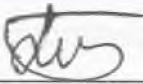


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

«20» 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизований електропривод
газового пальника зерносушарки

Виконав: студент групи 6371м

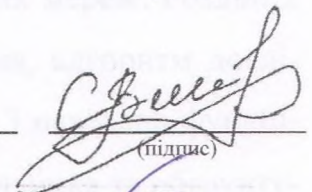
Сербін Павло Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

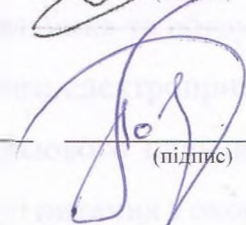
Керівник доц. каф. автоматики, к.е.н.
Шевчук С. В.

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


(підпис)

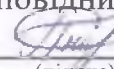
Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,
доц. Новогрецький С. М.

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


(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 85 с., 4 р., 28 рис., 20 табл., 1 дод., 24 джерела.

Ключові слова: автоматизований електропривод, безколекторний двигун, газовий пальник, моделювання, перехідна характеристика.

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в електроприводі газового пальника.

Мета роботи – синтез системи керування електропривода газового пальника зерносушарки.

Методи дослідження – моделювання перехідних процесів в електроприводі газового пальника зерносушарки з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто технологічний процес сушіння зернових культур. Проаналізовано склад, призначення та технічні характеристики модульної зерносушарки L2700. Досліджено види промислових газових пальників, їх принцип роботи, особливості конструкцій та типи регулювання потужності. Проведено аналіз приводів регулювальної арматури для газових та повітряних мереж. Розділі 2 містить вибір та обґрунтування методу наукового дослідження, алгоритм дослідження та метод розв'язання поставленого завдання. У розділі 3 наведено функціональну схему системи керування електропривода газового пальника та обґрунтування вибору її елементів, математичний опис автоматизованого електропривода. Проведено моделювання автоматизованого електропривода газового пальника в MATLAB та досліджено якість керування. В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці. Додаток містить слайди мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	6
1.1 Загальна характеристика зерносушарок	6
1.2 Опис зерносушарки L2700	13
1.3 Промислові газові пальники	17
1.4 Аналіз приводів регулювальної арматури.....	24
1.5 Висновки до розділу 1	29
2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження.....	30
2.2 Розробка алгоритму дослідження.....	32
2.3 Вибір методів розв’язання поставленого завдання	34
2.4 Висновки до розділу 2	37
3 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	38
3.1 Побудова функціональної схеми системи керування та обґрунтування вибору її елементів	38
3.2 Математичний опис об’єкта керування та елементів системи керування	55
3.3 Дослідження динаміки системи керування	59
3.4 Висновки до розділу 3	68
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	69
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на робітників зерноочисних комплексів.....	69
4.2 Заходи безпеки при експлуатації зерноочисних машин і зерносушарок.....	72
4.3 Вимоги безпеки при експлуатації промислових газових пальників....	77
4.4 Висновки до розділу 4	79
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	83
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація.....	86

ВСТУП

Актуальність теми. Одним з основних технологічних процесів у сільському господарстві є сушіння сільськогосподарської продукції. Зокрема сушіння зернових та олійних культур пов'язано з обробкою розігрітим повітрям і випаровуванням надмірної вологи. Устаткування зерносушарок, які призначені для сушіння всіх видів зерна, кукурудзи, насіння, бобових та інших культур насінневого, фуражного й продовольчого призначення, постійно вдосконалюється, модернізується з метою отримання кращих показників продуктивності, економічності, полегшення умов праці персоналу.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є синтез системи керування електропривода газового пальника зерносушарки. Щоб досягти поставленої мети, слід розв'язати наступні завдання:

- 1) дослідити технологічний процес сушіння зернових культур та проаналізувати склад, призначення та технічні характеристики модульної зерносушарки L2700. Розглянути види промислових газових пальників та дослідити принцип роботи, особливості конструкцій та типи регулювання потужності;
- 2) проаналізувати приводи регулювальної арматури для газових та повітряних мереж;
- 3) побудувати функціональну схему системи керування електропривода газового пальника та обґрунтувати вибір її елементів;
- 4) скласти математичний опис системи керування електропривода газового пальника;
- 5) провести моделювання системи керування електропривода газового пальника в MATLAB та дослідити вплив параметрів регуляторів на якість керування.

Об'єкт дослідження. Перехідні процеси в електроприводі газового пальника.

Предмет дослідження. Структура та параметри регуляторів електропривода газового пальника, які впливають на якість керування.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконані із залученням сучасної теорії електропривода, методів теорії автоматичного керування та комп'ютерного моделювання в MATLAB.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальна характеристика зерносушарок

Одним з основних технологічних процесів у сільському господарстві є сушка сільськогосподарської продукції, зокрема зернових та олійних культур, пов'язана з обробкою розігрітим повітрям і випаровуванням надмірної вологи. У цій сфері найбільш широко використовуються системи автоматизованого електропривода.

Зерносушарка – машина призначена для сушіння всіх видів зерна, кукурудзи, масло насіння, бобових та інших культур насінневого, фуражного й продовольчого призначення.

Майже всі сушарки, що використовують в якості сушильного агента нагріте повітря і застосовувані в даний час, є сушарками конвекційного типу, в яких повітря переносить тепло до зерна і видаляє випаровувану вологу. Пристрої, де продукти згоряння палива змішуються з повітрям для сушіння, зараз застосовуються майже у всіх сушарках, які працюють на газі. Продукти згоряння, що надходять з правильно відрегульованого газового пальника, не роблять шкідливого впливу при проходженні через зерно. Великі сушарки працюють або на рідкому паливі, або на природному газі. Сушарки, що працюють на рідкому паливі, мають теплообмінник, який забезпечує подачу чистого повітря. Інші види енергії, для підведення тепла в сушарку, ще не можуть конкурувати за економічними показниками з рідким паливом або газом. Проводяться експерименти по застосуванню інфрачервоного випромінювання для сушіння зерна, проте в найближчому майбутньому більшість сушарок для зерна буде конвекційного типу з використанням нагрітого повітря. Вибір типу сушарки визначається, перш за все, її продуктивністю, вартістю, безпекою при роботі, надійністю контролю температури, стабільністю продуктивності і наявністю відповідного транспортного устаткування. Легкість очищення також грає важливу роль, особливо при сушінні різних партій насінневого зерна. У процесі сушіння можливе погіршення якості зерна внаслідок, підгоряння, зниження хлібопекарських властивостей борошна, розтріскування [1, 2].

На рисунку 1.1 зображено вигляд зерносушарки на терміналі, де вона приєднується до норій, які постачають зерно до робочих камер, а вихід робочих камер до транспортерів, котрі висушене зерно переміщують на місце збереження. До складу кожної сушарки входить нагрівач (пальник), котрий нагріває робочу зону, щоб із зерна випаровувалася волога, яку видаляє вентилятор. Пальник та вентилятор встановлюються таким чином, щоб було рівномірне прогрівання зерна і рівномірно видалялась випарювана волога.



Рисунок 1.1 – Вигляд зерносушарки на терміналі

Кожна сушарка повинна відповідати стандартам, а саме нагрівати зерно до певної температури (таблиця 1.1) [3].

Таблиця 1.1 – Режими сушки зерна в зерносушарках

Культура	Вологість до сушки	Число пропусків через зерносушарку	Шахтні сушарки	
			t° агента сушки	макс. t° зерна
Пшениця, жито, ячмінь, овес	18	I	70	45
	20	I	65	45
	26	I	60	43
	більш 26	II	65	45
		I	55	40
		II	60	43
		III	65	45
Гречка, просо	18	I	65	45
	20	I	60	45
	26	I	55	40
	більш 26	II	60	45
		I	50	38
		II	55	40
		III	60	45
Горох, віка, чечевиця, нут, рис	18	I	60	45
	20	I	55	45
	25	II	60	45
		I	50	40
		I	55	45
		III	60	45

Перевищення цих меж приводить до значного зменшення схожості насіння та хлібопекарських властивостей зерна. Перегріте зерно застосовується тільки для годівлі на тваринницьких фермах.

1.1.1 Зерносушарки для штучного сушіння зерна в сільському господарстві, на хлібоприймальних пунктах, елеваторах, млинових комбінатах та інших зернопереробних підприємствах класифікуються за:

1.1.1.1 Способом сушіння зерна:

- гарячим повітрям;
- сумішшю гарячих димових газів із зовнішнім повітрям.

1.1.1.2 Способом завантаження і вивантаження зерна:

- сушарки періодичної дії з періодичним завантаженням і вивантаженням просушеного зерна;
- сушарки безперервної дії з автоматичним безперервним рухом зерна через сушильний апарат.

1.1.1.3 Способом розташування зерна:

- сушарки з розташуванням зерна горизонтальними, вертикальними або похилими шарами;
- сушарки, в яких зерном заповнюється вся шахта сушильного апарату (шахтні сушарки).

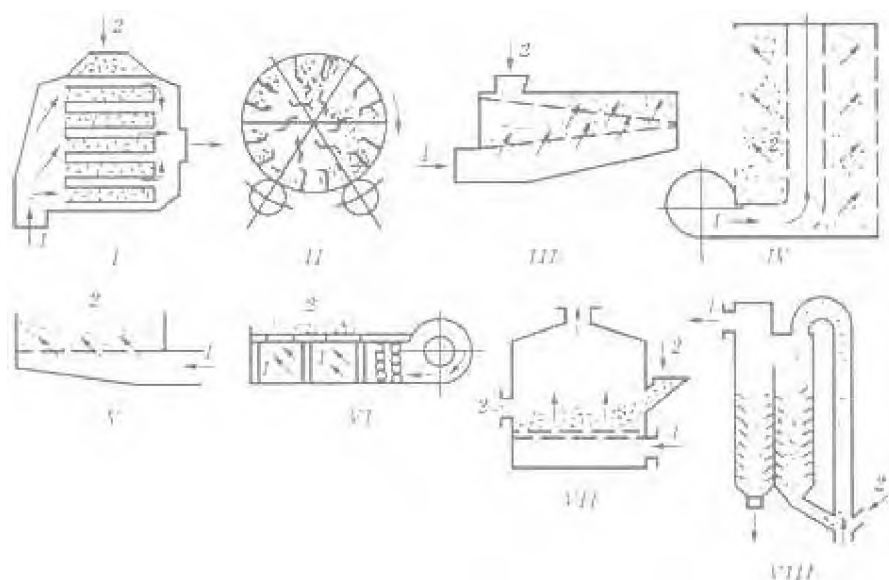
1.1.1.4 Конструкцією сушильного апарату:

- стаціонарні;
- пересувні.

1.1.1.5 Загальною конструкцією:

- шахтні;
- камерні;
- рециркуляційні;
- барабанні.

1.1.2 Головною технологічною характеристикою зерносушарок є стан матеріалу в процесі сушіння і охолодження. Зерносушарки з рухомим зерновим шаром найпоширеніші. Під час сушіння швидкість зернового матеріалу більша від нуля, а швидкість теплоносія менша від критичної швидкості зернового матеріалу. На рисунку 1.2 зображено схему робочих процесів зерносушарок. Цей принцип покладений в основу роботи шахтних, рециркуляційних, барабанних, конвеєрних і вібраційних зерносушарок безперервної дії.



1 – напрямок руху повітря; 2 – напрямок руху зерна

Рисунок 1.2 – Схема робочих процесів зерносушарок:

I – шахтна; II – барабанна; III – вібраційна; IV – вентильований бункер;

V – декова; VI – наземна; VII і VIII – пневмо-газова рециркуляційна

1.1.2.1 Шахтні сушарки складаються з двох шахт, які мають рівну місткість і вертикальну норію. Принцип дії простий. Зерно під дією власної ваги проходить через сушарку, яка представляє собою вертикальну камеру прямокутного перетину з рухомим зерновим шаром, що поперечно продувається. Подача гарячого повітря здійснюється від низу до верху. Товщина шару зазвичай становить 100-250 мм і не перевищує 500 мм. Стінки шахти роблять або сітчастими або жалюзійними, або всередині шахти розміщують систему каналів (коробів), через які підводять свіжий і відводять відпрацьований агент сушіння. Після сушки зерно подається в спеціальні камери, що охолоджують. У нижній частині шахти встановлюють випускний пристрій, за допомогою якого створюють підпір зерна і регулюють час перебування його в шахті. Шахтні сушарки розраховані на партії в 8 і 16 тонн зерна. Для продовольчого і насінного зерна режими сушки різні. Так при сушці продовольчого зерна за один цикл видаляється 5-6 % вологи і продуктивність складає 8-16 тонн/годину, тоді як у насінневого зерна видаляється 3-4 % вологи при продуктивності 4-8 тонн/годину. Для сушки зерна в шахтних сушарках потрібне попереднє очищення від соломи і лущиння для запобігання займанню.

1.1.2.2 Барабанні сушарки по перерізу барабан розділений на шість секторів, у кожному з яких закріплено полицки, що захоплюють зерно під час обертання барабана. Рівномірну подачу зерна в барабан забезпечує завантажувальна камера. Пересувається зерно вздовж барабана в момент його пересипання під дією підпору і потоку агента сушіння. З розвантажувальної камери зерно подається в шлюзову заслінку, звідки надходить в охолоджувальну колонку. Тривалість перебування зерна в контакті з агентом сушіння в барабанних сушарках регулювати складніше, оскільки температура нагрівання агента сушіння в них 90-130 °С для насіння і понад 180 °С для продовольчого та фуражного зерна. Недоліком конструкції сушарок цього типу є те, що зерно, яке надходить в сушарку, контактує з досить нагрітим агентом сушіння. За один цикл вологість зернового матеріалу знижується приблизно на 8 %, при цьому допустиме заповнення робочого простору сушильної камери 25-30 % за продуктивністю і видаленню вологи за один цикл (5-6 % продовольче зерно і 3-4 % насіннєве) не поступаються шахтним. Барабанні сушарки не можна використовувати для сушіння насіння бобових, рису, кукурудзи, тому що воно травмується – розтріскується. Барабанні сушарки відрізняються компактністю. Завдяки цьому вони легко транспортуються. Але, не дивлячись на це, найчастіше вони застосовуються в якості стаціонарних.

1.1.2.3 Вібраційні сушарки мають решета, розміщені ярусами, які приводяться в коливальний рух. Зерно, переміщуючись по такому решету, пронизується від низу до верху теплоносієм. Зерносушарки з нерухомим зерновим шаром працюють за умови, що швидкість матеріалу дорівнює нулю, а швидкість теплоносія менша від критичної швидкості частинок матеріалу. Цей принцип використовується в установках активного вентилявання зерна (вентильовані бункери), декових та наземних зерносушарках. Вентильований бункер складається з бункера, вентилятора, повітронагрівача і повітропроводу. Підігріте повітря пронизує шар вологого зерна, висушуючи його. Їх використовують також для вентилявання зерна повітрям при його охолодженні і консервації.

1.1.2.4 Камерні сушарки займають значну площу. Подача зерна здійснюється механічним способом. У сушарок цього типу є повітровід. Вони складаються з двох камер з перфорованою підлогою. Зерно насипається шаром, що не перевищує 80 см інакше зерно може погано просушитися. Процес сушки полягає в продуванні зерна повітрям, яке може бути трохи підігріте. У сушарку завантажується перший шар, потім після його висихання другої. 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 перемішування зерна в процесі сушки. Волога віддаляється за одне завантаження до сухого стану зерна.

1.1.2.5 Рециркуляційні сушарки дозволяють робити сушку зерна будь-якого виду і культури, забезпечуючи виведення будь-якої кількості вологи протягом одного проходу. Конструктивно схожі із шахтними. Але у них є істотні відмінності. У цих сушарках зерно, яке подається в шахту згори, нагрівається за декілька секунд і під дією своєї ваги падає на дно шахти. Тут частина зерна вирушає на зберігання, а частина спрямовується в іншу шахту, в якій відбувається перемішування вже нагрітого сухого зерна з вологим, що поступає. В результаті зерно відразу частково висушується. Далі воно вирушає в першу шахту для сушки. Процес змішення сухого і вологого зерна введений не випадково. Пропускання зерна відбувається в кілька циклів, протягом кожного циклу час контакту зерна з теплоносієм становить від 2 до 5 секунд при максимальній температурі в 35 градусів. В ході циклу можливо зняти приблизно 2,5 % відсотка вологи. Річ у тому, що він дозволяє економити паливо [4].

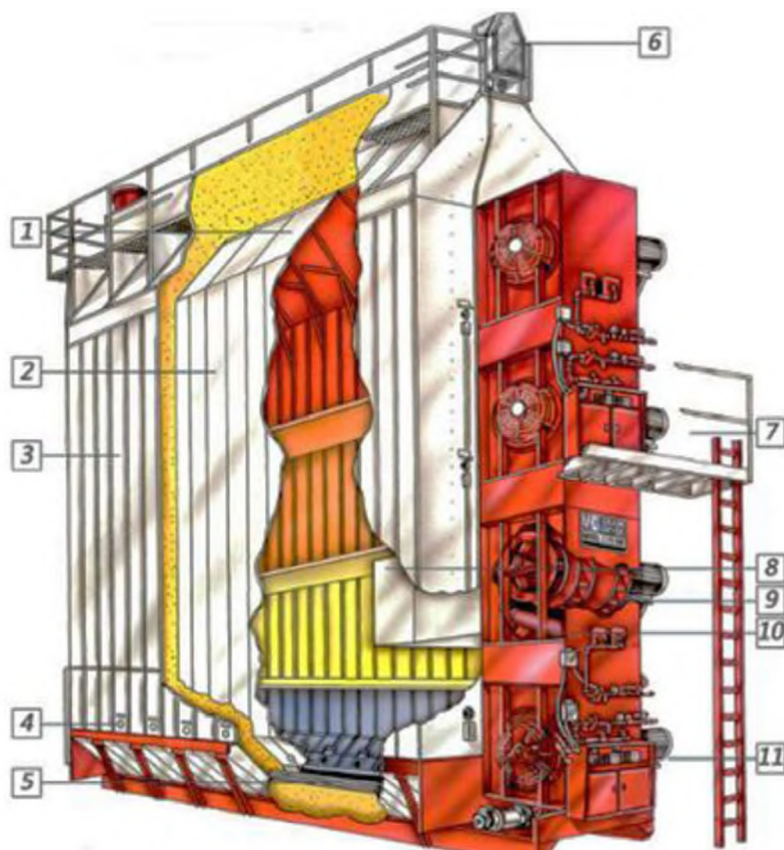
1.2 Опис зерносушарки L2700

Американська компанія Mathews Company вже не одне десятиріччя займається розробкою і виготовленням зерносушарок та іншого обладнання для переробки та збереження зернових. Одним з найголовніших напрямків розвитку компанії є розробка та вдосконалення модульних зерносушарок неперервної дії. Модульні сушарки є найбільш економічно вигідними, тому що вони займають мало місця, кожна шахта працює незалежно від іншої, тим самим підвищується надійність системи, систему можливо наростити, добавивши ще один або кілька модулів.

На рисунку 1.3 наведено склад модульної зерносушарки.

1.2.1 Переваги модульних сушарок:

- модульні зерносушарки можна нарощувати, тим самим у 2-3 рази збільшувати їхню продуктивність не займаючи при цьому більше місця.
- повітря й тепло нагнітаються в зерносушарку осьовими вентиляторами й пальниками, що забезпечує максимальну теплову потужність і низьке споживання газу – від $0,6 \text{ м}^3$ до $1,1 \text{ м}^3$ на 1 тонно-відсоток.
- з більш, ніж 250 сушарок працюючих в Україні, з 1996 р. не було ні одного випадку загоряння, що дуже часто відбувається в інших конструкціях.
- сполучення енергозберігаючих технологій і автоматизованої системи керування забезпечує мінімальні енерговитрати.
- малі габаритні розміри дозволяють значно заощаджувати на пристроях зерно-транспорту й інфраструктурі сушильного комплексу.
- зернові колони забезпечують максимальну місткість, а також рівномірне й ефективне сушіння зерна будь-якої вологості за один прохід, що у свою чергу забезпечує найкращі якісні показники зерна та мінімальний зміст зернових домішок.



- 1 – панелі верхньої приймальної секції; 2 – датчик температури зерна;
 3 – зовнішнє решето; 4 – люки для швидкого розвантаження; 5 – валки, що подають зерно на розвантаження; 6 – електродвигун завантажувального шнека;
 7 – верхній обслуговуючий майданчик; 8 – камера подачі нагрітого повітря в сушильну камеру; 9 – відцентрові вентилятори двостороннього забору повітря;
 10 – пальник; 11 – панель керування

Рисунок 1.3 – Склад модульної зерносушарки

1.2.2 В роботі розглянуто модульну сушарку безперервної дії L2700 (серія Legacy). Зерносушарка під'єднана до норії, з якої до неї поступає вологе зерно. Ця зерносушарка складається з двох частин, кожна з яких має в своєму складі 7 модулів. Кожна частина працює незалежно від іншої, це ж саме стосується і модулів, кожен з яких керується порізно від інших. Біля зерносушарки розташована кімната оператора зерносушарки, де знаходиться пульт керування запальниками, вентиляторами та шнеками сушарки. На рисунку 1.4 наведено загальний вигляд зерносушарки Mathews серії Legacy.

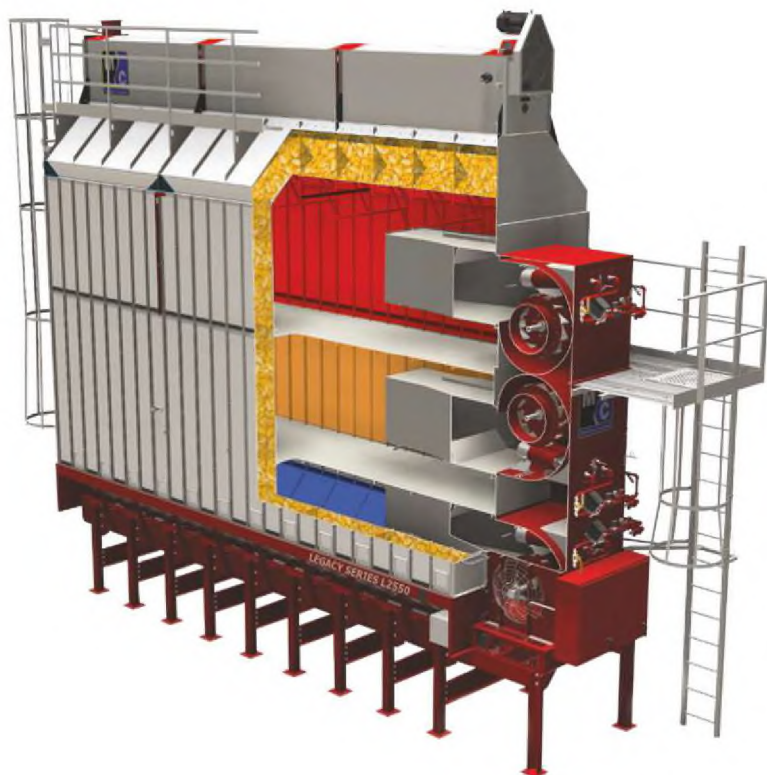


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд зерносушарки Mathews серії Legacy

1.2.3 Технічні характеристики та продуктивність роботи зерносушарки L2700 наведено в таблицях 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики зерносушарки L2700

Параметр	Значення
Місткість, м ³	36
Напруга живлення, В	380
Потужність, кВт:	
– вентилятор нагріву	60
– вентилятор охолодження	15
– шнек	5,5
Вид палива	природний газ
Споживання палива, м ³ /год	462-560
Режим роботи устаткування	напіваавтоматичний
Габарити зерносушарки, мм:	
– висота	10180
– ширина	2530
– довжина	10570
Вага, кг	11860

Таблиця 1.3 – Продуктивність роботи зерносушарки

Культура (вологість)	Продуктивність т/год	
	без охолодження	з охолодженням
кукурудза (15-20 %)	51	54
ячмінь (15-25 %)	35	45
пшениця (12-15 %)	44	50
соняшник (15-20 %)	41	46
сорго (15-20 %)	44	49

До складу зерносушарки L2700 компанії Mathews входять відцентрові вентилятори, пальники «Вентурі» (NG), зернові або рапсові сита, бункер для вологого зерна з фермою, шнек з приводним двигуном.

