

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра Автоматизації технологічних електромеханічних і робототехнічних систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: «Автоматизація процесу керування сушінням зерна в сушарці шахтного типу»

Здобувач: Орлов Є.Г.
4 курс, група АТ-32

Керівник: доцент ст.викл. Ковальчук Д.А.

Консультанти:

доцент І.М. Світий
доцент В.М. Левінський

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

Рішення кафедри від _____.2026 р., протокол № ____.

Завідувач кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(підпис)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	<u>Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування</u> .
Кафедра	<u>ім. П.М. Платонова</u> . <u>Автоматизації технологічних процесів і</u> . <u>робототехнічних систем</u> .
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u> .
Спеціальність	<u>174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка</u> .
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в</u> . <u>автоматизації та робототехніці</u> .

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
І.М. Світий

«05» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Орлов Євген Геннадійович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування сушінням зерна в сушарці шахтного типу»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Ковальчук Дмитро Андрійович, к.т.н. ст. викладач
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.
Розділ 2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Ковальчук Д.А., ст. викл. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9			

7. Дата видачі завдання « 09 » січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«24» березня 2026 р.	
Розділ 2	«31» березня 2026 р.	
Розділ 3	«10» квітня 2026 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2026 р.	
Розділ 5	«23» квітня 2026 р.	
Розділ 6	«30» квітня 2026 р.	
Розділ 7	«08» травня 2026 р.	
Розділ 8	«22» травня 2026 р.	
Розділ 9	«27» травня 2026 р.	

Здобувач Орлов Є.Г.

Керівник роботи Ковальчук Д.А.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач _____ Орлов Є.Г. _____
 Прізвище, ініціали Підпис

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра Орлова Євгена Ігоровича «Автоматизація процесу керування сушінням зерна в сушарці шахтного типу» викладена на 158 сторінках, число таблиць - 33, рисунків – 108 , додатків – 2 , джерел з переліку посилань - 8.

Ключові слова: автоматизація, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, оптимальний параметричний синтез, програмований логічний контролер, принципова електрична схема.

Об'єкт розробки – система автоматизації процесу керування сушінням зерна в сушарці шахтного типу.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування керування сушінням зерна в сушарці шахтного типу, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контрів САР,.

Методи дослідження – методи теорії автоматичного керування, ідентифікації об'єкту керування, імітаційного моделювання.

Отримані результати – Був виконаний синтез і аналіз САК простої структури і САК підвищеної динамічної точності (ПДТ), в якій, за рахунок застосування коригуючих зв'язків, досягається підвищення показників роботи САК. Проведена розробка контролерно-комп'ютерної мережі, яка реалізує САК, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК. Була розроблена SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК. Також, було проведено попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації проекту.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. Характеристика керування технологічним процесом сушіння зерна, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.....	9
1.1 Короткий опис підприємства, характеристика виробничої і господарської діяльності.....	9
1.2 Узагальнена характеристика технологічних процесів підприємства та рівня його автоматизації	10
1.3 Вибір об'єкту для модернізації системи автоматизації, опис та аналіз реалізованого ним технологічного процесу та відповідного обладнання	12
1.4 Аналіз впливу ефективності керування технологічним агрегатом на показники якості продукції, її собівартість. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи	17
1.5 Конкретизація мети модернізації системи	18
1.6 Висновок за розділом	19
РОЗДІЛ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів керування технологічним процесом сушіння зерна, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	20
2.1 Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання.....	20
2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання	23
2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень	28
2.4 Реалізація моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	34
2.5 Висновок за розділом.....	39
РОЗДІЛ 3. Розробка та параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	40
3.1 Конкретизація завдань регулювання процесу сушіння зерна у шахтній зерносушарці	40
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	44
3.3 Структурно-параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності.....	56
3.4 Висновок за розділом.....	63
РОЗДІЛ 4. Специфікація задачі та розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом	64
4.1 Конкретизація завдання логічного керування технологічним процесом	64
4.2 Формалізація регламенту, розробка алгоритмів автоматичного логічного контролю запуску та нормального вимкнення	66
4.3 Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного керування для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях	71
4.4 Висновок за розділом.....	72
РОЗДІЛ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючого впливу.....	73
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал	73
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	78
5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу.....	85
5.4 Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	88

5.5 Висновок за розділом	98
РОЗДІЛ 6. Розробка контролерно-комп'ютерної мережі та програмного забезпечення САК	99
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	99
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування	101
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	109
6.4 Висновки за розділом.....	113
РОЗДІЛ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	114
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування	114
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога	116
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	116
7.4 Тестування системи керування	124
7.5 Висновок за розділом	127
РОЗДІЛ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	128
8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень	128
8.2 Розробка схеми автоматизації.....	129
8.3 Розробка принципів електричних схем підключення до модулів ПЛК.....	131
8.4 Охорона праці.....	132
8.5 Висновок за розділом.....	141
РОЗДІЛ 9. Розрахунок економічної ефективності заходу кваліфікаційної роботи.....	142
9.1 Розрахунок капітальних вкладень (інвестицій) на модернізацію обладнання	142
9.2 Розрахунок поточних витрат при роботі базового та нового зразка системи управління та контролю.....	147
9.3 Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства	152
9.4 Висновок за розділом.....	154
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	155
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	156
ДОДАТКИ	157

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОР – об'єкт регулювання

ОК – об'єкт керування

ТП – технологічний процес

ПД регулятор – пропорціональний диференціюючий регулятор

ПІ регулятор – пропорціонально інтегральний регулятор

ВП – випадковий процес

САК ПДТ – система автоматичного керування підвищеної динамічної точності

САК – система автоматичного керування

ПК – персональний комп'ютер

МПК – мікропроцесорний контролер

КЗ – коригуючий зв'язок

ППЗС – передпускова звукова сигналізація

АРМ – автоматизоване робоче місце

ЗА – засоби автоматизації

ММ – математична модель

ВСТУП

Робота пов'язана з виконанням виробничих операцій, що забезпечується спеціалізованою шахтною сушаркою. Якісне сушіння продукції пов'язане з роботою шахтної сушарки .

Одним з найефективніших шляхів підвищення ефективності процесу сушіння зерна в шахтній сушарці, підтверджених практикою, є підвищення рівню автоматизації процесу шляхом підвищення інтелектуального рівню системи автоматичного регулювання.

У роботі має бути проведено дослідження процесу сушіння зерна, як об'єкту керування, в результаті котрих має бути отримано математичні моделі основних каналів керування та неконтрольованих збурень. Отримані моделі слід перевірити на відповідність експериментальним даним. На основі отриманих моделей слід розробити алгоритми регулювання процесом, котрі забезпечують високу якість керування процесом.

Метою дипломної роботи є підвищення конкурентоздатності підприємства за рахунок підвищення ефективності допоміжного процесу сушіння зерна шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САР процесом. Для досягнення поставленої мети визначенні завдання:

1. проаналізувати процес сушіння зерна як об'єкту керування;
2. розробити комплекс його моделей як об'єкту регулювання і провести моделювання для підтвердження відповідності отриманих моделей експериментальним даним;
3. розробити варіанти алгоритмів регулювання, провести їхню параметричну оптимізацію, порівняльний аналіз САР, що забезпечують підвищену динамічну точність регулювання регламентованих змінних;

Рішенню перерахованих завдань і присвячена ця кваліфікаційна робота.

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ ЗЕРНА, ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

1.1 Короткий опис підприємства, характеристика виробничої і господарської діяльності

Одеський національний технологічний університет був заснований 20 жовтня 1902 року як Одеська школа борошномелів. Першим директором школи призначили професора Володимира Кнабе, що прибув з Харкова.

Першим і єдиним у країні вищим навчальним закладом зернопереробного профілю став технікум технології зерна й борошна, відкритий 22 червня 1922 року на базі Одеського млиново-технічного училища. 1922 року керуючим технікуму був призначений видатний фахівець, інженер-борошномел, професор К. А. Богомаз та керував ним до 1929 року.

В 1925 році колектив технікуму поповнився висококваліфікованими фахівцями борошномельної справи професорами В. Я. Гіршсоном, Л. В. Мінаєвим, Г. Д. Домбровським і іншими. В 1928 році технікум був перетворений в Одеський політехнікум технології зерна й борошна із трьома факультетами: технологічним, механічним і хлібопекарним.

Політехнікум в 1929 році був реорганізований в інститут технології зерна й борошна імені Й. В. Сталіна. Його директором став молодий інженер Л. М. Ланда. В інституті функціонувало п'ять факультетів: технологічний, механічний, хлібопекарний, комбікормовий і інженерно-організаторський. У 1930-1931 роках були створені хімічний факультет, вечірній інститут, заочний сектор, екстернат (заочний факультет) і курси підвищення кваліфікації технічних працівників.

В 1938 році інститут очолив його випускник 1931 року, к.т.н. доцент С. М. Золотарьов. В 1938 році до аспірантури було прийнято 19 осіб. На

початок 1940/41 навчального року в інституті навчалось 845 студентів (навчання велося українською та російською мовами). Викладачів було 157 осіб, з них 4 професори й 30 доцентів.

Найважливішою віхою в історії інституту став 1969 рік. У результаті реорганізації двох одеських вищих навчальних закладів — Одеського технологічного інституту (ОТІ) і Одеського інституту харчової й холодильної промисловості (ОІХХП) був утворений фактично новий, найбільший у країні інститут харчового профілю. В 1970 році Рада Міністрів України перейменувала новий інститут в Одеський технологічний інститут харчової промисловості ім. М. В. Ломоносова. У такій якості інститут проіснував до 20 листопада 1994 року, коли йому був присвоєний статус Академії. Із цього часу виш став іменуватися — Одеська державна академія харчових технологій (ОДАХТ). З 18 серпня 2021 має назву Одеський національний технологічний університет.

1.2 Узагальнена характеристика технологічних процесів підприємства та рівня його автоматизації

Суть технологічного процесу - це цілеспрямоване перетворення матеріальних і енергетичних потоків в спеціальному технологічному устаткуванні (машинах, апаратах, агрегатах). Суть технологічного процесу висушування зерна в перетворенні вологого продукту під впливом теплоносіїв (топкового газу, що гріє, повітря) в сухий продукт. Технологічний процес реалізується в шахтній зерносушарці.

Технологічна схема сушіння зерна у шахтній сушарці наведена на рис. 1.1.

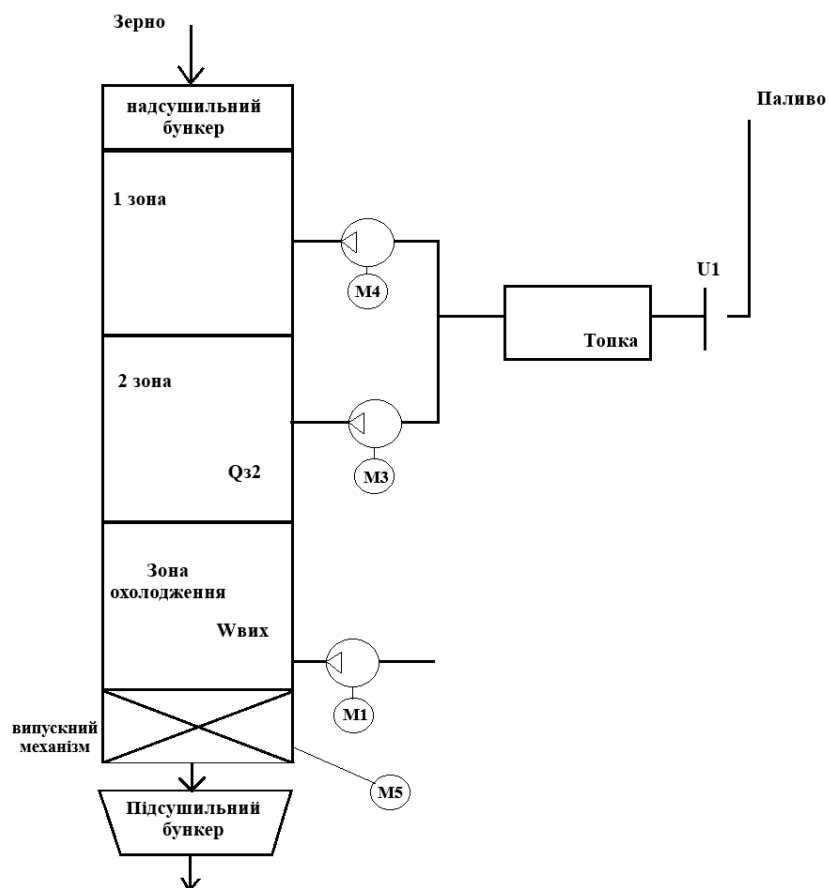


Рисунок 1.1 - Технологічна схема сушіння зерна в шахтній зерносушарці

Процес сушіння визначається балансом вологообміну та теплообміну в капілярно-пористих тілах (зернівках) при їх контакті з гарячим агентом сушіння. Подане в надсушильний бункер зерно переміщується під дією гравітації крізь сушильні короби, де воно обдувається сумішшю повітря та продуктів згоряння палива. Видалення вологи відбувається за рахунок градієнта температури та парціального тиску. Особливістю процесу в установці ДСП-32 є послідовне проходження зерна крізь дві зони сушіння та зону охолодження, що забезпечує стабілізацію структури зернівки.

Зерносушарка ДСП-32 — це двошахтна стаціонарна установка безперервної дії. Вона складається з двох паралельних шахт, розділених камерою нагрівання.

Сушильна шахта: Кожна шахта заповнена рядами металевих п'ятигранних коробів. Така конструкція дозволяє сушильному агенту рівномірно

пронизувати шар зерна, що рухається вниз під дією власної ваги.

Топковий пристрій (Топка): Саме тут регулюється основний параметр U_1 . Топка спалює паливо (газ або рідке паливо), змішуючи продукти згоряння з холодним повітрям для отримання сушильного агента потрібної температури.

Розвантажувальний механізм: У нижній частині шахти встановлено випускний пристрій. Швидкість його роботи визначає час перебування зерна в сушарці та впливає на величину транспортного запізнення.

Охолоджувальна секція: Нижня частина шахти, де гаряче зерно продувається холодним повітрям перед вивантаженням

1.3 Вибір об'єкту для модернізації системи автоматизації, опис та аналіз реалізованого ним технологічним процесом та відповідного обладнання

Мета ведення процесу - отримання заданих продуктів із заданими властивостями (показниками якості). При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдане тільки тоді, тобто технологічний процес є сенс реалізовувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

Вимоги до технологічного процесу, що найчастіше зустрічаються:

- кількість вироблюваного в одиницю часу продукту не має бути нижчим встановленої норми;
- втрати сировини і (чи) продукту не повинні перевищувати нормативних значень;
- питомі витрати енергії на процес, тобто на одиницю продукції, не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного устаткування не повинні виходити за гранично допустимі значення;
- шкідлива дія технологічного процесу на людину і природне середовище не повинна перевищувати нормативних значень;
- порушення режимів ведення технологічного процесу і роботи устаткування, що призводять до аварійних ситуацій, переростання яких в аварію призводить до істотних економічних втрат або навіть до

катастрофічних наслідків, мають бути дуже рідкісними подіями і мають бути передбачені заходи по запобіганню переростання аварійних ситуацій в аварію.

Технологічний процес сушіння зерна є тепловим процесом. Важливою умовою нормального технологічного процесу є заповнення сушарки продуктом - зерном. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.3.

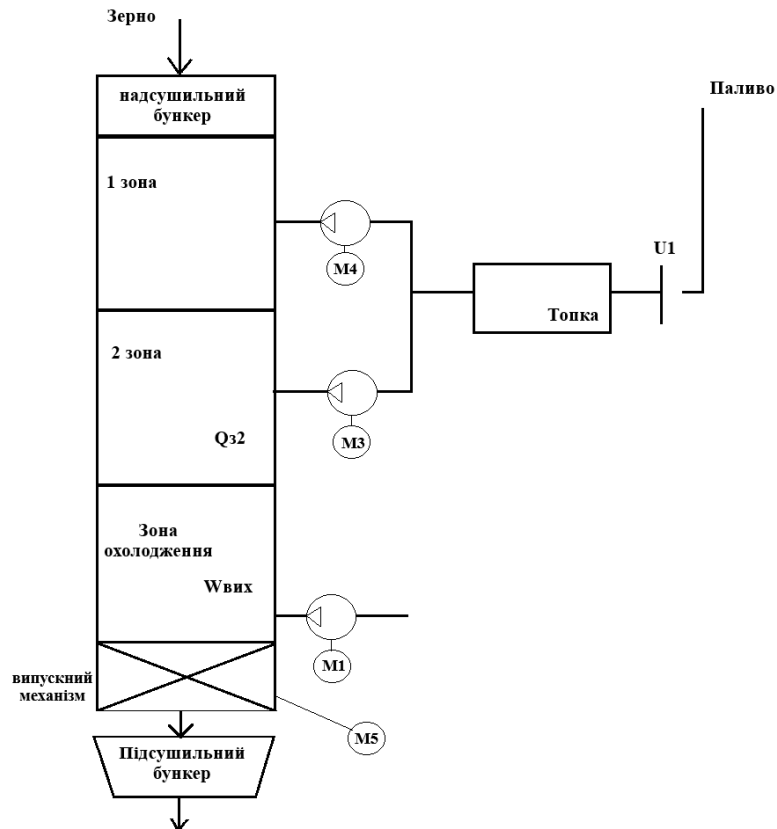


Рисунок 1.3 - Технологічна схема процесу сушіння зерна в шахтній зерносушарці

Позначення на технологічній схемі, що параметризується:

Контроль температури $Q_{з2}$ дозволяє стабілізувати якість зерна: запобігання перегріву, що зберігає схожість насіння та запобігає розтріскуванню зернівок.

Контроль вологості W вих дозволяє зменшити втрати: запобігання пересушуванню (щоб не втрачати вагу продукту) та недосушуванню

$U1$, - регулюючий орган подачі палива та газу

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ - визначає умови, при яких в результаті технологічного процесу виходить продукт із заданими

властивостями. Він є набором номінальних значень і допусків на відхилення від номінальних технологічних параметрів.

W_{вих} (кінцева вологість зерна) — основний показник якості процесу сушіння, регламентоване значення становить 14.6%;

Θ₂₃₂ (температура зерна у другій зоні сушіння) — визначає інтенсивність випаровування вологи та тепловий стан продукту. Робочий діапазон становить 44...48 °C

Продуктивність вивантажувального механізму — визначає час перебування зерна в сушильній шахті.

ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РЕГЛАМЕНТ - визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного устаткування. Він є набором номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів цього технологічного устаткування.

Температура агента сушіння у підвідних дифозорах - обмеження зверху для запобігання займання пилоповітряної суміші та перегріву зерна;

Струм електродвигунів вентиляторів - захист від перевантаження та контроль роботи системи циркуляції повітря;

Струм приводу вивантажувального шнека - захист від заклинювання механізму випуску зерна;

Рівень зерна у завантажувальному бункері - запобігання оголенню верхніх коробів шахти та прориву теплоносія в атмосферу.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він є набором номінальних або гранично допустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів.

Стабілізація вологості на рівні 14.6% - мінімізація шлюбу (пересушування або недосушування зерна);

Оптимізація витрати палива (U) - зниження енерговитрат на палиник топки у перехідних режимах;

Екологічний контроль - мінімізація викидів зернового пилу та продуктів згоряння палива через вихлопні вентилятори.

