

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-21м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

 Микола БАРАНОВСЬКИЙ

Керівник: к.т.н., доц. кафедри КЕМСК

 Володимир БОГАЧУК

« 15 » листопада 2022 р

Опонент к.т.н., доц. каф. ЕОБЕМ 

« 19 » грудня 2022 р

Допущено до захисту

кафедрою КЕМСК

В. о. зав. кафедри Микола МОШНОРИЗ

« 30 » листопада 2022 р.

Вінниця ВІНТУ – 2022 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

к.т.н., доц.


Микола МОШНОРИЗ
“ 06 ” вересня 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Барановському Миколі Юрійовичу

1. Тема роботи: Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна
керівник роботи Богачук Володимир Васильович, к.т.н., доц.
затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 14 ” вересня 2022 р. No 203
2. Срок подання студентом роботи « 30 » листопада 2022 р.
3. Вихідні дані роботи: режим роботи постійний, електричний двигун типу МТКФ 112
4. Зміст текстової частини: Вступ; 1 Характеристика об'єкта проектування; 2 Розрахунок електропривода зерносушарки; 3 Розробка автоматичної системи управління технологічним процесом сушки зерна; 4. Економічна частина; 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Висновки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: 1. Схема конвективної сушарки; 2. Схема моделювання конвективної сушарки; 3. Графік залежності вологовмісту матеріалу від температури; 4. Структурна схема автоматизації; 5. Функціональна схема автоматизації; Технологічна схема автоматизації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Богачук В. В.	06.09.2022р.	15.11.2022р.
Економічна частина	Шулле Ю.А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	06.09.2022р.	22.11.2022р.
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	06.09.2022р.	29.11.2022р.

7. Дата видачі завдання 06.09.2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	06.09.2022р.	вск
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	15.11.2022р.	вск
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	15.11.2022р.	вск
4	Виконання розділу «Економічна частина»	22.11.2022р.	вск
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	29.11.2022р.	вск
6	Попередній захист МКР	30.11.2022р.	вск
7	Нормоконтроль МКР	30.11.2022р.	вск
8	Рецензування МКР	19.12.2022р.	вск
9	Захист МКР	20.12.2022р.	вск

Студент


(підпис)

Микола БАРАНОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир БОГАЧУК
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 62-83:622.673.1

Барановський М. Ю. Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - електрична інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2022. 94 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 24 назв; рис.: 17; табл. 17.

В магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено автоматизацію сушарки типу СЗК-8, вибрано оптимальну функціональну схему та елементи автоматизації на її основі.

В розділі охорони праці визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Ключові слова: електропривод, асинхронний двигун, сушка, зерносушарка, автоматизація, зерно, контроль, регулювання, вологість, математична модель.

ABSTRACT

UDC: 62-83:622.673.1

Baranovsky M.Yu. Adaptive automated control system of the technological process of grain drying. Master's thesis in specialty 141 - electricity, electrical engineering and electromechanics, educational program - electrical engineering. Vinnytsia: VNTU, 2022. 94 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 24 titles; Fig.: 17; table 17.

In the master's qualification work, the automation of the SZK-8 type dryer was developed, the optimal functional scheme and automation elements were selected based on it.

In the section on labor protection, the main provisions regarding the safe operation of the studied electrotechnical complex under the influence of harmful factors of the surrounding environment are defined.

Key words: electric drive, asynchronous motor, drying, grain dryer, automation, grain, control, regulation, humidity, mathematical model.

Зміст

ВСТУП.....	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	10
1.1 Загальна характеристика та принцип роботи колонкових зерносушарок	8
1.2 Технічні характеристики зерносушарки сзк-8.....	10
1.3 Постановка задачі роботи	11
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА НОРІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОСУШАРКИ	13
2.1 Технічні характеристики норії	13
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна норії	14
2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода	15
2.4 Вибір приводного двигуна за потужністю і швидкістю обертання	20
2.5 Перевірка вибраного приводного двигуна.....	22
2.6 Вибір силового перетворювального пристрою	24
3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ СУШКИ ЗЕРНА	28
3.1 Аналіз існуючих систем автоматичного управління	28
3.2 Аналіз математичної моделі технологічного процесу конвективної сушки.....	33
3.3 Розробка функціональної схеми автоматизації	43
3.4 Вибір засобів автоматизації.....	47
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	54
4.1 Визначення величини витрат запропонованого варіанту	54
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	56
4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	56
4.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу.....	56

	4
4.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію	58
4.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	59
4.2.5 Інші витрати	61
4.3 Визначення терміну окупності проекту	62
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання	63
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	63
5.1.2 Електробезпека	67
5.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	68
5.2.1. Мікроклімат.....	68
5.2.2. Склад повітря робочої зони	69
5.2.3. Виробниче освітлення	70
5.2.4. Виробничий шум	72
5.2.5 Фактори трудового процесу	73
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в умовах надзвичайних ситуаціях	74
5.3.1 Дослідження стійкості роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в умовах дії іонізуючих випромінювань	75
5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в умовах дії електромагнітного імпульсу	77
5.3.3 Розробка засобів по підвищенню стійкості роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в умовах надзвичайних ситуацій	79
ВИСНОВКИ	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	82
ДОДАТОК А ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	85
ДОДАТОК Б ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	88
ДОДАТОК В ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ.....	94

ВСТУП

Актуальність. Сушіння зерна - це важливий завершальний етап обробки зерна технологічний етап, при якому сировина доводиться до кондиційної вологості. Вологість зерна після сушіння зазвичай становить 14%.

Після збирання посівного продукту (пшениці, бобових, круп'яних або олійних культур) необхідно зняти надлишок вологості. Важливо, щоб технологія сушіння зерна забезпечувала мінімальну витрату палива, мінімальне травмування зерна, а також гарантувала правильний режим сушіння, який дозволить отримати фізіологічне дозрівання та покращення якості зерна.

Кожне зерно потребує свого теплового режиму, різне зерно має різні розміри, пожежонебезпечність, абразивність, кожне паливо також має свої особливості. Різні способи сушіння працюють для різних типів зерна. Тому зерносушарка завжди обирається з правильним балансом плюсів та мінусів.

Основні цілі та завдання обробки та сушіння зерна:

Завдяки якісному процесу зниження вологості зернової культури (сушіння) ми забезпечуємо тривале зберігання зерна та підтримуємо її початкову якість та клас. Процес сушіння зерна передбачає, що зниження вологості продукту має проходити плавно, поступово від центру зернятка до периферії. Сушіння зерна і температура нагрівання зернової маси має контролюватись датчиками, оскільки навіть незначне підвищення температури може призвести до обгорання оболонки зерен.

Конструкція зерносушарок визнана продуктивнішою та економічнішою, якщо вона працює на суміші топкових газів з повітрям. ККД топки стає вищим, а витрата палива знижується. Такі топки прямої дії необхідно ретельно контролювати при експлуатації: важливо запобігти попаданню іскор з топки в сушильну камеру.

У всіх зерносушарках має працювати умова: продукт повинен прогріватися рівномірно в процесі сушіння, не пригоряти і не перегріватися в окремих місцях. Нормативами встановлено максимальну температуру сушіння зерна в зерносушарках:

- сушіння насіннєвого зерна - 43-45 ° C;

- продовольчого та фуражного зерна — 53-55°C. [1]

Метою роботи є модернізація системи керування процесом сушіння зерна в зерносушарці.

Об'єктом дослідження є процес знаходження ефективних способів керування процесом сушки зерна в зерносушарці.

Предметом дослідження є математична модель системи конвективної сушки та методи підвищення ефективності роботи системи сушіння.

Досягнення цієї мети потребує виконання наступних завдань:

1. Проаналізувати існуючі системи автоматизованого керування процесом сушіння зерна.
2. Розробити математичну модель технологічного процесу конвективної сушки яка буде придатна для оцінки ефективності системи керування.
3. Розробити підхід ефективного керування електроприводами норії.
4. Перевіряє функціональність запропонованого підходу за допомогою комп'ютерної симуляції.

Методи дослідження. У дослідженні була використана теорія чисел та числових методів, теорія алгоритмів, теорія інтерполяції функцій, методи комп'ютерного моделювання та моделювання технологічних процесів тощо.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Проведено аналіз в результаті якого запропоновано автоматичну систему управління технологічним процесом сушіння зерна.
2. Вдосконалення нового підходу в апаратній розбудові системи управління технологічним процесом, дала можливість оптимізувати процес та підвищити вихідну якість зерна.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що запропоновану систему автоматичного керування можна застосовувати для конкретного процесу сушіння, що дає можливість готовому продукту бути конкурентноздатним.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується постановкою завдання, коректним застосуванням математичних методів у підтвердженні наукових позицій, суворий висновок

аналітичних відносин, зіставлення результатів, отриманих методами, розробленими у роботі, з відомими, і навіть узгодження результатів математичного моделювання з результатами експерименту.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно запропоновано підхід до забезпечення найефективнішої роботи зерносушкарки шляхом автоматичного регулювання режиму роботи всіх її складових.

Апробація результатів роботи. Результати роботи обговорювалися на такій науково-технічній конференції:

1. Барановський М. Ю., Богачук В. В. Дослідження процесу вимірювання вологості зерна цифровим датчиком. LI Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки Вінниця, ВНТУ, 2022 р.

Публікації:

1. Барановський М. Ю., Богачук В. В. Дослідження процесу вимірювання вологості зерна цифровим датчиком. LI Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки Вінниця, ВНТУ, 2022 р.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика та принцип роботи колонкових зерносушарок

Існують вертикальні та горизонтальні сушарки для подвійної колони. Принцип роботи заснований на поперечному надходженні гарячого та холодного повітря через шар зерна, який у цей час переміщається між перфорованими стінами [2].

Модульні сушарки будуються з колон (модулів), кількість яких розраховується відповідно до необхідних характеристик.

Головними робочими органами сушарки являються:

- камера сушіння;
- пристрій вивантаження та завантаження;
- блок випалу з вентиляторним сушінням.

Підвищення температури за допомогою сопел. Для надання послуг цьому підрозділу було створено спеціальну платформу. Сушарка укомплектована електроприводом та електрообладнанням. Камеру становлять дві колони із замкнутим простором між ними. Завантажувальний пристрій, що є:

- обшитої стінками рами;
- розрівнювачого шнека;
- розсікача.

На рамці встановлено датчики, що підтримують заданий рівень зерна. На майданчику технічного обслуговування здійснюється контроль над роботою цих датчиків. Кожна з двох колон, що висихають, розділена на 6 секцій, покритих перфорованими листами. Перші п'ять секторів призначені для сушіння зерна, а нижні – для охолодження сушених матеріалів.

У сушарці з поперечним потоком до блоку надходить суміш гарячого повітря. Вентилятори створюють тиск, після якого гаряче повітря переміщається перпендикулярно потоку зерна та з нього.

Подавати через шар зерна гарячого чи холодного повітря – принцип дії колони сушарки зерна. Зерно проходить через вузький проміжок між

металевими стінами з отворами.

У горизонтальних колонкових сушарках зерно переміщається стрічковим транспортером або транспортується в горизонтальному напрямку за допомогою механічного ротора. У поперечній сушарці зерно переміщується за допомогою сили тяжіння.

Послідовність роботи керносушарки виглядає так:

1. Вологе зерно надходить у верхню частину блоку. Внутрішній гвинт забезпечує розподіл висихаючого матеріалу по всій довжині машини. Завантаження кожної колонки провадиться по черзі;

2. Вентилятори заповнюють камеру повітрям. Потім повітряна суміш ділиться на 2 потоки - один прямує в сектор змішування, а другий підігрівається пальником. За допомогою рефлекторів обидва потоки в камері перемішуються, забезпечуючи однорідність нагрівання у будь-якій точці;

3. Постійна температура під час зернового чищення підтримується перфорацією у стінках колони;

4. Вимірювальні прилади розміщуються у нижній частині установки. Час утримання зерна у колоні регулюється частотою обертання цих валиків;

5. Сушений матеріал розвантажується шнековим або скріперним конвеєром.

Стіна стовпа постійно перебуває під тиском зерна. Таким чином пристрій має потужний каркас. Зерно розподіляється вздовж сушарки та збирається на паралельних ділянках. Для цього використовуються гвинтові конвеєри та пристрої для сечового міхура.

Сушарки різних споруд виконують одну функцію – постачають тепло зерну з мінімальними втратами. При досягненні цієї мети витрати на технічне обслуговування та паливо є незначними.

1.2 Технічні характеристики зерносушарки СЗК-8

Робота зерносушарки СЗК-8 регулюється оператором керуючої мережі відповідно до кінцевої вологості зерна, який періодично налаштовується, змінюючи продуктивність сушарки та максимальну температуру нагрівання зерна, регульовані зміною температури теплоносія.

Місткість сушарки залежить від потужності розвантажувального пристрою. Електричний привід розрядного пристрою виконаний як асинхронного електромотора з ротором короткого замикання типу AIR90E6Y1 потужністю 1,5 кВт. А існуюча покрокова система ременів регулювання швидкості вихідного валу дозволяє регулювати продуктивність. Недоліки цієї системи полягають у тому, що вона не забезпечує швидке реагування на зміни в режимі сушіння зерна та регулювання проводиться поетапно. У зв'язку з цим необхідно автоматизувати процес висихання.

Запропонована система керування електричним приводом розвантажувального пристрою містить електродвигун постійного струму з незалежною міркуванням VOV. Потужність сушарки налаштовується шляхом зміни постійної напруги на якірній обмотці. Автомобільний трансформатор підбирається технічними засобами забезпечення напруги. Електричний ланцюг дозволяє запустити електричний двигун з нульовою напругою. Розроблений електропривод постійного струму дозволяє швидко та плавно ретувати сушильну ємність, проста та порівняно дешева. Він дозволяє легко автоматизувати процес сушіння зерна, зробивши напругу намотування якоря залежним від вологості зерна [3, 4].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики СЗК-8

МОДЕЛЬ	СЗК-8
Продуктивність, т/год	до 8
Теплова потужність, кВт	520
Встановлена потужність електроприводу, кВт	40,7
Питома витрата:	
палива, кг / т	5,32
електроенергії, кВт.год / т	3,88
Продуктивність системи повітрообміну, тис. м ³ / год	до 32
Нерівномірність сушки, ±%	+2,7...-2,6
Коефіцієнт готовності	0,98
Маса, кг	8250

1.3 Постановка задачі роботи

Мета цієї тези полягає у вдосконаленні засобів управління та автоматичного управління технологічним процесом сушіння. У процесі сушіння необхідно контролювати основні параметри, такі як температура і вологість вакуумної камери, вологість висушеного продукту. Також необхідно контролювати процес сушіння шляхом зміни подачі нагрітого повітря, а також створити необхідну вологість завдяки вентиляції камери.

Автоматизована система керування сушінням дозволяє керувати процесами, режимами експлуатації та станом обладнання. Контролюючи обладнання у всіх режимах експлуатації, можна автоматично регулювати параметри процесу по всьому діапазону навантаження, включаючи[4]:

- запуск та припинення роботи обладнання;
- Захист обладнання на випадок надзвичайних обставин;
- запобігання відхилення параметрів за дійсними значеннями;

Можливість збирати та обробляти інформацію для розрахунку технічних та економічних показників.

Автоматична система повинна гарантувати надійне та ефективне

функціонування обладнання у всіх режимах без втручання обслуговуючого персоналу. З його допомогою оператор може своєчасно та швидко здійснювати необхідні дії, підвищуючи тим самим надійність та економічну ефективність роботи.

Основним завданням автоматизованої системи управління сушінням є отримання зерна необхідної якості за певної продуктивності. Показником ефективності процесу сушіння є параметр визначення кількості продукту чи його якості. Мета контролю висихання полягає у забезпеченні того, щоб вхідне вологе зерно було висушене до заданого значення вологості.

Керований об'єкт для автоматизації процесу сушіння зерна виконаний у вигляді колонної сушарки з димовими газами у вигляді осушувача. Індикатором ефективності є вологість матеріалу, а метою контролю є збереження цього параметра певному рівні.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд зерносушарки СЗК-8

Як розрахунок електроприводу беремо двигун норії завантаження.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА НОРІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОСУШАРКИ

2.1 Технічні характеристики норії

Норії з відцентрово-гравітаційним розрядом розраховані на вертикальне переміщення зерна у млинах, елеваторах та підприємствах із переробки зерна. Призначений для використання у структурі схеми технологічного процесу в режимі експлуатації S1 [6].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики норій

ПОКАЗНИКИ	H-5	H-5X2	H-10	H-10X2	H-20	H-50	H-100
Продуктивність на зерні, т/год*	5	10	10	20	20	50	100
Швидкість стрічки, м/с	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	2,2	2,2
Ширина стрічки, мм	125	125	150	150	175	200	300
Крок для різних типів ковшів:							
металевий	210	210	260	260	260	160	170
без дна	57	-	81	-	81	-	-
полімерний	130	-	150	-	-	-	-
Число прокладок стрічки, шт	4	4	4	4	4	4	4
Зовнішній розмір поперечного перерізу труб, мм	160x160	160x317	200x200	200x200	236x236	280x280	260x376
Діаметр барабана головки і башмака, мм	215	215	400	400	500	630	750
Довжина барабана, мм	135	135	170	170	200	220	320
Встановлена потужність при висоті норії:							
- до 30 метрів, кВт	1,1	1,5	1,5	3,0	3,0	5,5	11
- понад 30 метрів, кВт	1,5	2,2	2,2	4,0	4,0	7,5	15
- до 45 метрів, кВт	-	-	-	-	-	11	18,5
Габаритні розміри головки норії з приводом, мм							
довжина	1008	1008	1117	1117	1304	1736	2150
ширина	400	520	450	865	546	1503	1250-1400
висота	2178	2178	2458	2458	2570	1338	1663
Витрата повітря на аспірацію, м ³ /год	350	700	400	800	400	500	700
Термін служби, років	8	8	8	8	8	8	8

За допомогою методу розрахунку електричного приводу, зазначеного у [7], ми обчислюємо систему HR-AD для норії H-20.

2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна норії

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі:

$$\beta_y = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_{дв}}{\omega_{дв.мах}}, \quad (2.2.6)$$

де $\omega_{дв.мах}$ – максимальна швидкість повороту робочого елемента до валу двигуна;

β_0 – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі ($\beta_0=0,5$).

$$\beta_{y1} = 0,5 + (1 - 0,5) \frac{88}{88} = 1.$$

Еквівалентна потужність:

$$M_{с.екв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (M_{c_i}^2 \cdot t_{p_i})}{\sum_{i=1}^5 t_{p_i}}}, \quad (2.2.7)$$

де t - тривалість роботи ділянки.

$$M_{с.екв} = \sqrt{\frac{(35.11)^2 \cdot 40 + (24.58)^2 \cdot 50 + (70.22)^2 \cdot 30 + (17.56)^2 \cdot 45 + (42.13)^2 \cdot 90}{40 + 50 + 30 + 45 + 90}} = 39.66(\text{Н} \cdot \text{м})$$

Фактична тривалість ввімкнення:

$$ТВ_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^5 t_{p_i}}{\sum_{i=1}^6 t_{p_i}}, \quad (2.2.8)$$

$$ТВ_{\phi} \% = \frac{40 + 50 + 30 + 45 + 90}{40 + 50 + 30 + 45 + 90 + 265} \cdot 100\% = 49.038\%.$$

Для цього приводу ми вибираємо стандартний $ТВ_{ст}=40\%$.

Проектна потужність двигуна приводу:

$$P_{роз} = k_3 \cdot P_{с.екв} \cdot \sqrt{\frac{ТВ_{\phi} \%}{ТВ_{ст} \%}}, \quad (2.2.9)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, що враховує неточності у підрахунку сил опору та динаміки ($k_3=1,1 \div 1,3$).

$$P_{\text{роз}} = (1,1 \div 1,3) \cdot 39.661 \cdot \sqrt{\frac{49.038\%}{40\%}} = 4.251 \div 5.024(\text{кВт}).$$

Висновок: діапазон потужності приводного двигуна становить (кВт), який використовує стандартний діапазон потужності двигунів, вибираємо двигун на 5 кВт..

2.3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Метою техніко-економічного обґрунтування є вибір оптимальної системи електричного приводу, що підходить для розрахунку погіа. В основу його здійснення покладено технічні та економічні умови;

Техніко-економічне обґрунтування - це порівняння технічних характеристик електроприводної системи, яка може бути використана для приводу норіумного поясу.

Основними технічними характеристиками є діапазон швидкостей, що змінюється, механічна х-к жорсткість, перевантаження і економічність.

Розрахунок фактичного діапазону регулювання частоти обертання:

$$D = \frac{\omega_{\text{во. max}}}{\omega_{\text{во. min}}}, \quad (2.3.1)$$

$$D = \frac{88}{88} = 1.$$

Цей діапазон регулювання (1) передбачає основні системи електричних приводів, такі як ТП-ДПС; ПЧ-АТ, РКС-ДПС, РКС-АТ ФР, ТП-Д.

Описані всі перераховані вище системи.

Двигуни з ротором КЗ використовуються в електричному приводі, який не вимагає регулювання швидкості як допоміжний двигун для досягнення зниженої швидкості. Їх недолік - високий пусковий потік,

Використання СДС та систем, побудованих на них, є непрактичним, оскільки вони мають велику масу та займають велике простір порівняно з двигунами змінного струму та потребують інвертора.

Асинхронний двигун з контактними кільцями та фазним ротором є менш ефективним з точки зору витрат, ніж короткозамкнутий ротор, але їх головною

перевагою є зменшення початкового струму одночасно зі збільшенням стартового моменту.

Для системи ПЧ-АТ характерний широкий спектр регулювання швидкості та високі характеристики жорсткості. Сучасні ПЧ можуть підвищити ефективність процесу реалізувати економічний алгоритм управління приводом, і навіть знизити споживання енергії з 20 до 50% проти іншими системами управління.

Розрахунок повідомлених витрат для системи ПЧ-АТ та введення результатів розрахунків у таблиці 2.4 разом з іншими системами.