Пальники «Вентурі» приєднуються до загальної газової мережі. Пальники складаються з камери згоряння, де розташовані запальник і форсунки для подачі природного газу та повітря, вентилятора, що подає повітря до камери згоряння, блоку вимірювальних приладів, що слідкують за тиском газу в трубах, та температурою у сушильних камерах.

Відцентрові вентилятори використовуються для охолодження зерна, потужний потік холодного повітря видуває з розігрітого зерна випаровувану вологу.

1.2.4 Технологічна схема роботи зерносушарки L2700 (див. рисунок 1.4). Сире зерно піднімається норією в надсушильний бункер, після чого рівномірно рухається по сушильних шахтах (відповідно в першій і другій зонах сушіння) та шахті охолодження (зоні охолодження). Випуск зерна з шахт проводиться випускним механізмом періодичної дії. Сухе охолоджене зерно із зерносушарки спрямовується за допомогою норії сухого зерна в зерносховище.

Агент сушіння з топки вентиляторам подається в нагнітально-розподільні камери першої і другої зон сушіння.

Атмосферне повітря вентилятор подає в нагнітально-розподільну камеру шахти охолодження. В зерносушарці L2700 застосовується конвективне сушіння, коли теплота подається до зерна від агента сушіння. При цьому агент сушіння

виконує роль як теплоносія, так і вологоносія (волога, яка випаровується із зерна, поглинається агентом сушіння і видаляється в повітря).

Зерно в зерносушарці L2700 підсушується сумішшю зпалювальних газів з повітрям, яка подається вентиляторами відповідно по зонах сушіння. Паливо подається в топку через форсунку, в якій утворюється суміш палива і повітря [5].

1.3 Промислові газові пальники

Газовий пальник – це пристрій для змішування кисню з газоподібним паливом з метою подачі суміші до вихідного отвору і спалювання її з утворенням стійкого факела. У газовому пальнику газоподібне паливо, що подається під тиском, змішується в змішувальному пристрої з повітрям (киснем повітря) і утворювана суміш підпалюється на виході із змішувального пристрою з утворенням стійкого постійного полум'я.

Газ є найзручнішим видом органічного палива, володіє надзвичайно високими споживчими якостями, тому пристрої, що працюють на ньому, користуються особливою популярністю. Майже всі вони оснащуються системами автоматики, завдяки чому досягається висока безпека і безвідмовність їх роботи [6].

Газові пальники сьогодні встановлюють на [7]:

- зерносушарках;
- обертових печах;
- сушильних барабанах;
- асфальтобетонних заводах;
- сушарках киплячого (зваженого) шару;
- повітронагрівачах-теплогенераторах;
- сушарках (конвеєрних, періодичних і ін.);
- промислових печах (камерних, тунельних і ін.);
- технологічних агрегатах і енергетичних установках.

1.3.1 У пристрої, званому газовим пальником, відбувається процес змішування газу, що подається та повітря, яке всмоктується або нагнітається з подальшим спалюванням пального складу в камері згоряння. Вона може працювати в умовах газу, який подається з магістралі, а також від балона або спеціального резервуара. Сам процес залежить від особливостей пальника і можливостей його налаштування під певні умови.

Залежно від способу надходження повітря, газові пальники поділяються на такі види [8]:

- атмосферні (інжекційні) – повітряно-газова суміш виходить за рахунок природного всмоктування повітря з навколишнього простору і змішування його з газом, що подається;
- наддувні (вентиляційні або дуттьові), що використовують в роботі вентилятор, який примусово нагнітає повітря.

1.3.1.1 Атмосферні пальники. Дана конструкція (рисунок 1.5) являє собою перфоровану трубку профільного перетину, в яку подається газ. У трубці створюється знижений тиск, за рахунок чого відбувається всмоктування всередину неї повітря. В результаті утворюється горюча речовина, що підтримує процес горіння після розпалу гніту за допомогою пьезо-, або електричного елемента. Такі пальники мають ще одну назву – інжекційні.

Інжекційні пальники розрізняють: за тиском – низького і середнього тиску; за видом факела – багатофакельні (з розподільним колектором) і однофакельні; за кількістю сопел – односоплові і багатосоплові; за розташуванням сопел – з центральним і периферійним розташуванням. Об'ємні співвідношення газу і повітря, яке засмоктується інжекційним пальником, визначаються коефіцієнтом інжекції і коефіцієнтом надлишку повітря. Чим вище теплота згоряння газу, тим більше потрібно повітря для його згоряння і тим більше при одному і тому ж коефіцієнті надлишку повітря повинен бути коефіцієнт інжекції.



Рисунок 1.5 – Атмосферний пальник

Атмосферні пальники набули широкого поширення, до їх позитивних якостей відносять:

- безшумність;
- компактність;
- незалежність більшості моделей від подачі електроенергії;
- надійність, завдяки конструктивній простоті;
- малі експлуатаційні витрати.

Про слабкі сторони можна сказати наступне:

- мала потужність;
- низький ККД (не більше 90 %);
- чутливість до частих перепадів тиску газу, що подається (необхідність установки додаткової автоматики, зокрема, реле контролю, що реагує на зміни тиску);
- підтримування високого рівня чистоти приміщення, де розташовується пальник, щоб уникнути засмічення пальника пилом.

Скачки тиску можуть призвести до прогорання сопла газового пальника при зниженій подачі газу, або до пропалювання теплообмінника при зайвої висоті полум'я.

1.3.1.2 Наддувні пальники. Повітря тут нагнітається примусово вентиляторами. У цьому випадку з'являється додаткова можливість гнучкого регулювання потужності потоку газоповітряної суміші, в зв'язку з чим, з'являється реальне досягнення високих показників ККД.

Наддувні пальники мають більш складну конструкцію (рисунок 1.6). Прімітно, що повітря в даний пристрій подається частинами, але змішується воно з газом практично миттєво. Сучасні наддувні пальники в обов'язковому порядку оснащуються автоматикою, що забезпечує безперебійну і надійну роботу обладнання. Зовні вони виглядають як блок, усередині якого знаходиться сам пальник з вбудованим електровентилятором.

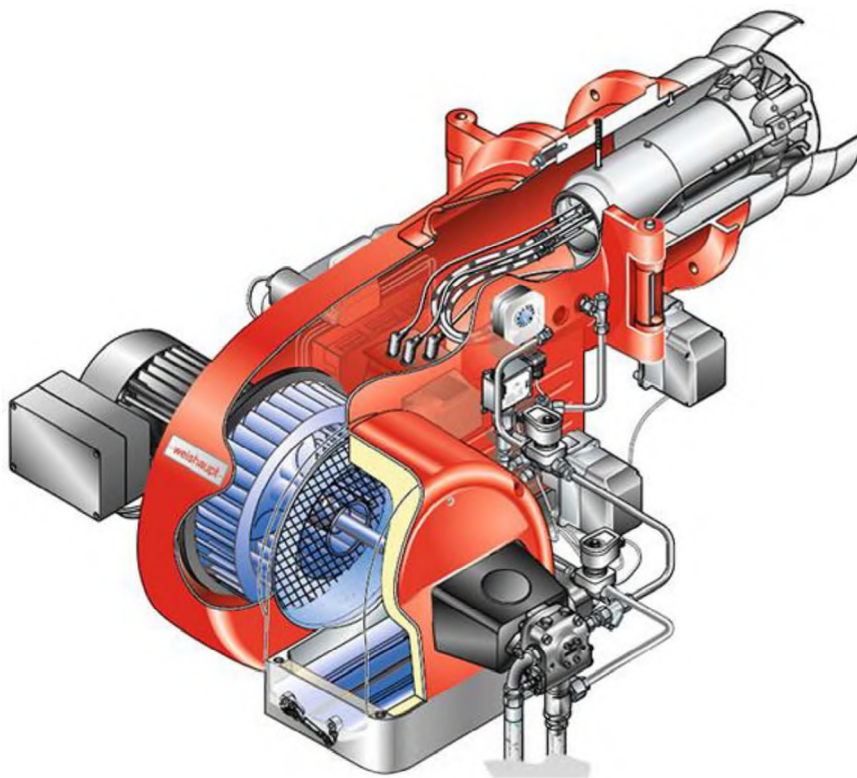


Рисунок 1.6 – Наддувний (дутьовий) пальник

Наддувні пальники підрозділяються на:

- вихрові, обладнані круглими вихідними отворами. Забезпечують потужний приплив повітря і стабільне горіння;
- прямоточні, що подають горючу суміш через вихідні отвори, що мають різну форму (круг, щілину, прямокутник).

Слід справедливо зазначити, що наддувні газові пальники:

- безпечні – процес згоряння відбувається в ізольованому просторі;
- високопродуктивні і високоефективні, завдяки своїм конструктивним особливостям, ККД становить близько 95 %;
- малочутливі до перепадів тиску – зниження показника компенсується наявністю вентилятора;
- екологічні;
- мають можливість заміни на інші види пальників.

Не так легко зустріти обладнання, позбавлене недоліків. У дуттьових пальників вони також присутні:

- наявність шуму від вентилятора або турбіни;
- залежність від електроенергії вимагає присутності в системі джерела безперебійного живлення,
- висока ціна.

1.3.2 Крім принципу роботи, газові пальники класифікують за типом регулювання і особливостях конструкції. Робочі параметри впливають на теплоефективність, економічність і надійність [9].

Газові пальники мають різний тип регулювання потужності:

- одноступеневі – найбільш прості і доступні;
- двоступеневі – з двома режимами роботи, які автоматично перемикаються;
- плавно-двоступеневі – з м'яким регулюванням полум'я між двома ступенями;
- модульовані – найбільш ефективні і надійні, мають точне і швидке регулювання в залежності від зміни температурного режиму теплоносія.

1.3.2.1 Одноступеневі пальники. У більшості випадків, це атмосферні газові пальники. Принцип роботи полягає в поперемінному увімкненні і вимкненні горілочного пристрою. Періодичність вмикання пальника, залежить від швидкості охолодження теплоносія і виставленого за допомогою механічного терморегулятора, режиму роботи. Працюють незалежно від наявності електроживлення – регулювання робочого режиму, виконується за допомогою термопари, при нагріванні, яка продукує низькопотенційну напругу, якої достатньо для забезпечення працездатності пристрою. Певна кількість газу, витрачається на підтримання роботи запальника. Перевитрата спостерігається і через відсутність точного регулювання робочої температури.

1.3.2.2 Двоступеневі пальники. Назва говорить про те, що пристрій працює в двох встановлених виробником режимах, зазвичай, на 30 % і 100 % від номінальної потужності. Горіння відбувається в постійному режимі. Запальник відсутній. Навіть перші моделі двоступеневих пальників, дозволили знизити витрату газу, приблизно на 10 %. У сучасному обладнанні, витрати зменшилися в порівнянні з атмосферними одноступеневими пристроями, ще на 10-15 %.

1.3.2.3 Плавно-двоступеневі пальники. Принцип роботи пристроїв, що плавно перемикаються, ідентичний двоступеневим пальникам. Єдина відмінність – перемикавання, що виконується без різких ривків, що призводить до наступних переваг: точне і ефективне регулювання температури нагріву теплоносія.

1.3.2.4 Модульовані пальники. Найбільш економічні пальники – модульовані. Робочий діапазон, від 10 до 100 %. Зменшення або збільшення потужності пальника здійснюється в повністю автоматичному режимі. Роботу контролює мікропроцесорна автоматика, що зчитує показання різних датчиків і підбирає оптимальний режим, який ґрунтується на одержуваній інформації. Автоматика керування модульованими пальниками – практично, це міні комп'ютер, який розраховує оптимальну потужність, виходячи з отриманої інформації. Автоматика одночасно підключається до датчика тиску газу на пальнику, кімнатним термодатчиком, турбіни, що нагнітає повітря і т.п. Модуляція пальника здійснюється в повністю автоматичному режимі.

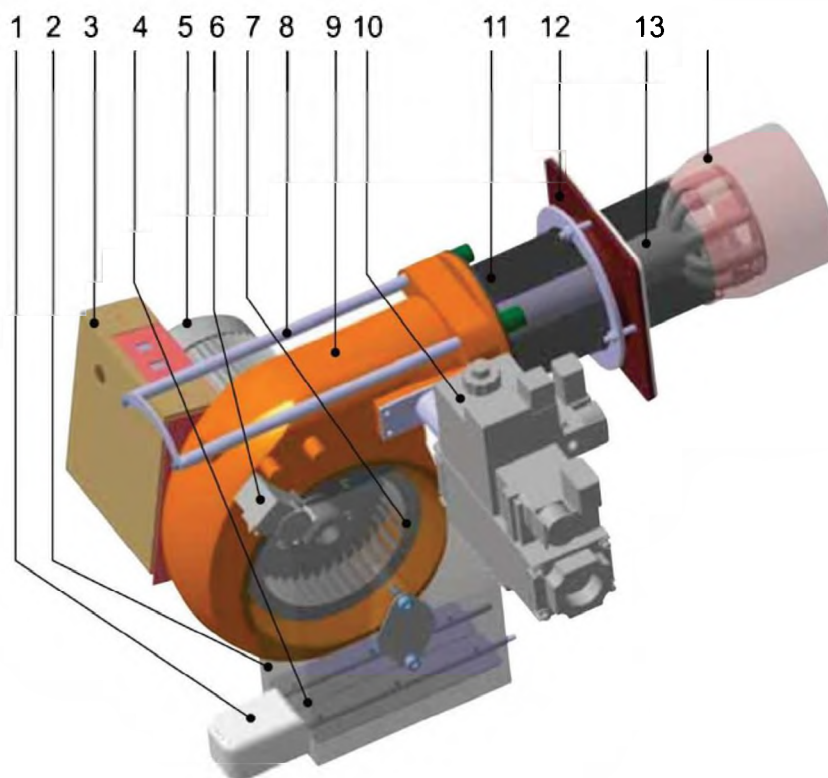
Модульовані пальники підрозділяються на три типи за принципом роботи модулюючих пристроїв:

- пальники з механічною системою модуляції;
- пальники з пневматичною системою модуляції;
- пальники з електронною модуляцією.

На відміну від пальників з механічною і пневматичною модуляцією, пальники з електронною модуляцією дозволяють забезпечити максимально можливу точність регулювання, оскільки виключаються механічні похибки в роботі пальників.

Модульовані пальники мають перед ступінчастими цілий ряд переваг. Механізм плавного регулювання потужності дозволяє звести циклічність увімкнення-вимкнення котлів до мінімуму. Економія палива при цьому складає не менше 5 %, а при грамотному налаштуванні можна досягнути 15 % і вище.

1.3.3 Склад газового пальника наддувного (дутьового) виду представлено на рисунку 1.7.



- 1 – сервопривод; 2 – повітряна за – електрична панель;
 4 – повітряний клапан; 5 – електричний мотор; 6 – повітряний перемикач тиску;
 7 – вентилятор; 8 – кріплення; 9 – корпус; 10 – газовий вентиль;
 11 – жарова труба; 12 – з’єднувальний фланець; 13 – газова голівка;
 14 – подовжувач жарової труби

Рисунок 1.7 – Склад газового пальника

1.4 Аналіз приводів регулювальної арматури

Для автоматизації приводів газових заслінок в даний час широко застосовують сервоприводи на основі безколекторного електродвигуна. Причиною цьому є надмірна вологість та значний вміст зернового пилу у повітрі, а ще велика вибухонебезпека через те, що зерновий пил при великій концентрації вибухонебезпечний.

В роботі розглянуто продукцію трьох виробників, які спеціалізуються в сфері запірної та регулюючої арматури для газових та повітряних мереж. Перша з них, це всесвітньовідомий Siemens Building Technologies, німецький промисловий гігант, який працює у всіх напрямках автоматизації. Інші два менш відомі в широких колах, але серед спеціалістів в сфері, що стосується тематики даної роботи, мають

велику повагу. Це стосується швейцарської компанії Belimo Automation AG та словацької Regada s.r.o. Компанії спеціалізуються на керуванні водяними, газовими і повітряними потоками в системах опалювання, вентиляції і кондиціонування. Вузла спеціалізація, якої вони дотримуються протягом всіх років свого існування, дає можливість запропонувати замовникові продукцію найвищої якості за доступною ціною, тому що всі найвизначніші розробки в цій області виконуються цими компаніями.

Підбір конкретних моделей електроприводів в роботі здійснено виходячи із відомого значення моменту, який необхідний для повороту валу заслінки ($M \leq 4 \text{ Н} \cdot \text{м}$). В таблиці 1.4 представлено технічні характеристики приводів [10-12].

Таблиця 1.4 – Порівняльний аналіз приводів

Параметр	Значення		
Модель	Regada SP MIKRO	Belimo LM24A-MF	Siemens GMA16..1
Тип керування		аналогове	аналогове
Робоча напруга, В	24 (AC)	24 (DC)	24...48 (DC)
Сигнал позиціонування		0-10 В	0-10 В, 0-35 В
Модель	Regada SP MIKRO	Belimo LM24A-MF	Siemens GMA16..1
Індикація положення	4-20 мА	0-10 В	0-10 В
Момент, Н·м	макс. 8	5	7
Потужність, Вт	2,75	2,5	3,5
Час відпрацювання 90°, с	120	35-130 (програмується)	90
Макс. кут повороту, град.	Робочий кут 60/90/120	95	95
Гарантія, років	3	5	1

1.4.1 Regada SP MIKRO призначені для дистанційного керування замикальними органами та для автоматизації керування регулювальними органами. Електроприводи використовуються в якості виконавчих ланок в технологічних пристроях для керування промисловою трубопровідною арматурою, як запірні заслінки, шарові клапани, засувки, запірні та регулювальні клапани.

Приводи Regada може бути оснащено синхронним, асинхронним двигуном або двигуном постійного струму, який через коробку передач передає крутний момент на фланець. Для індикації положення може бути використано реостат або електронним датчиком положення (EPV), в якому вихідним сигналом є струм.

На рисунку 1.8 представлено загальний вигляд однооборотного електропривода Regada SP MIKRO.

Вивчаючи відгуки фахівців про приводи цього виробника, можна сказати що приводи достатньо надійні, нема проблем з технічним обслуговуванням та гарантійними зобов'язаннями.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд привода Regada SP MIKRO

1.4.2 Електропривод Belimo LM24A-MF є приводом без зворотної пружини і застосовується для керування повітряними заслінками в системах вентиляції і кондиціонування. Загальний вигляд привода Belimo LM24A-MF наведено на рисунку 1.9. Привод відноситься до серії програмованих пристроїв. Це дозволяє налаштувати такі параметри роботи привода, як схема керування, час ходу, величини керуючого сигналу і сигналу зворотного зв'язку і т.д.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд привода Belimo LM24A-MF

Привод може керуватися як стандартним аналоговим сигналом 0...10 В / 2...10 В, так і за 3х-точковою схемою. Час ходу складає 35...150 с. Налаштування здійснюється за допомогою програми для ПК PC-TOOL або компактного прогнатора ZTH EU. Робоча напруга – 24 В ~ / =.

По відгуках фахівців приводи Belimo відзначаються своєю надійністю, про що також говорить гарантія 5 років, завдяки компактним розмірам легко встановлюються в будь-яких системах.

1.4.3 Приводи повітряних заслінок від Siemens серії GMA..1 з електромотором для двохпозиційного, триточкового і аналогового керування, з номінальним крутним моментом 7 Н·м, з поворотною пружиною, самоцентрувальним адаптером валу, механічно регульованим кроком в межах кута повороту 0...90 °.

Доступні різні варіанти виконання з регульованими зміщенням і кроком для сигналу позиціонування, індикатором положення, потенціометром зворотного зв'язку і регульованими допоміжними перемикачами для додаткових функцій.

Приводи повітряних заслінок з електродвигуном Siemens GMA161.1E оснащені поворотною пружиною, яка переміщує привод в нульове положення при збої або відключенні живлення. Передбачена механічна настройка кута повороту від 0 до 90 °, а також електронна індикація положення. Загальний вигляд привода Siemens GMA16..1 наведено на рисунку 1.9.

По відгуках фахівців виявляється, що приводи Siemens в складних умовах дуже скоро виходять з ладу. Термін їх роботи біля 1 року, після чого і збігає термін гарантійного ремонту. Крім того, виробництво приводів для заслінок від Siemens виконує підпорядкована компанія Landis & Staefa, тому при гарантійному обміні можуть виникати проблеми, а при замовленні часто виникають затримки в поставках.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд привода Siemens GMA16..1

1.5 Висновки до розділу 1

1.5.1 Розглянуто призначення, принципи роботи та класифікацію зерносушарок. Виявлено, що більшість сушарок, які використовують в якості сушильного агента нагріте повітря і застосовувані в даний час, є сушарками конвекційного типу, в котрих повітря переносить тепло до зерна і видаляє випаровувану вологу. В найближчому майбутньому більшість сушарок для зерна буде конвекційного типу з використанням нагрітого повітря.

1.5.2 Наведено опис модульної зерносушарки L2700. Модульні сушарки безпечні та надійні, вони поєднують в собі енергозберігаючі технології та автоматизоване керування, що забезпечує мінімальні енерговитрати. Розглянуто склад та технологічна схема роботи сушарки. Встановлено, що сушарка працює на природному газі. Також в сушарці застосовується конвективне сушіння, коли теплота подається до зерна від агента сушіння. При цьому агент сушіння виконує роль як теплоносія, так і вологоносія.

1.5.3 Розглянуто промислові газові пальники. Встановлено, що в сушарках використовують наддувні (дутьові) пальники, які в обов'язковому порядку оснащують автоматикою. В сушарці L2700 газові пальники мають модульоване керування – найбільш ефективні і надійні, мають точне і швидке регулювання в залежності від зміни температурного режиму теплоносія.

1.5.4 Проаналізовано приводи регулювальної арматури для газових та повітряних мереж. Виявлено, що для автоматизації приводів газових заслінок в теперішній час широко застосовують сервоприводи на основі безколекторного електродвигуна. Одними з лідерів на ринку цієї продукції є виробники Regada та Belimo.