Відхилення параметрів технологічного процесу сушіння від регламентних значень, що викликані випадковими збуреннями (змінною початковою вологості та температури сирого зерна, коливаннями тиску палива або витрати агента сушіння), характеризують динамічні умови ведення процесу. Навіть за умов функціонування ефективної системи автоматичного керування, поточні значення параметрів можуть епізодично перевищувати встановлені технологічні допуски.

Неконтрольоване відхилення температури агента сушіння та теплового стану зерна у шахті призводить до безпосереднього порушення режимів вологовидалення. Це, в свою чергу, спричиняє деградацію якісних показників кінцевого продукту (тріскучість, підгоряння, пошкодження клейковини) або призводить до перевитрати паливно-енергетичних ресурсів через пересушування матеріалу.

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від їх номінальних значень у процесі автоматизації ДСП-32 поділяють на тривалі (статичні) та короткочасні (динамічні, що виникають під час відпрацювання збурень). Детальний аналіз нормативів ведення технологічного процесу сушіння та наслідків виходу експлуатаційних параметрів за межі регламенту зведено у таблицю 1.1.

Тривало допустимі відхилення визначають зону незначних для цього процесу відхилень (ЗНВ) даного параметра. Усередині цієї зони значення параметра можна вважати приблизно рівним нормативному, тому відхилення, що не виходять зі ЗНВ, можна не усувати.

Короткочасні допустимі відхилення параметрів перевищують їх ЗНВ і призводять до зниження ефективності процесу, тому (як вже ясно з назви) вони допустимі лише обмежений час, який задається і входить в регламент. Вихід параметрів за зону короткочасно допустимих відхилень свідчить про

порушення в технологічному процесі або в експлуатації устаткування, які можуть привести до аварії.

Аналіз нормативів ведення технологічного процесу і експлуатації устаткування оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.1.

Таблиця 1.1 - Таблиця регламентів

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
					Величина	Величина	Час
1	Температура зерна в 2 зона	Θ_{232}	°C	44	1	3	10
2	Кінцева вологість зерна	$W_{внх}$	%	14	0.5	1	15

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, в яких ведеться процес.

Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

СИРОВИННІ ПАРАМЕТРИ характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри Початкова вологість сирого зерна

Початкова температура зерна

Засміченість зернової маси (наявність соломистих та бур'янистих домішок, що впливає на аеродинамічний опір);

Культура та сорт зерна (впливає на теплофізичні властивості та гранично допустиму температуру нагріву).

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ характеризують енергію, яка підводиться до технологічного устаткування ззовні і витрачається на зміну властивостей продуктів.

До цієї групи параметрів віднесемо

Стан сушильних коробів шахти (ступінь налипання пилю, наявність завалів);

Стан завантажувальних та вивантажувальних механізмів (ступінь зносу шнеків чи випускної каретки);

Робота системи відведення сухого продукту (стан норій, конвеєрів та оперативних бункерів);

Стан паливного контуру топки (робота пальника, наявність витоків, стабільність тиску газу/рідкого палива).

МЕХАНІЧНІ (або інші специфічні) параметри технологічного устаткування характеризують стан її робочих органів.

До цієї групи параметрів віднесемо

U (подача палива на пальник пальника)

Поточна температура зерна у другій зоні сушіння (Θ_{32});

Кінцева вологість зерна на виході з сушарки $W_{вих}$).

1.4 Аналіз впливу ефективності керування технологічним агрегатом на показники якості продукції, її собівартість. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи

У процесі функціонування модернізованої САК повинно бути підвищення якості регулювання регламентованих змінних.

Потенційними джерелами економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи є:

Зменшення витрат горючого пального (мазуту або палива)

Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності зведемо в таблицю 1.2.

Статті витрат	Очікуване джерело економії	Кількісна оцінка

Витрати горючого пального (мазут або паливо)	Меньше використання пального для сушіння продукції	Умовно змінна норма витрати пари: до автоматизації – Мазут: ~ 300 т/год після автоматизації – 250т/год
--	---	--

Таблиця 1.2 – Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності

1.5 Конкретизація мети модернізації системи

Економічна винагорода – підвищення конкурентоспроможності підприємства та прибутковості підприємства за рахунок підвищення якості регулювання регламентованих змін та зниження питомих витрат енергоресурсів при впровадженні модернізованої САК.

Система керування процесом сушіння зерна реалізована на базі технічних і програмних засобів із отриманням інформації про змінні процеси та реалізацією керуючих впливів, за допомогою ПЕОМ та ПЕОМ.

Система повинна реалізовувати такі функції:

а) інформаційну:

- збір та обробка технологічної інформації;
- оперативне відображення технологічної інформації;
- зберігання технологічної інформації;

б) керівники:

- стабілізація технологічних параметрів;
- вибір режимів керування;
- автоматичне логічне керування агрегатом у стандартних і нестандартних

ситах.

1.6 Висновок за розділом

В якості об'єкта дослідження системи автоматизації обрано шахтну зерносушарку ДСП-32. Зроблено опис та аналіз технологічного процесу сушіння зерна та необхідного обладнання.

Економічна винагорода – підвищення конкурентоспроможності

підприємства та прибутковості підприємства за рахунок підвищення якості регулювання регламентованих змін та зниження питомих витрат енергоресурсів при впровадженні модернізованої САК. Витрата на теплоносії здійснюється за рахунок якісного контролю температури.

З огляду на вищезазначене, необхідно вдосконалювати контроль якості, вдосконалювати алгоритми керування, розвивати контролерно-комп'ютерні мережі, а також розробляти SCADA для автоматизованого робочого місця оператора.

РОЗДІЛ 2 КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ ЗЕРНА В ШАХТНІЙ ЗЕРНОСУШАРЦІ, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

2.1 Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань по номенклатурі і об'єму продукції і отримання при цьому певного економічного ефекту. Останній характеризується показниками прибутку, собівартості, розмірами виплачених штрафних санкцій і так далі

Декомпозиція цієї спільної («глобальної») мети для нижчих рівнів виробничої ієрархії призводить до наступних цілей:

а) на рівні окремого технологічного процесу - координація роботи технологічного устаткування, на якому реалізується процес;

б) на рівні окремих одиниць технологічного устаткування (локальні цілі) - виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема - оптимізація роботи окремих одиниць устаткування ("локальна" оптимізація).

Звідси завдання управління можна підрозділити на:

а) завдання регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту. Отже, змінні, що відповідають технологічним і експлуатаційним параметрам будуть регульованими змінними об'єкту управління;

б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованого критерію, вирішуються завдання оптимізації процесу.

Для процесу сушіння зерна в якості проміжної регульованої координати доцільно вибрати температуру зерна в зоні 2, та кінцевої регульованої координати вологість зерна на виході.

Необхідною умовою рішення завдань управління є наявність дій, що управляють, які мають бути вхідними змінними (координатами) ОУ. Для завдань регулювання, такими діями, що управляють (що регулюють), передусім, являються дії, які цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме - положення регулюючих органів. Кількість регулюючих дій має дорівнювати кількості регульованих змінних.

Для процесу сушіння зерна до дій, що управляють, доцільно віднести положення регулюючого органу на паливопроводі (u_1).

Після того, як визначені дії, що управляють, усі інші вхідні змінні потрапляють в розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

Збурення по їх наслідках можна підрозділити на:

- а) «сильні» і «слабкі»;
- б) координатні, такі, що призводять до зміни змінних в моделі, і параметричні, такі, що призводять до зміни змінних і параметрів моделі;
- в) збурення, наслідки яких необхідно усувати, і шуми.

Шуми принципово відрізняються від інших збурень тим, що наслідки їх дії або пов'язані із спотвореннями результатів виміру змінних (координат), або з високочастотними змінами цих змінних, компенсувати які, хоч би частково, за рахунок дій, що управляють, неможливо із-за великих інерційності і запізнювання каналу управління.

Інформацію про найбільш сильні збурення доцільно використати в пристрої, що управляє, для підвищення якості управління. Тому, в цьому випадку, відповідні вхідні змінні необхідно виділити з маси інших. Їх називають контрольованими збуреннями. Введення контрольованих збурень ускладнює математичну модель, тому їх вибір має бути досить обґрунтований.

Усі неконтрольовані координатні збурення (хоча їм відповідають абсолютно різні параметри ТП) формально об'єднують в групи неконтрольованих координатних збурень (по числу дій, що управляють) вони

мають загальні (контрольовані) наслідки - примушують змінюватися керовані змінні. Еквівалентні координатні неконтрольовані збурення вважають діючими адитивно або діям, що управляють, або керованим змінним. У цих випадках їх фізична інтерпретація і розмірність їх одиниць виміру визначається точкою їх прикладення. В деяких випадках зручно детерміновану складову збурення приводити до управління, а стохастичну - до керованої змінної.

Параметричні збурення при управлінні ТП, як правило, є неконтрольованими. Спектральний склад збурюючих дій істотно різний для різних груп збурень. Для «наших умов» усі збурення, що відносяться до об'єкту оптимізації, є істотно більше низькочастотними в порівнянні з збуреннями, що відносяться до об'єкту регулювання. Параметричні збурення є істотно більше низькочастотними в порівнянні з координатними. Самими високочастотними збуреннями є шуми.

Структурна схема ОУ є черговим і останнім етапом формалізації представлення технологічного процесу як ОУ. Розробка схеми проводиться на основі результатів досліджень, викладених в п.п. 1.3.1 - 1.3.3. Характерною особливістю схеми, її принциповою відмінністю від параметричної схеми ТП, є використання абсолютно іншого понятійного апарату, загального з ТАУ. Поняття параметр замінюється на «змінна (координата)». При цьому вихідні змінні ОУ можуть бути регульованими, такими, що оптимізуються, або, в загальному випадку, керованими. Вхідні змінні можуть бути такими, що регулюють, оптимізують, керують, збурюють змінними. Іноді замість терміну «змінна» використовують термін «дія».

Структурна схема ОУ по суті справи є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОУ.

Структурна схема процесу сушіння овочів і фруктів приведена на Рисунку 2.1.

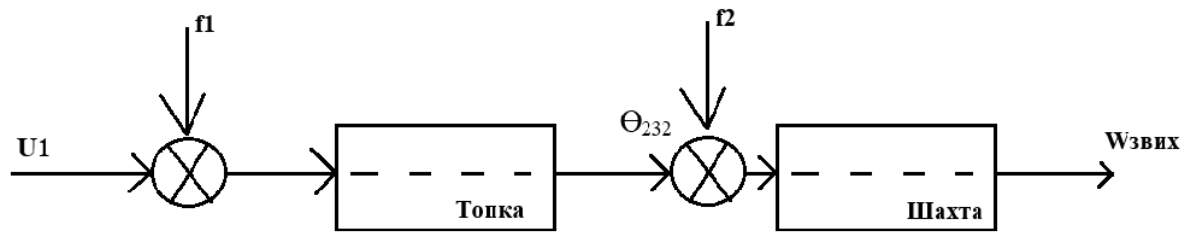


Рисунок 2.1 – Структурна схема процесу сушіння зерна в апараті

ДСП-32 як об'єкта керування

На схемі зображено каскадну (двоконтурну) систему автоматичного регулювання, яка складається з двох взаємопов'язаних контурів:

1. Внутрішній контур: Регулятор Рег1 стабілізує температуру зерна (y_1) у другій зоні сушарки. Він миттєво відпрацьовує коливання в топці, змінюючи подачу палива (U).

2. Зовнішній контур: Регулятор Рег2 контролює кінцеву вологість зерна (y_2) на виході (14.6%). Він є коригуючим і видає динамічну уставку для внутрішнього контуру температури.

3. Подача палива U через ланку $W_1(p)$ змінює температуру зерна y_1 , яка через ланку $W_2(p)$ впливає на кінцеву вологість y_2 . Контрольовані збурення (f_1, f_2) діють через свої канали, викликаючи відхилення режимів, які каскадна система ефективно компенсує.

2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

Перед початком експериментів доцільно на основі апріорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, оцінити, нехай заздалегідь, властивості каналів, моделі яких підлягають ідентифікації. По суті справи - провести попередню структурну ідентифікацію. Це необхідно, передусім, для того, щоб спростити і прискорити виявлення настання режимів вихідних змінних, що встановилися. Для технологічних процесів фізична суть каналів перетворення дій пов'язана, як правило, з перетвореннями речовини і енергії. У тих

випадках, якщо між їх "припливами" і "відтоками" встановлюються динамічні рівноваги, які відновлюються після всякого їх порушення без дій, що управляють, то такі канали є статичними (з самовирівнюванням). Інакше - канали астатичні (без самовирівнювання).

Для технологічного процесу сушіння зерна як по каналу управління, так і по каналу контрольованого збурення ОУ має властивість самовирівнювання, тому технологічний процес є тепловим. Збільшення управляючої дії приведе до падіння вологості сухого продукту. Виходячи з фізичної суті процесів, які протікають в ОУ, відомо, що відносно повною мірою математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференціальними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОУ пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни регульованих координат. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями, тобто допустимою є лінеаризація моделі ОУ. Таке спрощення моделі, з одного боку, призводить до неточності опису процесів, а з іншого боку, дозволить істотно спростити процедуру ідентифікації моделі з використанням інженерних методик.

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхідні змінні яких є доступними для цілеспрямованої зміни. Ними, передусім, являються дії, що управляють. При цьому експериментатор може вибирати, в принципі, вхідну дію будь-якої форми (ступінчасту, лінійно зростаючу, імпульсну, гармонійну, випадкову). Проте, з розуміння простоти організації цих дій, мінімізації витрат часу на проведення експерименту і обробки його результатів, доцільно використати ступінчасті дії. У будь-якому випадку, суть експериментів складається в зміні заданим чином вхідних (деяких або усіх) змінних каналів ОУ і реєстрації реакції на ці зміни усіх початкових змінних. Для спрощення обробки результатів доцільно подавати дії по черзі на кожного з каналів окремо, фіксуючи реакції усіх виходів.

План активного експерименту:

Вихід на режим: За допомогою зміни управляючих дій (витрата палива U_1) домагаємося стабілізації регульованих координат в околицях їх номінальних значень. Для нашої сушарки значенню $U_1 = 50\%$ будуть відповідати початкові значення координат: вологість зерна на виході $W_{\text{вих}} = 15\%$ та температура зерна в другій зоні $Q_{z2z} = 44\text{ }^{\circ}\text{C}$

Стабілізація: Чекаємо закінчення перехідних процесів у каналах та настання сталих режимів, при яких температура та вологість перестануть змінюватися

Ступінчастий вплив: Змінимо управляючу дію U_1 ступінчастим чином на 5% (50% до 55%).

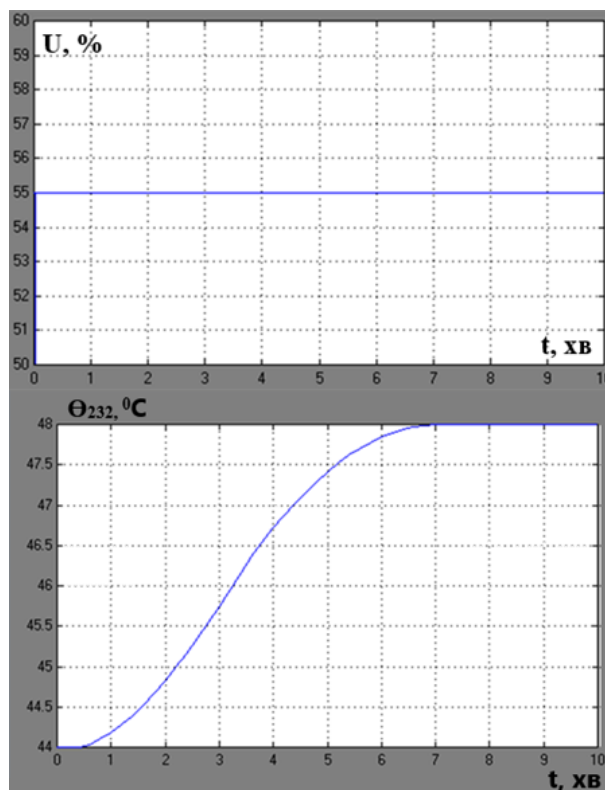
Реєстрація даних: Реєструємо зміну вихідних змінних протягом 10 хвилин (або до настання нових сталих режимів). При цьому фіксуємо:

Для температури Q_{z2z} : зростання з $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $48\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для вологості $W_{\text{вих}}$: транспортне запізнення тривалістю 2.5 хв після чого плавне зниження з 15% до 14.6% .

Скидання: Повертаємо U_1 у вихідний стан (50%), чекаємо закінчення перехідних процесів та повного відновлення початкових параметрів об'єкта.

Результати активного експерименту приведені на Рисунок 2.2.



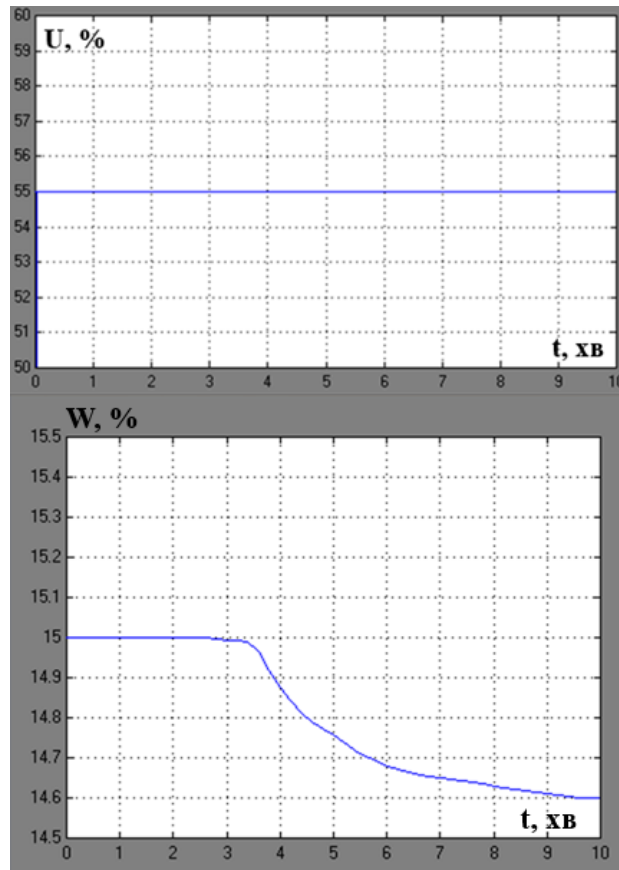


Рисунок 2.2 – Результати активного експерименту

За результатами активного експерименту (рис. 2.2) можна зробити висновок, що за всіма канал наш ОК має властивість самовирівнювання, а тому може бути описаний передаточними функціями такого вигляду: $WO(p) = KO \cdot e^{-\tau Op} TOp+1$; $WO(p) = KO \cdot e^{-\tau Op} (TOp+1)^2$

Параметричну ідентифікацію математичних моделей каналів об'єкта керування проводитимемо за інженерною методикою «двох загальних точок» для моделей 1-го порядку з запізненням. Для повного визначення параметрів лінеаризованої моделі статичного об'єкта необхідно знайти коефіцієнт передачі (K), сталу часу (T) і час чистого запізнення (tau).

Розглянемо проведення параметричної ідентифікації для першого динамічного контуру — каналу «U — Θ_{232} ».

