

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПБ)

" ____ " _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему **"РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ТЕМПЕРАТУРОЮ В ЗЕРНОСУШАРЦІ"**

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., проф. _____
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Заєць Н.А.
(П.І.Б.)

Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи

К.Т.Н., доцент _____
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Лендел Т.І.
(П.І.Б.)

Виконав

_____ (підпис)

Галіченко М.В.
(П.І.Б.)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи студенту

Галіченку Михайлу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

1. Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: "Розробка автоматизованої системи керування температурою в зерносушарці",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "18" 11 2024 р. № 2056"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "30" травня 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

3.3. Наукова література з тематики кваліфікаційної бакалаврської роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Технологія і промислове обладнання для регулювання температури в зерносушарці

4.2. Розробка та дослідження математичної моделі процесу сушіння зерна.

4.3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.

4.4. Розробка цифрової системи керування.

4.5. Схеми системи автоматизації.

4.6. Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічних документів:

1.4 Система автоматизації керування температури в сушарці. Функціональна схема автоматизації

3.4. Система автоматизації керування температури в сушарці. Схема електрична принципова.

3.6. Система автоматизації керування температури в сушарці. Схема електрична з'єднань.

3.7. Система автоматизації керування температури в сушарці. Схема електрична підключень.

3.8. Система автоматизації керування температури в сушарці. Зовнішній вид щита керування.

Дата видачі завдання "21" листопада 2024 року

**Керівник
кваліфікаційної
бакалаврської роботи**

(підпис)

Лендел Т.І.
(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Галіченко М.В.
(П.І.Б.)

ЗМІСТ

Вступ	5
РОЗДІЛ 1. Аналіз технологічного процесу сушіння зерна	8
1.1. Технічний і технологічний процес сушіння зерна.....	8
1.2 Технічний опис шахтної зерносушарки	12
1.3 Технологічний об'єкта керування.....	16
1.4 Інформаційний аналіз технологічного об'єкта керування	19
1.5 Розробка функціональної схеми автоматизації процесу сушіння зерна.....	22
РОЗДІЛ 2. Побудова та дослідження математичної моделі зерносушарки як об'єкта регулювання.....	24
2.1. Побудова математичної моделі	24
РОЗДІЛ 3. Реалізація алгоритму керування зерносушаркою.....	32
3.1. Обґрунтування та вибір алгоритму керування температури в зерносушарці	32
3.2. Розробка функціональної схеми системи автоматичного регулювання	36
3.3 Вибір первинного вимірювального перетворювача	39
3.4. Розробка структурно-алгоритмічної схеми системи автоматичного регулювання	43
3.5 Визначення передатних функцій.....	44
3.6 Розробка схеми електричних з'єднань.....	48
3.7 Розробка схеми електричних підключень та схеми зовнішнього вигляду шафи керування.....	52
3.8. Синтез системи автоматичного регулювання	52
3.9. Вибір контролера для зерносушарки	57
РОЗДІЛ 4. Електротехнічна частина.....	59
4.1. Вибір автоматичних вимикачів.....	59
4.2. Вибір електромагнітних пускачів.....	63
4.3 Вибір кабелю живлення для шафи керування.....	63
4.4 Вибір світлосигнальної арматури.....	64
4.5 Розробка схеми підключень.....	67
4.6 Розробка загального виду щита керування.....	67
РОЗДІЛ 5. Техніко-економічне обґрунтування системи автоматичного керування температурою в шахтній зерносушарці	68
Висновки	74
Література	74

ВСТУП

В сучасному світі будь-яке аграрне підприємство не може обійтися без зернової промисловості. Для цієї галузі дуже потрібна правильне сушіння, обробка та очистка зерна.

Цей процес є дуже важливим, тому що через неправильне сушіння є велика вірогідність спалити зерно або пересушити, що призводить до поганої якості зерна і тоді компанія втрачає постачальників та терпить збитки. Для кожної культури є свої спеціальні умови для сушки, наприклад, зерно сушать до 14%.

В сучасному світі дуже багато типів сушарок:

- Шахтні
- Барабанні
- Модульні
- Мобільні

В даній кваліфікаційній роботі буде подана шахтна зерносушарка SHTRAL 18000FR. Це рекуперативна сушарка в основу якої покладено використання частини повітря яка проходить через зерно та додає до неї нове повітря.

Сушка зерна завжди буде актуальною темою через такі фактори

1. Збільшення обсягів виробництва: з ростом виробництва продукції зростає і потреба в ефективних методах сушки. Зерносушарки дають можливість досягати майже будь-якої кількості тонн на годину, тобто продуктивності.
2. Екологічна свідомість: при сушінні зерна використовується декілька типів палива: електроенергія, газ або дизель. Спалювання палива призводить до викидів в атмосферу які є шкідливими для довкілля.
3. Зменшення втрат: правильне та ефективне сушіння зменшує кількість зіпсованого зерна, витрат палива та підвищує якість сушки.

Отже, тема сушіння продукту в зерносушарках є дуже актуальною в контексті збільшення виробництва, екологічної свідомості, зменшення втрат, брендуння та маркетингу, а також вимог безпеки та гігієни.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є удосконалення автоматизації сушарки з метою підвищення продуктивності, зниження витрат ресурсів та енергії, оптимізації якості сушіння та забезпечення високої надійності роботи системи. Дослідження спрямоване на вдосконалення алгоритмів керування, впровадження новітніх технологій, а також на розробку інноваційних методів моніторингу та діагностики, що дозволить забезпечити оптимальну ефективність роботи картонатора в умовах сучасного виробництва.

Об'єкт бакалаврської кваліфікаційної роботи – температура сушильного агента – ключовий об'єкт для успішного сушіння зерна. Відповідає за нагрів зерна.

Предмет бакалаврської кваліфікаційної роботи

Дослідження цього об'єкта включає в себе детальний аналіз всіх аспектів технології застосування сушки, визначення оптимальних параметрів роботи зерносушарки та вдосконалення її конструкції. Особлива увага зосереджується на зменшенні часу налаштування та обслуговування, оптимізації витрат матеріалів. Крім того, дослідження спрямоване на підвищення продуктивності виробничого процесу шляхом покращення якості сушіння продукції.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА

1.1 Технічний і технологічний процес сушіння зерна.

Важливим фактором у цьому контексті є вибір відповідного типу зерносушарки:

Шахтна зерносушарка - це тип сушарки зерна, що використовується для видалення зайвої вологи з зерна перед зберіганням або подальшою обробкою. Її вертикальна конструкція та принцип роботи забезпечують ряд переваг, роблячи її популярним вибором для багатьох фермерів та елеваторів.

Компанія SHTRAL представляє великий вибір зерносушарок, створених з урахуванням різних запитів та фінансових можливостей. Сушарки цієї компанії пропонуються у різноманітних габаритах та продуктивності, що дозволить підібрати оптимальний варіант для будь-якого сільськогосподарського підприємства.

Зерносушарки використовуються для осушування сипучих матеріалів, таких як зерно, будівельні суміші, тирса, лушпиння. Це обладнання сприяє зменшенню вологості зерна до безпечного рівня для тривалого зберігання

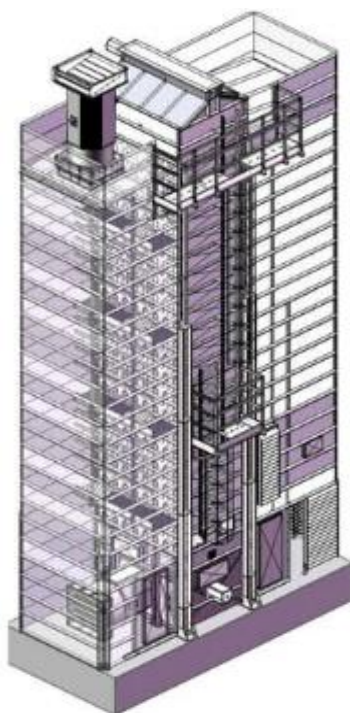


Рис. 1.1. Зерносушарка SHTRAL 18000FR

Технічні характеристики

сушарки.

<u>Модулі</u>		<u>№</u>	<u>14</u>
<u>Версія</u>		<u>Vers</u>	<u>VA</u>
<u>Пальники</u>		<u>№</u>	<u>1</u>
<u>Тиск пальника</u>		<u>бар</u>	<u>0,3</u>
<u>Основні вентилятори</u>	<u>Номер</u>	<u>№</u>	<u>4</u>
	<u>Потужність</u>	<u>кВт</u>	<u>45</u>
	<u>Полюси</u>	<u>№</u>	<u>4</u>
	<u>Рівень шуму</u>	<u>dBA</u>	<u>89</u>
<u>Рекупераційні вентилятори</u>	<u>Номер</u>	<u>№</u>	<u>3</u>
	<u>Потужність</u>	<u>кВт</u>	<u>30</u>
	<u>Полюси</u>	<u>№</u>	<u>4</u>
	<u>Рівень шуму</u>	<u>dBA</u>	<u>89</u>
<u>Визгрузний конвеєр</u>	<u>Тип</u>	<u>Цепний конвеєр</u>	
	<u>Потужність</u>	<u>кВт</u>	<u>9</u>
	<u>Полюси</u>	<u>№</u>	<u>≡</u>

	<u>Коефіцієнт</u> <u>г</u> <u>редукції</u>	<u>г</u>	<u>≡</u>
--	--	----------	----------

<u>Розподільчи</u> <u>й шнек</u>			
	<u>Потужність</u>	<u>кВт</u>	<u>≡</u>
	<u>Полюси</u>	<u>№</u>	<u>≡</u>
	<u>Коефіцієнт</u> <u>редукції</u>	<u>г</u>	<u>≡</u>
<u>Максимальна потреба стис.</u> <u>повітря</u>		<u>Nlt/min</u>	<u>102</u>
<u>Тиск стисненого повітря</u>		<u>бар</u>	<u>7</u>
<u>Вага основи</u>		<u>кг</u>	<u>5000</u>
<u>Вага пустої сушарки</u>		<u>кг</u>	<u>88760</u>

Під дією сили гравітації продукт обсипається вниз через вузол вивантаження, рухаючись зигзагоподібно та постійно перемішуючись. Конструкція каналів та імпульсне вивантаження по всій площині колони гарантують рівномірне розвантаження без застійних зон.

У першій зоні сушіння продукт нагрівається гарячим повітрям, втрачаючи основну частину вологи. Проходячи з першої зони до другої, продукт потрапляє в зону спокою без повітряних потоків. Тут зерно накопичується та охолоджується. Далі, у третій зоні, воно досушується до необхідного рівня вологості, а за допомогою аспірації видаляється охолоджене повітря.

Температура та швидкість повітря в кожній зоні регулюються для оптимального сушіння. Контроль вологості здійснюється постійно протягом

усього процесу. Сушарка може бути обладнана додатковими системами очищення та охолодження.

Переваги даної конструкції:

Рівномірне сушіння без застійних зон;

Ефективне видалення вологи;

Низьке енергоспоживання;

Висока продуктивність;

Надійність та довговічність;

Ця конструкція сушарки забезпечує високоякісне сушіння зерна при мінімальних витратах.

Живлення машини: для оптимальної роботи машини необхідне джерело електроживлення зі значенням 380/400 В змінного струму. Допустима відхиленість напруги становить $\pm 10\%$.

Перед підключенням машини до мережі перевірте вхідне живлення на місці встановлення, щоб визначити доступну напругу.

Сучасні зерносушарки— це високотехнологічне обладнання, яке гарантує ефективно висушування зерна з максимальним піклуванням про його якість. Вони використовуються для зменшення вологості зернових культур до оптимальних значень, що сприяють збереженню або подальшій переробці. Ці пристрої, здебільшого, складаються з кількох ярусів або відсіків, де зерно висушується поетапно. Електромонтаж: Виконання електромонтажних робіт має здійснюватися кваліфікованим електриком, який має відповідні сертифікати та кваліфікацію.

Враховуючи ці умови, забезпечується безпечне та ефективно підключення електрообладнання відповідно до всіх вимог і стандартів.

Технічний опис шахтної зерносушарки

Сучасні зерносушарки—це високотехнологічні установки , що гарантують ефективне висушування зерна з максимальною турботою про його якість. Вони застосовуються для зниження вологості із зернових культур до ідеальних показників, придатних для зберігання чи подальшої переробки. Ці агрегати здебільшого мають кілька ярусів або відсіків, у яких зерно просушується поступово. Однією з ключових переваг сучасних зерносушарок є їхні високі швидкості сушіння та точність контролю вологості. Це дозволяє забезпечити однорідність сухості зерна, що є критично важливим для підтримання якості та зниження втрат під час зберігання. Багатоповерхова конструкція дозволяє оптимізувати простір і збільшити продуктивність, обробляючи більше зерна одночасно.

Більшість сучасних зерносушарок оснащені автоматизованими системами управління, які контролюють процес сушіння, вимірюють вологість зерна та регулюють параметри для досягнення оптимальних результатів. Деякі моделі також можуть мати вбудовані системи моніторингу та віддаленого керування, що дозволяє операторам відстежувати і керувати процесом сушіння навіть здалеку.

Загалом, сучасні зерносушарки є важливим елементом сільськогосподарської інфраструктури, що дозволяє забезпечити ефективне використання врожаю і зберігання зернових культур у відповідних умовах, зберігаючи їхню якість та вартість.

На рисунку 1.2 показано частини на які поділена зерносушарка SHTRAL 18000FR

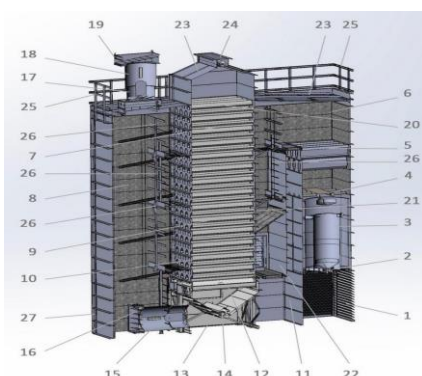


Рис. 1.2. Модель сушарки

Склад пристрою:

1. Панель для захисту пальника;
2. Пальник;
3. Теплогенератор;
4. Панель розриву полум'я з нержавіючої сталі;
5. Зона змішування повітря;
6. Зона гарячого повітря;
7. Перша зона сушилки;
8. Зона виходу повітря після просушування;
9. Друга зона сушилки;
10. Охолоджувальна зона;
11. Повітряний канал рециркуляції;
12. Пристрій вивантаження сушарки;
13. Бункер просушеного зерна;
14. Шнек вивантаження сухого зерна;
15. Вентилятори рециркуляційних потоків(нижні);
16. Жалюзі антипиліові (нижні);
17. Жалюзі антипиліові (верхні);
18. Головні вентилятори (верхні);
19. Жалюзі протидощові;
20. Бункер вологого зерна;
21. Пересувна панель для регулювання зони охолодження;

22. Засувки регулювання охолоджуючого повітря;
23. Криша;
24. Шнек завантаження вологого зерна;
25. Верхні сходи та площадка з огороженням;
26. Внутрішні інспекційні площадки з огороженням;
27. Зовнішня панель з «алюмоцинка».