2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Метод (греч. *methodos* – шлях, спосіб дослідження, викладу) – система правил і прийомів підходу до вивчення явищ і закономірностей природи, суспільства, мислення; планомірний шлях, спосіб досягнення певних результатів у науковому пізнанні й практичній діяльності; взагалі прийом, спосіб або спосіб дії.

Знання методів має величезне практичне й евристичне значення, тому що воно орієнтує дослідника, допомагає йому вибрати істотне й вичленувати другорядне, намітити шлях сходження від відомого до невідомого, від простого до складного, від одиничного до приватного й загального, від вихідних посилок до висновків [13].

Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь-якого дослідження. Свідоме застосування науково-обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань.

Кожний метод наукового пізнання слід розглядати як систему регулятивних принципів практичної і теоретичної діяльності людини. Методів пізнання об'єктивної дійсності відомо дуже багато. Правильний вибір методів дослідження потребує знання їх класифікації.

Досить поширеним є поділ основних типів методів за двома ознаками: мети і способу реалізації.

За першою ознакою виділяються так звані первинні методи, що використовуються з метою збору інформації, вивчення джерел, спостереження, опитування та ін. Вторинні методи використовуються з метою обробки та аналізу отриманих даних – кількісний та якісний аналіз даних, їх систематизація та ін.

Візуальні, або графічні, методи – графи, схеми, діаграми, картограми та ін. дають змогу отримати синтезоване уявлення про досліджуваний об'єкт і водночас

наочно показати його складові, їхню питому вагу, причинно-наслідкові зв'язки, інтенсивність розподілу компонентів у заданому об'ємі. Ці методи тісно пов'язані з комп'ютерними технологіями.

У прикладних аспектах гуманітарних наук доцільно використовувати математичні методи. Математичний апарат теорії ймовірностей дає можливість вивчати масові явища в соціології, лінгвістиці. Математичні методи відіграють важливу роль при обробці статистичних даних, моделюванні.

Сучасна методологія вкладає новий зміст у традиційне уявлення про теоретичні (математичні) та емпіричні (експериментальні) методи дослідження в природних і технічних науках.

Складовою частиною наукових досліджень є експеримент.

Експеримент представляє собою науково поставлений дослід або спостереження явища або процесу в точно враховуваних умовах, що дозволяють стежити за ходом експерименту, керувати ним, відтворювати його щоразу при повторенні цих умов.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів.

Метод математичного моделювання ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі та натури математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Комп'ютерна модель (або чисельна) – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, Maple, Mathematica, Mathcad, MATLAB, Scilab, VisSim та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету MATLAB.

2.2 Розробка алгоритму дослідження

Методологія – це система базисних принципів, методів, методик, способів і засобів їх реалізації в організації та побудові науково-практичної діяльності. Вона включає в себе методи теоретичного та емпіричного пізнання і являє собою алгоритм пошуку і досягнення мети.

Основне призначення методики дослідження полягає у тому, щоб на основі відповідних принципів (вимог, умов, обмежень тощо) забезпечити успішне вирішення визначених мети і завдань наукового дослідження.

Алгоритм дослідження представлено в табличній формі (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Алгоритм дослідження

Автоматизований електропривод газового пальника зерносушарки	
Складання індивідуального плану роботи	
Пошук літератури за темою дослідження, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Дослідження технологічного процесу сушіння зернових культур. Аналіз складу, призначення та технічних характеристик зерносушарки
	Огляд видів промислових газових пальників. Дослідження принципу роботи, особливостей конструкцій та типів регулювання потужності
	Аналіз приводів регулювальної арматури для газових та повітряних мереж
	Побудова функціональної схеми системи керування електропривода газового пальника та обґрунтування вибору її елементів
	Складання математичного опису системи керування електропривода газового пальника
Опис процесу дослідження	Моделювання системи керування електропривода газового пальника в MATLAB
	Дослідження якості керування
Узагальнення результатів моделювання	Аналіз і узагальнення результатів дослідження
	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці	

Алгоритм складено на підставі головних завдань дослідження і наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми. Він розкриває процедуру дослідження і встановлює логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів кваліфікаційної роботи.

2.3 Вибір методів розв'язання поставленої задачі

Кваліфікаційна робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Моделювання як метод наукового пізнання виникло в зв'язку з необхідністю вирішення завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути вирішені безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт або недосяжний для дослідника, або він ще не існує і потрібно обрати оптимальний варіант його створення, або дослідження реального об'єкта вимагає багато часу та економічно не вигідне тощо. Таким чином, модель виконує функцію проміжної ланки між дослідником та об'єктом пізнання. Метод моделювання передбачає, що об'єкт вивчається не безпосередньо, а шляхом дослідження іншого об'єкта, який є аналогом першого.

Модель (від лат. *modulus* – міра) – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубінням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Характерною ознакою моделей можна вважати їх спрощеність стосовно оригіналу або реальної життєвої ситуації, яку моделюють. Спрощеність моделей є неминучою, тому що оригінал лише в обмеженій кількості відношень відображується в моделі.

Отже, моделювання з точки зору наукового дослідження – це метод опосередкованого пізнання за допомогою штучних або природних систем, які зберігають певні особливості об'єкта і, таким чином, заміщуючи його, дають змогу отримати нове знання про оригінал.

У системному аналізі моделі є дуже важливим компонентом дослідження та проектування нових систем. Не менш важливий і прагматичний аспект моделювання, при якому модель розглядається як засіб керування системою.

Модель є цільовим відображенням об'єкта-оригіналу, що виявляється у множинності моделей одного й того ж об'єкта, тобто для різної мети або завдань дослідження можна будувати різні моделі, тому мета або завдання дослідження визначають, які саме ознаки системи мають бути відображені в моделі. Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Основна функція моделі – це її використання як засобу пізнання. До конкретизованих (похідних від основної) функцій належать: засіб наукового осмислення дійсності, засіб спілкування, засіб навчання і тренування, інструмент прогнозування, засіб постановки та проведення експерименту.

Головними рівнями дослідження та моделювання систем є мікро- та макрорівень. Мікрорівневе моделювання системи пов'язане з детальним описом кожного компонента системи, дослідженням її структури, функцій, взаємозв'язків, тощо.

Макрорівневе моделювання полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні лише загальної поведінки системи як єдиного цілого.

Для детальнішого опису систем використовують моделі складу та моделі структури. Модель складу системи відображає, з яких елементів і підсистем складається система, а модель структури застосовується для відображення відношень між елементами та зв'язків між ними.

Модель структури описує суттєві зв'язки між елементами та підсистемами. При використанні графічних моделей будову систем подають у вигляді так званих

структурних схем. Структурні схеми наглядні та містять інформацію про велику кількість властивостей системи.

Залежно від форми подання об'єкта моделювання поділяють на реальне та абстрактне.

При реальному моделюванні використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині, а при натурному – проводять дослідження на реальному об'єкті з подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості “оригіналу” і володіє великими можливостями по визначенню різних якостей електро-механічних систем та їх елементів.

Абстрактне моделювання має різні види: наочне, символічне, математичне. Метод математичного моделювання заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

При математичному моделюванні застосовують аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число чинників, завжди вимагають деяких припущень і спрощень, проте вони більш пристосовані для пошуку оптимальних рішень. Статистичні методи в порівнянні з математичними громіздкі і погано осяжні.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

На етапі вибору математичної моделі встановлюються: лінійність і не лінійність об'єкта, процесу або системи, динамічність або статичність, стаціонарність або не стаціонарність, а також ступінь детермінованості досліджуваного об'єкта чи

процесу. При математичному моделюванні свідомо відволікаються від конкретної фізичної природи об'єктів, процесів або систем і, в основному, зосереджуються на вивченні кількісних залежностей між величинами, що описують ці процеси.

На базі складених диференційних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задавальних параметрів.

Слід зазначити, що метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростанню продуктивності обчислювальної техніки. Саме тому в представленій роботі як основа використано метод моделювання.

2.4 Висновки до розділу 2

2.4.1 Для дослідження автоматизованого електропривода в роботі обрано математичне моделювання, яке сьогодні є одним з ефективних методів вивчення складних систем.

2.4.2 На підставі головних завдань дослідження розроблено алгоритм дослідження, який наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми.

2.4.3 Моделювання є основним методом для отримання результатів, оскільки робота має теоретичний характер. На базі складеної математичної моделі системи керування електропривода в програмі Simulink проводиться математичне моделювання та досліджуються перехідні процеси.

3 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Побудова функціональної схеми системи керування та обґрунтування вибору її елементів

3.1.1 Побудова функціональної схеми

Як було встановлено в п. 1.5.4 для автоматизації приводів газових заслінок в теперішній час широко застосовують сервоприводи на основі безколекторного електродвигуна.

Безколекторний двигун постійного струму (БДПС) має подібні електричні характеристики до колекторного двигуна, але він має підвищену надійність через заміну механічної комутації електронною. У БДПС для усунення щіток обмотки якоря розміщують на стороні статора, а магніти – на стороні ротора (рисунок 3.1).

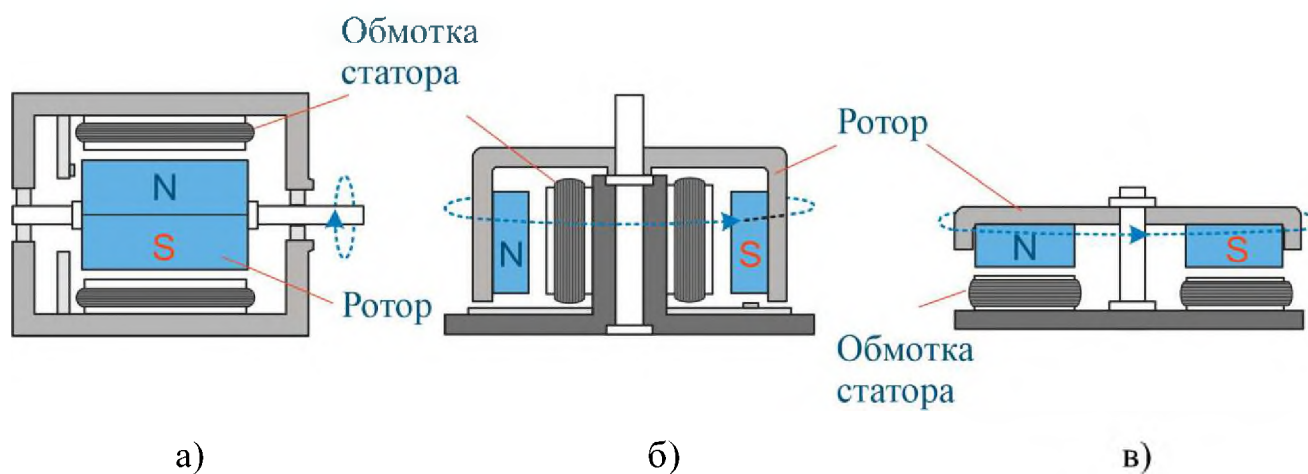


Рисунок 3.1 – Конструкції БДПС:

- а – з внутрішнім ротором; б – із зовнішнім ротором (радіальний потік);
в – із зовнішнім ротором (осьовий потік)

БДПС мають багато переваг, таких як висока ефективність, велика питома потужність, високе співвідношення крутного моменту та моменту інерції, висока швидкість, простий алгоритм керування та низька вартість. Таким чином, в наш час вони широко використовуються як економічно ефективне рішення у приводах малої та середньої потужності.

Функціональну схему системи керування безколекторного двигуна постійного струму наведено на рисунку 3.2 [14].

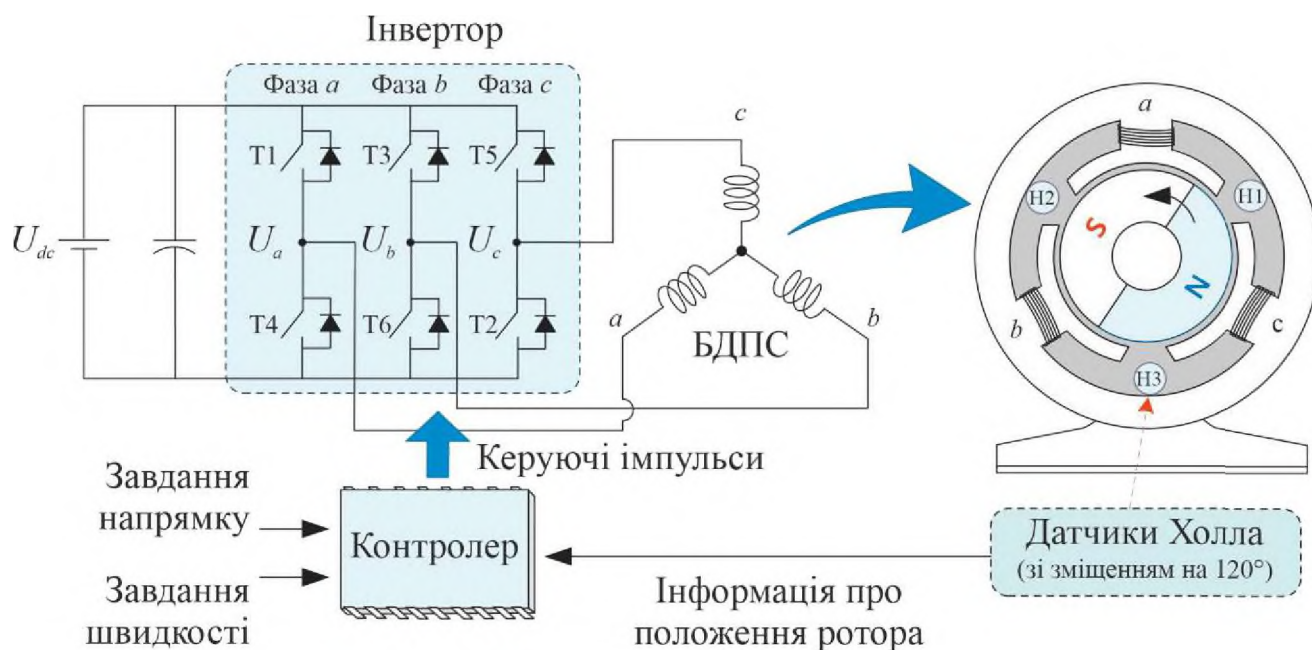


Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи керування БДПС

Для здійснення електронної комутації обмоток безколекторного двигуна постійного струму використовують датчики положення ротора та спеціальні контролери (драйвери). Використовуючи інформацію про положення ротора, сигнали завдання швидкості та напрямку обертання, драйвери формують сигнали керування ключами інвертора. Збудження відповідних обмоток відбувається послідовно для безперервного обертання ротора двигуна (рисунки 3.3, 3.4).

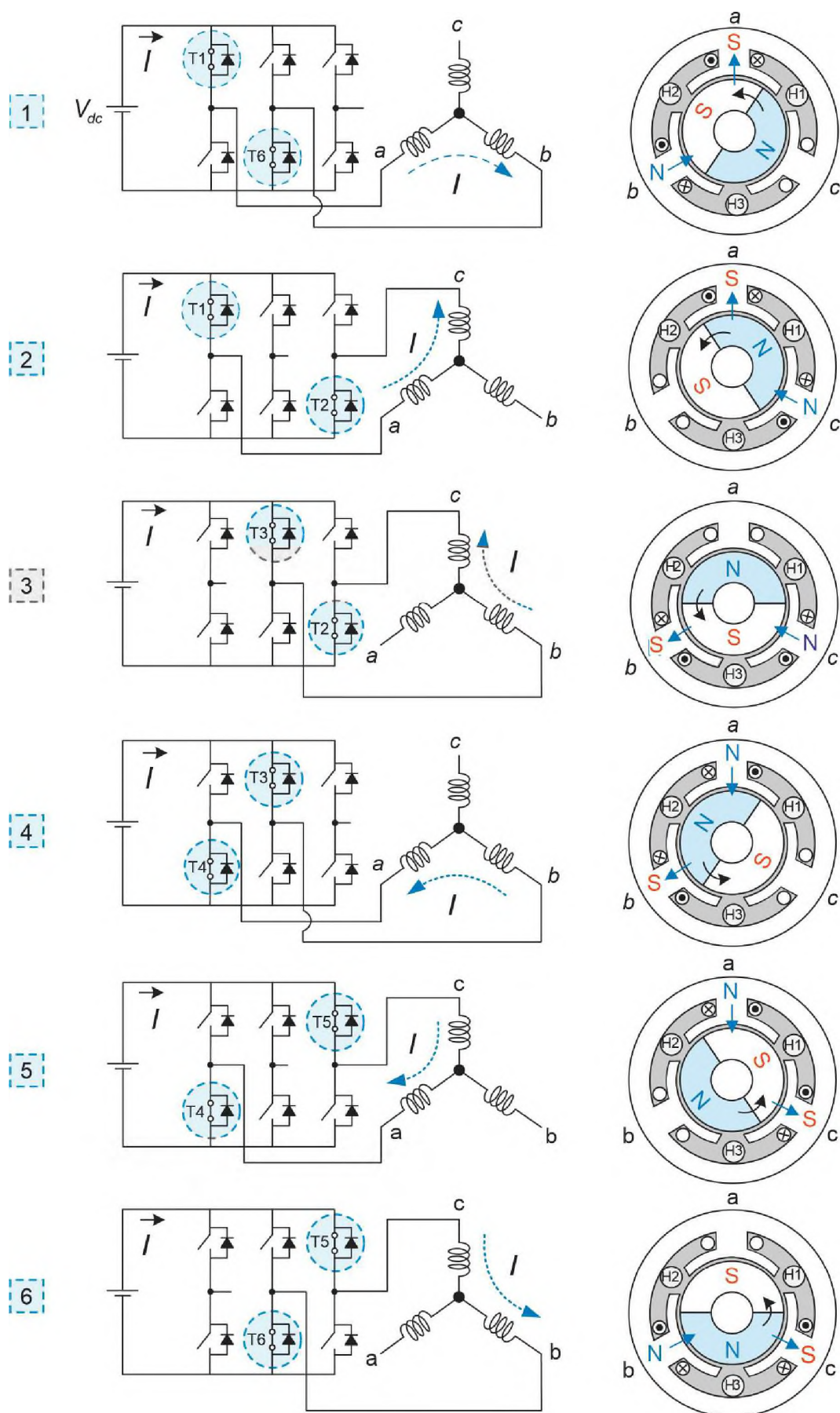


Рисунок 3.3 – Послідовність перемикання обмоток
для двополісного трифазного БДПС

Як видно з рисунку 3.3 у будь-який момент часу працюють лише дві фази БДПС. Відповідно, кожен комутаційний пристрій має інтервал провідності 120° .

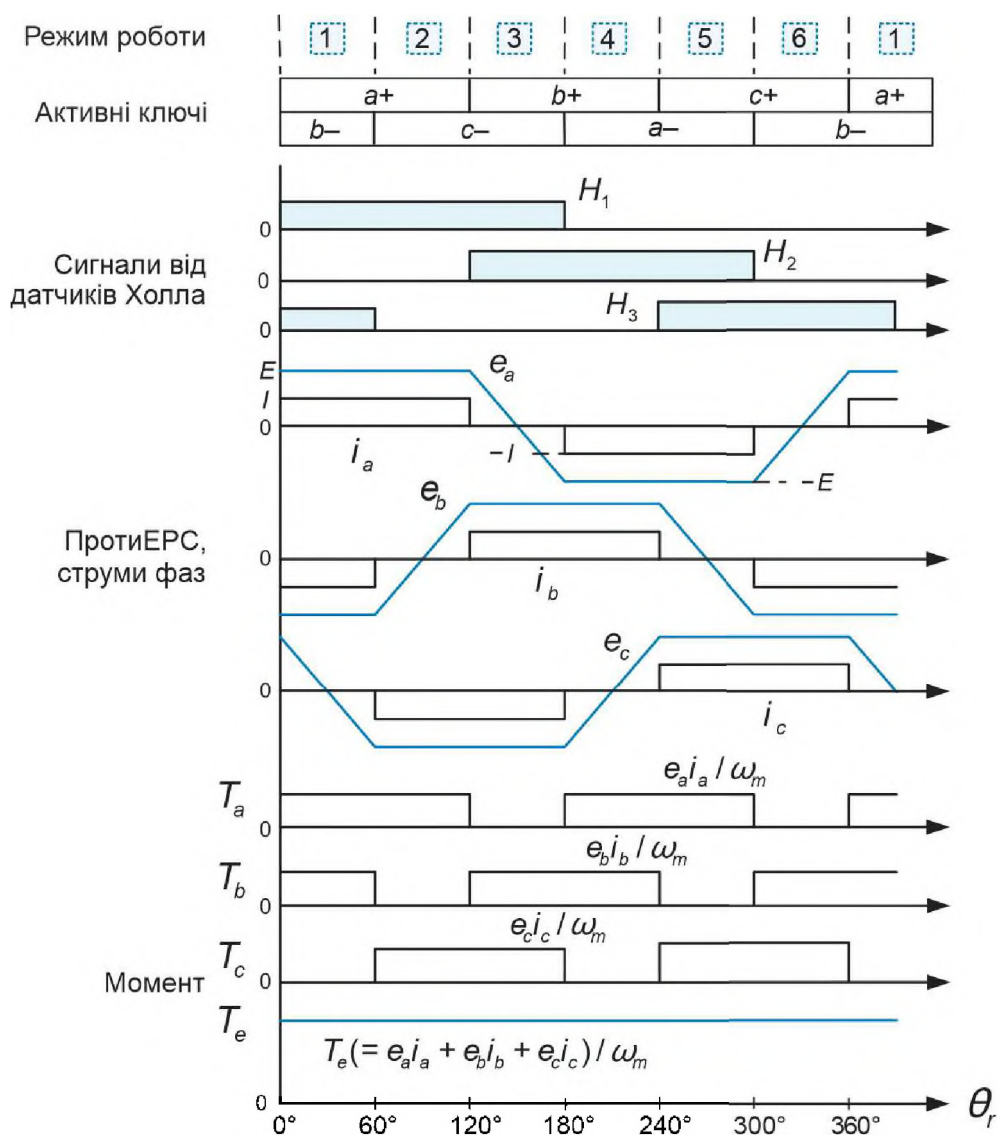


Рисунок 3.4 – Принцип керування трифазним БДПС

Рисунок 3.4 ілюструє залежності між сигналами від датчиків Холла (H_1, H_2, H_3), протиЕРС (e_a, e_b, e_c) та струмів (i_a, i_b, i_c) обмоток статора для двополюсного трифазного БДПС. Датчики Холла виводять цифрові сигнали високого рівня для північного полюса N , і низького рівня – для південного полюса S . В залежності від сигналів датчиків Холла, збуджена фазова обмотка, тобто активна фазова обмотка, змінюється кожні 60 електричних градусів обертання для отримання безперервного крутного моменту. Перемикання активної фазової обмотки називається

комутацією. Для зміни напрямку обертання послідовність перемикання щодо сигналів датчиків Холла повинна бути змінена.