Модель 1-го порядку

$$K = 4/5 = 0.8 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$$

Для моделі 1-го порядку Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3),

знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

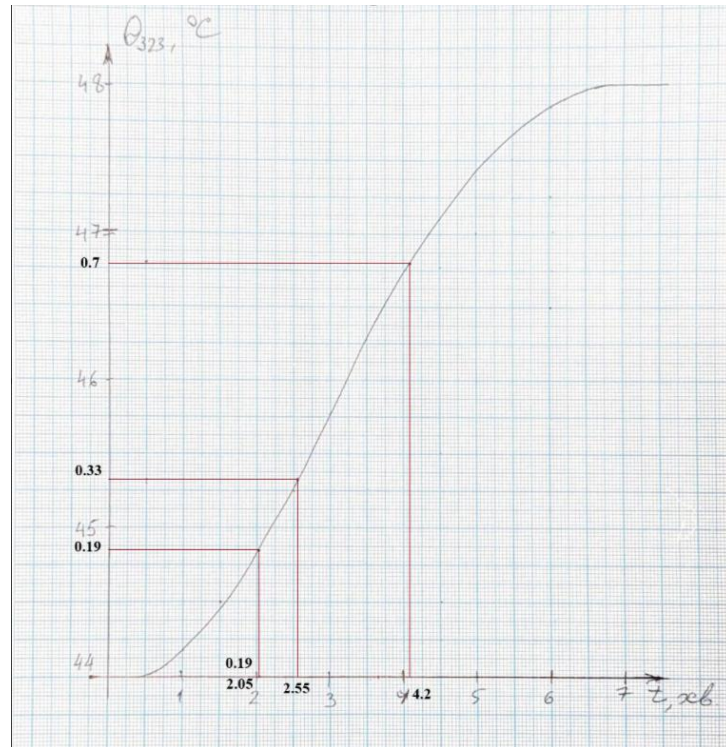


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом «U – θ_{232} »

$$\tau = 0.5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0.5 \cdot (3 \cdot 2.55 - 4.2) = 1.73$$

$$t_{0,33} = 2.55 \text{ хв}$$

$$t_{0,7} = 4.2 \text{ хв}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1.2 = (4.2 - 1.73) / 1.2 = 2.06$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_{U-\theta_{232}}^1(P) = \frac{0.8e^{-1.73s}}{2.06s + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

Модель 2-го порядку

$$K_{ij} = 4/5 = 0.8 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$$

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 2.05 - 4.2) / 2 = 0.98 \text{ хв}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2.4 = (4.2 - 0.975) / 2.4 = 1.34 \text{ хв}$$

$$t_{0,19} = 2.05 \text{ хв}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_{U-\theta_{232}}^2(p) = \frac{0,8 \cdot e^{-0,98p}}{(1,34p + 1)^2}$$

2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані безпосередньо з діючого підприємства немає, то з навчальною метою можна скористатися програмним генератором даних. Для генерації результатів пасивного експерименту з метою дослідження неконтрольованих збурень (f) необхідно визначити базові технологічні параметри об'єкта:

1. Яким є мінімальне і задане значення регульованої координати? Для досліджуваного об'єкта (канал кінцевої вологості зерна) цільове задане значення становить $W_{здн} = 14\%$, а початкова вологість вологого зерна без увімкненого контуру керування паливом становить $W = 20\%$.

2. Яким є значення і розмірність часу запізнення в каналі управління для досліджуваної регульованої координати? Для масообмінного каналу сушильної шахти ДСП-32 час транспортного запізнення становить $\tau = 4,8 \text{ хв}$.

Генерацію результатів пасивного експерименту забезпечує спеціалізована програма `rgep` у середовищі MATLAB. Вона дозволяє змоделювати випадковий стохастичний процес, який імітує нерівномірність вологості всередині насипу зернової маси та випадкові коливання зовнішнього атмосферного повітря.

Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованих стохастичних збурень $f(t)$ для зерносушарки ДСП-32, наведені на рис. 2.4.

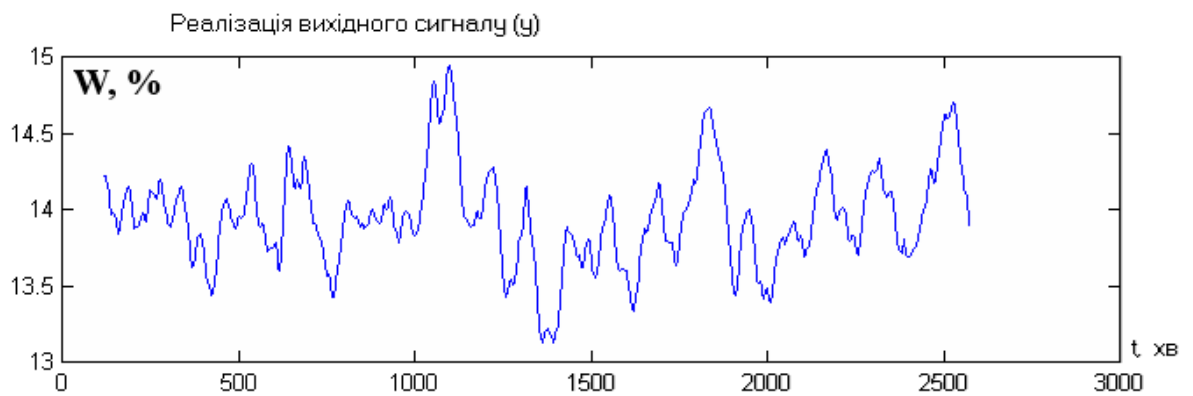


Рис. 2.4 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

Для проведення параметричної та структурної ідентифікації моделей неконтрольованих координатних збурень сушильної шахти ДСП-32 використовується спеціалізований програмний комплекс IdSoft у середовищі MATLAB.

Першим етапом ідентифікації моделі стохастичних збурень є оцінювання імовірнісних характеристик згенерованого випадкового процесу, який моделює коливання вхідної вологості зернової маси. За допомогою декількох алгоритмів програми IdSoft виконується розрахунок таких статистичних параметрів:

- Щільності імовірності розподілу випадкової величини;
- Математичного очікування (яке визначає середнє зміщення процесу відносно номінального режиму);
- Дисперсії та середньоквадратичного відхилення (що характеризують амплітуду та потужність випадкових коливань вологості);
- Середньоквадратичного періоду (СКП) та загальної кількості СКП у межах досліджуваної реалізації випадкового процесу;
- Нормованої автокореляційної функції (яка показує ступінь статистичного зв'язку між моментами часу) та спектральної щільності випадкового процесу.

Розраховані статистичні характеристики дозволяють визначити внутрішню структуру випадкового процесу та обрати математичну форму для

апроксимації кореляційної функції (наприклад, у вигляді затухаючої експоненти або експоненціального синуса).

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням вологості в ДСП-32, наведені на рис. 2.5.

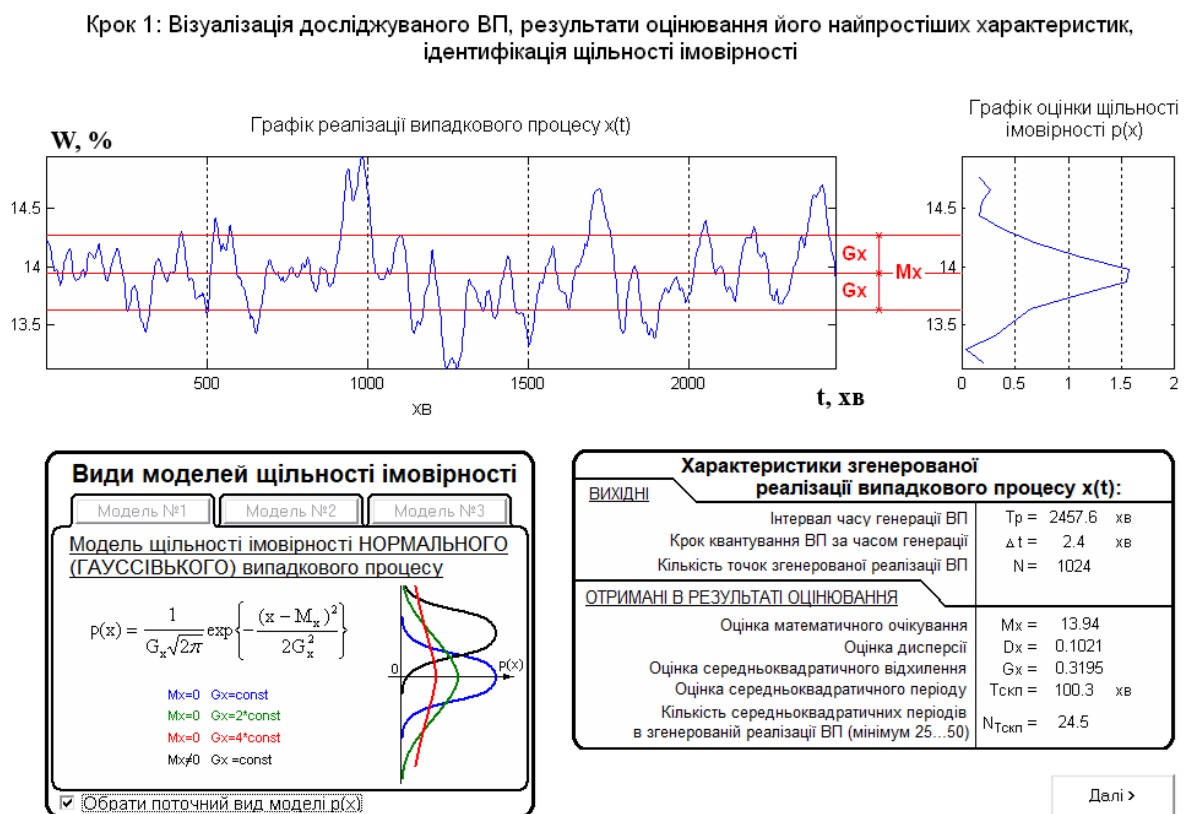


Рис. 2.5 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

За результатами оцінювання щільності імовірності випадкового процесу обирається його модель. В якості моделі обираємо нормальний випадковий процес:

$$p(x) = \frac{1}{G_x \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(x - M_x)^2}{2G_x^2} \right\}$$

За результатами оцінювання нормованих кореляційних функцій з набору типових вибираємо два варіанти моделей кореляційних функцій і спектральних щільностей:

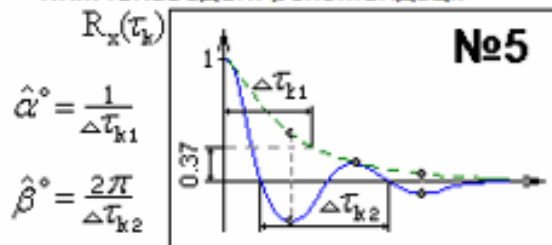
Для моделі №5

Обрані Вами моделі R_x та S_x

$$R_x(\tau_k) = D_x \exp\{-\alpha |\tau_k|\} \cos(\beta |\tau_k|)$$

$$S_x(\omega) = \frac{D_x 2\alpha(\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}$$

Розрахунок початкових наближень оптимізованих параметрів можна здійснювати, використовуючи нижченаведені рекомендації



Параметрами моделей випадкових складових стохастичних збурень є коефіцієнт спаду (характеризує швидкість загасання автокореляційної функції) та коефіцієнт коливальності β (визначає домінуючу частоту коливань процесу). Пошук значень цих параметрів є суттю параметричної ідентифікації моделі стохастичної складової збурень. Вона ведеться у два етапи:

1. Вибір початкових наближень параметрів α та β ;
2. Оптимізація та пошук точних значень параметрів, які забезпечують мінімальне відхилення моделі від її експериментальної оцінки.

При виборі початкових наближень параметрів використовуються аналітичні рекомендації та інструментарій програми IdSoft. Для досліджуваної моделі випадкових збурень вологості в зерносушарці ДСП-32 (Варіант №6) розрахунок початкових значень параметрів за експериментальними інтервалами часу виконується за наступними формулами:

1. Розрахунок коефіцієнта спаду

$$\alpha = 1 / \Delta\tau_{K1} = 1 / 40 = 0,025$$

2. Розрахунок коефіцієнта коливальності

$$\beta = 2\pi / \Delta\tau_{K2} = 6,28 / 1000 = 0,006$$

При подальшій параметричній оптимізації моделі в середовищі MATLAB використовується пошукова процедура, що базується на квадратичному критерії (мінімізація середньоквадратичної помилки між теоретичною та експериментальною автокореляційними функціями).

В результаті процедури оптимізації було отримано точні значення параметрів форми випадкового процесу, що дозволило сформувати динамічний фільтр (формуючий фільтр білого шуму) для імітаційного моделювання випадкових збурень вологості в повній схемі САР ДСП-32.

Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.6, моделі №6 – на рис. 2.7, а підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.8.

Крок 3: Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції і спектральної щільності ВП

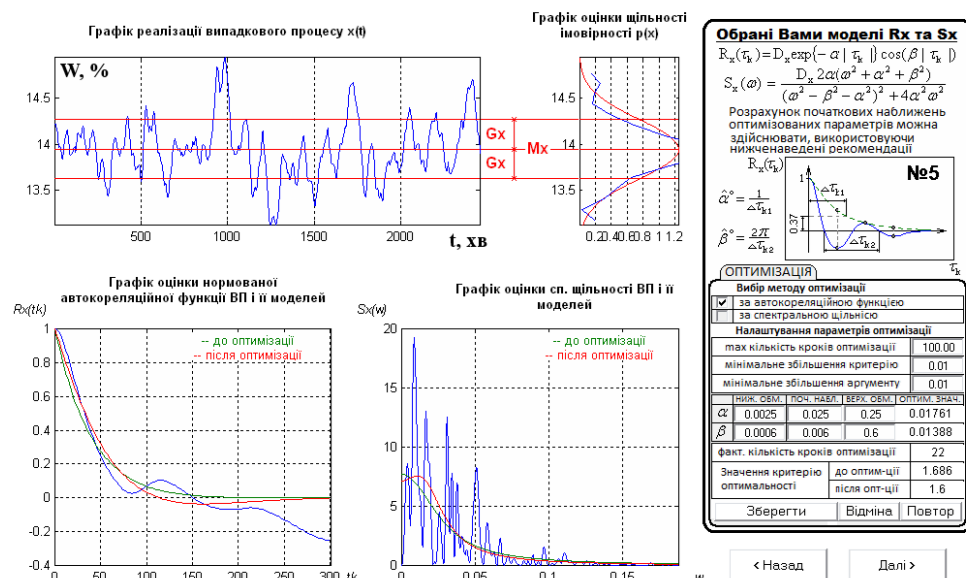


Рис. 2.6 – Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

Крок 3: Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції і спектральної щільності ВП

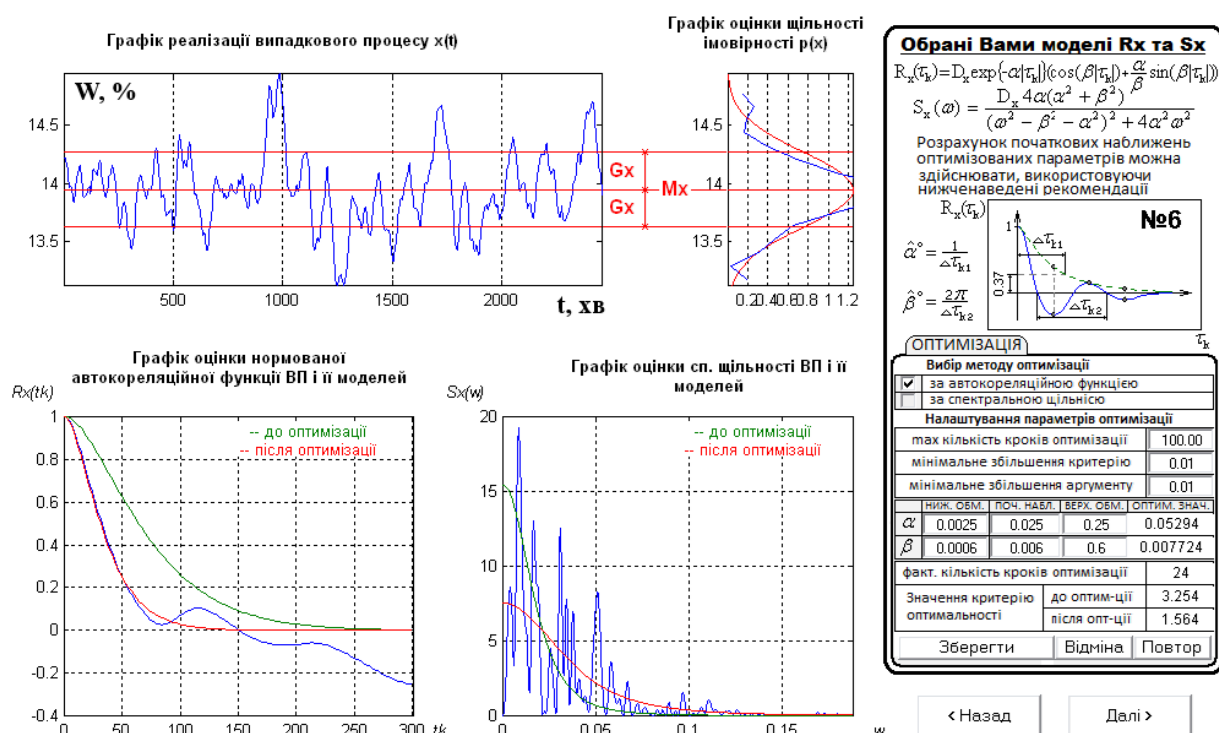


Рис. 2.7 – Результати параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень

Крок 4: Підсумки ідентифікації моделей випадкових процесів

Таблиця результатів ідентифікації						
Номер моделі	α	β	A	C	γ	Значення критерію оптимізації
☒ 1	0.025625	-	-	-	-	2.9328
☒ 5	0.017607	0.013884	-	-	-	2.5511
☒ 6	0.052942	0.0077244	-	-	-	2.4469

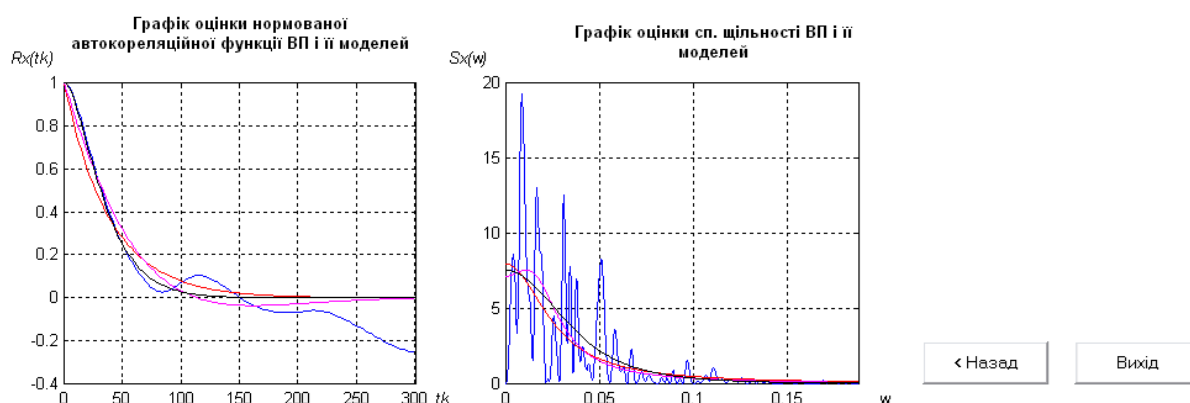


Рис. 2.8 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих

збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 3.6), кращою є модель №5, тому що для цієї моделі меншими є середньоквадратичні відхилення моделі від оцінок експериментальних кореляційних функцій. Вона забезпечує найбільш точну апроксимацію стохастичного процесу коливань вологості зерна в сушарці ДСП-32.