Продукт обсипається вниз під дією сили гравітації через вузол вивантаження 9, що є причиною зигзагоподібного руху зерна та постійного перемішування;

Конструкція каналів та імпульсне вивантаження по всій площині колони забезпечують рівномірну розвантаження без застійних зон.

У першій зоні сушіння 7 продукт нагрівається гарячим повітрям і втрачає основну частину своєї вологи.

Переходячи з першої зони сушіння до другої продукт потрапляє в зону спокою куди не надходять повітряні струмені . Поки що зерно перебуває в цій зоні його волога розподіляється від серцевини до зовнішніх стінок, роблячи подальше сушіння більш легким та в значній мірі поліпшується рівномірність У другій зоні сушіння 9 із зерна видаляється надмірна вологість, що залишилася до необхідного рівня. Ширина зони охолодження є регульованої, і може змінюватися в залежно від особливості сухого продукту та умов зовнішнього середовища.

Приплив охолодного повітря регулюється спеціальними жалюзями 11. У разі сушіння без охолодження зерна у зерносушарці вся зерносушильна колона може використовуватися для процесу сушіння.

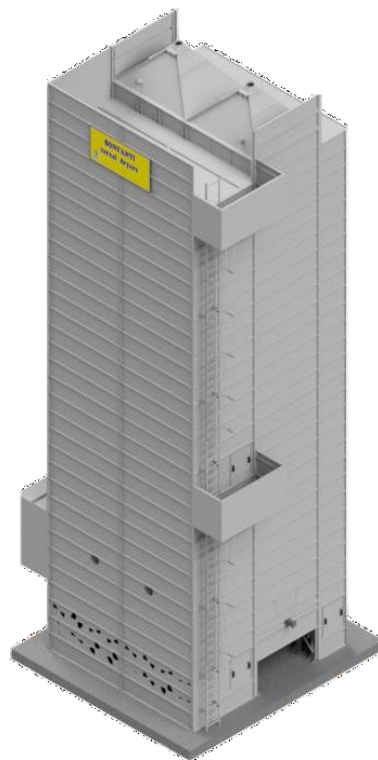


Рис 1.3. – Загальний вигляд зерносушарки

1.3 Технологічний об'єкта керування

Технологічна сутність процесу сушіння включає в себе всі аспекти процесу:

1. Розігрівання пальника: повітря розігрівається деякий час.
2. Продувка: на цьому етапі через зерно проходить велика кількість гарячого повітря. Найважливішим є контролювати температуру зерна, зоб запобігти перегріву
3. Охолодження: між першою та другою зону для рівномірного розповсюдження вологи зерно лежить та обдуватися для охолодження.

Після сушильна продувка: у другій зоні сушіння видаляють залишки вологи яка лишилася в зерні.

Роль пальника в системі керування полягає у забезпеченні вірного температурного режиму сушіння та відповідного

Пальник є ключовим елементом виробничого процесу, оскільки він визначає якість та правильність сушіння зерна. У системі керування сушіння важливе місце займає моніторинг параметрів продування сушарки, автоматизація регулювання обладнання та відслідковування показників якості сушки. Ось існуючі технологічні та технічні рішення щодо автоматизації сушарки можуть включати наступні аспекти:

1. Короткі описи методів регулювання температури в сушарці:

Ручне управління:

- Опис: найпростіший і найдешевший метод, де температура регулюється вручну за допомогою засувок або клапанів на подачі теплоносія.

- Переваги: простота, економія коштів.

- Недоліки: низька точність, трудомісткість, постійний контроль персоналом.

2. Термостати:

- Опис: автоматичні пристрої, які підтримують задану температуру, вмикаючи або вимикаючи джерело тепла.

- Переваги: автоматизація, простота використання, краща точність, ніж ручне управління.

- Недоліки: обмежена точність, неможливість програмування складних режимів сушіння.

3. ПД-регулятори:

- Опис: більш складні пристрої, які забезпечують плавне та точне регулювання, ґрунтуючись не лише на поточній температурі, але й на її зміні.

- Переваги: висока точність, економія енергії, краща якість сушіння, можливість програмування.

- Недоліки: більш висока вартість, складність налаштування.

4. Системи управління на основі мікроконтролерів:

- Опис: найсучасніші та найфункціональніші системи, які пропонують широкий спектр можливостей: програмування складних режимів сушіння, моніторинг параметрів, інтеграція з іншими системами.

- Переваги: максимальна точність, гнучкість, автоматизація, економія енергії, краща якість сушіння.

- Недоліки: найвища вартість, складність налаштування та обслуговування.

Основний варіант рішення завдання на проектування сушарки є у використанні ПД регулятор для контролю температури на вході у сушарку. Це дозволить забезпечити високу якість регулювання температурою повітря та ефективність регулювання, що зменшує вірогідність дефектів. Крім того можна розглянути варіант візуального моніторингу за параметрами сушіння у процесі.

При автоматизації тех. процесу пальника технічні та технологічні параметри можуть мати величезний вплив на вихідні параметри зерна, наприклад, вологість та температура. Це два найважливіших параметри

При здійсненні автоматизації технологічного процесу сушки зерна, технологічні та технічні параметри можуть має значний вплив на вихідні параметри. Деякі з найважливіших впливових факторів:

1. Температура сушильного агента: висока або недостатня температура агента може призвести до втрат якості зерна, його властивостей або псуванню зерна

Тиск повітря: впливає на швидкість подачі теплого повітря та при великому тиску можливе конструктивне порушення сушарки.

2. Регулювання параметрів: можливість регулювання всіх вищезгаданих параметрів для оптимізації виробничого процесу відповідно до вимог та характеристик конкретного виробу.

Управління цими параметрами дозволяє досягти оптимальної якості пакування, забезпечити стабільну продуктивність та знизити відхилення від стандартів якості виробництва.

Згадані фактори підкреслюють важливість належного регулювання технологічних та технічних параметрів при автоматизації зерносушарки. Особливо важливо контролювати температуру агента, оскільки вона впливає на якість з'єднання матеріалів. Недостатньо низька температура може призвести до поганої якості зерна, а надмірна температура може спричинити перегрівання зерна або навіть пожежі. Важливо забезпечити оптимальні умови, щоб забезпечити якісну сушку.

Одним з аспектів, який я планую описати та регулювати, є система контролю та підтримки оптимальної температури сушильного агенту. Це може включати в себе використання датчиків для постійного вимірювання температури і автоматичного регулювання обігріву чи охолодження системи залежно від змін зовнішніх умов або властивостей конкретної сушарки. Такий підхід дозволить уникнути перегріву або недогріву зерна, забезпечуючи при цьому стабільність і надійність

1.4. Інформаційний аналіз технологічного об'єкта керування

Критерій ефективності пальника для технологічних процесів можна визначити через кілька ключових параметрів:

1. Чистота агенту: одним з найголовніших факторів є чистота повітря яким обдувається зерно. При великому забрудненні повітря такими речовинами як: оксид азоту, оксид сірки, чадні гази та легкі органічні сполуки(смог).
2. Продуктивність: ефективність пальника полягає в здатність ним швидко розігрівати повітря та проганяти через себе.
3. Надійна: пальник має бути стійкий до відмов та здатен працювати довгий проміжок часу.
4. Ефективність використання ресурсів: пальник має бути економним та використовувати мінімальну кількість палива.
5. Система моніторингу: пальник має бути обладнаний системою моніторингу за температурою.

Отже, гарний пальник для технологічного процесу сушки зерна має забезпечувати дані параметри та мати систему моніторингу.

Таким чином інформаційна схема пальника має бути побудована таким чином:

1. Вхідний матеріал: холодне повітря
2. Блок нагріву повітря: елемент, який нагріває повітря для подальшого використання.
3. Сопло пальника: частина конструкції яка задає напрям гарячому потоку повітря.
4. Система контролю та регулювання: датчики температури, що контролює процес нагріву повітря та регулятори та програмне забезпечення для налаштування параметрів роботи.
6. Вихідний продукт: гаряче повітря яке потім подається в відсіки з зерном.

7. Система моніторингу та управління: контрольні панелі, індикатори для спостереження за роботою сушарки та виправлення будь-яких неполадок та Системи автоматичного управління, які реагують на зміни в процесі та відновлюють оптимальні параметри роботи.

При виборі параметру контролю та сигналізації потрібно враховувати техніку безпеки та аспекти ефективності та надійності пристрою. Таким чином нижче наведено параметри які є важливими:

1. Температура повітря: контроль та моніторинг температури дозволяє уникнути перегріву або недостатнього нагріву, що може призвести до погіршення якості сушки.

2. Тиск потоку повітря: важливо контролювати тиск подачі повітря через можливі механічні пошкодження обладнання.

3. Стан обладнання: система моніторингу стану обладнання, яка включає в себе датчики температури агенту та зерна.

4. Автоматичне відключення при перевищенні параметрів: система захисту повинна мати можливість автоматично відключати палик у разі перевищення критичних параметрів, таких як значного перевищує температура палика, щоб уникнути пошкодження обладнання або аварійних ситуацій.

5. Система сигналізації помилок і аварій є важливою частиною будь-якої системи управління. Вона допомагає операторам швидко ідентифікувати та реагувати на проблеми, що можуть виникнути під час роботи.

6. Автоматичне регулювання параметрів: в системах керування автоматичне регулювання параметрів використовується для підтримки певних величин на заданому рівні або відповідно до заданого закону. Це досягається за допомогою зворотного зв'язку з датчиків, які постійно вимірюють значення параметрів.

1.5. Розробка функціональної схеми автоматизації процесу сушіння зерна

На функціональній схемі зерносушарки SHTRAL 18000FR яку вказано на рисунку 1.4 зображено автоматизацію потоків сушильного агента та зерна

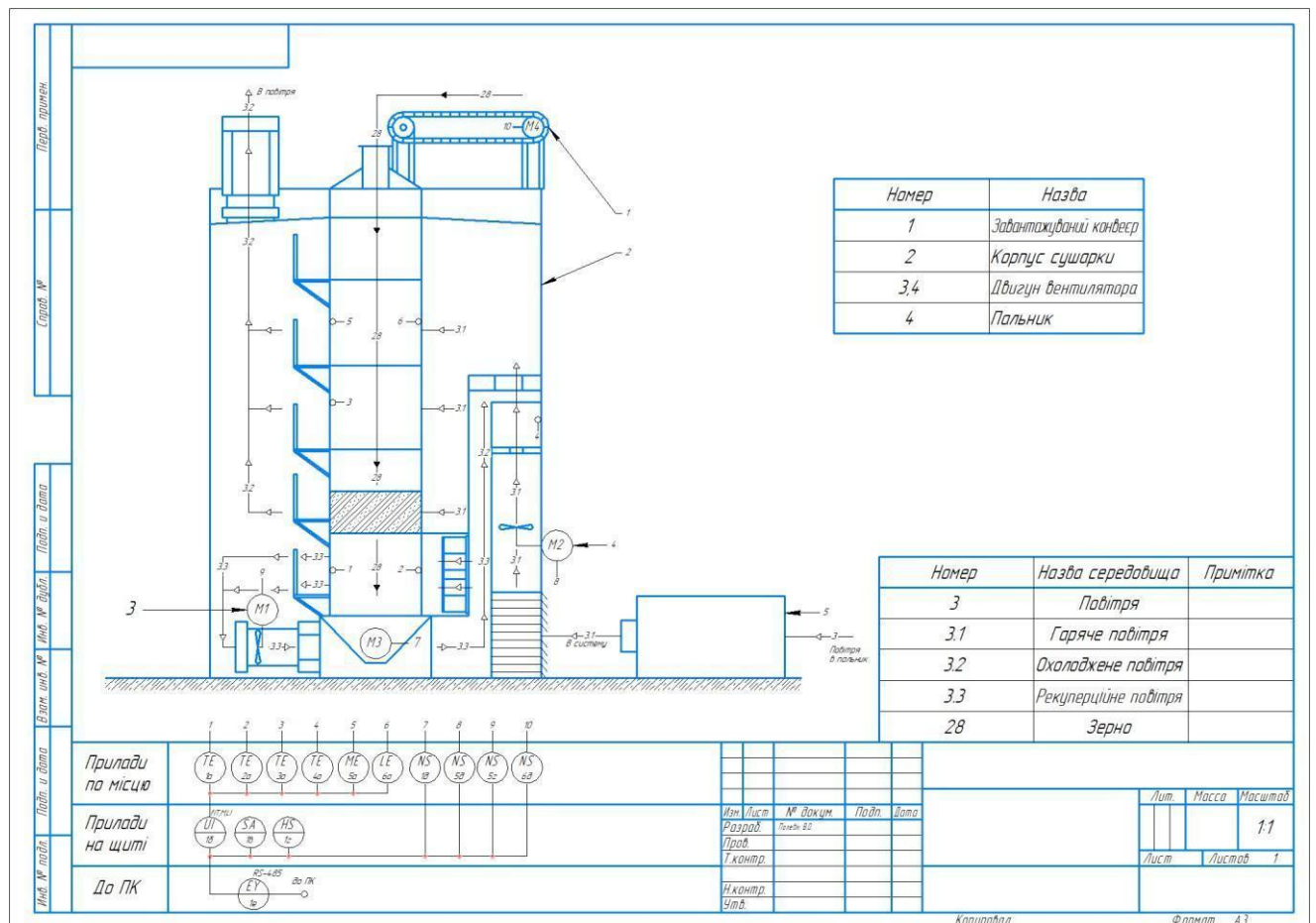


Рис. 1.4. Фрагмент функціональної схеми автоматизації

TE(1a) – датчик температури який вимірює температуру зерна в вигрузному відсіку.

TE(2a,3a,4a) – датчики температури які міряють температуру в сушильному та охолоджувальному відсіках.

ME(5a) – датчик вологості у вигрузному відсіку.

LE(6a) – датчик вологості у першому відсіку.

UI(1в) – регулятор

SA – перемикач з ручного в автоматичний режим

Н – Кнопки керування ручним управлінням

NS(1д,6д) – пускачі загрузних та вигрузних конвеєрів

NS(5г,5д) – пускачі вентиляторів

Опис функціональної схеми

автоматизації Початок роботи:

- ввімкнення живлення;
- завантаження першої секції;
- перевірка датчиком рівня заповнення першої секції;
- вмикається пальник;
- запускаються вентилятори;
- продувка зерна;
- спуск зерна у зону охолодження;
- спуск зерна у другу зону для видалення залишків вологи;
- замір вологості та температури сухого зерна;
- вигрузка зерна;

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗЕРНОСУШАРКИ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

2.1 Побудова математичної моделі

Зерно має значний вміст вологи. Для його кращого зберігання і поліпшення умов транспортування вміст вологи в зерні необхідно зменшити.

