

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
В. о. завідувача кафедри

Олександр ЮРЧЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження особливостей електротехнічного комплексу сушки
зерна для умов Сумської області»

Виконав

(підпис)

Денис ЧУБЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Група:

ЕТЕС 2401м

Науковий керівник:

(підпис)

Андрій ЧЕПЖНИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент:

(підпис)

Олена ДОВЖИК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

енергетики та електротехнічних систем

Андрій ЧЕПІЖНИЙ

«5» вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

Денису ЧУБЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження особливостей електротехнічного комплексу сушки зерна для умов Сумської області.
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент.
3. Строк подання здобувачем роботи: «14» листопада 2025 року.
4. Вихідні дані до роботи: паспортні дані зернової сушарки та обладнання електротехнічного комплексу, правила улаштування електроустановок, правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, стандарти.
5. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Розділ 1. Аналіз електротехнічного комплексу для сушки зернових культур. Розділ 2. Апаратний комплекс зерносушарки та моделювання процесу сушки. Розділ 3. Дослідження основних параметрів роботи електротехнічного комплексу зерносушарки та системи автоматизації процесів. Розділ 4. Охорона праці. Розділ 5. Економічне обґрунтування сушки зерна. Висновки та пропозиції. Список використаних джерел. Додатки.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

Керівник роботи:

(підпис)

Андрій ЧЕПІЖНИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Денис ЧУБЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата отримання завдання «5» вересня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Збір інформації про вирощування зернових культур Сумської області	до 02.08.2025 р.	
2	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 1. Аналіз електротехнічного комплексу для сушки зерна»	до 30.08.2025р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 2. Апаратний комплекс зерносушарки та моделювання процесу сушки»	до 19.09.2025 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 3. Дослідження основних параметрів роботи електротехнічного комплексу зерносушарки та системи автоматизації процесів»	до 03.10.2025 р.	
8	Підготовка розділу «Розділ 4. Охорона праці»	до 08.10.2025 р.	
9	Підготовка розділу «Розділ 5. Економічне обґрунтування сушки зерна»	до 20.10.2025 р.	
10	Написання висновків та пропозицій	до 25.10.2025 р.	
11	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2025 р.	
12	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
13	Подання до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи:

(підпис)

Андрій ЧЕПІЖНИЙ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Денис ЧУБЕНКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Чубенко Денис Русланович «Дослідження особливостей електротехнічного комплексу сушки зерна для умов Сумської області».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки за освітньою програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025

В роботі виконано основний аналіз основних зернових культур, що є найбільш поширеними на території Сумської області та обрано до аналізу в процесах сушки саме кукурудзу на зерно, оскільки вона має найбільші посівні площі.

Визначено для проведення аналіз сушарку ДСП-32 та проведено аналіз основного обладнання для забезпечення операцій та забезпечення роботи системи автоматизації та контролю. Виконано аналіз основного обладнання, що використовується в даній сушарці.

Проведено аналіз роботи загальної системи автоматизації та контролю сушарки з визначенням основних елементів для проведення дослідження. Виконано дослідження різних режимів роботи автоматизації зерносушильного обладнання та проведено аналіз основних особливостей узгодження роботи електричного обладнання з системою контролю температури сушильного агенту.

Виконано аналіз основних заходів з охорони праці та проведено дослідження основних показників економічної ефективності.

Ключові слова: сушарка, температура, сушильний агент, зернова маса, датчик, система керування, інтерфейс, тепловий баланс.

ABSTRACT

Chubenko Denys Ruslanovych «Addition of the features of the electrical engineering complex of grain drying for the minds of the Sumy region».

Qualification for a master's degree in electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics for the lighting program «Electrical power engineering, electrical engineering and electrical engineering» with specialties 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics». Sumy National Agrarian University, Sumi, 2025

The thesis performed a fundamental analysis of the main grain crops most common in the Sumy region and selected maize (corn) grain for analysis in the drying processes, as it occupies the largest planted areas.

The DSP-32 dryer was selected for analysis, and a review of the main equipment required for operation and ensuring the functionality of the automation and control system was conducted. An analysis of the primary equipment used in this dryer was performed.

An analysis of the overall dryer automation and control system operation was carried out, identifying the core elements for the research. A study of various operating modes of the grain drying automation equipment was executed, and the main features of coordinating the operation of electrical equipment with the drying agent temperature control system were analyzed.

The thesis includes an analysis of the main occupational safety (labor protection) measures and a study of the key indicators of economic efficiency.

Keywords: dryer, temperature, drying agent, grain mass, sensor, control system, interface, heat balance.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР.....	9
1.1 Аналіз основних зернових культур Сумської області.....	9
1.2 Аналіз особливостей процесу сушки зерна кукурудзи та технологічних особливостей сушарок.....	10
1.3 Електротехнічний комплекс сушарки з аналізом обладнання.....	15
Висновки до розділу.....	21
РОЗДІЛ 2. АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ЗЕРНОСУШАРКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШКИ.....	22
2.1 Структурна схема автоматизації зерносушарки.....	22
2.2 Аналіз апаратної частини забезпечення процесу сушіння зернової маси.....	24
2.3 Моделювання теплообміну в зерносушарці.....	31
Висновки до розділу.....	36
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗЕРНОСУШАРКИ ТА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ.....	38
Висновки до розділу.....	45
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	46
Висновки до розділу.....	48
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СУШКИ ЗЕРНА.....	49
Висновки до розділу.....	54
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ.....	60

ВСТУП

Актуальність теми. Автоматизація різноманітних процесів в рослинництві потребує доволі великих коштів та зусиль. Нестача працівників в сільському господарстві приводить до неефективного та невчасного виконання операцій. Основною з таких операцій в сільському господарстві є сушка зернових культур. Найбільш проблемною в процесі сушки зерна є кукурудза. Це відбувається через те, що збирають її в періоди з високою вологістю.

Від якісного проведення сушки зерна доволі сильно залежить якість готової продукції, а отже до процесу автоматизації сушіння зерна є доволі великі вимоги. Виходячи з цього автоматизація сушки зерна дозволяє виконати якісно необхідний технологічний процес та дозволяє перекривати нестачу працівників в рослинництві.

Засоби для проведення автоматизації процесу сушіння на сьогодні мають доволі велике розповсюдження. При цьому кожна фірма-розробник подібних засобів проводить постійне вдосконалення системи. Виходячи з цього, проведення дослідження застосування та налагоджування системи автоматизації сушарок є доволі актуальним питанням, що потребує постійного проведення досліджень особливо при виконанні процесів синхронізації електротехнічного комплексу.

Аналіз стану наукової розробки проблеми. Велика кількість вчених займається питанням покращення автоматизації та узгодженням з електротехнічним комплексом сушарок, адже процес сушки зерна с.-г. культур має значні складнощі та характеризується великою кількістю невизначених умов. В роботі виконано дослідження особливостей синхронізації різноманітного електрообладнання з системою автоматизації процесу сушіння. Запропоновано узгодження по часу взаємодії сушильного агенту та зернової маси.

Мета дослідження. Основною метою проведення дослідження є визначення особливостей використання електротехнічного комплексу сушки зерна та проведення синхронізації з системою автоматизації.

Для вирішення мети роботи необхідно реалізувати наступні задачі дослідження:

1. Визначити основні зернові культури для проведення дослідження.
2. Провести аналіз основного обладнання електротехнічного комплексу зерносушарок.
3. Виконати опис обладнання для проведення автоматизації процесу сушки зерна.
4. Визначитись з особливостями проведення синхронізації обладнання.
5. Виконати економічне обґрунтування процесу сушки зерна.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження в роботі є процес сушки зерна кукурудзи до мінімально необхідного значення 14 %.

Предмет дослідження. Основні показники роботи різних систем сушарки та узгодження їх роботи для забезпечення якісного процесу сушіння.

Завдання дослідження. Виконати аналіз залежності роботи автоматики сушарки та її електротехнічного комплексу. Надання рекомендацій операторам сушарок для зерна в виборі оптимальних параметрів сушки зерна кукурудзи.

Методи дослідження. Основними методами є аналіз даних, математичне моделювання та експериментальне дослідження.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота містить 5 розділів, 1 додаток, 3 таблиці, 18 рисунків, 24 джерел.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

1.1 Аналіз основних зернових культур Сумської області

Сумська область є доволі потужним регіоном для вирощування різноманітних зернових культур з гарною врожайністю. При цьому доволі великої уваги потребують процеси сушки, адже погодні умови не завжди дозволяють отримувати зерно оптимальної вологості для подальшого зберігання.

Найбільш поширеними культурами, що вирощуються на території Сумської області є кукурудза на зерно та пшениця. Також вирощуються і інші зернові та зернобобові культури, але їх частка загалом дуже мала для порівняння.

При цьому також необхідно зауважити, що в господарствах Сумської області використовують сівозміни, що призводить до певної зміни частки співвідношення між культурами.

Виходячи з цього пропонується враховувати особливості сівозміни та провести аналіз основних культур зернових і зернобобових, що приймають участь у сівозмінах та вирощуванні їх в області.

З відкритих джерел, можна зробити висновок, що під зерновими та зернобобовими культурами станом на 2025 рік знаходиться 490-550 тис. га. Для більшого розуміння пропонується виконати аналіз основного співвідношення домінуючих культур, що вирощуються в Сумській області (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Аналіз основних зернових та зернобобових культур, що вирощуються в Сумській області

Культура	Орієнтовна площа посіву, га	Співвідношення, %	Загальний опис культури
1	2	3	4
Кукурудза (на зерно)	262000 – 349000	50-63	Лідера за площею посіву та валовим збором в Сумській області. Входить до п'ятірки культур України
Пшениця (озима та яра)	161000 – 170000	29-34	Друга за значенням культура, що є важливою для забезпечення продовольчої безпеки та експорту
Ячмінь (озимий та ярий)	18000 – 19000	3-4	Вирощується в менших обсягах в якості страхової культури

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Горох	2000 – 3000	0,5-1	Вирощується для диверсифікації та насичення ґрунту азотними добривами
Жито, овес, гречка, просо та ін.	решта площі	5-10	Окремі площі під культури є доволі малими та вирощуються в незначних кількостях в господарствах

З наведених даних бачимо, що основною особливістю зернових та зернобобових культур в Сумській області є майже тотальне домінування кукурудзи. Основою подібного вибору аграріїв є кліматичні особливості Сумської області та висока економічна складова вирощування кукурудзи.

При цьому можна провести розрахунки, якщо наприклад, загальна площа по області під зерновими та зернобобовими культурами становить 490 тис. га то кукурудза займає фактично 50 % від загальної площі, що становить майже 262 тис. га.

Збір кукурудзи на зерно проводиться фактично пізньої осені, або навіть пізніше (залежно від погодних умов). При цьому зерно даної культури має доволі велику вологість, а отже потребує доволі серйозного підходу до процесу сушіння.

1.2 Аналіз особливостей процесу сушки зерна кукурудзи та технологічних особливостей сушарок

Процес сушки зерна кукурудзи є одним з найбільш складних процесів в загальному технологічному процесі. При цьому сушка зерна є також і найбільш ефективним процесом для подальшого зберігання, а отже потребує доволі великої енергоємності процесу. Така особливість зерна кукурудзи зумовлюється доволі високою початковою вологістю, що зазвичай знаходиться в межах 20-35%. Додатково на процес висушування зерна кукурудзи також впливає і специфічна форма та будова зернівки.

Першочергово пропонується виконати огляд специфіки кукурудзяного зерна, що впливають на процес його сушіння:

- Високе значення початкової вологості. Кукурудза на зерно збирається зазвичай при доволі високій вологості порівняно з іншими зерновими культурами. Виходячи з цього на процес сушіння зерна це має доволі значний вплив, що відбивається в більшій тривалості процесу та збільшенні енергетичних витрат.

- Стійкість зерна до теплового впливу. Зерно кукурудзи має доволі щільну оболонку, а отже має і значну стійкість до температурного впливу особливо при сушінні. Дана характеристика зерна має також вплив на інтенсивність процесу сушіння та його режимів порівняно з іншими культурами. При цьому температура сушильного агенту для сушки пшениці знаходиться в межах 100-130°C.

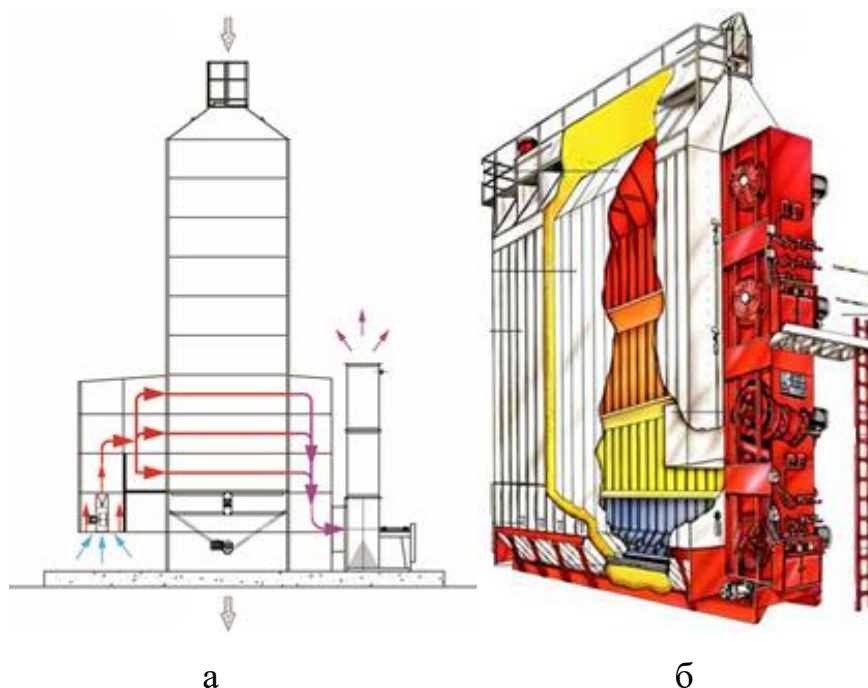
- Ризик розриву (розтріскування) зернини. При доволі швидкому процесі сушіння зерна кукурудзи або при різких температурних перепадах виникає значний внутрішній тиск, що призводить до розтріскування зерна. Даний процес доволі сильно знижує якість зерна кукурудзи, а отже процес сушіння необхідно проводити в «м'якому» режимі сушіння. Також доволі часто застосовується режим багатократної циркуляції сушильного агенту.