Електропривод газової заслінки зерносушарки відноситься до позиційних електроприводів, в яких на відміну від електроприводів зі швидкісним технологічним режимом роботи, вхідний сигнал системи керування задає не значення швидкості, а значення повороту/переміщення робочого органу. Електропривод здійснює поворот робочого органу з деякої початкової позиції в деяку кінцеву позицію з необхідною точністю зупинки в ній. Режим відпрацювання електроприводом заданого повороту/переміщення називається позиціонуванням.

Основним показником якості електропривода газової заслінки є точність позиціонування, тобто різниця між заданим і відпрацьованим переміщеннями в даний момент часу. Цей показник називається також неузгодженістю, або помилкою. Для кутової координати робочого органу це різниця між заданим кутом γ_3 і кутом виконавчого валу γ : $\delta = \Delta\gamma = \gamma_3 - \gamma$.

Структурною ознакою позиційного електропривода є наявність зворотного негативного зв'язку за положенням.

3.1.1.1 На рисунку 3.5 представлено функціональну схему позиційного електропривода на базі безколекторного двигуна. Утворений за допомогою зворотного зв'язку замкнений контур регулювання положення складається з двох частин: системи керування положенням і об'єкта керування – швидкісної підсистеми [14], яка представляє собою систему керування частотою обертання ротора безколекторного двигуна постійного струму (БДПС). Виділена в складі позиційного електропривода швидкісна підсистема являє собою регульований електропривод з вихідною координатою – швидкістю ω_m та вхідною координатою – сигналом завдання швидкості ω_m^* , який формується за допомогою системи керування положенням.

Електропривод містить двигун, інвертор, ШІМ генератор, датчики положення ротора, датчики струму та кутової швидкості, і керуючу систему з контурами регулювання. При великому діапазоні швидкостей така система здатна забезпечити точні процеси з якісною повторюваністю.

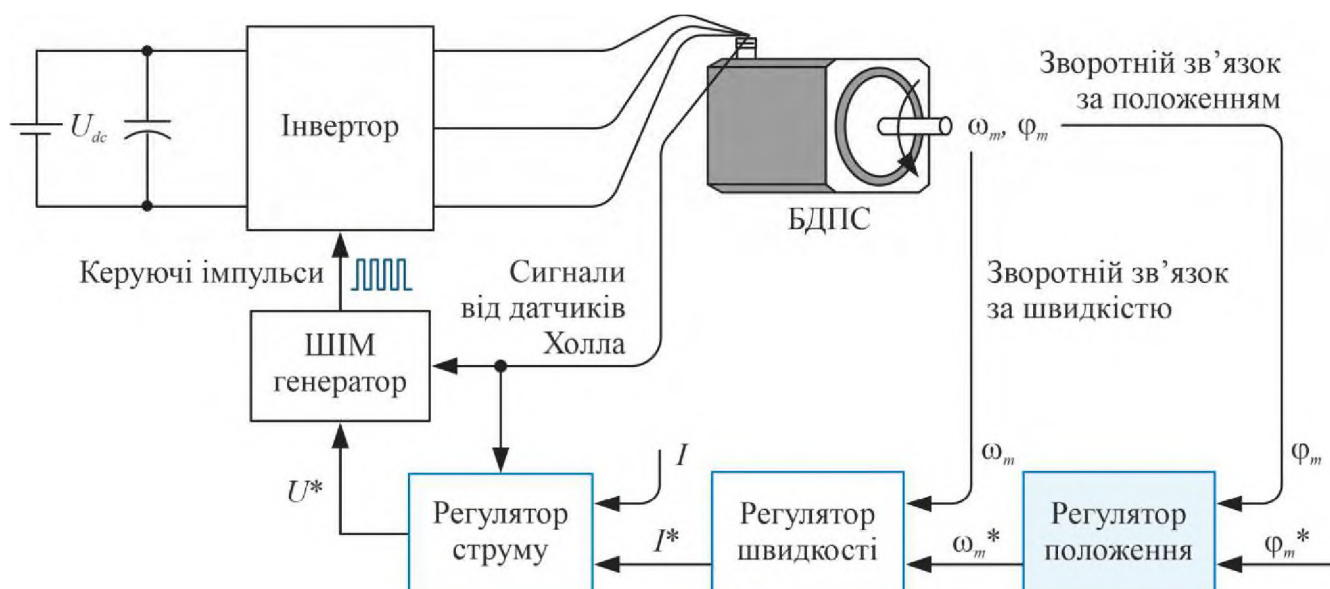


Рисунок 3.5 – Функціональна схема електропривода на базі БДПС

3.1.1.2 Розглянемо принцип роботи схеми. Структура БДПС складається з трьох якірних обмоток, виконаних у вигляді кількох з'єднаних секцій та системи збудження від постійних магнітів з кількома парами полюсів. Зміна фази збудження відбувається шляхом комутування, а реверс виконується шляхом зміни послідовності комутації фаз.

Трифазний БДПС підключено до інвертора. Напруга живлення U_{dc} подається на інвертор від джерела постійного струму.

Задавальний пристрій формує сигнал завдання положення ротора φ_m^* відповідно вимогам технологічного процесу. Цей сигнал порівнюється із сигналом зворотного зв'язку за положенням φ_m , який відповідає поточному значенню кута повороту. Таким чином обчислюється сигнал неузгодженості $\varphi_m^* - \varphi_m$. Далі регулятор положення обробляє похибку та відповідно закладеного алгоритму керування формує на своєму виході сигнал завдання швидкості ω_m^* , який надходить на вхід регулятора швидкості. Сигнал ω_m^* порівнюється із сигналом зворотного зв'язку за швидкістю ω_m . Регулятор швидкості обчислює сигнал похибки і формує сигнал завдання струму I^* . Контур струму в системі керування призначений для виключення пульсації моменту та нерівності обертання ротора двигуна.

Сигнали з виходів регулятора швидкості I^* і датчика струму I_{dc} надходять на регулятор струму. Виходи датчиків положення ротора (датчиків Холла) також пов'язано з регулятором струму.

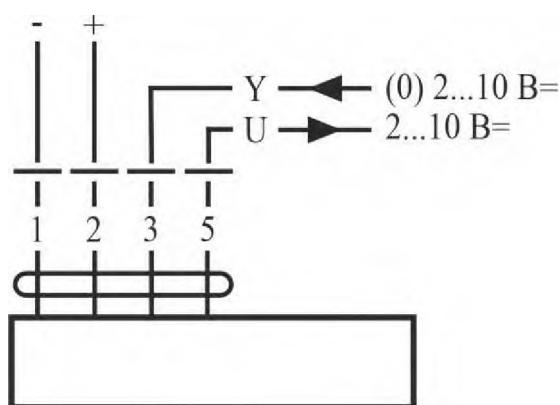
Вихідний сигнал регулятора струму U^* надходить до ШІМ генератора, який формує імпульси керування силовими ключами інвертора у відповідності з сигналами з датчиками положення ротора.

3.1.2 Вибір елементів системи керування

3.1.2.1 В автоматизованому електроприводі газової заслінки застосовано електропривод Belimo LM24A-MF (див. таблицю 1.3). Тип привода – поворотний. Установка відбувається безпосередньо на вал заслінки за допомогою універсального захвату, який постачається з фіксатором, таким чином запобігає провертанню корпусу електропривода (див. рисунок 1.8).

Електропривод регулюється стандартним керуючим сигналом $0...10\text{ В}$. Він відкривається до положення, продиктованого сигналом. Вимірювана напруга U дозволяє відображати дійсний стан електропривода електричним способом, а також керувати іншими електроприводами.

Схему підключення привода наведено на рисунку 3.6 [15].



Кольори проводів: 1 – чорний, 2 – червоний, 3 – білий, 5 – оранжевий

Рисунок 3.6 – Схема підключення електропривода LM24A-MF

3.1.2.2 На ринку комплексних систем промислової автоматизації технологічних процесів, зокрема серед виробників, які займаються виготовленням продукції для автоматизації процесів пов'язаних з газовими чи повітряними мережами слід

виділити компанію «МІКРОЛ». Компанія пропонує високий рівень технічної підтримки, гарантійне і пост гарантійне обслуговування а також гарантує надійну роботу обладнання в будь-яких умовах.

«МІКРОЛ» пропонує безліч варіантів продукції в наступних категоріях [16]:

- перетворювачі частоти;
- програмовані логічні контролери;
- модулі вводу/виводу;
- сенсорні панелі операторів;
- щити керування;
- мікропроцесорні багатофункціональні універсальні регулятори, індикатори-регулятори технологічних величин, блоки ручних задатчиків, блоки ручного керування;
- блоки перетворення сигналів (нормалізатори) – взаємної індуктивності, термоперетворювачів опорів, термопар, напруг, струмів, сигналів тензодатчиків, потенціометричні (рН, Ех) і пневмоелектричні перетворювачі;
- блоки перетворення інтерфейсів;
- стабілізовані і нестабілізовані блоки живлення;
- програмне забезпечення.

Для автоматизації електропривода газової заслінки розглянемо універсальний мікропроцесорний контролер МІК-50. МІК-50 – це компактний малоканалний багатофункціональний мікропроцесорний контролер, який призначений для автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами. Він призначений для застосування в електротехнічній, енергетичній, хімічній, металургійній, харчовій, цементній та інших галузях промисловості.

Контролер МІК-50 дозволяє вести локальне, каскадне, програмне, супервізорне, багатоконтурне регулювання.

Архітектура контролера забезпечує можливість вручну або автоматично вмикати, вимикати, перемикає і реконфігурувати контури регулювання, причому всі ці операції виконуються безударно незалежно від складності структури керування. У поєднанні з обробкою аналогових сигналів контролер МІК-50 дозволяє

виконувати також логічні перетворення сигналів і виробляти не тільки аналогові або імпульсні, але і дискретні команди керування. Логічні функціональні блоки формують логічну програму покрокового керування із завданням контрольного часу на кожному кроці. У поєднанні з обробкою дискретних сигналів контролер дозволяє виконувати також різноманітні функціональні перетворення аналогових сигналів і виробляти не тільки дискретні, але і аналогові сигнали.

Програмування контролера виконується за допомогою клавіш передньої панелі або по інтерфейсу за допомогою спеціального програмного забезпечення – візуального редактора FBD-програм АЛЬФА.

Система програмування реалізована відповідно до вимог стандарту Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) IEC 1131-3 і призначена для розробки прикладного програмного забезпечення збору даних і керування технологічними процесами, виконуваними на програмованих контролерах.

В якості мови програмування в системі реалізовано мову функціональних блокових діаграм Function Block Diagram (FBD), що надає користувачеві механізм об'єктного візуального програмування.

Основні властивості контролера МІК-50:

- до 9 незалежних контурів регулювання, кожен з яких може бути локальним або каскадним, з аналоговим або імпульсним виходом, з ручним, програмним (в тому числі багатопрограмним) або супервізорним задатчиком;
- більше 80 типів зашитих в ПЗУ функціональних блоків безперервної і дискретної обробки інформації, включаючи функціональні блоки ПІД регулювання, функціональні блоки математичних, динамічних, нелінійних, аналого-дискретних і логічних перетворень;
- до 99 використовуваних блоків з вільним їх заповненням будь-якими функціональними блоками з бібліотеки і вільним конфігуруванням між собою і з входами-виходами контролера. Ручна установка або автоналаштування будь-яких властивостей, параметрів і коефіцієнтів в будь-яких функціональних блоках;
- зміна режимів керування, вмикання/вимикання, перемикання і реконфігурація контурів регулювання будь-якого ступеня складності;

– оперативне керування контурами регулювання за допомогою клавіш лицьової панелі, двох чотирирозрядних, і одного трирозрядного цифрових індикаторів і набору світлодіодів, що дозволяють змінювати режими, встановлювати завдання, керувати виконавчими механізмами, контролювати сигнали, відображати аварійні ситуації. При програмному регулюванні засоби оперативного керування дозволяють вибирати необхідну програму, пускати, зупиняти, і скидати програму, переходити до наступної ділянки програми, а також контролювати хід виконання програми.

– об'єднання до 32 контролерів в локальну керуючу мережу, причому в цю мережу можуть включатися також і інші моделі контролерів.

Функціональні параметри регулятора та технічні характеристики його електроживлення зведено в таблиці 3.1 та 3.2 [17].

Таблиця 3.1 – Параметри регулятора МІК-50

Параметр	Значення
Максимальне число незалежних контурів	9
Вид регулятора в кожному контурі	Локальний аналоговий, локальний імпульсний, каскадний аналоговий, каскадний імпульсний
Режим роботи кожного контуру	Локальний, каскадний, дистанційний, ручний
Вид завдання в кожному контурі	Ручне, програмне, зовнішнє (супервізорне)
Закон регулювання в кожному контурі	П, ПІ, ПД, ПІД, трипозиційне, двопозиційне
Контрольовані параметри	Завдання, вхід, неузгодженість, вихід, значення довільного параметра
Напруга живлення	$\sim 220 (+22 \text{ В}, -33 \text{ В}) (50 \pm 1) \text{ Гц}$ $= (24 \pm 4) \text{ В}$ постійного струму
Споживана потужність	Не более $13 \text{ В} \cdot \text{А}$ ($\sim 220 \text{ В}$), ток потребления не более 350 мА ($= 24 \text{ В}$)

Для кращого спостереження і керування технологічним процесом контролер МІК-50 обладнаний активною чотирирозрядною цифровою індикацією. Для відображення вимірюваної величини використовується дисплей ПАРАМЕТР, заданої

точки – дисплей ЗАВДАННЯ, значення керувального впливу – дисплей ВХІД. Лицьова панель контролера містить необхідну кількість кнопок обслуговування і сигналізаційних світлодіодних індикаторів для різних статусних режимів і сигналів. Зовнішній вигляд лицьовій панелі і елементів оперативного керування контролера МІК-50 наведено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд регулятора МІК-50

Призначення елементів оперативного керування контролера МІК-50 – дисплеїв, світлодіодних індикаторів і кнопок – наведено в таблицях 3.3-3.5 [17].

Таблиця 3.3 – Назначение дисплеев лицевой панели

Дисплей	Призначення
ПАРАМЕТР	У режимі РОБОТА відображає значення обраної вимірюваної величини, регульованої величини і т.п. У режимі програмування відображає номер обраного параметра.
ЗАВДАННЯ	У режимі РОБОТА відображає значення заданої точки обраного контуру регулювання або значення заданої точки обраного програмного задатчика або інше значення технологічного параметра. У режимі програмування відображає значення параметра програмування або конфігурації.

Продовження таблиці 3.4

Дисплей	Призначення
ВИХІД	У режимі РОБОТА відображає значення керувального впливу, що подається на аналоговий або імпульсний вихід пристрою або сигнал положення виконавчого механізму (%) обраного регулятора. Відображає значення керувального впливу задатчика обраної панелі індикації і керування користувача. У режимі програмування на даний дисплей виводяться значення допоміжних параметрів.
№ каналу	У режимі РОБОТА відображає номер обраного каналу регулятора, програмного задатчика, номер панелі користувача. У режимі програмування відображає номер рівня програмування
Рег	Світиться, якщо обрана панель індикації і керування регулятором (PID (60), PID_CAS (61), PID_IMP (62), D_PID (95) або D_PID_I (96)). Перемикання номера регулятора здійснюється за допомогою клавіш «№кн↑» і «№кн↓». Максимальна кількість регуляторів задається при програмуванні.
Прг	Світиться, якщо обрана панель індикації і керування програмним задатчиком (тобто функціональним блоком ТМ_PRG (57)). Перемикання номера програмного задатчика здійснюється за допомогою клавіш «№кн↑» і «№кн↓».
Інд	Світиться, якщо обрана панель індикації і керування користувача. Інформація та керування визначаються користувачем при програмуванні в функціональному блоці USER (63).
Вх	Світиться, якщо обрана панель індикації входів функціональних блоків.
Вих	Світиться, якщо обрана панель індикації виходів функціональних блоків.
Прм	Світиться, якщо обрана панель індикації і редагування параметрів функціональних блоків.
ОТ	Світиться тільки в режимі програмування, якщо існує системна або програмована «відмова».
ОШ	Світиться в режимі програмування і блимає в режимі «робота» при наявності помилок програмування.
►	Світиться, якщо програмний задатчик знаходиться в режимі «робота».

Закінчення таблиці 3.4

Індикатор	Призначення
	Світиться, якщо програмний задатчик знаходиться в режимі «очікування» або «зупинення».
■	Світиться, якщо програмний задатчик знаходиться в режимі «стоп» або «кінець програми».
КУ	Світиться (в залежності від обраної структури регулятора), якщо регулятор знаходиться в каскадному режимі керування.
ЛУ	Світиться, якщо регулятор знаходиться в локальному режимі керування.
РУ	Світиться, якщо регулятор знаходиться в ручному режимі керування, і не світиться, якщо регулятор знаходиться в автоматичному режимі керування.
СУ	Світиться, якщо регулятор знаходиться в слідкувальному режимі керування (tracking).
РБ	Світиться, якщо контролер МІК-50 знаходиться в режимі «робота».
ПР	Світиться, якщо контролер МІК-50 знаходиться в режимі «програмування».
ІН	Блимає, якщо відбувається передача даних по інтерфейсному каналу зв'язку.
▲ (дисплей ПАРАМЕТР)	Світиться, якщо значення обраної вимірюваної величини перевищує значення уставки сигналізації відхилення MAX.
▼ (дисплей ПАРАМЕТР)	Світиться, якщо значення обраної вимірюваної величини менше значення уставки сигналізації відхилення MIN.
▲ (дисплей ВИХІД)	Світлодіодний індикатор стану ключа БІЛЬШЕ імпульсного або трипозиційного регулятора. Світиться при увімкненому ключі БІЛЬШЕ.
▼ (дисплей ВИХІД)	Світлодіодний індикатор стану ключа МЕНШЕ імпульсного або трипозиційного регулятора. Світиться при увімкненому ключі МЕНШЕ.

Таблиця 3.5 – Призначення клавіш

Клавіша	Призначення
 Меню	У режимі «робота» за допомогою цієї кнопки здійснюється перемикання панелей режимів індикації позначених світлодіодними індикаторами, розташованими під дисплеєм завдання. Кожне натискання клавіші МЕНЮ призводить до перемикання на наступний справа індикатор (і т.д. по колу). У режимі «програмування» дана клавіша виконує функцію скасування виконаних дій, операцій.
 Введення	Кнопка призначена для підтвердження виконуваних дій, операцій і для фіксації вхідних значень. Наприклад, підтвердження переходу з автоматичного режиму роботи в режим ручного керування і назад, фіксація вводу зміненої заданої точки, просування по рівням програмування і т.п.
[№кн ↑]	Кнопка призначена для зміни на дисплеї каналу (входу, регулятора, кроку програмного задатчика) в сторону збільшення. В режимі конфігурації використовується для настройки умов переходів програмного задатчика.
[№кн ↓]	Кнопка призначена для зміни на дисплеї каналу (входу, регулятора, програмного задатчика) в сторону зменшення.
[P/A]	Кожне натискання клавіші викликає перехід регулятора з автоматичного режиму роботи в режим ручного керування і назад (спільно з натисканням клавіші  , для підтвердження виконання операції переходу). Також, якщо обрана панель індикації стану програмного задатчика, цією клавішею можна перевести програмний задатчик в режим «робота», «очікування» або «стоп».
[Завд.]	Кнопка призначена для виклику індикованого значення на дисплеї внутрішньої заданої точки для редагування або для перемикання режимів заданих величин.
[▲] Знач.	Клавіша «Більше». Кожного разу при натисканні кнопки здійснюється збільшення значень, заданої точки, вихідного сигналу керування (керувального впливу) або значення змінюваного параметра. При утриманні цієї клавіші в натиснутому положенні збільшення значень відбувається безперервно.
[▼] Знач.	Клавіша «Менше». Кожного разу при натисканні кнопки здійснюється зменшення значень, заданої точки, вихідного сигналу керування (керувального впливу) або значення змінюваного параметра. При утриманні цієї клавіші в натиснутому положенні зменшення значень відбувається безперервно.

Схему зовнішніх з'єднань контролера МІК-50-16 наведено на рисунку 3.8.

Технічні характеристики аналогових та дискретних входів/виходів контролера МІК-50-16 приведено в таблицях 3.6-3.11 [17].

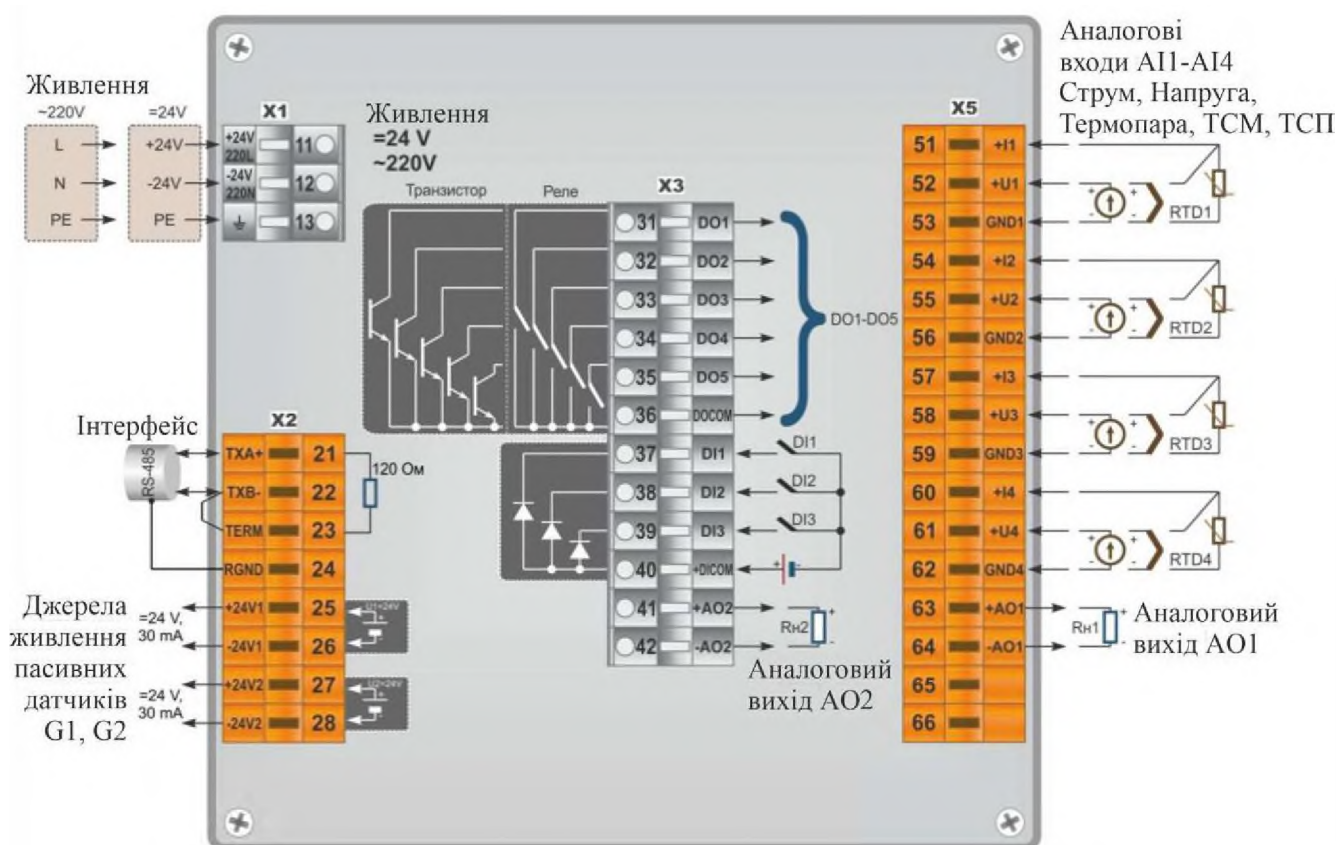


Рисунок 3.8 – Схема зовнішніх з'єднань контролера МІК-50-16

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики аналогових вхідних сигналів

Параметр	Значення
Кількість аналогових входів	4
Тип вхідних аналогових сигналів	Струм: – 0-5 мА, $R_{вх}=400\text{ Ом}$; – 0-20 мА, $R_{вх}=100\text{ Ом}$; – 4-20 мА, $R_{вх}=100\text{ Ом}$; – 0-10В, $R_{вх}$ не менше 25 кОм. Напруга: – від 0 В до 1 В, $R_{вх}\geq 25\text{ кОм}$; – від 0 мВ до 200 мВ, $R_{вх}\geq 25\text{ кОм}$; – від 0 мВ до 50 мВ, $R_{вх}\geq 25\text{ кОм}$.