По даних практики зернові вважаються сухими коли частка вологи в них складає менше 0,14, середньої сухості 0,14 – 0,16, вологими 0,16 – 0,17, а для зерна вівса і кукурудзи 0,16 – 0,18 і мокрими, коли частка вологи перевищує 0,17, а для зерна вівса і кукурудзи 0,18.

Існує багато способів зменшення вологи, але в даному випадку вологу слід видалити із зерна шляхом випаровування, тобто за допомогою сушіння. Розповсюдженим способом сушіння зерна в промислових зерносушарках є конвекційне сушіння, тобто сушіння в потоці сушильного агента – нагрітого повітря.

Процес сушіння пов'язаний з підводом до зерна, яке висушуємо, тепла, за рахунок якого проходить випарювання вологи. Для відведення випареної вологи використовують повітря, або суміш повітря з продуктами згоряння палива, яке насичується вологою, що дифундує з поверхні зерна.

Через це сушіння з одного боку є дифузійним процесом, а з іншого – тепловим. Це складний технологічний процес, в результаті якого змінюються властивості зерна.

Процес сушіння зерна починається з випаровування вологи з поверхні зерна. Із зменшенням вологи на поверхні починається дифузія вологи із середини зерна до його поверхневої частини. Із зменшенням вмісту вологи під час процесу сушіння температура на поверхні і у внутрішній частині поступово підвищується.

Коли середня вологість зерна досягає рівноважного значення, тобто стає рівною гігротермічному вологовмісту повітря навколишнього середовища, сушіння зерна закінчується. Температура зерна в цей час стає близькою до температури сушильного агента – повітря.

В результаті дослідження процесу сушіння ми можемо отримати цілий ряд кінетичних кривих. Кривою кінетики сушіння є зміна середнього вологовмісту зерна під час процесу сушіння. Кривою кінетики нагрівання матеріалу є зміна середньої по об'єму температури зерна під час процесу сушіння.

Сушіння поділяється на два етапи. На першому етапі видаляється волога, яку можна розглядати, як випарювання вологи з вільної поверхні.

На другому етапі видаляється зв'язана волога. В цей період тиск водяної пари на поверхні матеріалу стає функцією від температури матеріалу і його вологості на поверхні. По табличних даних було отримане рівняння залежності тиску насиченої водяної пари від температури, мм. рт. ст.:

$$P = 5.343124 + 0.027872 * t + 0.032135 * t^2 - 3.40325 * 10^{-4} * t^3 + 7.72 * 10^{-6} * t^4 \quad (2.1)$$

Це рівняння можна використати для визначення вологовмісту пароводяної суміші (кг водяної пари/кг сухого повітря):

$$dn = 0.622 * \frac{fi * P_{нас}}{Pb - fi * P_{нас}}, \quad (2.2)$$

де: 0,622 – відношення мольних мас водяної пари і повітря, f_i - відносна вологість повітря, P_b – загальний (барометричний) тиск парогазової суміші.

Розглянемо процес сушіння зерна в статичному режимі у вигляді матеріальних і енергетичних балансів. Математична модель сушіння у вигляді «чорного ящика» показана на рис. 2.1

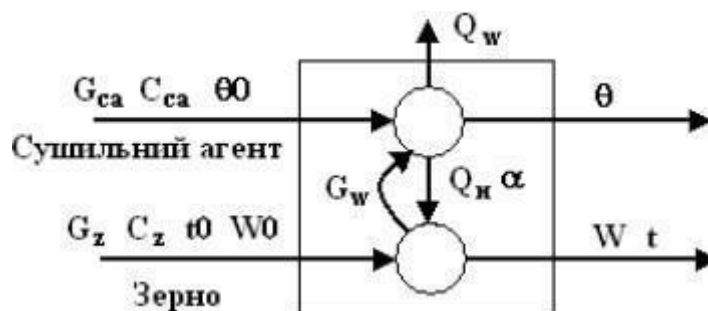


Рис 2.1. Структурна схема лінійно-динамічної моделі АН

В структурній схемі процесу сушіння: G_{ca} , G_z – витрати сушильного агента і зерна, C_{ca} , C_z – теплоємність сухого повітря і зерна, t_0 і θ_0 – початкові значення температури зерна і сушильного агента, t і θ – температури цих самих продуктів на виході сушарки, W_0 і W – початковий і кінцевий вологовміст зерна, G_w – випарена волога із зерна, Q_n і Q_w – витрати тепла на нагрівання зерна і випарювання вологи, α - коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна. Наведемо рівняння енергетичних балансів по сушильному агенту, гарячому повітрю і зерну. Вважаємо, що тепло нагрітого повітря витрачається на підігрівання зерна і випарювання вологи з нього:

$$G_{ca} * C_{ca} - Q_w - Q_n - Q_{ca \text{ вих}} = 0 \quad (2.3)$$

$$C_z * G_z + Q_n - Q_{z \text{ вих}} = 0$$

Матеріальний баланс по зерну:

$$C_z - C_w - G_{z \text{ вих}} = 0 \quad (2.4)$$

де: $Q_{ca \text{ вих}}$, $Q_z \text{ вих}$, $G_{z \text{ вих}}$ – витрати тепла сушильного агента і зерна, а також маса зерна на виході із сушарки.

Так як перший період займає незначну частину часу сушіння зерна, то ми розглянемо сушіння основного другого періоду. В цей період сушіння пов'язане з переміщенням вологи всередині матеріалу. Рушійною силою цього періоду сушіння є різниця між вологовмістом зерна W і рівноважним вологовмістом W_p . Швидкість сушіння тоді матиме вигляд

$$-\frac{dw}{d\tau} = K(W - W_p) \quad (2.5)$$

де K – коефіцієнт сушіння, який характеризує інтенсивність процесу вологообміну. Коефіцієнт сушіння K знаходиться експериментально. Якщо на другому етапі швидкість сушіння представити прямою, то коефіцієнт сушіння буде рахуватися так:

$$K = \frac{1}{R} \times \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{4 \times K}{\pi^2 \times a_m}} \quad (2.6)$$

де: R – визначальний геометричний розмір тіла (зернини), яке висушуємо, м;

β – коефіцієнт зовнішнього вологообміну, м/с.; a_m – коефіцієнт потенціалопровідності масопереносу, м²/с.

Коефіцієнт потенціалопровідності масопереносу аналогічний коефіцієнту температуропровідності і залежить в основному від форм зв'язку вологи з матеріалом і температури матеріалу і визначає внутрішній перенос вологи.

Допускаємо, що процес нагрівання частинок матеріалу (зернин) безградієнтний, а вологість по об'єму рівномірна і втрат в навколишнє середовище немає.

Складемо рівняння теплового балансу для визначення зв'язку між нагріванням і швидкістю сушіння. Для періодичного процесу сушіння це буде рівняння, де температура і вологовміст змінюється в часі:

$$\frac{d\theta}{d\tau} G'c - \frac{dW}{d\tau} rG_0 = \alpha * F(t - \theta) \quad (2.7)$$

Для безперервного процесу температура і вологовміст зерна змінюється по довжині сушарки:

$$\frac{d\theta}{dx} G'c - \frac{dW}{dx} rG_0 = \alpha * F(t - \theta) \quad (2.8)$$

де θ - середня температура матеріалу; W - середній вологовміст матеріалу; c – питома теплоємність матеріалу; r – теплота пароутворення; t – температура сушильного агенту; G і G_0 – витрати вологого і сухого матеріалу; α - коефіцієнт теплообміну; F – площа поверхні матеріалу; τ – час; x – координата (у напрямку руху зерна).

Розглянемо процес сушіння в сушарці безперервної дії. Математична модель сушарки буде спрощеною і не враховувати першого етапу сушіння, етапу нагрівання зерна. Коефіцієнт тепловіддачі від сушильного агенту до зерна також буде вважатися постійною величиною. Значення змінних в рівняннях для визначення коефіцієнту сушіння K , рівноважного вологовмісту W_p використані по даних вчених, які вивчали процес сушіння зерна. Таким чином рівняння рівноважного вологовмісту, в частках до вмісту сухих речовин, має вид:

$$W_p = 0.01 * \left(\frac{|\ln(1-fi)|}{5.47 * 10^{-6} * (t+273)} \right) \quad (2.9)$$

5,55

Значення відносної вологості повітря знаходимо з рівняння (5.2)

$$f_i = \frac{(P_b - P_{нас}) + d_n}{0,0622 + P_{нас}} \quad (2.10)$$

Коефіцієнт сушіння, 1/с,
знаходимо з рівняння:

$$K = \frac{5,55 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4} - 0,00796 \cdot t}{3600} \quad (2.11)$$

Рівняння статички процесу сушіння (5.3), (5.4) перетворимо на рівняння динаміки і складемо систему диференційних рівнянь по температурі зерна, сушильного агента (повітря) в град С і вмісту води у зерні, в частках. Приведемо рівняння:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{G_z \cdot \alpha \cdot \sigma}{G_{ca} + C_{ca}} (\theta - t) \quad (2.12)$$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\sigma \cdot \alpha}{C_{ca}} (t - \theta) + \frac{r \cdot 10^{-2}}{C_z(1+w)} \frac{dW}{d\tau} \quad (2.13)$$

$$\frac{dW}{d\tau} = K(W - W_p) \quad (2.14)$$

де: σ – питома поверхня зерна м²/кг; α - коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна, Вт/м² град; r – теплота пароутворення, Дж/кг.

На рисунку 2.2 наведено імітаційну модель системи в середовищі Mathlab/Simulink аби аналізувати поведінку системи без фізичного експерименту

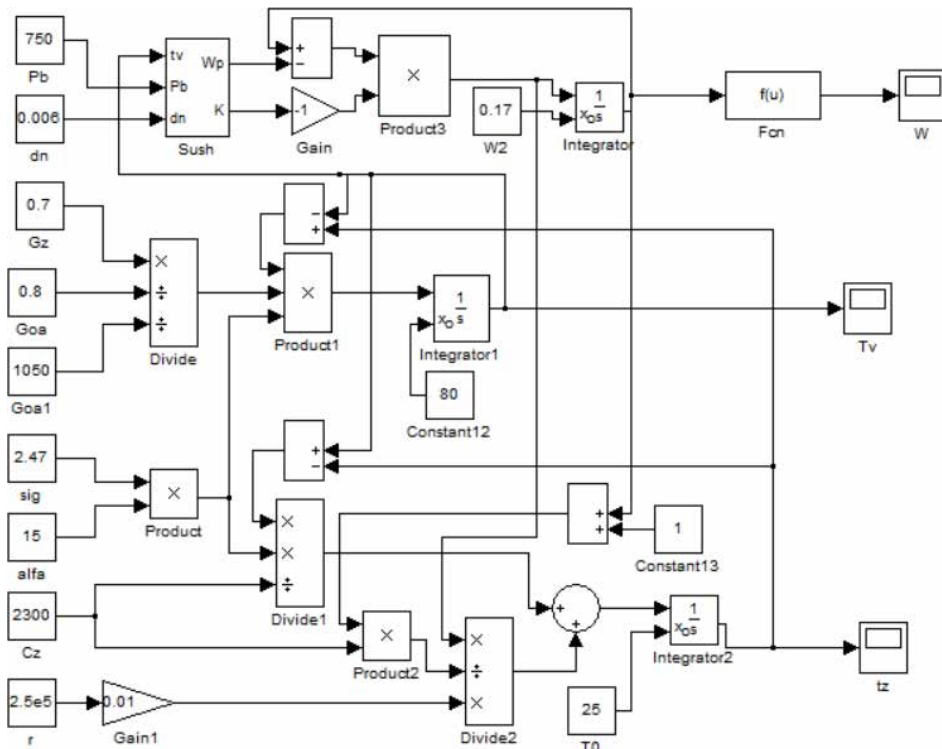


Рисунок 2.2 – імітаційна модель у комп’ютерній середовищі MathLab/Simulink

Також створено графік імітаційної динамічної характеристики в комп’ютерній середовищі Matlab/Simulink

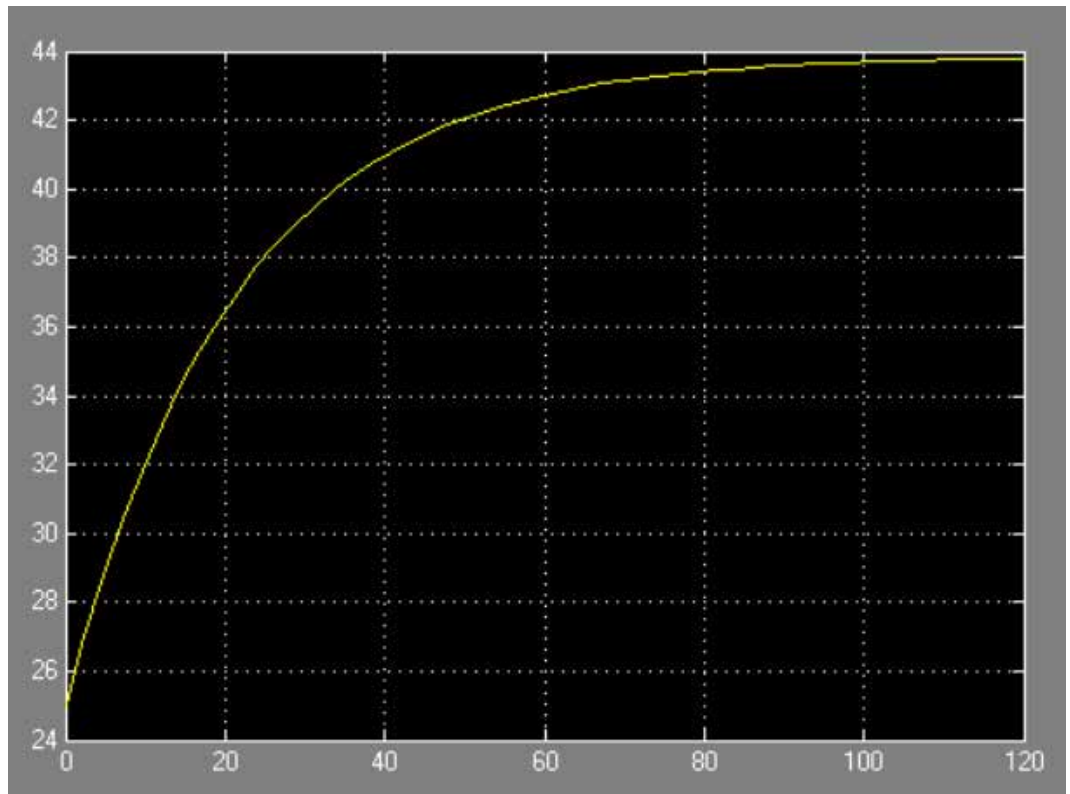


Рисунок 2.3 – Імітаційні динамічні характеристики АН в комп’ютерній середовищі MATLAB/Simulink

