієнт передачі шунта;

$U_{\text{ш}}$ – номінальна напруга шунта ($U_{\text{ш}} = 75 \text{ мВ}$);

$I_{\text{ш}}$ - номінальний струм шунта ($I_{\text{ш}} = 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500 \text{ А}$), що обирається з умови $I_{\text{ш}} \geq I_{\text{н}}$

$$k_{\text{ш}} = \frac{0,075}{50} = 0,0015 \text{ В/А}; \quad (3.27)$$

$$k_{\text{дс}} = 0,0015 \cdot 100 = 0,15 \text{ В} \cdot \text{с}. \quad (3.28)$$

Коефіцієнт передачі датчика струму

$$k_c = \frac{k_c}{k_{\text{дс}}} = \frac{0,05}{0,15} = 0,33. \quad (3.29)$$

3.3.2. Визначення передавальних функцій ланок системи.

Тиристорний перетворювач має передавальну функцію

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{k_{\text{тп}}}{T_{\text{тп}} p + 1}, \quad (3.30)$$

де $T_{\text{тп}}$ - постійна часу тиристорного перетворювача, с

$$T_{\text{тп}} = T_{\text{ф}} + \tau_{\text{сч}}; \quad (3.31)$$

$T_{\text{ф}} = 0,005 \text{ с}$ – постійна частина фільтра;

$\tau_{\text{сч}} = \frac{1}{2mf}$ – час запізнення силової частини

$$\tau_{сч} = \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 50} = 0,002 \text{ с.} \quad (3.32)$$

Тоді

$$T_{тп} = 0,005 + 0,002 = 0,007 \text{ с.} \quad (3.33)$$

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача $k_{mn}=33$. Отже передавальна функція

$$W_{тп}(p) = \frac{33}{0,007p + 1}. \quad (3.34)$$

Розрахуємо параметри передавальної функції виконавчого двигуна.

Визначимо електромеханічну постійну часу

$$T_{е.м} = \frac{JR}{k_e k_M} = \frac{0,062 \cdot 0,93}{(0,72)^2} = 0,11 \text{ с.} \quad (3.35)$$

Визначимо електромагнітну постійну часу

$$T_{я} = \frac{L}{R} = \frac{0,0132}{0,93} = 0,014 \text{ с.} \quad (3.36)$$

Коефіцієнт передачі двигуна при управлінні напругою якоря

$$k_d = \frac{1}{k_\omega} = \frac{\omega_H}{U_H - I_H R_a} = \frac{1}{0,72} = 1,38 \text{ (В} \cdot \text{с)}^{-1}. \quad (3.37)$$

Коефіцієнт передачі двигуна за збуренням

$$k_{дм} = \frac{R_a}{(k_\omega)^2} = \frac{0,93}{(0,72)^2} = 1,8 \text{ Ом/(В} \cdot \text{с)}^2 \quad (3.38)$$

Остаточно передавальна функція двигуна за впливом управління

$$W_d(p) = \frac{k_d}{T_{ем} T_{я} p^2 + T_{ем} p + 1} = \frac{1,38}{0,11 \cdot 0,014 \cdot p^2 + 0,11 \cdot p + 1}. \quad (3.39)$$

Передавальна функція датчика швидкості має вигляд

$$W_{дш}(p) = \frac{k_{шв}}{T_{дш} p + 1} = \frac{0,13}{0,02p + 1}. \quad (3.40)$$

Передавальна функція датчика струму

$$W_{дс}(p) = \frac{k_c}{T_{дс} p + 1} = \frac{0,33}{0,005p + 1}. \quad (3.41)$$

Передавальна функція регуляторів.

Регулятора швидкості

$$W_{\text{рш}}(p) = \beta_1 \frac{\tau_1 p + 1}{\tau_1 p}, \quad (3.42)$$

$$\text{де } \tau_1 = \frac{2}{\omega_H} \sqrt{2/\xi_1 q} = \frac{2}{160} \sqrt{2/0,03 \cdot 0,67} = 0,12 \text{ с};$$

$$\beta_1 = \frac{(k_c T_{\text{ем}} \omega_H)}{k_{\text{шв}} k_d R_{\text{я}}} \sqrt{\xi_1 q / 2} = \frac{0,05 \cdot 0,11 \cdot 160}{0,13 \cdot 1,38 \cdot 0,93} \sqrt{0,03 \cdot 0,67 / 2} = 0,53. \quad (3.43)$$