2.4 Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

У цьому підрозділі в пакеті Simulink середовища MATLAB для динамічних каналів зерносушарки ДСП-32 розробляються схеми порівняльного моделювання. Дослідженню підлягають моделі першого та другого порядків для наступних технологічних каналів:

- «U1 - θ_{232} » — канал нагріву зерна паливом у топці;
- « θ_{232} - Wвих» — послідовний канал видалення вологи в сушильній шахті;
- «U1 - Wвих» — скрізний еквівалентний канал керування вологістю за допомогою подачі палива.

У розділі 2 було теоретично та експериментально визначено параметри передавальних функцій за вказаними каналами об'єкта керування. Результати параметричної ідентифікації зведено в підсумкову таблицю 4.1.

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
«U- θ_{232} »	$W_{U1-\theta_{232}}^1(p) = \frac{0.8e^{-1.73p}}{2.06p + 1}$	$W_{U1-\theta_{232}}^1(p) = \frac{0.8 \cdot e^{-0.98p}}{(1.34p + 1)^2}$
«U-W»	$W_{U1-W}^0(p) = \frac{-0.08 \cdot e^{-4.8p}}{1.63p + 1}$	$W_{U1-W}^0(p) = \frac{-0.08 \cdot e^{-3.7p}}{(1.25p + 1)^2}$
« θ_{232} -W»	$W_{\theta_{232}-W}^2(p) = \frac{-0.1 \cdot e^{-2.05p}}{0.48p + 1}$	$W_{\theta_{232}-W}^2(p) = \frac{-0.1 \cdot e^{-2.2p}}{(0.18p + 1)^2}$

--	--	--

Таблиця 2.1 – Результати ідентифікації моделей каналів

Моделі повинні мати один вхід, а їхній вихід виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж саму систему координат зводяться й відповідні експериментальні дані для перевірки адекватності.

Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують масиви точок у табличному вигляді та реалізують їх у компоненті Look-Up Table. Для досліджуваного об'єкта керування (зерносушарки ДСП-32) експериментальні дані для базових каналів перетворення координат «U- Θ_{232} » та «U-W» зведено в таблиці 2.2 та 2.3 відповідно.

Схеми порівняльного моделювання динаміки для зазначених каналів ОК наведені на рис. 2.9 та рис. 2.10, а отримані в результаті комп'ютерного експерименту графіки перехідних процесів (порівняння моделі та об'єкта) — на рис. 2.11 та рис. 2.12 відповідно.

t, хв	Θ_{232}	t, хв	Θ_{232}	t, хв	Θ_{232}
0	44	3	45.75	6	47.85
0.25	44	3.25	46.025	6.25	47.92
0.5	44	3.5	46.3	6.5	47.97
0.75	44.07	3.75	46.525	6.75	48
1	44.17	4	46.725	7	48
1.25	44.30	4.25	46.925	7.25	48
1.5	44.45	4.5	47.1	7.5	48
1.75	44.62	4.75	47.27	7.75	48
2	44.82	5	47.42	8	48
2.25	45.05	5.25	47.57		
2.5	45.25	5.5	47.67		
2.75	45.50	5.75	47.77		

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані за каналом «U – θ_{232} »

t, хв	W _{вих}	t, хв	W _{вих}
0	15	4.5	14.94
0.5	15	5	14.90
1	15	5.5	14.85
1.5	15	6	14.79
2	15	6.5	14.73
2.5	15	7	14.70
3	14.99	7.5	14.67
3.5	14.98	8	14.64
4	14.97	8.5	14.63
		9	14.62
		9.5	14.61
		10	14.6
		10.5	14.6

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані за каналом «U – W_{вих}»

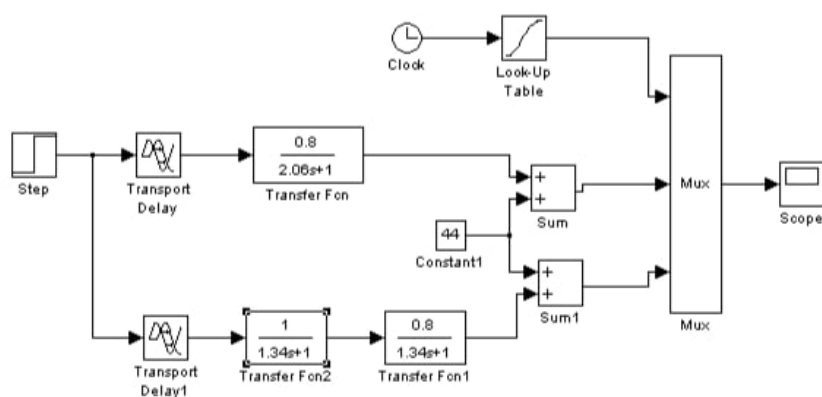


Рис. 2.9 – Схема моделювання ОК за каналом «U – θ_{232} »

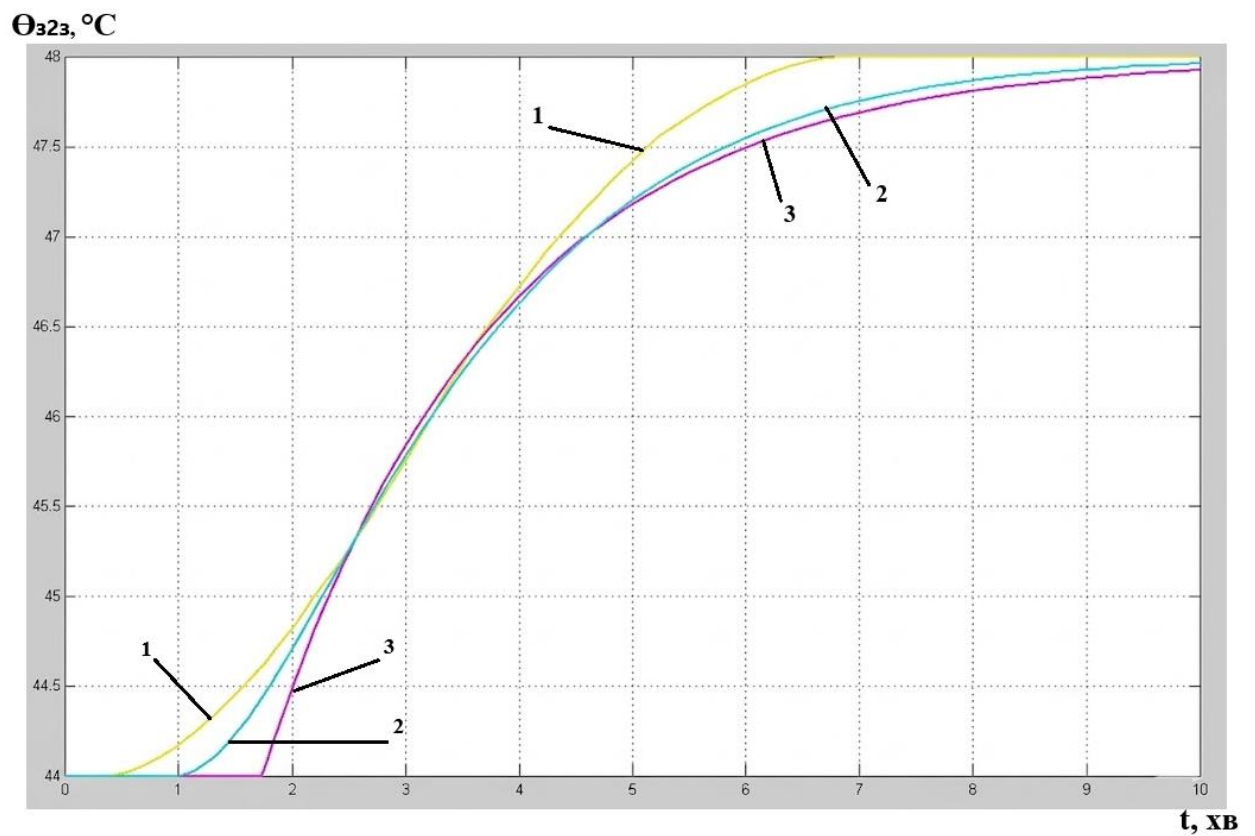


Рис. 2.10 – Результати моделювання ОК по каналу «U – θ_{232} ».

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку; 3 – модель 1-го порядку.

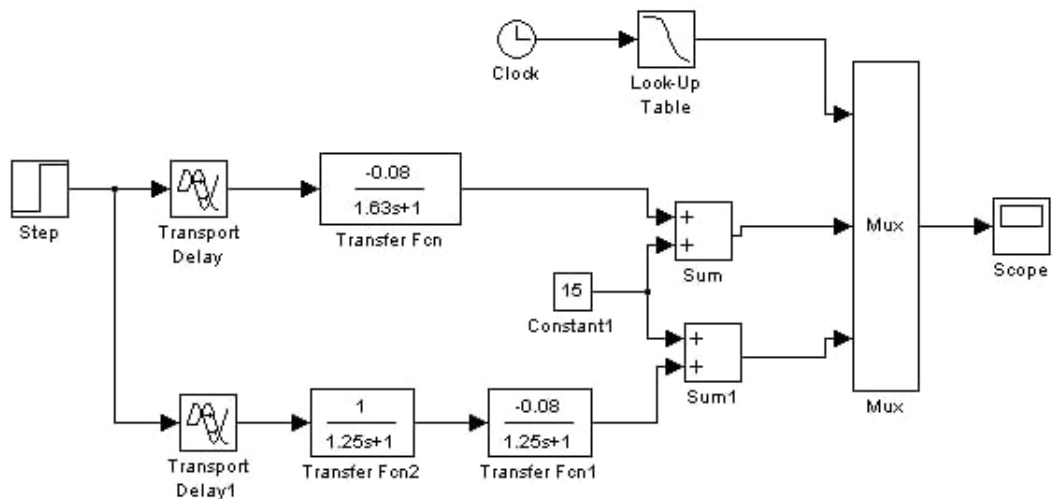


Рис. 2.11 – Схема моделювання за каналом «U – $W_{вих}, \%$ »

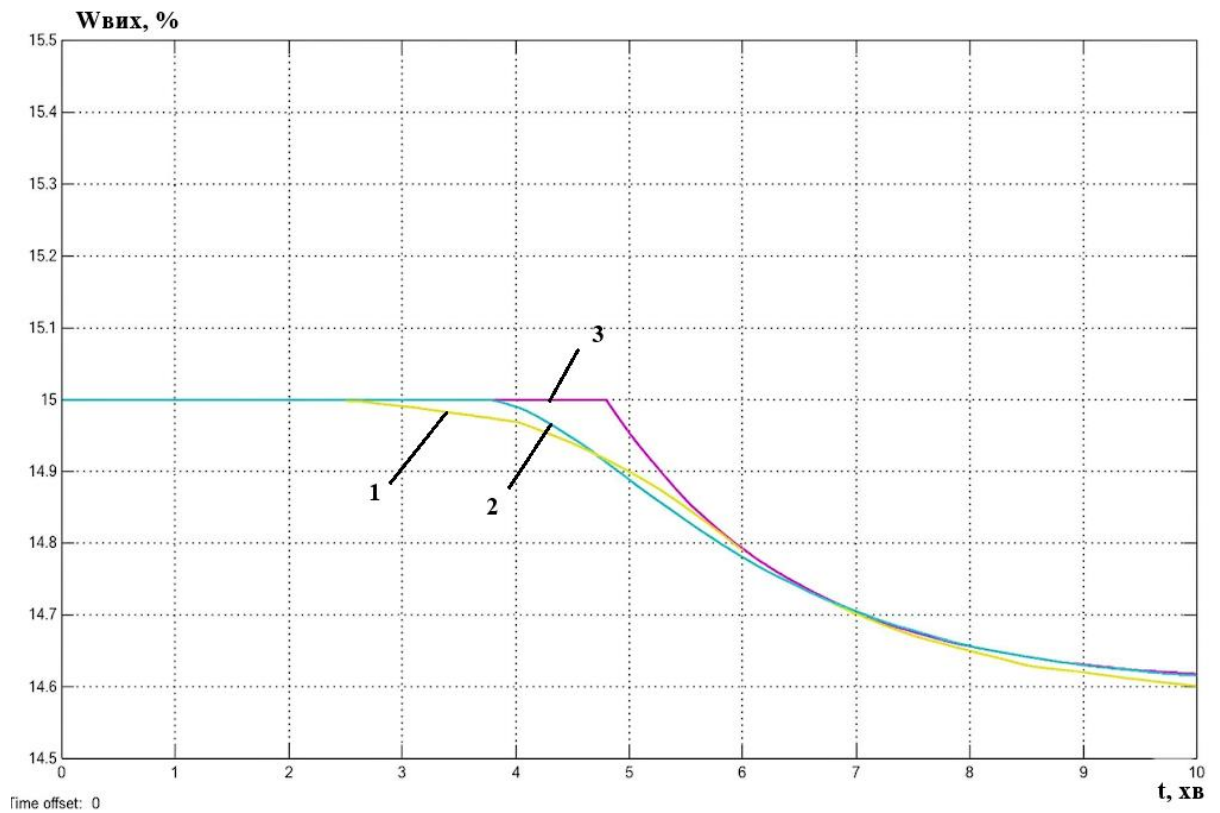


Рис. 2.12 – Результати моделювання ОК по каналу « U – $W_{вих}$, % »

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку; 3 – модель 1-го порядку

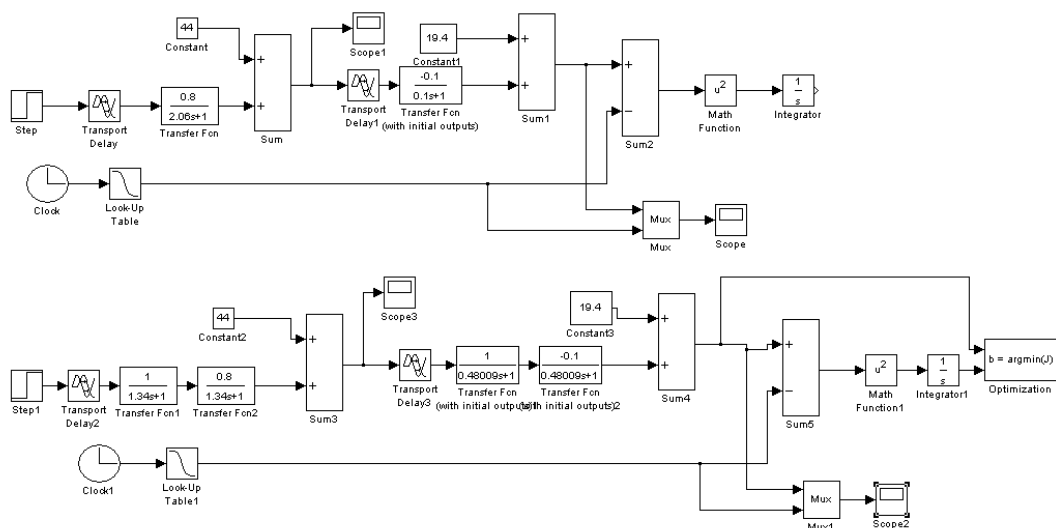


Рис. 2.13 – Схема моделювання ОК за каналом « θ_{232} – $W_{вих}$ »

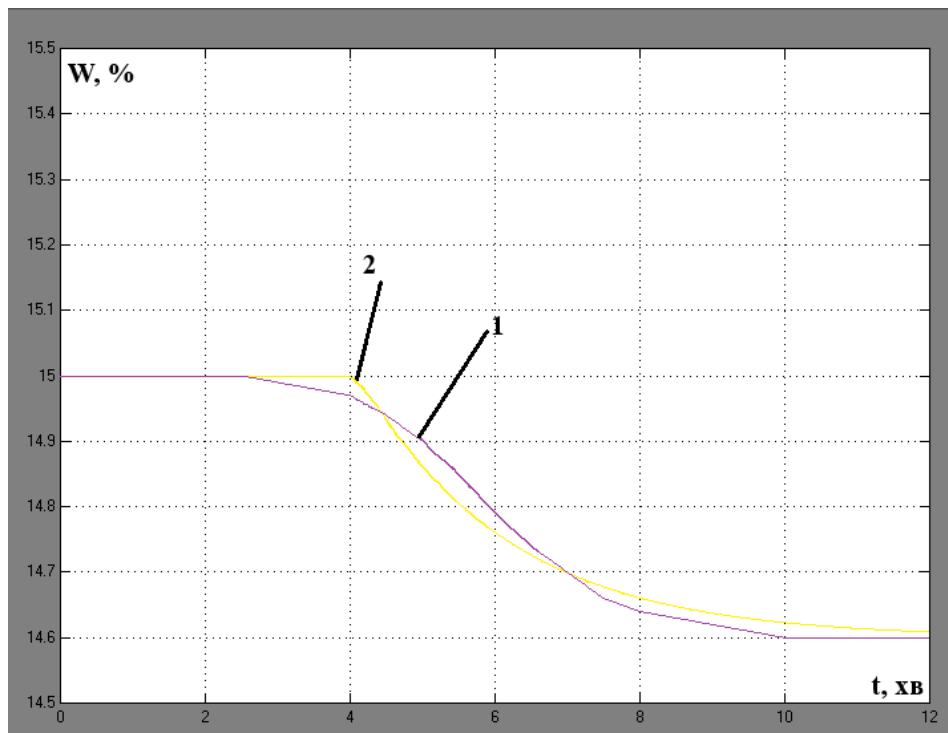


Рис. 2.14 – Результати моделювання ОК по каналу «0232 – Wвих» за моделлю 1-го порядку: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

2.5 Висновок за розділом

В ході виконання цієї частини роботи було виявлено, що якісна реалізація технологічного процесу залежить від точності підтримки режимного параметра. Дією, що управляє, може виступати положення регулюючого органу на паливо-проводі.

По усіх каналах об'єкт має статичні властивості і найточніше може бути описаний моделями другого порядку. Ідентифікація моделей каналів ОУ, доступних для цілеспрямованої дії, застосовувався метод активного експерименту з нанесенням на вхід каналу 5 % -вої ступінчастої дії, для параметричної ідентифікації моделей каналу управління застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку. Ідентифікація моделі каналу ОУ, недоступного для цілеспрямованої дії (канал контрольованого збурення), застосовувався спрощений метод, тобто так само методика двох загальних точок.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМИ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР

3.1 Конкретизація завдань регулювання процесу сушіння зерна у шахтній зерносушарці

Загальною задачею керування є керування продуктовими та енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкту керування (Θ_{232} та $W_{\text{вих}}$) на їх заданих значеннях ($\Theta_{232}^{\text{ЗДН}}$ та $W_{\text{вих}}^{\text{ЗДН}}$) - задача регулювання;
- пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його змінних властивостей завданням - задача адаптації;
- забезпечення найкращих (оптимальних) в певному (заданому) сенсі режимів роботи об'єкта керування - задача оптимізації;
- забезпечити включення і відключення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.
- Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із задач керування.
- Для задачі регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної та економічно доцільною реалізації технологічного процесу сушіння зерна у шахтній зерносушарці необхідно регулювати температуру зерна 2 зони Θ_{232} , та вологість вихідного зерна $W_{\text{вих}}$.
- Для задачі адаптації слід автоматизувати пристосування в процесі роботи об'єкту керування до його мінливим властивостям, завданням. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Цю задачу можна розв'язати, міняючи (коригуючи) налаштування регуляторів у процесі роботи установки.

- Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу сушіння зерна у шахтній зерносушарці цю задачу можна розв'язати, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання.

- Процес сушіння зерна у шахтній зерносушарці є об'єктом неперервної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять в дистанційному режимі. Режими пуску і зупинки є неекономічними режимами роботи установки. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці задачі. Тому для розглянутого технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування.

- Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. Таблицю 1.1) температура зерна в 2 зоні повинна підтримуватися на рівні 44 ± 1 °C. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до ± 3 °C протягом часу не більше 10 хвилин. Регламентна зона для цього параметру наведена на рисунку 3.1.

- Вологість зерна на виході повинна підтримуватися на рівні $14 \pm 0.5\%$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 1\%$ протягом часу не більше 15 хвилин. Регламентна зона для цього параметру наведена на рисунку 3.2.

Таблиця 3.1 – Таблиця регламентів

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
						Величина	Час
1	Температура зерна в 2 зона	Θ_{232}	°C	44	1	3	10
2	Кінцева вологість зерна	$W_{вих}$	%	14	0.5	1	15

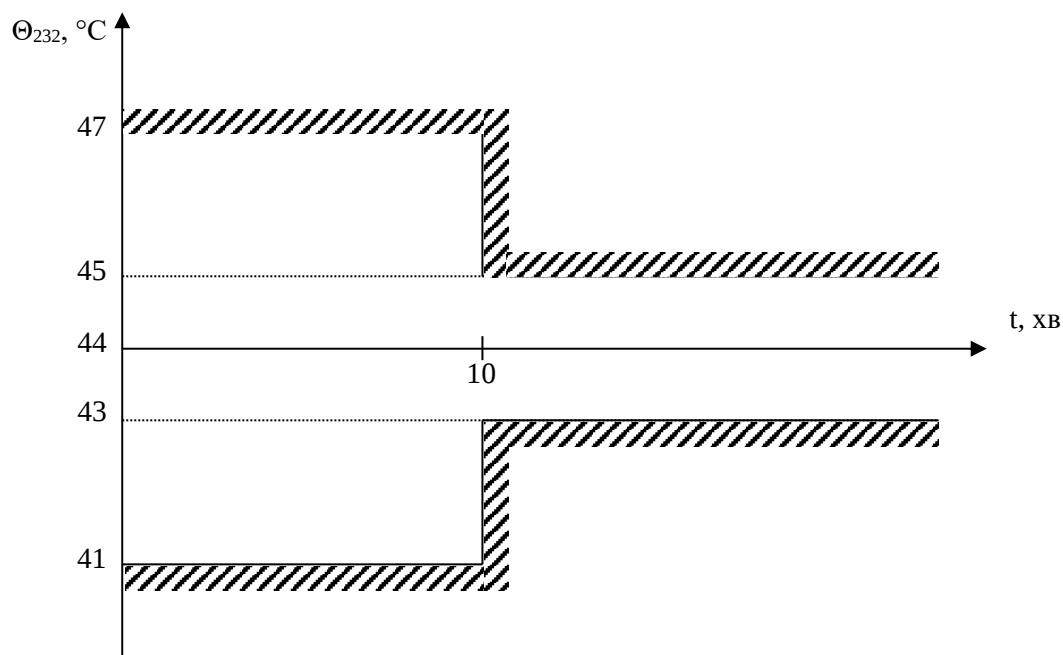


Рис. 3.1 – Регламентна зона для температури зерна у 2 зоні

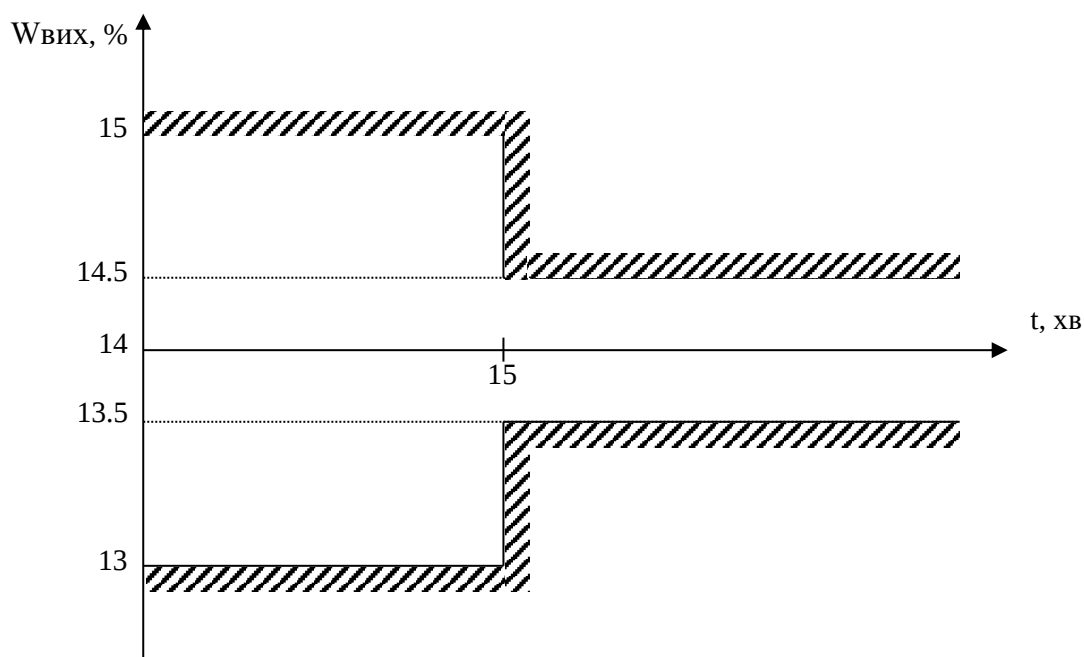


Рис. 3.2 – Регламентна зона для кінцевої вологості зерна

Як видно з технологічних регламентів на САР для процесу тепломасообміну в зерносушарці ДСП-32, особливо жорсткі вимоги пред'являються до тривалих

статичних відхилень від номіналу. Саме тривале недосушування зерна (веде до його псування на елеваторі) або пересушування (призводить до значних економічних збитків через втрату товарної ваги продукту та перевитрату газу) є критичними для виробництва.

При цьому максимальні динамічні відхилення в моменти нанесення ступінчастих збурень регламентуються менш жорстко, якщо вони згасають у межах допустимого часу.

Тому для проведення процедури оптимального параметричного синтезу налаштувань регуляторів у якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний критерій, який суттєво «штрафує» систему навіть за тривалі малі (незначні) відхилення координати від уставки.

З урахуванням цього, оцінка ефективності роботи САР кінцевої вологості зерна та підвищення її динамічної точності в роботі ведеться за наступним математичним критерієм оптимальності:

$$J = \int_0^{t_M} |\Delta W_{\text{вих}}(t)| dt$$

де t_M – час моделювання;

Основу керування становить інформація про мету управління або про бажаний стан ОК ($\Theta_{232}^{3\text{ДН}}$, $W_{\text{вих}}^{3\text{ДН}}$), про поточний стан ОК (Θ_{232} , $W_{\text{вих}}$) і про збурення f_1 , f_2 . В залежності від об'єму використаної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОК виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкненого жорсткого (програмного) керування; принцип розімкненого керування за збуренням; принцип замкненого керування станом ОК або керування зі зворотнім зв'язком; комбінований принцип керування.

Для САР процесу сушіння зерна доступною, крім інформації про бажаний стан ОК, є інформація про поточний стан ОК. Такий обсяг інформації для формування керуючих дій достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР сушіння зерна базової структури. Структурна схема цього принципу керування наведена на рисунку 3.3.

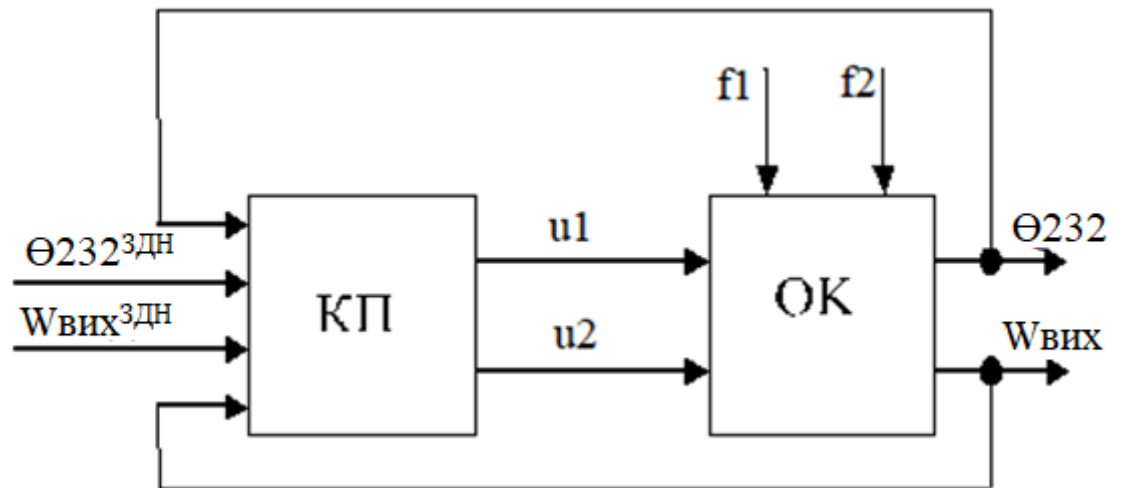


Рис. 3.3 – Структурна схема замкнутого принципу керування

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Структурна схема САР процесу приймання молока наведена на рис. 3.4.

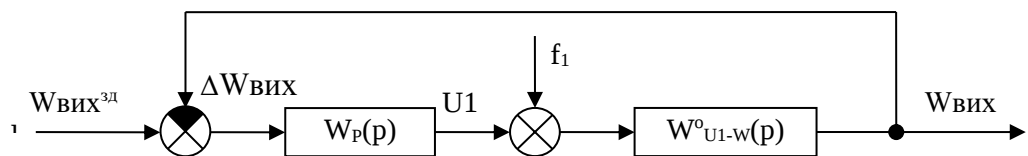


Рис 3.4 – Структурна схема САР процесу сушіння зерна в шахтній зерносушарці найпростішої структури

Позначення на схемі:

$W_{ВИХ}$ –кінцева вологість продукту, %

u_1 – регулюючі дії (u_1 – відкриття регулюючого органу подачі холодної води ; u_2 – відкриття регулюючого органу подачі напівпродукту), % х.р.о.;

f_1, f_2 – неконтрольовані збурення;

$W_P(p), W_{P2}(p)$ – передаточна функція регулятора; $W_{ВИХ}^{3Д}$ – задані значення регульованих координат;.

В інженерній практиці при керуванні технологічними процесами в більшості випадків використовують типові алгоритми регулювання або регулятори. До них відносяться пропорційний (П), пропорційно-інтегральний

(ПІ), пропорційнодиференціальний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання. Якщо ОК за каналами керування має статичні властивості, то П- і ПД-алгоритми регулювання у складі САР дають помилку статизму. При цьому найчастіше статична точність таких САР неприйнятна. Іскладова усуває помилку статизму, але істотно знижує швидкодію регулювання. Якщо канали ОК є статичними, то рекомендується використовувати алгоритми регулювання з І-складовою, тобто ПІ і ПІД.

Процес приймання молока за всіма каналами має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання вибираємо пропорційноінтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ІЗ}} \int_0^T \Delta y(t) dt \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ІЗ}p} \right)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора

t

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ІЗ}} \int_0^T \Delta y(t) dt + T_{УП} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ІЗ}p} + T_{УП}p \right)$$

$$J = \int_0^{t_M} \left[(\Delta\theta_o(t))^2 + \frac{(\Delta\theta(t))^2}{2} \right] dt$$

В результаті виконання курсової роботи з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу сушіння зерна.

У відповідності до структурної схеми САР (рис. 3.4) схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, з ПІД-регулятором – на рис. 3.6, а блоку на 3.7.

ОК, який є моделлю ОК, наведена на рис. 5.4.

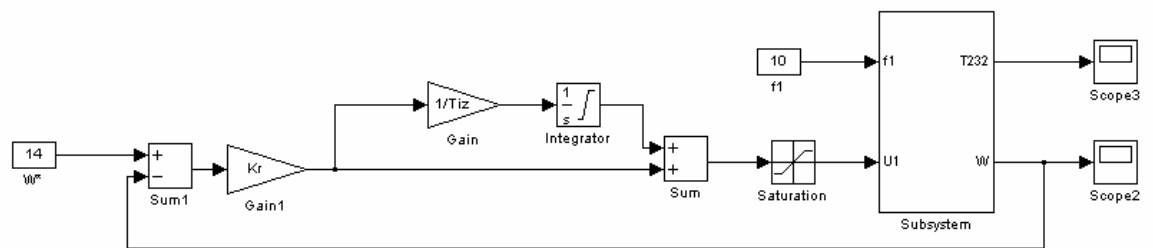


Рис. 3.5 – Схема моделювання САР з ПІ-регулятором

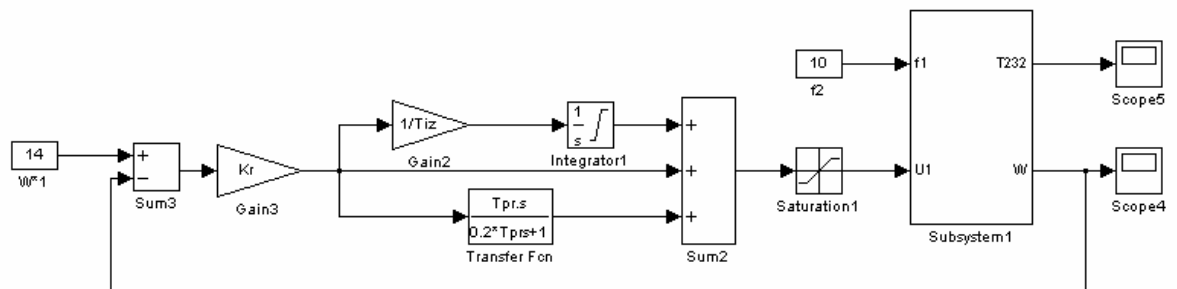


Рис. 3.6 – Схема моделювання САР з ПІД-регулятором

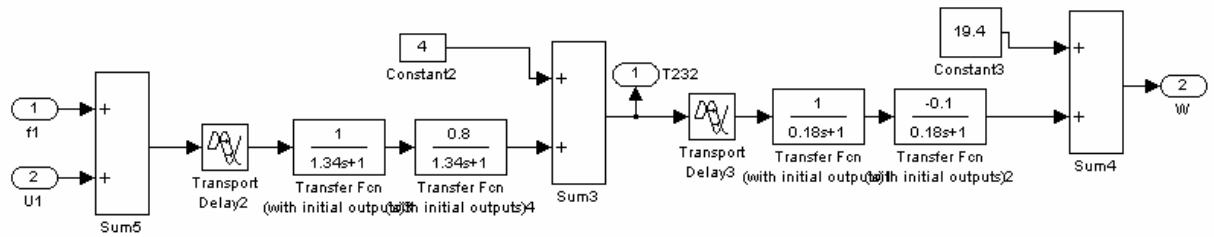


Рис. 3.7 – Схема моделювання ОК

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів

Регулятор $W_p(p)$

$$K_P = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 1,63}{-0,08 \cdot 4,8} = -4,7\% \text{х.p.o.} / \%$$

$$T_{I3} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 4,8 = 9,6 \text{ хв}$$

Розрахунок налаштувань ПІД-регуляторів

Регулятор $W_p(p)$

$$K_P = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 1,63}{-0,08 \cdot 4,8} = -5,1\% \text{х.p.o.} / \%$$

$$T_{I3} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 4,8 = 6,7 \text{ хв}$$

$$T_{yII} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 4,8 = 4,8 \text{ хв}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР температури готового продукту та щільності напівпродукту з ПІ-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІ регуляторів наведені на рис. 3.9.

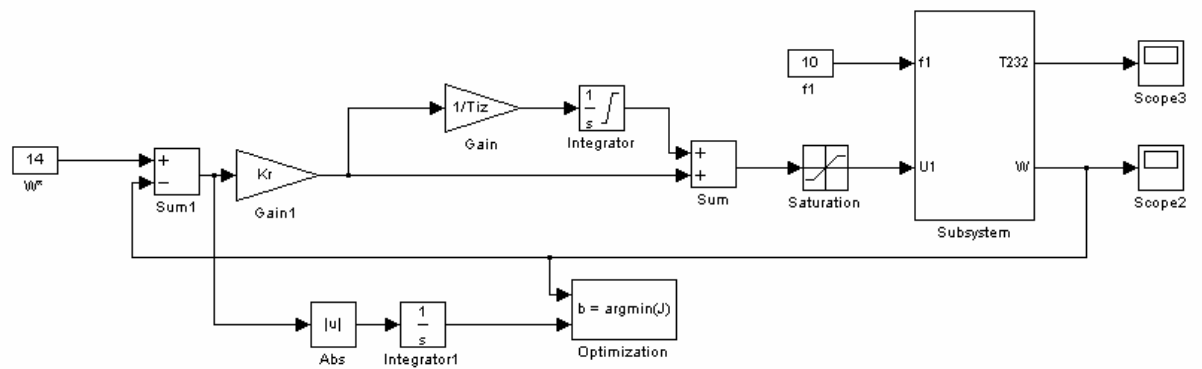
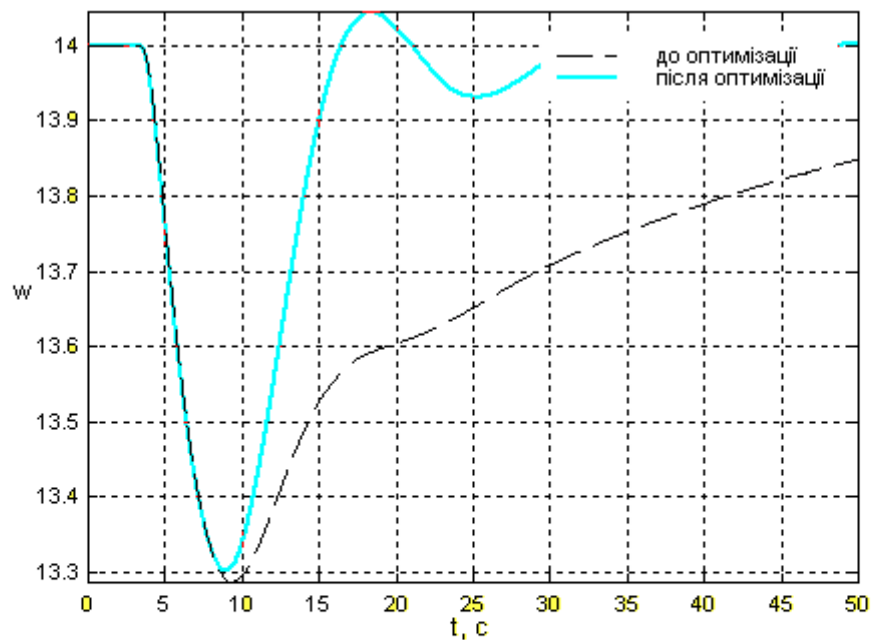


Рис. 3.8 – Структурна схема моделювання для САР з ПІ-регуляторами для оптимального параметричного синтезу



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr	-7.4968	-20	-4.7	0	до - 15.8342
Tiz	3.9754	1	9.6	50	після - 5.6338
					оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 54

Рис. 3.9 – Результати оптимізації параметрів ПІ-регуляторів

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регуляторами до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta W_{\text{вих}}^{\text{МАКС}}, \%$	Тпп, хв			
до оптимізації	0.71	14.25			15.83
після оптимізації	0.7	11.6			5.63

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.10. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів наведені на рис. 3.11.