- «Ефект «загартування» зерна. При охолодженні зерна до проведення його сушіння доволі часто виникає зменшення рухомості волого в зерні. При цьому це доволі сильно ускладнює процес сушіння зерна.

Розуміючи основні особливості сушки зерна кукурудзи необхідною умовою є аналіз технічних особливостей сушарок, що дозволяють працювати з даною продукцією.

Господарства Сумської області використовують доволі великий спектр мобільних сушарок. При цьому доволі часто зерно кукурудзи здають на елеватори одразу з полів, а отже всі процеси сушки та очистки лягають на обладнання елеваторів. При цьому доволі часто проводять очистку зерна паралельно з його сушкою. А отже подібні процеси значно ускладнює загальний процес сушки зерна кукурудзи.

Виходячи з цього доволі часто використовуються шахтні та модульні (колонкові) сушарки, що підходять для сушіння більшості культур (рис.1.1). При цьому вони мають гарну продуктивність та якість сушки зерна.



а – шахтна схема сушарки; б – модульна схема сушарки

Рисунок 1.1 – Загальна схема сушарок для сушки зерна кукурудзи

Відповідно схеми даних сушарок є доволі схожими на перший погляд (рис. 1.1). Але проведемо більш детальний їх огляд з аналізом всіх особливостей. Всі ці сушарки мають декілька зон сушіння, що поділяються на зону нагрівання (сушіння), зону вирівнювання (відлежування) та зону охолодження.

В зоні нагрівання зерно напряму контактує з теплоносієм, який має високу температуру. Відповідно в зоні вирівнювання зернова маса знаходиться без будь якого контакту з теплоносієм. При цьому в даній зоні внутрішня волога в зерні переміщується до зовнішніх шарів, а отже вдається виконати запобігання розтріскуванню зернини. В зоні охолодження зерно охолоджується до температури, що є максимально безпечною для подальшого його зберігання. В зоні охолодження зазвичай використовують температуру, що є більшою від температури навколишнього середовища на 5-10°C.

Виконання такої послідовності сушіння зерна кукурудзи забезпечується багатозонним режимом роботи зернової сушарки різної конструкції. При цьому даний режим є найбільш ефективним при проведенні сушки зерна різноманітних культур.

Для забезпечення більш рівномірного сушіння, а також зниження температурних перепадів деякі сушарки забезпечують реверс потоку. При цьому здійснюється зміна напрямку руху теплоносія або зернової маси.

Процес сушіння зерна кукурудзи супроводжується суворим дотриманням температурного режиму. При цьому доволі серйозно температура контролюється відповідними датчиками на рівні 90-130°C. Інша температура, яку доволі серйозно відстежують є температура зернової маси. При цьому вона має бути в межах 50-55°C. Необхідно зазначити, що дане значення температури зернової маси зазначено для продовольчого зерна, а от для насінневого матеріалу значення температури зернової маси є нижчим.

Через високе значення вологості зернової маси кукурудзи сушку його проводять за циркуляційною схемою. При цьому зернову масу проводять через сушарку декілька разів поступово знижуючи вологість. Даний процес дозволяє фактично повністю уникнути теплового шоку зерна та виконати процес сушіння в більш «м'якому» режимі.

При проведенні сушки зернової маси будь якої культури, в тому числі і зерна кукурудзи, електротехнічний комплекс сушарки є найбільшим споживачем електроенергії. Основним обладнанням, що споживає електроенергію є електроприводи, вентилятори, датчики, норії та ін.

Всі електроприводи сушарки мають відповідати вимогам:

- мати високу потужність;
- мати плавність пуску та виконання керування;
- бути енергоефективними.

Найбільша кількість електроприводів встановлюється саме на приводи вентиляторів. В сучасній високопродуктивній сушарці використовуються потужні електродвигуни.

Доволі часто всі приводи оснащуються пристроями плавного пуску чи частотними перетворювачами для здійснення регулювання подачі повітря, теплоносія чи ін. Подібні регулювання є критично важливим при обмеженій потужності підстанцій та дозволяє уникнути пікових струмових навантажень.

Всі електроприводи повинні бути високоефективними, що є стандартом при зменшенні експлуатаційних витрат сушки зернових культур.

Не менш важливим фактором є автоматизація та контроль процесу сушіння зерна кукурудзи. Основними параметрами, що контролюються відповідними датчиками є вологість та температура.

Контроль вологості та температури зернової маси здійснюється в автоматичному режимі з використанням датчиків вологості та датчиків температури. Дані з датчиків передаються до загальної системи контролю та відповідно до цього здійснюється регулювання швидкості руху зернової маси та подачі теплоносія.

Загальна схема автоматизації сушарки обов'язково оснащується системою безпеки. В автоматизації використовуються системи блокування та захисту електродвигунів від перевантаження. Також обов'язково всі системи повинні бути забезпечені захистом від коротких замикань та неповноти фаз. Основним блокуванням системи є аварійне відключення її при значному перевищенні критичного значення температури.

Загалом всі сушильні комплекси передбачають комп'ютеризацію всіх процесів. Оператор відстежує всі параметри процесу сушіння та здійснює керування режимами. Все це дозволяє зробити диспетчерський пункт керування, який дозволяє навіть здійснювати оптимізацію енергоспоживання загальної системи.

Іншим доволі важливим процесом, що потребує уваги з точки зору загальної організації роботи сушильного обладнання підприємства чи елеватору є електропостачання. Потужність підстанції має бути розрахована на виконання сушки зернової маси. Розрахунок потужності трансформаторної підстанції має враховувати пікове споживання в період збирання врожаю, коли одночасно

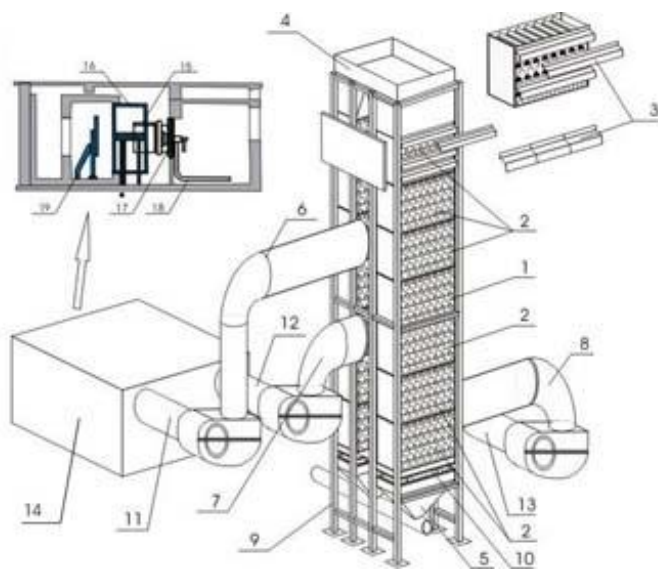
працює сушарка, транспортне обладнання (норії, скребкові конвеєри) та вентилятори.

1.3 Електротехнічний комплекс сушарки з аналізом обладнання

Серед елеваторних господарств та різних агротехнічних господарств найбільш розповсюдженими є зерносушарки типу ДСП з продуктивністю 32 т/год. Дані сушарки є шахтними сушарками, що розміщується в безпосередній близькості до зони зберігання зерна. На елеваторах це фактичне розміщення поблизу силосів. Особливістю даної сушарки є те, що вона є стаціонарною та розміщується на території без потреби будівництва великих будівель. Для більшого розуміння особливостей будови розглянемо загальну схему влаштування даної сушарки (рис. 1.2). Технічна характеристика сушарки наведена в додатку А.



а



б

а – загальний вигляд сушарки; б – будова сушарки.

1 – секція зворотна; 2 – секція пряма; 3 – захисні козирки; 4 – буфер надсушильний; 5 – буфер підсушильний; 6 – дифузор для правої зони сушіння; 7 – дифузор для лівої зони сушіння; 8 – дифузор зони охолодження; 9 – каркас сушарки; 10 – затвор випускний; 11 – повітропровід першої зони сушіння; 12 – повітропровід другої зони сушіння; 13 – повітропровід охолодження; 14 – топка; 15, 16 – кожухи; 17 – рама; 18 повітропроводи; 19 – відбивач.

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд та будова зерносушарки типу ДСП

Сушарка типу ДСП забезпечується газовим пальником, що розміщується в топці. Сушильний агент з топки проходить по газоходу до сушильних шахт. Подача сушильного агента здійснюється за допомогою вентиляторів. Основним видом палива, що використовується в сушарці є рідке або газоподібне паливо.

Необхідно зазначити, що пульт керування сушаркою та топка розміщуються в будівлі або контейнері поблизу сушильної камери, звідки відповідно здійснюється і контроль всіх процесів.

Сушарка забезпечення декількома зонами де забезпечується сушіння зернової маси (верхня, середня та нижня). У верхній зоні здійснюється початковий етап сушіння зернової маси, з якого воно передається до передньої зони. В середній зоні відбувається досушування зерна та подальший перехід в нижню зону для його охолодження.

Сушарка має 24 ряди шахт, що розподіляються на парні та непарні. Непарні шахти підводять сушильний агент а парні відповідно виконують його відвід. Досушування здійснюється в шести рядах шахт а охолодження в дев'яти рядах.

Дана сушарка має певну ступінь пониження вологості зернової маси при кожному з процесів сушіння. В основному воно складає 6% на кожному ступінь. Загалом при сушінні зерна кукурудзи спостерігається зниження вологості за один прогін зерна з 20% до 14%. При цьому у випадку більшої вологості зернової маси необхідною умовою є збільшення числа проходів з розрахунком виходу на нормальне значення зернової маси до 14%.

Для аналізу процесу сушіння зернової маси кукурудзи пропонується провести визначення особливостей сушки зерна кукурудзи на 1% за один прохід та визначити основні особливості роботи системи автоматизації та інших систем. Подібні результати можна буде використовувати при проведенні сушки зерна з більшою вологістю. Виходячи з цього попередньо задана вологість зернової маси знаходитиметься на рівні 15%.

Оскільки всі процеси регулюються системою автоматизації то необхідною умовою подальших досліджень є саме дослідження системи автоматизації з

основними її елементами. Але першочергово пропонується провести аналіз основного обладнання зерносушарки для розуміння параметрів роботи кожного з них.

Сушильний агент нагрівається за рахунок спалювання палива в топці. Топка оснащується пальником, що має потужність до 8000 кВт. При цьому мінімально можливе значення знаходиться на рівні 600 кВт. Вибір пальника здійснюється залежно від необхідних об'ємів сушіння. Пальники, що використовуються в даній топці є пальниками від виробника UNIGAS італійського виробництва. Загальний вигляд пальника наведено на рисунку 1.3, габаритні розміри та типорозміри пальників різної потужності даного виробника наведено в додатках.

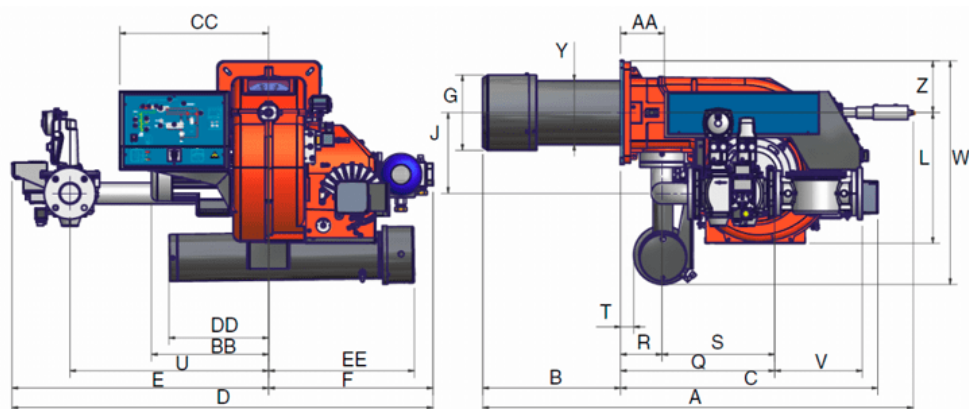


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд та розміри пальника

Різноманітність потужності пальника забезпечується габаритними розмірами та особливістю обладнання. Пальник забезпечується системою автоматизації, з відповідними датчиками температури теплоносія. При цьому ефективність спалювання палива є доволі високоефективним, екологічним та забезпечує якість теплового агенту.

Автоматизація забезпечується використанням мікропроцесорного пристрою пальника, що має схожий інтерфейс з іншими елементами сушарки. Загалом комп'ютерна система сушарки забезпечується інтерфейсом RS-485, що дозволяє синхронізувати все обладнання та датчики. А отже і температура сушильного агенту може бути виконана з пульта оператора.

Керування процесом сушіння та подачею сушильного агенту і зернової маси використовуються клапани забезпечені електроприводами. Подібні клапани встановлюються в різних частинах сушарки та керують зміною напрямку для зернової маси та для сушильного агенту. Також за необхідності клапан може перенаправляти зернову масу до її досушування. Даний клапан з електроприводом фактично є виконавчим пристроєм в сушарці. Загальний вигляд клапана наведено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд клапана оснащеного електроприводом

Оскільки сушарка шахтного типу, то рух зерна в системі здійснюється самопливом, з регулюванням та перенаправленням клапанами. Привід клапана здійснюється електромотором, що має реверс. Фіксація положення заслінки в клапані виконується з використанням кінцевих вимикачів, що відключають привідний електродвигун.

Загалом конструкції клапанів для сушки зерна є доволі велика кількість. Основними характеристиками їх є пропускна здатність, що залежить від поперечного перерізу клапана.

Регулювання зернового потоку за допомогою клапанів здійснюється або перенаправленням потоку або підмішуванням сухого та вологого зерна. При цьому здійснюється подача в ту чи іншу шахту зерносушарки.

При аналізі системи автоматизації зерносушарки необхідно враховувати певну періодичність роботи електрообладнання. Виходячи з цього і зернова маса

рухається з певною періодичністю, а отже і параметри всіх систем теж підкорюються цим законам.

Кінцевим процесом в роботі з зерном кукурудзи є відповідно зберігання зернової маси. Подачу зернової маси в силоси чи бункери здійснюють з використанням відповідних норій чи транспортерів. Загалом транспортуючі пристрої в своїй більшості не підключаються до загальної системи автоматизації сушарки. Вони працюють постійно та вмикаються в ручному режимі після вивантаження сухої зернової маси з сушарки.

Контроль вологості здійснюється вологомірами, що розміщуються в шахтах сушарок. Вологоміри розміщуються у шахтах всіх трьох зон, для більш якісного керування процесом.