Регулятора струму

$$W_{\text{рс}}(p) = \beta_2 \frac{\tau_2 p + 1}{\tau_2 p}, \quad (3.44)$$

$$\text{де } \tau_2 = T_{\text{я}} = 0,014 \text{ с};$$

$$\beta_2 = \frac{T_{\text{я}} R_{\text{я}}}{n_0 T_{\Sigma 2} k_{\text{тп}} k_c} = \frac{0,014 \cdot 0,93}{2 \cdot 0,012 \cdot 33 \cdot 0,05} = 0,32; \quad (3.45)$$

$$T_{\Sigma 2} = T_{\text{тп}} + T_{\text{дс}} = 0,007 + 0,005 = 0,012 \text{ с}; \quad (3.46)$$

$n_0 = 2$ - коефіцієнт налаштування.

Остаточно маємо наступні передавальні функції:

– для регулятора швидкості

$$W_{\text{рш}}(p) = 0,53 \frac{0,12 p + 1}{0,12 p}; \quad (3.47);$$

– для регулятора струму

$$W_{\text{рс}}(p) = 0,32 \frac{0,014 p + 1}{0,014 p}. \quad (3.48)$$

3.4 Дослідження динамічної моделі електроприводу за допомогою пакета Simulink

Модель системи управління електроприводом, реалізована за допомогою Simulink, була побудована і представлена на рисунку 3.2 у вигляді прикладу.

У цій моделі прямокутники символізують елементи системи, кожен з яких визначається своєю передаточною функцією. Трикутники вказують на коефіцієнт підсилення пропорційної ланки. Круги ж відповідають за суму та обчислення різниці сигналів.

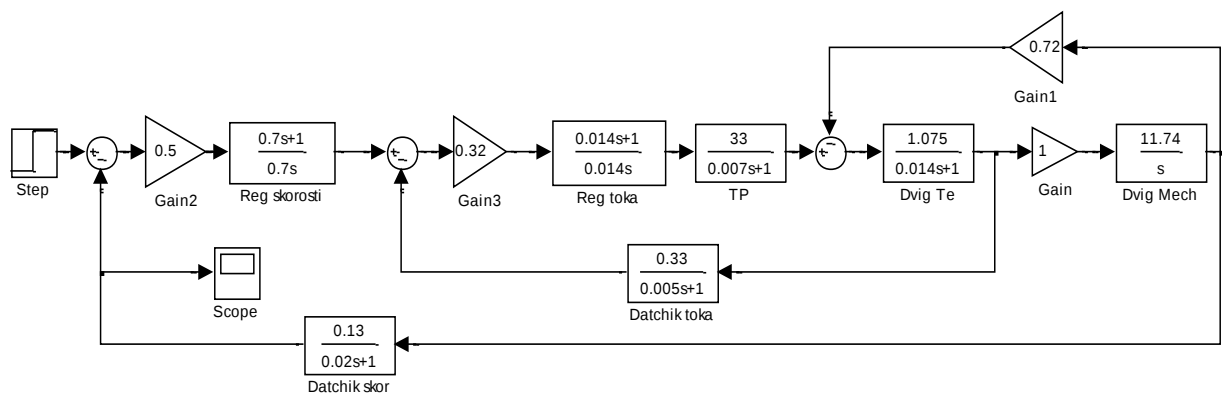


Рис. 3.2. Структурна схема Simulink-моделі системи

Через блок «Step» на систему подається поодинокий ступінчастий сигнал, а блок «Scope» використовується для відстеження реакції системи.

Моделювання дозволило визначити перехідні характеристики розробленої системи для різних значень коефіцієнта підсилення та постійної часу регулятора швидкості, результати яких проілюстровані на рисунку. 3.3, 3.4.

Для аналізу динаміки електроприводу сушарки були визначені передатні функції її компонентів, а також розроблена математична модель системи у формі структурної схеми за допомогою програмного забезпечення Simulink. Результати дослідження свідчать про правильність обчислення параметрів регуляторів за допомогою надійних методик, оскільки пере регулювання в системі є мінімальним (не більше 5%). Час регулювання становить приблизно 0,5 секунди. У перехідній характеристиці відсутній усталений похибка.