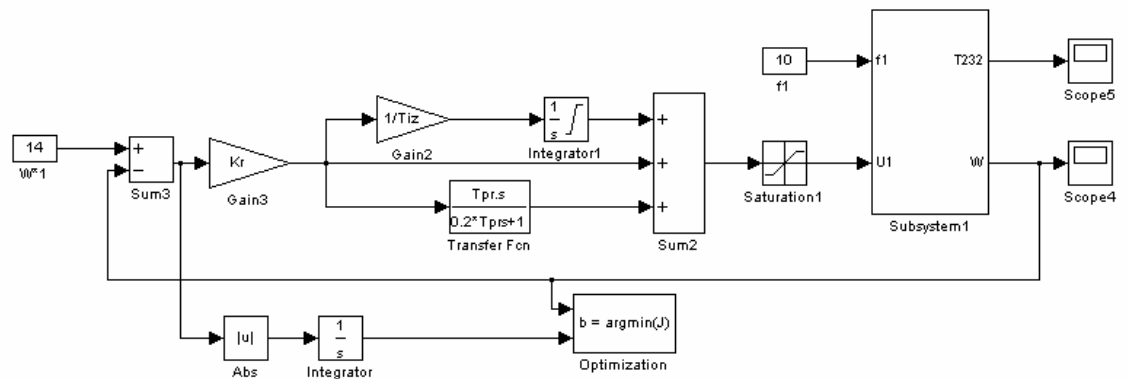
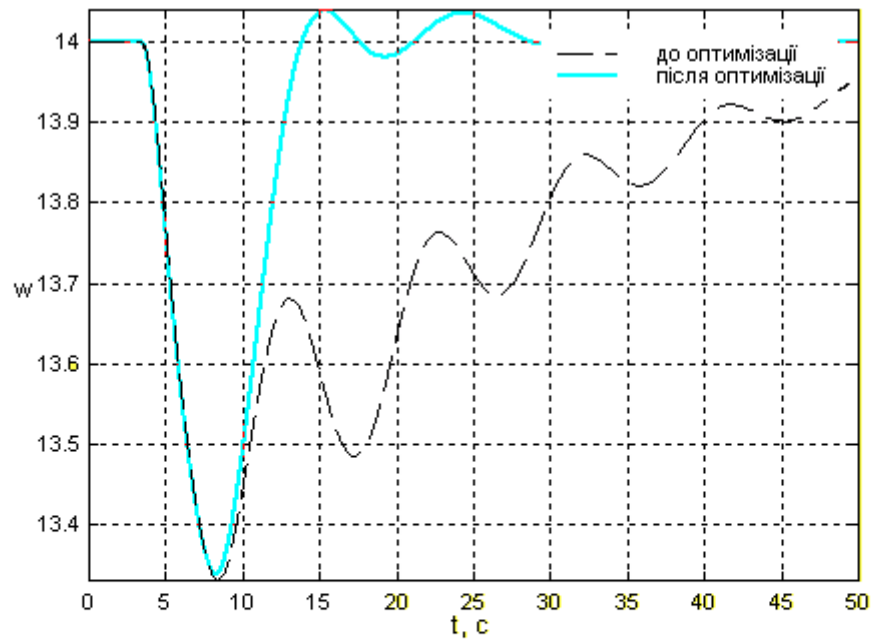


Рис. 3.10 – Структурна схема моделювання для САР з ПІД-регуляторами для оптимального параметричного синтезу



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr	-9.5352	-20	-5.1	0	до - 12.2308
Tiz	3.3435	1	6.7	50	після - 4.0261
Tpr	1.5441	0	4.8	20	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 198

Рис. 3.11 – Результати оптимізації параметрів ПІД-регуляторів

Порівнюємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятороами до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості.

Таблиця 3.3 – Результати порівняння САР з ПІД- регуляторами до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta W_{\text{вих}}^{\text{МАКС}}, \%$	Тпп, хв			
до оптимізації	0.67	18			12.23
після оптимізації	0.66	10.05			4.03

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- і ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, рис. 3.12

Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.13 і в таблиці 3.4.

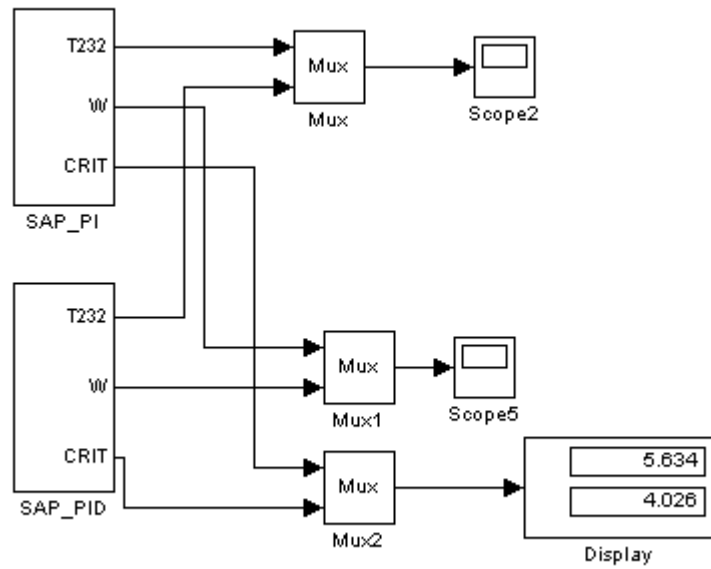
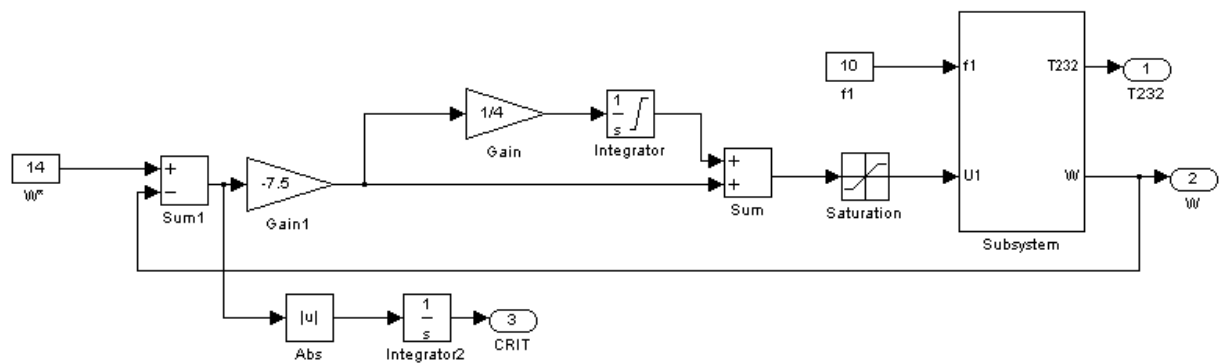


Рис. 3.12 – Структурна схема моделювання для порівняння САР з ПІ- та ПІД- регуляторами



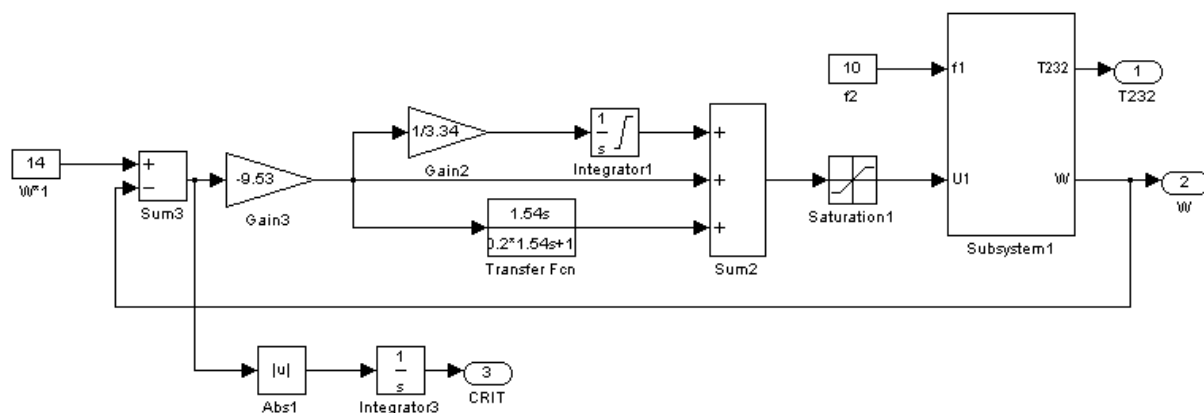
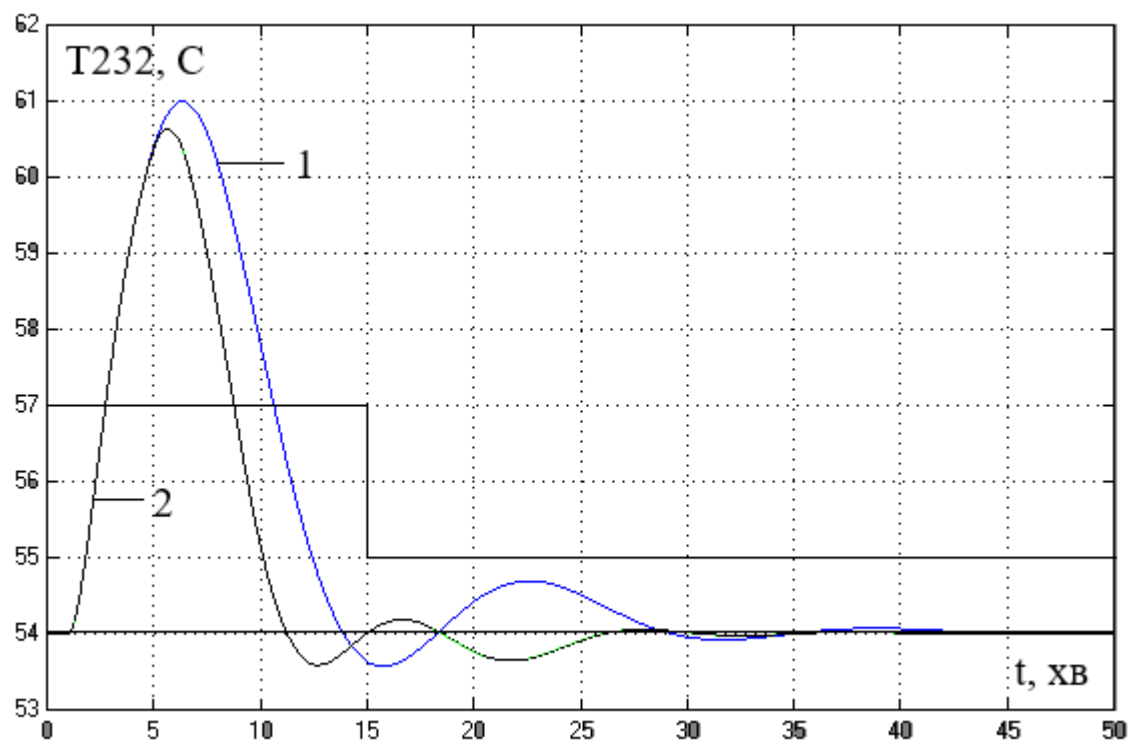
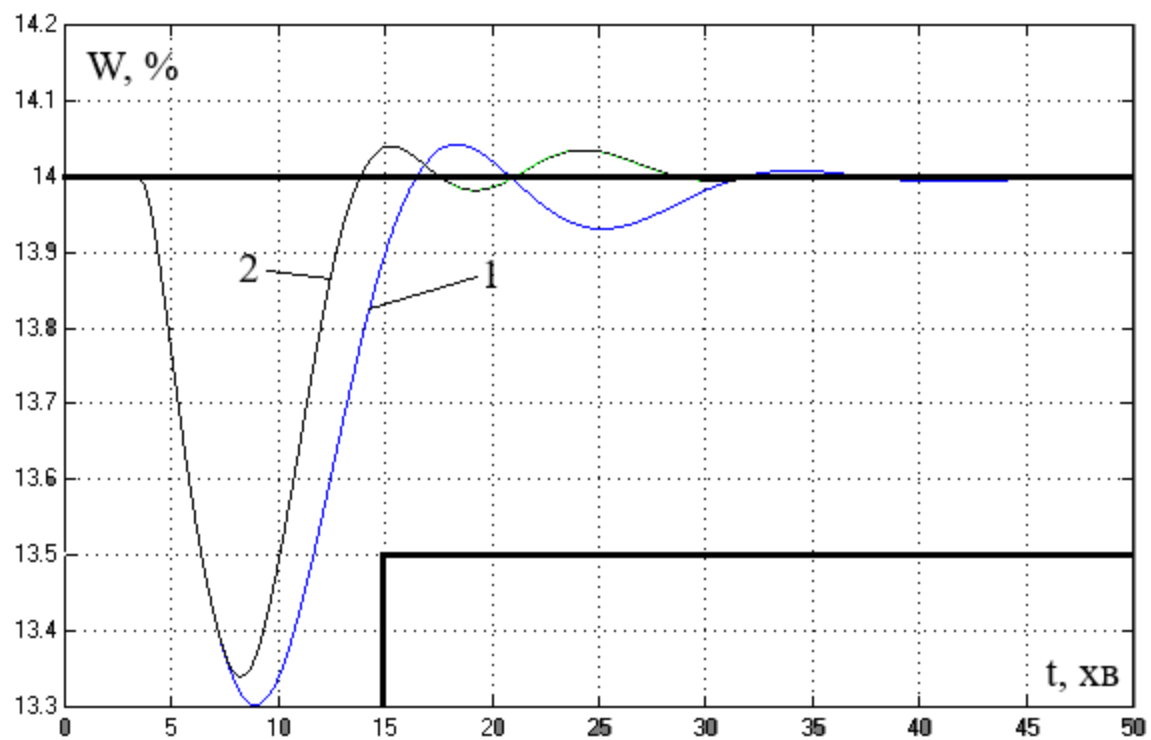


Рис. 3.13 (закінчення) – Структурна схема моделювання для порівняння САР з ПІ- та ПІД-регуляторами

Таблиця 3.4 – Результати порівняння САР з ПІ- і ПІД- регуляторами

САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta W_{\text{вих}}^{\text{МАКС}}, \%$	$T_{\text{пп}}, \text{хв}$	$\Delta T_{232}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}2}, \text{с}$	
ПІ	0,7	11,6	7	12,4	5,634
ПІД	0,66	10,05	6,6	10,1	4,026



Time offset: 0

Рис. 3.14 – Результати порівняння варіантів САР найпростішої структури:
1 – САР з ПІ-регуляторами; 2 – САР з ПІД-регуляторами

Як видно з результатів роботи САР, за М САР задовольняє гранично припустимим вимогам, за І САР з ПІ-регуляторами не задовольняє гранично- припустимим вимогам, а з ПД-регуляторами – задовольняє.

В процесі тривалої експлуатації зерносушарки ДСП-32 під впливом експлуатаційних факторів (зміна сорту зерна, його початкової забур'яненості, налипання матеріалу на короби шахти) можуть змінюватися постійні часу та час чистого транспортного запізнення в технологічних каналах об'єкта керування.

Слід відзначити, що внаслідок нелінійності статичних та динамічних характеристик, параметри каналів сушіння можуть варіювати в межах до 20% від їх номінальних значень. При цьому дослідження САР на грубість (робастність) слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень величиною 5% від робочого діапазону об'єкта.

Структурні схеми цифрового моделювання для аналізу базової САР з ПІ- та ПД-регуляторами на грубість (при зміні запізнення та коефіцієнтів передачі об'єкта) наведені вище на рис. 3.15 та рис. 3.16.

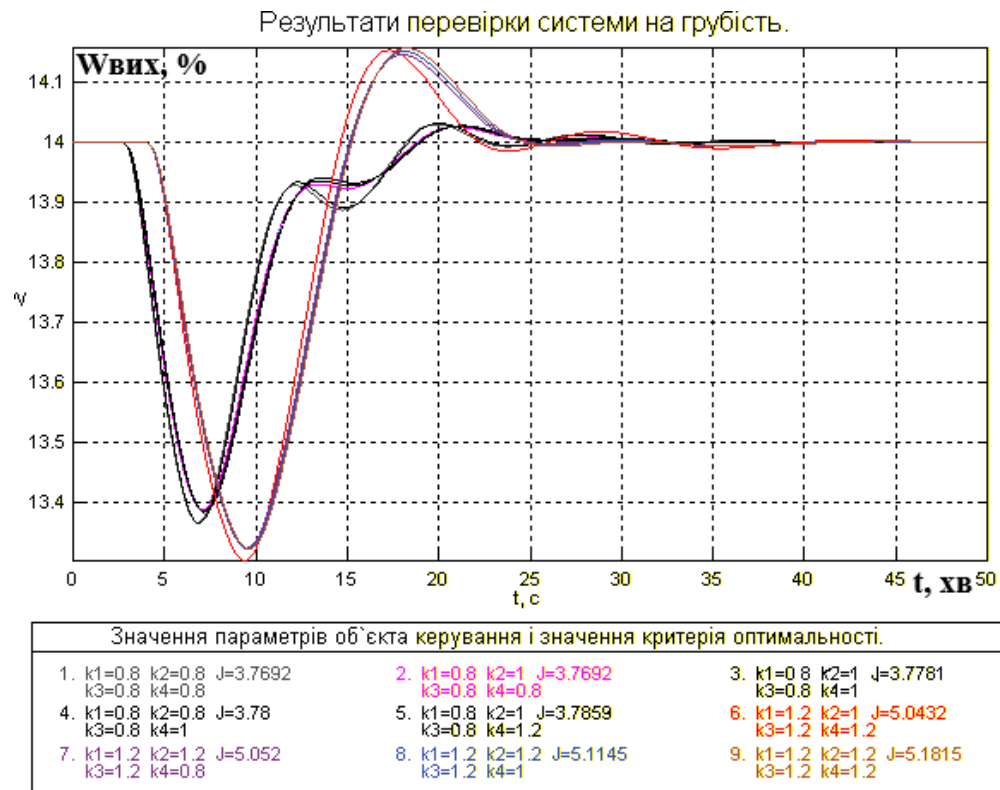
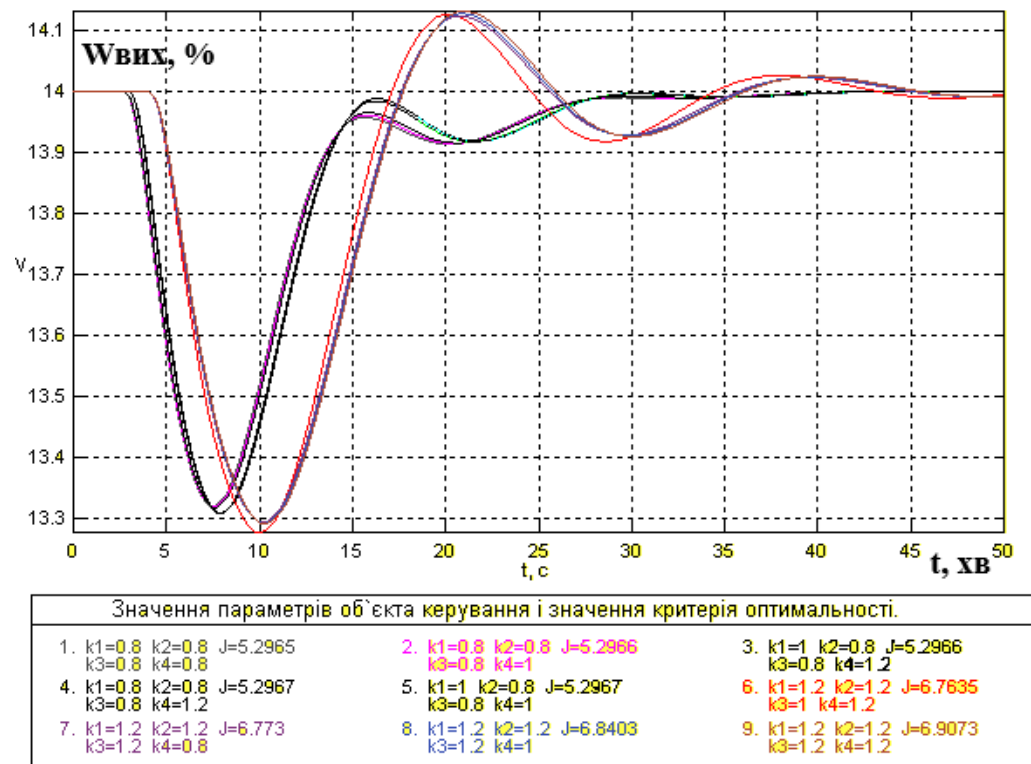


Рис. 3.15 – Результати перевірки САР з ПІ-регуляторами на грубість



Результати перевірки САР з ПІД-регуляторами на грубість

Як видно з результатів, САР і з ПІ-регуляторами, і з ПІД-регуляторами є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОУ дає перехідні процеси, що сходяться.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найгіршим" для керування поєднанням параметрів ОК є більші на 20% часи запізнення в прямих каналах ОК та менше на 20% запізнення в перехресному каналі. "Найкращим" для керування поєднанням є на 20% менші часи запізнення.