Наведені витрати:

$$З = E_n \cdot K + C, \quad (2.3.2)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ($E_n=0.17, 1/\text{рік}$);

K – капітальні вкладення, грн;

C – загальні щорічні відрахування, які враховуються у собівартості продукції, грн./рік.

$$З = 0,17 \cdot 23265 + 9839.994 = 13794.99 \text{ (грн/рік)}.$$

Капітальні вкладення:

$$K = D + СК, \quad (2.3.3)$$

де D – вартість двигуна ($D= 9500$ грн);

$СК$ – вартість системи керування ($СК= 13765$ грн).

$$K = 9500 + 13765 = 23265 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (2.3.4)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 23265 = 3955.05 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (2.3.5)$$

де C_A – амортизаційні відрахування;

C_P – відрахування на ремонт;

C_d – додаткові відрахування;

C_o – відрахування на обслуговування.

$$C = 2326.5 + 465.3 + 6579.575 + 468.569 = 9839.944 \text{ (грн/рік)}.$$

Величина амортизаційних відрахувань:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (2.3.6)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 23265 = 2326.5 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на ремонт електрообладнання:

$$C_p = 0,02 \cdot K, \quad (2.3.7)$$

$$C_p = 0,02 \cdot 23265 = 465.3 \text{ (грн/рік)}.$$

З урахуванням зниження потужності електроприводу протягом року:

$$C_d = C_{d1} + C_{d2}, \quad (2.3.8)$$

де C_{d1} – додаткові відрахування у зв'язку із втратою двигуна;

C_{d2} – додаткові відрахування для обліку збитків у системі менеджменту.

$$C_d = 6096.678 + 482.897 = 6579.575 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові знижки для обліку втрат енергії у двигуні протягом року.:

$$C_{d1} = \Delta W_{дв} \cdot c, \quad (2.3.9)$$

де $\Delta W_{дв}$ - сумарні втрати енергії в двигуні;

c – вартість електроенергії ($c=2,67$ грн/кВт·год);

$$C_{d1} = 2283.4 \cdot 2.67 = 6096.678 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні енерговтрати двигуна у стаціонарному та перехідному режимах протягом року:

$$\Delta W_{дв} = (\Delta P_{дв.н} + \Delta P_{дв.пр}) \cdot k_{зв} \cdot \Phi, \quad (2.3.10)$$

де $\Delta P_{дв.н}$ - втрата потужності у двигуні, що працює в номінальному режимі;

$\Delta P_{дв.пр}$ - енерговтрати у двигуні у перехідних процесах;

$k_{зв}$ – коефіцієнт завантаження за потужністю ($k_{зв}=0,8$);

Φ – чинний фонд часу роботи електричного двигуна протягом року.

$$\Delta W_{дв} = (1.757 + 0.176) \cdot 0,8 \cdot 1477.025 = 2283.4 \text{ (кВт} \cdot \text{год/рік)};$$

Втрати потужності двигуна у номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{\text{дв.н}} = P_{\text{дв.н}} \frac{1 - \eta_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (2.3.11)$$

де $P_{\text{дв.н}}$ - номінальна продуктивність двигуна із приводом;

$\eta_{\text{дв.н}}$ - оцінний ККД двигуна із приводом.

$$\Delta P_{\text{дв.н}} = 5 \frac{1 - 0,74}{0,74} = 1.757 \text{ (кВт/год)}.$$

Додаткове енергоспоживання у перехідних режимах двигуна:

$$\Delta P_{\text{дв.пр}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{дв.н}}, \quad (2.3.12)$$

$$\Delta P_{\text{дв.пр}} = 0,1 \cdot 1.757 = 0.176 \text{ (кВт/год)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електропривода за рік:

$$\Phi = \frac{\text{ТВ}_{\Phi} \%}{100} \cdot Z_{\text{рд}} \cdot Z_{\text{рз}} \cdot t_{\text{рз}}, \quad (2.3.13)$$

де $Z_{\text{рд}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{рд}}=250$ днів);

$Z_{\text{рз}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{рз}}=1$);

$t_{\text{рз}}$ - тривалість робочої зміни ($t_{\text{рз}}=12$ год).

$$\Phi = \frac{49.038}{100} \cdot 250 \cdot 1 \cdot 12 = 1477.025 \text{ (год/рік)}.$$

Додаткові відрахування для обліку щорічних енерговтрат у системі:

$$C_{\text{д2}} = \Delta W_{\text{СК}} \cdot c, \quad (2.3.14)$$

де $\Delta W_{\text{СК}}$ - сумарні втрати енергії в двигуні.

$$C_{\text{д2}} = 180.86 \cdot 2.67 = 482.897 \text{ (грн/рік)}.$$

Втрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\text{СК}} = \Delta P_{\text{СК}} \cdot k_{\text{зв}} \cdot \Phi, \quad (2.3.15)$$

де $\Delta P_{\text{СК}}$ - втрати потужності в системі керування.

$$\Delta W_{\text{СК}} = 0.153 \cdot 0,8 \cdot 1477.025 = 180.86 \text{ (грн/рік)}.$$

Втрати потужності в системі керування за рік:

$$\Delta P_{\text{СК}} = P_{\text{пш}} \frac{1 - \eta_{\text{пш}}}{\eta_{\text{пш}}}, \quad (2.3.16)$$

де P_{III} - номінальна потужність перетворювального пристрою;

η_{III} - ККД перетворювального пристрою.

$$\Delta P_{СК} = 7.5 \frac{1-0,98}{0,98} = 0.153 \text{ (кВт/год)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання:

$$C_O = 0,05 \cdot (C_A + C_P + C_D), \quad (2.3.17)$$

$$C_O = 0,05 \cdot (2326.5 + 465.3 + 6579.575) = 468.569 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків

Показники	Системи електричного привода				
	РКС-ДПС	РКСАД з ФР	ТП-Д	ТРН-АД	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн	23750	19000	23750	9500	9500
Вартість системи керування СК, грн	5506	6194.25	12388	12388.5	13765
Капітальні вкладення К, грн	29256	25194.2	36138	21888.5	23265
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	4973.5	4283	6143.5	3721.045	3955.05
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	2925.6	2519.42	3613.8	2188.85	2326.5
Відрахування на ремонт C_P , грн/рік	585.12	503.885	722.7	437.77	465.3
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	29758	29758.6	8154.2	12012	6579.575
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	1663.4	1639	624.54	731.939	468.569
Загальні відрахування C , грн/рік	34932	34421	13115	15370.7	9839.944
Приведені витрати Z , грн/рік	39906	38704	19258	19091.7	13794.99

Висновок: Аналізуючи техніко-економічні критерії, ми робимо висновок, що підходимо під систему управління ПЧ-АД.

2.4 Вибір приводного двигуна за потужністю і швидкістю обертання

Враховуючи розрахунки та техніко-економічне обґрунтування, ми вибираємо приводний двигун залежно від потужності та швидкості обертання:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq \omega_{\text{роз}}, \end{cases} \quad (2.4.1)$$

де $P_{\text{дв.н}}$ - номінальна потужність двигуна приводу, кВт;

$P_{\text{роз}}$ - розрахункова потужність двигуна приводу, кВт;

$\omega_{\text{дв.н}}$ - номінальна кутова кількість обертів двигуна, с^{-1} ;

$\omega_{\text{роз}}$ - розрахункова кутова швидкість, с^{-1} .

На основі цієї умови вибираємо приводний двигун МТКФ 112-6. Відомості про паспорт двигуна наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 2.5 - Паспортна інформація про двигун приводу.

Тип двигуна	МТКФ 112-6
Номінальна потужність $P_{\text{дв.н}}$, кВт	5
Номінальна кутова швидкість $\omega_{\text{дв.н}}$, об/хв	895
Номінальний коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	0.74
Номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{дв.н}}$, %	74
Максимальний момент $M_{\text{дв.мах}}$, Н·м	175
Пусковий момент $M_{\text{дв.пуск}}$, Н·м	175
Пусковий струм $I_{\text{пуск}}$, А	53
Момент інерції J_p , кг·м ²	0,065
Номінальний струм обмотки статора $I_{\text{дв.н}}$, А	13.8
Струм холостого ходу $I_{\text{хх}}$, А	9.6
Активний опір обмотки статора R_1 , Ом	1.28
Індуктивний опір розсіювання обмотки статора X_1 , Ом	1.74
Приведений активний опір обмотки ротора $R'2$, Ом	2.17
Приведений індуктивний опір розсіювання обмотки $X'2$, Ом	2.06

Швидкість обертання двигуна синхронного приводу.:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{z_p}, \quad (2.4.2)$$

де f – Частота напруги живлення ($f=50$ Гц);

z_p – кількість пар полюсів обмотки статора ($z_p=3$).

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104.72(\text{с}^{-1}).$$

Номінальна частота обертання двигуна:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi}{60} n_{\text{дв.н}}, \quad (2.4.3)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2 \cdot 3,14}{60} 895 = 93.724(\text{с}^{-1}).$$

Номінальний момент приводного двигуна:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (2.4.4)$$

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{5000}{93.724} = 53.348(\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Критичний момент приводного двигуна:

$$\lambda_k = \frac{M_{\text{дв.мах}}}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (2.4.5)$$

$$\lambda_k = \frac{175}{53.348} = 3.28$$

Кратність початкового моменту двигуна приводу:

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{M_{\text{дв.пуск}}}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (2.4.6)$$

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{175}{53.348} = 3.28.$$

Номінальне ковзання:

$$s_{\text{ном}} = \frac{n_0 - n_{\text{дв.н}}}{n_0}, \quad (2.4.7)$$

$$s_{\text{ном}} = \frac{1000 - 895}{1000} = 0.105.$$

Критичне ковзання:

$$s_k = s_{\text{ном}} (\lambda_k + \sqrt{\lambda_k^2 - 1}), \quad (2.4.8)$$

$$s_k = 0.105 \cdot (3,28 + \sqrt{3,28^2 - 1}) = 0.672.$$

Номінальна фазова напруга для мережі обмотки «зіркою»:

$$U_\phi = \frac{U_\lambda}{\sqrt{3}}, \quad (2.4.9)$$

де U_λ – номінальна лінійна напруга, ($U_\lambda = 380$ В).

$$U_\phi = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,4(\text{В}).$$

Висновок: На підставі розрахункових даних для приводу цього робочого апарату було обрано АД з ротором змінного струму типу МТКФ 112-6 потужністю 5 кВт.

2.5 Перевірка вибраного приводного двигуна

Щоб переконатися у правильності вибору двигуна приводу, ми перевіряємо навантаження, температуру та умови запуску.

Режим роботи двигуна забезпечує постійну частоту обертання без перерви, що впливає на нагрівання провідного двигуна, після чого проводять випробування на нагрівання відповідно до умов:

$$M_{\text{дв.н}} \geq M_{\text{екв}} \cdot \sqrt{\frac{ТВ_\phi \%}{ТВ_{\text{ст}} \%}}, \quad (2.5.1)$$

де $M_{\text{дв.н}}$ – номінальний крутний момент приводного механізму, Н·м;

$M_{\text{екв}}$ – еквівалентний крутний момент відповідно до завантажувальної діаграми приводу, Н·м.

$$53.348 \geq 40.255 \cdot \sqrt{\frac{49.038\%}{40\%}},$$

$$53.348 \geq 44.574(\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Еквівалентний момент, що крутить, згідно зі схемою приводного навантаження

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^w (M_j^2 \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^w (\beta_j \cdot t_j)}}, \quad (2.5.2)$$

де M_j – імпульс, який повинен розвивати приводний двигун на j -му робочому ділянці схеми завантаження приводу., Н·м;

β_j – коефіцієнт погіршення теплопередачі на j -му робочому ділянці схеми завантаження приводу;

t_j – тривалість роботи j -ї робочої секції діаграми навантаження приводу.

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_{\Sigma 1}^2 \cdot t_{\text{п1}} + M_{\Sigma 2}^2 \cdot t_{y1} + M_{\Sigma 3}^2 \cdot t_{y2} + M_{\Sigma 4}^2 \cdot t_{y3} + M_{\Sigma 5}^2 \cdot t_{y4} + M_{\Sigma 6}^2 \cdot t_{y5} + M_{\Sigma 7}^2 \cdot t_{r1}}{\beta_y \cdot t_{\text{п1}} + \beta_y \cdot t_{y1} + \beta_y \cdot t_{y2} + \beta_y \cdot t_{y3} + \beta_y \cdot t_{y4} + \beta_y \cdot t_{y5} + \beta_y \cdot t_{r1}}} \quad (2.5.3)$$

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{60.7^2 \cdot 1.34 + 35.1^2 \cdot 38.66 + 24.6^2 \cdot 50 + 70.2^2 \cdot 30 + 17.6^2 \cdot 45 + 42.1^2 \cdot 88.66 + 16.58^2 \cdot 1.34}{0.973 \cdot 1.34 + 0.973 \cdot 38.66 + 0.973 \cdot 50 + 0.973 \cdot 30 + 0.973 \cdot 45 + 0.973 \cdot 88.66 + 0.973 \cdot 1.34}} = 40.25(\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Визначити величину коефіцієнта тепловіддачі на j -й секції робочої секції діаграми навантаження приводу.

Із встановленою частотою обертання:

$$\beta = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (2.5.4)$$

де ω_y - фіксована частота обертання приводу робочої машини наведена до валу двигуна на робочій секції завантажувальної схеми приводу;

$\omega_{\text{дв.н}}$ - номінальна кутова кількість обертів двигуна, с^{-1} .

$$\beta_1 = 0,5 + (1 - 0,5) \frac{88}{93} = 0.973,$$

Випробування двигуна з приводом на навантаження проводять відповідно до умов:

$$\lambda_k \geq \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (2.5.5)$$

де λ_k – Критичний момент двигуна керування.;

M_{\max} – максимальний момент, що крутить, встановлюваний провідним двигуном протягом усього робочого циклу, Н·м.

$$3.28 \geq \frac{70.225}{53.348},$$

$$3.28 \geq 1.316$$

Для забезпечення надійного запуску приводного двигуна необхідно перевірити умови запуску, враховуючи можливість зниження напруги мережі під час запуску відповідно до умов:

$$k_u^2 \cdot M_{\text{дв.п}} \geq M_{\text{с.п}} + M_{\text{д}}, \quad (2.5.6)$$

де k_u – коефіцієнт, який враховує зменшення напруги при запуску ($k_u=0,9$);

$M_{\text{дв.п}}$ – крутний момент приведення в дію, Н·м;

$M_{\text{с.п}}$ – момент зіткнення з механізмом зі швидкістю, що дорівнює нулю, Н·м;

$M_{\text{д}}$ – динамічний момент, Н·м.

$$(0,9)^2 \cdot 175 \geq 35.112 + 25.5,$$

$$141.75 \geq 60.612$$

Висновок: Проаналізувавши результати розрахунків, ми дійшли висновку про правильність вибору приводного двигуна.

2.6 Вибір силового перетворювального пристрою

Умови вибору перетворювача частоти:

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq P_{\text{дв.сп}}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq I_{\text{дв.н}}, \end{cases} \quad (2.6.1)$$

де $P_{\text{дв.сп}}$ – потужність, що витрачається двигуном у номінальному режимі, кВт;

$I_{\text{дв.н}}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (2.6.2)$$

де k - коефіцієнт деформації струму під час введення перетворювача ($k=0,95$).

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{0.95 \cdot 5}{0.74} = 6.419(\text{кВт}).$$

Додатково перевірте частотний інвертор, залежно від цієї умови:

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{P_{\text{дв.пуск}}}{\lambda_{\text{ПЧ}}}, \quad (2.6.3)$$

де $P_{\text{дв.пуск}}$ – пускова потужність приводного двигуна, кВт;

$\lambda_{\text{ПЧ}}$ – перевантажувальна здатність перетворювача ($\lambda_{\text{ПЧ}}=1,5$).

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{9.256}{1.5},$$

$$P_{\text{ПЧ}} \geq 6.171(\text{кВт}).$$

Пускова потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{k \cdot n_{\text{дв}}}{9550 \cdot \eta_{\text{дв.н}} \cdot \cos\varphi} \cdot (M_{\text{cl}} + M_{\text{д}}), \quad (2.6.4)$$

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{0.95 \cdot 840}{9550 \cdot 0.74 \cdot 0.74} \cdot (35.11 + 25.55) = 9.256(\text{кВт}).$$

Кроме того, проверьте частотный инвертор в соответствии с этим условием:

$$I_{\text{ПЧ.пуск}} \geq \frac{k \cdot n_{\text{дв1}}}{9,55 \cdot \eta_{\text{дв.н}} \cdot \cos\varphi \cdot U_{\text{ф}} \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{cl}} + M_{\text{д}}), \quad (2.6.5)$$

$$I_{\text{ПЧ.пуск}} \geq \frac{0.95 \cdot 840}{9,55 \cdot 0.74 \cdot 0.74 \cdot 219} \cdot (35.11 + 25.55),$$

$$I_{\text{ПЧ.пуск}} \geq 14.064(\text{А}).$$

На основі даних умов вибираємо частотний перетворювач Siemens Micromaster 440 **6SE6440-2UD27-5CA1**. Дані паспорта частотного перетворювача наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Паспортні дані перетворювача частоти

Бренд	Siemens
Серія	MicroMaster 440
Sku	6SE6440-2UD27-5CA1
Потужність	7.5 кВт
Число фаз/напруга на вході	3-ф/380 (три фази 380в) В
Число фаз/напруга на виході	3-ф/380 В
Mmax (1 min) %	150
Номінальний і струм	18.40 А
Струм на протязі 1 хвилини	27.6 А
ЕМС фільтр	Є
Вбудований регулятор	ПД
Скалярний режим Уерування	Є
Вбудований режим керування без енкодера	Є
Лінійний закон керування U/f	Є
Квадратичний закон керування U/f ²	Є
Застосування	3

Схематична діаграма частотного інвертора Micromaster 440 показана на малюнку 2.1

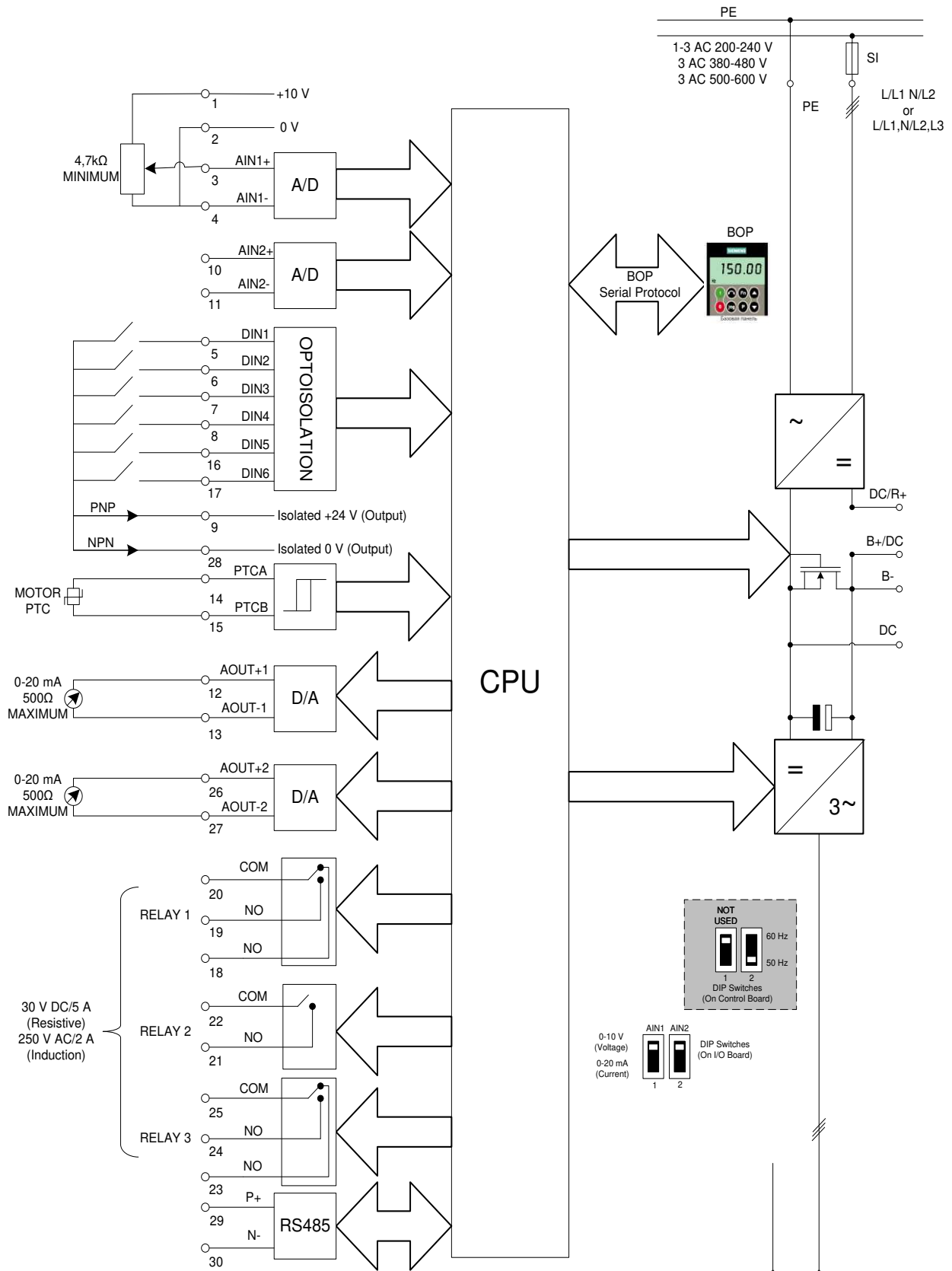


Рисунок 2.1 – Блок-схема перетворювача частоти Micromaster 440

Висновок: Проаналізовано результати розрахунків, обрано перетворювач частоти Siemens Micromaster 440.

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ СУШКИ ЗЕРНА

3.1 Аналіз існуючих систем автоматичного управління

3.1.1 АСУТП СЗ реалізована заводом LUBNYMASH

Програмне та апаратне забезпечення для автоматизації процесу сушіння зерна за алгоритмом, що дозволяє гнучко регулювати режим сушіння з урахуванням типу зерна і вологості.

Функції системи:

- Відображення інформації про процес на сенсорному екрані у вигляді мнемोगрами стану обладнання.

Високоякісна візуалізація поточних виробничих операцій та індикація стану обладнання, що бере участь, допоможе оператору швидко орієнтуватися в поточній ситуації.

- Автоматичне і дистанційне керування технічним обладнанням.

Протягом багатьох років процес сушіння здійснювався операторами в ручному або напівавтоматичному режимі, орієнтуючись на температуру зерна і сушку агентів. Зразки бралися для визначення вологості зерна вручну. Сучасний рівень автоматизації дозволяє сушити зерно за заданою формулою з мінімальним контролем з боку оператора, приймаючи показання різних датчиків температури і встановлюючи лічильники потоку.

- Сигналізує, коли обладнання зупиняється або не працює.

У процесі сушіння зерна швидкість прийняття рішень може заощадити більше тисячі умовних банків. Будь-яка несправна або аварійна ситуація буде негайно показана на панелі керування оператора і, за необхідності, приверне увагу за допомогою світлових і звукових сигналів.

- Блокування/вимкнення обладнання під час переривання процесу.

Людський фактор може завдати величезної шкоди, будь то зіпсована партія зерна або, в найгіршому випадку, палаючий сушилка. Для запобігання подібних подій сушилки «LUBNIMASH» мають повний набір алгоритмів, що запобігають або усувають негативні ефекти.

- Регулювання газових пальників і вентиляторів відповідно до технічних

ВИМОГ.

Автоматична система самостійно вибирає необхідні режими роботи газового пальника і вентилятора для підтримки оптимальної температури за вказаним алгоритмом сушіння. Він також активно долучений до ліквідації пилок під час циклічного розвантаження зерна, зменшення подачі палива на горілку і припинення руху повітря.

- Контроль рівня зерна в бункері над сушилькою.

Економія в шахтних сушарках забезпечується постійним потоком зерна. Часто зупиняється і починає багато зусиль, щоб підігріти нову партію зерна. І якщо оператор не помічає, що шахта лише наполовину повна, то більша частина нагрітого повітря злетить у трубу по шляху найменшого опору і час сушіння значно збільшиться. Автоматична звітність про дефіцит зерна або, залежно від налаштувань менеджера, дозволить автоматично заправляти сушилку.

- Контроль температури сушильного агента.

Температурна стійкість, нагріта повітрям теплогенератора, забезпечує рівномірне сушіння зерна по всьому валу зерна. За допомогою автоматичного регулювання температури можна на 100% упевнитися, що нагрівальний агент буде перебувати у попередньо встановлених параметрах для вибраної культури.

- Спостереження за вологістю зерна на вході та виході сушилки.

Те, що колись вважалося нереальним, тепер є нормою. Автоматизація самого осушувач, який отримує інформацію від встановлених у шахті датчиків вологості, дозволить оператору оптимізувати сушіння цього виду зерна.

- Контроль температури зерна за зонами.

Велика кількість температурних датчиків, розташованих у різних частинах і сушильних агрегатах, дасть повну картину того, що відбувається з зерном під час процесу сушіння. Детальна інформація про температуру, яка допоможе запобігти пошкодженню зерна і більш гнучко працювати сушильнею в автоматичному режимі. А чітко визначені температурні діапазони в системі автоматизації попередить оператора до можливої аварійної ситуації. Це дозволить швидко приймати рішення та запобіганню спалаху.[13]



Рисунок 3.1 – АСУТП СЗ реалізована заводом LUBNYMASH

3.1.2 Автоматизація процесу сушіння на підприємстві Тегра Україна ЛТД

Понад 50 відсотків основних зернових культур підвищили вологість комбайнування і вимагають сушіння. Тільки після того, як з свіжоздаленної маси зерна видаляється вся надлишкова волога і зерно підвозиться в сухий стан, можна розраховувати на його тривале зберігання.