Продовження таблиці 3.6

Параметр	Значення
Тип вхідних аналогових сигналів	Опір: від 0 Ом до 1000 Ом. Термоперетворювачі опору (ДСТУ 2858-94). Термопари по ДСТУ 2837-94 (ГОСТ3044-94, DIN IEC 584-1).
Межа основної приведенної похибки вимірювання	$\leq 0,2 \%$
Точність індикації	$\leq 0,01 \%$
Межа додаткової похибки, викликані зміною температури навколишнього середовища	$\leq 0,2 \%/^{\circ}\text{C}$
Період вимірювання, не більше	0,1 с

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики аналогових вихідних сигналів

Параметр	Значення
Кількість аналогових виходів	2
Тип вихідних аналогових сигналів	Уніфіковані згідно ГОСТ26.011-80: – 0-5 мА, $R_n \leq 2000 \text{ Ом}$; – 0-20 мА, 4-20 мА, $R_n \leq 500 \text{ Ом}$; – 0-10 В, $R_n \geq 2000 \text{ Ом}$
Роздільна здатність ЦАП	$AO1 \leq 0,0015 \%$ (16 розрядів), $AO2 \leq 0,024 \%$ (12 розрядів)
Межа основної зведеної похибки формування вихідного сигналу	$AO1 \leq 0,2 \%$, $AO2 \leq 0,4 \%$
Межа додаткової похибки, викликані зміною температури навколишнього середовища	$\leq 0,2 \%/10^{\circ}\text{C}$

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики дискретних вхідних сигналів

Параметр	Значення
Кількість дискретних входів	2
Сигнал логічного «0» Сигнал логічної «1»	0-7 В 18-30 В
Максимальна частота проходження імпульсів для дискретного входу	$\leq 5 \text{ Гц}$
Вхідний струм (споживання по входу)	$\leq 10 \text{ мА}$

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики вихідних дискретних транзисторних сигналів

Параметр	Значення
Кількість дискретних виходів	5
Тип виходу	Відкритий колектор (NPN транзистора)
Максимальна напруга комутації	40 В постійного струму
Максимальний струм навантаження кожного виходу	100 мА
Сигнал логічного «0» Сигнал логічної «1»	Розімкнений стан транзисторного ключа. Замкнений стан транзисторного ключа.
Вид навантаження	Активна, індуктивна

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики вихідних дискретних релейних сигналів

Параметр	Значення
Кількість дискретних виходів	5
Тип виходу	Перемикальні контакти реле
Максимальна напруга комутації змінного (діюче значення) або постійного струму	220 В
Максимальний струм навантаження кожного виходу	5 А
Сигнал логічного «0» Сигнал логічної «1»	Розімкнений стан контактів реле. Замкнений стан контактів реле.
Вид навантаження	Активна, індуктивна

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики вихідних дискретних твердотілих сигналів

Параметр	Значення
Кількість дискретних виходів	4
Тип виходу	Напівпровідниковий ключ
Максимальна напруга комутації змінного (діюче значення) або постійного струму	60 В
Максимальний струм навантаження кожного виходу	1 А змінного струму, 1 А постійного струму
Сигнал логічного «0» Сигнал логічної «1»	Розімкнений стан ключа. Замкнений стан ключа.
Вид навантаження	Активна, індуктивна

3.2 Математичний опис об'єкта керування та елементів системи керування

У цьому підрозділі наведемо побудову математичної моделі трифазного безколекторного двигуна постійного струму [18]. Модель БДПС подібна до моделі синхронного двигуна з постійним магнітами через їх структурну подібність.

3.2.1 Рівняння напруги. Розглянемо дво полюсний трифазний БДПС, який показано на рисунку 3.9. Рівняння напруги для статора БДПС можуть бути виражені як

$$\mathbf{U}_{abcs} = \mathbf{R}_s \mathbf{i}_{abcs} + \frac{d\boldsymbol{\Psi}_{abcs}}{dt}, \quad (3.1)$$

де $\mathbf{U}_{abcs} = [U_{as} \ U_{bs} \ U_{cs}]^T$ – напруга статора;

$$\mathbf{R}_s = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \text{ – опір статора;}$$

$$\mathbf{i}_{abcs} = [i_{as} \ i_{bs} \ i_{cs}]^T \text{ – струм статора;}$$

$$\boldsymbol{\Psi}_{abcs} = [\lambda_{as} \ \lambda_{bs} \ \lambda_{cs}]^T \text{ – потокозчеплення статора.}$$

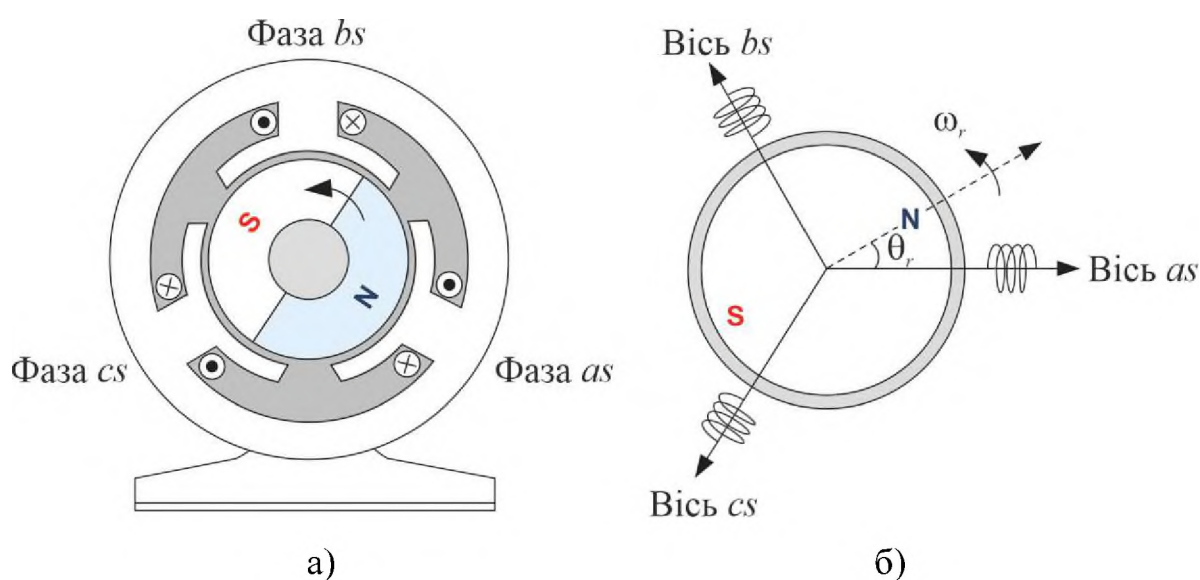


Рисунок 3.9 – Двополюсний трифазний БДПС (а) та його узагальнений вигляд (б)

Потокозчеплення Ψ_{abcs} обмоток статора складається з $\Psi_{abcs(s)}$ від струмів статора i_{abcs} та $\Psi_{abcs(f)}$ від постійного магніту ротора

$$\Psi_{abcs} = \Psi_{abcs(s)} + \Psi_{abcs(f)}. \quad (3.2)$$

Підставивши рівняння (3.2) у рівняння (3.1) отримаємо рівняння напруги статора

$$U_{abcs} = R_s i_{abcs} + \frac{d\Psi_{abcs(s)}}{dt} + e_{abcs}, \quad (3.3)$$

де $e_{abcs} = \frac{d\Psi_{abcs(f)}}{dt}$ – протиЕРС.

$$e_{abcs} = \begin{bmatrix} e_{as} \\ e_{bs} \\ e_{cs} \end{bmatrix} = \omega_m \begin{bmatrix} \Psi_{asf} \\ \Psi_{bsf} \\ \Psi_{csf} \end{bmatrix} = \omega_m \Psi_f \begin{bmatrix} f_{as}(\theta_r) \\ f_{bs}(\theta_r) \\ f_{cs}(\theta_r) \end{bmatrix}, \quad (3.4)$$

де $\Psi_f = N\Phi_f$;

Φ_f – магнітний потік витка обмотки статора;

N – число витків обмотки статора;

$f_{as}(\theta_r)$, $f_{bs}(\theta_r)$, $f_{cs}(\theta_r)$ – одиничні функції, що повторюють форму сигналів протиЕРС e_{as} , e_{bs} та e_{cs} із максимальною амплітудою ± 1 ;

θ_r – положення ротора.

Потокозчеплення статора $\Psi_{abcs(s)}$, яке обумовлене струмами статора, визначається як

$$\Psi_{abcs(s)} = L_s i_{abcs} = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix}. \quad (3.5)$$

При симетрії трифазних обмоток самоіндуктивності однакові, взаємні індуктивності однакові

$$L_{aa} = L_{bb} = L_{cc} = L_s = L_{ls} + L_m, \quad (3.7)$$

$$L_{ab} = L_{ac} = L_{ba} = L_{bc} = L_{ca} = L_{cb} = -\frac{1}{2}L_m = M, \quad (3.8)$$

де $L_{ab} = \frac{\psi_a}{i_b}$ – взаємна індуктивність обмотки;

ψ_a – потокозчеплення обмотки a ;

i_b – струм фази b ;

L_{ls} – індуктивність розсіювання;

L_m – індуктивність намагнічування.

З рівнянь (3.5)-(3.7) перепишемо рівняння напруги статора (3.3)

$$\mathbf{U}_{abcs} = \mathbf{R}_s \mathbf{i}_{abcs} + \mathbf{L}_{abcs} \frac{d\mathbf{i}_{abcs}}{dt} + \mathbf{e}_{abcs}, \quad (3.8)$$

$$\begin{bmatrix} U_{as} \\ U_{bs} \\ U_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & M & M \\ M & L_s & M \\ M & M & L_s \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{as} \\ e_{bs} \\ e_{cs} \end{bmatrix}, \quad (3.9)$$

оскільки $i_{as} + i_{bs} + i_{cs} = 0$, тоді середину рівняння (3.9) можна записати як

$$\frac{d}{dt} [L_s i_{as} + M i_{bs} + M i_{cs}] = \frac{d}{dt} [L_s i_{as} - M i_{as}]. \quad (3.10)$$

Таким чином, рівняння (3.9) приймає вигляд

$$\begin{bmatrix} U_{as} \\ U_{bs} \\ U_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s - M & 0 & 0 \\ 0 & L_s - M & 0 \\ 0 & 0 & L_s - M \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{as} \\ e_{bs} \\ e_{cs} \end{bmatrix}. \quad (3.11)$$

Рівняння напруги безколекторного двигуна постійного струму

$$U_{as} = R_s i_{as} + (L_s - M) \frac{di_{as}}{dt} + e_{as}, \quad (3.12)$$

$$U_{bs} = R_s i_{bs} + (L_s - M) \frac{di_{bs}}{dt} + e_{bs}, \quad (3.13)$$

$$U_{cs} = R_s i_{cs} + (L_s - M) \frac{di_{cs}}{dt} + e_{cs}. \quad (3.14)$$

На відміну від двигунів змінного струму, які використовують систему координат d-q для полегшення їх керування, БДПС безпосередньо використовують трифазні величини abc для свого керування. Перетворення d-q необхідне для синусоїдальних величин. Оскільки струми, потік і протиЕРС БДПС є несинусоїдальними величинами, d-q перетворення для БДПС не має сенсу.

3.2.2 Рівняння моменту. Вихідний крутний момент T_e трифазного двигуна, як правило, розраховується з вихідної потужності P_e та механічної кутової швидкості ω_m

$$P_e = e_{as} i_{as} + e_{bs} i_{bs} + e_{cs} i_{cs}, \quad (3.15)$$

$$T_e = \frac{P_e}{\omega_m} = \frac{e_{as} i_{as} + e_{bs} i_{bs} + e_{cs} i_{cs}}{\omega_m}, \quad (3.16)$$

де $\omega_m = \frac{\omega_r}{P}$ – механічна кутова швидкість;

ω_r – електрична кутова швидкість;

P – число пар полюсів.

З рівняння крутного моменту (3.16) можна побачити, що для отримання максимального крутного моменту потрібно щоб фазовий струм був у фазі із протиЕРС. Вимозі щодо максимального крутного моменту відповідає алгоритм керування, який представлено на рисунку 3.4.

Тепер розглянемо вихідний крутний момент трифазного БДПС, що приводиться в дію з інтервалом провідності 120° . У БДПС струми двофазних обмоток однакові за величиною, але течуть у зворотному напрямку, за винятком періоду

комутації. Як приклад, розглянемо режим роботи 1, який показано на рисунку 3.4. В режимі 1, $i_{as} = I$, $i_{bs} = -I$, $i_{cs} = 0$ та $e_{as} = E$, $e_{bs} = -E$. Оскільки фазний струм знаходиться у фазі із протиЕРС, рівняння крутного моменту (3.16) можна виразити як добуток величин фазного струму та протиЕРС

$$T_e = \frac{e_{as}i_{as} + e_{bs}i_{bs} + e_{cs}i_{cs}}{\omega_m} = 2 \frac{EI}{\omega_m}. \quad (3.17)$$

Для будь-якого з режимів роботи (1-6, див. рисунок 3.4) ми можемо отримати той самий результат.

Якщо I і E – сталі значення, вихідний крутний момент рівняння (3.17) є сталим значенням. Однак, якщо форма сигналу протиЕРС не є ідеальною трапецієподібною, існує пульсація крутного моменту, навіть якщо струми статора БДПС сталі. Для БДПС з довільними формами сигналів протиЕРС рівняння для вихідного крутного моменту (3.4), може бути представлено у вигляді

$$T_e = \psi_f [i_{as}f(\theta) + i_{bs}f(\theta - 240^\circ) + i_{cs}f(\theta - 120^\circ)]. \quad (3.18)$$

3.3 Дослідження динаміки системи керування

3.3.1 Побудова моделі системи керування в MATLAB

Для аналізу динамічних характеристик системи керування електропривода на базі БДПС скористаємося моделюванням системи в програмі Simulink [19].

У відповідності зі структурною схемою системи (див. рисунок 3.5) складено модель для середовища Simulink. Модель представлено на рисунку 3.10 [20].

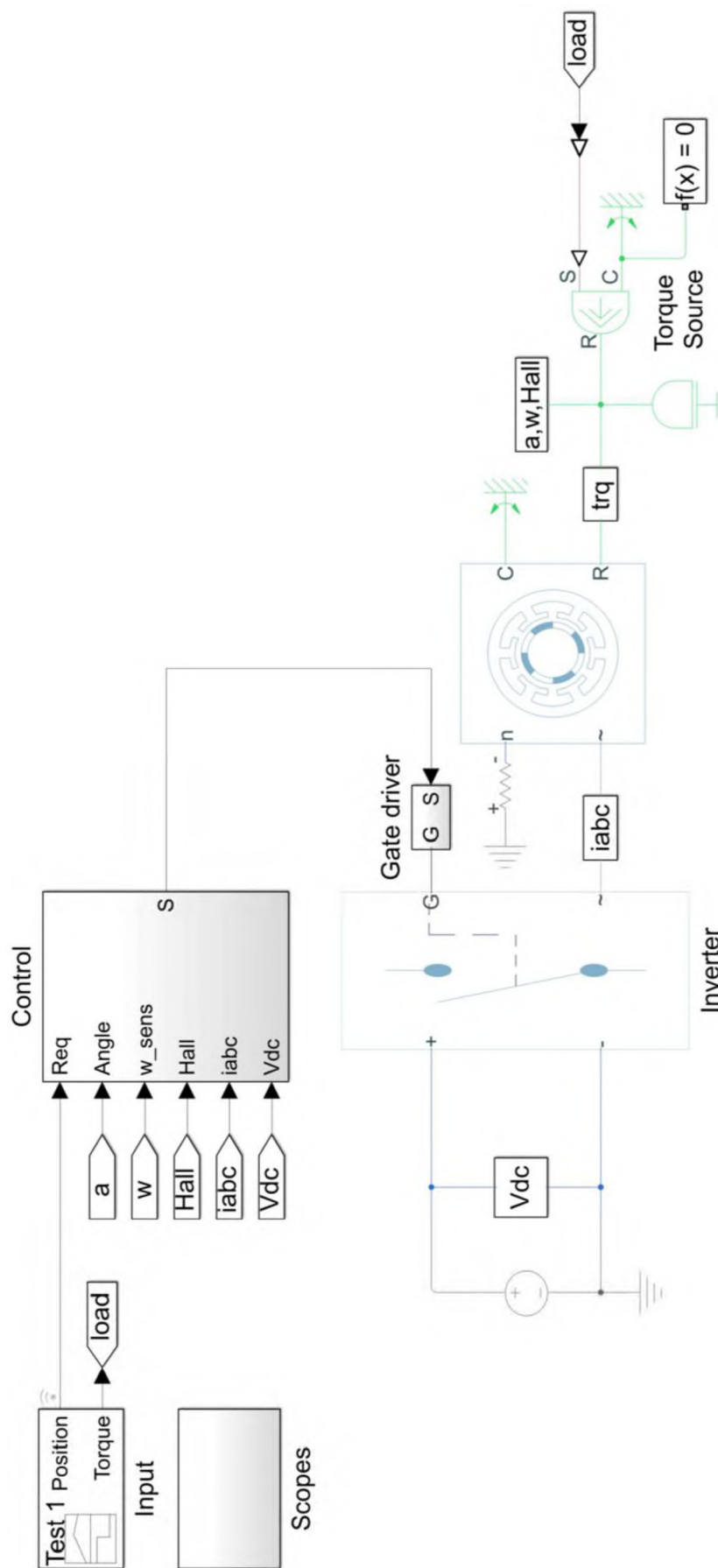


Рисунок 3.10 – Модель системи керування електропривода в MATLAB

Блок Input призначений для завдання кута повороту ротора БДПС (Position) та моменту опору (Torque) та являє собою стандартний блок Signal Builder (рисунок 3.11).

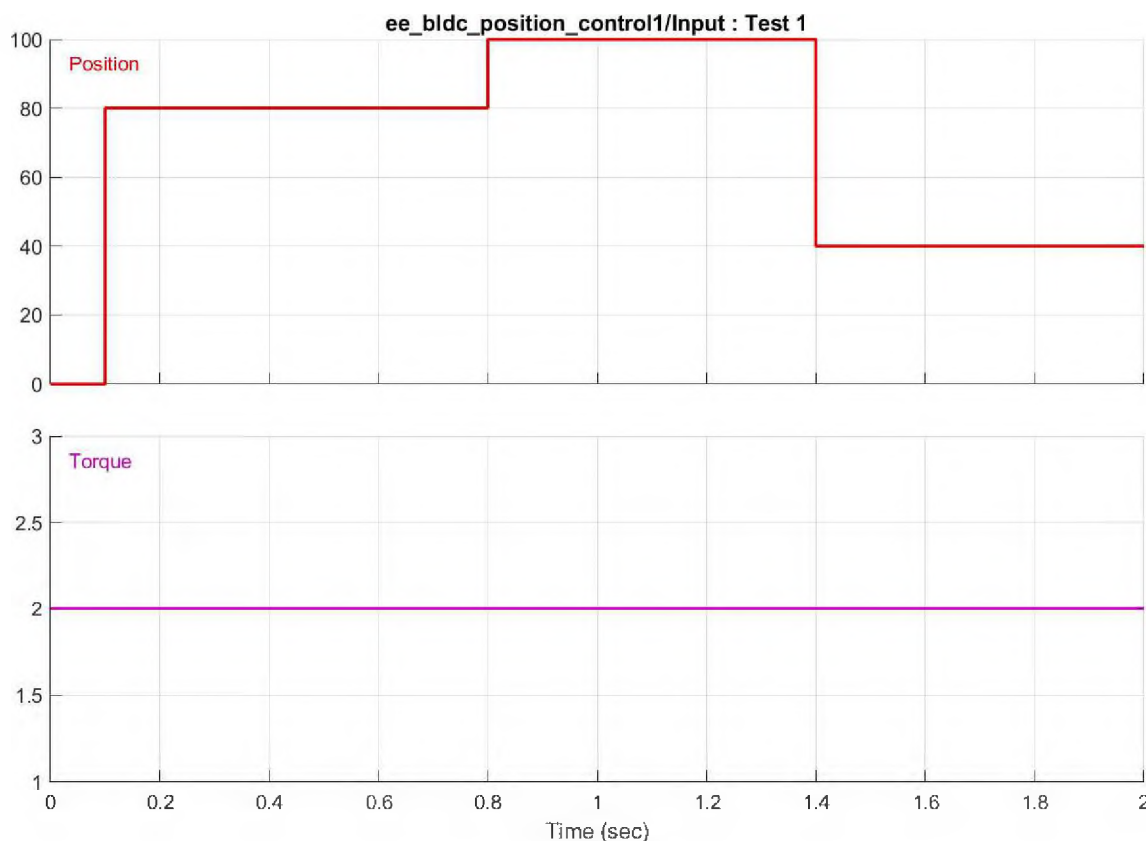


Рисунок 3.11 – Вікно Signal Builder

Підсистема керування Control використовує каскадну структуру керування на основі ПІ-регуляторів з трьома контурами керування (рисунок 3.12), зовнішнім контуром керування положення, контуром регулювання швидкості та внутрішнім контуром регулювання струму. На рисунку 3.12 прийняті наступні позначення: Position controller – регулятор положення (кута повороту), Speed controller – регулятор швидкості, BLDC Current Controller – регулятор струму, PWM – генератор ШІМ, Udc filter – фільтр.