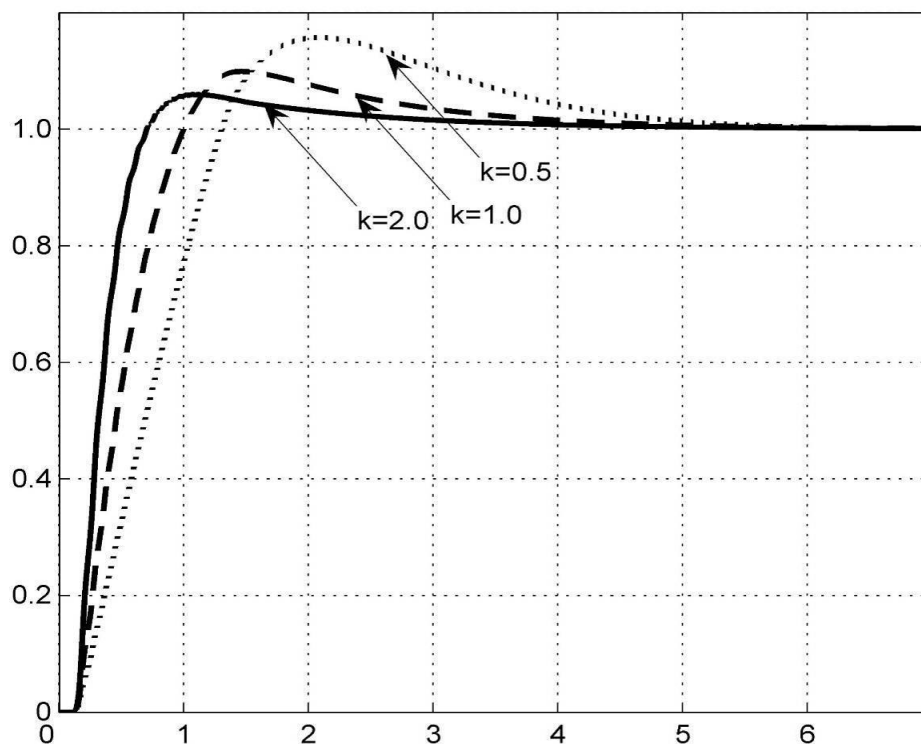


Рис. 3.3 Реакція системи при зміні коефіцієнта підсилення регулятора швидкості

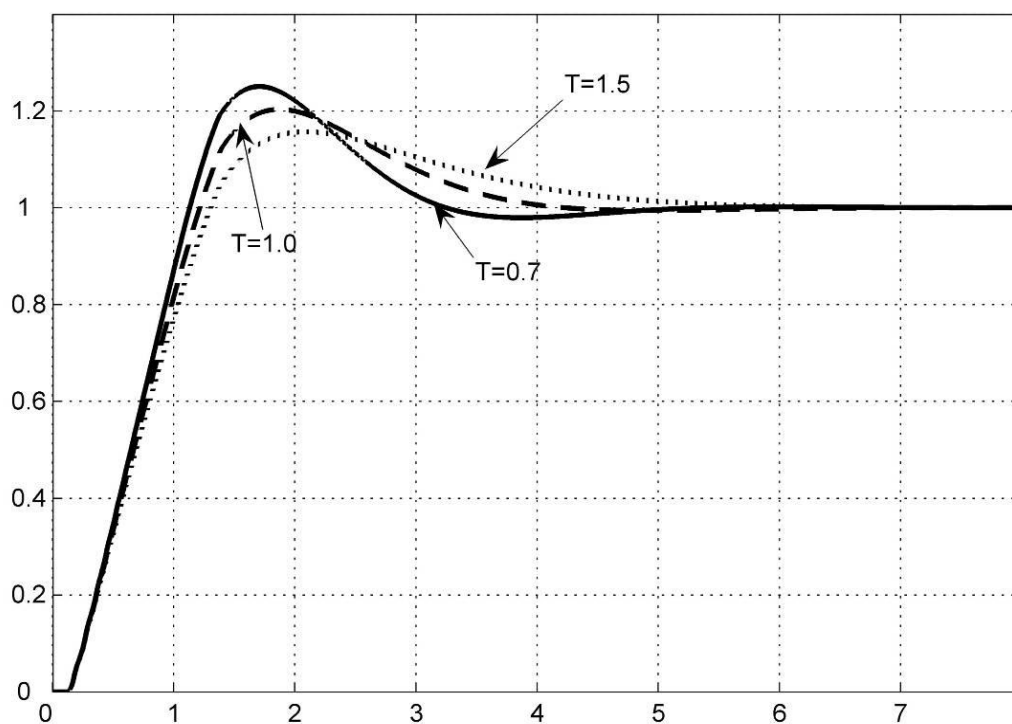


Рис. 3.4 Реакція системи при зміні постійної часу регулятора швидкості

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів роботи зерносушарки

Проаналізуємо потенційні небезпечні та шкідливі аспекти роботи. Сушарка для зерна СЗСБ-8.