Сушіння зерна є складним, безперервним і енергоємним процесом. Перевищення допустимої температури нагрівання зерна викликає коагуляцію білка, втрату життєво важливих функцій насіння і їх здатність до проростання, зменшення кількості і якості клейковини. Крім того, на зерносховищах (зерносушарках, елеваторах, бункерах) кількість приводів і контрольованих параметрів неухильно зростає і оператор вже не в змозі самостійно контролювати технологічні процеси завантаження, скидання зерна, переробки, сушіння і зберігання. У зв'язку з цим, питання комплексної автоматизації переробки та зберігання зерна виникає як єдиний спосіб поліпшити якість зерна, економити енергію, зменшити вплив людського фактора, підвищити

рентабельність підприємства.

ДП «СВ АЛЬТЕРА Черкаси» вже давно спеціалізується на розробці та впровадженні автоматизованих систем управління на базі сучасних засобів автоматизації в різних галузях народного господарства. Нашими фахівцями на підприємстві ДП Теувс Холдинг «Техра Україна ЛТД» т.Гайсин (Вінницька область) була розроблена і впроваджена автоматизована система контролю процесу сушіння зерна в потоці.

Призначення АСУ

Система управління призначена для контролю і регулювання процесу сушіння зерна в потоці.

Система забезпечує:

- моніторинг процесу сушіння зерна;
- регулювання параметрів процесу (температури, подачі, потоку);
- контроль та аналіз вказаних режимів роботи (автоматичний, ручний);
- відображення та реєстрація інформації;
- підготовку звітів та резюме;
- архівування;
- зв'язок з іншими системами.

Структура АКГ

Система управління складається з програмованого логічного контролера (PLC) серії VIPA Speed7, контрольованого перетворювача Lenze ETMD, операторської станції (промислового комп'ютера) і локальних консолей управління. Зв'язок між станцією-оператором і ПЛК здійснюється через ПРОМИСЛОВИЙ ETHERNET. ПЛК забезпечує моніторинг стану виконавчих механізмів секції подачі зерна з бункерів, контроль аварійного та експлуатаційного рівнів в бункерах, обробку аналогових сигналів від температурних вимірювальних приладів, контроль подачі газу. Локальні консолі управління дозволяють оператору сайту контролювати і керувати механізмами в безпосередній близькості від них. Система візуалізації процесів реалізується за допомогою режиму SCADA Trace 6.06 і дозволяє реалізувати:

- режими роботи з комутацією (автоматичний/ручний);
- введення параметрів процесу, таких як швидкість подачі зерна на сушилку, режим розвантаження, параметри температури тощо;
- регулювання газового потоку двома методами:
 - Регулювання температури PID;
 - Регулювання з чітко визначеними значеннями;
- переглянути історію зміни температури, протікання газу на відповідних графах.

Результати та ефекти впровадження

В результаті впровадження АСУ було здійснено перехід від ручного до автоматизованого сушіння зерна в потоці і досягнуто наступних результатів:

- оперативний та управлінський персонал забезпечується оперативною інформацією в режимі реального часу щодо прогресу та стану процесу та його параметрів;
- оптимізація режиму роботи обладнання;
- дистанційне керування технологічним обладнанням;
- підвищення надійності експлуатації основного обладнання;
- поліпшена ефективність основного обладнання
- підвищення продуктивності праці та умов праці;
- контроль температури під час сушіння зерна;
- управління потоком газу;
- контроль позиції виконавчих механізмів;
- збір та первинна обробка вхідної інформації;
- зменшення впливу людського фактора, поліпшення якості зерна.

Мнемосхема розділу сушіння зерна (Рисунок 3.2)

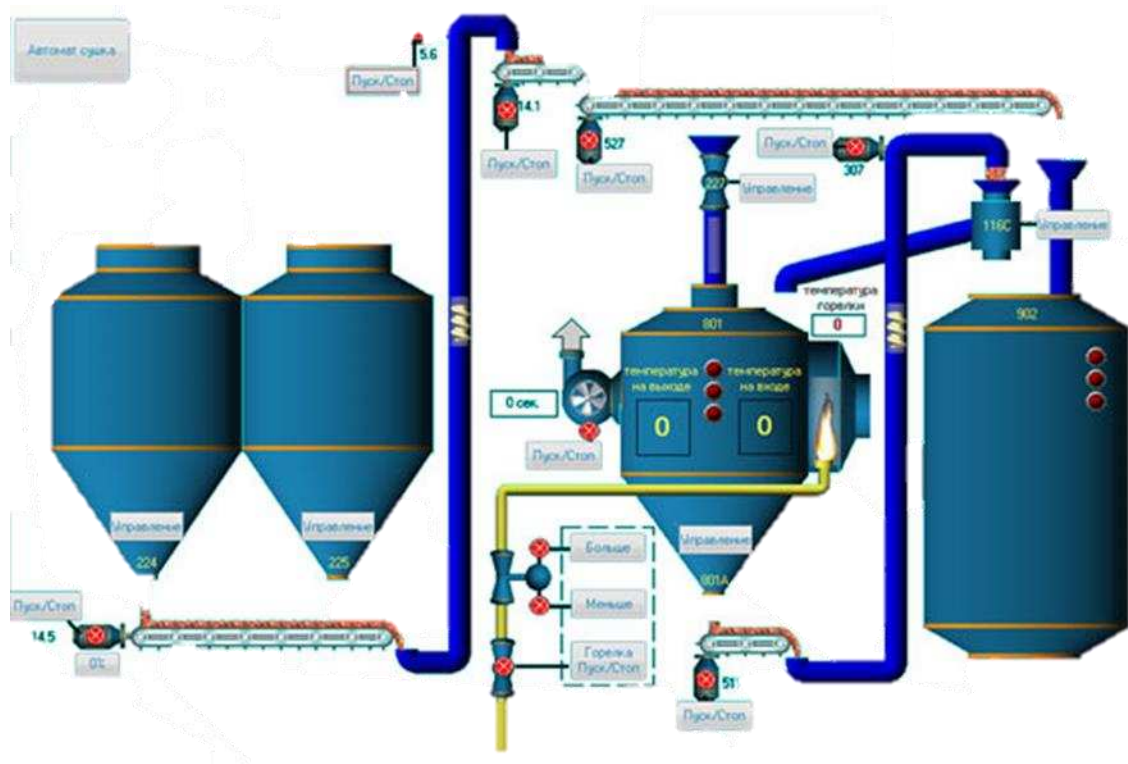


Рисунок 3.2 – Автоматизація процесу сушіння на підприємстві Тетра Україна ЛТД

3.2 Аналіз математичної моделі технологічного процесу конвективної сушки

Розглянемо математичну модель процесу конвекційного сушіння, автором якої є Богатчук в.в і Мокін Б.і На рисунку (рис.3.3) фен показує, що нагріте повітря подається знизу через верхню частину сушилки. У центрі сушилки — зерно, що сушиться[5].

Зерно рухається з певною швидкістю. Метою є визначення часу зміни вологості повітря і температури матеріалу.

Розглянемо математичну модель зерносушилки як систему диференціальних рівнянь економії енергії для повітря і зерна і економії масової енергії для сухих матеріалів з рівнем економії маси вологи в повітрі.

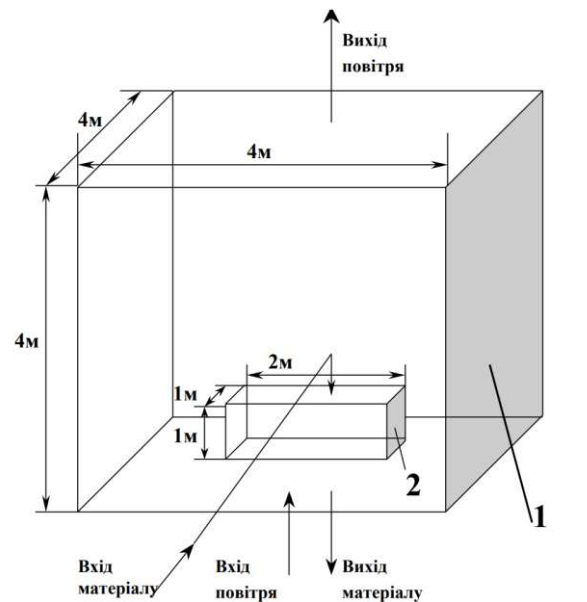


Рисунок 3.3 - Схема конвективної сушарки

Баланс економії енергії в повітрі. Відправною точкою тут є вирівнювання теплового балансу на час t :

$$\Delta Q_M = \Delta Q_n = M_n (h_1 - h_2), \quad (3.2.1)$$

де ΔQ_M , ΔQ_n – тепло поглинене матеріалом і подаване у повітря;

M_n , h – маса та ентальпія повітря.

Запишемо рівняння (3.2.1) для періоду часу dt відповідно до закону Ньютона – Ріхмана для конвективного теплообміну.

$$\Delta Q_M = (\alpha_{nm} + F_M) \left(\frac{T_{1n} + T_{2n}}{2} - \frac{T_{1M} + T_{2M}}{2} \right) dt, \quad (3.2.2)$$

де α_{nm} – коефіцієнт перенесення тепла з повітря на матеріал;

F_M – поверхня матеріалу;

T_n , T_M – температури повітря і матеріалу.

Повітря віддаватиме тепло в кількості:

$$\Delta Q_M = (M_n + dM_n) [h_1 - (h_2 - dh_2)], \quad (3.2.3)$$

де dM_n – приріст маси повітря за проміжок часу dt ;

dh_2 – зміна ентальпії повітря.

Шляхом рівняння (3.2.2) з (3.2.3) та поділу на dt ми отримуємо рівняння теплової рівноваги:

$$M_n + \frac{dh_2}{dt} = L_n h_2 - L_n h_1 + \alpha_{nm} + F_M \left(\frac{T_{1n} + T_{2n}}{2} - \frac{T_{1m} + T_{2m}}{2} \right), \quad (3.2.4)$$

де $L_n = \frac{dM_n}{dt}$ – витрати повітря.

Формула збереження маси для вологості повітря. Враховуючи, що протягом dt часу вміст води в матеріалі зміниться на dW_2 , а вміст води в повітрі зміниться на dm_2 , ми отримаємо рівняння збереження маси в цьому випадку:

$$M_n + dW_2 = M_n dm_2; \quad (3.2.5)$$

$$\frac{dm_2}{dt} = \frac{M_m}{M_n} \frac{dW_2}{dt}. \quad (3.2.6)$$

Формула енергозбереження для матеріалу. Відправною точкою для цього випадку є рівняння (3.2.1). Під час dt температура матеріалу T_{2m} змінюватиметься до dT_{2m} :

$$c_m M_m + \frac{dT_{2m}}{dt} = \alpha_{nm} + F_M \left(\frac{T_{1n} + T_{2n}}{2} - \frac{T_{1m} + T_{2m}}{2} \right), \quad (3.2.7)$$

де c_m – теплоємність матеріалу.

Рівняння збереження маси на вологість у матеріалі. Вихідним є рівняння

$$M_n + dW_2 = M_n dm_2; \quad (3.2.8)$$

де ΔW_c , ΔW_m – кількість змінної води в процесі сушіння, а також кількість води у матеріалі.

Величину ΔW_c визначимо, як

$$k F_M (W_2 - W_p) dt = -M_m dW_2; \quad (3.2.9)$$

або

$$-M_m \frac{dW_2}{dt} = k F_M (W_2 - W_p), \quad (3.2.10)$$

де k – коефіцієнт сушки;

W_p – рівноважний вологовміст.

Рівняння збільшення повітряної маси наводилося вище. Рівняння збільшення матеріальної маси виглядатиме так:

$$\frac{dM_M}{dt} = L_M, \quad (3.2.11)$$

де dM_M – приріст маси речовини за певний період dt ;

L_M – витрата матеріалу.

У рівнянні (3.2.4) змінна – ентальпія h_2 . Визначимо h_2 із формулою

$$h = 1,004t + 2500 \cdot m + m \cdot 1,84t, \quad (3.2.12)$$

$$h_1 = 1,004T_{1n} + 2500 m_1 + m_1 1,84T_{1n}, \quad (3.2.13)$$

$$h_2 = 1,004T_{2n} + 2500 m_2 + m_2 1,84T_{2n}, \quad (3.2.14)$$

Продиференціюємо h_2

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{dT_{2n}}{dt} (1,004 + 1,84m_2) + 2500 \frac{dm_2}{dt} + 1,84 \frac{dm_2}{dt} T_{2n}. \quad (3.2.15)$$

Прирівнявши (3.2.4) до (3.2.15), матимемо

$$\frac{dT_{2n}}{dt} = \frac{1}{1,004 + 1,84m_2} \left[\frac{L_n}{M_n} (1,004T_{2n} + m_2 2500 + T_{2n} m_2 1,84) - \frac{L_n}{M_n} h_1 + \frac{\alpha_{пм} F_M}{M_n} \frac{T_{1n} + T_{2n}}{2} - \frac{T_{1M} + T_{2M}}{2} - 2500 \frac{dm_2}{dt} - 1,84 \frac{dm_2}{dt} T_{2n} \right] \quad (3.2.16)$$

Визначити споживання повітря та матеріалів. Введемо такі позначення:

$$L_n = S_c V_n \rho_n; \quad L_M = S_M \vartheta_M \rho_M \quad (3.2.17)$$

$$10^{-3} \frac{\alpha_{пм}}{2M_n} F_M = A; \quad \frac{L_M}{M_n} = B; \quad \frac{kF_M}{M_M} = C; \quad \frac{\alpha_{пм} F_M 10^{-3}}{C_M M_M 2} = D; \quad \frac{L_n}{M_n} = E, \quad (3.2.18)$$

де S_c, S_M – розділи сушарки та ємність з матеріалом;

ϑ_n, ϑ_M – повітря та матеріальні швидкості;

ρ_n, ρ – щільність повітря та матеріалів.

$$\frac{dT_{2п}}{dt} = \frac{1}{1,004 + 1,84m_2} \left[\begin{array}{l} E(1,004T_{2п} + m_2 2500 + T_{2п} m_{2п} 1,84) - \\ - Eh_1 + 2A \left(\frac{T_{1п} + T_{2п}}{2} - \frac{T_{1м} + T_{2м}}{2} \right) - \\ - 2500 \frac{dm_2}{dt} - 1,84 \frac{dm_2}{dt} T_{2п} \end{array} \right] \quad (3.2.19)$$

Введемо такі позначення:

- $y'_1 = T_{2п}$ – кінцева температура повітря;
- $y'_2 = m_2$ – кінцевий вологовміст повітря;
- $y'_3 = W_{2м}$ – кінцевий вологовміст матеріалу;
- $y'_4 = T_{2м}$ – кінцева температура матеріалу;
- $y'_5 = M_m$ – маса матеріалу;
- $y'_6 = M_п$ – маса повітря.

Використовуючи ці позначення, ми реєструватимемо систему рівнянь математичної моделі (3.2.19) конвективного висихання у зручній для комп'ютерного моделювання формі:

$$\left\{ \begin{array}{l} y'_1 = \frac{1}{1,004 + 1,84y_2} \left[\begin{array}{l} E(1,004y_1 + 2500y_2 + 1,84y_1y_2) - Eh + \\ + 2A \frac{T_{1п} + y_1}{2} - \frac{T_{1м} + y_4}{2} + 2500y'_2 - 1,84y'_2y_1 \end{array} \right] \\ y'_2 = \frac{y'_5}{y_6} y'_3; \\ y'_3 = -C y_3 + C W_p; \\ y'_4 = D T_{1п} + D y_1 - D T_{1м} - D y_4; \\ y'_5 = L_m; \\ y'_6 = L_п. \end{array} \right. \quad (3.2.20)$$

Граничні умови:

$$y_1 = T_{1п}; \quad y_2 = m_1; \quad y_3 = W_1; \quad y_4 = T_{1м}; \quad y_5 = V_m \rho_m; \quad y_6 = V_п \rho_п,$$

де $V_m, V_п$, – об'єм речовини та сушарки.

Ми обчислюємо систему рівнянь (3.2.20) у програмному середовищі з використанням методу Катта – Мерсона для системи звичайних диференціальних рівнянь із автоматичним виділенням кроків.

Вихідні дані до програми подані в таблиці 3.3. Результати здійснення

програми наводяться у таблиці 3.4.

Таблиця 3.3- Дані, що вводяться з метою моделювання

№	Найменування	Позначення	Значення
1	Початкова температура гарячого повітря, °C	T_{Iz}	150
2	Початковий вологовміст повітря, кг/кг	D_{In}	0,01
3	Початкова температура матеріалу, °C	T_{Im}	20
4	Початковий вологовміст матеріалу, кг/кг	W_{Im}	0,3
5	Коефіцієнт тепловіддачі від повітря, Вт/м ² ·гр	α_{nm}	20
6	Поверхня матеріалу, м ²	F_m	10
7	Швидкість повітря, м/с	g_r	0,5
8	Об'єм матеріалу, м ³	V_m	2
9	Швидкість матеріалу, м/с	g_i	0,05
10	Теплоємність матеріалу, кДж/кг·гр	c_m	2
11	Рівноважний вологовміст, кг/кг	W_p	0,02
12	Густина матеріалу, кг/м ³	ρ	750
13	Коефіцієнт сушки, 1/с	K	0,0
14	Об'єм сушарки, м ³	V_c	96
15	Початок інтервалу часу, с	t_0	0
16	Кінець інтервалу часу, с	t_1	100,0
17	Крок інтегрування початковий, с	dt	1
18	Температура гарячого повітря на початку інтервалу часу, °C	T_{20z}	150,00
19	Вологовміст повітря на початку інтервалу часу, кг/кг	α_{20}	0,01
20	Температура матеріалу на початку інтервалу часу, °C	T_{2m0}	20,00
21	Вологовміст матеріалу на початку інтервалу часу, кг/кг	W_{20}	0,30
22	Площа поперечного перерізу сушарки, м ²	S_c	16,00
23	Площа поперечного перерізу матеріалу, м ²	S_m	2,00

Таблиця 3.4 - Результати розрахунку параметрів конвективної сушарки

№	Найменування	Позначення	Значення
1	Маса повітря, кг	M_z	125
2	Маса матеріалу, кг	M_m	1500,00
3	Витрата повітря, кг/год	L_z	37440
4	Витрата матеріалу, кг/год	L_m	2700,0
5	Кінцева температура повітря, °С	T_{2z}	125
6	Кінцевий вологовміст повітря, кг/кг	m_{2z}	0
7	Кінцевий вологовміст матеріалу, кг/кг	W_{2m}	0,3
8	Кінцева температура матеріалу, °С	T_{2m}	20
9	Остаточний крок інтегрування, °С	dt	1
10	Кількість теплоти, сприйнятої матеріалом, кДж	ΔQ_m	593
11	Кількість теплоти, відданої повітрям, кДж	ΔQ_n	565,03
12	Кількість вологи, відданої матеріалом, кг	ΔW_m	1
13	Кількість вологи, сприйнятої повітрям, кг	ΔW_n	1,5
14	Розрахункова кількість вологи сушки, кг	ΔW_c	1

Результати розрахунку часової різниці $T_{2п}$, $m_2, T_{2м}$, $W_{2м}$ при різних $\alpha_{пм}$, та різних k наведені в табл. 3.5 та 3.6.

Як видно з табл. 3.5 та табл. 3.6, коефіцієнт теплопередачі найбільше впливає на температуру матеріалу, а коефіцієнт висихання - на остаточне вміст вологи в матеріалі.

Таблиця 3.5 - Результати моделювання для $\alpha_{\text{ПМ}} = \text{var}$, $k = 0,01$

t	$\alpha_{\text{ПМ}} = 10$				$\alpha_{\text{ПМ}} = 20$				$\alpha_{\text{ПМ}} = 30$			
	T_{2n}	m_2	T_{2M}	W_{2M}	T_{2n}	m_2	T_{2M}	W_2	T_{2n}	m_2	T_{2M}	W_{2M}
0	150	0,01	20	0,3	150	0,01	20	0,3	150	0,01	20	0,3
60	129	0,0141	20,2	0,299	128,5	0,0141	20,4	0,299	127,8	0,0141	20,6	0,299
600	126	0,0189	21,6	0,292	125,1	0,0189	23,3	0,291	124,4	0,0189	24,9	0,292
2400	125,6	0,0220	25,0	0,276	124,8	0,0219	29,7	0,276	124,2	0,0219	34,3	0,276
3600	125,6	0,0227	26,4	0,270	124,8	0,0227	32,6	0,269	124,2	0,0227	38,5	0,269
4800	125,6	0,0230	27,6	0,264	124,8	0,0233	34,9	0,264	124,2	0,0233	41,9	0,264
6000	125,6	0,0237	28,6	0,259	124,8	0,0237	36,8	0,259	124,2	0,0237	44,6	0,259
7200	125,6	0,0241	29,4	0,256	124,9	0,0241	38,4	0,255	124,2	0,0241	47,0	0,255

Таблиця 3.6 - Результати моделювання для $k = \text{var}$, $\alpha_{\text{ПМ}} = 10$

t	$k = 0,01$				$k = 0,1$				$k = 0,001$			
	T_{2n}	m_2	T_{2M}	W_{2M}	T_{2n}	m_2	T_{2M}	W_2	T_{2n}	m_2	T_{2M}	W_{2M}
0	150	0,01	20	0,3	150	0,01	20	0,3	150	0,01	20	0,3
60	129	0,014	20,19	0,299	129,1	0,05	20,2	0,291	129,1	0,0104	20,2	0,299
600	125	0,019	21,7	0,291	125,8	0,093	21,6	0,227	125,8	0,0109	21,6	0,299
2400	125,6	0,022	25	0,276	125,6	0,112	24,9	0,132	125,6	0,011	25	0,297
3600	125,6	0,023	26,4	0,27	125,6	0,116	26,4	0,102	125,6	0,011	26,4	0,296
4800	125,6	0,023	27,6	0,264	125,6	0,118	27,6	0,08	125,6	0,011	27,6	0,296
6000	125,6	0,024	28,6	0,259	125,6	0,12	28,6	0,07	125,6	0,011	28,6	0,295
7200	125,6	0,024	29,4	0,255	125,6	0,12	29,4	0,06	125,6	0,011	29,4	0,295
14400	125,5	0,025	32,9	0,24	125,6	0,12	32,9	0,03	125,6	0,011	32,8	0,293

Звернувши систему диференціальних рівнянь (3.2.20) лапласом, ми отримаємо.

$$y_1(p) = \frac{1}{p} \left[\frac{1}{1,004 + 1,84 y_2(p)} \left[\begin{array}{l} E(1,004 y_1(p) + 2500 y_2(p) + \\ + 1,84 y_1(p) y_2(p)) - E h + \\ + 2A \frac{T_{1n} + y_1(p)}{2} - \frac{T_{1m} + y_4(p)}{2} - \\ + 2500 p y_2(p) - 1,84 p y_1(p) y_2(p) \end{array} \right] \right] \quad (3.2.21)$$

$$y_2(p) = -\frac{y_5(p) y_3(p)}{y_6(p)} \quad (3.2.22)$$

$$y_3(p) = \frac{1}{p} (-C y_3(p) + C W_p); \quad (3.2.23)$$

$$y_4(p) = \frac{1}{p} [T_{1n} - T_{1m} + y_1(p) - y_4(p)]; \quad (3.2.24)$$

$$y_5(p) = \frac{L_M}{p} \quad (3.2.25)$$

$$y_6(p) = \frac{L_n}{p} \quad (3.2.26)$$

Додамо рівняння (3.2.25) та (3.2.26) до (3.2.22) і отримаємо.

$$y_1(p) \cdot [1,004 + 1,84 F] = \frac{1}{p} \left[\begin{array}{l} E(1,004 y_1(p) + 2500 F + 1,84 y_1(p) F) - E h + \\ + 2A \left(\frac{T_{1n} + y_1(p)}{2} - \frac{T_{1m} + \frac{D(T_{1n} - T_{1m} + y_1(p))}{p + D}}{2} \right) - \\ + 2500 p F - 1,84 p y_1(p) F \end{array} \right], \quad (3.2.27)$$

$$\text{де } F = -\frac{L_M}{L_n} (C y_3(p) + C W_p) \frac{1}{p}.$$

Вирішення цього рівняння виконується в середовищі ППП Matlab. Першим кроком стало вирішення рівнянь для часу t визначення коефіцієнтів А, В, С, D, Е, другим - значення цих коефіцієнтів було вставлено до рівняння (3.2.27), яке було

врегульовано в межах ± 5 °С до температури повітря та матеріалу, що відповідає часу висихання t .