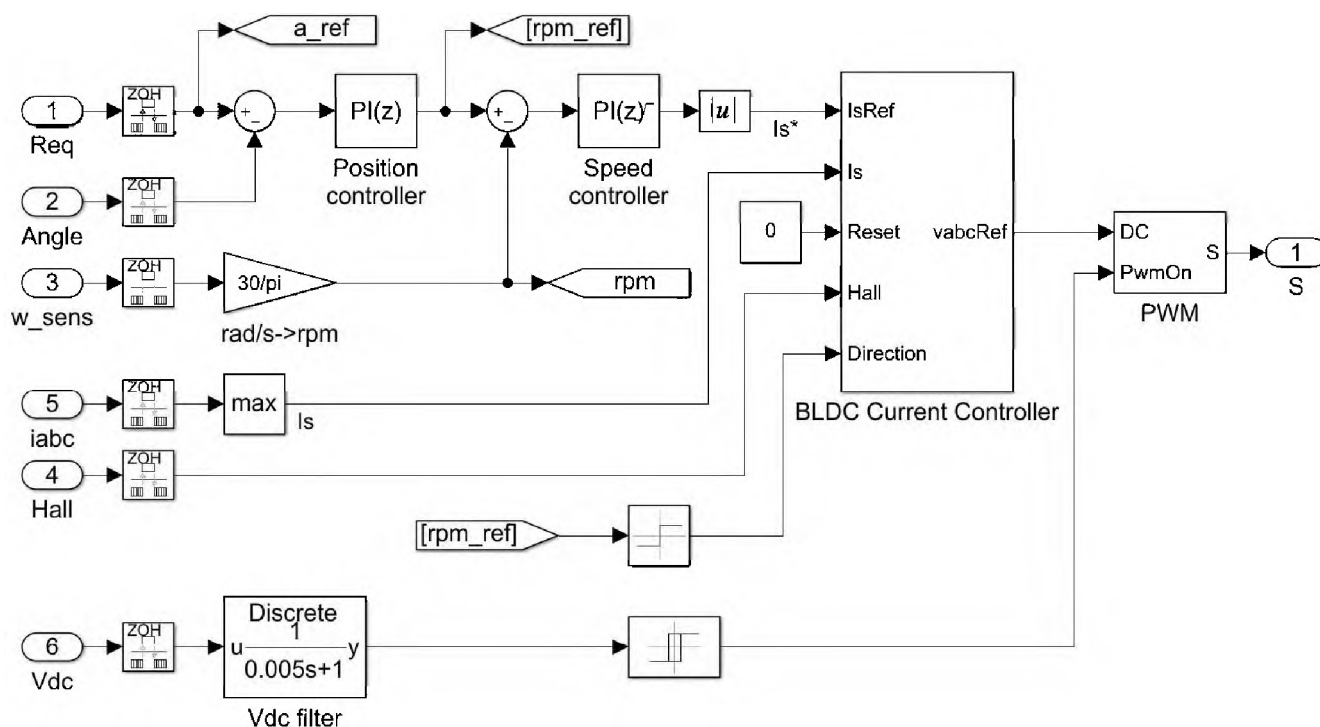


Рисунок 3.12 – Підсистема Control

Підсистема BLDC Current Controller представлена на рисунку 3.13. Регулятор струму на схемі позначено як PI controller.

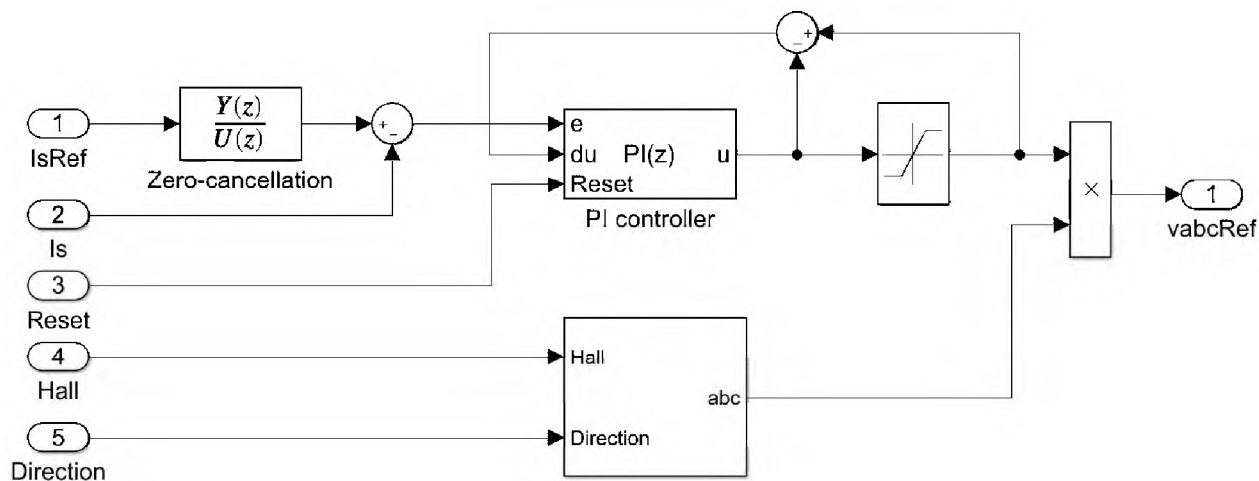


Рисунок 3.13 – Підсистема BLDC Current Controller

БДПС живиться від керованого трифазного інвертора Inverter (див. рисунок 3.10). Блок являє собою шестиімпульсний трифазний керований перетворювач, що складається з трьох мостових плечей, кожен з двома комутаційними пристроями. Доступний вибір комутаційних пристроїв: GTO, Ideal Semiconductor Switch, IGBT, MOSFET, тиристор або усереднений комутатор.

Реалізація на основі усередненого комутатора використовує сигнали затвора від 0 до 1, які можуть бути усереднені протягом певного періоду. Ця реалізація дозволяє субдискретизувати модель або використовувати сигнали модуляції замість ШІМ-сигналів. Єдиний вектор G , що необхідний для керування трифазним перетворювачем, формується за допомогою блока Gate driver. В основу цього блоку покладено стандартний Six-Pulse Gate Multiplexer.

Безколекторний двигун постійного струму в моделі представлено стандартним блоком BLDC. Цей блок являє собою трифазний безколекторний двигун постійного струму з трапецієподібною формою сигналу протиЕРС. При цьому залишається можливість визначити інші варіанти форми протиЕРС за допомогою табличних значень.

Підсистема Scores представлена на рисунку 3.14. Вона містить осцилографи, які дозволяють побачити результати моделювання: заданий a_ref та дійсний a кути повороту ротора (Angle); кутова швидкість ротора rpm (RPM); момент Tq_meas (Tq); фазні струми $iabc$ (Iabc).

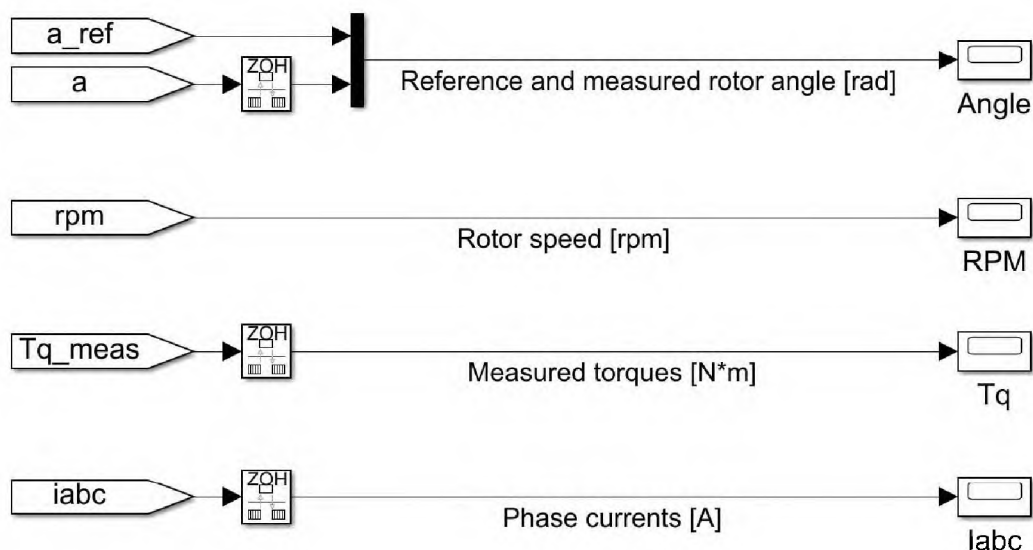


Рисунок 3.14 – Підсистема Scores

Коефіцієнти, які необхідні для моделювання системи зведено в таблиці 3.12 та 3.13.

Таблиця 3.12 – Параметри БДПС

Параметр	Значення
Кількість пар полюсів p	4
Опір фази статора R_s , Ом	0,1
Індуктивність фази статора L_s , Гн	0,0001
Взаємна індуктивність статора M , Гн	0,00001
Магнітний потік $\Phi_{\max}$, Вб	0,0175
Момент інерції ротора J_m , кг·м ²	0,0005
Напруга живлення U_{dc} , В	48

Таблиця 3.13 – Параметри регуляторів

Параметр	Значення		
	Регулятор струму	Регулятор швидкості	Регулятор положення
Коефіцієнт посилення пропорційної ланки k_p	0,01	0,1	250
Коефіцієнт посилення інтегруючої ланки k_I	0,08	15	0,5

3.3.2 Аналіз якості системи керування

У результаті моделювання системи керування БДПС були отримані перехідні характеристики системи керування, які представлені на рисунках 3.15-3.18. У більшості приводів найкращим вважається такий перехідний процес відпрацювання середніх/великих переміщень, коли швидкість двигуна в процесі відпрацювання заданого кута змінюється по трапецеїдальному графіку, оскільки це дозволяє в повній мірі використовувати перевантажувальну здатність двигуна і виключає виникнення перерегулювання в перехідному процесі.

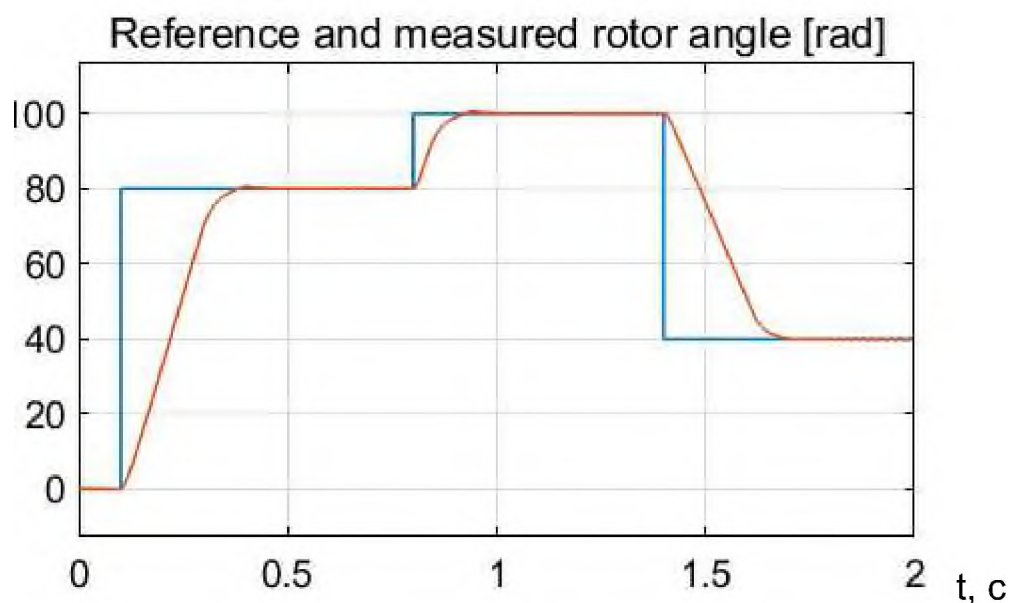


Рисунок 3.15 – Перехідна характеристика кута повороту

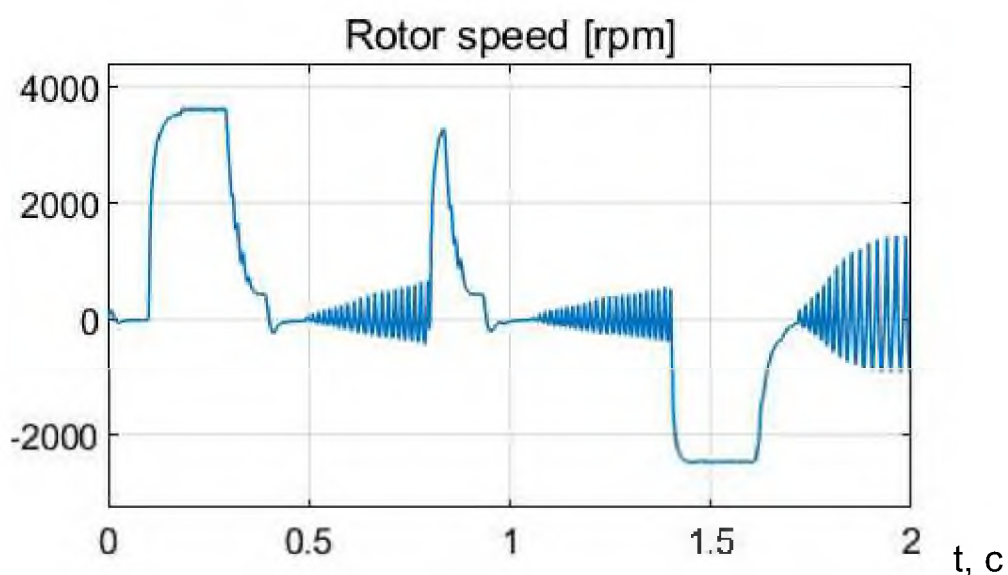


Рисунок 3.16 – Перехідна характеристика швидкості

Для систем керування важливим є поняття якості перехідних процесів, тобто важливий сам характер протікання процесів, особливо такі фактори, як тривалість, коливальність і динамічне відхилення регульованої змінної від заданої величини.

До загальноприйнятих показників якості, які використовують для характеристики перехідного процесу, відносять відносне перерегулювання, час встановлення, час наростання, час максимуму та усталену похибку [21].

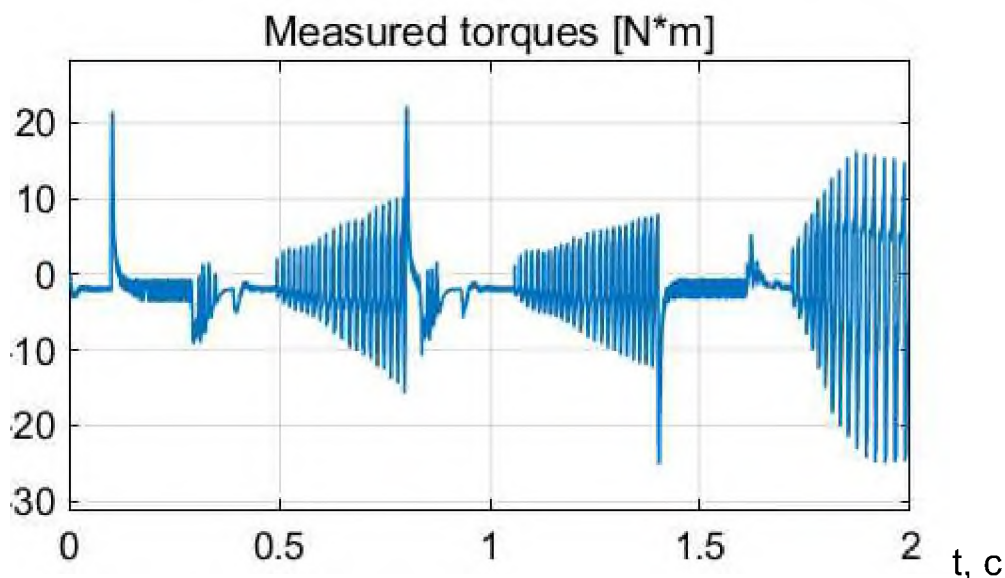


Рисунок 3.17 – Перехідна характеристика моменту

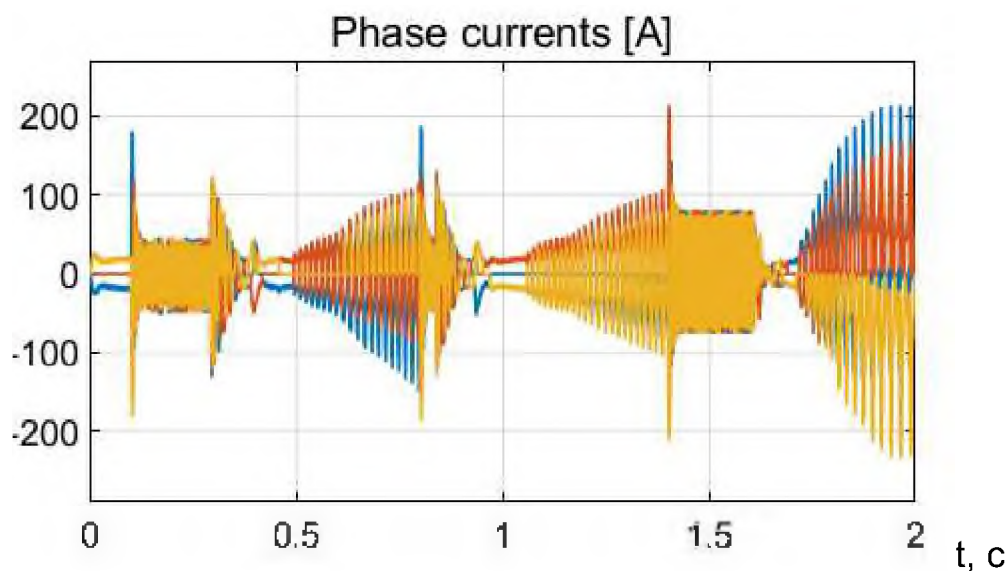


Рисунок 3.18 – Перехідні характеристика струмів фаз статора

Швидкодія системи напряду пов'язана з часом наростання t_H та часом максимуму перехідної характеристики t_M . Для недодемпфованих систем, перехідна характеристика яких має перерегулювання, час наростання визначається як час зміни

реакції від 0 до 100 % заданого значення вихідної величини. Якщо система передмпфована, то перерегулювання відсутнє, час максимуму не має значення, а в якості часу наростання розглядається інтервал, протягом якого перехідна характеристика змінюється від 10 до 90 % її значення.

Наскільки добре дійсна реакція системи відповідає керуючому впливу, оцінюється по відносному перерегулюванню σ і часу встановлення t_p .

Відносне перерегулювання σ представляє собою максимальне відхилення від усталеного значення, яке виражається у відносних одиницях або процентах,

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100\%,$$

де $h_{\max}$ — максимальне значення вихідної величини;

$h_{\text{уст}}$ — усталене значення вихідної величини.

Час встановлення t_p визначається моментом, після якого перехідна характеристика залишається повністю в межах зони, яка відрізняється від усталеного значення на $\pm\delta$.

Отже, реакцію системи на керуючий вплив можна охарактеризувати двома факторами:

- швидкодією, яка визначається часом наростання і часом максимуму;
- близькістю до бажаного вигляду, яка визначається перерегулюванням і часом встановлення.

Наведені вище показники можуть бути доповнені іншими, якщо цього вимагають специфічні технічні завдання на розробку або дослідження систем керування.

В таблицю 3.14 зведено показники якості перехідних процесів, які отримано в результаті моделювання (рисунки 3.15 та 3.16).

Таблиця 3.14 – Показники якості

Параметр	Відносне перерегулювання σ , %	Час встановлення t_p , с	Час наростання t_n , с	Усталена похибка $\epsilon_{уст}$
Кутова швидкість	0	0,065	0,03	0
Кут повороту	0,65	-	-	0,035 рад

3.4 Висновки до розділу 3

3.4.1 Побудовано функціональну схему позиційного електропривода на базі безколекторного двигуна постійного струму та обґрунтовано вибір її елементів. Позиційний електропривод працює в режимі відпрацювання заданого кута повороту та на відміну від електроприводів зі швидкісним технологічним режимом роботи, вхідний сигнал системи керування задає не значення швидкості, а значення кута повороту.

3.4.2 Для автоматизації електропривода газової заслінки в роботі розглянуто універсальний мікропроцесорний контролер МІК-50, який дозволяє вести локальне, каскадне, програмне, супервізорне, багатоконтурне регулювання. Наведено детальні технічні характеристики та схему зовнішніх з'єднань.

3.4.3 Складено математичний опис двополюсного трифазного безколекторного двигуна постійного струму. В результаті отримані рівняння для напруги та моменту БДПС. Виявлено, що на відміну від двигунів змінного струму, які використовують систему координат d-q, для БДПС використовують трифазні величини abc.

3.4.4 Проведено моделювання системи керування електропривода на базі БДПС в MATLAB та досліджено якість керування.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці має важливе соціальне значення, яке полягає в сприянні зростанню ефективності громадського виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення його безпеки, зниження виробничого травматизму і захворюваності.

У зв'язку з цим соціальне значення охорони праці проявляється, передусім, у впливі на зміну наступних трьох основних показників, що характеризують рівень розвитку громадського виробництва:

- 1) зростання продуктивності праці в результаті збільшення фонду робочого часу;
- 2) збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності працівників;
- 3) збільшення сукупного національного продукту за рахунок поліпшення вказаних вище показників і складових їх компонентів.

Економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці і є економічним вираженням соціальної значущості охорони праці. У зв'язку з цим економічне значення охорони праці оцінюється результатами, отриманими при зміні соціальних показників за рахунок впровадження заходів щодо поліпшення умов праці.

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на робітників зерноочисних комплексів [22]

У виробничому процесі на працівника діють шкідливі і небезпечні виробничі фактори. Вони бувають хімічні, фізичні, психофізіологічні і біологічні.

У процесі сушіння зерна в зерносушарках із зерновою пилом викидається відпрацьований «агент сушіння». Агент сушіння являє собою суміш газів, що утворюються при спалюванні дизельного палива або газу в топках зерносушарок.

Шкідливі речовини, що входять до складу «агента сушіння» викидаються в

атмосферу без очистки, так як циклони, які беруть участь в роботі зерносушарок, вловлюють лише малу їх частину.

Такими шкідливими речовинами, які впливають на операторів сушильних установок, є –діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, сажа.

Сірчистий газ є шкідливою речовиною для організму. За даними ВООЗ (Все-світня організація охорони здоров'я), впливу діоксиду сірки не можна піддаватися довше десяти хвилин при рівні концентрації в 500 мкг/м^3 . Вплив в концентраціях вище гранично допустимих може викликати порушення функцій дихання. Не виключено дію на слизові оболонки, запалення носоглотки, трахеї, бронхіти, кашель, хрипота і біль в горлі. Особливо висока чутливість до дії діоксиду сірки у людей з хронічними порушеннями органів дихання, з астмою.