При експлуатації зерносушарки СРСБ-8 робітники стикаються з низкою небезпечних і шкідливих факторів. Серед них виділяються: ризик ураження електричним струмом, вплив шуму, вібрація, пил, який може шкодити дихальним шляхам та очам, а також недостатнє освітлення приміщення [4].

Довготривалий вплив кількох негативних факторів одночасно може спричинити виникнення професійного захворювання внаслідок тривалого перебування у відповідному середовищі.

Інструкція визначає правила безпеки, які необхідно дотримуватися під час обробки зерна після його збору.

Для роботи машиністом на зерноочисно-сушильних комплексах та пересувних зерносушарках допускаються тільки особи, що досягли 18 років. Вимоги до них включають проходження навчання з питань безпеки праці та отримання відповідних посвідчень.

Оператори електрифікованих комплексів, агрегатів та машин повинні володіти кваліфікацією у сфері електробезпеки відповідної групи.

До ручних роботи, такі як підгортання зерна до транспортерів, переорювання буртів, очищення прямиків, завантаження та інші, можуть виконувати лише особи, які пройшли спеціальне навчання з безпеки праці та отримали інструктаж з охорони праці.

До роботи приступати в спецодязі, упевнившись, що він не має ушкодження, що звисають і не прилягаючих елементів, які можуть бути захоплені рухомими й обертовими деталями.

У разі великої кількості пилу під час роботи необхідно захищати органи дихання респіратором “Лепесток”, а для захисту очей – використовувати окуляри ПО-2.

Не починайте працювати, якщо ви перебуваєте у стані алкогольного, наркотичного або медикаментозного сп'яніння, а також якщо ви хворі або сильно втомлені.

Курити дозволено лише у визначених та спеціально обладнаних для цього місця.

4.2 Вимоги безпеки при роботі

Перед запуском зерноочисних агрегатів та зерноочисних-сушильних комплексів машиністам (операторам) необхідно дотримуватися таких правил безпеки для запобігання нещасним випадкам.

1. Переконайтеся, що в кабінеті пульта керування для агрегату та комплексу присутні:

- запас запобіжників і сигнальних ламп;
- набір інструментів;
- показчики напруги;
- комплект захисних засобів;
- аптечка;
- інструкція з охорони праці.

2. Переконайтеся, що в прийомках норій немає зерна. Якщо воно буде виявлено, повідомте керівника робіт та з допомогою виділених допоміжних працівників зберіть його.

3. Перевірити робочі органи машини та, якщо виявленні несправності виправити їх.

4. Обережно перевірте затягування болтових з'єднань та, якщо потрібно, закрутити їх до потрібного моменту.

5. Необхідно перевірити натяг ковшової стрічки, також перевірити ланцюги та пасові передачі, та забезпечити правильне центрування ковшової стрічки на барабанах для запобігання її зсуву.

6. Перевірте стан струмопровідних кабелів (проводів) та переконайтеся, що їхня ізоляція не пошкоджена. Якщо ви виявили ушкодження ізоляції, зверніться до електрика.

7. Перевірте, що люк доступу до бункера-накопичення зерна є зачиненим на замок.

8. Переконайтеся, що є в наявності й справності евакуаційна переносна дробина.

9. Встановлення зерносушарки відбувається на відстані, що не менше двадцяти метрів, від зерноскладу.

10. Перевірити робоче місце. Площадка має бути рівною, без розсипаного зерна та доступ до машини має бути безперешкодним.

11. Перевірте струмопровідні кабель сушильної машини. Він має бути захищений від пошкоджень, наприклад, за допомогою надійної підвіски на стійких опорах, які заходяться на висоті, недоступній для людей та транспортних засобів пересування.

12. Перевірте заземлення. Переконайтеся, що проводи заземлення не пориванні та мають надійний контакт з корпусом обладнання.