Наприклад, розрахуємо значення коефіцієнта для моменту часу 60 с і вставимо його (3.2.27):

$$A = 0,8 \cdot 10^{-3}; \quad C = 0,067 \cdot 10^{-3}; \quad D = 0,03 \cdot 10^{-3}; \quad E = 299,52; \quad h_{II} = 176,448.$$

Отримаємо таке рівняння:

$$y_3(p) = \frac{y_1(p) (1,004 p^2 - 300,7 p - 9,8 \cdot 10^{-3}) + 299,52 h_1 (p + 3 \cdot 10^{-6}) y_1(p) - 0,104}{y_1(p) (1,004 p^2 - 300,7 p - 9,8 \cdot 10^{-3}) - 53733 p y_1(p) - 1,62}.$$

Це рівняння прив'язує вхідне значення y_1 – температуру гарячого повітря та вихідну – y_3 – вміст вологи зерна. Схема математичного моделювання наводиться на діаграмі 3.3 а результати моделювання – на діаграмі 3.4.

Рисунок 3.4 показує, що коли температура гарячого повітря зростає, вміст вологи в зерні зменшується, але від 130 °С вона залишається постійною та наближається до нормалізованого значення 4%.

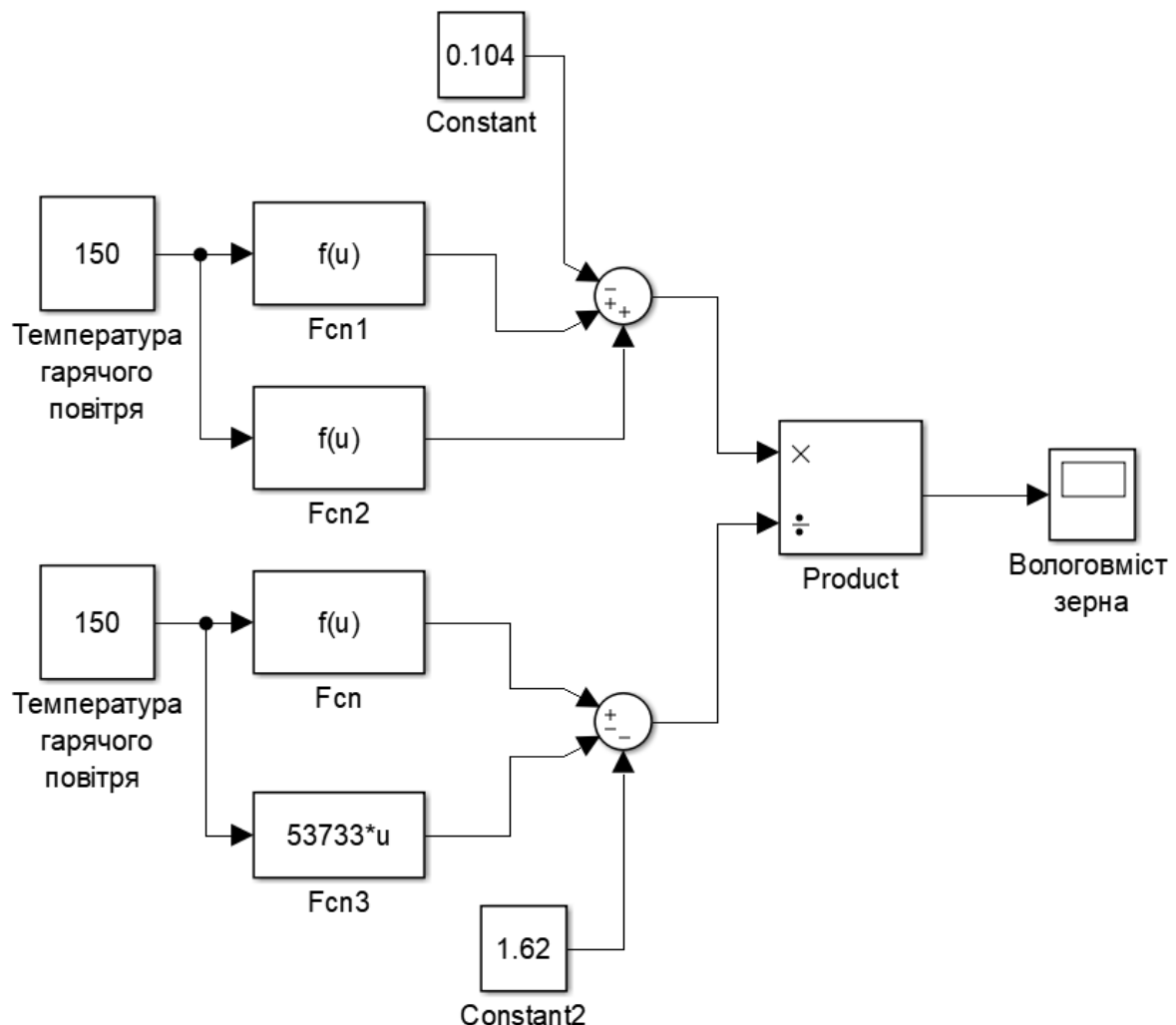


Рисунок 3.4 - Схема моделювання конвективної сушарки

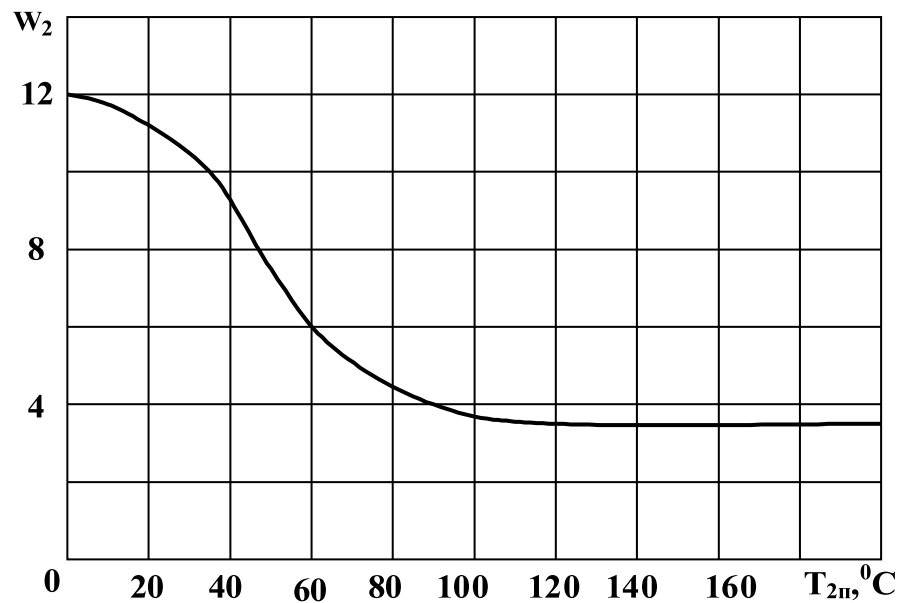


Рис. 3.5 - Графік залежності вологовмісту матеріалу від температури

3.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

Розглянувши різні варіанти автоматизації процесу, пропоную технічні засоби автоматизації, створені з урахуванням сушарки для зерна СЗК-8[8]. Виходячи з технологічних вимог під час процесу сушіння необхідно забезпечити необхідну вологість на випускному отворі сушарки (відповідно, його потрібно контролювати, тому слід передбачити датчик вологості для зерна, взятого, наприклад, для моніторингу в сушильному бункері), але важливо також, що зерно не перегрівається і вимагає температурного контролю в сушильних та нагрівальних камерах. Крім того, для стабілізації температури охолоджувальної рідини, що подається в сушильно-нагрівальні камери, слід передбачити температурні датчики. Оскільки для економії тепла передбачається повторно використовувати осушувач вихлопних газів, але якщо його вологість не надто висока, необхідний датчик вологості теплоносія вихлопних газів. Для останнього необхідно додатково встановити повітряний клапан (з електроприводом), який змінюватиме напрямок сушильного агента: викид або повторне використання. В іншому випадку конструкція приводу не відрізняється від конструкції сушарки.

Але щоб не перегрівати зерно, температурні датчики повинні встановлювати швидкість викиду, тому для двигунів випуску та розряду необхідно передбачити регулювання швидкості за допомогою частотних інверторів.

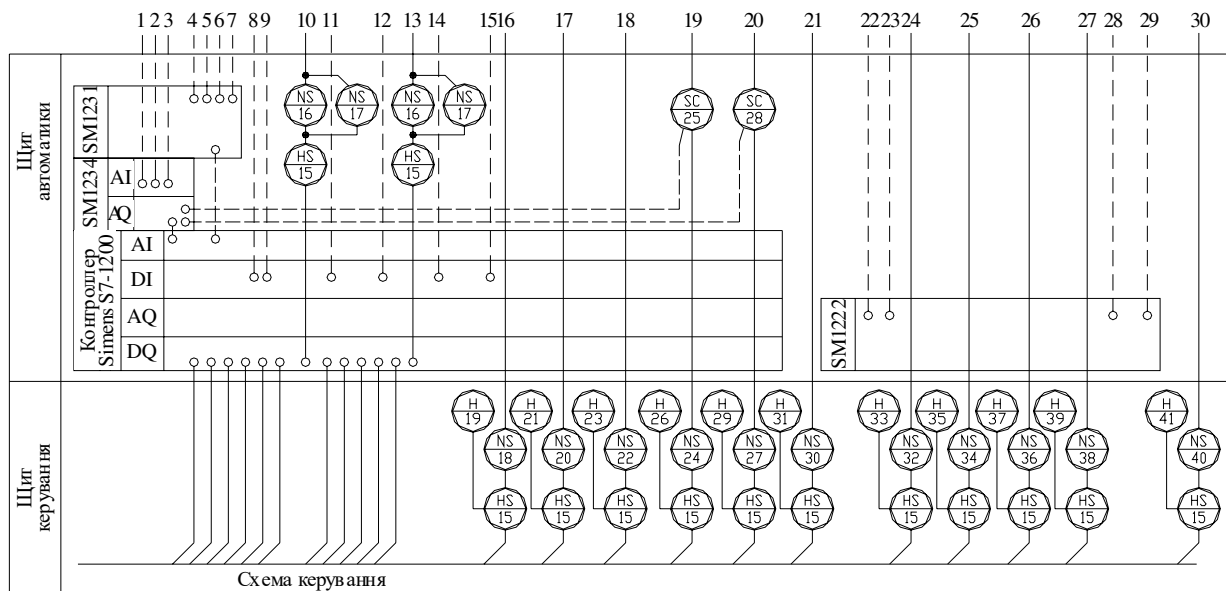


Рисунок 3.6 - Функціональна схема автоматизації

Як елемент управління можна запропонувати контролер, до якого підключена панель оператора (ПО). Використання контролера забезпечує потрібний режим сушіння залежно від типу та типу зерна, оскільки температура нагрівання зерна та температура теплоносія відрізнятимуться. Програмне забезпечення дозволить швидко контролювати процес і може використовуватися для забезпечення оператора типу та типу зернової культури, відповідно до якого повинні забезпечуватись оптимальні режими сушіння. Контролер, який приймає сигнали від датчиків, за вказаною програмою контролює виконавчі пристрої через вихідні сигнали.

Цей склад автоматичного устаткування показано на рис. Можна заздалегідь визначити, що для здійснення автоматичного управління необхідний контролер з сімома аналоговими входами для підключення температурних датчиків і вологості та двох дискретних входів для датчиків рівня, а також двох аналогових виходів для зв'язку з частотними інверторами.

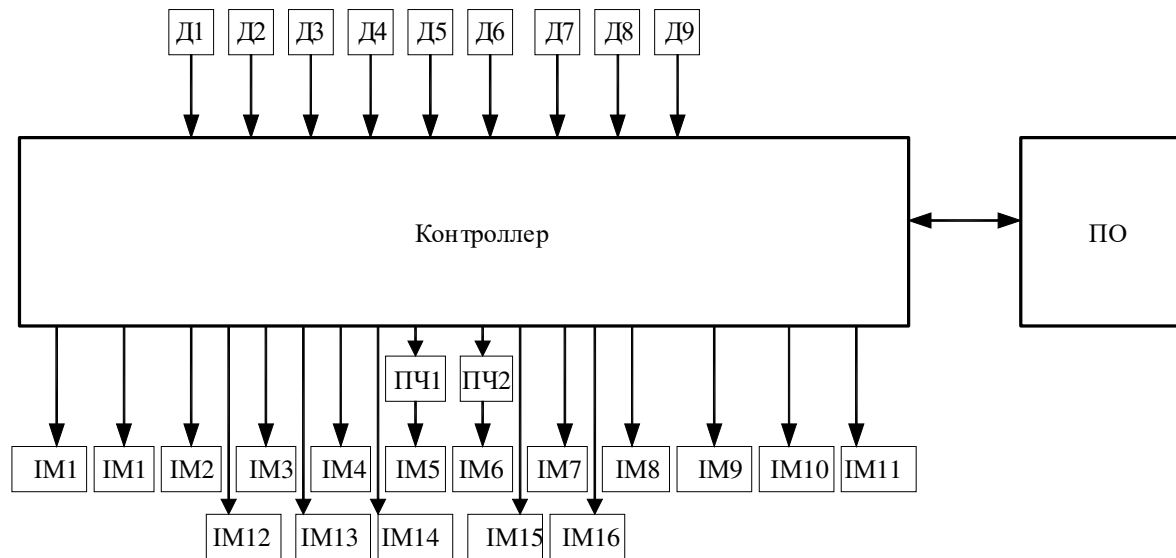


Рисунок 3.7 - Структурна схема автоматизації

На схемі: Д1 - сенсор вологості зерна на вході; Д2 - сенсор вологості зерна на виході; Д3 - сенсор вологості теплоносія; Д4 - сенсор температури зерна в камері нагрівання; Д5 - сенсор температури зерна в камері сушіння; Д6 - сенсор температури теплоносія в камері нагрівання; Д7 - сенсор температури теплоносія в камері сушіння; Д8 - сенсор верхнього рівня зерна; Д9 - сенсор нижнього рівня зерна; ПО – панель оператора; ПЧ1 і ПЧ2 - перетворювачі частоти; IM1 - двигун норії завантаження; IM2 - двигун норії сирого зерна; IM3 - двигун вентилятора сушарки; IM4 - двигун вентилятора рекуперації; IM5 - двигун норії сухого зерна; IM6 - двигун випускних пристроїв; IM7 - двигун вивантажувального шнека; IM8 і IM9 - двигуни топкових вентиляторів; IM10 і IM11 - двигуни топкових насосів; IM12 - виконавчий механізм заслінки; IM13 - виконавчий механізм клапана; IM14 і IM15 - клапани «малий вогонь»; IM16 і IM17 - клапани «великий вогонь».

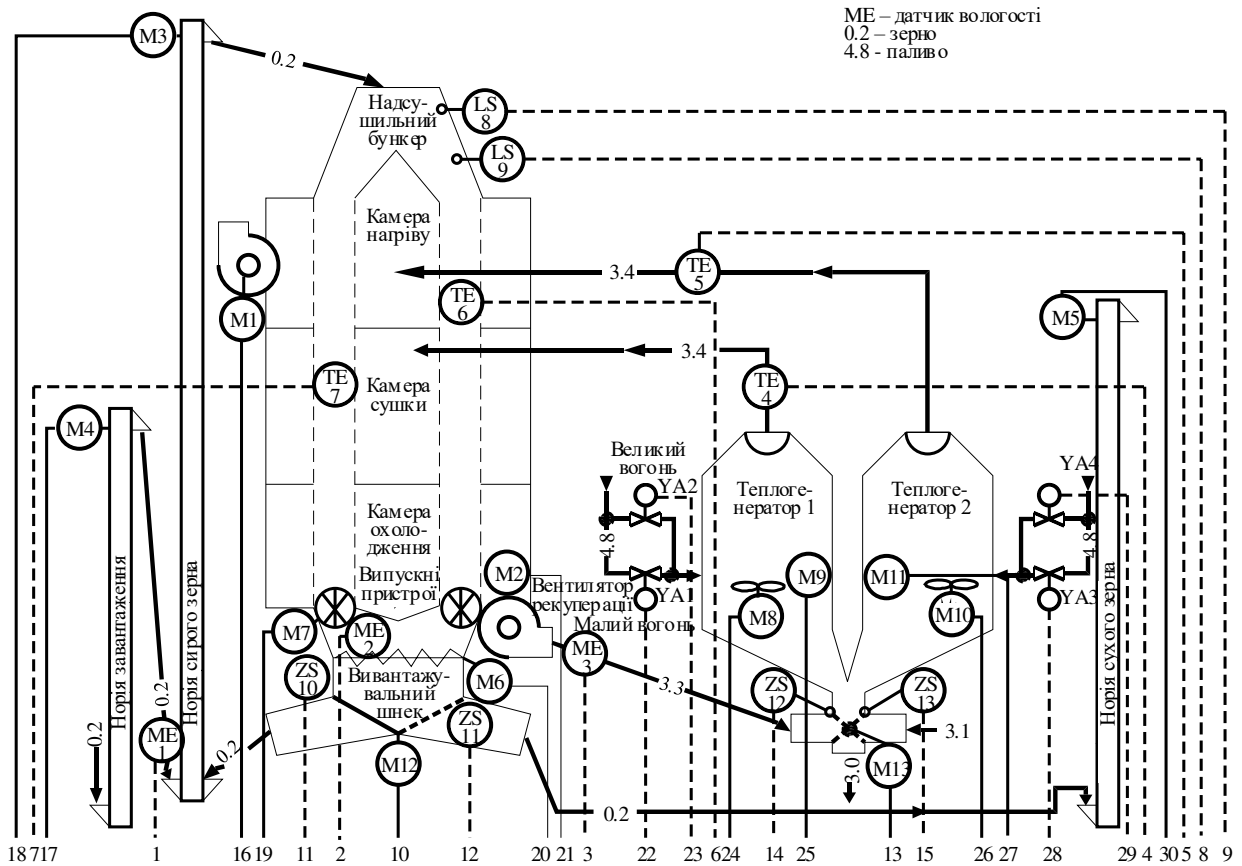


Рисунок 3.8 - Технологічна схема автоматизації

Після первинного очищення зерно потрапляє у поле сирого зерна (за допомогою електродвигуна М03). Для великої кількості зерна, що надходить, застосовується додатковий завантажувальний отвір (М4) з наповнюючим отвором. Зерно подається до приймального бункера сушильного пристрою і розподіляється по двох колонах. Для управління верхнім та нижнім рівнями сушильного бункера використовуються датчики рівня LS. У нижній зоні колон навантажувальна одиниця (М7) доставляє зерно в нижній бункер, з якого шнек (М6) зливає його в залежності від вологості (МЕ2) через розвантажувальний клапан (М12) для розвантаження через норку сухого зерна (при вологості менше 14%) або для повторного сушіння (при вологості понад 14%).

Під час початкового періоду висихання зерно повторно висушується через перекидальний клапан (М12). Коли режим сушіння стабілізується до вологості, клапан встановлюється, щоб розрядити зерна з сушарки.

Теплоносій із теплогенератора 2 входить у опалювальну камеру. Після проходження через шар зерна теплоносій випромінює тепло, насичений вологою і випускається зовні вентилятором (M1).

У сушильній камері зерно має меншу вологість, ніж в нагрівальній зоні, і піддається більш високій температурі теплоносія, який проникає в зерно, насичений вологою меншою мірою.

Вентилятор рекуперації (M2) живить потік повітря з сушильних і холодильних камер до розподільника (M13), який, залежно від вологості теплоносія, що відходить (ME3), встановлює дистриб'ютора на викид теплоносія або на його багаторазове використання.

У теплових генераторах нагрівання повітря здійснюється у теплообміннику. Спалювання пального відбувається у камері згоряння. Вихлопні гази не поєднуються з середовищем передачі тепла і вивантажуються зовні. Термометри опору TE4 та TE5 застосовуються для регулювання температури охолоджуючої рідини.

Контролер повинен варіювати продуктивність сушарки залежно від початкової та остаточної вологості зерна. Температура та потік рідини, що охолоджує, автоматично контролюються індивідуально кожного елемента, залежно від температури нагрівання зерна (TE6 і TE7). При вологості менше 22% сирого зерна, вимірної вологістю ME1, механізм M13 перемикає потік охолоджуючої рідини для відновлення. У разі температурного відхилення (TE6 та TE7) або вологості зерна на виході (ME2) регулятор видає команду вихлопним пристроям (M6 та M7) збільшувати або зменшувати швидкість переміщення зерна на стовпцях. (інвертор SC-частоти) частотний інвертор та/або зміна режиму роботи відповідного теплогенератора (перехід від "великих" (клапани YA2 та YA4) до "малої лампи" (клапани YA1 та YA3) і навпаки).

3.4 Вибір засобів автоматизації

Вибір контролера. Як пристрій управління раціонально використовувати контролер, який вибирають, в першу чергу, за функціональними можливостями, кількістю входів і виходів, родом входних і вихідних сигналів (аналогові та

цифрові), напругою живлення та Звичайно, вартість.

Контролер реалізує функції управління, регулювання та контролю. У цьому випадку (приклад САУ сушаркою) для контролера використовується 20 цифрових виходів, два аналогових виходи, 7 цифрових входів і 7 аналогових входів. Реалізувати цю конфігурацію, використовуючи найпростіший у програмуванні контролер α (Mitsubishi), не можна через обмежену кількість входів та виходів. Тому слід зупинитись на лінійці контролерів Siemens, які одними з перших з'явилися на ринку контролерів. Сучасною недорогою серією контролерів Siemens є S7-1200. Ця серія включає процесорні модулі, яких для розширення входів і виходів можуть бути підключені сигнальні модулі. Як процесорний модуль виберемо S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC з напругою живлення 24 В, 10 дискретними виходами, 15 входами (13 цифровими і 2 аналоговими). Оскільки аналогових входів недостатньо, а також не вистачає виходів, необхідно підібрати сигнальні модулі: SM 1231 – для підключення датчиків температури (4 канали), SM 1222 - для розширення дискретних виходів, SM 1234 – для підключення датчиків вологості (3 канали) та зв'язку з перетворювачами частоти. Схема підключення обраного процесорного модуля S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC.

Кола підключення контролера на фрагменті принципової схеми при його використанні як пристрій управління процесом сушіння зернових показані на рисунку 3.7. Т.я. прийнято напругу живлення контролера постійного струму величиною 24, то передбачений блок живлення GV1, який перетворює величину напруги 220 В зі схеми управління. Потужність блоку живлення має бути достатньою з урахуванням живлення процесорного та сигнальних модулів.