Контроль температури здійснюється також в усіх зонах, але додатково встановлюються в зонах з мінімальною температурою та максимальною температурою. При цьому здійснюється контроль як сушильного агенту так і маси зерна.

Отримані дані від датчиків вологості та температури виводяться на пульт керування, де оператор може здійснювати контроль в ручному режимі або система може працювати в автоматичному режимі з дотриманням заданих оператором параметрів.

Необхідною умовою роботи системи автоматизації та керування оператором в ручному режимі є дотримання параметрів сушіння зернової маси культури. При цьому основні параметри описані вище. Відхилення параметрів по температурі повинно складати не більше $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Зауважимо, що система автоматизації даною зерносушаркою має певну затримку по зворотному зв'язку. При отриманні даних температури та вологості, система аналізує подальшу необхідність зміни параметру і віддає відповідну команду. При цьому як температура сушильного агенту так і подача зернової маси здійснюється з певною затримкою. Виходячи з цього необхідно враховувати подібний ефект при регулюванні параметрів та відповідно налаштовувати роботу системи.

Для подальшого аналізу системи автоматизації необхідно обрати параметри для регулювання. Відповідно до цього зернова маса кукурудзи має два параметри регулювання (вологість та температура), а сушильний агент має лише один параметр (температура).

Як зазначалось вище, контроль всіх параметрів здійснюється в ключових точках процесу сушіння, а отже кількість датчиків та значень температур та вологості значно зростає. Виходячи з цього оператору доволі важко здійснювати контроль за всіма значеннями, а отже для контролю необхідна постійна участь системи автоматизації при сушінні.

При цьому необхідно обов'язково враховувати, що температура зернової маси повинна знаходитись на рівні 50°C , і не мати значних коливань більше 55°C , а отже не повинна мати перепаду $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Основним першочерговим параметром для контролю та роботи системи автоматизації сушарки є вологість. Температура в загальній схемі керування сушаркою є другорядним параметром, що здійснює вплив на вологість. Подібний розподіл параметрів опис системи керування параметром температури можна зобразити в математичному вигляді:

$$T_{\text{с.відх}} = |T_{\text{с}} - T_{\text{с.зад}}| \rightarrow \min \quad (1.1)$$

де $T_{\text{с.відх}}$ – температурне відхилення в порівнянні з початковим значенням;

$T_{\text{с.зад}}$ – температура нагрівання зерна відповідно до умов сушіння;

$T_{\text{с}}$ – поточне значення температурного параметру зернової маси.

У відповідності до рівняння (1.1) можна виконувати необхідний контроль всіх параметрів. При цьому регулювання температурним процесом зернової маси здійснюється до моменту досягнення вологості зернової маси до нормативної величини в 14%. Охолодження зернової маси також здійснюється за законами даного рівняння.

В результаті роботи зерносушарки отримуємо певний тепловий баланс зерносушарки та зернової маси. На основі загального теплового балансу можна

проводити визначення особливостей сушки зерна та формування параметрів для системи автоматизації. Основним змінним параметром в результаті є температура, а вологість є контрольним параметром для системи.

Висновки до розділу

Сушіння кукурудзи є високотехнологічним процесом, який вимагає компромісу між швидкістю (продуктивністю) та якістю (цілісністю зерна). Ефективність залежить не тільки від вибору сушарки, але й від точності автоматизованого керування електротехнічним комплексом, спрямованого на мінімізацію енергоспоживання та дотримання безпечних температурних режимів.

РОЗДІЛ 2. АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ЗЕРНОСУШАРКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШКИ

2.1 Структурна схема автоматизації зерносушарки

Для аналізу системи автоматизації сушарки необхідно зрозуміти основні параметри для здійснення контролю. Відповідно до попереднього аналізу, основним параметром є вологість, що контролюється системою автоматизації, а її зміна характеризується температурним режимом її роботи.

Також необхідно зрозуміти основний принцип роботи зерносушарки, що описаний в попередньому розділі. Після цього необхідно знати основні температурні обмеження для всіх основних елементів сушарки. Як було визначено температура сушильного агенту повинна складати 130°C , а відповідно температура зернової маси повинна становити 50°C . При цьому перепад температур не повинен бути більшим $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Вибір системи автоматизації зерносушарки залежить досить сильно від кількості рівнів виконання сушки та проведення подальшого охолодження. Як зазначалось вище запропонована до аналізу сушарка є тризонною, а отже і система автоматизації потребує трирівневу систему автоматизації.

Також при виборі системи автоматизації необхідно обрати рівні здійснення контролю. При цьому система повинна бути також трирівневою за особливостями керування.

Перший рівень керування забезпечується датчиками температур та вологості, а також іншими датчиками для контролю процесу.

Другий рівень контролю забезпечується системою обробки та збору даних. Даний рівень фактично забезпечується комп'ютерним обладнанням та обладнанням синхронізації різних інтерфейсів системи.

Третій рівень функціонування системи автоматизації забезпечується пультом керування, в тому числі і з врахуванням режиму ручного керування.

В загальному випадку всі систему автоматизації зерносушарки можна зобразити у вигляді блок-схеми, що має три рівні. Загальний вигляд блок-схеми наведено на рисунку 2.1.

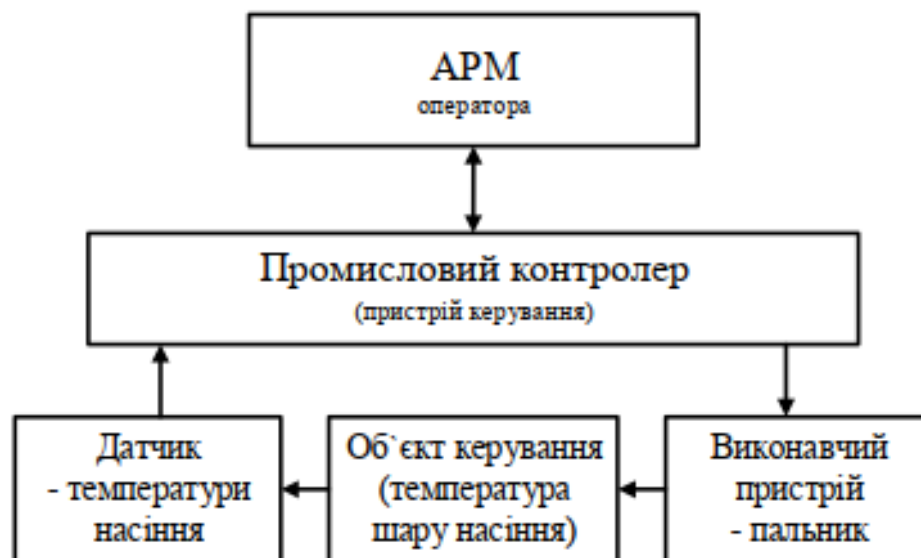


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд системи автоматизації сушарки

Схема (рис. 2.1) в повній мірі описує всі параметри та рівні контролю. На верхньому рівні даної системи розташовується система керування з доступом до керування оператору. Другий рівень представлено відповідними контролерами, для обробки інформації, і відповідно третій рівень зображує основні датчики. Система зв'язків між різними блоками системи автоматизації показує логіку контролю загального процесу сушіння зернової маси кукурудзи з аналізом послідовності запитів від системи. Загалом система за аналізом параметрів є зацикленою.

Необхідно зазначити, що в якості основного виконавчого пристрою зерносушарки є пальник, температура якого також контролюється загальною системою автоматизації. В якості додаткових виконавчих пристроїв в будові сушарки використовуються клапани з електроприводами.

Всі системи, датчики та виконавчі пристрої повинні використовувати інтерфейс RS-485, що дозволить виконати синхронізацію всіх елементів.

Основна роль в системі автоматизації сушарки відведена верхньому рівню, а саме оператору. Першочерговим завданням якого є вибір необхідної оптимальної програми сушки зерна культури.

2.2 Аналіз апаратної частини забезпечення процесу сушіння зернової маси

Загалом система автоматизації представлена трьома різними рівнями контролю. Контроль здійснюється за параметром вологи, а регулювання його за параметром температури. Необхідний температурний режим забезпечується датчиками, основними з яких є датчик ДТС-35.50М.В3.6. Основною особливістю даного датчика є можливість вимірювання температур в широкому діапазоні (від мінус 50°C до плюс 180°C). Виходячи з аналізу температурного режиму діапазон даного датчику відповідає програмі та особливостям сушіння зерна кукурудзи.

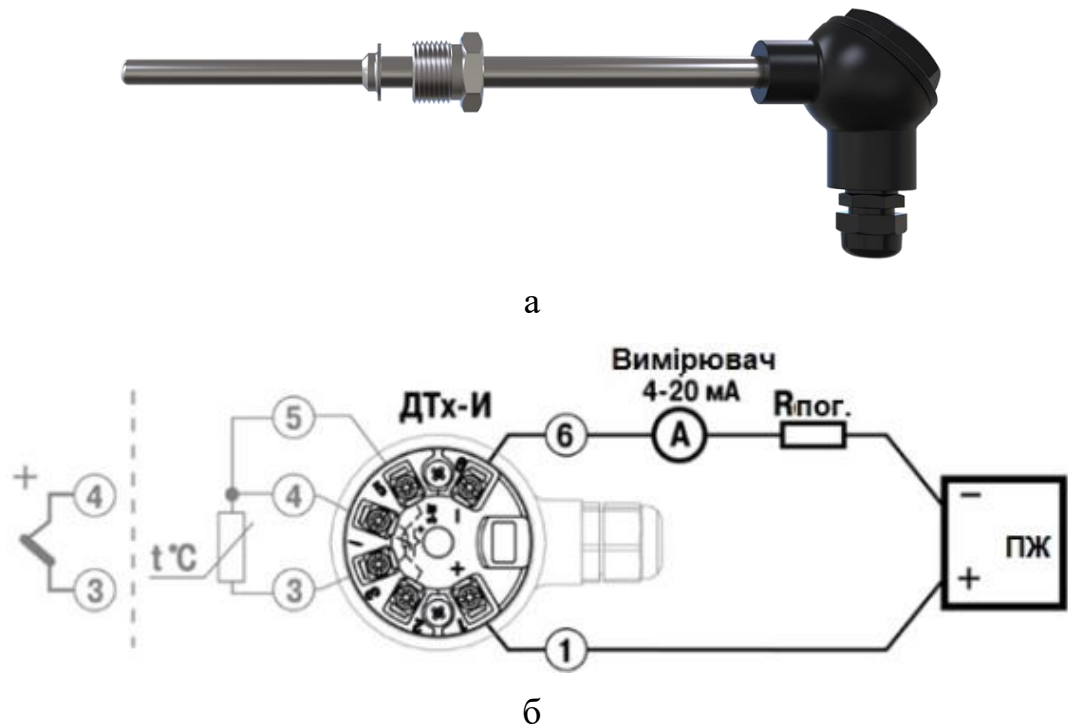
Попередньо пропонується визначитись з основним обладнанням та його призначенням, а також звести його в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Датчики прийняття рішень системи керування сушарки

Параметр	Датчик	Функція датчика
Вологість вхідна	Ємнісний / резистивний вологомір	Визначає початковий режим сушіння.
Вологість вихідна	Ємнісний / резистивний вологомір	Ключовий параметр зворотного зв'язку. Порівнюється з цільовим значенням.
Температура агента сушіння	Термопара / терморезистор	Контролює температуру повітря, що подається (запобігає пошкодженню зерна).
Температура зерна (у зонах)	Термощуп / Термокоса	Контролює внутрішній перегрів зерна (критично для кукурудзи).
Рівень зерна	Ємнісні / оптичні датчики рівня	Контроль заповнення сушарки та бункерів (забезпечення безперервності процесу).

Відповідно до даних таблиці 2.2 пропонується проводити підбір всього іншого обладнання для системи автоматизації. В основному датчики мають схожу будову та дещо різний принцип роботи. Для подальшого аналізу

пропонується визначитись з загальною схемою датчика температури та його загальним виглядом (рис. 2.2).



а – загальний вигляд датчика ДТС-35-50М.В3.6;

б – схема електрична принципова датчика температури

Рисунок 2.2 – Датчик визначення температури процесів сушіння зерна

Технічна характеристика датчика наведена в додатку А. Необхідно зауважити, що даний термодатчик забезпечує доволі високий показник точності вимірювання (0,5%), що дозволяє з достатньою швидкістю коригувати величину температури всіх процесів. Даний датчик працює за принципом перетворення величини температури в опір з подальшим зчитуванням значення автоматичною системою. Виходячи з цього датчик підходить до використання в системах з інтерфейсом RS-485. Одним з негативних сторін даного датчика є те, що він фактично є аналоговим датчиком, а отже потребує узгодження з загальною системою.

Загалом вся система автоматизації працює з певною напругою, що необхідна для системи керування. Для пальника сушарки, системи датчиків та системи керування загалом напруга повинна бути 24 В. При цьому для

виконавчих органів (клапанів та електроприводів) використовується напруга 380В. Важливим параметром також є і струм системи керування, що знаходиться в межах значень 4-20 мА.

Керування всіма елементами сушарки здійснюється з пульта керування. Після задання команди оператором першочергово здійснюється синхронізація всього обладнання та перевірка працездатності системи. Після цього здійснюється виконання відповідної заданої оператором програми сушки під конкретну культуру та її вологість.

Система контролю в сушарці представлена мікропроцесорним пристроєм з вбудованим логістичним контролером. Загалом робота з контролю здійснюється відповідно до модульної структури, що зображена на рисунку 2.1.

В загальній системі використовується мікропроцесорний пристрій VIPA-214-2В-03. При цьому даний пристрій дозволяє доволі швидко виконувати операції обрахунку та виконання циклу певної роботи. Час виконання циклу роботи даним пристроєм не більше 100 мс, що забезпечує необхідну швидкодію всієї системи автоматизації. При цьому забезпечується вчасність реагування на будь-які зміни температури.

Мікропроцесорний пристрій дозволяє вміщувати певну кількість інформації у вбудованому модулі пам'яті. Загальний об'єм даного модуля становить 144 Кб. Ще однією особливістю даного пристрою є те, що він дозволяє під'єднати достатню кількість пристроїв виконання команд, але тип даних пристроїв повинен бути цифровим. Іншою перевагою даного пристрою є те, що його можна використовувати з комп'ютерною технікою, з виходом в мережу Ethernet.