Визначення передатної функції:

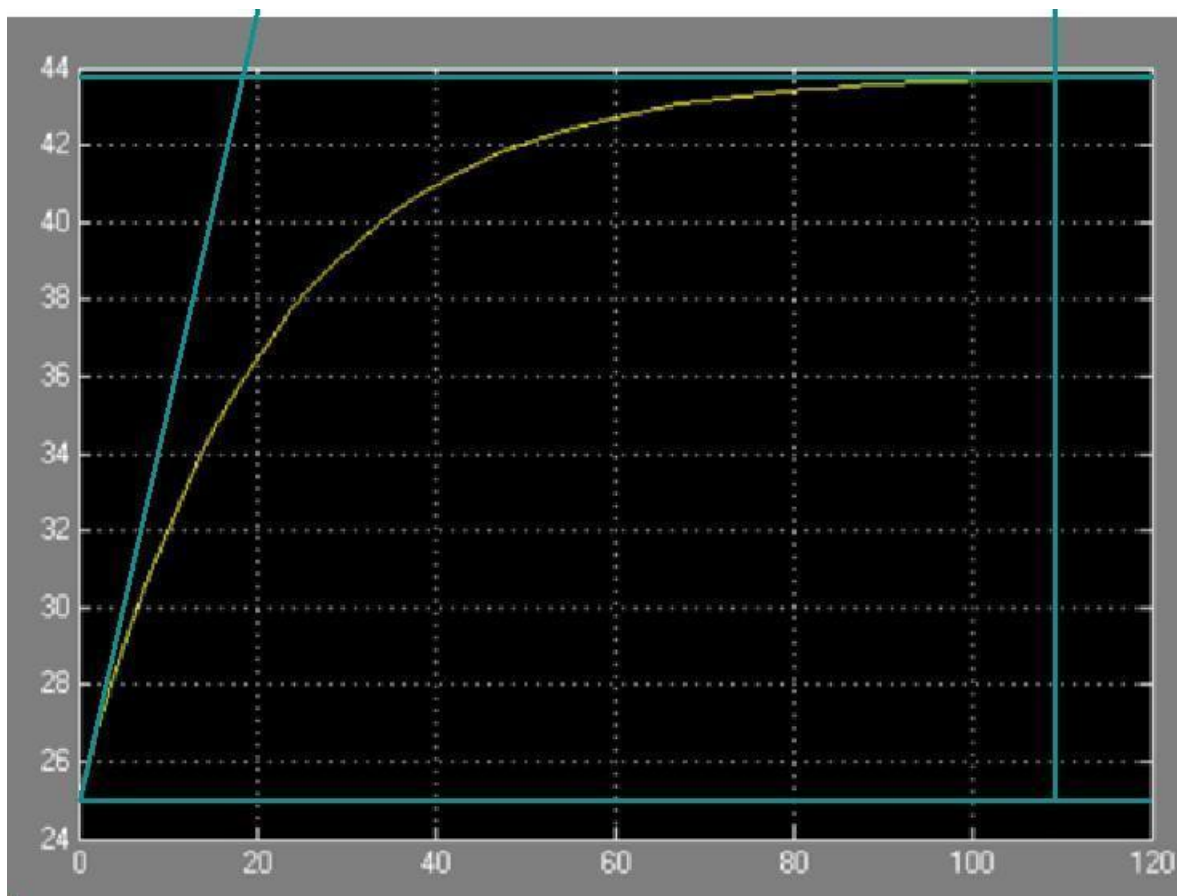


Рис. 2.4. Визначення передатної функції з графіка перехідного процесу

Постійна часу дорівнює 110с

$$T=110\text{с} \quad (2.15)$$

Діленням усталеного значення на початкове визначаємо коефіцієнт пропорційності.

$$k = \frac{44}{25} = 0,044 \quad (2.16)$$

Таким чином передатна функція об'єкта має такий вигляд:

$$W(s) = \frac{0,044}{110 \cdot s + 1}$$

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ЗЕРНОСУШАРКОЮ

3.1 Обґрунтування та вибір алгоритму керування температурою в зерносушарці

На стадії проектування вибір алгоритму управління є важливим для процесу, адже вплине на весь процес сушіння зерна. Існує 3 алгоритми вибору між якими залежить від співвідношення між постійною часу та запізненням та

має наступний вигляд:

$$T_{\tau} = \frac{0}{110} = 0 \quad (3.10)$$

Згідно з правилами вибору алгоритму керування

- $0,2 \leq \tau/T \leq 1$ – лінійний закон;
- $\tau/T < 0,2$ – позиційний закон;
- $\tau/T > 1$ – імпульсний алгоритм.

Для даного об'єкта підходить позиційний закон, але через те, що процес сушки зерна потребує досить високої точності у вимірювання температури, потрібна швидкість регулювання та мінімальне перерегулювання.

Через статичність об'єкту, обираємо аперіодичний перехідний процес та маємо залежність:

$$R_d = \frac{y_1}{K_0 y_{max}} \quad (3.2)$$

де R_d – динамічний коефіцієнт регулювання; K_0 – передатний коефіцієнт об'єкта; y_1 – максимальне динамічне відхилення, яке дорівнює 5°C ; y_{max} – максимальне можливе значення збурення, яке дорівнює 35%.

$$R_d = \frac{5}{1,789 \cdot 35} \quad (3.3)$$

Можна обрати конкретний типовий перехідний процес, враховуючи вимоги до керованого об'єкта. Зокрема, згідно з технологічними вимогами, час регулювання об'єкта не має перевищувати 1500 секунд, а відхилення температури повинно залишатися в межах -5°C .

Тому доцільно обрати аперіодичний процес через його максимальне динамічне відхилення та мінімальний час регулювання. За рис. 3.1, а знаходимо П-алгоритм керування.

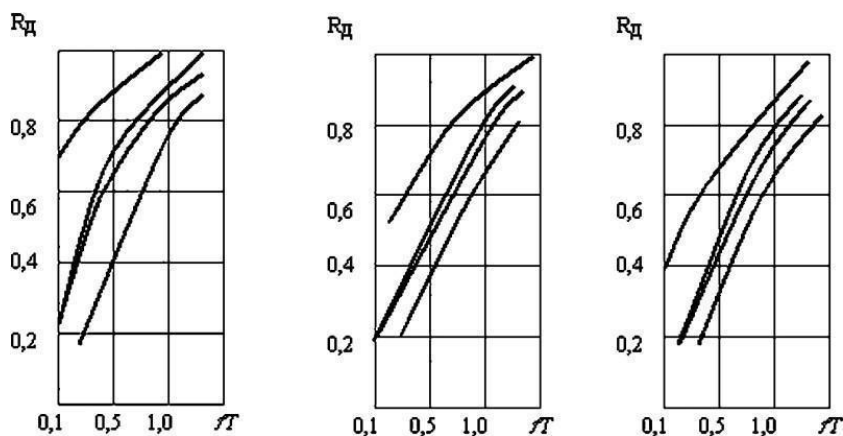


Рис. 3.1. Залежність динамічного коефіцієнта регулювання від динамічних властивостей ОК

1. П алгоритм
2. І алгоритм
3. ПІ алгоритм
4. ПІД алгоритм

а – для аперіодичного перехідного процесу; б – для коефіцієнта передачі об'єкта перехідного процесу з 20%-вим перерегулюванням; в – для перехідного процесу з мінімальним інтегральним показником якості.

Перевіряємо забезпечення потрібного часу регулювання. За табл. 3.1 обираємо відносний час регулювання $\Psi=4.5$.

Відносний час регулювання

Алгоритм керування	Об'єкт	Відносний час регулювання		
		аперіодичний	Із 20% перерегул.	Із. Мні. Інтеграл. Критер.
П	Статичний	4,5	6,5	9,0
	Астатичний	6,0	8,0	-
ПІ	Статичний	8,0	12,0	16,0
	Астатичний	14,0	16,0	18,0
ПІД	Статичний	5,5	7,0	10
	Астатичний	9,0	12	13

За формулою 3.2 обчислюємо час регулювання

$$t_{PI} = 4,5 * 0 = 0(c)$$

Виходячи з розрахунків маємо, що П-алгоритм підходить, але має суттєвий недолік у вигляді статичної похибки.

$$Delta = K * u_{max} * k$$

де: k – коефіцієнт для визначення статичної похибки П-алгоритму керування. Тому за рис.3.2 визначаємо коефіцієнт для обрахунку статичної похибки.

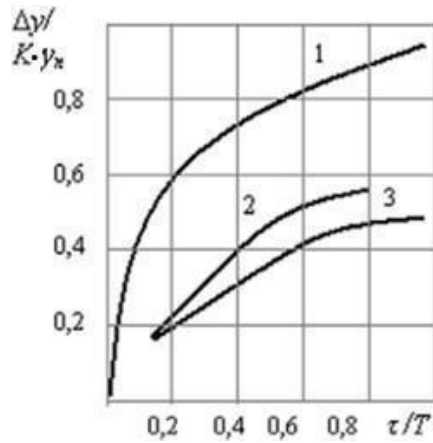


Рис. 3.3. Графічні залежності для визначення статичної похибки за умов використання П-алгоритму керування

Де: 1 – для типового аперіодичного процесу

2 – з 20% перерегулюванням

3 – з мінімальним інтегральним показником

якості Обрахуємо статичну похибку

$$\delta = 1,789 * 45 * 0,67 = 53\% \quad (3.4)$$

Оскільки статична похибка більша за допустиму то П-алгоритм не задовольняє вимоги.

Для ПІ-алгоритму за матеріалами таблиці 3,1 знаходимо $\Psi=8$.

$$t_{PI} = 8 * 40 = 320 \text{ с.} \quad (3.5)$$

З розрахунків видно, що $320 \text{ с} < 1500 \text{ с}$.

Оскільки, ПІД – алгоритм забезпечує час регулювання, який вимагається, і для нього відсутня похибка, то його й слід обрати.

3.2. Розробка функціональної та принципової схем системи автоматичного регулювання

Функціональна схема, зображена на рисунку 3.3, представляє графічне відображення набору функціональних блоків і їх взаємозв'язків, що утворюють систему. Кожен з цих блоків приймає вхідний сигнал, тобто вплив, і генерує вихідний сигнал. При створенні функціональної схеми вихідна система автоматичного регулювання (САР) розбивається на елементи згідно з їх функціональними ролями у системі керування.

При побудові структурних схем САР вона розбивається на динамічні ланки. Тут динамічна ланка визначається як будь-який пристрій фізичної природи, описаний диференціальним рівнянням не вище другого порядку.

Для реалізації фізичних з'єднань компонентів на рисунку 3.3 показана функціональна схема САР

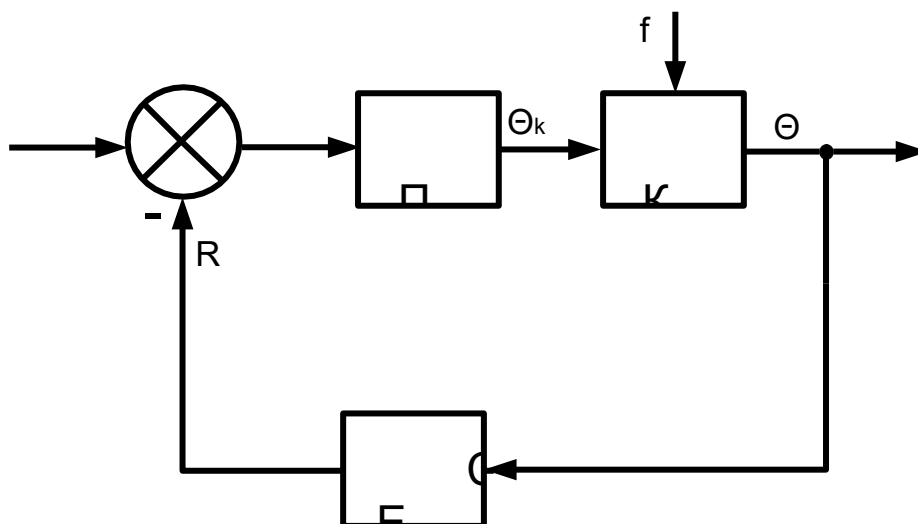


Рис. 3.5. Функціональна схема САР

На рисунку 3.4 наведено електричну принципову схему для розуміння роботи системи

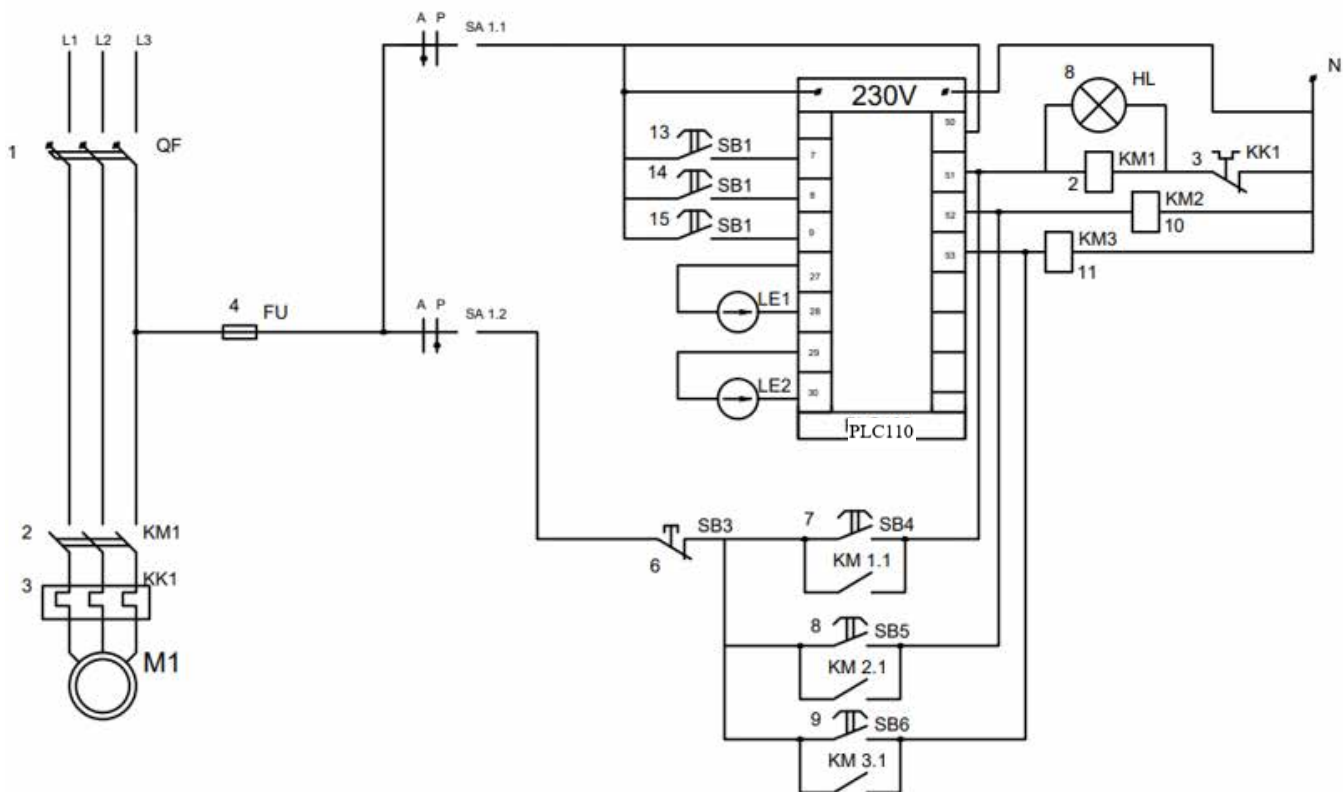


Рис. 3.6 Фрагмент електричної принципової схеми

Поз. познач	Найменування	Кіл .	Примітка
QF	Автоматичний вимикач	1	ВА47-29 3Р 50А
FU	Запобіжник із плавкою вставкою	1	
SA	Пакетний перемикач	1	
SB1-SB4	Кнопкові пости	4	
LE1, LE2	Датчики рівня	2	SI-FMF21 FMCW
PLC110	Програмований логічний контролер	1	
M1	Двигун	1	AIP200L2
KM1	Магнітний пускач	1	
KM2	Магнітний пускач	1	Для керування заслонкою чистої рідини
KM3	Магнітний пускач	1	Для керування заслонкою осаду
KK1	Теплове реле	1	Захист двигуна