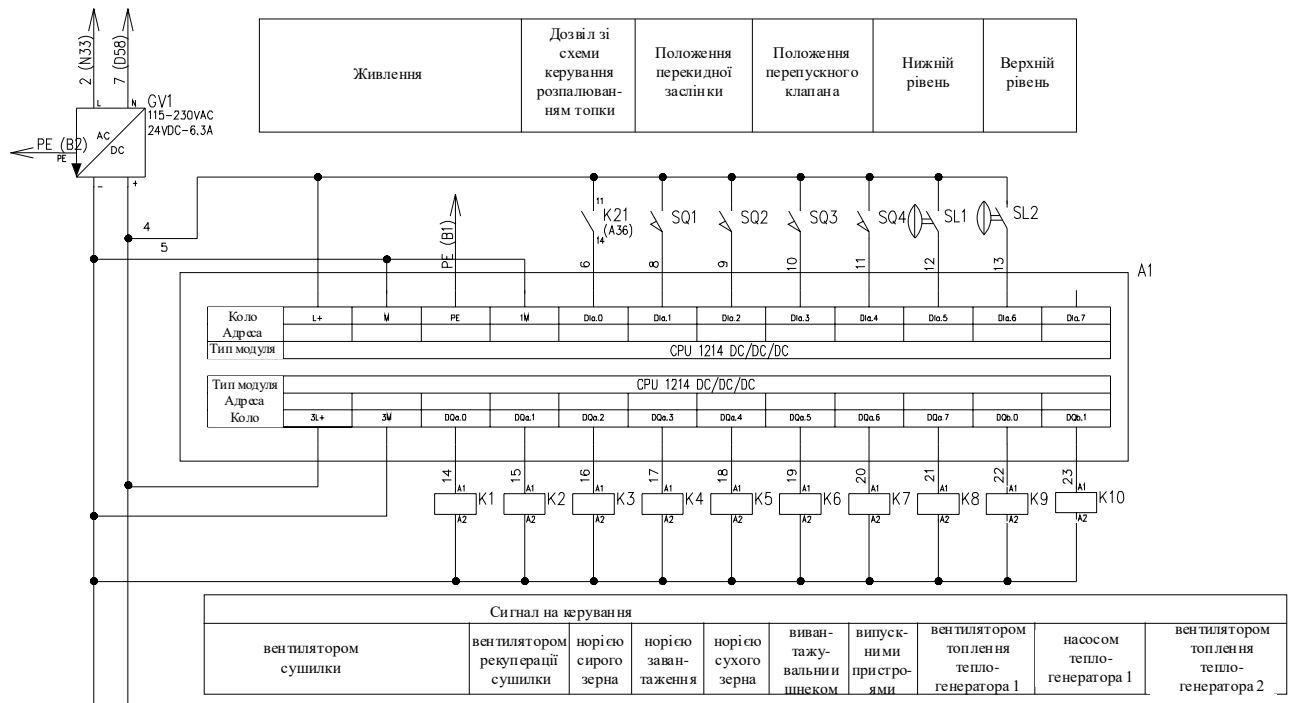


Рисунок 3.9 - Схема підключення процесорного модуля CPU 1214 DC/DC/DC

На входи DIa.0 ...DIa.6 контролера A1 підключені датчики SQ1...SQ4, SL1, SL2 і надходить сигнал дозволу на керування сушаркою від блоку топки через контакт реле K21. Датчики подають сигнал про стан параметрів процесу. Відповідно до програми управління контролер подає сигнали на виходи DQa.0 ... DQa.7, DQb.0, DQb.1. При цьому дані сигнали через контакти проміжних реле K1...K10 будуть передані магнітним пускачам, що управляють приводами сушарки. Підключення сигнальних модулів показано на рисунках 18–20.

Вибір датчиків. Датчики вибирають в першу чергу за родом контролюваного параметра та умовами роботи. Як датчик рівня можна використовувати мембранні датчики рівня (СУМ-1, СУМ-1-01, СУ-1 Ф). Номенклатура таких датчиків, що випускаються сучасною промисловістю, є достатньою для вибору типу. Далі датчики вибирають за точністю та динамічними властивостями. Зупинимося на датчику рівня СУМ-1. Він досить чутливий і спрацьовує при зусиллі, прикладеному до мембрани, що становить всього 0,5 Н (що еквівалентно силі, яку надає тіло вагою 50 г), а також досить надійний (ймовірність бездоганної роботи протягом 2000 год. продуктивності щонайменше 0,94.) .

Для контролю температури вибираємо датчик із уніфікованим сигналом ТСМУ-205-0...+100°C, L=160 мм. Температурний діапазон та характеристики датчика відповідають заданим вимогам.

Датчик вологості необхідний із уніфікованим сигналом. Вибираємо вологомір потоковий ПВЗ-20 Д. Діапазон вимірювань – 0...100 %, є аналоговий вихід 0...10 В, живлення 24 В. Датчик має малу інерційність (60 с) та високу точність (похибка вимірювання $\pm 0,5$ %). Вибір апаратури управління та захисту робимо за аналогією з прикладом.

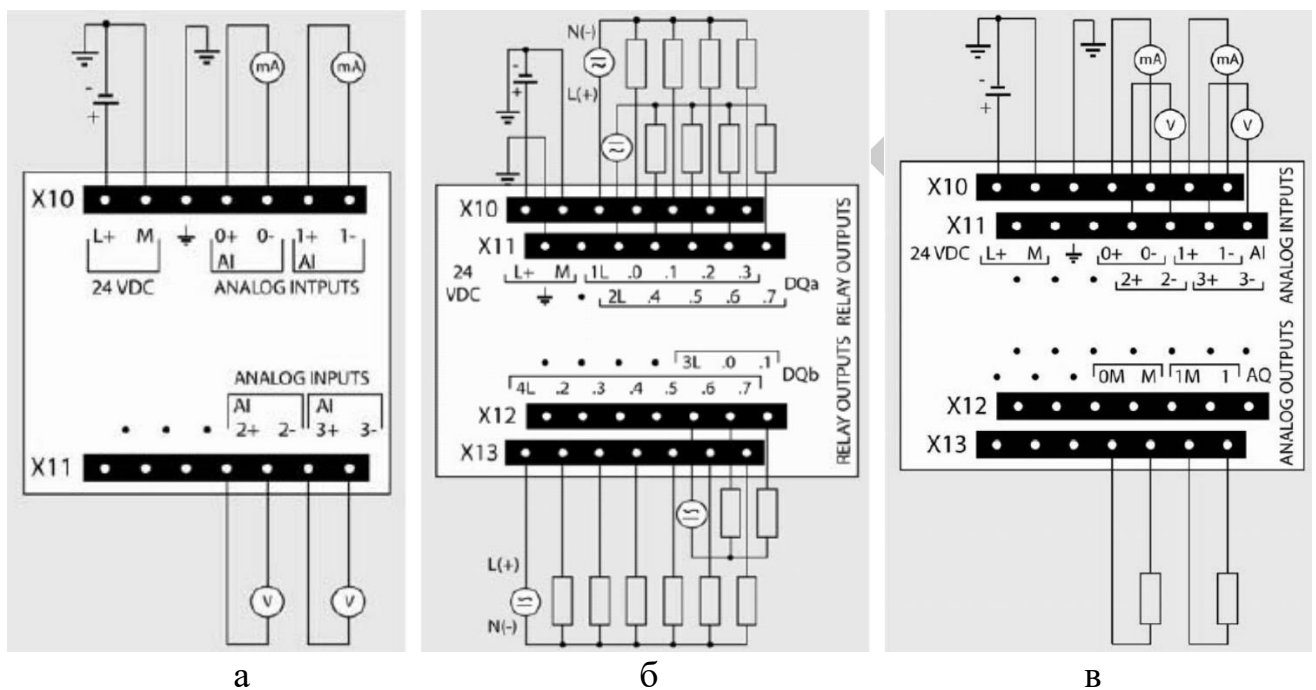


Рисунок 3.10 – Схеми зовнішніх підключень до сигнальних модулів: а - SM 1231 (4 аналогових входу); б - SM 1222 6ES7 222 - 1NH32-0XB0 (16 дискретних виходів типу реле); в – SM1234 (4 аналогових входи та 2 аналогових виходи)

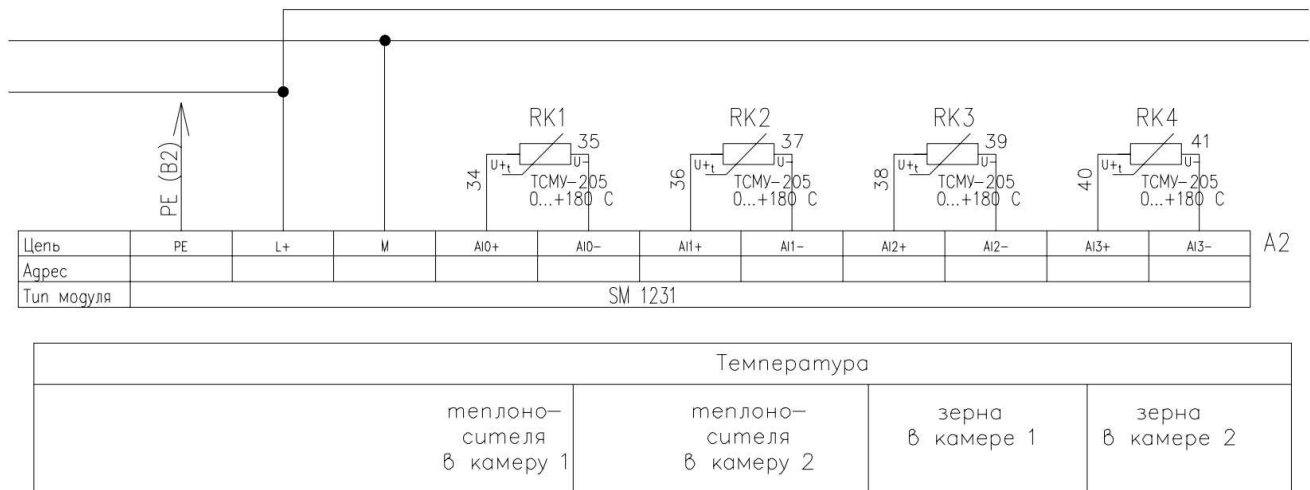


Рисунок 3.11 – Схема підключення датчиків температури до сигнального модуля SM 1231

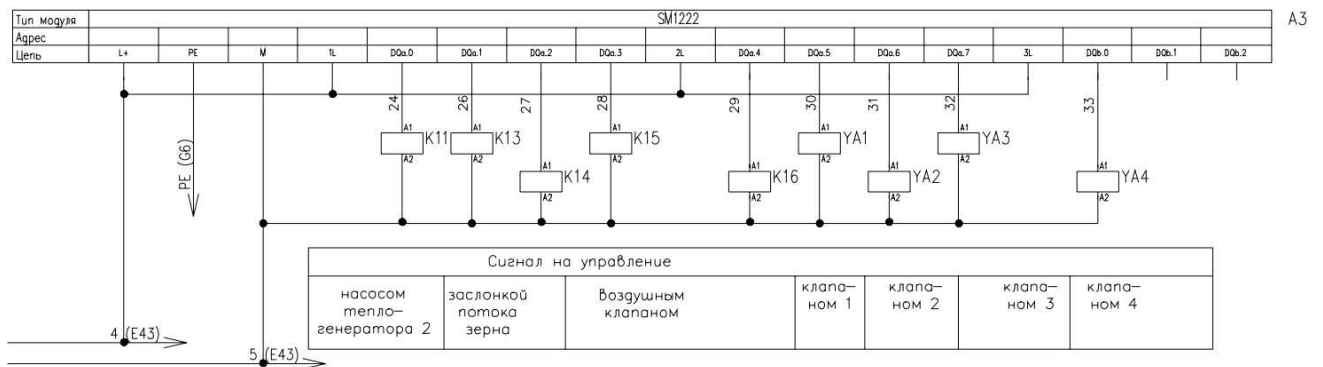


Рисунок 3.12 – Схема підключення сигнального модуля SM 1222

Для візуалізації процесу сушіння зернових використовуватимемо **панель оператора**, що підключається до контролера Siemens S7-1200. Виберемо панель SIMATIC KTR600 Basic color DP (має 5,7” кольоровий сенсорний TFT-дисплей, шість функціональних клавiш, інтерфейс RS 422/RS 485).

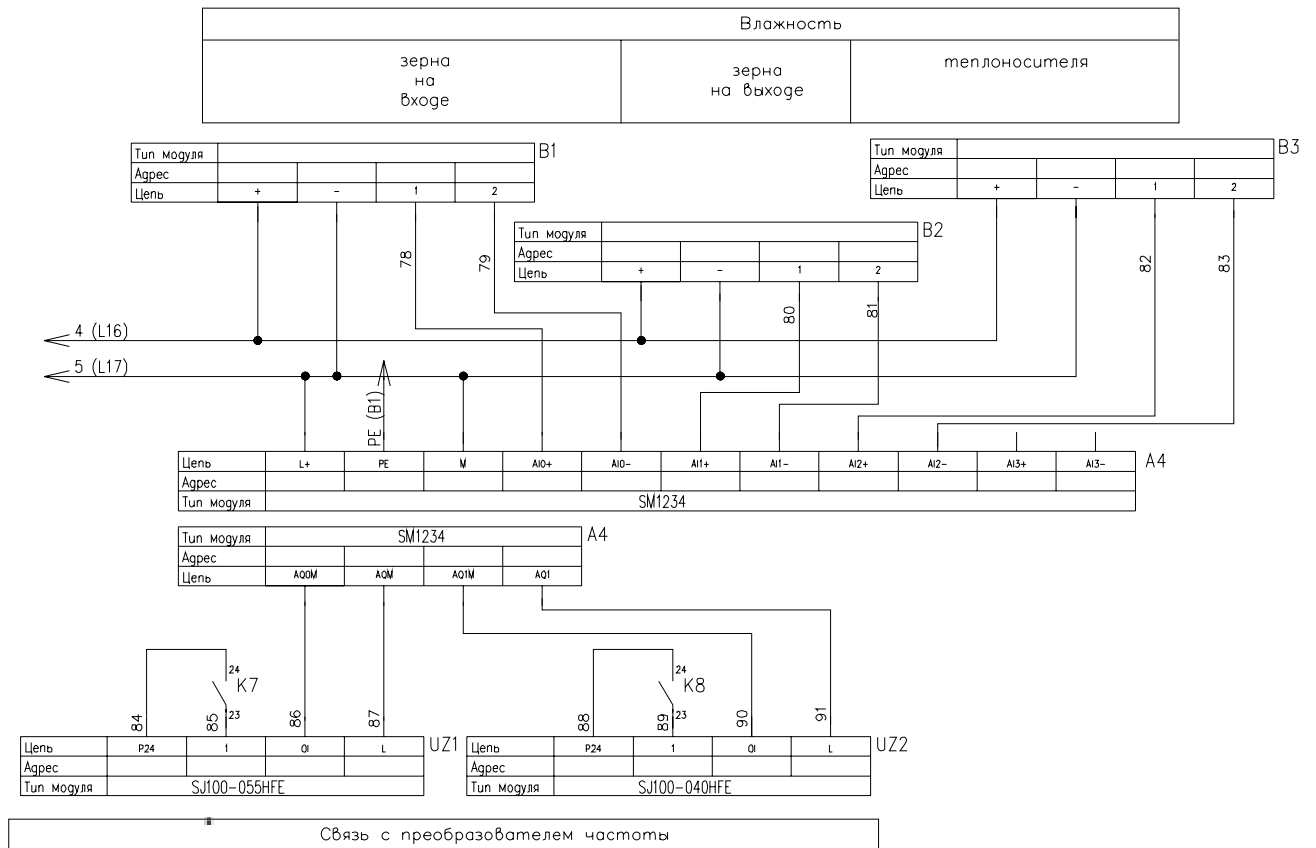


Рисунок 3.13 – Схема подключения сигнального модуля SM 1234

Програмування панелі здійснюється за допомогою TIA portal. Потрібно передбачити кілька робочих екранів панелі оператора. На першому екрані відстежуватимемо роботу механізмів сушарки в цілому, тому на зображення всього пристрою накладаємо сигнальні лампи з прив'язкою до відповідних параметрів програми, що реалізується в контролері. На другий екран панелі оператора винесемо важливі контролю параметри: температуру в чотирьох точках і вологість в трьох. Перехід на дані екрани організується через завантажувальний екран, а перемикання між ними здійснюється за допомогою відповідних кнопок у лівому верхньому кутку.

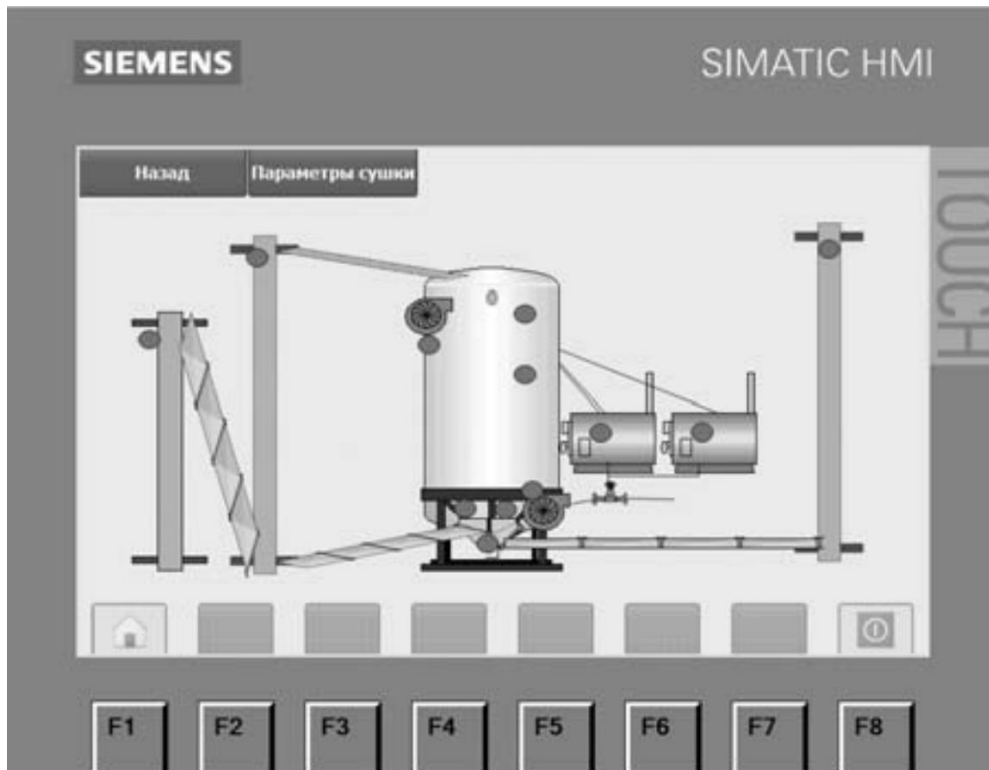


Рисунок 3.14 – Первый экран панели оператора

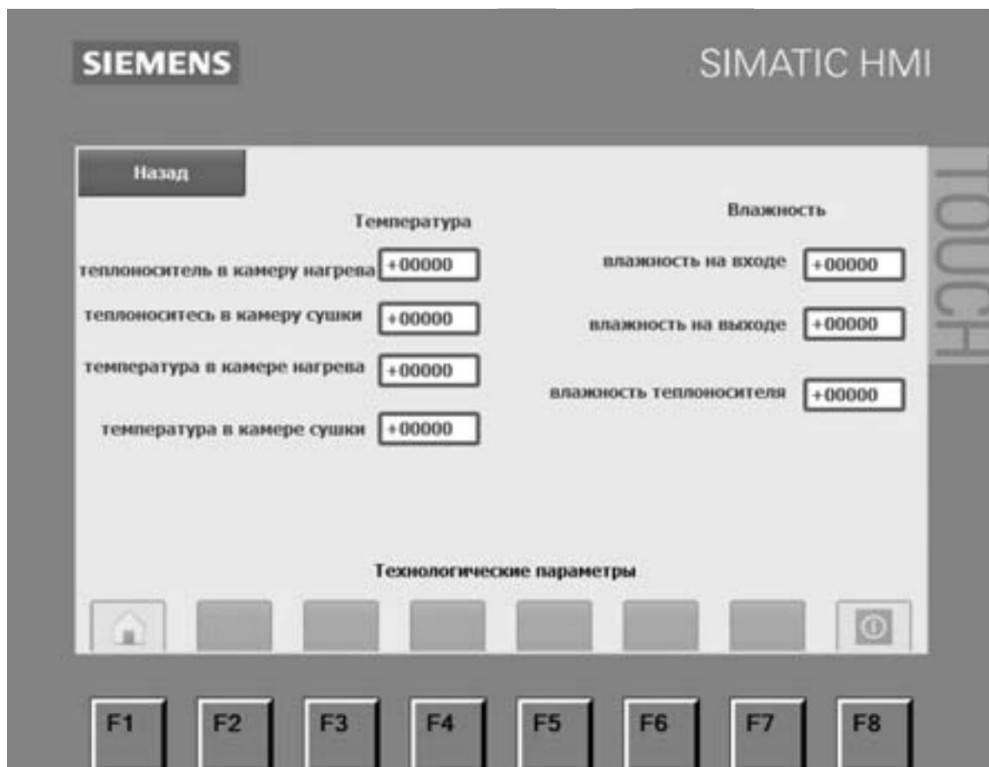


Рисунок 3.15 – Другой экран панели оператора

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення величини витрат запропонованого варіанту

Для реалізації технічного рішення з модернізації електроприводу системи управління технологічним процесом сушіння зерна виробник залучає власні кошти. Він несе витрати на розробку, впровадження та експлуатацію нової розробки.

Капітальні вкладення – це всі витрати, пов'язані з реалізацією проекту. До них відносять витрати на розробку проекту заміни технологій, придбання обладнання, доставку на підприємство, монтаж і налагодження.

Витрати на доставку визначаються, виходячи з маси вантажу, відстані і тарифу залізничних перевезень 1 т вантажу на відстань 1 км. Витрати на монтаж обладнання визначають розрахунковим методом, виходячи з нормативів вартості монтажних робіт. Аналогічно визначають витрати на налагоджувальні роботи. Для загальних розрахунків ці види витрат приймають рівними 10 % від вартості обладнання.

Витрати на будівельні роботи (влаштування фундаментів та ін.) визначають розрахунковим методом, виходячи з нормативів затрат на будівельні роботи, у відсотках від вартості електричного обладнання. Для загальних розрахунків вказаний норматив приймаємо рівним 10 % вартості обладнання.

Одноразові витрати на поповнення оборотних фондів у зв'язку з впровадженням нової техніки становлять витрати на придбання необхідної кількості запасів основних матеріалів, комплектуючих виробів, запасних частин та ін. Необхідний рівень запасів матеріалів визначають з використанням системи технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання (ТОР ЕО).

До інших капітальних вкладень відносяться витрати на технічні заходи з охорони навколишнього середовища, покращення умов праці персоналу, навчання персоналу та ін. До них включається також залишкова вартість не повністю зношеного обладнання, що ліквідується.

В якості нового варіанту системи електропривода розглядається технічно та спрощено економічно обґрунтована система електроприводу типу ПЧ-АДКЗ. В якості базового варіанту системи електропривода досліджуваного процесу сушки приймається РКС-АД, яка розглядається як така, що підлягає модернізації.

В таблиці 4.1 приведено розрахунок капітальних вкладень на модернізацію електропривода степенів рухомості промислового робота.