13. Огляньте систему подачі палива до форсунок. Переконайтеся у герметичності всіх з'єднань паливо проводу, щоб виключити будь які витіки.

14. Перевірте топлення на предмет відсутності сторонніх предметів. Переконайтеся, що теплоізоляція працює належним чином, та всередині не має підтікання палива. Оглядові отвори мають кришки, які само закриваються, а мембрани підливних клапанів повинні бути заводського виробництва (з клеймом).

15. Перевірити роботу контрольно-вимірювальної апаратури і переконайтеся, що вона справна працює. У разі виявлення несправностей, повідомити про це відповідальну особу.

16. Перевірте працездатність системи запалювання та прилади контролю полум'я.

17. Оперування сушаркою без системи контролю температури теплоносія та наявність факела в топлений камері категорично заборонено. Не виконання цих правил може призвести до катастрофічних наслідків, таких як вибух.

18. Перевірити наявність захисних екранів (сіток) на повітропроводах теплоносія, у відкритих ділянках зерносушарок та в зонах, призначених ремонтно-обслуговуючих робіт.

19. Перевірити наявність первинного пожежогасіння обладнання.

20. Перед запуском сушильної машини важливо провести її пробний запуск у режимі холостого ходу. Дозволяється увімкнути приводи лише після того, як ви переконаєтесь, що це не становить загрози для оточуючих. Також слід звернути увагу на відсутність сторонніх шумів, вібрацій та дивного запаху. Якщо виявляються будь-які неполадки, машину потрібно зупинити і повідомити про них відповідальному за роботу. Не забудьте перевірити наявність спеціальних гаків для доступу до оглядових отворів.

Вимоги безпеки під час виконання роботи машиністами зерноочисних агрегатів, зерносушильних комплексів і пересувних зерносушарок.

1. Перед запуском зерносушарки необхідно переконатися у безпеці її експлуатації для всіх присутніх та дати попереджувальний сигнал.

2. Перед запуском сушарок, що працюють на рідкому паливі, необхідно прогріти топлення повітрям. Важливо забезпечити відсутність подачі палива до моменту, коли свіча запалиться. Не допускайте розпалення топлення факелом, оскільки порушення цих правил може призвести до вибухового інциденту.

3. Не допускайте експлуатацію сушильного обладнання без нагляду.

4. В процесі роботи сушарки необхідно здійснювати моніторинг температури зерна, проводячи відбір проб кожні дві години. У разі нагрівання зерна до температур, що перевищують значення, потрібно знизити температуру теплоносія.

5. Не менше двічі протягом зміни необхідно очищувати машини, обладнання, територію та робочі приміщення від пилу, решток зерна та соломи.

Все сміття та відходи слід перенести в спеціально відведену безпечну з пожежної точки зору місце.

6. Ремонт зерносушарки дозволяється виконувати лише після повного зупиненого та охолодження всіх нагрітих елементів до безпечної температури, яка не перевищує 450 градусів Цельсія.

7. Коли працівник перебуває в зерносушильному апараті або в нижньому бункері, необхідно щільно закрити засувки для завантаження та видалення зерна. Для запобігання випадковому відкриттю засувки або вмиканню вентилятора на пускових кнопках, електродвигунів, потрібно раз містити попереджувальні таблички з написами: ” Не вмикати, у сушильній камері працюють люди!”

Щоб уникнути опіків, не змочуйте водою шлак, вилучений з топлення.

8. Під час обслуговування обладнання обов’язково використовуйте захисні окуляри та рукавиці.

9. Під час технічного обслуговування зерносушарок необхідно усунути всі тріщини та нещільності, що запобігає проникненню топкових газів у приміщення, призначені для виробничих процесів.

10. При відкритті оглядових отворів необхідно зберігати від них дистанцію, на довеззну витягнутої руки. Для відкривання кришок оглядових отворів використовується спеціальні гаки.

11. Не запускайте машину, якщо захисне обладнання знято або контрольно-вимірювальне прилади не працюють належно.

12. Не відходити від обладнання, яке працює і не залишати його без нагляду.

Вимоги безпеки після закінчення роботи.

1. Вимкніть двигуни машини агрегату та комплексу, діючи у порядку, протилежному до того, як вони були активовані.

2. Очистити техніку, обладнання, території та робочі приміщення від налиплого пилу, залишків зерна та соломи, а сміття прибрати до спеціального місця для його утилізації.