Електрична принципова схема, згідно з ДСТУ ГОСТ 2.702:2013, надає повне уявлення про структуру та принцип роботи конкретного об'єкту. Для створення цієї схеми використовується стандарт ГОСТ 2.708-81, який не враховує габаритні розміри та реальне розташування деталей об'єкта.

Електричні принципові схеми використовуються для зображення всіх компонентів та з'єднань об'єкту згідно з ГОСТ 2.709-89. При розробці схеми враховуються положення таких стандартів, як ГОСТ 2.701-84 і ГОСТ 2.702-75, що регламентують види, типи та правила виконання електричних схем. Принципові схеми керування складаються з силових ланцюгів та допоміжних ланцюгів керування і захисту. Вони є складним поєднанням елементарних електричних ланцюгів і функціональних вузлів, які забезпечують виконання стандартних операцій. Головна мета принципової електричної схеми керування - забезпечити безпеку, надійність, зручність у використанні та економічність у роботі технологічного обладнання.

3.3 Вибір первинного вимірювального перетворювача

При виборі датчика температури для шахтної зерносушарки потрібно враховувати такі фактори:

- точність, датчик повинен мати достатню точність для вимірювання вологості зерна з потрібною точністю, що зазвичай вимірюється відсотками від повного масового вмісту води;
- діапазон вимірювання: оберіть датчик, який має широкий діапазон вимірювання вологості, щоб відповідати різним типам зерна і умовам сушіння;
- швидкість відгуку: важливо, щоб датчик мав достатньо швидкий час реакції, щоб вимірювати зміни вологості зерна в реальному часі;
- монтаж та захист: потрібно врахувати, як датчик буде монтуватися в шахтній зерносушарці і як його можна захистити від пилу, води та інших агресивних середовищ;

В якості датчика вологості для нашого об'єкту було обрано трансмітер вологості ТСП 100П (-50...150 град.) який зображений на рис. 3.4.



Рисунок 3.7. Зовнішній вигляд первинного вимірювального перетворювача

Даний датчик був обраний через його високу точність вимірювання і швидке реагування. Інші характеристики зображені в таблиці 3.6

Таблиця 3.2

Технічні характеристики датчика температури

Температура	-50.....150 °C
Точність	0.3 °C
Напруга	220В
Клас захисту	IP 65

Виберемо термометр опору, згідно з нерівністю

$$T_{ce} < 0.1 * T_{object}$$

$$T_{ce} < 2.76$$

Оберемо ТСП100П

Назва: ТСП100П

Градуювання: 22

Діапазон вимірювання: -50...150

Теплова інерція (ТСС): 9м

Передатна функція: $\frac{0,39}{22s+1}$

Обираємо платину згідно з матеріалу виготовлення ПВП

Коефіцієнт $a = 0.39 * 10^{-3}$

$$k_{ce} = R_0 * \alpha \tag{3.6}$$

$$k_{ce} = 100 * 3.9 * 10^{-3} = 0.39 \tag{3.7}$$

Передатна функція є інерційною ланкою:

$$W_{CE}(s) = \frac{k_{ce}}{T_{cc}s+1} * e^{-\tau s} = \frac{0,09 * e^{-1}}{2s+1} \tag{3.8}$$

3.3 Вибір виконавчого пристрою

В зерносушарці типу Shtral 18000FR виконавчий пристрій подається у вигляді вентиляторів з двигуном, котрі подають теплоносій в середину зерносушарки.

Для цього було обрано радіальний вентилятор Bahçivan Motor OBR 260 M-2K з двигуном AIP90L4 (рис 3.6) .

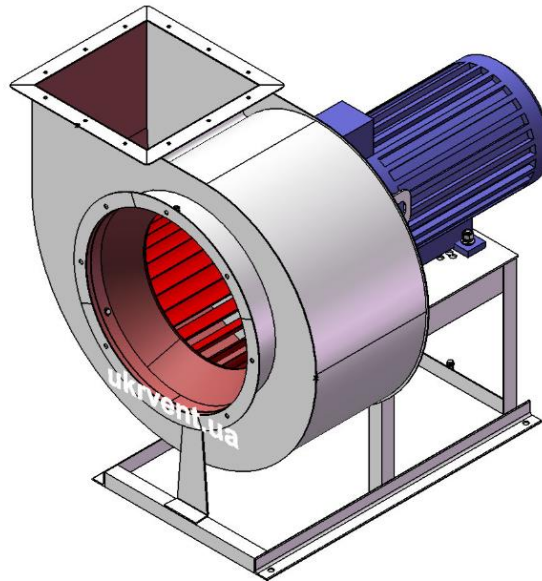


Рис. 3.8. Зовнішній вигляд вентилятора

В таблиці 3.3 можна побачити його характеристики

Таблиця 3.3

Технічні характеристики вентилятора OBR 260 M-2K

Діапазон температур	0 ... 100 ⁰ С
Напруга	380 В
Частота	50 Гц
Потужність	30000 Вт
Швидкість обертання	3000 об/хв
Продуктивність	11000 м ³ /ч
Постійна часу	10 с
Вага	11.2 кг
Тиск	11000

Для розрахунку передатної функції регулюючого елементу, в нашому випадку вентилятора, маємо наступну формулу:

$$W_{pro}(s) = k \quad (3.9)$$

Де T_p – постійна часу об'єкта; k – коефіцієнт передачі

$$K = \frac{A}{P} \quad (3.10)$$

Де A -продуктивність; P – потужність

$$k = \frac{3000}{18000} = 0,6 \quad (3.11)$$

Виходячи з цього, ми можемо визначити передатну функцію:

$$W_{fan}(s) = 0,6 \quad (3.12)$$

В якості двигуна було обрано АІР200L2, який вказано на рисунку 3.4



Рис. 3.9. Зовнішній вигляд двигуна АІР90L4.

Технічні характеристики АІР90L4

Тип двигуна	Асинхронний
Кількість фаз	3
Номінальний струм	118 А
Потужність	45000 Вт
Швидкість обертання	3000 об/хв
Вага	250 кг
ККД	Не менше 80%
ІР	55

Передатна функція виконавчого механізму, котрий представлений двигуном, має наступний вигляд:

$$W_{BM}(s) = \frac{K_{BM}}{s} \quad (3.13)$$

Час оберту вихідного валу двигуна розраховується за таким принципом

Для розрахунку часу одного оберту вихідного валу асинхронного двигуна АІР200L2 потрібно знати такі параметри.

- Частота живлення 50Гц
- Кількість пар полюсів 2

Розраховуємо синхронну швидкість обертання двигуна за формулою:

$$P_{об} = \frac{120 \cdot f}{p} = 3000 \frac{об}{хв} \quad (3.14)$$

Щоб знайти час одного оберту вихідного валу за секунду треба використати таку формулу:

$$n_{сек} = \frac{3000}{60} = 50 \frac{об}{сек} \quad (3.15)$$

Час одного оберту:

$$W_{ПК}(s) = \frac{0.02}{s} \quad (3.17)$$

$$t = \frac{1}{60} = 0,02 \text{ с} \quad (3.16)$$

Еквівалентна передатна функція має вигляд:

$$W_{BM} = \frac{W_{ПК}(s)}{1+W_{ПК}(s) \times W_{ЗЗ}(s)} = \frac{\frac{0,02}{s}}{1+\frac{0,02}{s}} = \frac{1}{50s+1} \quad (3.18)$$

3.4 Розробка структурно-алгоритмічної схеми системи автоматичного регулювання

Структурно-алгоритмічна схема - це графічне представлення алгоритму або процесу, яке показує послідовність виконання операцій та логічні зв'язки між ними. Вона складається з блоків, які представляють окремі етапи або кроки алгоритму, і стрілок, що вказують напрямок виконання.

Структурно-алгоритмічна схема допомагає візуалізувати процес виконання програми або алгоритму, що допомагає розуміти його логіку та легше аналізувати. Вона є важливим інструментом для розробників програмного забезпечення та інженерів, які працюють над створенням алгоритмів та програм. Зображення цієї схеми на рисунку 3.5

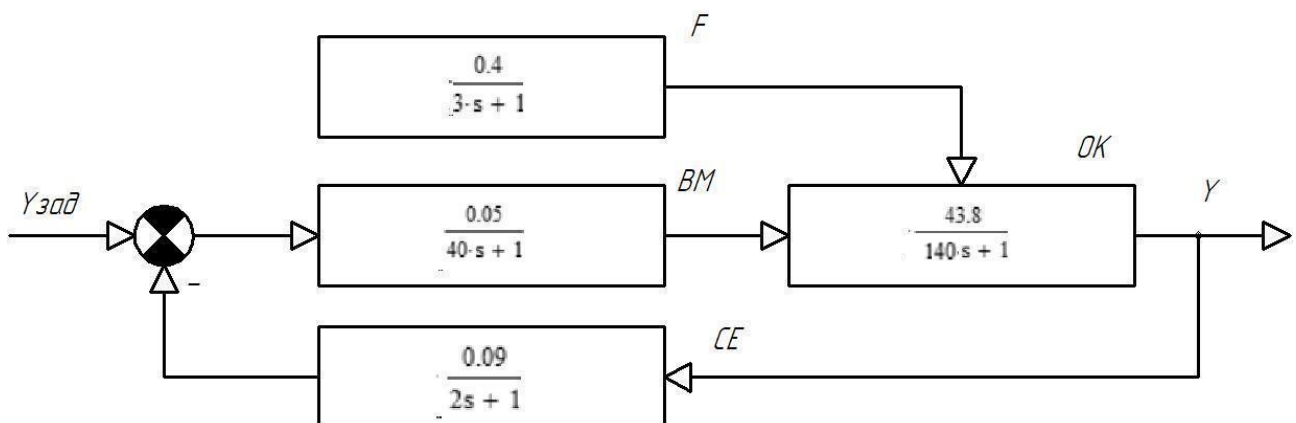


Рисунок 3.10 Зображення структурно-алгоритмічної схеми

$k_f=0,4$; $T_f=3$ для блоку F;

$k_{vm}=0,05$; $T_{vm}=40$ для вимірювача;

$k_{ce}=0,09$; $T_{ce}=2$ для елемента CE;

$k_0=43,8$ -коефіцієнт підсилення об'єкту

$T_0=140$ -постійна часу, яка характеризує швидкість реакції об'єкту

3.5 Визначення передатних функцій

А) Розімкнутої системи

$$W(s) = W_{\text{sensor}}(s) * W_{\text{pal}}(s) * W_{\text{object}}(s)$$

$$W_{\text{roz}} = \frac{0,09}{2s + 1} * \frac{0,05}{40s + 1} * \frac{43,8}{140s + 1}$$

$$W_{\text{roz}}(s) = \frac{0,09 * 0,05 * 43,8}{(2 * 40 * 140) * s^3 + (2 * 40 + 2 * 140 + 140 * 40)s^2 + (2 + 40 + 140)s + 1}$$

$$W_{\text{roz}}(s) = \frac{0,197 * e^{-1*s}}{2208s^3 + 1239s^2 + 69,6s + 1}$$

Б) Замкнутої системи за керуванням

$$W_{\text{zam}}(s) = \frac{\frac{0,197 * e^{-1*s}}{2208s^3 + 1239s^2 + 69,6s + 1}}{1 + \frac{0,197 * e^{-1*s}}{2208s^3 + 1239s^2 + 69,6s + 1}}$$

$$W_{\text{zam}}(s) = \frac{0,197 * e^{-1*s}}{2208s^3 + 1239s^2 + 69,6s + 1 + 0,197e^{-1*s}}$$

В) Замкнутої системи за збуренням

$$W_{\text{zam}}(s) = \frac{-\frac{0,4}{10 * s + 1} * e^{-1s}}{1 + \frac{0,197}{(2s + 1)(40s + 1)(27,6s + 1)}}$$

$$W_{\text{fzam}}(s) = \frac{-(0,4 * 2 * 40)s^2 + (0,4(2 + 40)s + 0,4) * e^{-1s}}{2208s^3 + 1239s^2 + 69,6s + 1 + 0,197 * e^{-1*s}}$$

$$W_{\text{fzam}}(s) = \frac{-(32s^2 + 16,8s + 0,4)}{2208s^3 + 1239s^2 + 69,6s + 1 + 0,197 * e^{-1*s}}$$

Будуємо АФЧХ для визначення запасів стійкості

Параметри системи:

$$\alpha_0 = 2208$$

$$\alpha_1 = 1239$$

$$\alpha_2 = 69,6$$

$$K = 0,197$$

$$\tau = 1$$

```
>> w = tf([0.197],[2208 1239 69.6 1],'inputdelay',1)

Transfer function:

                0.197
exp(-1*s) * -----
                2208 s^3 + 1239 s^2 + 69.6 s + 1

>> nyquist(w)
>> |
```

Запас стійкості за амплітудою рівний:

$$L = 2 * \log \left(\frac{1}{-0.000796} \right) = 61.982$$

Збираємо схему в MathLab Simulink вказану на рисунку 3.6

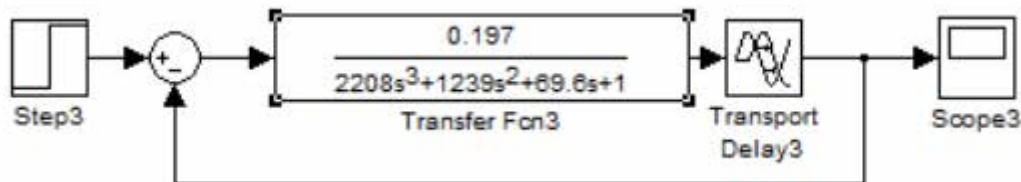


Рис.3.11 Зображення математичної моделі системи в SIMULINK MATLAB

Створено графік перехідного процесу системи без регулятора щоб побачити чи здатна система досягати бажаного значення самостійно, без корекції.