Напруга для виконання живлення даного блоку становить 24 В, що доволі легко узгоджується з роботою всіх інших елементів системи автоматизації. Загальний вигляд мікропроцесорного пристрою наведено на рисунку 2.3, а його технічна характеристика наведена в додатках до диплому.

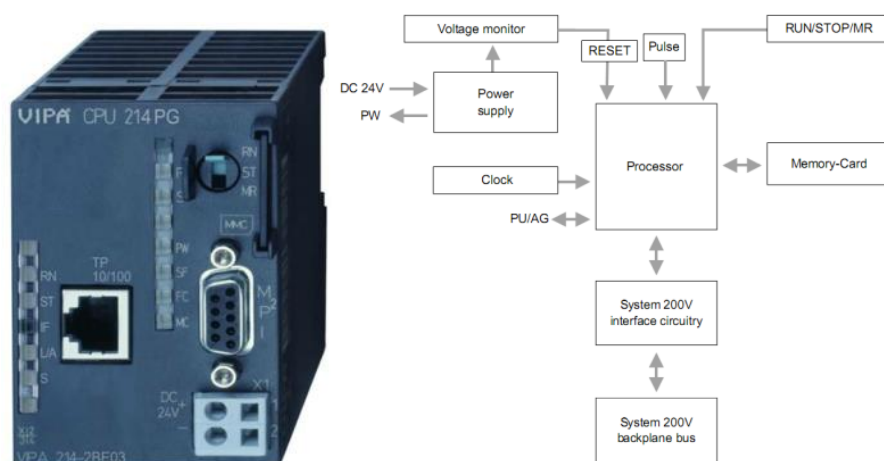


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд та принцип функціонування основних модулів мікропроцесорного пристрою

Загальна синхронізація системи автоматизації процесу сушіння потребує узгодження, адже датчики температури та вологості фактично є аналоговими. Для такої синхронізації використовують перетворювальні блоки з аналогового в цифровий сигнал. Доволі часто використовується в сушарках блок перетворення сигналів BD-2341-50.

Даний блок перетворення BD-2341-50 працює з оптимальною для загальної системи 24 В. Та працює з інтерфейсом RS-485. При цьому діапазон сигналу при прийомі знаходиться в межах 4-20 мА. Технічні характеристики блоку перетворення наведено в додатках до диплому.

Наступним елементом системи керування є відповідно блок CP-2401CA. Даний блок здійснює відповідно контроль за основними параметрами та їх вибором. А також даний блок дозволяє обробляти та видавати сигнали з параметрами роботи сушарки.

Необхідно зазначити, що при збиранні системи автоматизації конкретного процесу (сушки зерна) необхідно, щоб всі основні елементи та обладнання були однієї фірми для полегшення узгодження та збирання основних компонентів системи. При цьому узгодження цих елементів не матиме доволі великих складнощів та буде працювати більш якісно.

Збирання загальної системи здійснюється з використанням різноманітних роз'ємів, при цьому можливість зібрати не вірно загальну систему неможливо.

Необхідно зазначити, що при збиранні використовують відповідні схеми з'єднань. Так схема з'єднання пульта керування та іншого обладнання, що приймає участь у автоматизації процесу сушіння зерна наведено на рисунку 2.4.

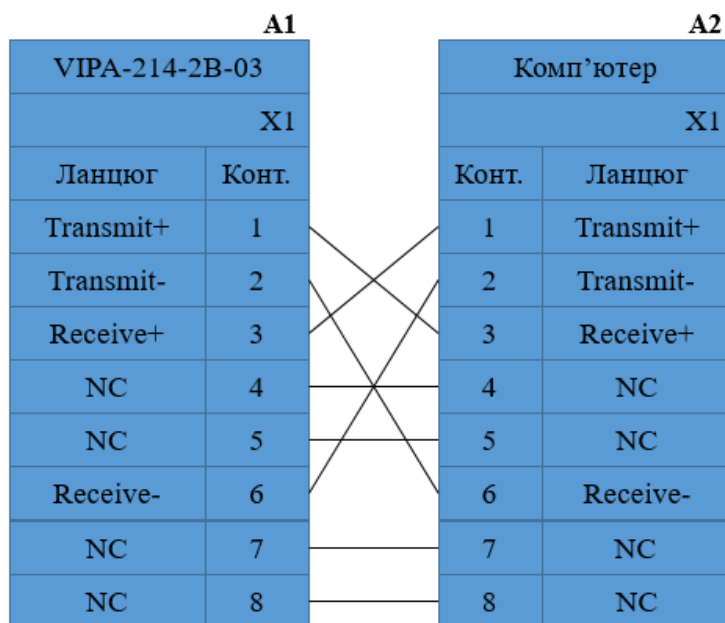


Рисунок 2.4 – Схематичне зображення виконання з'єднань для пульта здійснення керування обладнанням автоматизації зерносушарки

Для подальшого аналізу системи необхідно виконати зведену інформацію по системі автоматизації зерносушарки загалом. Все обладнання пропонується встановлювати від фірми VIPA. Пропонуємо звести основне обладнання до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Загальний опис системи автоматизації обраної сушарки

Назва обладнання	Опис	Потужність пристрою, кВт
VIPА-214-2В-03	Мікропроцесорний пристрій	0,006
ДТС-35-50М.В3.6	Датчик температури	0,001
BD-2341-50	Блок перетворення сигналів з аналогового на цифровий	0,0029
CP-2401CA	Блок керування, що працює з інтерфейсом RS-485	0,00075
Загальна потужність системи керування та автоматизації зерносушарки		0,01065

Виходячи з даних таблиця 2.2 бачимо, що загальна потужність системи автоматизації має малу потужність, а отже не має значного впливу на загальну потужність зерносушарки. При цьому в даному розрахунку потужність датчика температури вказана для одного датчика. В реальності даних датчиків доволі багато, але їх потужність є малою для впливу на систему.

Оскільки система автоматизації живиться від напруги 24 В, то необхідно вибрати джерело живлення постійного струму. В подібних системах доволі часто використовується блоки типу SPD-1230. Даний блок здатний забезпечувати сталі значення напруги, споживаючи при цьому 6 Вт.

Вхідна напруга до блоку живлення коливається в межах 85...265 В. Обраний блок живлення дозволяє заживлювати пристрої з потужністю до 30 Вт.

Технічні характеристики блока живлення наведено в додатку до диплома, а загальний вигляд на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд блоку живлення системи автоматизації зерносушарки

Аналіз системи автоматизації потребує побудови функціональної схеми автоматизації сушарки, з вказанням особливостей руху зернових мас, подачі повітря, розміщення основних елементів системи автоматизації. Загальна схема автоматизації для обраної зерносушарки наведено на рисунку 2.6.

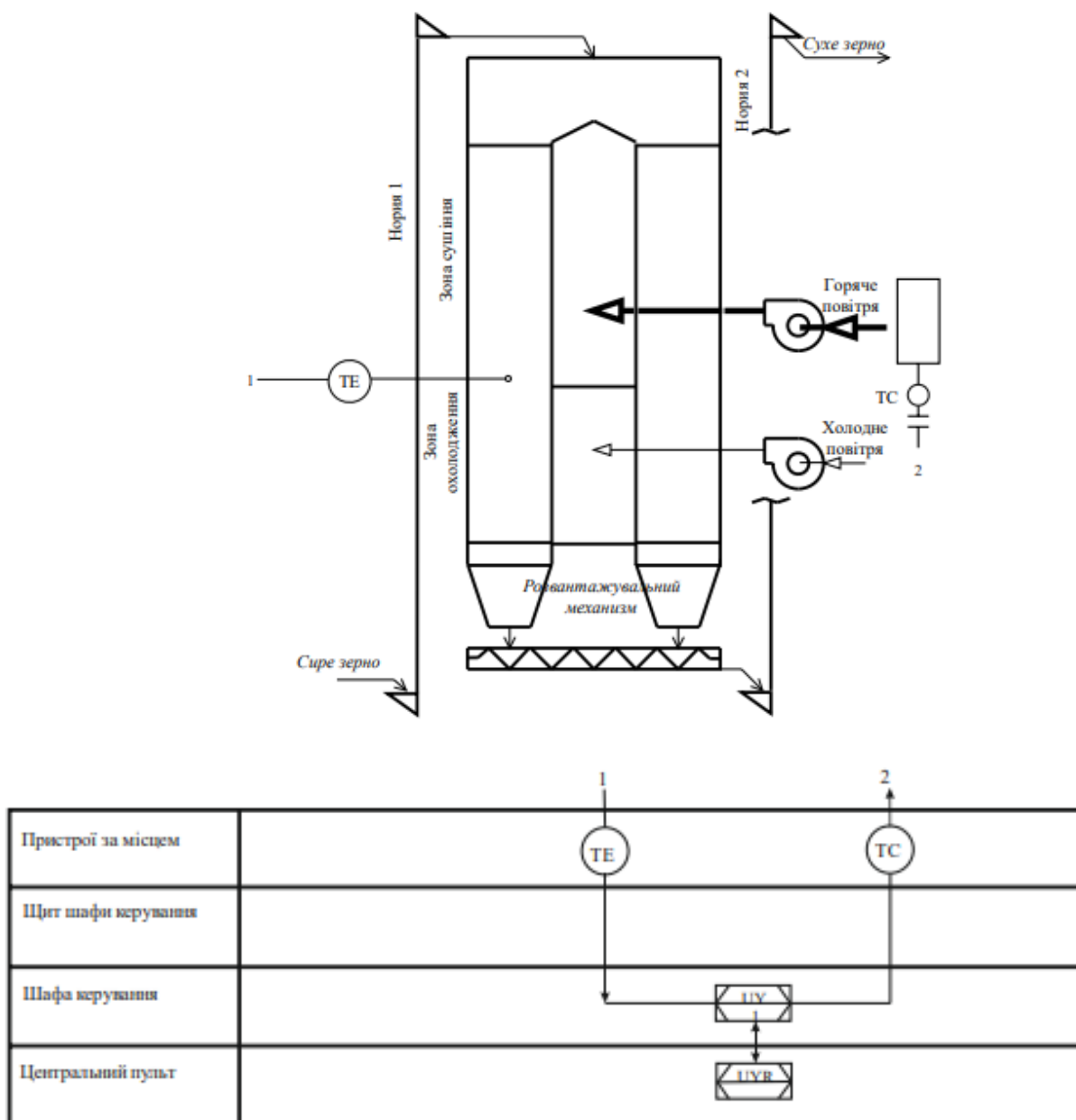


Рисунок 2.6 – Загальна функціональна схема автоматизації процесу сушки зернових мас

Дана схема (рис. 2.6) показує розміщення основних датчиків та інших пристроїв системи, залежно від їх призначення та функціональних особливостей. Кількість датчиків температури та вологості обирається залежно від необхідної точності регулювання всіх процесів тепло-масообміну в зерносушарці.

2.3 Моделювання теплообміну в зерносушарці

Оскільки вся система роботи зерносушарки ґрунтується на тепло-масообміні то виникає певна необхідність проведення аналізу загального теплового балансу зерносушарки при сушінні зерна кукурудзи. Відповідно до даної моделі теплового балансу необхідно здійснювати регулювання системи автоматизації процесу сушіння зерна кукурудзи.

Першочергово необхідно визначити рівняння виконання нагрівання зерна кукурудзи:

$$dQ_z = \vartheta_z (T_{\text{вих}} - T_{\text{вх}}) m_z \quad (2.1)$$

Після нагрівання зерна виникає процес випаровування вологи через зовнішню оболонку зернини, а отже даний процес можна описати рівнянням:

$$dQ_B = \vartheta_B (T_{\text{вих}} - T_{\text{вх}}) (m_z \rho + m_z d\rho) \quad (2.2)$$

На випаровування вологи з зерна затрачується певна кількість теплової енергії, що описується рівнянням:

$$dQ_{\text{вип}} = -r_{\text{вип}} m_z d\rho \quad (2.3)$$

Теплова енергія затрачується не лише на випаровування вологи з зерна, а і на його нагрівання. Виходячи з цього затрачена теплова енергії на нагрівання зернової маси визначається з рівняння:

$$dQ_{\text{пар}} = \vartheta_{\text{пар}} (T_{\text{вип}} - T_{\text{вх}}) m_z (-d\rho) \quad (2.4)$$

В наведених рівняннях значення dQ описує кількість теплової енергії затраченої на проведення сушіння зерна кукурудзи. При цьому дана величина враховує також і тепло витрачене на випаровування вологи з зернової маси.

В тепловому балансі зерносушарки необхідно також враховувати теплову енергію, що видаляється з повітрям при сушінні:

$$dQ_{\text{пар}} = m_{\text{воз}}(T_{\text{ва}} - T_{\text{вп}})\vartheta_{\text{воз}} \quad (2.5)$$

$$m_{\text{в}} = m_3\rho; m_{\text{пар}} = m_3d\rho \quad (2.6)$$

де ρ – значення відносної вологості зерна кукурудзи;

$m_{\text{в}}$ – маса водяної пари в зерні кукурудзи;

$m_{\text{пар}}$ – маса пари в зерні кукурудзи при випаровуванні.

Знаючи основні затрати теплової енергії можна визначити швидкість її подачі на процес сушіння зерна кукурудзи:

$$dQ = k_2(T_{\text{ва}} - T_{\text{вх}})dt \quad (2.7)$$

де $T_{\text{вх}}$ – температура зерна кукурудзи до початку сушіння;

$T_{\text{ва}}$ – температура зернової маси приблизно в середині сушки зерна кукурудзи.

$$T(t) = T_{\text{вх}}; T_{\text{вих}} = T(t) + dT \quad (2.8)$$

$$k_2(T_{\text{ва}} + T(t))dt = \vartheta_3 m_3 dT + \vartheta_{\text{в}} m_3 (\rho + d\rho) \Delta T - r_{\text{вип}} m_3 d\rho - \vartheta_{\text{пар}} (T_{\text{вп}} - T(t)) m_3 dt \quad (2.9)$$

$$k_2(T_{\text{ва}} + T(t)) = m_3 \left(\frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \vartheta_{\text{в}} (\rho + d\rho)) - (r_{\text{вип}} + \vartheta_{\text{пар}} (T_{\text{вп}} - T(t))) \frac{d\rho}{dt} \right) \quad (2.10)$$

В виразах (2.9) та (2.10) величина $d\rho$ має нескінченно мале значення, а отже не має значного впливу на процес сушіння зерна кукурудзи.

$$\frac{k_2}{m_3}(T_{\text{ва}} + T(t)) = \frac{dT}{dt}(\vartheta_3 + \rho\vartheta_B) - \left(r_{\text{вип}} + \vartheta_{\text{пар}}(T_{\text{вп}} + T(t))\right) \frac{d\rho}{dt} \quad (2.11)$$

де $\frac{dT}{dt}$ – швидкість, що характеризує нагрівання зерна кукурудзи;

$\frac{d\rho}{dt}$ – швидкість, що характеризує зміну вологи в зерні;

$r_{\text{вип}}$ – відносний параметр випаровування вологи з зерна.