Таблиця 4.1 – Капітальні витрати на електроустаткування базового та нового варіантів

Найменування електрообладнання	Кошторисна вартість варіанту	
	Базова (РКС-АД з ФР)	Нова (ПЧ-АД)
Вартість двигуна 5 кВт	існуючий	9360
Вартість системи керування	13340	14883
Кабелі, апарати захисту, сенсори та інше обладнання	1200	1200
Вимірювальні прилади, показчики, реєстратори захищеного виконання	3400	1300
Спеціалізований інструментарій	2750	1750
Бортова інформаційно-обчислювальна система: - НМІ (human-machine interface); - периферійне обладнання.	—	8150
Разом капіталовкладення:	20690	27283
Транспортні витрати 13%	2689,7	3546,8
Всього ціна обладнання	23379,7	30830
Монтажні роботи 10%	2338	3083
Капітальні витрати	25718	33913

Отже, $K_6 = 25718$ грн.; $K_H = 33913$ грн.

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік .

Експлуатаційні витрати включають такі складові:

1. Амортизаційні відрахування E_a .
2. Заробітна плата $E_{зп}$ обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату).
3. Витрати на силову електроенергію E_e .
4. Витрати на поточний ремонт $E_{пр}$.
5. Інші витрати $E_{ін}$.

Вираз, який включає в себе усі вище перераховані складові експлуатаційних витрат, має вигляд:

$$З = E_a + E_{зп} + E_e + E_{пр} + E_{ін}. \quad (4.1)$$

4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування для базового та нового варіантів становлять (норма амортизації становить 10 % в рік):

$$E_{аб} = 25718 \text{ грн.} \cdot 0,10 = 2571 \text{ грн.};$$

$$E_{ан} = 33913 \text{ грн.} \cdot 0,10 = 3391 \text{ грн.}$$

4.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску не нижча третьої групи по електробезпеці.

Таблиця 4.1 – Тарифна сітка погодинників

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$E_z = E_{z0} + E_{zd}, \quad (4.2)$$

де E_{z0} – основна заробітна плата по тарифу;

E_{zd} – додаткова заробітна плата;

$$E_{z0} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_c \cdot \beta, \quad (4.3)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують систему керування промислового робота ($N = 1$ чол.);

T_1 – погодинна тарифна ставка робітника 1-го розряду (22 грн./год);

K – тарифний коефіцієнт ($K_6 = 1,8$, $K_n = 2,03$);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд робочого часу за рік (приймаємо рівним 220 год.);

K_c – коефіцієнт співвідношень, встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta = 1$ для базового варіанту, $\beta = 0,6$ для нового варіанту).

Розрахуємо E_{z0} для базового та нового варіантів.

$$E_{z0_6} = 1 \cdot 22 \cdot 1,8 \cdot 220 \cdot 1 \cdot 1 = 8712 \text{ (грн.)},$$

$$E_{z0_n} = 1 \cdot 22 \cdot 2,03 \cdot 220 \cdot 1 \cdot 0,7 = 6878 \text{ (грн.)}.$$

Додаткова заробітна плата E_{zd} (за професійну та майстерну діяльність) становить 10 % основної заробітної плати. E_{zd} для базового та нового варіантів відповідно становить:

$$E_{zd_6} = 8712 \cdot 0,10 = 871 \text{ (грн.)},$$

$$E_{zd_n} = 6878 \cdot 0,10 = 688 \text{ (грн.)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату для базового та нового варіантів зведемо в таблицю 4.2.

Таким чином в результаті виконання підстановки у вираз (4.2) маємо:

$$E_{z_6} = 8712 + 871 = 9583 \text{ (грн.)},$$

$$E_{z_n} = 6878 + 688 = 7566 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Базовий варіант	Новий варіант
Основна заробітна плата, $E_{зо}$, грн.	8712	6878
Додаткова заробітна плата, $E_{зд}$, грн.	871	688
ВСЬОГО з нарахуванням, грн.	9583	7566

4.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_e = \frac{P}{\eta} \cdot B \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_{\text{вм}} \cdot K_3, \quad (4.4)$$

де B – вартість електроенергії. Ціна на універсальні послуги для не побутових споживачів, електроустановки яких приєднані до електричних мереж згідно з II класом напруги з ПДВ складає приблизно 6,1 грн/кВт·год. (4,59 грн. - вартість закупівлі 1 кВт год, 1,51 грн. – вартість розподілу 1 кВт год. електроенергії).

P – встановлена потужність приводного двигуна (5 кВт);

η – ККД установки;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Коефіцієнт корисної дії обчислено як добуток ККД двигуна і силового перетворювача. Для базового варіанту ККД складає 0,84, для нового варіанту ККД приймаємо рівним 0,96. Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0,8 в обох варіантах, а коефіцієнт завантаження для базового варіанту рівний 0,74, а для нового – 0,8.

Ефективний фонд робочого часу для двох варіантів при режимі роботи в 1 зміну протягом 95 % часу за рік становить:

$$\Phi_{\text{сф}} = 250 \text{ днів} \cdot 8 \text{ год.} \cdot 0,95 = 1900 \text{ (год.)}$$

Отже, з виразу (4.4) для базового та нового варіантів маємо:

$$E_{\text{ЕБ}} = \frac{5}{0,84} \cdot 6,1 \cdot 1900 \cdot 0,8 \cdot 0,74 = 40841 \text{ (грн / рік),}$$

$$E_{\text{ЕН}} = \frac{5}{0,96} \cdot 6,1 \cdot 1900 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 35736 \text{ (грн / рік),}$$

4.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів, у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Графік планово-попереджувальних ремонтів для базового та нового варіантів наведено в таблицях 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3 – Графік ремонтів для базового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудо-місткість, люд-год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування РКС	7			6			7			6		7	33
АД		5			5			5			6		21
Кабельна мережа	4					4				4		6	18
Апарати ком-ії та захисту		10				10				11			31

Продовження таблиці 4.3

Сенсори		4				4				4			12
Загальна трудомісткість													115

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електромонтер п'ятого розряду для базового варіанту та шостого – для нового (система на базі новітнього обладнання потребує вищої кваліфікації працівника). Із врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт, (4.3) прийме вигляд:

$$E_{zo} = T_1 \cdot K \cdot \Phi_{ef}, \quad (4.5)$$

Таблиця 4.4 – Графік для нового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд-год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування ПЧ	5			5			6			5		6	27
СДПМ		4			5			4				6	19
Кабельна мережа	4					4						6	14
Апарати ком-ії та захисту		8				10				10			28
Сенсори		4				4				4			12
Загальна трудомісткість													100

З попередніх розрахунків відомо, що $T_1 = 22$ грн./год, отже, маємо:

$$E_{zo\ б} = 22 \cdot 2,7 \cdot 115 = 6831 \text{ (грн.)},$$

$$E_{zo\ н} = 22 \cdot 2,33 \cdot 100 = 5126 \text{ (грн.)}.$$

Нарахування на заробітну плату (38 %):

$$E_{зн\ б} = 6831 \cdot 0,38 = 2596 \text{ (грн.)},$$

$$E_{зн\ н} = 5126 \cdot 0,38 = 1948 \text{ (грн.)}.$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять:

- для базового варіанту: $6831 + 2596 = 9427$ (грн.),
- для нового варіанту: $5126 + 1948 = 7074$ (грн.).

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймаємо рівними 15 % витрат на основну заробітну плату. Тобто, витрати на матеріали для ремонтів становлять:

- для базового варіанту: $9427 \cdot 0,15 = 1414$ (грн.);
- для нового варіанту: $7074 \cdot 0,15 = 1061$ (грн.).

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять:

$$E_{\text{пр } \delta} = 9427 + 1414 = 10842 \text{ (грн.)},$$

$$E_{\text{пр } \text{н}} = 7074 + 1061 = 8135 \text{ (грн.)}.$$

4.2.5 Інші витрати

Розмір інших витрат приймаємо рівним 5% від загальної суми попередніх витрат. Тобто:

$$E_{\text{ін } \delta} = (2571 + 9583 + 40841 + 10842) \cdot 0,05 = 67028,85 \text{ (грн.)},$$

$$E_{\text{ін } \text{н}} = (3391 + 7566 + 35736 + 8135) \cdot 0,05 = 57569,4 \text{ (грн.)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат за (4.1) наведемо у вигляді таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Експлуатаційні витрати

Найменування витрат	Базовий варіант	Новий варіант
Амортизаційні відрахування E_a , грн.	2571	3391
Заробітна плата $E_{\text{зп}}$ обслуговуючого персоналу, грн.	9583	7566
Витрати на електроенергію E_e , грн.	40841	35736
Витрати на поточний ремонт $E_{\text{пр}}$, грн.	10842	8135
Інші витрати $E_{\text{ін}}$, грн.	3191,85	2741,4
Всього експлуатаційні витрати Z , грн.	67028,85	57569,4

Оскільки ми розраховуємо ефективність нової системи після модернізації, то необхідно порівняти експлуатаційні витрати, використовуючи відносні показники.

Для порівняння експлуатаційних витрат розрахуємо показник відносної економії (зменшення) витрат:

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{Z_{\text{б}} - Z_{\text{н}}}{Z_{\text{б}}} \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{67028,85 - 57569,4}{67028,85} \cdot 100\% = 14,11\%.$$

З результатів наведених розрахунків робимо висновок, що модернізація системи електропривода процесу сушіння зерна є економічно доцільною. При цьому досягається економія річних експлуатаційних витрат у розмірі 14,11 %.

4.3 Визначення терміну окупності проекту

При оцінці ефективності використання нового варіанта визначаються і порівнюються також термін окупності додаткових капітальних затрат, рік:

$$T_{\text{ок}} = (K_{\text{н}} - K_{\text{б}}) / (Z_{\text{еб}} - Z_{\text{ен}}), \quad (4.7)$$

$$T_{\text{ок}} = (33913 - 25718) / (67028,85 - 57569,4) = 0,87 \text{ (року)}.$$

Отже, отримане значення терміну окупності свідчить про цілком виправдану економічну доцільність модернізації системи електропривода процесу сушіння зерна, підвищенню ефективності якого присвячені дослідження в даній роботі.

Висновки: Вдосконалення системи електропривода процесу сушіння зерна за рахунок переобладнання та модернізації системи електропривода є економічно доцільним та виправданим. При цьому досягається економія річних експлуатаційних витрат у розмірі 14,11 %. Це підтверджує правильність виконаних досліджень та економічну доцільність впровадження даного технічного рішення.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У магістерській дипломній роботі розробляється адаптована автоматизована система сушіння зерна. На будівельно-монтажний персонал, що здійснює монтаж системи опалення житлової будівлі, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [15, 16].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, переважно аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається та переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Конструкція робочого місця інженера-конструктора повинна відповідати сучасним вимогам ергономіки та Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [15], характеру виконуваної роботи та забезпечити оптимальне розміщення на робочій поверхні документів, рухомого пюпітра (тримача документів) та обладнання ПК (монітора, системного блоку, клавіатури, пристрою «миша», принтера та інших периферійних пристроїв з урахуванням їх кількості та конструктивних особливостей).

Площа одного робочого місця інженера обладнаного ПК, повинна складати не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м³.

Живлення силового обладнання дослідної лабораторії та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – без підвищеної небезпеки.

Розташування монітора ПК має забезпечувати: безпечність роботи в цілому; зручність та ефективність зорової роботи з екраном в вертикальній площині під кутом $\pm 30^{\circ}$ від лінії зору, площа екрана при цьому має бути перпендикулярною нормальній лінії зору користувача.

При технічних випробуваннях адаптованої автоматизованої системи сушіння зерна потрібно дотримуватися наступних правил безпеки:

- інженер повинен візуально обстежити обладнання пристрою для вимірювання та контролю температури на мікроконтролері у відповідності з інструкцією з технічної експлуатації та переконатися у його повній справності;

- забороняється експлуатація обладнання з несправною системою керування та звуко/світловою сигналізацією;

- забороняється керування вологими та забрудненими руками;

- всі роботи з наладки та експлуатації здійснюються справним і сертифікованим інструментом.

Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПВЕ. У приміщенні, де одночасно експлуатується або

обслуговується більше п'яти персональних комп'ютерів, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Комп'ютери та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог ПВЕ та Правил пожежної безпеки в Україні. Електромережу штепсельних розеток для живлення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 комп'ютерів, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Є неприпустимими:

– експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;

– застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;

– застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

– користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.

– підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

– використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

5.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [17, 18]:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

5.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1. Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря та відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань.

Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає

пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності. Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Крім того, між людиною та навколишнім середовищем відбуваються процес безперервного теплового обміну, при цьому слід враховувати, що незалежно від температури навколишнього середовища температура людини залишається постійною – 36,5-37 С. вологість в свою чергу значно впливає на терморегуляцію організму людини.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони [19]. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Іб	22-28	55 при 28°С	0,1-0,2
Холодний	Іб	21-25	75 при 25°С	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці інженера передбачається [20]:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

5.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в

мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази [21], їх ГДК наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [21]:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

5.2.3. Виробниче освітлення

Природне освітлення. Природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e_n). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна.

Штучне освітлення. Штучне освітлення використовується двох систем:

загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [22] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим

необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4. Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [23] (таблиця 5.4).

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.5 Фактори трудового процесу

Фактори трудового процесу визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [24]. Робота електротехнічного персоналу потребує значних фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кГ/м) – до 290; зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кГ/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 13000; при загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 44000; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кГ – до 30 кГ; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 40000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 20000; статичне навантаження (кГ/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю м'язів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок)

та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» – до 60% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51-100 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 8, вертикалі – 4 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи - рішення складних завдань з вибором за алгоритмом; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності

Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) - більше 75; щільність сигналів (звукові за 1 год) - більше 300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в умовах надзвичайних ситуаціях

Забезпечення стійкої роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в умовах надзвичайних ситуацій є одним із головних завдань в процесі проектування. Серед всіх чинників надзвичайних ситуацій, що можуть виникнути і вивести з ладу адаптивну автоматизовану систему сушіння зерна можна виділити дві найзагрозливі: вплив електромагнітного імпульсу та іонізуючих випромінювань. Дія іонізуючого випромінювання на обладнання залежить від

виду випромінювання, дози опромінювання та умов оточуючого середовища. Опромінення системи керування призводить до зміни струму та коефіцієнтів підсилення, також вплине на конденсатори: в них понизяться напруга пробою і опір витoku, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність а також тангенс кута витрат.

В результаті дії ЕМІ імпульс струму чи напруги проникає в систему і спричиняє пошкодження, ступінь яких залежить від чутливості складових системи вузлів. Серйозні пошкодження викликає ЕМІ в роботі мікропроцесорних систем та програмно-апаратних комплексів.

Дія електромагнітного імпульсу може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобігати впливу цього фактору на електричне та електронне обладнання адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна. Проведемо дослідження стійкості роботи системи до дії цих двох факторів [25].

5.3.1 Дослідження стійкості роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкої роботи системи, що розробляється, приймається допустима доза $D_{\text{доп}}(P)$, при яких система керування автоматизованої системи сушіння зерна буде нормально працювати. Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{\text{гр}}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отриманні данні заносимо в таблицю 5.5.

По мінімальному значенню допустимої дози, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, визначаємо границю стійкості роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в цілому. Проаналізувавши дані таблиці 5, робимо висновок, що самим уразливим елементом системи керування з мінімальною дозою $D_{\text{гр}}=10^4 \text{ P}$ є транзистори та транзисторні збірки.

Визначаємо можливу дозу опромінення D_m за формулою :

$$D_M = \frac{2 \cdot P_{1\max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{\Pi}})}{k_{\text{осл}}}, \quad (5.1)$$

де $P_{1\max}$ – максимальне значення рівня радіації ($P_{1\max} = 6,17 \text{ Р/год}$);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 35040 \text{ год}$);

t_{Π} – час початку опромінення ($t_{\Pi} = 1 \text{ год}$);

$k_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації будинком ($k_{\text{осл}} = 1$).

Таблиця 5.5 – Граничні значення експозиційних доз системи керування

№	Блоки системи	Елементи системи керування	$D_{\text{гр i}}$, (Р)	$D_{\text{гр}}$, (Р)
1	Блок управління	Автоматичний вимикач ВА 53-41		10^4
		Мікросхеми К1533, К555	10^5	
2	Блок живлення	Діоди Д224, діодні мости	10^6	
		Резистори С2-29	10^7	
		Напівпровідникові транзисторні збірки	10^4	
3	Блок підсилення	Транзистори IRG7PH46UPBF	10^4	
		Конденсатори К53, електроліти	10^5	

$$D_M = \frac{2 \cdot 6,17 \cdot (\sqrt{35040} - \sqrt{1})}{1} = 2297,58 \text{ (Р)}.$$

Порівнюючи граничне значення дози опромінення з можливою, ми бачимо, що $D_{\text{гр}} > D_M$ ($10^4 > 2297,58$).

Отже можна зробити висновок, що дана система керування автоматизованої системи сушіння зерна буде безпечно працювати в умовах дії іонізуючого випромінювання.

Визначимо допустимий час роботи системи в заданих умовах за формулою :

$$t_D = \left(\frac{D_{\text{гр}} \cdot k_{\text{осл}} + 2 \cdot P_{1\max} \cdot \sqrt{t_{\Pi}}}{2 \cdot P_{1\max}} \right)^2, \quad (5.2)$$

$$t_d = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 6,17 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,17} \right)^2 = 811,37 \text{ (год)}.$$

Отже, система керування автоматизованої системи сушіння зерна певний час буде безпечно працювати в умовах дії іонізуючого випромінювання.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в умовах дії електромагнітного імпульсу

При оцінці впливу електромагнітного імпульсу на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ має горизонтальну та вертикальну складові напруженостей електричного поля і тому повинні визначатися значення напруг на вертикальних та горизонтальних ділянках ліній. Так як для живлення силового обладнання використовується мережа живлення напругою 12 В, а кола управління – постійної 5 В, то проведемо розрахунок стійкості роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна. Напряга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_r = E_v \cdot L_r, \quad (5.3)$$

де E_v – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля (

$$E_v = 12,18 \cdot 10^3 \text{ В/м});$$

L_r – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи ($L_r = 1,8$ м).

$$U_r = 12,18 \cdot 10^3 \cdot 1,8 = 21,924 \cdot 10^3 \text{ (В)},$$

$$U_v = E_r \cdot L_v, \quad (5.4)$$

де E_r – величина горизонтальної складової напруженості електромагнітного поля (В/м);

L_v – довжина вертикальної струмопровідної частини системи ($L_v = 2,5$ м).

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = E_v \cdot 10^{-3}, \quad (5.5)$$

$$E_r = 12,18 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 12,18 \text{ (В/м)},$$

$$U_B = 12,18 \cdot 2,5 = 30,45 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (5.6)$$

де N – відсоток допуску ($N=25\%$).

Отже, для силового кола (12 В) допустиме коливання напруги становитиме $U_{\text{доп}} = 13,2 \text{ В}$, для кола управління – $U_{\text{доп}} = 6,25 \text{ В}$.

Коефіцієнт безпеки визначається за формулою:

$$Кб_{\Gamma(B)} = 20 \lg \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\Gamma(B)}} \geq 40 [\text{дБ}], \quad (5.7)$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для силового кола ($U_{\text{ж}}=12\text{В}$):

- вертикальної: $Кб_{\text{в.}} = 20 \cdot \lg \frac{13,2}{12,18} = 18,72 \text{ (дБ)},$
- горизонтальної: $Кб_{\Gamma.} = 20 \cdot \lg \frac{13,3}{22140} = -7,22 \text{ (дБ)}.$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола управління ($U_{\text{ж}} = 5\text{В}$):

- вертикальної: $Кб_{\text{в.}} = 20 \cdot \lg \frac{6,25}{12,18} = 7,12 \text{ (дБ)},$
- горизонтальної: $Кб_{\Gamma.} = 20 \cdot \lg \frac{6,25}{22140} = -32,79 \text{ (дБ)}.$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Отже, система керування автоматизованої системи сушіння зерна є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Необхідно розробляти додаткові заходи по підвищенню стійкості такі як екранування провідників і ключових елементів адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна.

Таблиця 5.6 – Значення коефіцієнтів безпеки системи керування

№	Найменування блоків	$K_{б.в.}$, (дБ)	$K_{б.г.}$, (дБ)	Результат дії
1	Силове коло, 12 В	18,72	-7,22	Нестійке
2	Коло управління, 5 В	7,12	-32,79	Нестійке

5.3.3 Розробка засобів по підвищенню стійкості роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна в умовах надзвичайних ситуацій

Для підвищення рівня стійкості роботи адаптивної автоматизованої системи сушіння зерна необхідно вжити наступних заходів:

- кабелі живлення помістити в металеві труби, на вводах до двигунів встановити розрядники;
- розвідну мережу керування і кабелі введення інформації від датчиків прокласти в сталевих заземлених трубах;
- на вводах блоку керування встановити швидкодіючі відключаючі електронні пристрої;
- пристрій введення, блок керування розмістити в металевих пасивних екранах з коефіцієнтом затухання в екрані понад 40 дБ.

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = K_{\text{Бном}} - K_{\text{Бмін}}, \quad (5.8)$$

де $K_{\text{Бном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки (40дБ);

$K_{\text{Бмін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунків.

Для силового кола:

$$A_{12В} = 40 + 7,22 = 47,22 \text{ (дБ)}.$$

Для кола управління:

$$A_{5В} = 40 + 32,79 = 72,79 \text{ (дБ)}.$$

Товщину захисного екрану знайдемо за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.9)$$

де f – найбільш характерна частота (15 кГц).

Отже, для обладнання силового кола товщина екрану:

$$t_{12B} = \frac{47,22}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,1 \text{ (см)};$$

Для обладнання кола управління товщина екрану:

$$t_{5B} = \frac{72,79}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,12 \text{ (см)}.$$

Отже, при застосуванні екранів відповідних товщин будуть досягнуті номінальні коефіцієнти безпеки.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі було представлено опис конструкційного об'єкта (зерносушарка СЗК-8) та його обладнання.

Були представлені технічні характеристики норії зерносушарки, на основі яких було здійснено розрахунок електроприводу норії завантаження, (управління яким дозволить значною мірою підвищити значення вологості вихідного продукту, адже основним технологічним параметром сушіння є вологість готового продукту), а саме: розрахунок потужності приводного двигуна норії; дослідження здійсненності вибору системи електроприводу, вибір приводного двигуна за потужністю та швидкістю обертання, перевірка обраного приводного двигуна та вибір силового перетворювального пристрою. Після аналізу розрахунків було зроблено висновок у тому, що приводний двигун був обраний належним чином.

У роботі містився опис конструкційного об'єкта (зерноосушувач СЗК-8) та його обладнання. Представлено функціональну схему автоматизації, виділено засоби автоматизації, в основу яких покладено функціональну схему автоматизації.