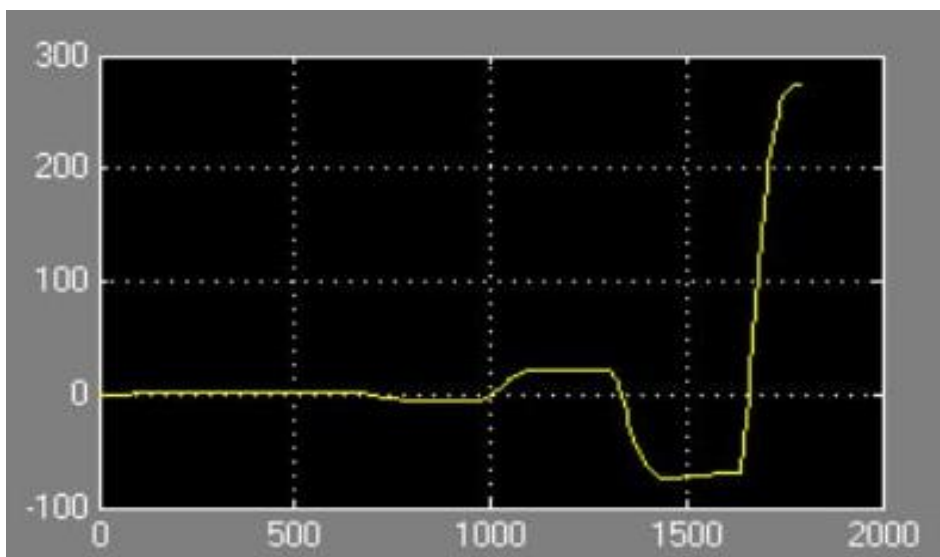


Рисунок 3.12 – Графік перехідного процесу системи без регулятора

Визначимо показники якості графіку:

- статична похибка $\frac{1-0.16}{1} * 100 = 84$

- час регулювання 200 секунд

- перерегулювання дорівнює 0

- коливальність 0

Висновок: Система з П-регулятором, де коефіцієнт посилення K_p дорівнює 1, не відповідає вимогам технічного завдання за показниками якості, а саме: статичною похибкою та часом регулювання. Тому для покращення характеристик системи необхідно ввести додатковий регулятор.

Отримуємо формулу для АЧХ та розраховуємо граничний допустимий час дискретизації для цифрового регулятор

$$W_{zam}(s) = \frac{0,197 * e^{-1*s}}{2208 * s^3 + 1239 * s^2 + 69.6s + 1 + 0.197 * e^{-1*s}}$$

Необхідно знайти допустимий період квантування, що забезпечує максимальну похибку відтворення первинного неперервного сигналу $\theta_{зад} = 1 \%$.

Передатна функція неперервної замкнутої системи:

$$W_{zam}(s) = \frac{0,197 * e^{-1*s}}{2208 * s^3 + 1239 * s^2 + 69.6s + 1 + 0.197 * e^{-1*s}}$$

Амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) неперервної частини замкненої системи. Отримуємо її замінюючи s на jw :

$$W_{zam}(s) = \frac{0,197 * e^{-1*jw}}{2208 * (jw)^3 + 1239 * (jw)^2 + 69.6jw + 1 + 0.197 * e^{-1*jw}}$$

Амплітудно-частотна характеристика представлена як модуль АФЧХ цієї системи:

$$A(w) = |W_{roz}(jw)|$$

$$A(w) =$$

$$0,197$$

$$= \frac{0,197}{\sqrt{((1 + 0,197 * \cos \cos (w) - 1239w^2)^2 + (69.6w - 0,197 * \sin \sin (w) - 2208 * w^3)^2}}$$

$$A(0)=0,165$$

Визначаємо праву частину рівняння:

$$\theta=0,1 * A(0)=0,001646$$

Складемо рівняння:

0,197

$$\sqrt{((1 + 0,197 * \cos \cos (w) - 1239w^2)^2 + (69.6w - 0.197 * \sin \sin (w) - 2208 * w^3)^2} = 0,001646$$

Та розв'язуємо його:

$$w = -1$$

Given

$$\frac{0.197}{\sqrt{(1 + 0.197 \cdot \cos(1-w) - 1239 \cdot w^2)^2 + (69.6 \cdot w - 0.197 \cdot \sin(1-w) - 2208 \cdot w^3)^2}} = 0.001646$$

Find(w) = 0.3031045166507756

A(w)

0,197

$$= \frac{0,197}{\sqrt{((1 + 0,197 * \cos \cos (w) - 1239w^2)^2 + (69.6w - 0.197 * \sin \sin (w) - 2208 * w^3)^2}}$$

На рисунку 3.8 наведено АЧХ системи щоб побачити частотні властивості системи

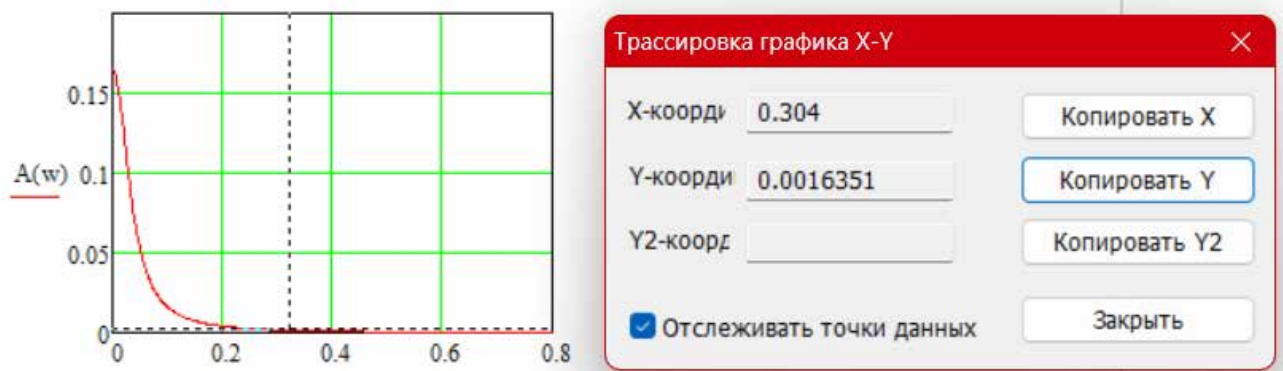


Рис. 3.13 Амплітудно-частотна характеристика неперервної частини системи

Найбільша суттєва частота 0.0016351

Граничний час дискретизації:

$$T = \frac{\pi}{\omega c} = 96 \text{ c}$$

Період дискретизації дорівнює 96 секунд

3.6 Розробка схеми електричних з'єднань

На рисунку 3.6 наведена схема електричних з'єднань яка використовується для монтажу обладнання

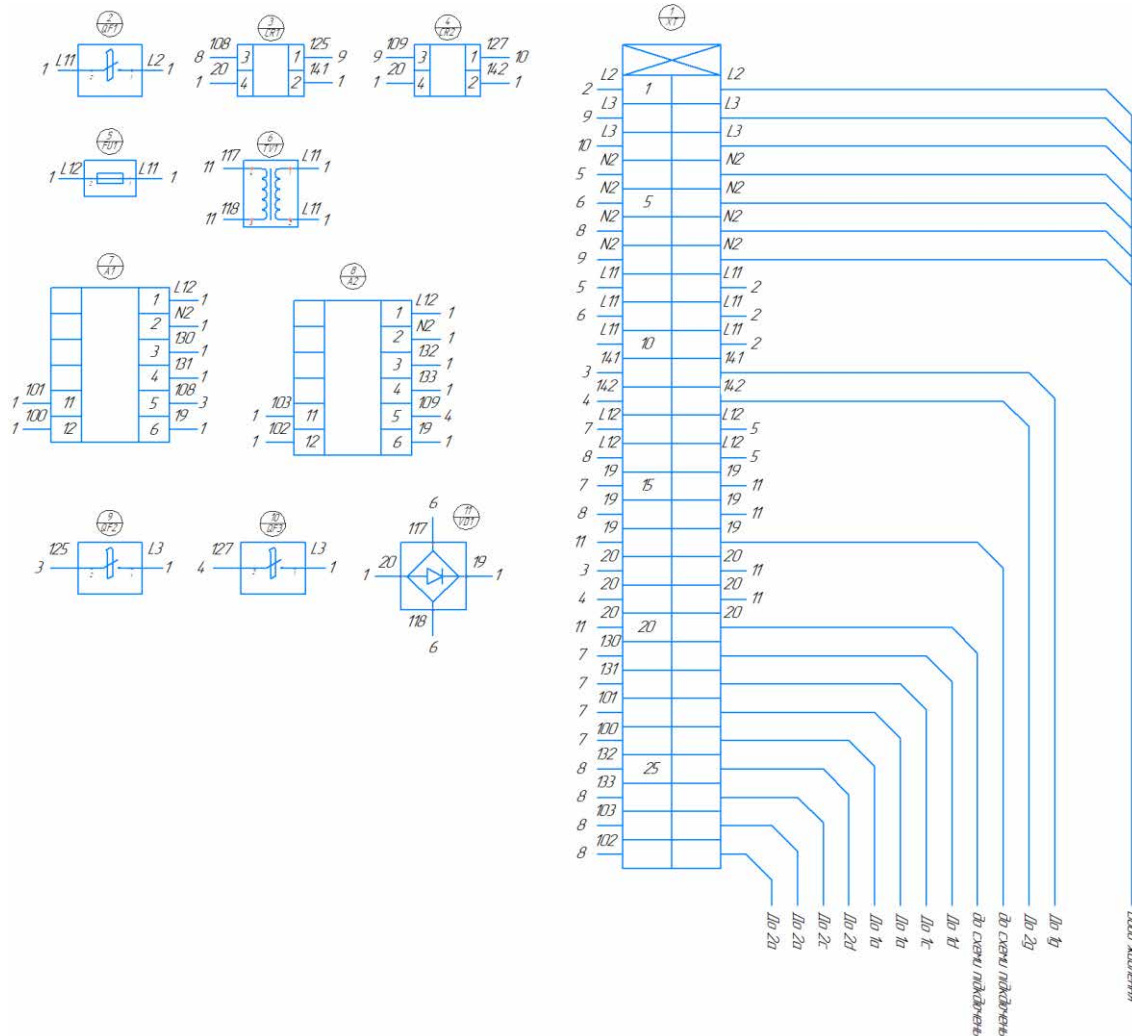


Рис. 3.14 Схема електричних з'єднань

Центральний елемент (права частина схеми)

Центральний блок — це клемна колодка (термінальна панель). Вона має номери від 1 до 12 (по горизонталі) та номери підключень зліва і справа.

Клеми позначені:

L1, L2, L3 — фази трифазної системи.

N1, N2 — нейтральні проводи.

11, 12, 19, 20, 101–103, 117–118, 125, 127, 131, 138 — контрольні сигнали,

входи/виходи реле, контактори, датчики тощо.

Елементи у верхньому лівому куті

Це умовні графічні позначення електрообладнання:

Контактори/реле:

Позначені прямокутниками з обмоткою всередині (напр. позиції 117, 118).

Кнопки керування (пуск/стоп):

Наприклад, 125 — кнопка із нормально відкритим контактом (ПУСК).

127 — кнопка із нормально замкнутим контактом (СТОП).

Запобіжники, лампи, трансформатори — відсутні або інтегровані.

Нижня частина (позиції 125, 127, 117–118, 138)

Це схема елементів керування, зокрема:

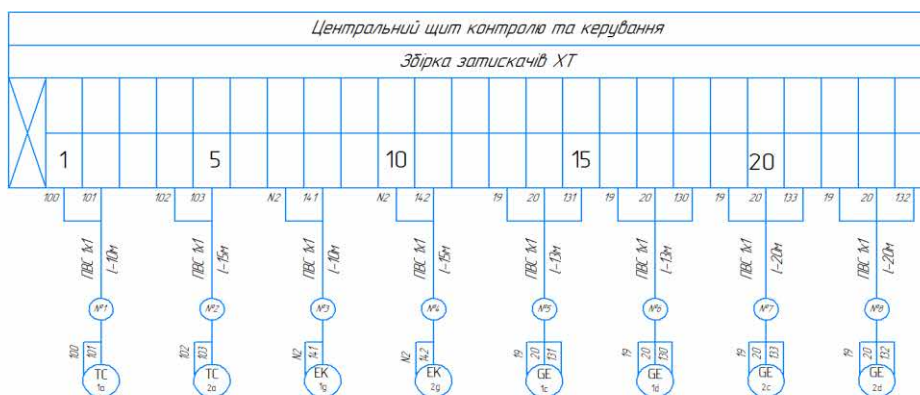
Кнопки (125, 127): використовуються для ручного запуску/зупинки процесів.

Діодний міст або реле часу (138) — може бути елементом контролю запуску/затримки.

117–118 — ймовірно, котушки контакторів або реле.

3.7 Розробка схеми електричних підключень

На рисунку 3.7 показана схема електричних підключень для планування підключень у шафі або коробці



Назва обладнання	Термоперетворювач	Термоперетворювач	Електронагрівач	Електронагрівач	Індуктивний датчик	Оптичний датчик	Індуктивний датчик	Оптичний датчик
Тип	ТХА1-6-К-2-И-20-6-2000	ТХА1-6-К-2-И-20-6-2000	ТЕН 10x205-0,2x24-8	ТЕН 10x205-0,2x24-8	PM12-04P	C2DP-40P	PM12-04P	C2DP-40P

3.15 Схема електричних підключень

На схемі підключень зображені усі термоперетворювачі 1a,2a які використовуються для того щоб знімати температурні показники, електронагрівачі 1g,2g, індуктивні датчики 1c,2c, оптичні датчики 1d,2d.