Виразивши величину $m_{\text{пов}}$ через величину $v_{\text{пов}}$, то в результаті отримаємо наступний вираз:

$$m_{\text{пов}} = v_{\text{пов}} dt \quad (2.12)$$

Враховуючи рівняння (2.12) отримуємо:

$$v_{\text{пов}} \cdot \vartheta_{\text{пов}}(T_{\text{ва}} - T_{\text{вп}}) dt = k_2(T_{\text{ва}} - T_{\text{вх}}) dt \quad (2.13)$$

$$v_{\text{пов}} \cdot \vartheta_{\text{пов}}(T_{\text{ва}} - T_{\text{вп}}) = k_2(T_{\text{ва}} + T(t)) \quad (2.14)$$

Температуру зерна кукурудзи при нагріванні можна виразити через вираз:

$$T_{\text{вп}} = T_{\text{во}} - \frac{k_2}{v_{\text{пов}} \cdot \vartheta_{\text{пов}}}(T_{\text{ва}} + T(t)) \quad (2.15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{k_2}{m_3}(T_{\text{во}} - T) = \frac{dT}{dt}(\vartheta_3 + \rho\vartheta_B) - \left(r_{\text{вип}} + \vartheta_{\text{пар}}\left(T_{\text{во}} - \frac{k_2}{v_{\text{пов}} \cdot \vartheta_{\text{пов}}}(T_{\text{во}} - T)\right)\right) \frac{d\rho}{dt}; \\ \frac{d\rho}{dt} = k_1(\rho - \rho_{\text{пов}}). \end{array} \right. \quad (2.16)$$

$$\frac{k_2}{m_3} (T_{\text{во}} - T) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_B) - \left(r_{\text{вип}} + \vartheta_{\text{пар}} \left(T_{\text{во}} - \frac{k_2}{v_{\text{пов}} \cdot \vartheta_{\text{пов}}} (T_{\text{во}} - T) \right) \right) k_1 (\rho - \rho_{\text{вип}}) \quad (2.17)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{dt} = \frac{\frac{k_2}{m_3} (T_{\text{во}} - T) + \left(r_{\text{вип}} + \vartheta_{\text{пар}} \left(T_{\text{ва}} - \frac{k_2}{v_{\text{пов}} \cdot \vartheta_{\text{пов}}} (T_{\text{во}} - T) \right) \right) k_1 (\rho - \rho_{\text{пов}})}{\vartheta_3 + \rho \vartheta_B} \\ \frac{d\rho}{dt} = k_1 (\rho - \rho_{\text{пов}}). \end{array} \right. \quad (2.18)$$

Звідси:

$$T = T_{\text{на}} - \frac{1}{k} e^{-t \frac{k_2 m_3 - k_1}{\vartheta_3 - \rho \vartheta_3}} \quad (2.19)$$

Оскільки в сушарці здійснюється рух не лише сушильного агента а і зерна кукурудзи, то можна виконати опис даного процесу. Вираз оптимальної величини подачі зернової маси має вигляд:

$$\begin{cases} T_3(0) = T_{\text{па}} (1 - e^{-k t_0}); \\ T_3(\tau) = T_{\text{па}} (1 - e^{-k(t_0 + \tau)}). \end{cases} \quad (2.20)$$

де $T_3(0)$ – температура зерна кукурудзи до початку процесу сушіння;

$T_3(\tau)$ – температура зерна кукурудзи після нагрівання.

В результаті моделювання процесу нагрівання зерна кукурудзи можна отримати графік загального опису процесу. Графік з основними значеннями та точками контролю наведено на рисунку 2.7.

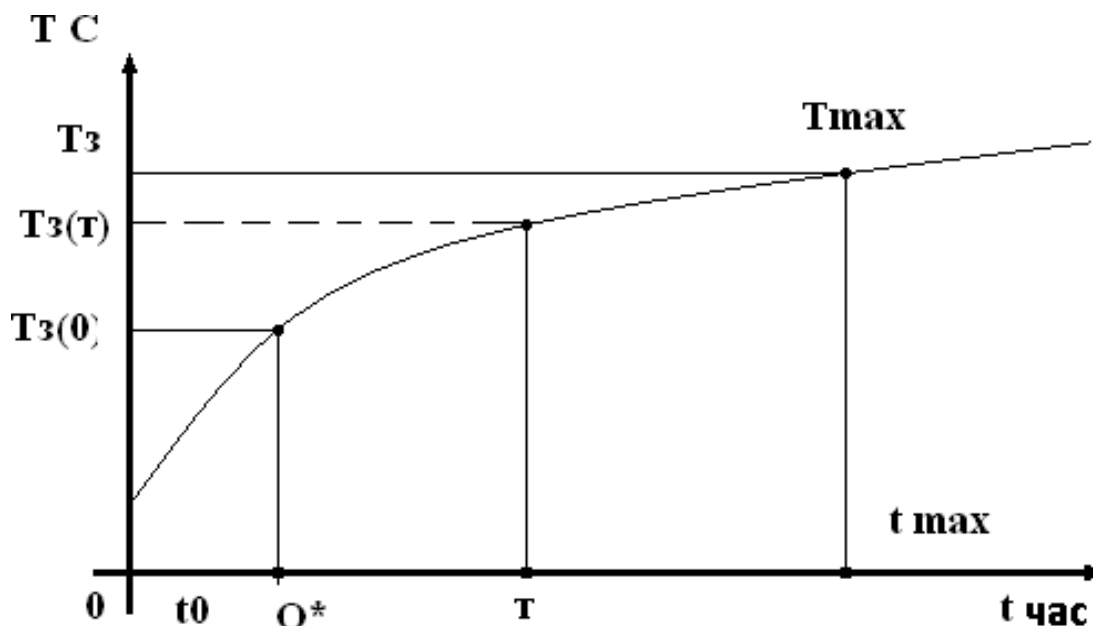


Рисунок 2.7 – Графічне зображення процесу сушки зерна кукурудзи з основними контрольними точками

Виходячи з вищенаведеної методики визначення теплового балансу зерносушарки можна отримати вираз температури зерна кукурудзи при її нагріванні:

$$T_z(t) = T_a \left(1 - \frac{T_z(0)}{T_a} e^{-\frac{1}{\tau} \ln \frac{T_a - T_z(0)}{T_a - T_z(t)}} \right) \quad (2.21)$$

Рівняння (2.21) дає можливість також визначення і інших параметрів. При цьому можна отримати швидкість руху зерна кукурудзи по шахтам сушарки. Загальний опис даного рівняння описує загалом найбільш оптимальні параметри проходження сушіння зерна кукурудзи. Також основною умовою є створення алгоритму визначення параметрів, що наведено на рисунку 2.8.

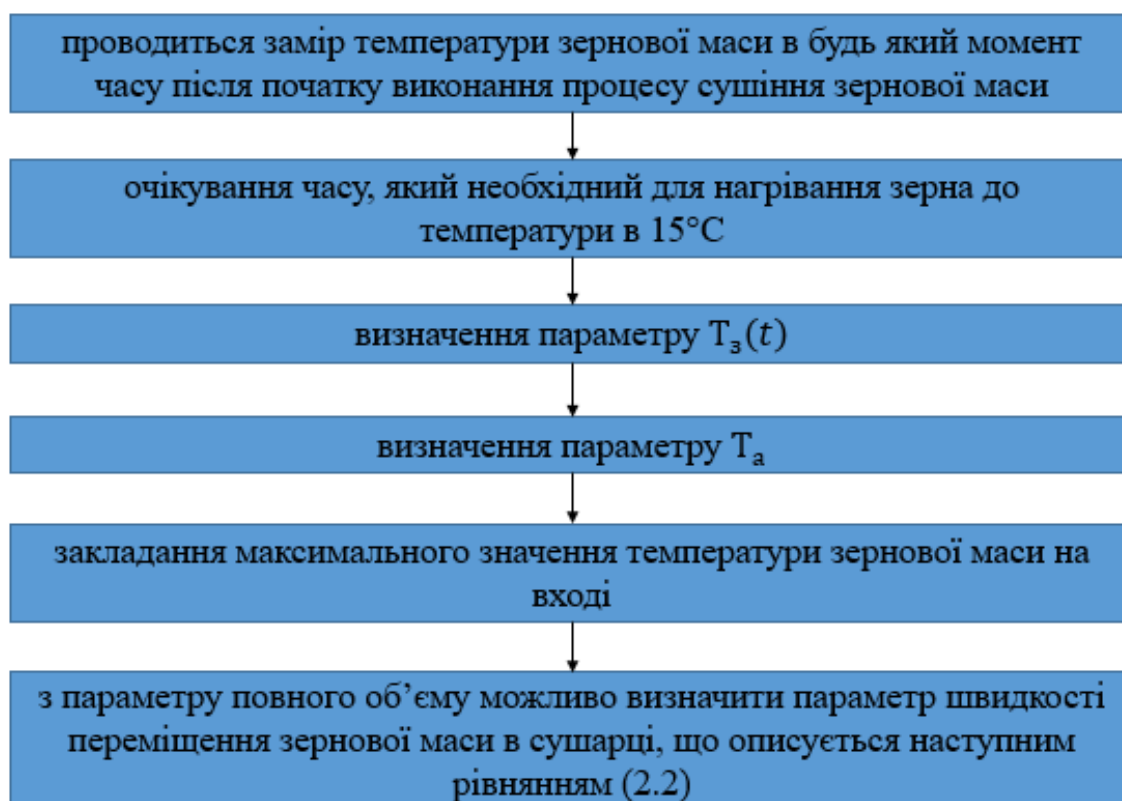


Рисунок 2.8 – Алгоритм дій проведення моделювання сушки зерна кукурудзи

Швидкість переміщення зерна кукурудзи виражається з рівняння:

$$v = \frac{V_k}{\tau} \cdot \frac{\ln \frac{T_a - T_3(0)}{T_a - T_3(\tau)}}{\ln \frac{T_a - T_3(0)}{T_a - T_{max}}} \cdot k_3 \quad (2.22)$$

де k_3 – пропорційний коефіцієнт для зернової маси кукурудзи.

Отримані величини з математичної моделі дозволяє проводити моделювання процесу сушки зернових мас, в тому числі зерна кукурудзи. При цьому для загальної працездатності системи необхідною умовою є виконання визначення оптимальних параметрів сушки зерна кукурудзи.

Висновки до розділу

Загальний опис та вибір елементів системи автоматизації процесу сушіння зерна кукурудзи дозволяє отримати оптимальні параметри для забезпечення

роботи зерносушарки. При цьому параметри обраного обладнання мають необхідну швидкодію та надійність системи.

Математичне моделювання процесу сушки зерна кукурудзи описують оптимальні параметри швидкості подачі та температури основних процесів при сушінні. Все обладнання автоматизації процесу сушіння зерна кукурудзи повинно бути налаштоване відповідно до основних параметрів та розрахунку математичної моделі. Результатом проведеного аналізу є система, що забезпечить найбільш оптимальні параметри роботи.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗЕРНОСУШАРКИ ТА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ

На початковому етапі необхідно виконати побудову загальної схеми автоматизації та взаємодії з електротехнічним комплексом. На загальній схемі необхідно провести вказання основних взаємозв'язків та вказати обмеження параметрів. Виходячи з цього для подальшого аналізу процесів впливу на роботу всіх систем зерносушарки пропонується створити схему основних потоків, що наведена на рисунку 3.1.

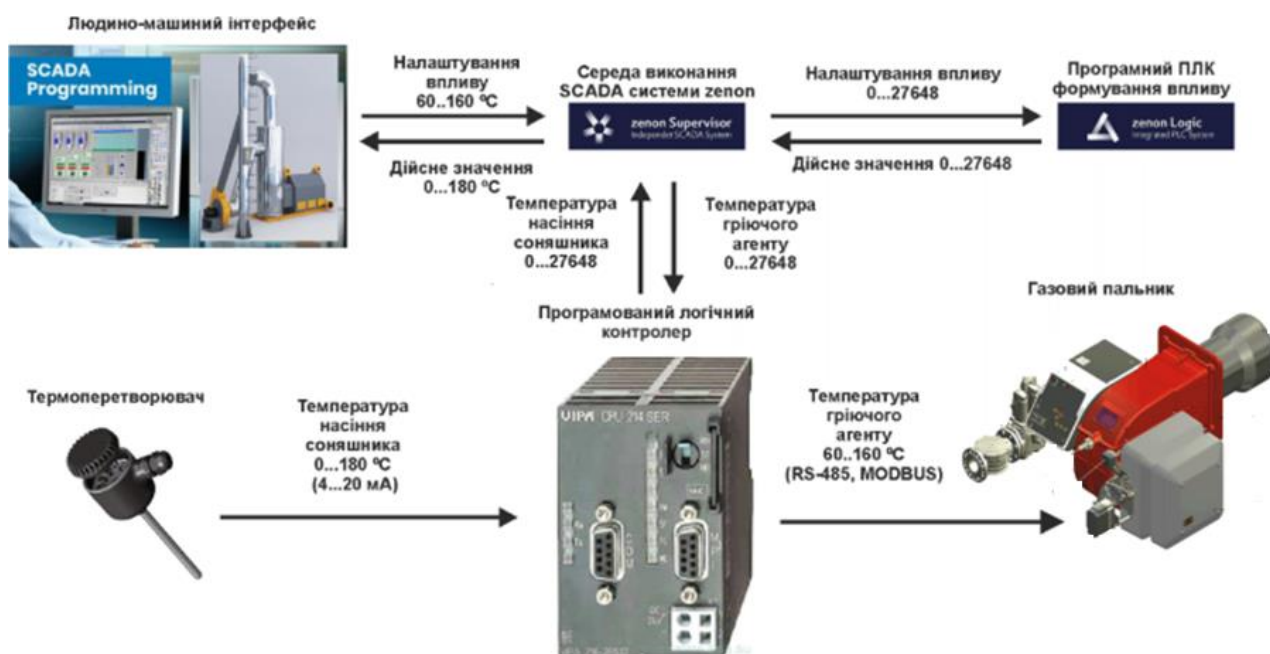


Рисунок 3.1 – Особливості організації потоків інформації при взаємодії обладнання зерносушарки

На схемі (рис. 3.1) наведено все задіяне обладнання в автоматизації сушки зерна та основні параметри, що надаються від даного обладнання і відповідно контролюється ним. При цьому дана схема надає візуалізацію загального процесу.