3.3 Структурно-параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивне зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення τ_o / T_o , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР).

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є дія каналів « $u_1 - \Theta_{232}, u_2 - W_{\text{вих}}$ ». В основу підвищення динамічної точності САР процесу сушіння зерна покладено каскадний принцип, пов'язаний із введенням до структури системи внутрішнього контуру регулювання температури матеріалу. Відповідно до цього принципу структурна схема каскадної САР матиме вигляд, наведений

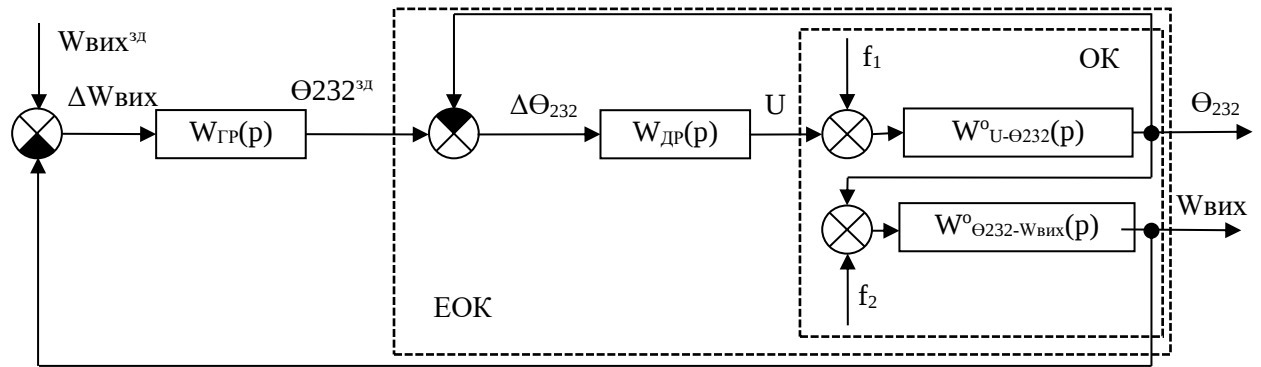


Рис. 3.22 – Структурна схема САР каскадної структури

Позначення на схемі:

ОК – об'єкт керування;

ЕОК – еквівалентний об'єкт керування;

$W^o_{U-\Theta_{232}}(p)$ – передаточна функція ОК за каналом «U- Θ_{232} »;

$W^o_{\Theta_{232}-W_{вих}}(p)$ – передаточна функція ОК за каналом « Θ_{232} – $W_{вих}$ »;

$W_{др}(p)$ – передаточна функція допоміжного регулятора;

$W_{гр}(p)$ – передаточна функція головного регулятора;

$\Theta_{232}^{зд}$ – задане значення температури сушки, °C;

Θ_{232} – температура в 2 зоні, °C;

$\Delta W_{вих}$ – помилка регулювання температури контрольної тушки, °C;

$\Theta_{232}^{зд}$ – задане значення температури контрольної тушки, °C;

U – положення регулюючого органу подачі палива, %х.р.о.;

f_1, f_2 – вектори неконтрольованих збурень.

Розрахунок початкових наближень параметрів допоміжного регулятора проводитимемо на основі параметрів ОК за каналом «U – Θ_{232} ».

$$W_{U1-\Theta_{232}}^1(p) = \frac{0.8e^{-1.73p}}{2.06p + 1}$$

В якості допоміжного регулятора приймемо ПІ-регулятор.

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p}\right)$$

Проведемо розрахунок початкових наближень параметрів варіантів допоміжного регулятора, якщо бажаний вигляд перехідного процесу – коливальний з 20%-вим перерегулюванням.

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів

Регулятор $W_P(p)$

$$K_P = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 2,06}{0,8 \cdot 1,73} = 1,64\% \text{х.р.о.} / \%$$

$$T_{I3} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 1,73 = 3,4 \text{ хв}$$

Розрахунок параметрів головного регулятора будемо проводити за параметрами еквівалентного об'єкту керування (ЕОК). Передаточна функція ЕОК матиме вигляд:

$$W_{\text{ЕОК}}(p) = \frac{K_{\text{ЕОК}} \cdot e^{-\tau_{\text{ЕОК}}p}}{T_{\text{ЕОК}}p + 1}$$

Знайдемо параметри ЕОК.

$$K_{\text{ЕОК}} = K_{\Theta 232^{\text{зд}}-\Theta 232}^C \cdot K_{\Theta 232-W_{\text{вих}}}^0$$

Для ПІ-регулятора

$$K_{\Theta 232^{\text{зд}}-\Theta 232}^C = 1$$

$$K_{\text{ЕОК}} = 1 \cdot -0,1 = -0,1$$

$$T_{\text{ЕОК}} \approx 0,5 \cdot T_{U-\Theta 232} + T_{\Theta 232-W_{\text{вих}}} = 0,5 \cdot 2,06 + 0,48 = 1,5 \text{ хв}$$

$$\tau_{\text{ЕОК}} = \tau_{U-\Theta 232} + \tau_{\Theta 232-W_{\text{вих}}} = 1,73 + 2,05 = 3,78 \text{ хв}$$

В якості головного регулятора оберемо ПІД-регулятор, передаточна функція якого матиме вигляд:

$$W_{\text{ДР}}(p) = K_{\text{ГР}} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3\text{ГР}}p} + T_{\text{УПГР}}p\right)$$

Проведемо розрахунок налаштувань головного регулятора, якщо бажаний вигляд перехідного процесу коливальний з 20% перерегулюванням.

Якщо допоміжний регулятор ПІ, то передаточна функція ЕОК матиме вигляд:

$$W_{\text{ЕОК}}(p) = \frac{K_{\text{ЕОК}} \cdot e^{-\tau_{\text{ЕОК}}p}}{T_{\text{ЕОК}}p + 1} = \frac{-0,1 \cdot e^{-3,78p}}{1,5p + 1}$$

Параметри головного регулятора:

$$K_{ГР} = \frac{1,0 \cdot T_{ЕОК}}{K_{ЕОК} \cdot \tau_{ЕОК}} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{-0,1 \cdot 3,78} = -4 \text{ \%х. р. о. / } ^\circ\text{C}$$

$$T_{ІЗГР} = 2,0 \cdot \tau_{ЕОК} = 2,0 \cdot 3,78 = 7,56 \text{ хв}$$

$$T_{УПГР} = 0,5 \cdot \tau_{ЕОК} = 1,9 \text{ хв}$$

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності приведена на рис. 3.26, а результати оптимізації – на рис. 3.27.

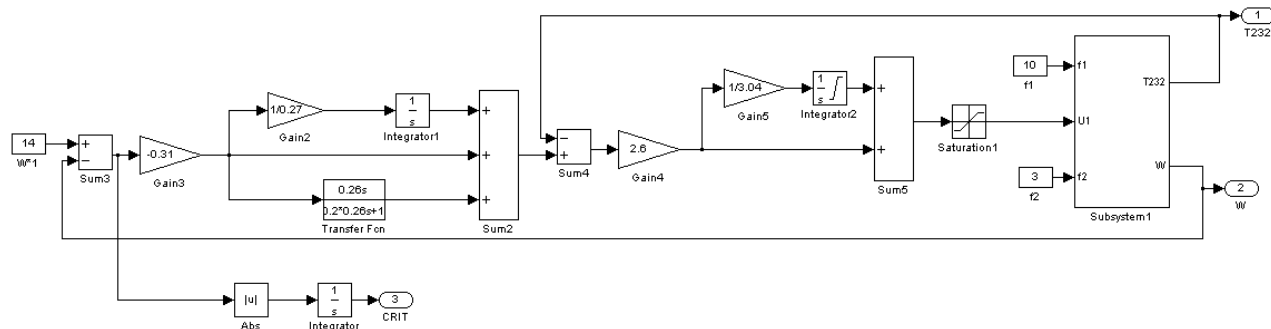
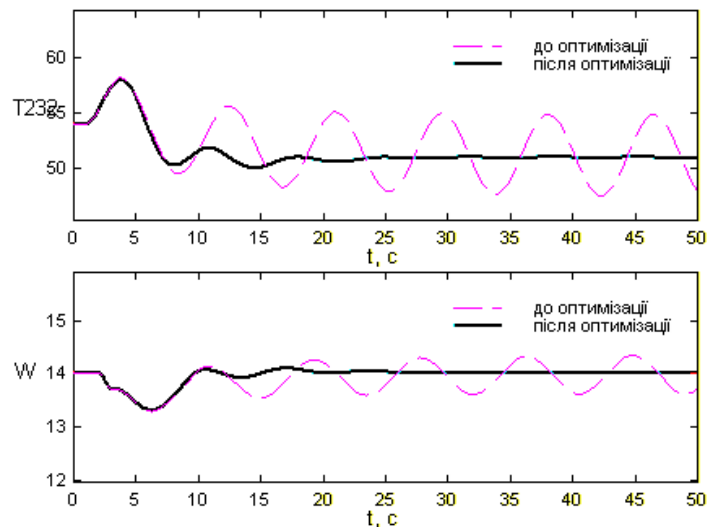


Рис. 3.26 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності.



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr	-0.31255	-10	-4	0	до - 12.1792
Tiz	0.27586	0.1	7.56	20	після - 3.7493
Tpr	0.26799	0.05	1.9	20	оптимізації.
Kr1	2.6119	0	1.64	20	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz1	3.0467	0.1	3.4	200	максимальна - 1500
					фактична - 334

Рис. 3.27 – Результати оптимізації САР підвищеної динамічної точності

Як і у випадку з САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме, часів запізнення в каналах $OK \pm 20\%$.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведені на рис. 3.28.

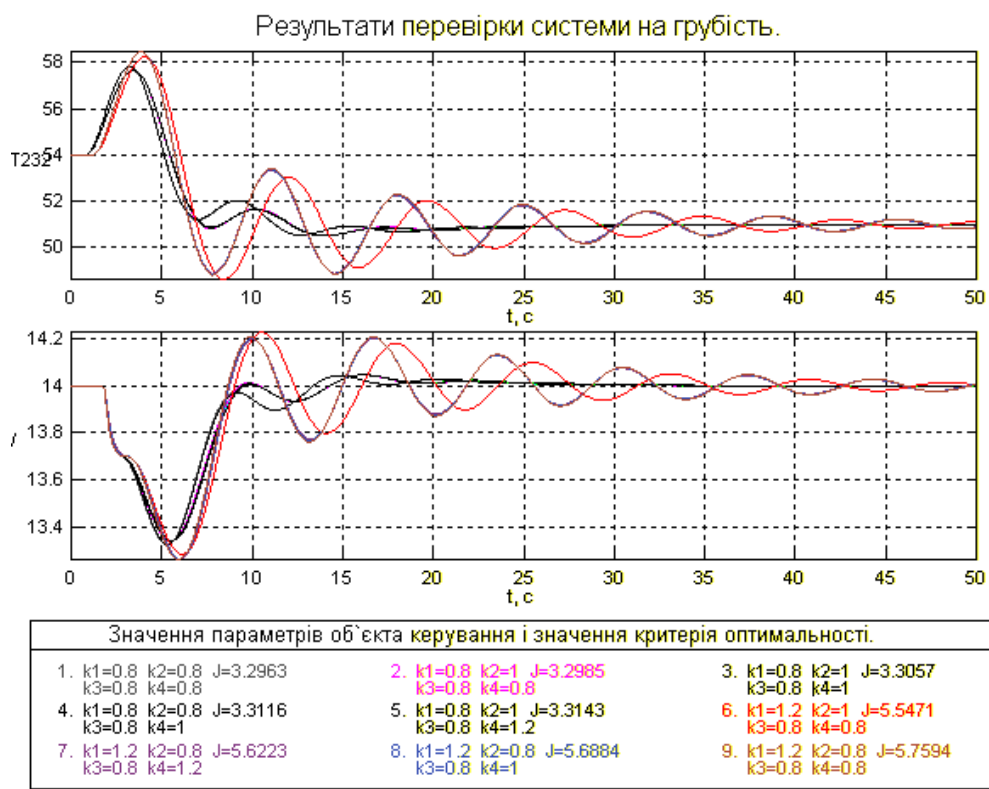


Рис 3.28 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САР дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САР є грубою.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, найбільш "сприятливим" для

керування є час запізнення по каналам управління, менший на 20% за номінальні значення. Найбільш "несприятливим" для керування є поєднання параметрів ОК, що відповідає часам запізнення за прямими каналами, на 20% більшими їх номінальних значень, та за перехресним каналом, на 20% меншим його номінального значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведена на рис.

Результати порівняння наведені на рис. 3.31.

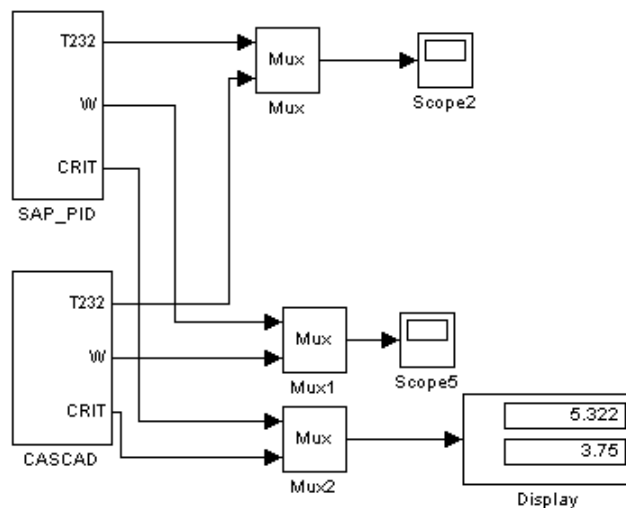


Рис. 3.30 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

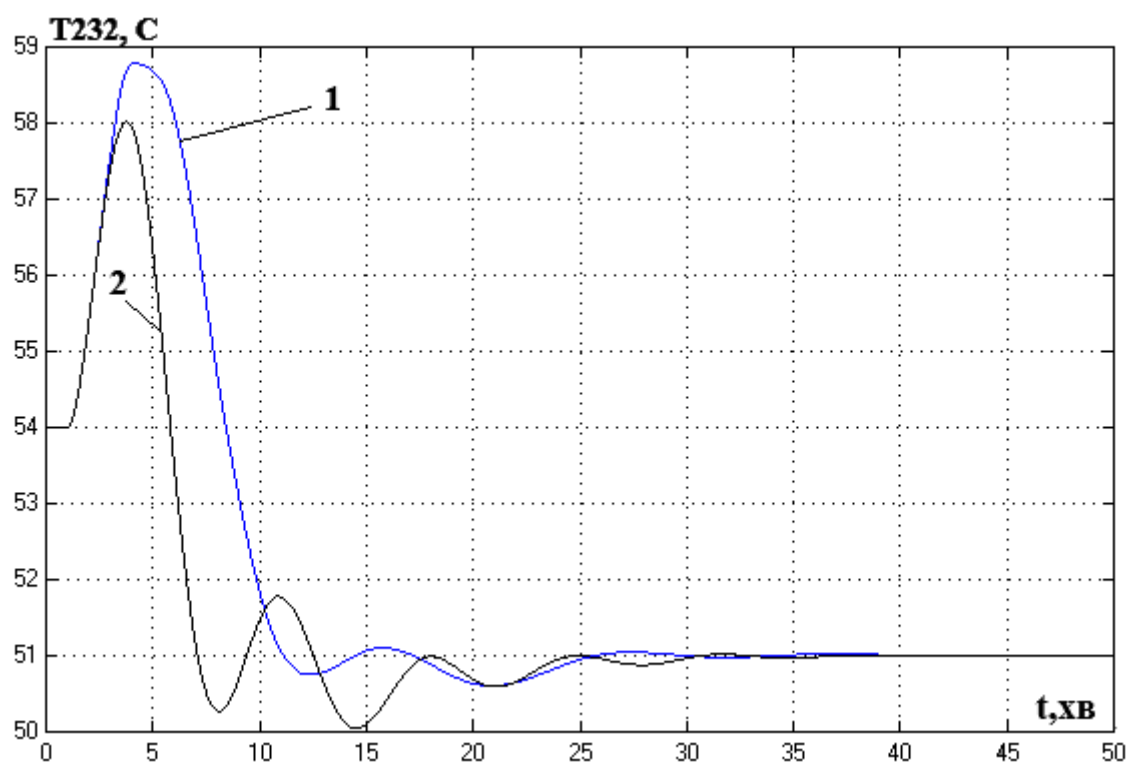
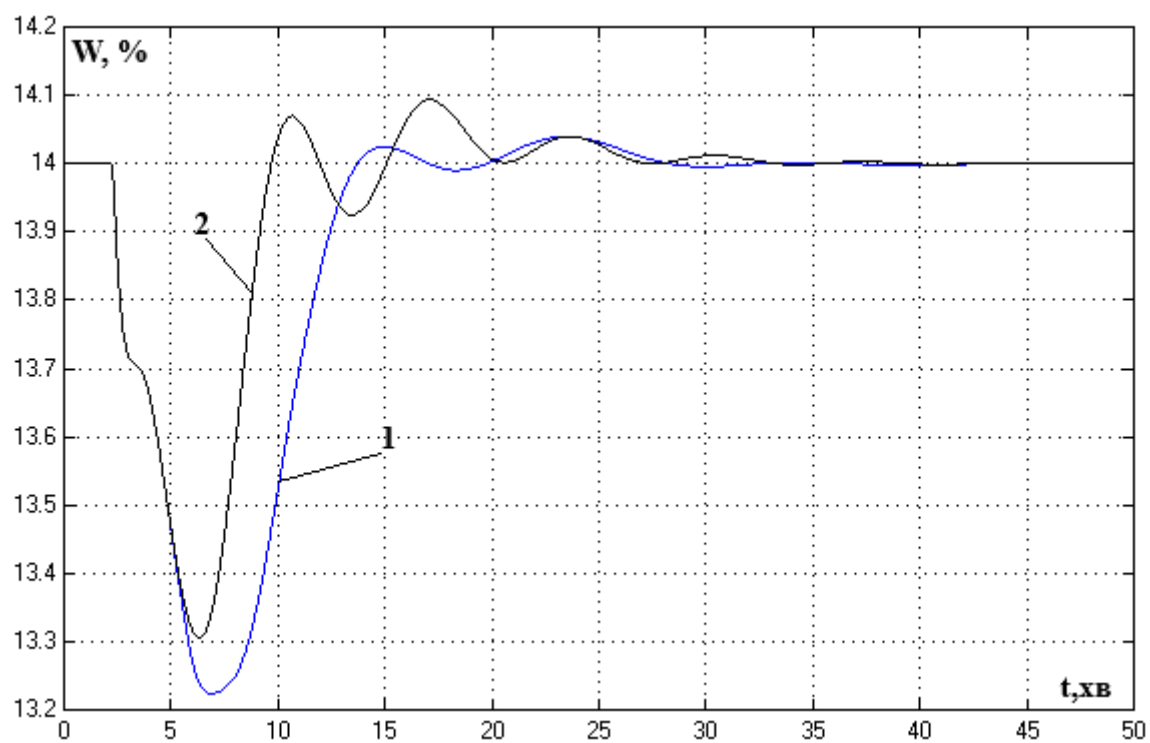


Рис. 3.31 – Результати порівняння САР базової структури (1) та підвищеної динамічної точності (2)

Як видно з результатів порівняння САР базової структури з ПІД-регулятором та САР каскадної структури, за усіма показниками САР каскадної структури є кращою.