Оксид вуглецю, як вважається, є єдиною найбільш поширеною причиною отруєнь. Тисячі людей щорічно вмирають внаслідок інтоксикації. Передбачається що число жертв несмертельного отруєння, які страждають від постійного розладу нервової системи, перевищує цю цифру. Вплив носить масивний характер, людина може майже миттєво втратити свідомості з виникненням небагатьох або взагалі без всяких застережних симптомів або ознак.

Діоксид азоту в повітрі, навіть перебуваючи у відносно невеликих концентраціях, здатний приводити до істотних змін в організмі людини. Є гострим подразником. Впливає в основному на органи дихальної системи. Залежно від концентрацій спостерігаються різні наслідки – від слабого подразнення слизових оболонок очей і носа до набряку легенів. Також може призводити до змін складу крові, зокрема, сприяє зменшенню вмісту гемоглобіна. У людей, які працювали протягом 3-5 років при вмісті NO_2 в повітрі робочої зони $0,8\text{-}5 \text{ мг/м}^3$, спостерігалися хронічні бронхіти, запальні зміни слизової оболонки ясен, ускладнений астмоїдними нападами пневмосклероз, бронхоектазії.

Одним з поширених шкідливих речовин, є сажа. Вона служить потужним канцерогеном і як дисперсійний пил розноситься вітрами на тисячі кілометрів, і володіючи у багато разів потужнішим негативним фактором, ніж вуглекислий газ.

При вдиханні сажі її частинки викликають негативні зміни в системі

дихальних органів людини, погіршуються хронічні захворювання, особливо захворювання легенів. З'являються ознаки ішемії (порушення кровопостачання серця) при фізичному навантаженні у людей з захворюваннями серця. Сажа в повітрі небезпечна для вагітних жінок, вона може викликати мутації органів, що передаються дітям.

Гранично допустима концентрація діоксиду сірки в повітрі робочої зони – 10 мг/м^3 .

Гранично допустима концентрація вмісту оксиду вуглецю в повітрі робочої зони – 20 мг/м^3 .

Гранично допустима концентрація діоксиду азоту в повітрі робочої зони – 2 мг/м^3 .

Гранично допустима концентрація вмісту сажі в повітрі робочої зони – 4 мг/м^3 .

Крім шкідливості хімічних речовин на зерносушильних апаратах для життя і здоров'я людини є ще один ризик. Багато процесів у час сушіння зернових культур пожежонебезпечні, що вимагає підвищеної уваги обслуговуючого персоналу і вирішення технічних питань пов'язаних з експлуатацією сушильних установок. У приміщеннях, де вони застосовуються виділяється значна кількість органічного пилу, здатної за певних умов утворювати в суміші з повітрям вибухонебезпечне середовище.

При сушінні можливий пиловий вибух. Він являє собою практично миттєве загоряння дрібних частинок зернового пилу, що приводить до різкого зростання температури і тиску. Він складається з органічних і мінеральних складових. Зерновий пил може горіти і давати вибухонебезпечні суміші з повітрям, є більш ніж достатньо джерел загоряння (коротке замикання, статичну електрику, зварювальні роботи, різання металу і т.д.). Так само до основних причин загоряння зерносушарок відносяться недосконалість конструкції і схеми роботи сушильних агрегатів, порушення режимів сушки, невиконання регламентних робіт з огляду обладнання і очищення пристроїв, а також використання пожежонебезпечних паливних вузлів і недостатній контроль температурних режимів.

При виникненні пожеж на працівників будуть впливати продукти горіння і вогнегасячі речовини від первинних засобів гасіння пожежі.

4.2 Заходи безпеки при експлуатації зерноочисних машин і зерносушарок [23]

При роботі на зерноочисно-сушильному комплексі, обслуговуючий персонал повинен твердо знати і дотримуватися інструкції з техніки безпеки та пожежної безпеки.

Всі особи, які обслуговують діючі електроустановки повинні бути психологічно здоровими, не мати каліцтв і хвороб, що перешкоджають роботі або підвищують ймовірність нещасного випадку. Електрики повинні проходити медичний огляд при вступі на роботу і потім один раз в два роки. При роботі в електроустановках електрики повинні виконувати організаційні та технічні заходи. Організаційні заходи спрямовані на забезпечення безпеки роботи в електроустановці. Вони полягають в наступному: письмове оформлення завдання на роботу або наряд-допуск, запис в оперативному журналі усного розпорядження до його виконання, складання переліку робіт, який відповідальний за електрогосподарства дозволяє виконувати в порядку поточної експлуатації; дотримання певної процедури допуску до роботи; письмове оформлення закінчення робіт, а також перерв у роботі та переведення, працюючих на інше робоче місце.

При підготовці робочого місця виконують такі технічні заходи: відключають від джерела напруги струмопровідні частини і вживають заходів, що перешкоджають помилковому або самочинному включенню вимикачів або інших комутаційних апаратів, через які напруга могло б потрапити на ці струмопровідні частини, на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комунікаційними апаратами, вивішують плакати безпеки, що забороняють включення. Перевіряють відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені на час робіт, накладають переносні заземлення на струмоведучі частини, попередньо

приєднавши їх до заземлювача, захищають при необхідності робочі місця і вивішують попередження плакати на цих огороженнях, і розпорядчі – на робочому місці.

Особи, які обслуговують зерноочисно-сушильний комплекс, повинні знати принцип роботи, інструкції з експлуатації, техніки безпеки і мати відповідну групу допуску не нижче 3.

Зерноочисно-сушильний комплекс повинен мати пожежний резервуар, водорозбірну колонку і пожежний сарай на одну мотопомпу. У зерноочисно-сушильному комплексі повинен бути пожежний інвентар; хімічні вогнегасники, бочка з водою, відра, багри, лопати, ящики з піском, приставні сходи. До індивідуальних засобів захисту відносяться: протигази, захисні окуляри, різного виду респіратори.

4.2.1 Заходи безпеки при обслуговуванні зерносушарок

Порушення вимог техніки безпеки при експлуатації зерносушарок може привести до аварій і нещасних випадків в результаті вибуху газів, опіків, отруєння газом і т.п. Основні правила техніки безпеки і виробничої санітарії при роботі сушарок аналогічні правилам для більшості інших цехів хлібоприймальних підприємств. Наприклад, не можна пускати норії, транспортери і інші механізми без попереднього сповіщає звукового або світлового сигналу, не можна пускати обладнання без огорожень рухомих частин (шківів, валів, шестерень); не допускаються ремонт і змащування рухомих частин машин і механізмів при їх роботі; забороняється надягати і скидати ремені без відповідних пристосувань; проходи між обладнанням повинні бути вільними, постійні і переносні драбини в справному стані, а конструкції їх строго відповідати вимогам техніки безпеки. Всі виробничі приміщення повинні бути добре освітлені денним або електричним світлом, що гарантує можливість правильного і безпечного обслуговування обладнання. У виробничих цехах необхідно вивішувати правила з техніки безпеки і виробничої санітарії. При експлуатації електротехнічних установок потрібно стежити за тим, щоб електроприводи і пускові пристосування були в повній справності, а електродвигуни, електроапаратура ретельно заземлені. Крім зазначених загальних правил безпеки, є і специфічні при обслуговуванні сушарок. Наприклад, не можна входити в повітродіільну камеру без попереднього її охолодження. У топках, що працюють на

твердому паливі, гаряче вугілля, золу і шлак заливають водою обов'язково в спеціальних окулярах, які запобігають опікам очей паром. При видаленні золи з осадкових камер і циклонів, крім захисних окулярів, надягають також і респіратор. Для запобігання опіків гарячі частини сушарки, повітропроводи і топку ізолюють.

Щоб уникнути протягів в топковому приміщенні до вентилятора, що подає повітря в топку, для встановлення потрібної температури агента сушіння повітря підводять за допомогою спеціального воздухопровода. Крім того, встановлюють повітропроводи для подачі атмосферного повітря до всмоктуючих отворів вентиляторів охолоджувальних шахт. При їх відсутності усмоктувальні патрубки захищають запобіжними сітками з вічками розміром не більше 25×25 мм.

Розпал рідкого і газоподібного палива здійснюють від системи електрозапалення. Небезпечною зоною зерносушарок вважають камери відпрацьованого агента сушіння, тому під час роботи сушарки двері і люки цих камер герметично закривають, щоб газ не проникали в приміщення зерносушарки. Всі металеві неструмоведучих частини стаціонарних сушарок, які можуть опинитися під напругою, повинні мати надійний металевий зв'язок (зварне з'єднання) з нейтралю джерела живлення або контуром заземлення.

У пересувних зерносушарках обов'язково заземлюють каркаси корпусів і пульти керування. Для цього забивають в землю до вологого шару ґрунту металевий стрижень і з'єднують його дротом з рамою сушки. Для кращого контакту в місцях з'єднання кінці дроту зачищають від іржі. При переміщенні пересувний сушарки на інше місце пускові пристрої повинні бути від'єднані від силової мережі. Контрольно-вимірювальну апаратуру зерносушарки встановлюють в зручних для спостереження і добре освітлених місцях. Зерносушарки, які обладнані приладами для дистанційного контролю температури агента сушіння і нагрівання зерна, можна пускати в роботу тільки при справності цих приладів. Несправну апаратуру необхідно замінити до пуску зерносушарки.

У приміщенні сушарки встановлюють аспіраційне обладнання, що запобігає забрудненню повітря. У складах рідкого палива для захисту від зарядів статичної

електрики резервуари, газопроводи, залізничні цистерни під час зливу надійно заземлюють.

4.2.2 Протипожежні заходи при обслуговуванні зерносушарок

Причини більшості загорянь в сушарках – це скупчення в окремих місцях сушильної шахти полови, пилу, соломистого частинок або перегрітого зерна; несправність електропроводки, механізмів, буксування стрічки норії, недотримання температурних режимів сушіння, неправильне поводження з рідким паливом.

Для запобігання пожежам в сушарках необхідно: періодично перевіряти правильність роботи іскрогасних пристроїв (відбивних площин, циклонів, осадкових камер та ін.), регулярно очищати їх від сажі; направляти в шахтні сушарки зерно, очищене від великих і легких домішок в зерноочисних машинах; очищати випускний пристрій і шахти сушарок; утримувати в повній справності електропроводку і паливну систему для подачі рідкого палива; ізолювати від дерев'яних будівель та споруд все повітропроводи, що подають і відводять агент сушіння: видаляти пил з приміщення зерносушарки, а також з сушильних шахт, повітропроводів і дифузорів.

У рециркуляційних зерносушарках не можна допускати заповнення зерном нижньої частини камери нагріву, так як навіть нетривалий вплив агента сушіння високої температури на шар зерна призводить до його загоряння. Тому у верхній частині тепловологообмінника встановлюють зливну трубу для випуску надлишків зерна і монтують вимірювальний перетворювач рівня зерна. При загорянні зерна в камері нагрівання негайно вимикають топку, зупиняють вентилятори камери нагріву і, збільшивши подачу сирого зерна, ліквідують загоряння.

У рециркуляційних зерносушарках систематично контролюють температуру агента сушіння після камери нагріву. При її підвищенні до 100...120 °С зупиняють топку. Висока температура відпрацьованого агента сушіння може вивести з ладу також вентилятор камери нагріву і привести до загоряння різних речовин, що знаходяться в повітропроводах або циклоні. У приміщеннях, де розташована сушарка, встановлюють вогнегасники, розміщують пожежні інструменти, а також ящики з піском.

У приміщеннях, де перебувають сушарка і топка, не можна зберігати легкозаймисті та горючі рідини. Запас мастильних масел не повинен перевищувати добової потреби. Використані промаслені кінці збирають в спеціальні металеві ящики з кришками і кожен зміну виносять з приміщення. Будинки зерносушарок повинні бути не нижче III ступеня вогнестійкості і мати вогнетривкі покрівлі.

У зерносушарках, розташованих між складами, стіни, звернені в їх сторону, повинні бути глухими (або з вікнами з негорючих матеріалів з межею вогнестійкості не менше 1,5 год). Торцеві стіни зернових складів виготовляють з вогнетривких матеріалів, межа вогнестійкості їх – не менше 2,5 год. При роботі топки на рідкому паливі в її стінах і в будівлі зерносушарки монтують вибухові люки (клапани), а також пристрій для автоматичного відключення і подачі палива при гасінні факела.

Пересувну сушарку встановлюють на відстані не менше 10 м від складу. Територію біля неї необхідно утримувати в чистоті і добре освітлювати. Рідке паливо розміщують не ближче 30 м від сушарки, а тверде – не ближче 5 м. При сушінні зерна в дощову погоду влаштовують тимчасовий брезентовий навіс між сушаркою і складом для зберігання просушеного зерна. Рівень палива в баку вимірюють за допомогою поплавкового показника.

Основні заходи по усуненню загоряння в сушарках наступні. При появі запаху підгорілого зерна негайно припиняють подачу агента сушіння в сушарку, для чого зупиняють вентилятор і закривають всі засувки в повітропроводах, які підводять і відводять агент сушіння і підігріте повітря, а також припиняють подачу зерна в склади або силоси. Після цього встановлюють причину та місце появи запаху.

При загорянні зерна в сушарці повідомляють про це в пожежну команду підприємства, зупиняють вентилятори, закривають засувки в повітропроводах. Рідке паливо в форсунку або газ в пальник не подають, припиняють подачу зерна з сушарки в силос або склад (при цьому сире зерно надходить в сушарку) і встановлюють випускний пристрій на максимальний вихід зерна, яке збирають на підлозі. Тліюче зерно збирають в залізні ящики або відра і заливають водою. Гасити зерно рідинними вогнегасниками не рекомендується, так як при цьому зерно стає непридатним до вживання.

4.3 Вимоги безпеки при експлуатації промислових газових пальників [24]

4.3.1 Загальні вимоги безпеки до пальника – відповідно ДСТУ 12.2.003 (Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки).

4.3.2 Температура поверхонь елементів пальників, призначених для ручного керування – відповідно ДСТУ 12.2.064 (Органи керування виробничим обладнанням. Загальні вимоги безпеки).

4.3.3 Гранично допустимі шумові характеристики (ГДШХ) встановлюють відповідно до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі рівні звукового тиску та рівні звуку

Рівні звукового тиску, дБ, в октавних полосах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівень звуку та еквівалентний рівень звуку, дБ·А
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	80
107	95	87	82	78	75	73	71	69	

Якщо значення шумових характеристик пальників перевищують значення, встановлені в таблиці 4.1, то в нормативних документах на пальники допускається встановлювати технічно досяжні значення шумових характеристик відповідно ДСТУ 12.1.003 (Шум. Загальні вимоги безпеки).

Якщо в робочих умовах різниця між рівнем виміряного шуму і еквівалентним рівнем перешкод є меншою за вказану в 3.8 ДСТУ 12.1.028 (Шум. Визначення шумових характеристик джерел шуму), то оцінка рівня шуму не проводиться.

4.3.4 Ступінь захисту електротехнічних засобів автоматизації пальників – IP40, для установок на відкритому повітрі – IP54 відповідно ДСТУ 14254 (Ступені захисту, що забезпечують оболонки (код IP)).

4.3.5 Електричне обладнання пальника повинно живитися від одного джерела електроенергії і вимикатися за допомогою одного вимикача.

Безпека електричних приладів і обладнання – відповідно ДСТУ 27570.0 (Безпека побутових та аналогічних електричних приладів. Загальні вимоги та методи

випробувань) і правилам улаштування електроустановок (ПУЕ), прийнятим в кожній з держав-учасниць Угоди.

4.3.6 Пальники номінальною потужністю понад 0,12 МВт повинні розпалюватися при пусковій потужності, що не перевищує 50 % номінальної.

4.3.7 Пальники номінальною потужністю понад 0,12 МВт повинні розпалюватися запальним пристроєм або запальним пальником (переносним або стаціонарним).

Потужність запального пальника повинна бути не більше 5 % номінальної потужності основного пальника, але не перевищувати 0,12 МВт.

4.3.8 Автоматичні і напіваавтоматичні пальники, пускова потужність яких перевищує 0,4 МВт, повинні бути оснащені стаціонарним запальним пальником.

Групу пальників з ручним керуванням допускається оснащувати одним стаціонарним запальним пальником, якщо наявність полум'я основного пальника, оснащеного запальним пальником, забезпечує запалювання полум'я інших пальників групи.

4.3.9 Час продувки камери горіння і димоходів газо викривувальної установки перед розпалом пальника визначається проектною організацією розрахунком в залежності від теплової потужності пальника і конструктивних характеристик газовикористовувальної установки. В автоматичних пальниках цей час враховується в програмі пуску.

4.3.10 Пальники, в які трубопроводом подається попередньо підготовлена горюча суміш, повинні бути забезпечені вогнебар'єрами.

4.3.11 Пальники повинні бути обладнані штуцерами для приєднання приладів, що вимірюють тиск газу перед пальником, а пальники з примусовою подачею повітря – додатково штуцерами для приєднання приладів, що вимірюють тиск повітря перед пальниками (або в корпусі пальника).

Групу пальників допускається оснащувати одним штуцером для вимірювання тиску газу і одним штуцером для вимірювання тиску повітря.

Конструкція автоматичних пальників повинна забезпечувати можливість вимірювань:

- тиску газу за основним запірним органом і після останнього по ходу газу регулюючого органу пальника;
- тиск повітря після останнього по ходу повітря регулює або запірною органу.

Вимірювання тиску газу допускається замінювати вимірюванням витрати газу.

4.3.12 Основний запірний паливний орган, якщо він передбачений в складі пальника, слід встановлювати перед органами керування для ізоляції пальника. Він повинен розташовуватися на зручному для обслуговування місці і мати показник положення «Відкрито» і «Зачинено». Конструкція основного запірною паливного органу пальника повинна забезпечувати легкість керування, надійну фіксацію положень і нормальне функціонування при тиску, що перевищує в 1,5 рази приєднувальний тиск.

4.3.13 При використанні пальників тепловою потужністю понад 120 кВт, до яких відбір пускового газу (або газу на запальний пальник) передбачений між двома останніми по ходу газу запірними паливними органами, встановленими на газопроводі до основного пальника, другий з них перед пуском повинен знаходитися в закритому положенні.

4.3.14 Функціонування будь-якого пристрою безпеки не повинно бути заблоковано функціонуванням будь-якого засобу керування і регулювання пальника.

4.4 Висновки до розділу 4

4.4.1 Проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на робітників зерноочисних комплексів. Встановлено, що шкідливими речовинами, які впливають на операторів сушильних установок, є –діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, сажа. Для зменшення негативного впливу шкідливих виробничих факторів на оператора зерносушильної установки перш за все необхідно виконати наступні заходи: проведення оцінки умов праці працівників, забезпечення

засобами індивідуального захисту, забезпечення регулярного контролю системи вентиляції.

4.4.2 Розглянуто заходи безпеки при обслуговуванні зерносушарок. Виявлено, що основні правила техніки при роботі сушарок аналогічні правилам для більшості інших цехів хлібоприймальних підприємств.

4.4.3 Розглянуто протипожежні заходи. Причини більшості загорянь в сушарках – це скупчення в окремих місцях сушильної шахти полови, пилу, соломистого частинок або перегрітого зерна; несправність електропроводки, механізмів, буксування стрічки норії, недотримання температурних режимів сушіння, неправильне поводження з рідким паливом.

4.4.4 Проаналізовано вимоги безпеки при експлуатації газових промислових пальників.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлені результати, які узагальнюють теоретичні дослідження автоматизованого електропривода газового пальника зерносушарки.

1. Досліджено технологічний процес сушки зернових культур. Виявлено, що для сушіння всіх видів зерна, кукурудзи, насіння, бобових та інших культур насінневого, фуражного й продовольчого призначення використовуються зерносушарки. Переважна більшість використовуваних в даний час зерносушарок є сушарками конвекційного типу, в яких повітря переносить тепло до зерна і видаляє випаровувану вологу.

Проведено аналіз складу, призначення та технічних характеристик модульної зерносушарки L2700. В зерносушарці застосовується конвективне сушіння. До складу сушарки входять газові пальники, які приєднуються до загальної газової мережі. Встановлено, що промислові газові пальники користуються сьогодні особливою популярністю через те, що газ є найзручнішим видом органічного палива, володіє надзвичайно високими споживчими якостями.

2. Проведено аналіз приводів регулювальної арматури для газових та повітряних мереж. Виявлено, що для автоматизації приводів газових заслінок переважно застосовують сервоприводи на основі асинхронного, синхронного двигунів та безколекторного двигуна постійного струму. Причиною цьому є надмірна вологість та значний вміст зернового пилу у повітрі, а ще велика вибухонебезпека.

3. Побудовано функціональну схему системи керування електропривода газового пальника. Електропривод є позиційним, структурною ознакою якого є наявність зворотного негативного зв'язку за положенням. Замкнений контур регулювання положення складається з двох частин: системи керування положенням і об'єкта керування – швидкісної підсистеми. Для автоматизації електропривода газового пальника в роботі розглянуто контролер МІК-50, який призначений для автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами.

4. Складено математичний опис системи керування електропривода газового пальника. Отримані рівняння для напруги та моменту БДПС. Виявлено, що для БДПС використовують трифазні величини abc , оскільки струми, потік і проти-ЕРС БДПС є несинусоїдальними величинами. Отже $d-q$ перетворення для БДПС не має сенсу.

Механічні та електромеханічні характеристики БДПС аналогічні характеристикам двигуна постійного струму з незалежним збудженням. Це дозволяє реалізувати в БДПС принцип підпорядкованого регулювання координат з контурами струму якоря, швидкості обертання та кута повороту.