Для продовження аналізу роботи електротехнічного комплексу необхідно провести аналіз основних температур та режимів роботи. Проведення аналізу процесу сушіння зерна кукурудзи пропонується виконати в декілька етапів.

Першочергово необхідно виконати загальне налаштування автоматизованої системи керування, що забезпечить дискретну зміну температурних значень сушильного агенту з мінімальними значеннями. При такій умові та температурі сушильного агенту зернова маса повинна змінювати температуру за певний час та до максимального значення температури для зерна кукурудзи.

На другому етапі необхідною умовою є отримання загальних характеристик для виконання керування процесом нагрівання сушильного агенту та підтримання необхідної температури зернової маси.

В результаті було отримано данні динаміки зміни параметрів системи керування в часовому проміжку. Графіки для зернової маси кукурудзи та сушильного агенту наведено на рисунку 3.2.

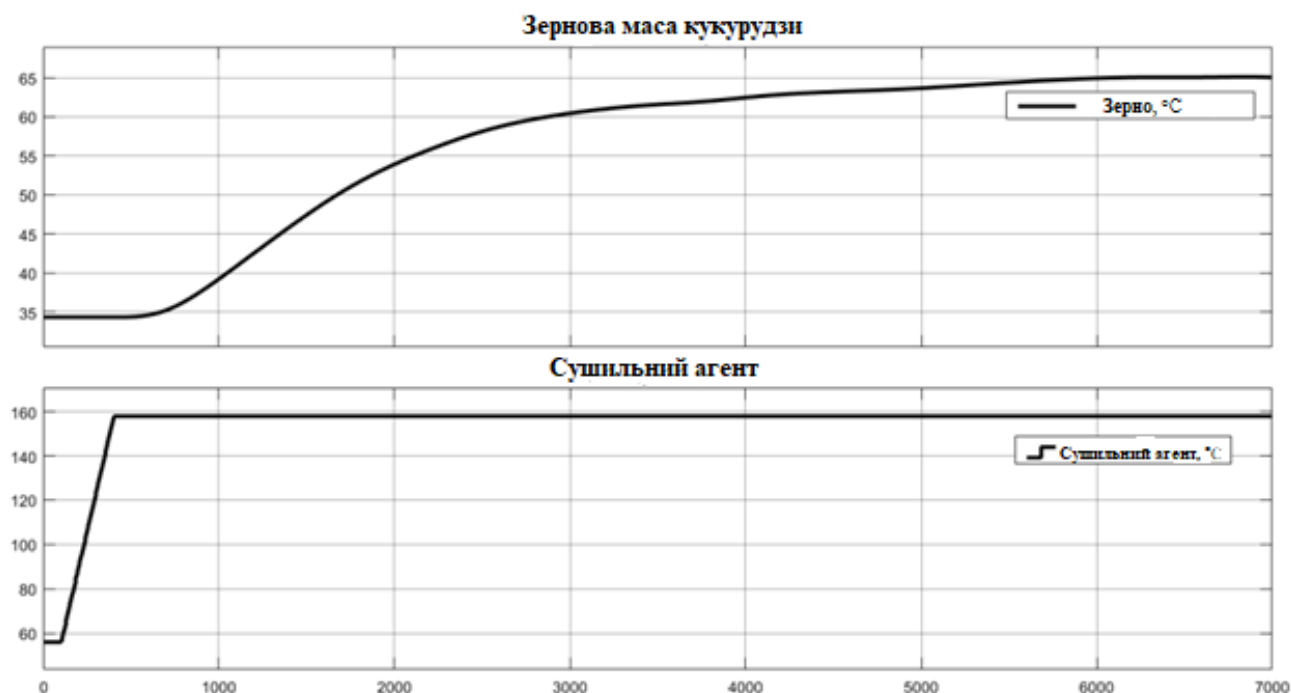


Рисунок 3.2 – Графічне зображення динамічних характеристик зернової маси кукурудзи та сушильного агенту

З отриманих даних (рис. 3.2) бачимо, що температура сушильного агенту стрімко зростає, а потім протягом часу залишається фактично незмінною. Температура зернової маси кукурудзи має дещо іншу характеристику зміни температури. Ріст температури зернової маси є поступовим і збільшується протягом всього часу.

При умові різкої зміни температури сушильного агенту, різкої зміни температури зернової маси не відбувається, а отже спостерігається певна інертність зернової маси. В результаті при регулюванні системи автоматизації необхідною умовою є врахування подібних особливостей.

При роботі системи автоматизації в загальному випадку не спостерігається плавності. Процес при цьому відбувається ступенево. При ступінчастому збільшенні температури сушильного агенту спостерігається незначний плавний стрибок температури зернової маси кукурудзи. Графік вливу на зернову масу ступеневої зміни температури сушильного агенту наведено на рисунку 3.3.

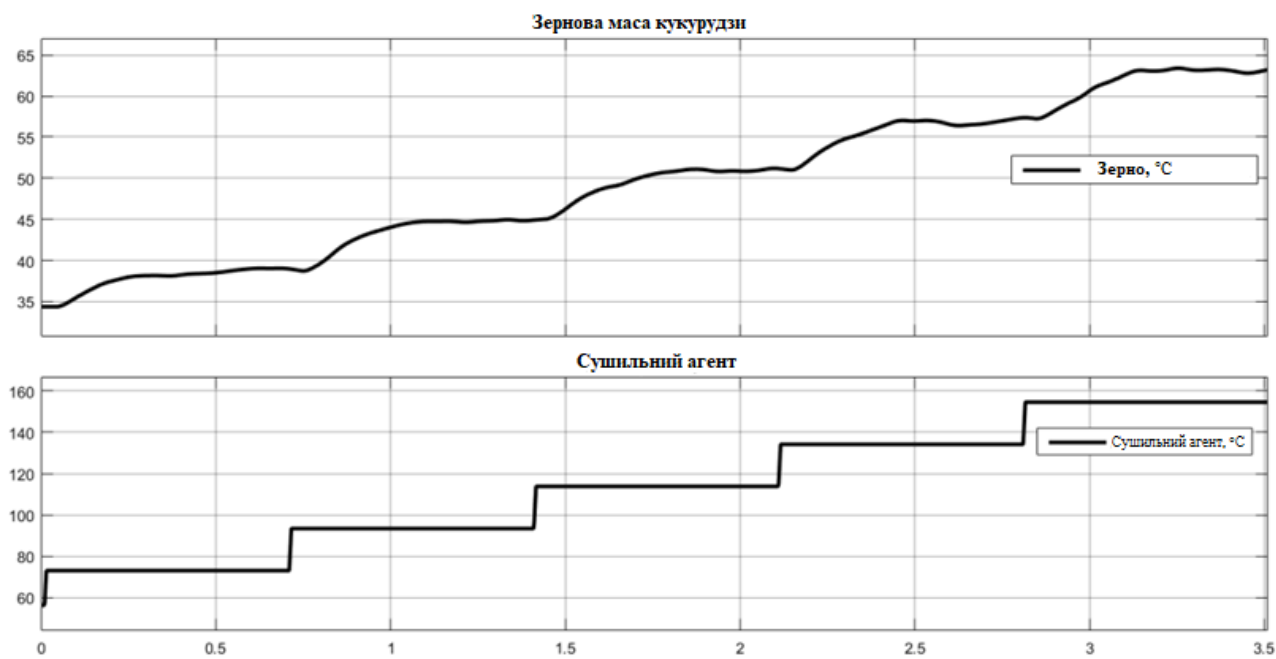


Рисунок 3.3 – Графік зміни температури зернової маси при ступеневій зміні температури сушильного агенту

Відповідно до наведеного графіку (рис. 3.3) бачимо, що ступінчасте регулювання температури сушильного агенту має певну перевагу. При чому в

зерновій масі при сталій температурі спостерігається плавний набір температури з незначним поступовим її зниженням. А ось в точці підвищення температури сушильного агенту спостерігається навіть зниження температури зернової маси.

Ступінчасте регулювання температури сушильного агенту дозволяє більш якісно виконати дотримання режимів сушіння зерна кукурудзи адже виникає певна поличка в діапазоні $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. При цьому температуру сушильного агенту якій відповідає оптимальне значення сушки зерна кукурудзи можна не змінювати з врахуванням набору тепла зерновою масою.

Ступінчата зміна температури зерна кукурудзи може пояснюватись також і тим, що система має певну затримку по часу спрацювання, що в результаті може також давати подібну ступеневу зміну температури.

Якщо розглянути певну циклічність процесу без врахування плавності та постійної дії сушильного агенту на зернову масу отримаємо дещо іншу картину процесу. За умови різкого зростання температури сушильного агенту до певного значення температури та короткочасною дією його на зернову масу спостерігається нагрівання та охолодження зернової маси кукурудзи.

Так на рисунку 3.4 наведено трапецієподібну зміну температури сушильного агенту з різким ростом та подальшим її зниженням. Даний варіант дослідження дозволяє виконати встановлення загальної системи на певне нульове значення. При цьому нагрівання зернової маси виконувалось вже саме від даного нульового значення температури сушильного агенту.

Трапецієподібний метод регулювання температури сушильного агенту дає можливість забезпечити циклічність процесу сушіння зерна кукурудзи. В результаті повторення подібної зміни можна досягти нагрівання з подальшим охолодженням зерна для найбільш ефективного відводу вологи з нього.

Трапецієподібний спосіб зміни температури забезпечує плавне нагрівання зернової маси з наступним плавним та тривалим процесом її охолодження.

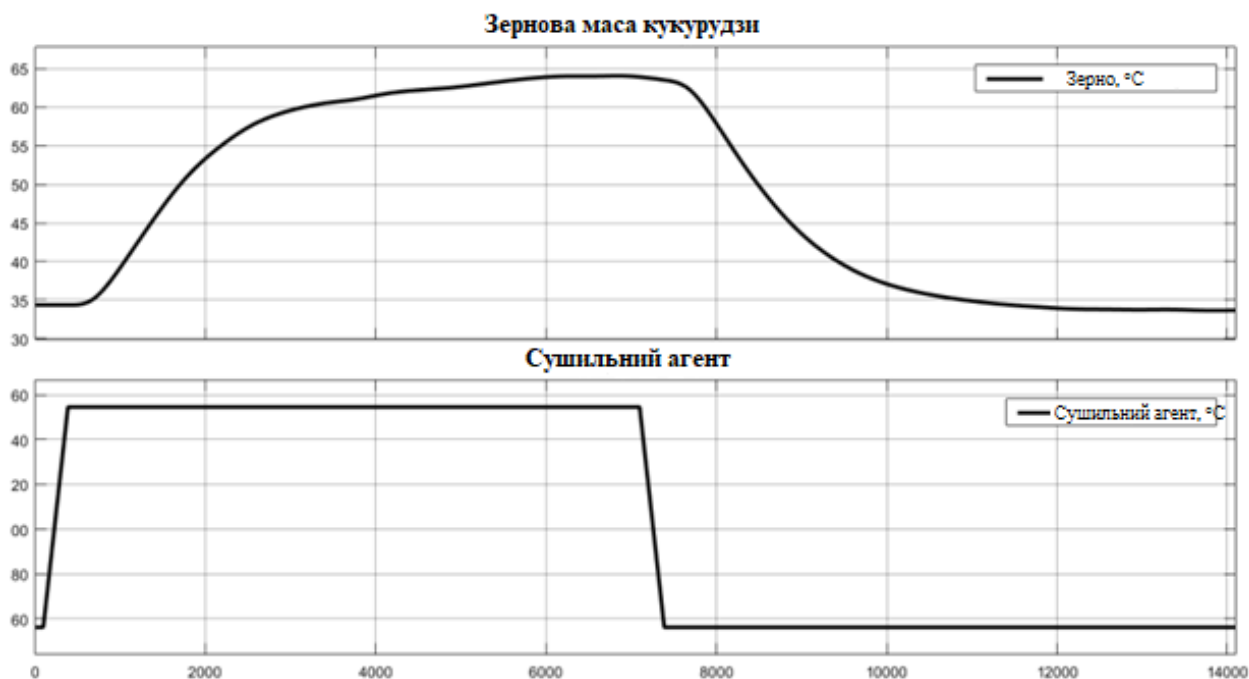


Рисунок 3.4 – Графік трапецієподібної зміни температури сушильного агенту

Виходячи з отриманих даних (рис. 3.4) найбільш оптимальним режимом сушки зернової маси кукурудзи є трапецієподібний метод, що дозволяє забезпечувати автоматизовану роботу сушарки з врахуванням режимів її роботи.

При цьому необхідно врегулювати тривалість дії сталого значення температури сушильного агенту на зернову масу для забезпечення оптимального режиму сушіння зерна кукурудзи. Такий же захід необхідно проводити у випадку зниження температури сушильного агенту до мінімального значення та охолодження зернової маси.

Через інертність основних процесів необхідно виконувати завчасне регулювання температури сушильного агенту. Це відповідно є основною метою проведення регулювання системи автоматизації зерносушарки.

Відповідно до обраного варіанту сушки зерна необхідно виконувати регулювання та узгодження роботи завантажувальних та вивантажувальних шнеків. Вчасне вивантаження зернової маси кукурудзи з зони сушіння також сприяє ефективності та відповідності швидкості процесу сушіння.

Вивантаження зернової маси з сушарки повинно починатись в середині процесу нагрівання через її інертність. Вивантажена зернова маса поступово охолоджуватиметься в другій зоні сушарки. При цьому вивантаження зерна до третьої зони також повинно проходити за подібними законами.

Графік узгодження роботи вивантажувальних шнеків з процесом сушіння зернової маси кукурудзи наведено на рисунку 3.5.