Таким чином, для досягнення цієї мети я провів заходи, що дозволили досягти необхідного значення вологості готового продукту, що характеризує якість вихідного продукту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технология сушки зерна [Електронний ресурс]. URL: <https://expert-agro.ru/blog/sushka-zerna/>
2. Колонковые зерносушилки [Електронний ресурс]. URL: <https://zernosushka.ru/kolonkovaya-sushilka/>
3. Зерносушилка колонковая СЗК-8 [Електронний ресурс]. URL: https://agrovektor.ru/physical_product/327873-zernosushilka-kolonkovaya-szk-8.html
4. Электропривод выгрузного устройства зерносушилки [Електронний ресурс]. URL: <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/9147/1/plyac-o-m-ehlektroprivod-vygruznogo-ustrojstva-zernosushilki-szk-8.pdf>
5. Автоматизация сушильных установок [Електронний ресурс]. URL: https://studbooks.net/2553586/tovarovedenie/avtomatizatsiya_sushilnyh_ustanovok
6. Богачук В. В., Мокін Б. І. Б 73 Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 141 с.
7. Норії стрічкові [Електронний ресурс]. URL: <https://mehzavod.com.ua/ua/catalog/norii-zernovye-kovshovye-elevatory/n/>
8. В42 Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навчальний посібник / А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 101 с.
9. Я49 Якубовская, Е. С. Проектирование систем автоматизации. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2017. – 248 с.
10. Сушилки форсуночного типа «Ниро Атомай-зер» [Електронний ресурс]. URL: https://www.sinref.ru/000_uchebniki/04200produkty/008_pishevie_koncentrati_bachurskaia_gulaev_1976/014.htm
11. Сушильная установка А1-ОР2Ч [Електронний ресурс]. URL: <http://www.tp-himmash.ru/archives/portfolio/ustanovka-a1-op24>
12. Каталог продукції ОБЕН [Електронний ресурс]. URL:

https://owen.ua/uploads/92/catalog_2018-2019.pdf

13. АСУТП СУШІННЯ ЗЕРНА [Електронний ресурс]. URL: – Режим доступу <https://lubnymash.com/asu/asktp-sushinnya-zerna>

14. Автоматизированная система управления технологическим процессом сушки зерна в потоке [Електронний ресурс]. URL: https://www.svaltera.ua/solutions/typical/automation_of_processes/6623.php

15. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.

16. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Електронний ресурс]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

17. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

18. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

19. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Електронний ресурс]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

20. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

21. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

22. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та

інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Електронний ресурс]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

23. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

24. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

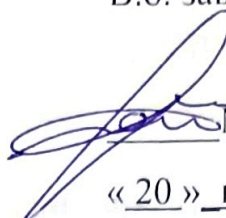
Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.



Микола МОШНОРИЗ
« 20 » вересня 2022р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

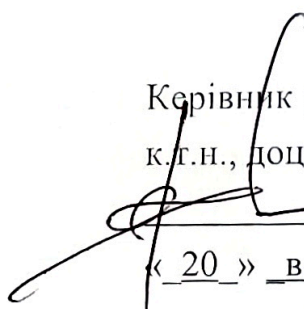
на магістерську кваліфікаційну роботу

**Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом
сушіння зерна**

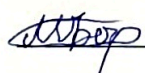
08-16.МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.



Володимир БОГАЧУК
« 20 » вересня 2022р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-21м

Микола

БАРАНОВСЬКИЙ

« 20 » вересня 2022р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна».

Скорочене найменування розробки – «автоматизація зерносушарки».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Автоматизована система сушіння призначена для зменшення енерговитрат, збільшення якості виготовленої продукції, зменшення використання людської праці. Застосовується у промислових сушарках.

4 Вимоги до розробки

Система повинна забезпечити автоматичне регулювання параметрів проходження технологічного процесу без людського втручання.

5 Комплектація розробки

До складу до складу автоматичної системи входять такі елементи: датчики температури, тиску та рівня, панель оператора, приводні механізми.

6 Джерела розробки

1. Богачук В. В., Мокін Б. І. Б 73 Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 141 с.

2. Якубовская, Е. С. Проектирование систем автоматизации. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2017. – 248 с.

7 Конструктивне виконання

Автоматична система сушки зерна виконується на базі колонкової сушарки та реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пиловологозахищеному виконанні.

8 Показники технологічності

Автоматична система сушки зерна виконується на сучасній елементній базі, а її монтаж здійснюється з відповідно правилам улаштування електроустановок.

9 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

10 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконано напругою 380 В від силової мережі підприємства.

11 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації агістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**АДАПТИВНА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ ЗЕРНА**

Мета роботи: модернізація системи керування процесом сушіння зерна в зерносушарці.

Об'єкт дослідження: процес знаходження ефективних способів керування процесом сушки зерна в зерносушарці.

Предмет дослідження: математична модель системи конвективної сушки та методи підвищення ефективності роботи системи сушіння.

Задачі:

- провести аналіз існуючих систем автоматичного управління процесом сушіння зерна;
- розробити математичну модель технологічного процесу конвективної сушки яка буде придатна для оцінки ефективності системи керування;
- розробити підхід ефективного керування електроприводами насосної станції;
- перевірити працездатність запропонованого підходу шляхом комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Проведено аналіз в результаті якого запропоновано автоматичну систему управління технологічним процесом сушіння зерна.
2. Вдосконалення нового підходу в апаратній розбудові системи управління технологічним процесом, дала можливість оптимізувати процес та підвищити вихідну якість зерна.

Практичне значення полягає у тому, що запропоновану систему автоматичного керування можна застосовувати для конкретного процесу сушіння, що дає можливість готовому продукту бути конкурентоздатним.

Об'єктом управління було вибрано колонкову зерносушарку типу СЗК-8, в якій у ролі сушильного агенту виступають топкові гази. Характеристики данної сушкарки наведено в таблиці 1.

Зерносушарка СЗК-8 призначена для сушіння зерна та насіння зернових колосових, зернобобових, круп'яних, олійних культур, а також ріпаку та кукурудзи.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд об'єкта управління

Таблиця 1 - Технічні характеристики СЗК-8

МОДЕЛЬ	СЗК-8
Продуктивність, т/год	до 8
Теплова потужність, кВт	520
Встановлена потужність електродвигуну, кВт	40,7
Питома витрата: палива, кг / т	5,32
електроенергії, кВт.год / т	3,88
Продуктивність системи повіробоїну, тис. м ³ / год	до 32
Нерівномірність сушки, ±%	+2,7...-2,6
Коефіцієнт готовності	0,98
Маса, кг	8250

Було розраховано електропривід норії завантаження Н-20 відцентрово-гравітаційним розвантаженням призначеної для вертикального переміщення зерна на млинах, елеваторах та зернопереробних підприємствах і для роботи у режимі S1.

За техніко-економічним обґрунтуванням було вибрано систему електричного приводу ПЧ-АД із двигуном типу МТКФ 112-6 та перетворювачем частоти MicroMaster 440.



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд норії завантаження



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд двигуна типу МТКФ 112-6



Рисунок 4 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти MicroMaster 440

Проаналізовано існуючі системи автоматичного управління

АСУТП сушіння зерна реалізована заводом LUBNYMASH
Функції системи:

- Відображення інформації про хід процесу, на екрані сенсорної панелі, у вигляді мнемосхеми стану обладнання.
- Автоматичне (за заданим алгоритмом) та дистанційне управління технологічним обладнанням.
- Технологічна і аварійна сигналізація при зупинці або аварійному вимкненні обладнання.
- Блокування увімкнення/вимкнення обладнання при порушенні технологічного процесу.



Рисунок 5 – АСУТП СЗ реалізована заводом LUBNYMASH

Силами ДП «СВ АЛЬТЕРА Черкаси» на підприємстві ДП Теувес Холдинг «Тетра Україна ЛТД» м. Гайсин (Вінницька обл.), було розроблено та впроваджено систему управління технологічним процесом сушіння зерна в погоді. Система візуалізації процесу реалізована за допомогою SCADA Trace mode 6.06 та дозволяє здійснювати:

- перемикання режимів роботи (автоматичний/ручний);
- введення технологічних параметрів, таких як швидкість подачі зерна у сушарку, режим вивантаження, температурні параметри тощо;
- регулювання витрати газу двома методами:
 - регулювання функцією PID за температурою;
 - регулювання за допомогою явно вказаних значень;
- перегляд історії зміни температури, витрат газу на відповідних графіках.

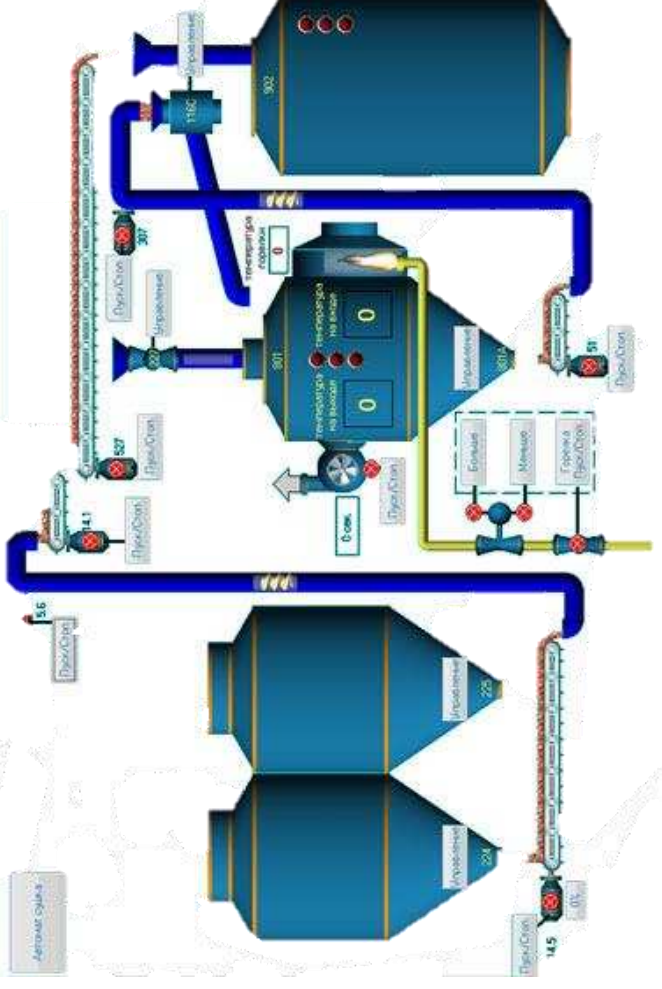


Рисунок 6 – Автоматизація процесу сушіння на підприємстві Тетра Україна ЛТД

Представлено математичну модель технологічного процесу

На схемі (рисунок 8) сушарки видно, що знизу подається нагріте повітря, яке проходить через верхній сегмент сушарки. Задача – визначити зміни в часі вмісту вологи у повітрі та температури матеріалу.

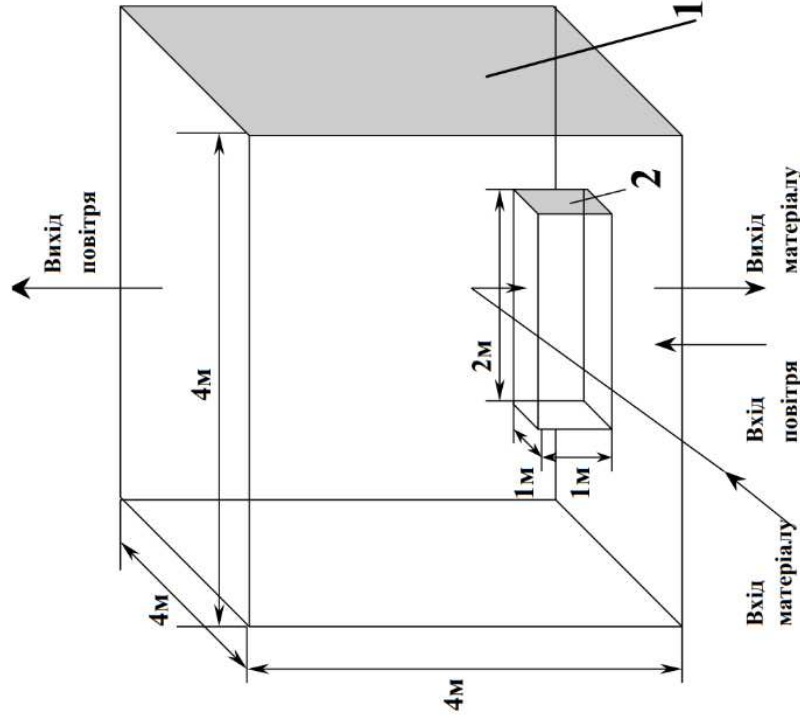


Рисунок 7 – Схема конвективної сушарки

Було проведено математичне моделювання технологічного процесу у ППП “MATLAB” за схемою представленою на рисунку 9.

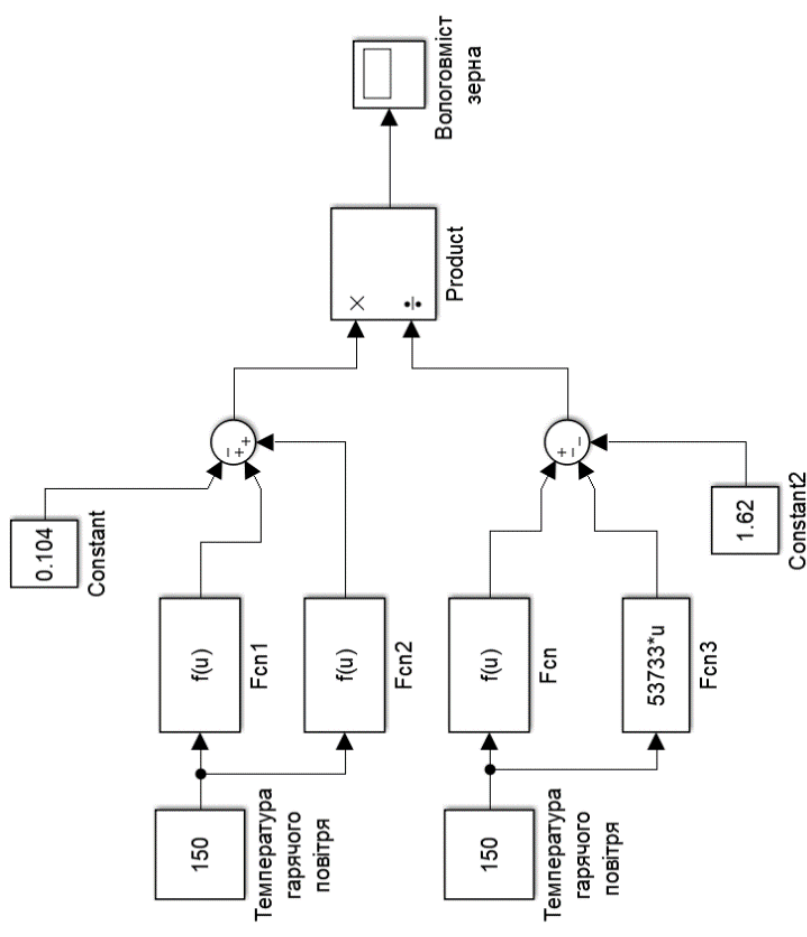


Рисунок 8 – Схема моделювання конвективної сушарки

З рисунку 8 видно, що при зростанні температури гарячого повітря вологовміст зерна зменшується, але починаючи зі значення 130 °C він залишається сталим і наближається до нормованого значення 4 %.

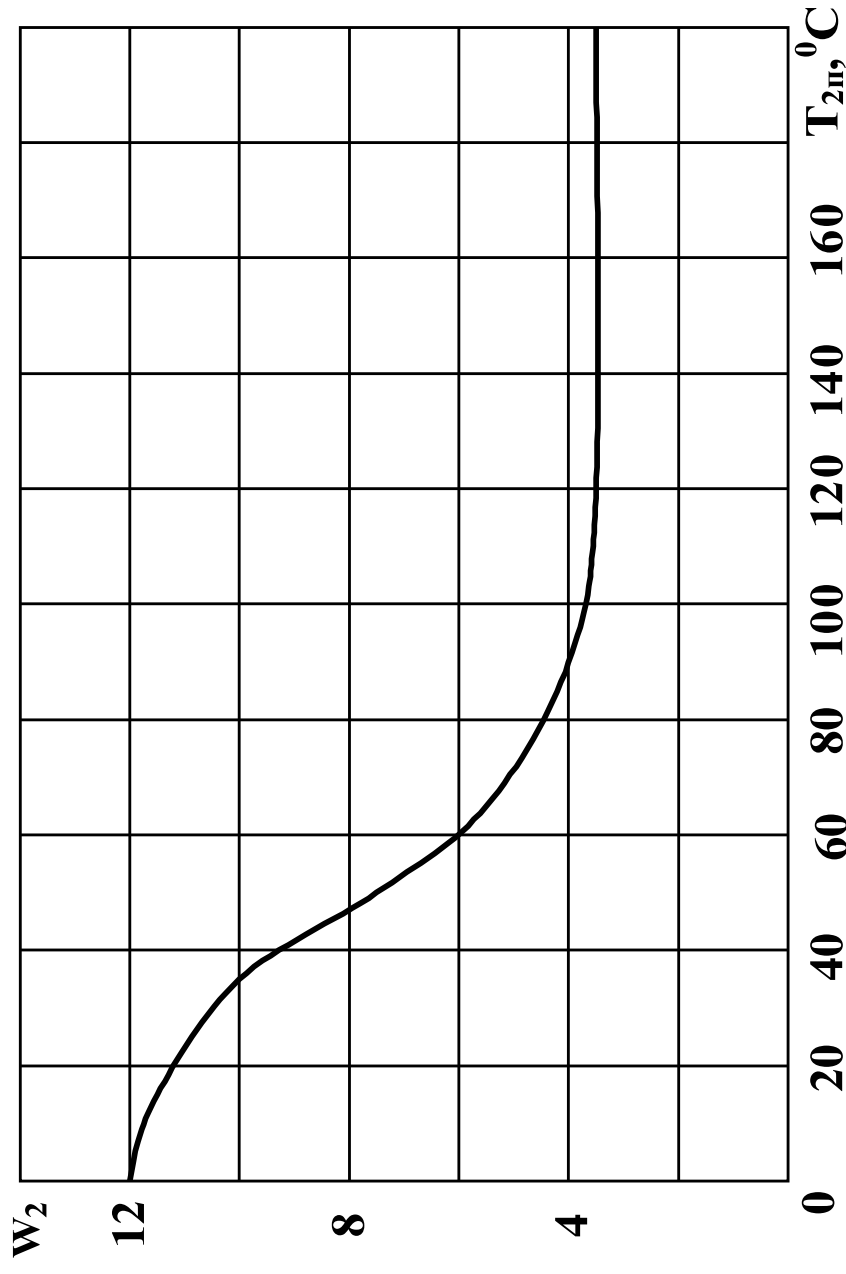


Рисунок 9 - Графік залежності вологовмісту матеріалу від температури

Представлено структурну, технологічну та функціональну схеми процесу сушіння

Після розгляду різних варіантів реалізації автоматизації процесу було запропоновано технічний засіб автоматизації створений на базі зерносушарки СЗК-8-1.

Запропоновано структурну, технологічну та функціональну схеми автоматизації процесу сушки зерна.
На схемі (рисунок 10) представлено структурну схему процесу:

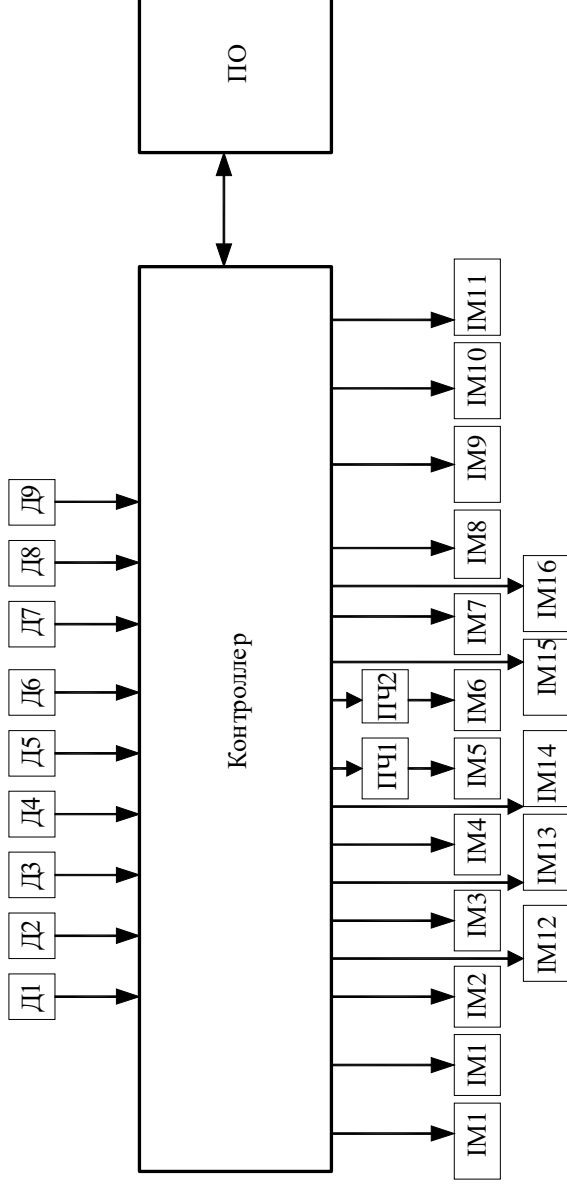


Рисунок 10 – Структурна схема автоматизації

На схемі: Д1 - датчик вологості зерна на вході; Д2 - датчик вологості зерна на виході; Д3 - датчик вологості теплоносія; Д4 - датчик температури зерна в камері нагрівання; Д5 - датчик температури зерна в камері сушіння; Д6 - датчик температури теплоносія в камері нагрівання; Д7 - датчик температури теплоносія в камері сушіння; Д8 - датчик верхнього рівня зерна; Д9 - датчик нижнього рівня зерна; ПО – панель оператора; ПЧ1 і ПЧ2 - перетворювачі частоти; IM1 - двигун норії завантаження; IM2 - двигун норії сирого зерна; IM3 - двигун вентилятора сушарки; IM4 - двигун вентилятора рекуперації; IM5 - двигун норії сухого зерна; IM6 - двигун випускних пристроїв; IM7 - двигун вивантажувального шнека; IM8 і IM9 - двигуни топкових вентиляторів; IM10 і IM11 - двигуни топкових насосів; IM12 - виконавчий механізм заслінки; IM13 - виконавчий механізм клапана; IM14 і IM15 - клапани «малий вогонь»; IM16 і IM17 - клапани «великий вогонь».