3. Для зупинки роботи топлення, що працюють на рідкому паливі, необхідно перекрити постачання палива.

4. Приберіть робоче місце. Очистіть інструменти, інвентар та пристрої і покажіть їх на місця, призначені для зберігання. Зберіть спец одяг та засоби індивідуального захисту та віддайте на зберігання.

Вимоги безпеки у надзвичайній ситуації.

1. Вразі вильоту факела під час топлення необхідно негайно зупинити постачання палива, усунути причину несправності та після продувки топлення повітрям протягом 10-15 хвилин перейти до повторного запалювання.

2. В разі електроураження, появи стороннього шуму, вібрації, запаху гару, іскрення та полум'я з вентилятора сушильної камери, а також загорання зерна в ній, необхідно негайно зупинити роботу машини. Першим кроком у цьому процесі має бути припинення подачі палива до форсунок.

3. Якщо на корпусі машини з'явилась напруга , негайно відключити загальний рубильник. Зв'яжіться з черговим електриком . Усі пошкодження електроприводів, керування, силової та освітлювальної мереж можуть бути виправлені лише кваліфікованим електриком.

4. У разі електричного удару на працівника, необхідно якомога швидше звільнити його від впливу струму, оскільки тривалість дії струму прямо впливає на тяжкість травми. Для цього одразу вимкніть рубильник або будь-який інший пристрій, що забезпечує подачу струму.

5. Якщо швидко відключити електроустановку неможливо, для звільнення потерпілого від струмопровідних частин необхідно використовувати мотузку, дошку або інші сухі діелектричні предмети. Можна також відтягнути потерпілого за одяг(за умови, що він сухий і не прилягає до тіла), наприклад за

піджак . При цьому важливо уникати контакту з будь-яким металевим предметами та частинами тіла потерпілого, які не покриті одягом.

6. Якщо на стаціонарних об'єктах загоряння, негайно телефонуйте пожежникам , повідомте керівництво і починайте ліквідовувати пожежу, дотримуючись вимог інструкцій з пожежної безпеки.

7. У разі виникнення пожежі на електроустановках, першочерговим завданням є повідомлення про неї в пожежну охорону, а також відповідним особам , які відповідають за електрогосподарство та керівництву.

8. У разі пожежі, що виникла в електроустановці або поруч з нею, перш за все, до приїзду пожежників необхідно відключити її від електромережі. У випадку , якщо це зробити неможливо, варто намагатися перерізати проводи один за одним за допомогою інструментів із ізольованими ручками.

9. У разі загорання зерна, припиніть опалення, вимкніть вентилятори та пристрої для видалення зерна, закрийте випускні заслінки. Без зупинки подачі волого зерна відкрийте люки дифузорів, щоб виявити джерело пожежі. Спробуйте витягнути його з шахти через вікно корпусу. Якщо не вдалося визначити причину загорання, активуйте розвантаження на максимальну продуктивність. Для загаснення вогнищ загорання зерна використовуйте воду і віддаляйте їх від основного потоку зерна. Після того, як все зерно буде розвантажено, ретельно очистити камеру та поверхню коробів від залишків нагару, щоб уникнути забруднення.

10. Якщо одяг загорівся, намагайтеся його зняти або накрити палаючу ділянку щільним матеріалом. Якщо є можливість, занурити горючий одяг у воду.

4.3 Заходи з охорони праці

До технічних засобів електробезпеки належать такі: ізоляція провідних частин, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, зниження напруги, вирівнювання потенціалів, електричне розділення, бар'єрні пристрої,

сигналізаційні системи, блокіровки, знаки безпеки, індивідуальні засоби захисту та інше.

Ізоляція – це захист проводів та інших струмоведучих частин обладнання, який гарантує їх безпечну роботу та захищає від електричного удару.

При звичайних виробничих умовах необхідно проводити перевірку ізоляції мережі щонайменше раз на рік. Опір ізоляції проводів, як силових, так і освітлюваних, повинне становити не менше 0,5 мегом.

Захисне заземлення – це спеціальне електричне з'єднання металевих частин електрообладнання, що не проводять струм, але можуть стати під напругою, з використанням заземлюючого пристрою для запобігання небезпеки.

Щоб уникнути негативного впливу на організм людини під час експлуатації обладнання, що генерує звукові коливання, рекомендується застосувати звукоізоляцію.