На рисунку 3.8 фрагмент схеми зовнішнього вигляду шафи керування



Рис. 3.16 Фрагмент схеми зовнішнього вигляду шафи керування

3.8. Синтез системи автоматичного регулювання

Цифрові регулятори стають все більш популярними в сучасній автоматизації.

Для налаштування їх параметрів можна використовувати аналітичні та графічні методи, засновані на імпульсній теоремі.

Проте, коли потрібно аналізувати процеси в самому цифровому регуляторі, розробляти програмне забезпечення для втілення алгоритмів регулювання або досліджувати вплив параметрів квантування та дискретності сигналів на динамічні характеристики системи, більш точним і ефективним є метод синтезу регулятора у Z-перетворенні.

У даному розділі описується методика розрахунку параметрів налаштування цифрового ПД-регулятора для наближення неперервних систем першого та другого порядку. Цей підхід включає моделювання системи у формі одного або послідовного з'єднання двох інерційних ланок.

Синтез ПД-регулятора полягає у визначенні параметрів K_p, K_i, K_d . Для визначення допустимого періоду квантування використаємо формулу. Оскільки частота квантування

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T} \quad (3.19)$$

Також повинна виконуватись нерівність:

$$\omega_s = 2\omega_c \quad (3.20)$$

То допустимий період квантування визначатиметься за формулою:

$$T_c = \frac{\pi}{\omega_c} \quad (3.21)$$

Ця нерівність дає можливість сформулювати імпульсну теорему так: неперервний сигнал може бути апроксимований з вказаною точністю його значеннями, які виміряні у дискретні моменти часу з інтервалом T_c .

Ми визначаємо параметри налаштування та будуємо імітаційну модель з використанням програмних пакетів MATLAB і Mathcad, після чого отримуємо перехідну характеристику.

Задаємо параметри

$$T_m=22$$

$$T_2=50$$

$$T_3=140$$

$$K=0.41184$$

Розраховуємо параметри ПІД регулятор

$$K_p = \frac{T_1+T_2}{K \cdot 2 \cdot T_m} = 0,39 \quad (3.21)$$

$$K_i = \frac{1}{K \cdot 2 \cdot T_m} = 0,6 \quad (3.22)$$

$$K_d = \frac{T_1 \cdot T_2}{K \cdot 2 \cdot T_m} = 1,76 \quad (3.23)$$

Проводимо синтез системи в пакеті ПО MathLAB

Для забезпечення необхідної якості керування на рисунку 3.6 вказано схему синтезу системи

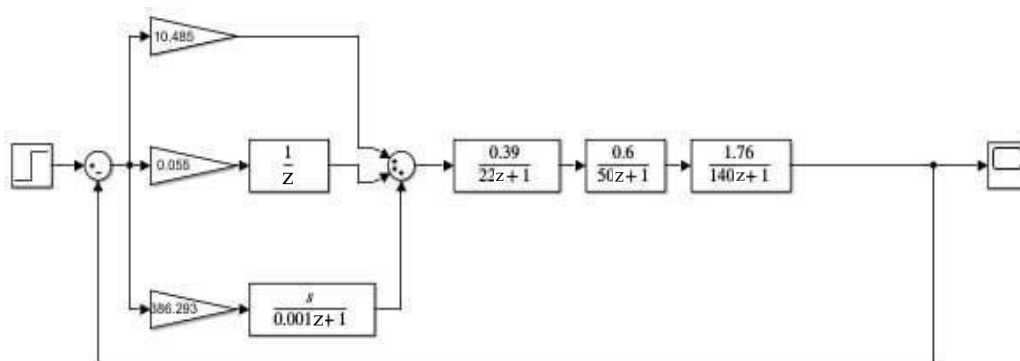


Рис. 3.17. Схема процесу зібрана в програмному пакеті MathLab з регулятором

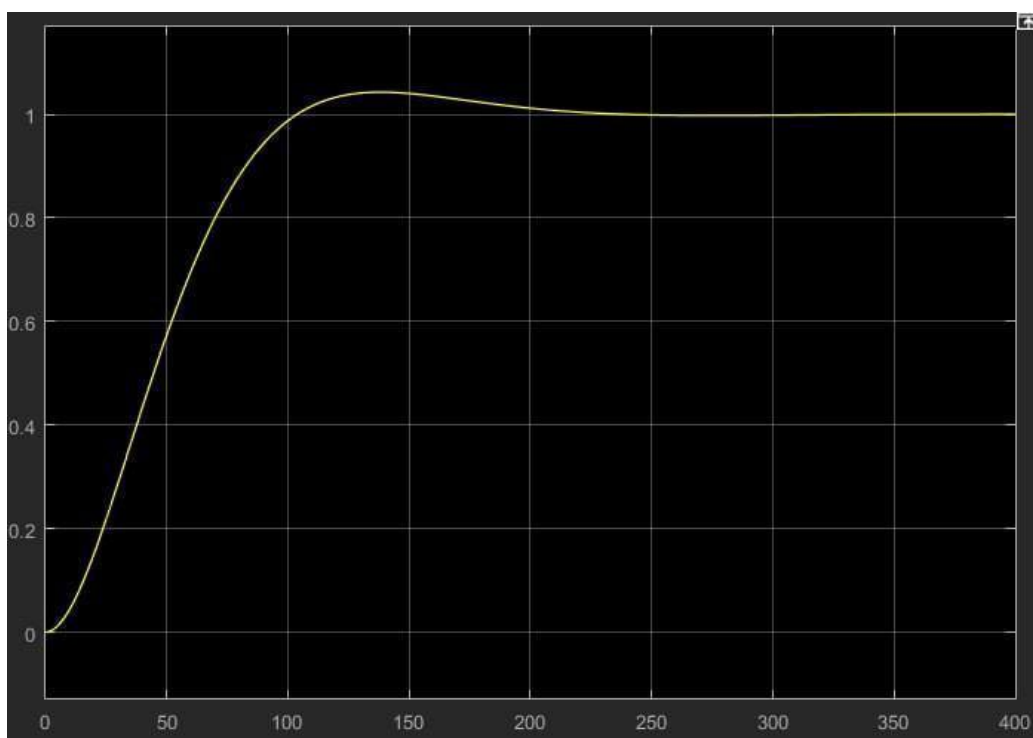


Рисунок 3.18. Графік перехідного процесу

Характеристики перехідного процесу

$$\text{Перерегулювання} \frac{1,04-1}{1,04} \cdot 100\% = 4\%$$

Час регулювання 220 с

3.9. Вибір контролера для зерносушарки

В якості контролера для процесу сушіння зерна було обрано частотний перетворювач PLC 110 показаного на рисунку 3.10



Рис. 3.19. Зображення зовнішнього вигляду PLC 110

Характеристики PLC 110 описані в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Характеристики PLC 110

Живлення	3ф, 380В
Вихідна напруга,%	0..100
Вихідна частота	0..200Гц
К-сть входів цифрових	5
Аналогові входи	2
Аналогові виходи	1
Протокол RS485	ModBus RTU
Клас захисту	IP20

Перетворювач частоти PLC 110 широко використовуються у більшості промислових застосувань для вирішення приводних завдань. Керуючи швидкістю асинхронних двигунів та забезпечуючи високий крутний момент на валу, частотні перетворювачі PLC здатні оптимізувати технологічні процеси, підвищити продуктивність та ефективність, забезпечуючи необхідні режими роботи механізмів.

РОЗДІЛ 4.

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

Важливо правильно підібрати пускозахисну апаратуру, кабелі та проводи при проектуванні систем автоматичного керування, оскільки це впливає на ефективність, безпеку та надійність всієї системи. Під час вибору цих компонентів необхідно звертати увагу на такі аспекти:

1. Напруга та струм: Розуміння значень цих параметрів у системі допоможе відповідно підібрати компоненти.

2. Тип системи: Враховуючи, що система може працювати на змінному або постійному струмі.

3. Потужність системи: Важливо, щоб кабелі та проводи витримували необхідне навантаження.

4. Вимоги безпеки та сертифікація: Необхідно відповідати вимогам безпеки та відповідним стандартам і сертифікаціям.

4.1. Вибір автоматичних вимикачів

Для вибору автоматичного вимикача QF1 використаємо такі параметри:

1. Номінальна напруга:

$$U_{AB} \geq U_{\text{мережі}} \quad (4.1)$$

де U_{AB} - номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{\text{мережі}}$ - номінальна напруга електромережі, 380 В.

1. За типом вимикача.

2. Номінальний струм:

$$I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\text{ном.уст}} \quad (4.2)$$

де $I_{\text{ном.ав}}$ - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{\text{ном.уст}}$ - номінальний струм установки, А;

3. Ступінь захисту.

4. Кліматичне виконання та категорія розміщення.

Згідно з технічних характеристик двигуна, підібрано автоматичний вимикач C120N вказаного на рисунку 4.1



Рисунок 4.1. Зображення автоматичного вимикача

Таблиця 4.1

Технічні характеристики
вимикача

Номінальна напруга	400В
Кількість полюсів	3
Номінальна пропускна здатність	32А
Міжнародні стандарти	EN/IEC 60947-2
Частота мережі	50Гц
Ступінь захисту IP	IP40
Тип управління	Перемикання
Характеристика спрацювання	C

Для вибору автоматичного вимикача SF1 використаємо такі параметри:

1. Номінальна напруга:

$$U_{AB} \geq U_{\text{мережі}}, \quad (4.3)$$

де U_{AB} - номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{\text{мережі}}$ - номінальна напруга електромережі, 380 В.

2. За типом вимикача.
3. Номінальний струм:

$$I_{\text{НОМ.ав}} \geq I_{\text{НОМ.уст}}, \quad (4.4)$$

де $I_{\text{ном.ав}}$ - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{\text{ном.уст}}$ - номінальний струм установки, А;

4. Ступінь захисту.

5. Кліматичне виконання та категорія розміщення.

В якості автоматичного вимикача для керуючого кола обираємо автоматичний вимикач іС60N 1P 1А С Schneider Electric А9F74101 вказаного на рисунку 4.2



Рисунок 4.2. Зовнішній вигляд автоматичного вимикача

Характеристики автоматичного вимикача наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Характеристики автоматичного
вимикача

Номінальна напруга	380В
Кількість полюсів	1
Номінальна пропускна здатність	20А
Частота мережі	50Гц
Ступінь захисту IP	IP20
Тип управління	Перемикання
Характеристика спрацювання	С
Номінальний струм	1 А

4.2. Вибір електромагнітних пускачів

Для вибору електромагнітного пускача КК1 використаємо такі параметри:

1. Номінальна напруга:

$$U_{н.мп} \geq U_{м}, \quad (4.5)$$

де $U_{н.мп}$ - номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{м}$ - номінальна напруга електромережі;

2. За типом вимикача;

3. Номінальний струм:

$$I_{н-мп} \geq I_{н}, \quad (4.6)$$

де $I_{ном.ав}$ - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{ном.уст}$ - номінальний струм установки, А;

4. Ступінь захисту;

5. Номінальна напруга котушки електромагнітного пускача

$$U_{к.мп} \geq U_{кк}, \quad (4.7)$$

де $U_{к.мп}$ - номінальна напруга котушки магнітного пускача, В;

$U_{кк}$ - напруга кола керування, В;

6. Кліматичне виконання та категорія розміщення

В якості магнітного пускача було обрано

EZN100N3100, який показано на рисунку 4.3



Рис. 4.3. Зображення магнітного пускача EZN100N3100

Характеристики магнітного пускача наведені в таблиці 4.3

Таблиця 4.3. характеристики магнітного пускача

К-сть полюсів	3
Тип мережі	Постійний, змінний струми
Номінальна імпульсна напруга	20В
Відключаюча здатність	18А(380В)
Номінальна робоча здатність відключ.	9А(380В)
Номінал розчіплювача	100А
Тип	Тепломагнітний
Відповідність ізоляції	До ІЕС 60947-2

4.3 Вибір кабелю живлення для шафи керування

Струм для підключення всіх пристроїв шафи керування потрібно визначити за наступною формулою:

$$I_{ш.тр.доп} = \sum I_{тр.доп} = 100 \text{ А}, \quad (4.8)$$

де $\sum I_{тр.доп}$ – сума тривало допустимих струмів силового кола і кола керування. Для живлення шафи керування вибираємо кабель ВВГ 3х95 (ГОСТ 7399–97) – кабель з алюмінієвими жилами, ізоляція з поліетилену, що силанольно зшивається, тривало допустимий струм якого дорівнює 100 А.

4.4. Вибір світлосигнальної арматури

Світлосигнальна арматура - це спеціальні пристрої, які використовуються для передачі різних сигналів або інформації за допомогою світла. Ці пристрої можуть бути встановлені на транспортних засобах, в промислових об'єктах, на будівлях тощо, і вони використовуються для надання попереджень, вказівок або

сигналів у різних ситуаціях.

Світлосигнальна арматура може бути виготовлена у формі світлових ламп, світлодіодних індикаторів, сигнальних стрілок і т.д. Вона може відображати різні кольори, такі як червоний, жовтий, зелений, а також комбінації цих кольорів, для передачі різних сигналів або інформації.

В даній бакалаврській роботі будуть використовуватись сигнальні лампи від компанії Schneider Electric. Маркується лампа XB5AVB4 та має широкий вибір кольорів. В даному випадку буде використано дві лампи зеленого та червоного кольорів.

Сигнальна лампа для позначення запуску процесу показаного на рисунку 4.4



Рис. 4.4. Зображення зовнішнього вигляду сигнальної лампи

Характеристики лампи наведені у таблиці 4.4

Таблиця 4.4 Технічні характеристики лампи

Діаметр монтажного отвору	22мм
Номінальна робоча напруга	24 AC/DC
Тип джерела світла	LED-матриця
Колір	Зелений
Матеріал	Пластик

Захист	IP66
Спосіб приєднання проводу	Гвинтовий затискач

Сигнальна лампа для позначення запуску процесу показаного на рисунку 4.4



Рис. 4.4. Зображення зовнішнього вигляду сигнальної лампи

Характеристики лампи наведені у таблиці 4.4

Таблиця 4.4 Технічні характеристики лампи

Діаметр монтажного отвору	22мм
Номінальна робоча напруга	24 AC/DC
Тип джерела світла	LED-матриця
Колір	Зелений
Матеріал	Пластик
Захист	IP66
Спосіб приєднання проводу	Гвинтовий затискач

Сигнальна лампа для позначення зупинки процесу показаного на рисунку 4.5



Рис.4.5 Зображення зовнішнього вигляду сигнальної лампи

Технічні характеристики лампи яка призначена для індикації зупинки процесу наведені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5.