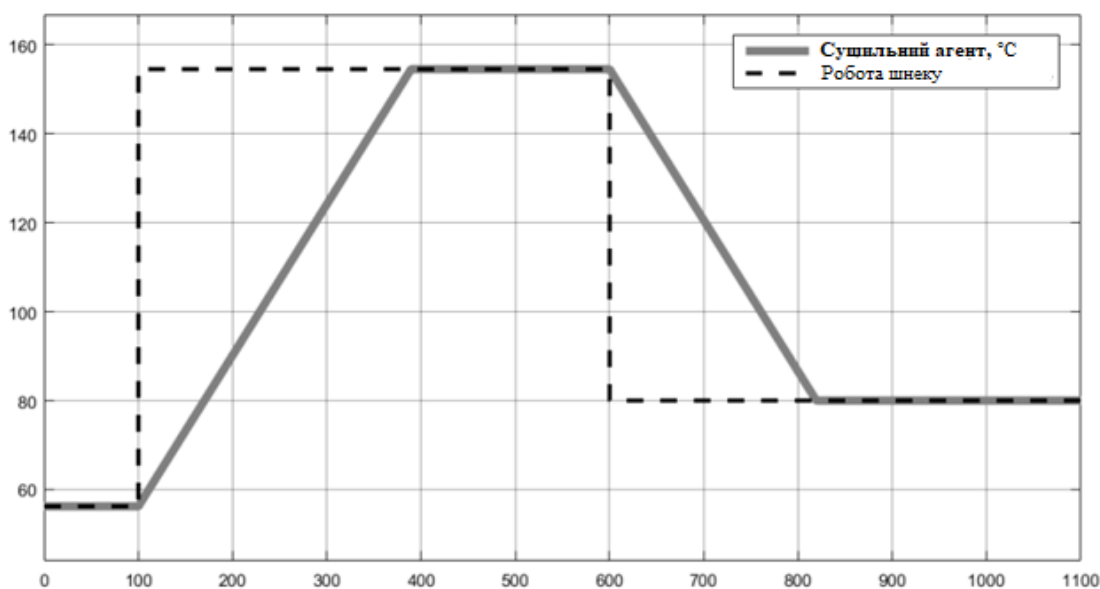


Рисунок 3.5 – Графік узгодження процесу сушіння з вивантажувальним шнеком

Як видно з графіку (рис. 3.5) маємо певну циклічність процесу сушки зернової маси та вивантаження зерна. При цьому настає момент, коли зерно вивантажується до певного мінімального значення та потребує завантаження вологої маси до сушарки. Виходячи з цього в момент початку вивантаження зернової маси необхідно виконувати завантаження нової порції зерна кукурудзи на сушку.

Допускати порційності сушки зерна в сушарці не можна, а отже потрібно враховувати особливість постійного довантаження зернової маси, що буде узгоджена з основними параметрами роботи додаткового обладнання зерносушильного комплексу.

Враховуючи те, що зміна температури сушильного агента відбувається поступово, то виконувати операції вивантаження чи завантаження зернової маси

доводиться проводити далі. А отже подібні залежності потребують подальшого узгодження роботи електротехнічного комплексу загалом.

Подібної проблематики набирає схема врахування узгодження обладнання з плавною зміною температури сушильного агенту. При цьому фактично робота завантажувального та вивантажувального шнеку повинна бути постійною протягом всього процесу сушіння.

Загальна схема узгодження обладнання з постійною плавною зміною температури сушильного агенту наведено на рисунку 3.6.

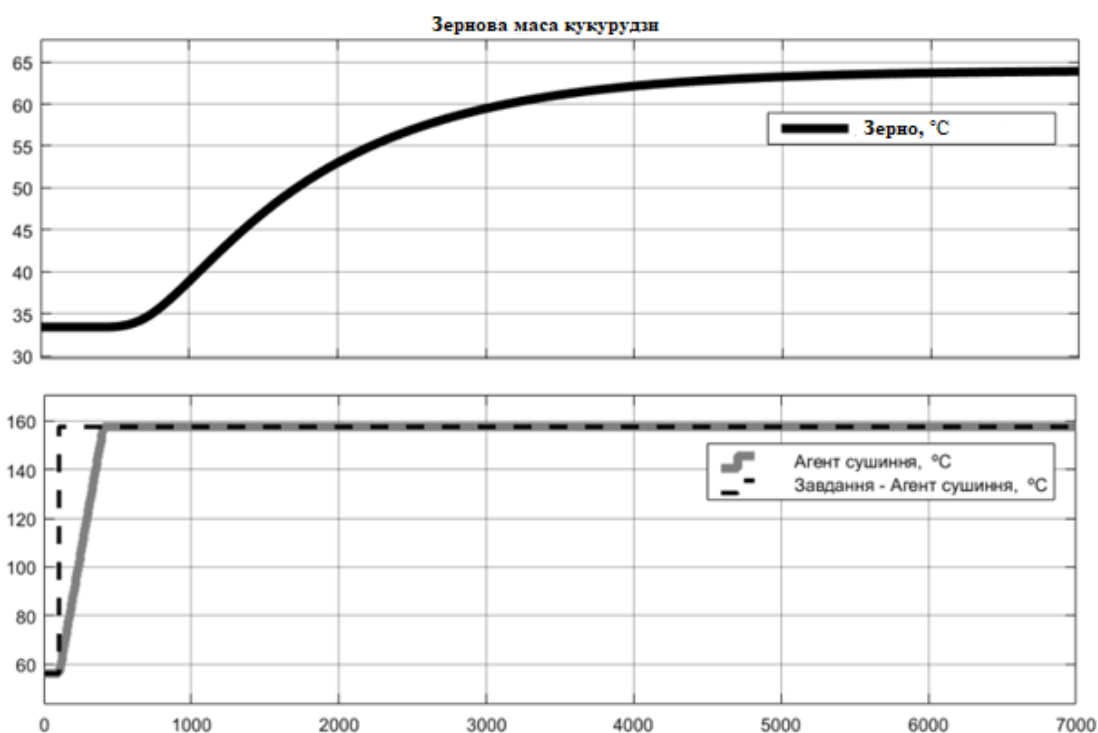


Рисунок 3.6 – Графік узгодження роботи завантажувальних та вивантажувальних шнеків з температурою сушильного агенту

Загалом з рисунків 3.5 та 3.6 можна спостерігати схожу картину. При цьому основною проблемою узгодження роботи електротехнічного комплексу сушки зерна, є фактично проблема узгодження з температурою сушильного агенту. При цьому для регулювання в автоматичному режимі фактично потрібно задання часового проміжку дії сушильного агенту на зернову масу та відповідно температури.

Вибір конкретної програми сушки зерна в сушарці має виконуватись фактично оператором. В подальшому задаватись температури агенту та зернової маси і значення часу їх взаємодії.

Висновки до розділу

В результаті дослідження роботи системи автоматизації виявлено особливість формування залежності температури сушильного агенту та особливостей узгодження електротехнічного комплексу. Виявлено також, що система сушки зерна має значну інертність, а отже необхідною умовою є вчасне регулювання параметрів для уникнення можливості перегрівання зернової маси.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Процес сушки зерна кукурудзи є доволі складним та потребує значної уваги працівників, що задіяні в ньому. Необхідно враховувати доволі велику кількість небезпечних факторів.

Основними факторами негативного впливу на людину та навколишнє середовище є:

- високі значення напруги для роботи електротехнічного комплексу;
- високі температури сушильного агенту;
- робота з паливом, що легко загоряється;
- виділення великої кількості тепла та пари від зернової маси;
- високий рівень шуму;
- високий рівень запиленості;
- великі вібрації обладнання та ін.

Аналіз основних небезпек показує доволі велику кількість небезпечних факторів. Відповідно до цього за сушку зерна, в тому числі і зерна кукурудзи має відповідати керівник елеваторного господарства.

Першочерговими заходами боротьби з небезпечними факторами є забезпечення працівників необхідними засобами захисту та спецодягом. До основних ЗІЗ відносяться рукавиці, окуляри, каски та інше. Не допускається вихід в зону сушки зерна сторонніх осіб або осіб без ЗІЗ чи спецодягу.

Контроль за проведенням сушки зерна кукурудзи проходить під суворим контролем. Будь яке порушення технології сушіння зерна може призвести до виникнення пожежі. Виходячи з цього всі сушильні комплекси та елеваторне господарство повинні бути забезпечені необхідними засобами пожежогасіння. Додатково для убезпечення процесу на підприємстві здійснює чергування пожежна машина або інший транспортний засіб з запасом рідини для гасіння пожежі.

Процес сушіння зерна кукурудзи доволі часто потребує узгодження з засобами транспортування зерна з поля до сушильного комплексу. Виходячи з

цього всі учасники руху по території сушильного комплексу повинні розуміти особливості переміщення по території.

При проведенні сушіння зерна кукурудзи доволі часто здійснюють одночасно і очистку зерна. При цьому пошкоджене зерно повинно збиратись у відповідний транспортний засіб чи причіп. Заборонено вивантаження відходів поруч з сушаркою.

Після висушування зернової маси транспортування на склади може здійснюватись транспортними засобами чи різноманітними транспортерами. При цьому транспортери повинні мати захисні огороження рухомих частин, а всі приводи повинні бути закриті кожухами.

Основною особливістю процесу сушки зернових культур є те, що роботи проводяться на відкритому майданчику, а отже додатково маємо вплив погодних умов на основне обладнання. Необхідно зазначити, що проводити сушку зерна таким способом в дощову погоду заборонено. Особливої уваги в таких випадках потребує захист струмопровідних частин, задля уникнення ураження електричним струмом.

При виконанні сушки зерна кукурудзи працівникам забороняється контактувати з гарячою зерновою масою через можливість отримання опіків. Проведення будь яких ремонтних робіт чи робіт по технічному обслуговуванню потребує обов'язкової зупинки всього обладнання елеватору чи зерносушарки.

До проведення робіт з ТО та ремонтів допускаються працівники, що знають будову сушарки, мають відповідні допуски до проведення робіт та пройшли навчання. При проведенні робіт на зерносушильному комплексі обов'язково вивіщується табличка на пульті керування про те, що працюють люди. Це дозволить унеможливити випадкове включення обладнання та уникнути травматизму.

Іншою доволі великою небезпекою є топка зерносушарки. При запуску чи зупинці процесу сушки виконуються всі необхідні інструкції, що унеможливають виникнення вибухонебезпечних ситуацій.

Сушка зерна є складним процесом, що потребує ведення необхідної документації, суворого контролю та проходження навчання. Навчання необхідно проходити з охорони праці, пожежної безпеки та відповідно з першої медичної допомоги.

Виходячи з цього крім основних засобів захисту, пожежогасіння та ін., на пульту керування зерносушаркою повинна знаходитись аптечки з необхідними засобами надання першої медичної допомоги. Також на пульті елеватора повинні бути телефони для швидкого доступу до спеціальних служб надання допомоги.

Висновки до розділу

Виходячи з проведеного аналізу процес сушки зерна є доволі складним процесом та потребує значної уваги з точки зору забезпечення заходами охорони праці. Виходячи з цього синхронізація всіх працівників елеватора, дотримання заходів з охорони праці та забезпечення безпечних умов праці є першочерговим для безпекової ситуації загалом.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СУШКИ ЗЕРНА

Економічне обґрунтування сушки зерна пропонується виконати з врахуванням особливостей модернізації системи автоматизації зерносушарки. Відповідно до прайсів вартість обладнання для проведення автоматизації зерносушарки складає 1595000 грн. Дана вартість враховує доставку обладнання до місця проведення роботи з автоматизації. Відповідно дана ціна вкладається в розрахунок капіталовкладень системи автоматизації.

Для розрахунку загальних капіталовкладень використовують рівняння:

$$K = K_{\text{обор}} + K_{\text{дост}} + K_{\text{навч}} + K_{\text{зб}} \quad (5.1)$$

де $K_{\text{обор}}$ – вартість обладнання необхідного для проведення автоматизації сушки зерна, грн;

$K_{\text{дост}}$ – ціна транспортування обладнання до місця проведення робіт, грн;

$K_{\text{навч}}$ – вартість проведення навчання робітників з оновленою системою керування, грн;

$K_{\text{зб}}$ – вартість виконання збирання системи контролю, грн.

На сьогодні відповідно до даних по навчальним закладам вартість навчання працівників становить 32 000 грн, з врахуванням особливостей системи. Вартість проведення збирання системи автоматизації та контролю зерносушарки складає 52 000 грн.

Відповідно до цього загальні капіталовкладення в автоматизацію зерносушарки складають:

$$K = 1595000 + 32000 + 52000 = 1679000 \text{ грн}$$

Для розрахунку необхідно також врахувати різноманітні експлуатаційні витрати, що визначаються з рівняння:

$$Z = Z_d + A + P + Z_{ел} + Z_{зп} + Z_{оп} + Z_{ін} \quad (5.2)$$

де Z_d – експлуатаційні витрати на матеріали, грн;

A – витрати пов'язані з амортизацією, грн;

P – експлуатаційні витрати на ремонти обладнання, грн;

$Z_{ел}$ – витрати на спожиту електроенергію, грн;

$Z_{оп}$ – витрати на основні заходи з охорони праці, грн;

$Z_{ін}$ – інші експлуатаційні витрати, грн.

Розрахунок витрат на процеси амортизації визначають з виразу:

$$A = \frac{P_a \cdot K}{100} \quad (5.3)$$

де P_a – нормативне значення відрахувань, $P_a = 12,6\%$.

$$A = \frac{12,6 \cdot 1679000}{100} = 211554 \text{грн}$$

Експлуатаційні витрати пов'язані з проведенням ремонтів визначаємо з виразу:

$$P = \frac{K \cdot H_p}{100} \quad (5.4)$$

де H_p – нормативне значення відрахувань на ремонти, $H_p = 5,1\%$;

$$P = \frac{5,1 \cdot 1679000}{100} = 85629 \text{грн}$$

Затрати, що пов'язані з закупкою зерна пшениці пропонується взяти рівними нулю. Оскільки більшість підприємств області власне зерно кукурудзи сушить на власному обладнанні. А отже закупівлю його не виконує.

Експлуатаційні витрати пов'язані з закупівлею електроенергії розраховують з виразу:

$$Z_{\text{ел}} = P_{\text{ус}} \cdot t_{\text{роб}} \cdot T_{\text{ел}} \quad (5.5)$$

де $P_{\text{ус}}$ – потужність електрообладнання зерносушарки, кВт;

$t_{\text{роб}}$ – тривалість проведення сушки зерна протягом року;

$T_{\text{ел}}$ – ціна за електроенергію, $T_{\text{ел}} = 6,9 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$.

Річну тривалість роботи сушарки зерна визначаємо з рівняння:

$$t_{\text{роб}} = (365 - B)t_{\text{доб}} - t_{\text{зав}} - t_{\text{ох}} \quad (5.6)$$

де B – дні простою сушарки;

$t_{\text{доб}}$ – число годин в добі, год;

$t_{\text{зав}}$ – тривалість проведення завантаження сушарки зерном за рік, год;

$t_{\text{ох}}$ – тривалість охолодження зерна за рік, год.