Встановлення силових блоків перетворювачів під час збірки на пружинних амортизаторах.

Щоб зменшити вплив електромагнітних полів на працівників, які працюють в зоні дії обладнання, необхідно застосовувати комплекс заходів захисту. До них можуть відноситися організаційні, інженерно-технічні та медико-профілактичні заходи. В цьому контексті ефективним є екранування блоку живлення металевими аркушами або металевою сіткою з високою провідністю. Така міра не створює жодних складнощів у зв'язку з розмірами блоку.

Всі роботи з ремонту та профілактики обладнання дозволені лише після його відключення від живильної мережі для забезпечення безпеки.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі було створено та проаналізовано автоматизований електропривод барабану зерносушарки, який забезпечує регулювання швидкості обертання барабану для досягнення оптимальних умов сушіння зерна. Робота спрямована на вирішення складної задачі проектування конкретного обладнання, що використовується в виробничому процесі.

Після аналізу вихідних даних та технічних специфікацій була обрана схема електропривода. Аналіз показав, що для даного випадку найбільш оптимальною є ТП-Д. на основі навантажувальних діаграм було визначено двигун постійного струму серії 2ПФ. Проведена перевірка цього двигуна на відповідність умовам нагрівання та допустимого перенавантаження. Результати показали, що обраний двигун відповідає всім встановленим вимогам.

Силовий перетворювач був розрахований, для його реалізації обрано компоненти мостової реверсивної схеми: трансформатор, тиристорні ключі та дросель. Статичні характеристики системи були визначені як у замкненому, так і у розімкненому режимах. Також була створена уточнена навантажувальна діаграма, що відображає навантаження протягом виробничого циклу.

Математичне моделювання перехідних процесів було здійснено на ЕОМ за допомогою пакету Simulink. Проаналізувавши результати дослідження, було виявлено, що параметри регуляторів обчислені за допомогою вірних методик.

Пере регулювання в системі мінімальне і не перевищує 5%. Час регулювання становить приблизно 0,5 секунди. У перехідній характеристиці не спостерігається похибки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов: учебник для студентов вузов / И. Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – М. :Колос, 2004. -343 с.
2. Жидко В. И. Зерносушение и зерносушилки: учебное пособие для вузов по спец. “Хранение и технология переработки зерна”, “Машины и аппараты пищ.п-ва”/ В. И. Жидков, В. А. Уколов. –М.: Колос, 1982. -239с.
3. Банников А. Г. Основы экологии и охрана окружающей среды: учебник для с-х вузов / А. Г. Банников, А. А. Вакулин, А. К. Рустамов. – 4-е изд., перераб. И доп. –М. : Колос, 1999. -303 с.
4. Луковников А. В. Охрана труда в сельскохозяйственном производстве: учеб. пособие для учреждений нач. проф. Образования / А. В. Луковников, А. К. Тургиев; М-во общ. И проф . образования Рос. Федерации. Ин-т Развития проф. образования. – М. : Колос : ИРПО: Изд. Центр “Академия”, 1999. – 124 с.
5. Охрана труда : сб. официальных мат / сост. И. М. Жданов. –М.: Колос, 1977. -336 с.
6. Практикум по сооружениям и оборудованию для хранения продукции растениеводства и животноводства: учеб. пособие для вузов / А. А. Курочкина и др. – М. : Колос, 2007. -156с.
7. Практикум по электроприводу в сельском хозяйстве: учеб. пособие для с.-х. вузов / П. И. Савченко. –М: Колос, 1996. -22 с.
8. Сельскохозяйственная экология: учеб. пособие для вузов / Н. А. Уразаев, А. А. Вакулин, В. И. Марымов, А. В. Никитин; Под ред. Н. А. Уразаева. –М.: Колос, 1996 -254 с.
9. Елисеев В. А. Справочник по автоматизированному электроприводу: справочное издание / Под ред. В. А. Елисеева. –М.: Энергоатомиздат, 1983. - 616 с.
10. Бондаренко С. П. Электроприводов и применение электрической энергии в сельском хозяйстве: М-во сел. Хоз-ва СССР, Укр. С.-х. акад. -1975. Ч. 1: Электропривод в сельском хозяйстве, 1975. – 254 с.

11. Мусин А. М. Электропривод сельскохозяйственных машин и агрегатов
/ А. М. Мусин. –М: Агропромиздат, 1985. – 239 с.

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Лист
						64
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		