Технічні характеристики
лампи

Діаметр монтажного отвору	22мм
Номинальна робоча напруга	24 AC/DC
Тип джерела світла	LED-матриця
Колір	Червоний
Матеріал	Пластик
Захист	IP66
Спосіб приєднання проводу	Гвинтовий затискач

4.5. Вибір кнопкового посту

Кнопковий пост - це установка або монтажна одиниця, яка включає в себе одну або кілька кнопок, що використовуються для ввімкнення або вимкнення електричних пристроїв чи систем. Вони зазвичай встановлюються на об'єктах або місцях, де потрібно швидко та зручно керувати різними електричними функціями або пристроями.

Кнопковий пост може мати різні конфігурації, включаючи однопозиційні або багатопозиційні кнопки, кнопки з фіксованим або моментальним включенням, а також кнопки з різними символами або позначеннями, що вказують на їх функціональне призначення.

Ці кнопкові пости часто використовуються у промислових установках, будівництві, лабораторіях, а також у системах безпеки та контролю доступу. Вони дозволяють операторам швидко реагувати на потреби системи та ефективно керувати пристроями без необхідності складних процедур.

В даній бакалаврській роботі було обрано кнопковий пост Harmony XALD Schneider Electric показаного на рисунку 4.6



Рис.4.6. Зображення кнопкового посту.

Кнопковий пост буде відповідати за запуск та зупинку процесу сушіння в ручного режимі. Технічні характеристики будуть наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6.

Технічні характеристики кнопкового
посту

Напруга	240В
Ступінь захисту	IP66
Тип контактів	1NO+1NC
Номінальний струм	3А
Фіксація	немає

4.7 Розробка схеми електричних з'єднань

Для складання схеми з'єднань всі складові частини системи були враховані відповідно до ГОСТ 2.702-75. Ця схема складалася лише на одному щиті, пульті або станції керування. Всі прилади, які були на електричній принциповій схемі, повинні бути зображені на схемі з'єднань. Ця схема з'єднань була розміщена на розгортці щита, з усіма приладами на передній або задній стінці, а клемна збірка - на бічній стінці.

Для уникнення засмічення схеми лініями зв'язку, був використаний адресний метод, де замість ліній зв'язку вказувалася цифрова або буквено-цифрова адреса в місці приєднання кожного проводу або кабелю на кожному приладі.

Розробка схеми з'єднань відповідала таким загальним правилам:

- схема з'єднань розроблена для щита керування, на якому розміщено всі комутуючі пристрої;

- всі елементи, такі як КМ1, QF1 і т. д., були розміщені на задній панелі щита керування відповідно до ГОСТ 2.702-75 "Правила виконання електричних схем";

- були дотримані норми маркування кабелів та ліній зв'язку за допомогою нормативу ГОСТ 2.710-81 "Позначення буквено-цифрові в електричних схемах".

Під час розробки схеми був використаний адресний метод і дотримані такі вимоги:

- щит керування був зображений на одній площині, показуючи лише передню панель з кнопками керування SB1-SB2, сигнальними лампами HL1-HL2 і перемикачем SA1;

- на задній панелі були розміщені засоби захисту двигунів: магнітний пускач КМ1, автоматичний вимикач QF1.

4.8 Розробка схеми підключень

На схемі підключень зображується зовнішнє підключення приладів, установок щитів і т. д. Згідно з ГОСТ 2.702-75, ці схеми виконуються на основі електрично принципівих схем, специфікацій кожного приладу та креслень виробничих приміщень. Графічними позначками вказуються елементи з'єднання, прилади, які знаходяться за щитом, первинні перетворювачі, засоби автоматизації, а також електропроводка та всі кабелі і проводи.

Для зображення шаф, приладів і пультів використовуються кола або прямокутники, які підписуються всередині фігур. На лініях зв'язку вказуються номери проводів, їх перерізи та довжини. Графічні зображення використовуються для відображення відбірних пристроїв, щитів, пультів керування, сигналізації та вимірювання, а також засобів автоматизації та з'єднувальних коробок.

Схеми підключень виконуються без збереження масштабу у зручному для користувача форматі. Ця інформація міститься на графічній частині схеми підключень.

4.9 Розробка загального виду щита керування

Щит керування є місцем, звідки оператор може керувати автоматизованим об'єктом. Він містить всі необхідні прилади, які не знаходяться безпосередньо на об'єкті. Зазвичай щит керування розташовується у спеціально відведеному місці.

Вибір моделі щиту зазвичай залежить від кількості приладів, їх компоновання та типових параметрів. Розробка щита керування ґрунтується на електричних принципових схемах, схемах з'єднань та схемах підключень.

Є два типи щитів: шафові для виробничих приміщень з високою вологістю та можливим пошкодженням апаратури, і панельні. Щити і пульти є постами керування, контролю та сигналізації електрифікованих та автоматизованих об'єктів. На них розташовано апаратуру керування, контрольно-вимірвальні прилади, засоби сигналізації та захисту. Під час проектування щити і пульти вибираються відповідно до нормативних документів, таких як ГОСТ 20504-81, ДСТУ 3288-95 (ГОСТ 26032-96), ГОСТ 36.13-76, інструкції РМ4-107-82. Згідно

з цими нормативними документами, щити і пульти призначені для використання в закритих приміщеннях з температурою від -30 до +50 °С та вологістю не більше 80%. Промисловість також випускає щити та пульти для спеціальних умов. Шафові щити використовуються в виробничих приміщеннях з великою вологістю та можливим пошкодженням апаратури. Вони також застосовуються для розміщення допоміжної апаратури та для захисту персоналу від дотику до струмоведучих частин.

Вибір конструкції залежить від кількості обладнання. Габарити щита визначаються розрахунками монтажних зон апаратів. Для визначення типу

габариту щита враховують габаритні розміри пристроїв керування та температурні умови.

На основі всіх цих врахувань може бути вибрано відповідний щит керування, наприклад, щит Cetinkaya Pano (600x800x300) IP54, згідно з ГОСТ 36.13-76.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ В ШАХТНІЙ ЗЕРНОСУШАРЦІ

Автоматизована система керування може мати значний вплив на виробництво та результативність підприємства. Розглянемо деякі ключові переваги використання такої системи:

1. Економія прямих витрат на працю: Зменшення необхідної кількості обслуговуючого персоналу може призвести до значного скорочення витрат на оплату праці, що позитивно впливає на фінансові показники підприємства.

2. Підвищення продуктивності праці: Автоматизація процесів та оптимізація виробничих операцій можуть збільшити продуктивність праці працівників, що веде до збільшення обсягу виробництва та покращення якості продукції.

3. Економія витрат на електроенергію: Оптимізація енергоспоживання за допомогою автоматичного керування системами освітлення, опалення та кондиціонування може допомогти знизити витрати на електроенергію та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

4. Покращення умов праці: Зменшення тяжких фізичних робіт та роботи в небезпечних умовах сприяє покращенню умов праці та забезпеченню безпеки працівників.

5. Спрощення технологічних схем: Автоматизована система керування може спростити технологічні процеси та зменшити час виробництва шляхом автоматизації та використання цифрової обробки даних. Це може призвести до

підвищення ефективності виробництва та зменшення загальних витрат на виробництво.

Загалом, впровадження автоматизованої системи керування може значно покращити ефективність виробництва та забезпечити конкурентні переваги підприємству.

Для цього проведемо розрахунок зведених витрат:

$$V_{зв} = P + E_n * K \quad (5.1)$$

де $V_{зв}$ – зведені витрати, грн./рік; P – річні експлуатаційні витрати, грн./рік; K – капітальні витрати, грн.; E_n – нормальний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, рік ($E_n=0,15$).

Для оцінки експлуатаційних витрат системи враховуються наступні компоненти:

1. Витрати на оплату праці персоналу (C_3): ці витрати визначаються посадовими окладами працівників та їхнім робочим часом. Наприклад, якщо посадовий оклад дорівнює 25 гривень на годину, то загальні витрати на оплату праці обчислюються як добуток посадового окладу та кількості годин робочого часу.

2. Відрахування на амортизацію (C_a): цей компонент враховує витрати на знос обладнання. Вартість амортизації розраховується як деякий відсоток від балансової вартості обладнання.

3. Витрати на поточний ремонт ($C_{пр}$): ці витрати включають у себе витрати на проведення поточного ремонту обладнання. Зазвичай вони виражені у відсотках від балансової вартості обладнання.

4. Витрати на енергоресурси (C_e): цей компонент включає витрати на електроенергію та інші енергоресурси, використані в процесі експлуатації системи. Вартість розраховується як добуток споживаної кількості ресурсу на одиницю часу та відповідного тарифу. Прийmemo тариф на електроенергію 5.67 грн/кВт*год.

Загалом, сума всіх цих компонентів складає загальні експлуатаційні витрати системи. Важливо враховувати ці витрати при плануванні бюджету та оцінці ефективності системи.

Також треба враховувати інші прямі витрати (С_д): вони включають витрати які не входять до уже описаних пунктів.

$$C_e = P * \Gamma_{річн} * 5,69 \text{ грн} \quad (5.2)$$

Інші витрати візьмемо як 1% від всієї суми експлуатаційних витрат. Звідти

$$C = C_3 + C_a + C_{пр} + C_e + C_d \quad (5.3)$$

При розрахунку капітальних вкладень для впровадження автоматизованої системи керування необхідно враховувати наступні складові:

1. Витрати на придбання необхідних технічних засобів автоматизації (К_з): це включає вартість обладнання, яке потрібно придбати для реалізації системи керування. Ці витрати визначаються на основі цін виробників або постачальників, що відповідають вимогам проекту.

2. Торгівельно-транспортні витрати (К_{тт}): вони включають витрати на доставку та транспортування технічних засобів автоматизації до місця встановлення. Зазвичай ці витрати становлять певний відсоток від вартості обладнання.

3. Витрати на монтаж (К_м): це витрати на проведення монтажних робіт, які включають встановлення обладнання та підключення його до системи. Вартість монтажу зазвичай визначається як відсоток від вартості обладнання.

4. Витрати на проведення електричної проводки (К_{пр}): це включає витрати на прокладання електричних кабелів та з'єднання їх з електромережею. Ці витрати оцінюються з урахуванням вартості матеріалів і робочої сили. Загалом, сума всіх цих складових складає загальні капітальні вкладення, які потрібно врахувати при плануванні бюджету

$$K = K_3 + K_{тт} + K_m + K_{пр} + K_i. \quad (5.4)$$

Згідно вибраних технічних засобів автоматизації та їх цін у каталогах виробників розраховуємо:

$$K3 = 6744 + 3750 + 658,42 + 5199 + 200 + 6930 + 4730 = 28031,42 \text{ грн}$$

Тоді торгівельно-транспортні витрати будуть становити:

$$K_{тт} = 0,11 * K3 = 0,11 * 28031,42 = 3083,47 \text{ грн}$$

Монтаж:

$$K_m = 0,17 * K3 = 0,7 * 28031,42 = 19622 \text{ грн}$$

Електропроводка: Інше:

$$K_{пр} = 100 * 27 = 2700 \text{ грн}$$

Сума вкладень:

$$K_i = 1659 \text{ грн}$$

$$K = 28031,42 + 3083 + 19622 + 2700 + 1659 = 55095,42 \text{ грн} \quad (5.8)$$

Відрахування на амортизацію:

$$C_a = 0,142 * K = 0,142 * 55095,42 = 7824 \text{ грн}$$

Поточні ремонтні роботи:

$$C_{пр} = 0,18 * K = 0,18 * 55095,42 = 9917 \text{ грн}$$

Вартість енергоресурсів:

$$C_e = P * \Gamma * 5,69 \quad (5.5)$$

Період сушінні зерна триває 2430 годин. Тому:

$$C_e = 11,1 \cdot 2430 \cdot 5,69 = 153476,37 \text{ грн.}$$

Оплата праці персоналу:

$$C_3 = 12 \cdot 6700 = 80400 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати:

$$C = 7824 + 9917 + 153476,37 + 80400 = 251617,37 \text{ грн}$$

Зведені витрати мають такий вигляд:

$$Взв = C * E_n * K \quad (5.6)$$

E_n - нормальний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, рік -1 ($E_n=0,15$).

$$Взв = 251617,37 + 0,15 * 55095,42 = 259881.31 \text{ грн}$$

Чистий прибуток:

$$r = \Delta C_3 + \Delta C_e, \quad (5.7)$$

де ΔC_3 - прибуток за рахунок економії заробітної плати, ΔC_e – прибуток за рахунок економії електроенергії.

Тоді:

$$r = 80400 \text{ грн.}$$

Визначення терміну окупності системи автоматичного керування є важливим етапом у визначенні доцільності впровадження такої системи. Термін окупності розраховується за формулою:

$$T_{ок} = K/r = 55095,42/80400 \approx 250 \text{ діб}$$

Виходячи з цих розрахунків впровадження автоматизації вважається доцільним.

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі була розроблена система автоматичного управління температури для сушіння зерна. Ця система демонструє високу ефективність, точність та надійність у контролі температури та оптимізації процесу сушіння зерна.

В ході дослідження було проведено аналіз виробничих процесів у зерносушарці, оцінений стан існуючих систем автоматизації та визначено потреби та вимоги до системи автоматизованого керування.

Раціональність прийнятих рішень та обґрунтованість розробленої системи були підтверджені проведенням розрахунків, аналізу результатів та порівняння з існуючими рішеннями. Було показано, що використання системи автоматичного керування призводить до покращення ефективності процесу сушіння зерна, зниження втрат ваги та покращення якості зерна.

Дослідження економічної доцільності використання системи показало, що вона є вигідним інвестиційним рішенням. Заощадження на енергії, зменшення втрат ваги зерна та покращення якості призводять до збільшення прибутку виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Електроніка і мікропроцесорна техніка. Навчальний посібник.[В.І. Сенько, В.П. Лисенко, О.М. Юрченко, В. Є. Лукін, А.А. Руденський]-К: Агросвіт, 2015 – 676 с.

Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів. Навчальний посібник. / В.Лисенко, Є.Чернишенко, В.Решетюк, В.Мірошник, Н.Заєць, І.Цигульов. – К.:АграрМедіаГруп, 2016. – 476 с.

Автоматизація технологічних процесів та виробництв. Використання обладнання OWEN : навчальний посібник / М. О. Кіктєв, А. О. Дудник, В. П. Лисенко. - К.: , 2019. - 77 с.

Контрольно-вимірювальні прилади і засоби для промислової автоматизації виробництва від вітчизняного виробника АКУТЕК: веб-сайт.

URL: <https://owen.ua/>