Тривалість завантаження сушарки визначається з рівняння:

$$t_{\text{зав}} = t_{\text{п}} \cdot n \quad (5.7)$$

де $t_{\text{п}}$ – тривалість завантаження сушарки за рік, год.

$$t_{\text{зав}} = 8 \cdot 48 = 384 \text{ год}$$

Тривалість охолодження зерна має подібний вираз та становить:

$$t_{\text{ох}} = 1 \cdot 3 \cdot 48 = 144 \text{ год}$$

$$t_{\text{роб}} = (365 - 30) \cdot 24 - 384 - 144 = 7512 \text{ год}$$

$$Z_{\text{ел}} = 36 \cdot 7512 \cdot 6,9 = 1\,865\,981 \text{ грн}$$

Витрати пов'язані з оплатою праці працівникам визначаються з рівняння:

$$З_{зп} = \Phi_{опл} + \Phi_{від} \quad (5.8)$$

де $\Phi_{опл}$ – зарплатний фонд на підприємстві;

$\Phi_{від}$ – фондіві відрахування.

$$\Phi_{опл} = (ЗП_{опер} + ЗП_{роз} + ЗП_{слюс}) \cdot К \quad (5.9)$$

де $ЗП_{опер}$, $ЗП_{роз}$, $ЗП_{слюс}$ – заробітна плата різних працівників задіяних в проведенні робіт з сушаркою зерна;

$К$ – районований коефіцієнт проведення робіт.

$$ЗП_{опер} = 3 \cdot 11000 \cdot 12 = 396000 \text{грн}$$

$$ЗП_{слюс} = 9500 \cdot 12 = 114000 \text{грн}$$

$$ЗП_{роз} = 15 \cdot 2 \cdot 4320 \cdot 2 = 259200 \text{грн}$$

$$\Phi_{опл} = (396000 + 114000 + 259200) \cdot 1,2 = 923040 \text{грн}$$

$$\Phi_{від} = 923040 \cdot 0,262 = 241836 \text{грн}$$

$$З_{зп} = 923040 + 241836 = 1164876 \text{грн}$$

Затрати на виконання заходів з охорони праці визначаються з рівняння:

$$З_{оп} = \Phi_{опл} \cdot К_{оп} \quad (5.10)$$

де $К_{оп}$ – норма виконання відрахувань на ОП, 33%.

$$З_{оп} = 923040 \cdot 0,33 = 304603 \text{грн}$$

Інші експлуатаційні затрати складають 5,5 % від фонду заробітної праці, і становлять 50770 грн.

$$\begin{aligned} Z &= 211554 + 85629 + 1865981 + 1164876 + 304603 + 50770 \\ &= 2518537 \text{ грн} \end{aligned}$$

Для проведення розрахунку вартості сушіння зерна кукурудзи необхідно скористатись рівнянням:

$$Ц_0 = C \cdot (1 + P_{\pi}) \quad (5.11)$$

де C – значення для собівартості проведення сушки зерна;

P_{π} – планова величина рентабельності сушки зерна, %.

$$C = \frac{Z}{O} \quad (5.12)$$

де O – плановий об'єм сушки зерна, пропонується обрати значення з господарства Сумської області, що рівне 4350 м³/год.

$$\begin{aligned} C &= \frac{2518537}{4350} = 579 \text{ грн/м}^3 \\ Ц_0 &= 579 \cdot (1 + 0,25) = 724 \text{ грн/м}^3 \end{aligned}$$

Балансовий прибуток складає:

$$\begin{aligned} П_6 &= (Ц_0 - C) \cdot O \\ П_6 &= (724 - 579) \cdot 4350 = 630750 \text{ грн} \end{aligned} \quad (5.13)$$

Відповідно до отриманих даних рівень рентабельності загалом по підприємству складає:

$$P_p = \frac{\Pi_6}{C \cdot O} 100 \quad (5.14)$$

$$P_p = \frac{630750}{579 \cdot 4350} 100 = 25\%$$

Відповідно у нас є всі дані для проведення розрахунку терміну окупності капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{\Pi_6} \quad (5.15)$$

$$T = \frac{1679000}{630750} = 2,7 \text{ роки}$$

Враховуючи отримані дані, автоматизація системи сушіння має гарні результати та відповідно окупність не більше трьох років. При цьому розрахунок вівся лише для сушіння зерна кукурудзи. У випадку сушіння зерна інших культур термін окупності значно знизиться.

Висновки до розділу

Отримані дані свідчать, що окупність системи автоматизації, з навчанням персоналу та іншими особливостями організації процесу сушки зерна є доволі перспективним та окупиться підприємству фактично за три роки експлуатації сушарки.

ВИСНОВКИ

1. Сушіння кукурудзи є високотехнологічним процесом, який вимагає компромісу між швидкістю (продуктивністю) та якістю (цілісністю зерна). Ефективність залежить не тільки від вибору сушарки, але й від точності автоматизованого керування електротехнічним комплексом, спрямованого на мінімізацію енергоспоживання та дотримання безпечних температурних режимів.

2. Загальний опис та вибір елементів системи автоматизації процесу сушіння зерна кукурудзи дозволяє отримати оптимальні параметри для забезпечення роботи зерносушарки. При цьому параметри обраного обладнання мають необхідну швидкодію та надійність системи.

Математичне моделювання процесу сушки зерна кукурудзи описують оптимальні параметри швидкості подачі та температури основних процесів при сушінні. Все обладнання автоматизації процесу сушіння зерна кукурудзи повинно бути налаштоване відповідно до основних параметрів та розрахунку математичної моделі.

Результатом проведеного аналізу є система, що забезпечить найбільш оптимальні параметри роботи.

3. В результаті дослідження роботи системи автоматизації виявлено особливість формування залежності температури сушильного агенту та особливостей узгодження електротехнічного комплексу.

Виявлено також, що система сушки зерна має значну інертність, а отже необхідною умовою є вчасне регулювання параметрів для уникнення можливості перегрівання зернової маси.

4. Виходячи з проведеного аналізу процес сушки зерна є доволі складним процесом та потребує значної уваги з точки зору забезпечення заходами охорони праці.

Виходячи з цього синхронізація всіх працівників елеватора, дотримання заходів з охорони праці та забезпечення безпечних умов праці є першочерговим для безпекової ситуації загалом.

5. Отримані дані свідчать, що окупність системи автоматизації, з навчанням персоналу та іншими особливостями організації процесу сушки зерна є доволі перспективним та окупиться підприємству фактично за три роки експлуатації сушарки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kholiddinov I. Kh, Musinova Gulasalkhon, Yulchiev M.E., et al. Modeling of calculation of voltage unbalance factor using Simulink (Matlab) // The American Journal of Engineering And Techonology. 2020. V.2. № 10. pp. 33-37.
2. Somka O., M. Zagirnyak, V. Prus, The methods for accounting the degree of electric machines aging in the assessment of their reliability 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) – Kremenchuk, Ukraine, 2019. – P.194-197
3. Somka O. The ways for the improvement of the information value of the thermal image control of electric machines with long mean time between failures / M. Zagirnyak, V. Prus, O. Somka // Przegląd Elektrotechniczny, 2019, R. 95 № 5 P. 63–66 (Польща)
4. Словіковський, О. М., Болбот, І. М. Сучасні підходи до автоматизації процесу горіння в газових пальниках промислових сушарок // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доп. 33-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2025. Харків: НТУ "ХПІ", 2025. С. 113.
5. Chinen, P. B., Kim, K. H., Cho, H. J. Advanced sensor technology for real-time monitoring and control in industrial drying processes // Sensors and Actuators B: Chemical. 2021. Vol. 331. P. 129350. DOI: 10.1016/j.snb.2020.129350.
6. Karimi, N., Mohseni, B., Esmaeil, S. Optimization of drying process using intelligent fuzzy logic control system and neural networks // Journal of Food Engineering. 2019. Vol. 240. P. 135–142. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.07.021.
7. Luo, C., Wang, Y., Zhang, W. Energy-efficient predictive control strategy for automated grain drying system based on thermal dynamics model // Applied Energy. 2022. Vol. 308. P. 118335. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.118335.
8. Sereda, T. G., Kostarev, S. N. Development of automated control system for wood drying // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1015, Issue 4. P. 042022. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/4/042022.

9. Yang, Z., Liu, S., Li, Q. Deep learning approach for fault diagnosis and quality prediction in automated industrial dryers // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2023. Vol. 19, Iss. 1. P. 121–130. DOI: 10.1109/TII.2022.3167890.

10. Sopilniak, M., Havrylko, N., Lysak, H. Optimization of energy consumption during maize seed drying process using heat recovery system // *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2023. Vol. 25, Iss. 3. P. 111–120. DOI: 10.33440/j.ijfe.2023.09.28.

11. Vasiliev, P. A., Kolisnyk, O. M. Automated humidity control for seed corn dryers // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 150. P. 111585. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111585.

12. Shi, C., Wang, Z., Zhang, J. Energy and exergy analysis of a fluidized bed dryer for high-moisture maize drying // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 245. P. 118832. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118832.

13. Hassan, F. M., El-Sheik, M. H. Hybrid microwave-hot air drying of maize: Kinetic modeling and quality assessment // *LWT - Food Science and Technology*. 2019. Vol. 102. P. 209–216. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.11.050.

14. Пилипенко, М. А. Обґрунтування режимів та автоматизація процесу сушіння насінневої кукурудзи в умовах промислового комплексу // *Автоматизація технологічних процесів: теорія і практика*. 2020. Т. 3, № 4. С. 98–105.

15. Загірняк, М. В., Белкін, О. В., Кудря, С. О. Моделювання та оптимізація процесу сушіння насіння кукурудзи в конвективних сушарках // *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. 2021. № 2(30). С. 15–23.

16. Коваленко, І. Г., Касілова, К. П. Дослідження впливу високочастотного електромагнітного поля на процес сушіння гібридного насіння кукурудзи // *Енергетика і автоматика*. 2022. № 1(81). С. 55–62.

17. Бондаренко, В. М., Кононенко, А. Ю. Підвищення ефективності сушіння насіння кукурудзи шляхом реверсування агента сушіння // *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2023. № 5. С. 45–51.

18. Шевчук, В. В., Гайдученко, А. Ю. Експериментальне визначення кінетики сушіння качанів кукурудзи // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. 2019. № 2(108). С. 110–116.

19. Кіндзера, Ю. Ю., Шарко, О. В. Енергоощадні технології сушіння зерна кукурудзи в умовах змінних кліматичних факторів // Проблеми енергозабезпечення агропромислового комплексу. 2024. № 1. С. 77–83.

20. Лисюк, Г. М., Белкін, О. В. Сучасне сушильне обладнання та енергозберігаючі технології. Дніпро: Ліра, 2021. 288 с.

21. Кухарук, М. О., Приходько, В. М. Інженерні розрахунки сушильних установок. Львів: Видавництво Політехніки, 2018. 210 с.

22. Ткаченко, С. В., Шаповал, П. В. Аналіз конструктивних схем зерносушарок та їхня класифікація за принципом роботи // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування. 2022. № 1(92). С. 45–52.

23. Ярема, О. І. Конструктивні особливості камерних сушарок для насінневого матеріалу // Вісник Сумського національного аграрного університету. 2021. № 7(87). С. 138–145.

24. Sopilniak, M., Havrylko, N. Design and experimental study of a continuous mixed-flow dryer with heat recovery // Energy Conversion and Management. 2023. Vol. 120. P. 118432. DOI: 10.1016/j.enconman.2023.118432.

ДОДАТКИ

Додаток А. Технічні характеристики зерносушарки та основного обладнання

Таблиця А1 – Технічна характеристика сушарки

Параметр	Значення
Продуктивність по зниженню вологи з 20 до 14%, т/год	32
Продуктивність по випаровуванню вологи, кг/год	2300
Питома витрата палива, кг/т	12,2
Питома витрата дизельного палива, кг/т	8,5
Годинна витрата дизельного палива, кг/т	272
Питома кількість теплоти, кДж/кг	5040
Встановлена потужність, кВт	125
Споживана потужність, кВт	99,2
Питома витрата електроенергії, кВт·год/т	3,1
Температура сушильного агенту, °С:	
- в зоні першого сушіння	50-130
- в зоні другого сушіння	50-160
Витрата сушильного агенту в зоні сушіння, м ³ /год:	
- в зоні першого сушіння	80000
- в зоні другого сушіння	42000
Витрата атмосферного повітря, м ³ /год	49000
Габаритні розміри сушарки з топкою, мм	15500×8300×18724
Маса сушарки, кг	32600

Таблиця А2 – Технічна характеристика пальника UNIGAS

Параметр	Значення
Категорія	Газові пальники
Країна-виробник	Італія
Тип пальника	газовий
Вид палива	газ
Витрати палива, м ³ /год	17
ККД, %	-
Потужність теплообмінника, кВт	800
Висота, мм	570
Ширина, мм	530
Глибина, мм	1030
Вага, кг	55

Таблиця А3 – Технічні данні датчика для визначення температури

Параметр	Значення
Найменування параметра	Температура
Принцип роботи	Перетворення температури в опір
Тип	Аналоговий
Діапазон вимірювання	-50...+180°C
Точність, %	0,5
Значення вихід. сигналу	4-20 мА
Період оновлення	10 с
Потужність	1 Вт

Таблиця А4 – Технічна характеристика мікропроцесорного пристрою

Параметр	Значення
Значення загального розміру пам'яті, кБ	144
Значення розміру області робочої пам'яті, кБ	96
Максимальна кількість модулів, штук	32
Наявність інтерфейсу Ethernet	існує
Постійна напруга живлення, В	24
Значення потужності споживання, Вт	6

Таблиця А5 – Технічна характеристика блоку перетворення

Параметр	Значення
АЦП розрядності, біт	12
Кількість аналогових входів/виходів	2/2
Тип входу	аналоговий
Типи сигналів, допустимі діапазони значень	4-20mA, 0-10V
Значення довжини екранованого провідника, м	200
Значення потужності споживання, Вт	2,9

Таблиця А6 – Технічна характеристика блоку живлення

Параметр	Значення
Вхідна напруга живлення змінного струму, В	~85÷~264
Значення вихідної напруги постійного струму, В	24
Потужність споживання джерела, Вт	30
Значення вихідного струму, А	1,25