На схемі (рисунок 11) представлено технологічну схему процесу:

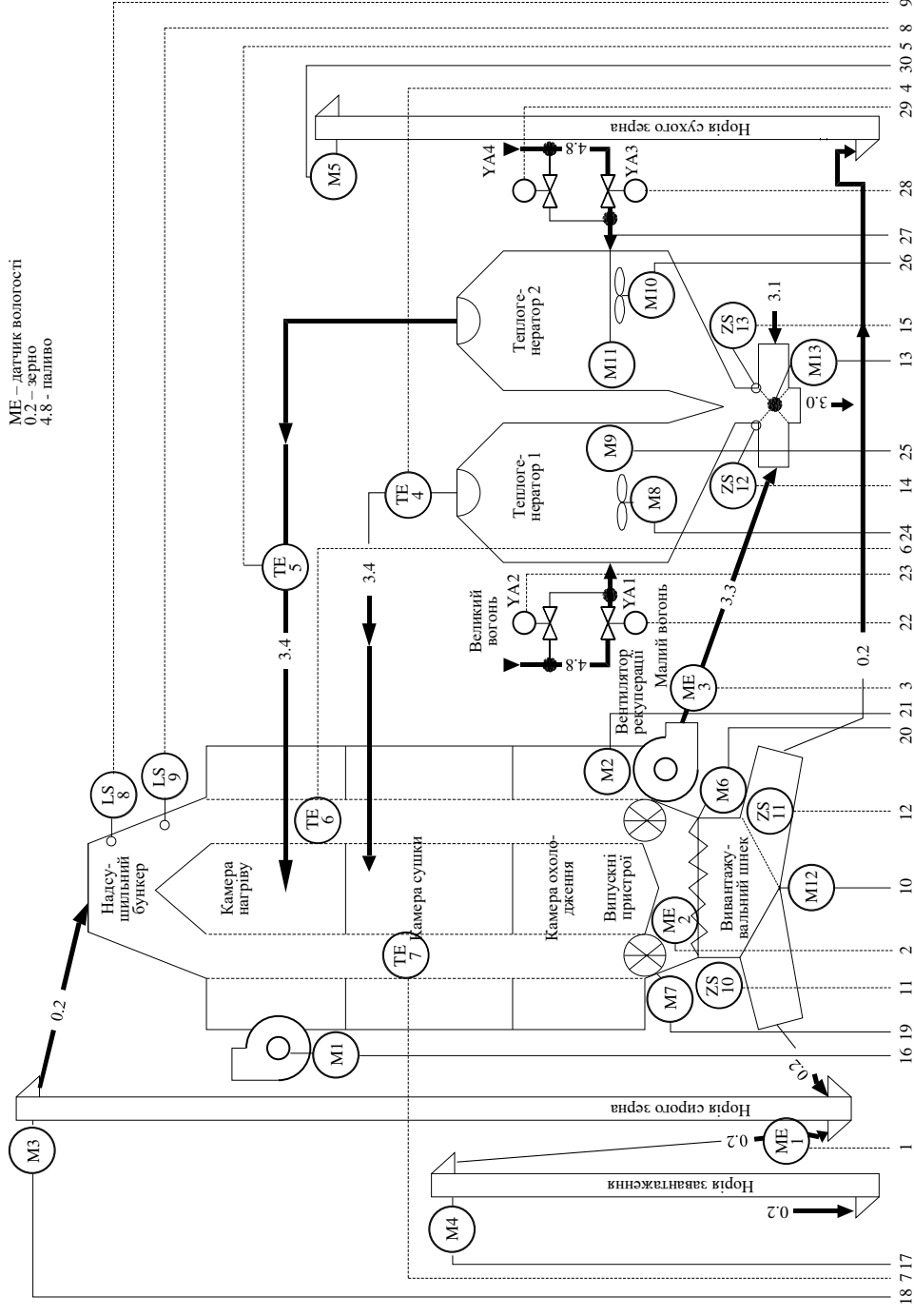


Рисунок 11 – Технологічна схема автоматизації

На схемі: M3 – електродвигун; M4 - додаткова норія завантаження; LS8, LS9 - датчики рівня; M7 - вивантажний пристрій; M6 – шнек; M12 - перекидний клапан; M1 – вентилятор; M2 - вентилятор рекуперації; M13 – розподільник; TE4, TE5 - термометри опору; ME1 – вологомір; SC - перетворювач частоти; YA – клапани.

На схемі (рисунок 12) представлено функціональну схему автоматизації:

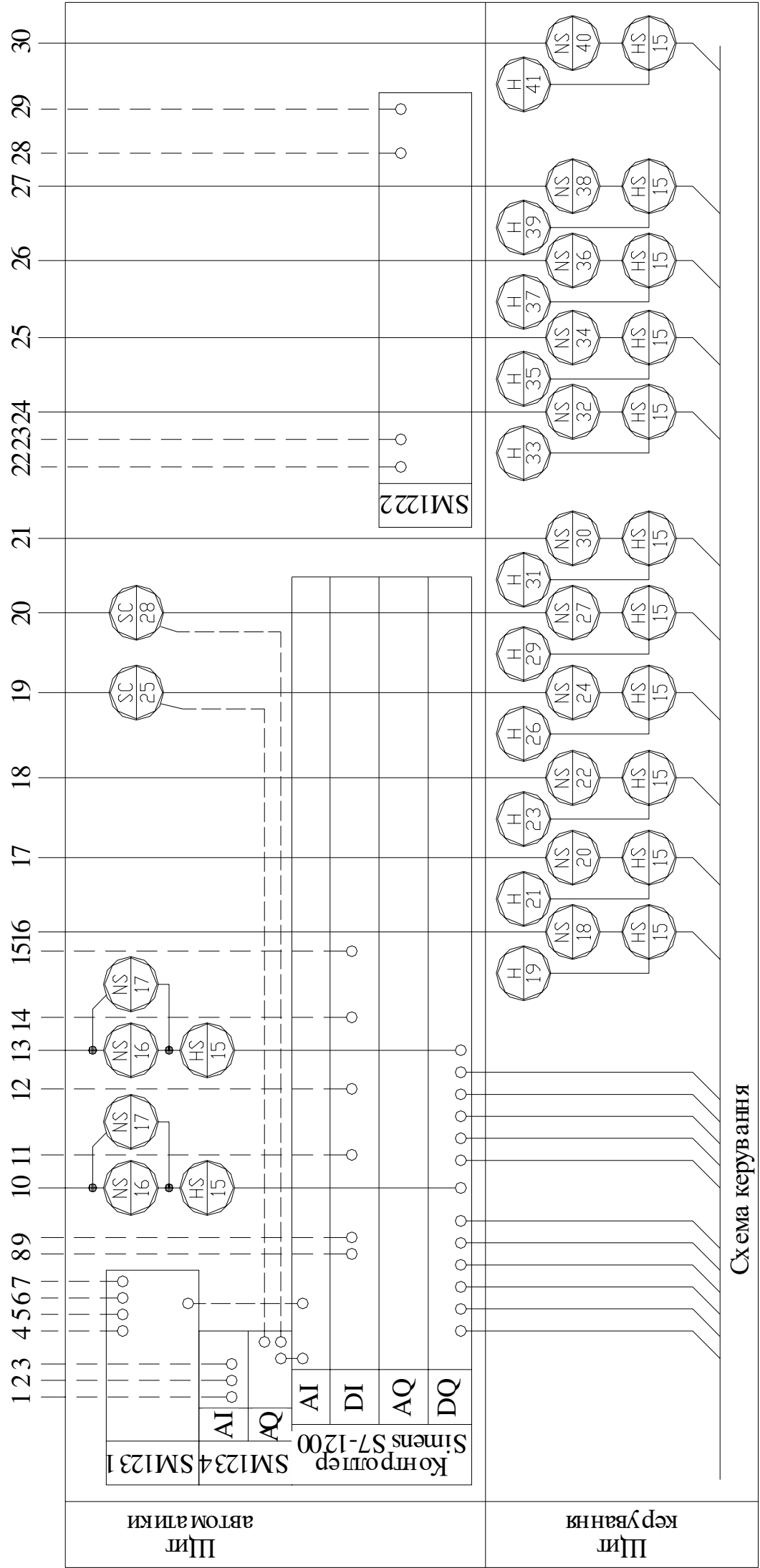


Рисунок 12 – Функціональна схема автоматизації

На базі функціональної схеми автоматизації був проведений вибір засобів автоматизації

Вибраємо датчик рівня СУМ-1, який являється досить чутливим і спрацьовує при зусиллі, прикладеному до мембрани, що становить всього 0,5 Н; вологомір поточковий ПВЗ-20 Д у якого діапазон вимірювань – 0...100 %, є аналоговий вихід 0...10 В, живлення 24 В і який має малу інерційність (60 с) та високу точність (похибка вимірювання $\pm 0,5$ %); для контролю температури датчик із уніфікованим сигналом ТСМУ-205-0...+100°C, L=160 мм.



Рисунок 15 – Зовнішній вигляд датчика рівня СУМ-1



Рисунок 14 – Зовнішній вигляд датчика температури ТСМУ-205

ВИБІР КОНТРОЛЕРА

Контролер реалізує функції управління, регулювання та контролю. Було запропоновано на лінійці контролерів Siemens, а саме Siemens S7-1200. Ця серія включає процесорні модулі, яких для розширення входів і виходів можуть бути підключені сигнальні модулі. Як процесорний модуль виберемо S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC з напругою живлення 24 В.

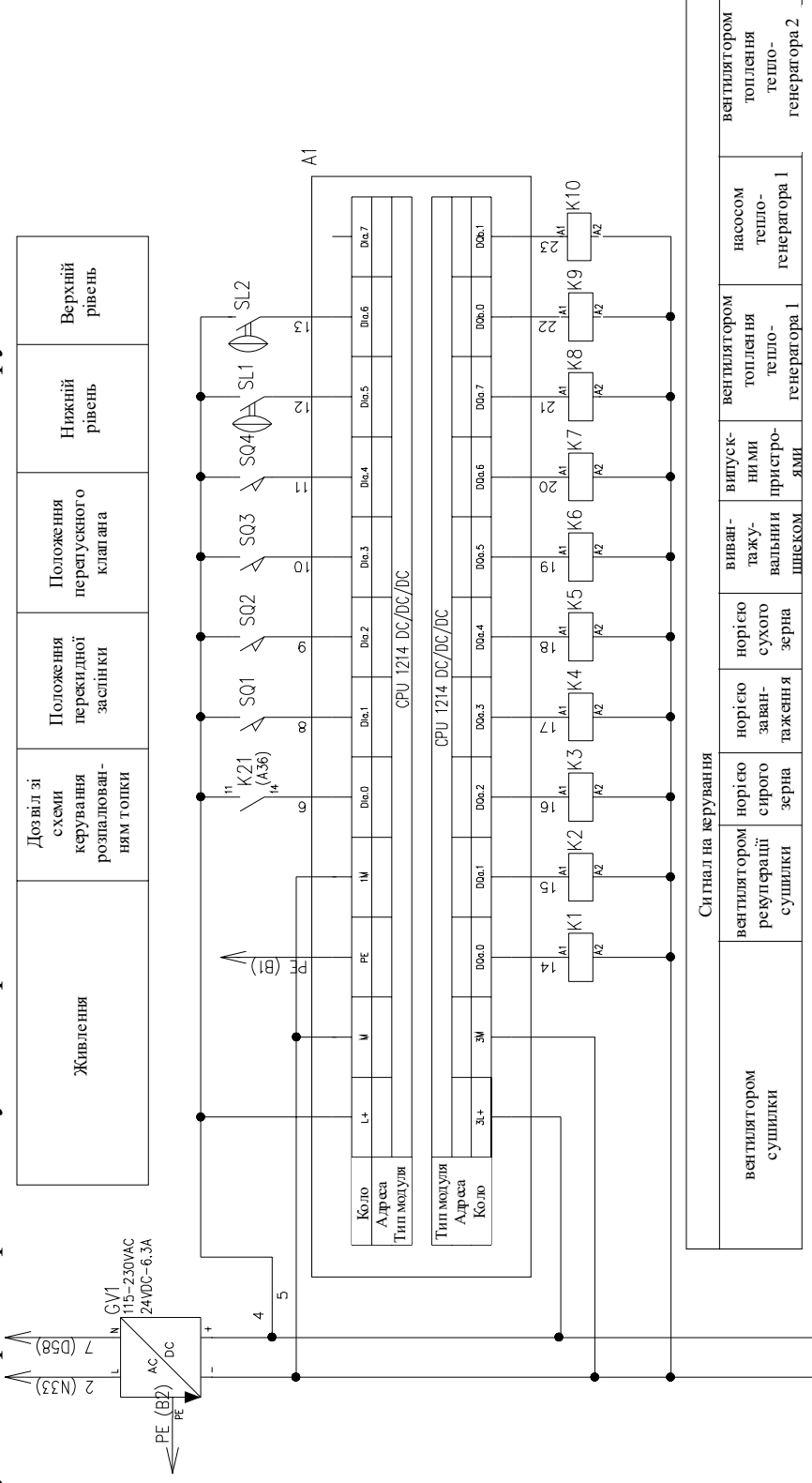


Рисунок 16 - Схема підключення процесорного модуля CPU 1214 DC/DC/DC

ПАНЕЛЬ ОПЕРАТОРА

Для візуалізації процесу сушіння зернових використовуватимемо панель оператора, що підключається до контролера Siemens S7-1200. Виберемо панель SIMATIC KTR600 Basic color DP (має 5,7” кольоровий сенсорний TFT-дисплей, шість функціональних клавіш, інтерфейс RS 422/RS 485). Потрібно передбачити кілька робочих екранів панелі оператора. На першому екрані (рисунок 17) відстежуватимемо роботу механізмів сушарки в цілому, а на другий (рисунок 18) винесемо важливі параметри для контролювання: температуру в чотирьох точках і вологість в трьох.

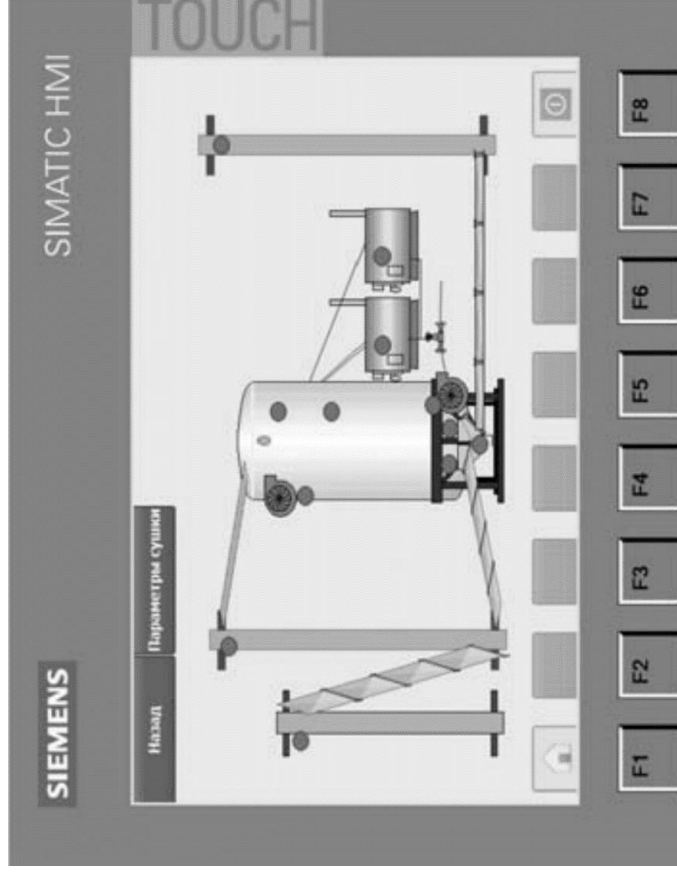


Рисунок 17 – Перший екран панелі оператора

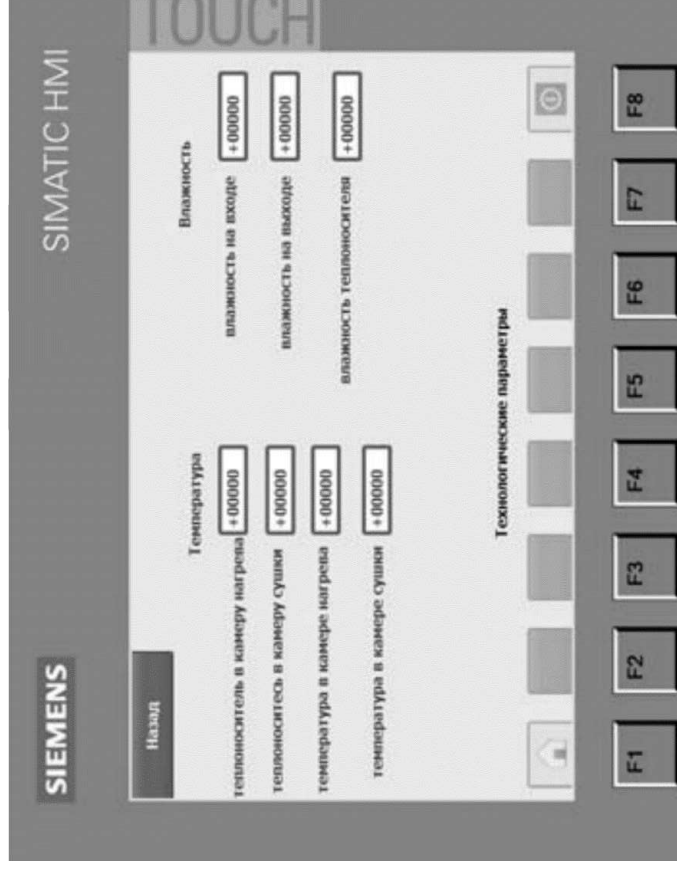


Рисунок 18 – Другий екран панелі оператора

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було представлено характеристику об'єкта проектування (зерносушарку СЗК-8-1) та його комплектацію.

Було представлено технічні характеристики норії зерносушарки, на основі яких було проведено розрахунок електропривода норії завантаження, а саме: розрахунок потужності приводного двигуна норії, техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода, вибір приводного двигуна за потужністю і швидкістю обертання, перевірка вибраного приводного двигуна та вибір силового перетворювального пристрою. Проаналізувавши розрахунки зроблено висновок, що приводний двигун вибрано правильно.

Проаналізовано існуючі системи автоматичного управління та математичну модель сушки зерна. Представлено функціональну схему автоматизації, вибрано засоби автоматизації які базуються на функціональній схемі автоматизації.

Таким чином для досягнення поставленої мети мною виконані такі дії, які дозволили досягти необхідного значення вологості готової продукції що характеризує якість вихідного продукту.

ДОДАТОК В
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-21м

Науковий керівник: к.т.н., доц. Богачук В.В.
 (прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність	82%
Схожість	18%

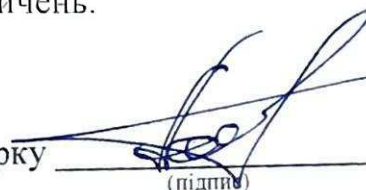
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.


Особа, відповідальна за перевірку


 (підпис)

Паянок О.А.
 (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


 (підпис)

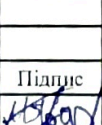




Барановський М.Ю.
 (прізвище, ініціали)

Керівник роботи


 (підпис)

Богачук В.В.
 (прізвище, ініціали)

08-16.МКР.002.00.000

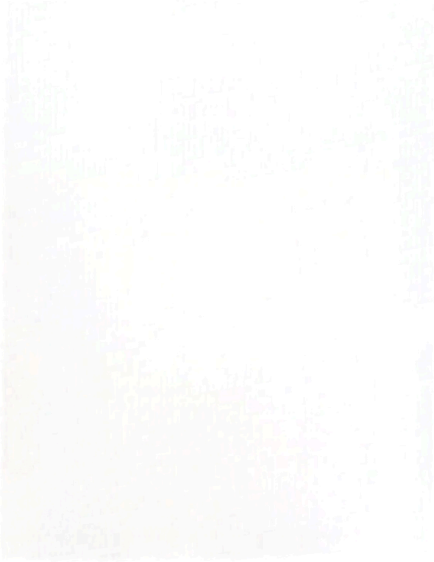
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23			
Перевірів:		Богачук В. В.		15.11.23			
Т. контр.							
Рецензент		Шудіс Ю. А.		19.12.23			
Норм.кон.		Бомбик В. С.		30.11.23			
Затверд.		Мошноріз М. М.		30.11.23			

Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна.
 Мета, задачі та наукова новизна.

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.002.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Об'єкт дослідження.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23				
Перевірив		Богачук В. В.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Шудіє Ю. А.		19.12.23		Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.		Бомбик В. Є.		30.11.23		ВНТУ, гр. ЕПА-21 м		
Затверд.		Мошторіз М. М.		30.11.23				

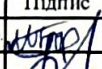






08-16.МКР.002.00.000

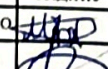



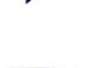
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Електропривід.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23				
Перевірів		Богачук В. В.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Шуле Ю. А.		19.12.23				
Норм.кон.		Бомбик В. С.		30.11.23				
Затверд.		Мошпорізі М. М.		30.11.23				

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.002.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Аналіз існуючих систем.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23				
Перевірив		Богачук В. В.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Шульє Ю. А.		19.12.23				
Норм.кон.		Бомбик В. С.		30.11.23				
Затверд.		Мошторізі М. М.		30.11.23				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

08-16.МКР.002.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.			Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23					
Перевірів		Богачук В. В.		15.11.23					
Т. контр.									
Рецензент		Шуле Ю. А.		19.12.23					
Норм.кон.		Бомбик В. С.		30.11.23					
Затверд.		Мошгоріз М. М.		30.11.23					

Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна.
Математична модель.

ВНТУ, гр. ЕПА-21



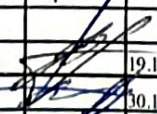




					08-16.МКР.002.00.000				
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Математична модель.	Літ.	Маса	Масштаб	
Розробив:	Барановський М. Ю.		15.11.23						
Перевірів	Богачук В. В.		15.11.23						
Т. контр.									
Рецензент	Шуліс Ю. А.		19.12.23						
Норм. кон.	Бомбик В. С.		30.11.23						
Затверд.	Мошноріз М. М.		30.11.23			Аркуш	Аркушів		
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м			

08-16.МКР.002.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Структурна схема.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23				
Перевірив:		Богачук В. В.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензує:		Шудле Ю. А.		19.12.23				
Норм. кон.		Бомбик В. С.		30.11.23				
Затверд.		Мошпоріт М. М.		30.11.23				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

08-16.МКР.002.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Технологічна схема.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23				
Перевірив		Богачук В. В.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Шуле Ю. А.		19.12.23				
Норм. кон.		Бомбик В. С.		30.11.23				
Затверд.		Мошторіз М. М.		30.11.23				

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.002.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Функціональна схема.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23				
Перевірів		Богачук В. В.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Шульє Ю. А.		19.12.23				
Норм.кон.		Бомбик В. С.		30.11.23				
Затверд.		Мошторізі М. М.		30.11.23				

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.002.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Вибір засобів автоматизації.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23				
Перевірів		Богачук В. В.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Шуле Ю. А.		19.12.23				
Норм.кон.		Бомбик В. С.		30.11.23				
Затверд.		Мошторіз М. М.		30.11.23				

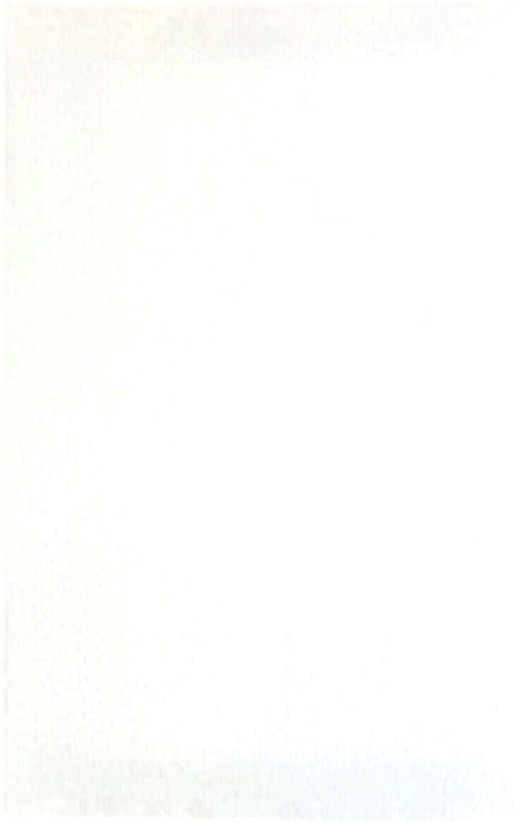
ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.002.00.000

Зм	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Борисюк І. М.		15.11.23			
Перевірив		Богачук В. В.		15.11.23			
Т. контр.							
Рецензент		Шульс Ю. А.		10.12.23			
Норм. кон.		Бомбик В. С.		30.11.23			
Затверд.		Мошнорів М. М.		30.11.23			



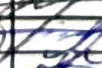


Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна.
Вибір контролера.

Аркуш
Аркушів
ВНТУ, гр. ЕПА-21 м



					08-16.МКР.002.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Вибір засобів автоматизації.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23				
Перевірів		Богачук В. В.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Шулє Ю. А.		19.12.23				
Норм.кон.		Бомбик В. С.		30.11.23				
Затверд.		Мошторіз М. М.		30.11.23				
						ВНТУ, гр. ЕПА-21М		

08-16.МКР.002.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Адаптивна автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. Висновки.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський М. Ю.		15.11.23				
Перевірив:		Богачук В. В.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент:		Шудле Ю. А.		17.12.23				
Норм. кон.		Бомбик В. С.		30.11.23				
Затверд.		Мошпорів М. М.		30.11.23				

ВНТУ, гр. ЕПА-21м