5. Аналіз перехідних процесів показав, що система працездатна і має порівняно високі показники якості. Виявлено, що при відпрацюванні середніх/великих кутів повороту швидкість двигуна змінюється по трапецеїдальному графіку, отже в повній мірі використовується перевантажувальна здатність двигуна. Пульсації крутного моменту обумовлені пульсаціями струму, що виникають під час комутації фаз. Через коливання моменту погіршуються характеристики регулювання швидкості, особливо на низьких швидкостях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Лісостепу України [Текст]: монографія в 2-х т. Т. 1 / редкол.: Д. О. Мельничук (відп. ред.) [та ін]. – К.: Вид-во ТОВ «Алефа», 2003. – 886 с.
2. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Лісостепу України [Текст]: монографія в 2-х т. Т. 2 / редкол.: Д. О. Мельничук (відп. ред.) [та ін]. – К.: Вид-во ТОВ «Алефа», 2003. – 352 с.
3. Трисвятский, Л. А. Технология приема, обработки, хранения зерна и продуктов его переработки // Л. А. Трисвятский, Б. Е. Мельник. – М.: Колос, 1983. – 351 с.
4. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
5. M-C Grain Dryers // Mathews Company. – Режим доступу: <http://mathewscompany.com>
6. Газовые горелки // Сайт mosenergoinform.ru. – Режим доступу: <http://www.mosenergoinform.ru/gorelki/class.htm>
7. Горелки промышленные блочные газовые КП // Сайт ООО «Газтехаппарат» Энергоэффективное оборудование и технологии. – Режим доступу: https://gorelki-teplogeneratory.ru/katalog/gorelki_blochnye_gazovye_kp/
8. Газовые горелки для котлов – классификация, преимущества, недостатки и выбор // Сайт semidelov.ru. – Режим доступу: <http://semidelov.ru/mar/gazovye-gorelki-dlya-kotlov-klassifikatsiya-preimuschestva-nedost/>
9. Устройство газовых горелок // Сайт lucheetoplenie.ru. – Режим доступу: <https://lucheetoplenie.ru/tipy-otopleniya/gazovoe/ustrojstvo-gazovyh-gorelok.html>

10. Air damper actuators // Сайт hit.sbt.siemens.com. – Режим доступа: <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=DK&lang=en&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aGMA..1E>
11. Электроприводы // Сайт REGADA s.r.o. – Режим доступа: <http://www.regada.sk/ru/eshop/elektroprivody/>
12. General Air Solutions // Сайт BELIMO Automation AG. – Режим доступа: <https://www.belimo.eu/CH/EN/Product/Range/index.cfm>
13. Колесников, О. В. Основы наукових досліджень. 2-ге вид. випр.. та доп. Навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 144 с.
14. Sang-Hoon Kim Electric Motor Control. DC, AC and BLDC Motors // Kim Sang-Hoon. – Elsevier Ltd., 2017. – 426 p.
15. Техническое описание электропривода Belimo LM24A-SR // Сайт Сервоприводы Белимо Россия. – Режим доступа: http://www.belimo.ru/upload/iblock/6c4/fa5f2b8c_a7b5_4f6d_997d_05cf5b7c054d_238a6f25_802a_11e8_a138_00155d000500.pdf
16. Продукция МИКРОЛ // Официальный сайт предприятия МИКРОЛ. – Режим доступа: http://www.microl.ua/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=71&lang=ru
17. Руководство по эксплуатации МІК-50 // Официальный сайт предприятия МИКРОЛ. – Режим доступа: http://www.microl.ua/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=72&task=finish&cid=1849&catid=39
18. P. Pillay, R. Krishnan, Modeling, simulation, and analysis of permanent-magnet motor drives, Part II. The brushless DC motor drive, IEEE Trans. Ind. Appl. 25 (2) (Mar./Apr. 1989). – P. 274-279.
19. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.

20. Support – Examples – Simscape Electrical – Applications – Electric Drives – BLDC Position Control // Сайт MathWorks, inc. – Режим доступа:
<https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/bldc-position-control.html>
21. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
22. Мелякова, В.А. Влияние вредных и опасных производственных факторов на работников зерноочистительных комплексов / О.А. Мелякова, А.М. Нурумов // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. Сборник материалов LIII Международной студенческой научно-практической конференции. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2019. – С. 695-699.
23. БЖД – Безопасность и охрана труда на предприятиях аграрного сектора // Сайт studbooks.net. – Режим доступа:
https://studbooks.net/513035/bzhd/mery_bezopasnosti_ekspluatatsii_zernoochistitelyh_mashin_zernosushilok
24. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования // Сайт «Библиотека нормативной документации». – Режим доступа:
<https://files.stroyinf.ru/Data1/6/6264/index.htm#i465038>

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий
Інститут автоматики та електротехніки

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня магістра
на тему:

«Автоматизований електродпривод газового пальника зерносушарки»

Студент магістратури:

Сербін П. О.

Керівник кваліфікаційної роботи
магістра:

доц. каф. автоматики, к.е.н.
Шевчук С. В.

Миколаїв 2024

Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження

Мета роботи	Синтез системи керування електропривода газового пальника зерносушарки.
Об'єкт дослідження	Перехідні процеси в електроприводі газового пальника.
Предмет дослідження	Структура та параметри регуляторів електропривода газового пальника, які впливають на якість керування.

Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

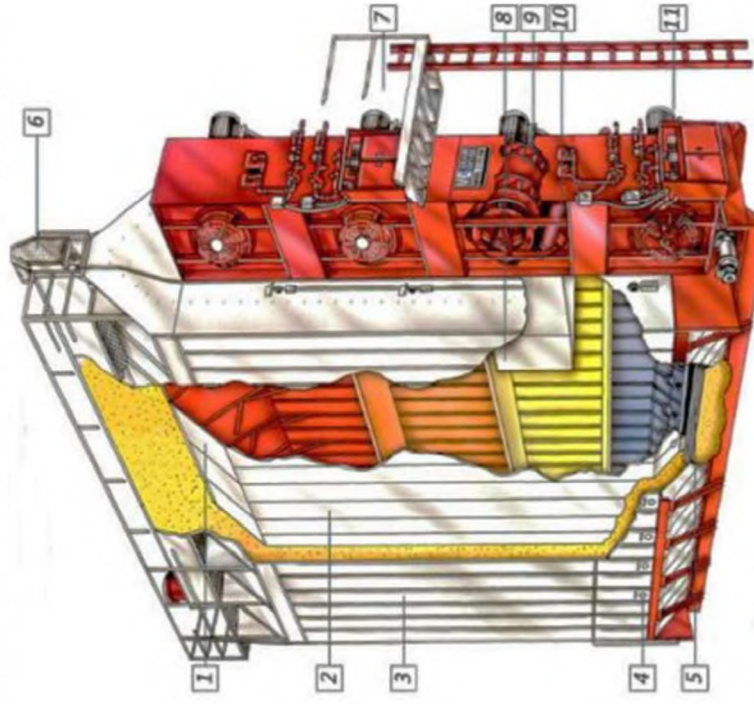
Завдання дослідження

3

- 1 Дослідити технологічний процес сушіння зернових культур та проаналізувати склад, призначення та технічні характеристики модульної зерносушарки L2700. Розглянути види промислових газових пальників та дослідити принцип роботи, особливості конструкцій та типи регулювання потужності.
- 2 Проаналізувати приводи регулювальної арматури для газових та повітряних мереж.
- 3 Побудувати функціональну схему системи керування електропривода газового пальника та обґрунтувати вибір її елементів.
- 4 Скласти математичний опис системи керування електропривода газового пальника.
- 5 Провести моделювання системи керування електропривода газового пальника в MATLAB та дослідити вплив параметрів регуляторів на якість керування.

Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Склад модульної зерносушарки

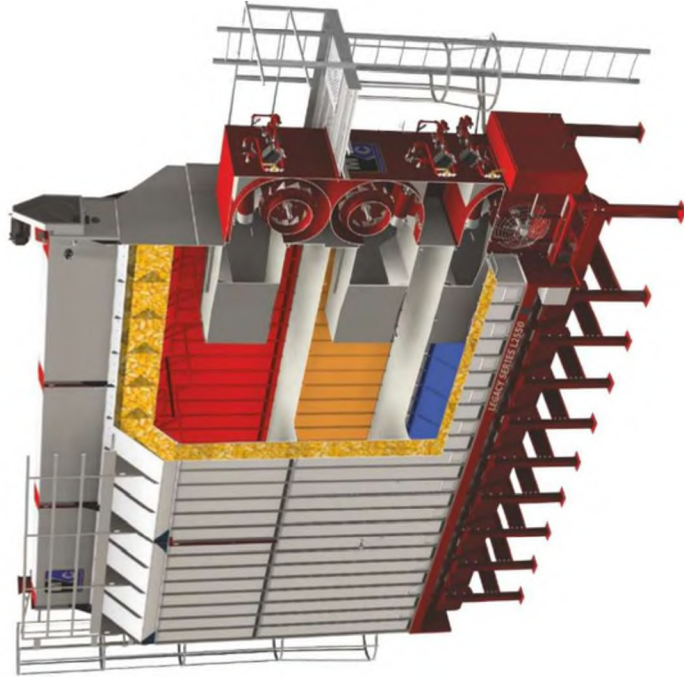


1 – панелі верхньої приймальної секції; 2 – датчик температури зерна; 3 – датчик температури розвантаження; 4 – валки; 5 – валки, що подають зерно на розвантаження; 6 – електродвигун завантажувального шнека; 7 – верхній обслуговуючий майданчик; 8 – камера подачі нагрітого повітря в сушильну камеру; 9 – відцентрові вентилятори двостороннього забору повітря; 10 – панель керування

Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації

Загальна характеристика зерносушарки L2700

Загальний вигляд
зерносушарки Mathews серії Legacy



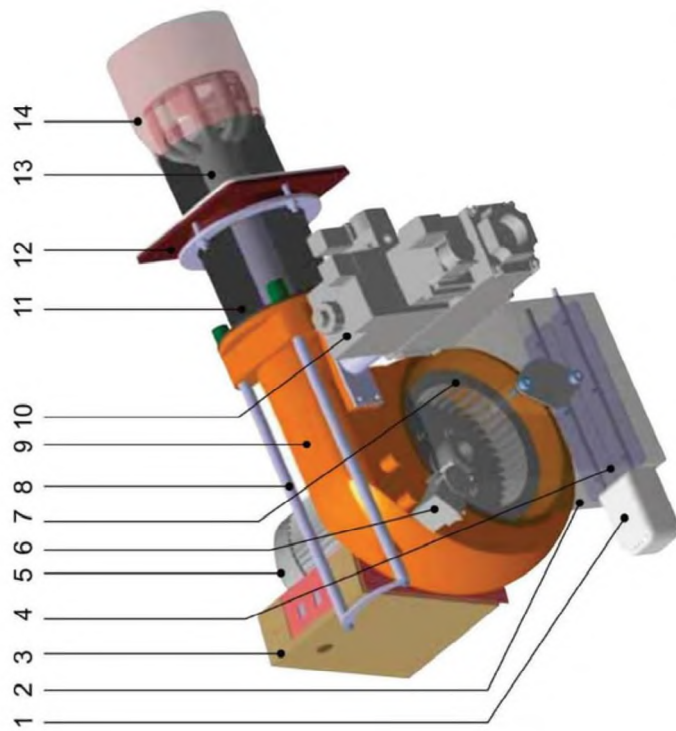
Технічні характеристики

Параметр	Значення
Місткість, м³	36
Напруга живлення, В	380
Потужність, кВт:	
– вентилятор нагріву	60
– вентилятор охолодження	15
– шнек	5,5
Вид палива	природний газ
Споживання палива, м³/год	462-560
Режим роботи устаткування	напівавтоматичний
Габарити зерносушарки, мм:	
– висота	10180
– ширина	2530
– довжина	10570
Вага, кг	11860

Рисунок А.5 – Слайд 5 мультимедійної презентації

6

Склад газового пальника



- 1 – сервопривод; 2 – повітряна заслінка; 3 – електрична панель;
 4 – повітряний клапан; 5 – електричний мотор; 6 – повітряний перемикач тис-ку;
 7 – вентилятор; 8 – кріплення; 9 – корпус; 10 – газовий вентиль;
 11 – жарова труба; 12 – з'єднувальний фланець; 13 – газова голівка;
 14 – подовжувач жарової труби

Рисунок А.6 – Слайд 6 мультимедійної презентації

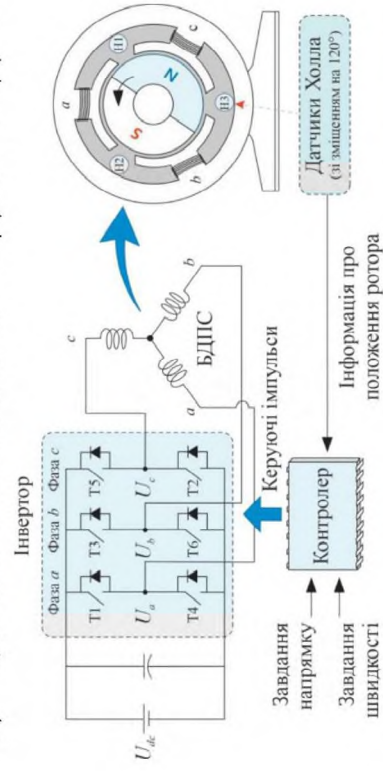
Порівняльний аналіз приводів регулювальної арматури для газових та повітряних мереж

Параметр	Значення		
Модель	Regada SP Mikro	Belimo LM24A-MF	Siemens GMA16..1
Тип керування		аналогове	аналогове
Робоча напруга, В	24 (AC)	24 (DC)	24...48 (DC)
Сигнал позиціонування		0-10 В	0-10 В, 0-35 В
Індикація положення	4-20 мА	0-10 В	0-10 В
Момент, Н·м	макс. 8	5	7
Потужність, Вт	2,75	2,5	3,5
Час відпрацювання 90°, с	120	35-130 (програмується)	90
Макс. кут повороту, град.	Робочий кут 60/90/120	95	95
Гарантія, років	3	5	1
			

Рисунок А.7 – Слайд 7 мультимедійної презентації

Функціональна схема електропривода

Функціональна схема системи керування БДПС



Функціональна схема електропривода на базі БДПС

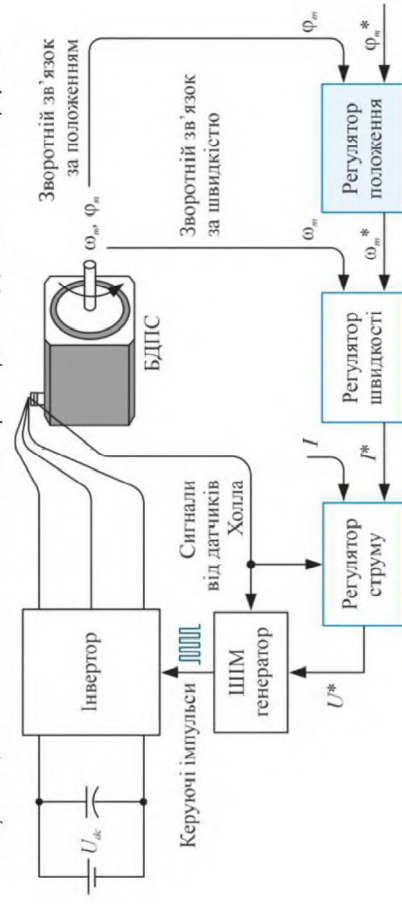


Рисунок А.8 – Слайд 8 мультимедійної презентації

Модель системи керування електропривода в MATLAB

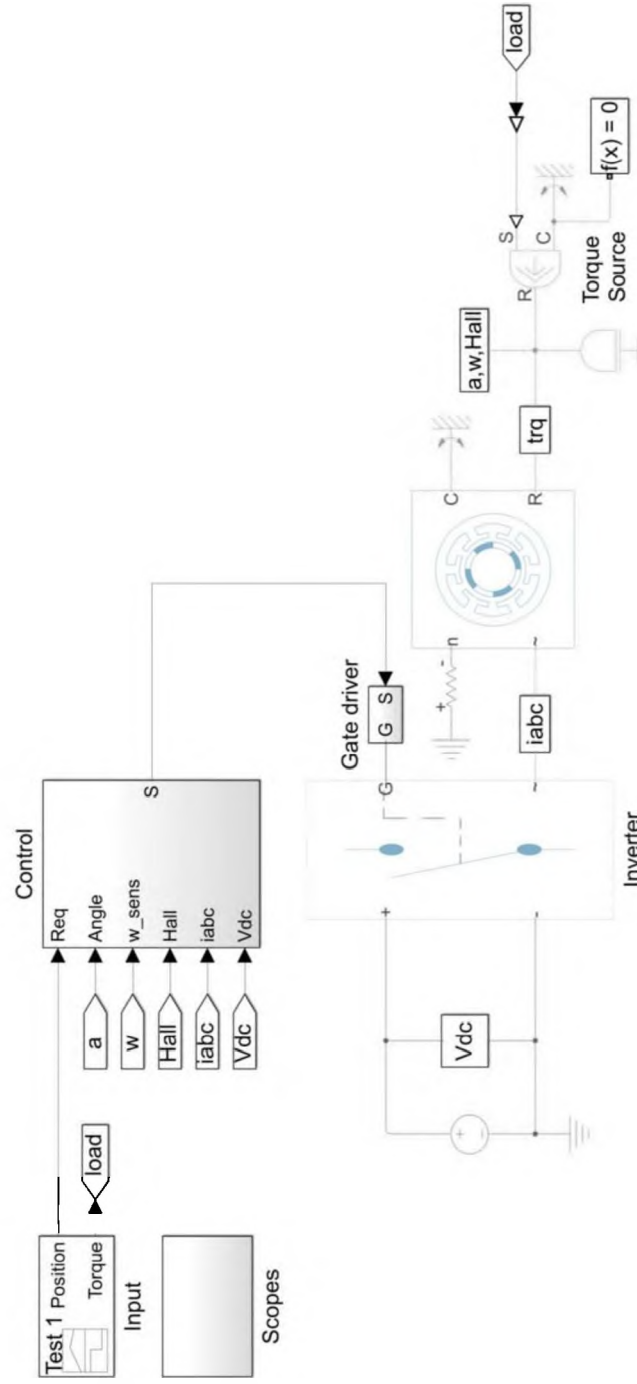
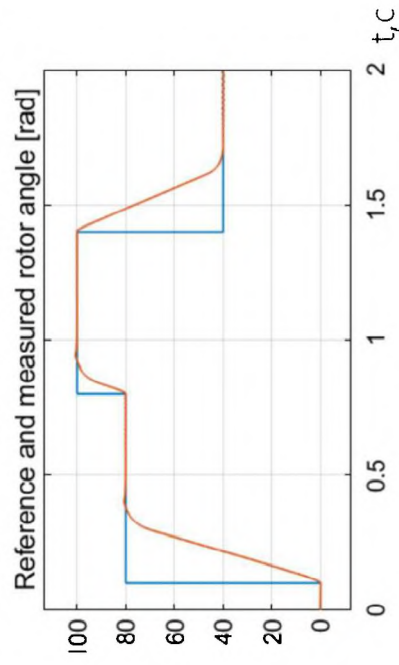


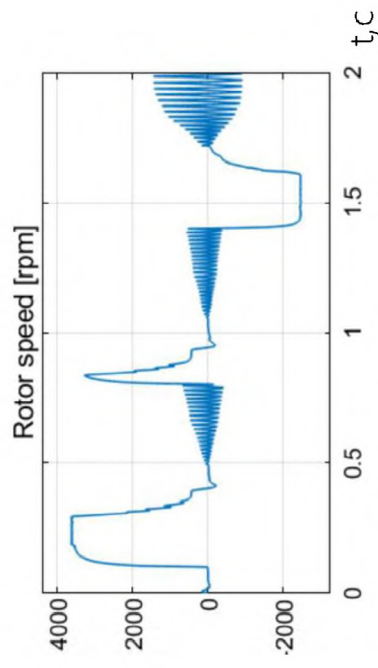
Рисунок А.9 – Слайд 9 мультимедійної презентації

Дослідження динаміки

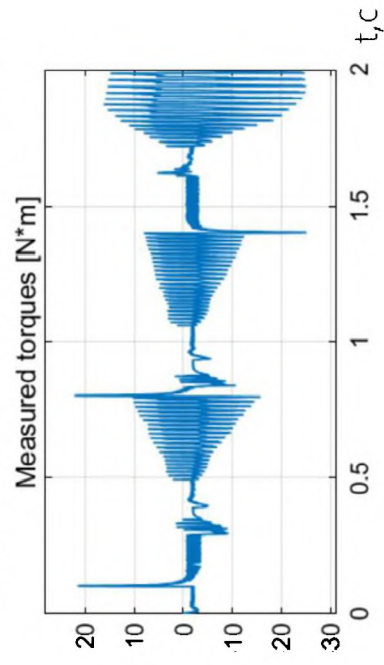
Перехідна характеристика кута повороту



Перехідна характеристика швидкості



Перехідна характеристика моменту



Перехідні характеристики струмів фаз статора

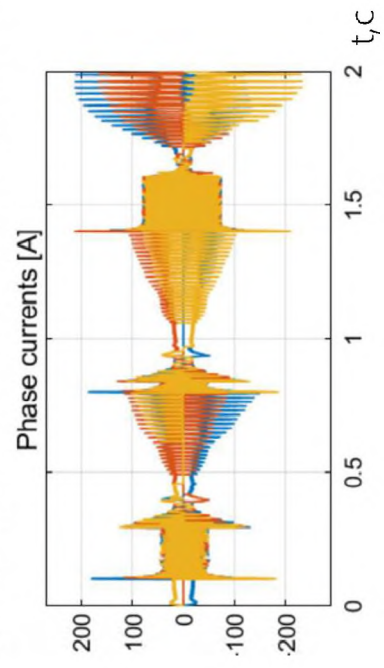


Рисунок А.10 – Слайд 10 мультимедійної презентації

Висновки

- 1 Досліджено технологічний процес сушки зернових культур. Виявлено, що для сушіння всіх видів зерна, кукурудзи, насіння, бобових та інших культур насіннєвого, фуражного й продовольчого призначення використовуються зерносушарки. Переважна більшість використовуваних в даний час зерносушарок є сушарками конвекційного типу, в яких повітря переносить тепло до зерна і видаляє випаровувану вологу.

Проведено аналіз складу, призначення та технічних характеристик модульної зерносушарки L2700. В зерносушарці застосовується конвективне сушіння. До складу сушарки входять газові пальники, які приєднуються до загальної газової мережі. Встановлено, що промислові газові пальники користуються сьогодні особливою популярністю через те, що газ є найзручнішим видом органічного палива, володіє надзвичайно високими споживчими якостями.

- 2 Проведено аналіз приводів регулювальної арматури для газових та повітряних мереж. Виявлено, що для автоматизації приводів газових заслінок переважно застосовують сервоприводи на основі асинхронного, синхронного двигунів та безколектрного двигуна постійного струму. Причиною цього є надмірна вологість та значний вміст зернового пилу у повітрі, а ще велика вибухонебезпека.

- 3 Побудовано функціональну схему керування електропривода газової заслінки. Електропривод є позиційним, структурною ознакою якого є наявність зворотного негативного зв'язку за положенням. Замкнений контур регулювання положення складається з двох частин: системи керування положенням і об'єкта керування – швидкісної підсистеми. Для автоматизації електропривода газової заслінки в роботі розглянуто контролер MİK-50, який призначений для автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами.

Рисунок А.11 – Слайд 11 мультимедійної презентації

Висновки

- 4 Складено математичний опис системи керування електропривода газової заслінки. Отримані рівняння для напруги та моменту БДПС. Виявлено, що для БДПС використовують трифазні величини abc , оскільки струми, потік і протиЕРС БДПС є несинусоїдальними величинами. Отже $d-q$ перетворення для БДПС не має сенсу.
Механічні та електромеханічні характеристики БДПС аналогічні характеристикам двигуна постійного струму з незалежним збудженням. Це дозволяє реалізувати в БДПС принцип підпорядкованого регулювання координат з контурами струму якоря, швидкості обертання та кута повороту.
- 5 Аналіз перехідних процесів показав, що система працездатна і має порівняно високі показники якості. Виявлено, що при відпрацюванні середніх/великих кутів повороту швидкість двигуна змінюється по трапецеїдальному графіку, отже в повній мірі використовується перевантажувальна здатність двигуна. Пульсації крутного моменту обумовлені пульсаціями струму, що виникають під час комутації фаз. Через коливання моменту погіршуються характеристики регулювання швидкості, особливо на низьких швидкостях.

Дякую за увагу!