3.4 Висновок за розділом

Сформульовано гранично допустимі вимоги до якості регулювання технологічних параметрів процесу сушіння зерна у шахтній зерносушарці.

Синтез САР здійснювався в два етапи. На першому етапі проводився розрахунок налаштування регулятора за інженерними методами Копеловича, а на другому етапі застосовувався оптимальний параметричний синтез. В якості критерію використовується інтегральний модульний критерій.

Ми будемо використовувати PIDalgorithm як базовий алгоритм керування.

Динамічну точність САР доцільно підвищити за рахунок забезпечення каскадності регулювання.

САР підвищеної динамічної точності грубий.

У процесі моделювання, стало зрозуміло, що САР підвищеної динамічної точності функціонує краще ніж САР базової структури.

роль як теплоносія, так і волого носія (випарена волога із зерна поглинається агентом сушіння та виноситься в атмосферу).

Сушіння зерна у сушарці ДСП-32от здійснюється агентом сушіння — сумішшю топкових газів з повітрям, що подається вентиляторами ВЦ-4-76 № 12; 10 і 12 відповідно до зон сушіння та охолодження.

Паливо спрямовується в топку через форсунку Ф-1, в якій утворюється горюча суміш палива та повітря. Як розпилювач застосовується стиснене повітря, що подається у форсунку високо напірним вентилятором АВД-3,5.

Для стабілізації надходження палива та повітря у форсунку вмонтовано мікрометричний клапан і дросельну заслінку з маховичком. Змінюючи кількість горючої суміші, одночасно регулюють подачу повітря та палива у форсунку.

Для автоматизації процесу горіння, захисту й аварійної сигналізації на пульті є спеціальний пристрій, що забезпечує пуск зерносушарки, підтримання заданих температур агента сушіння, постійний тиск палива перед форсункою, відновлення факела при його згасанні

4.2 Формалізація регламенту, розробка алгоритмів автоматичного логічного контролю запуску та нормального вимкнення.

На основі наведеного вище опису процесу роботи оформимо у вигляді блок-схеми регламент роботи установок в режимах пуску та технологічної зупинки та складемо відповідні алгоритми керування.

На рис. 4.2 зображено структурну схему регулювання роботи в режимі пуску, а на рис. 4.3 – блок-схема графіка роботи в режимі нормальної зупинки.

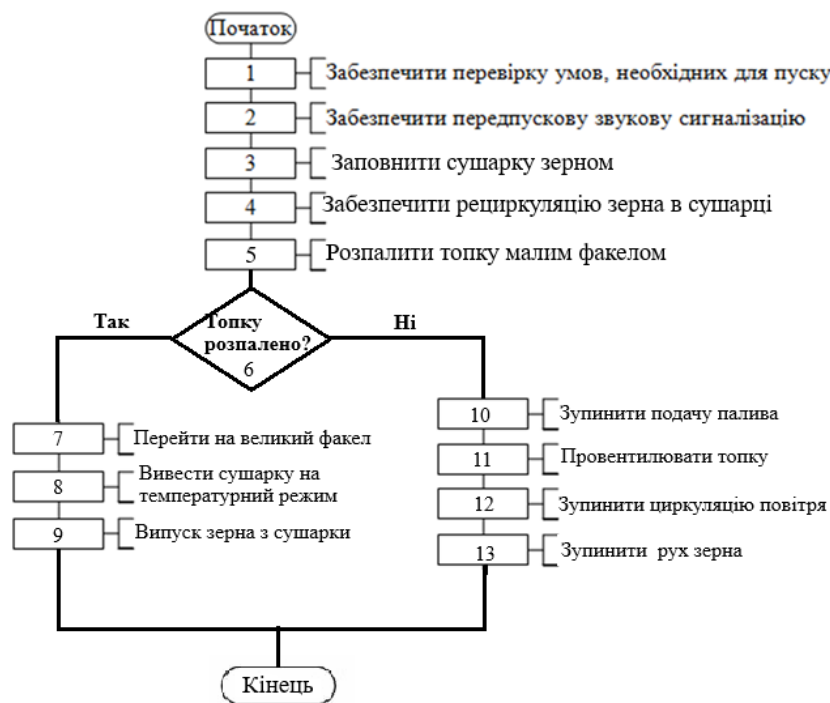


Рис. 4.2 блок-схема регулювання роботи в режимі пуску

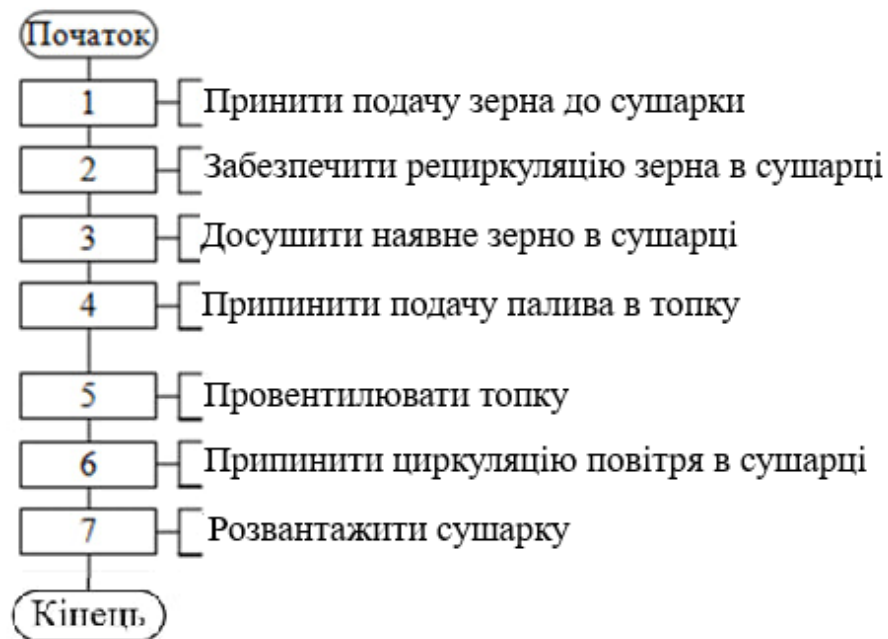


Рис. 4.3 – блок-схема роботи в режимі зупинки.

Розроблені алгоритми керування наведено на рис. 4.4, та 4.5 у вигляді блок-схем алгоритмів керування пуском та зупинкою системи, що розроблені згідно до регламенту функціонування.

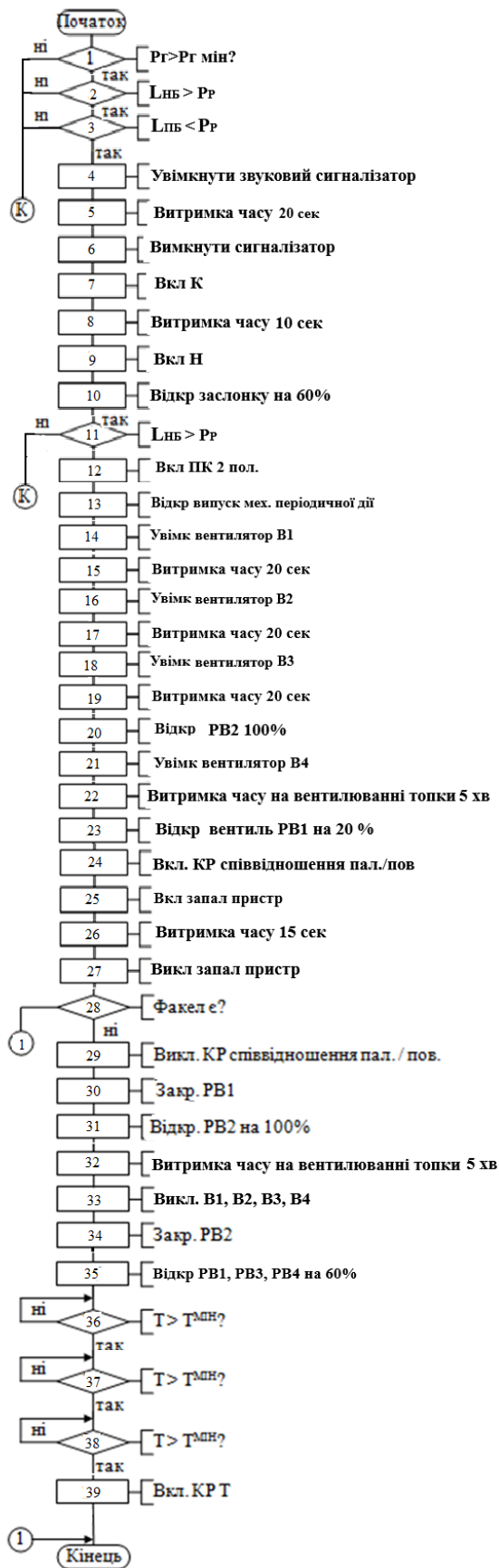


Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму керування пуском системи

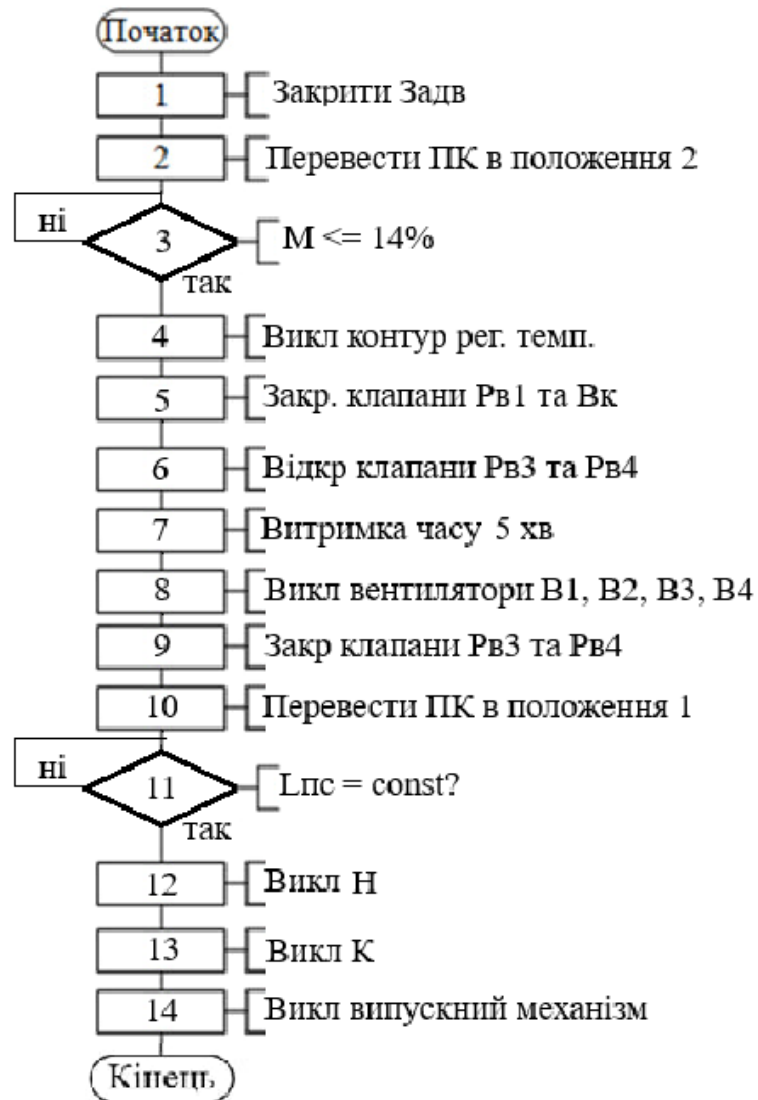


Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму керування зупинкою системи

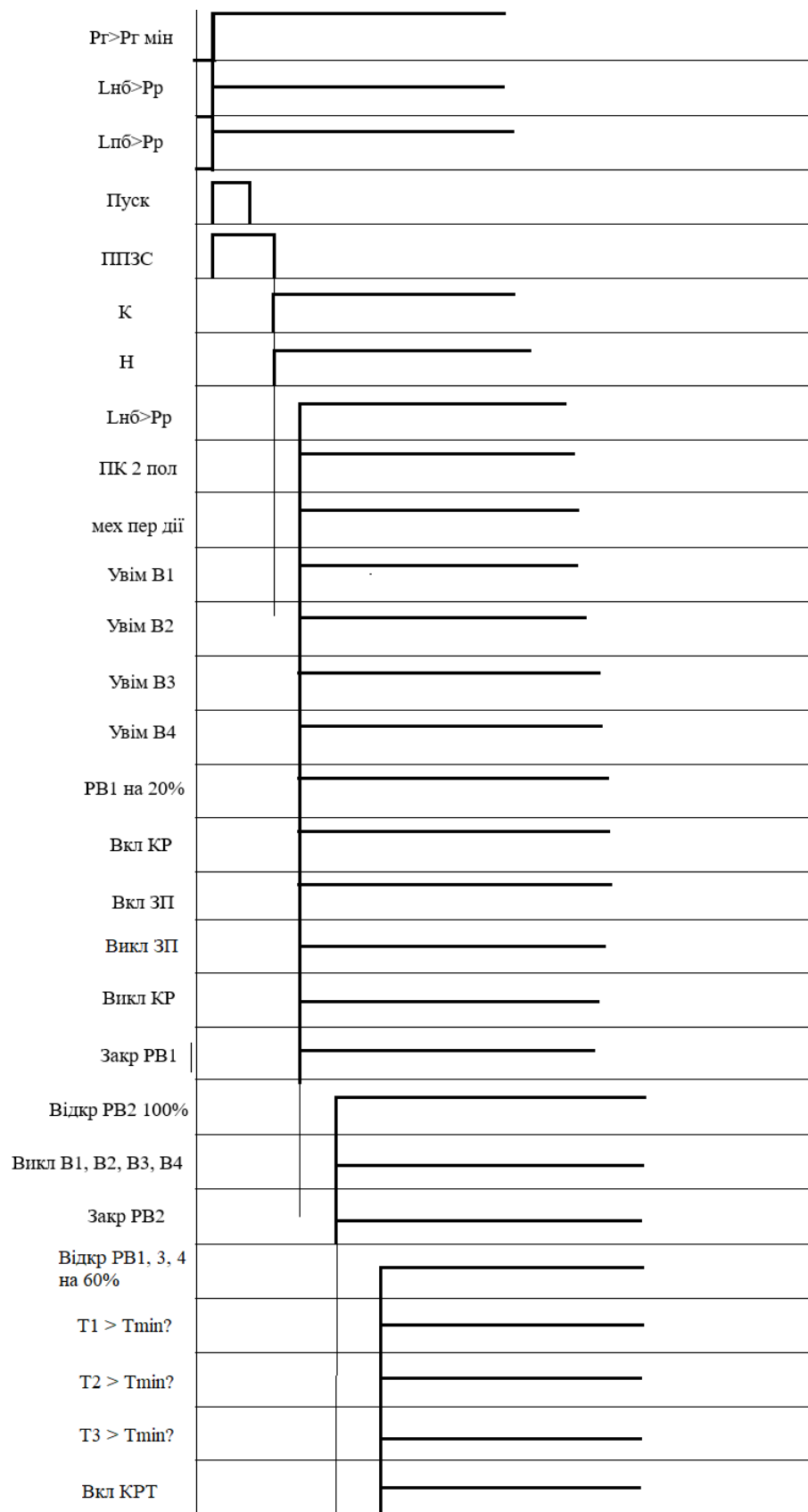


Рис. 4.6 – Циклограма технологічного процесу сушіння зерна

4.3 Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного керування для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях

Як нештатну ситуацію було розглянуто згасання факелу. Регламент аварійної зупинки наведено на рис. 4.7, а на рис. 4.8 – алгоритм.



Рис. 4.7 Регламент аварійної зупинки при нештатній ситуації

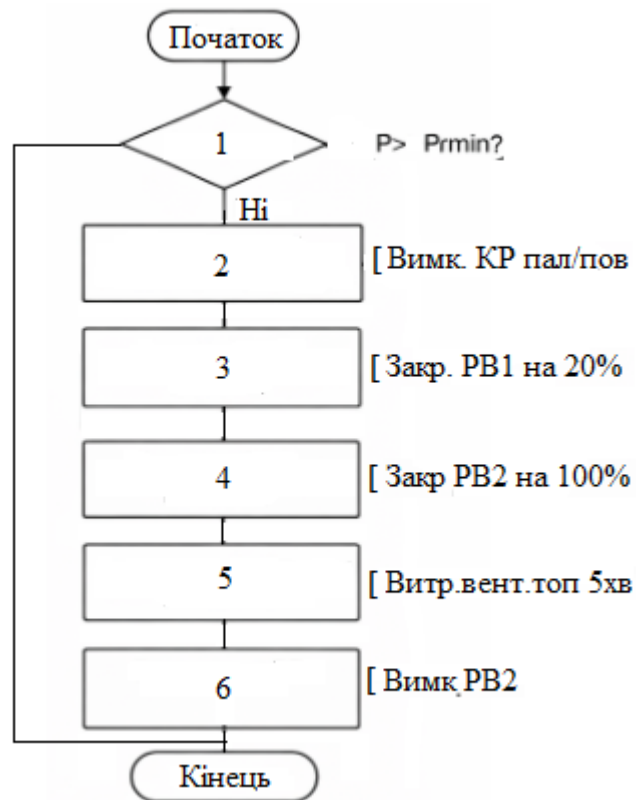


Рис. 4.8 Блок схема алгоритму аварійної зупинки процесу сушіння зерна

4.4 Висновок за розділом

В результаті реалізації розділу для даного технологічного процесу складено регламент роботи та алгоритми пуск-стоп процесу сушіння зерна в нормальному та аварійному режимах.

Можна сказати, що розроблені алгоритми керування, а також характеристики, отримані під час моделювання роботи САК, достатньо точно відповідають реальним технологічним процесам.

РОЗДІЛ 5 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЮ КЕРУЮЧОГО ВПЛИВУ

5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які необхідно враховувати при виборі технічних засобів та їх розміщення

Сушарка ДСП-32 розташована в закритому від атмосферних явищ середовищі. Враховуючи можливість витоку газу, а також наявності виробничого пилу, приміщення слід віднести до категорії пожежо - та вибухонебезпечних.

Датчики і виконавчі механізми розміщуються одночасно на трубопроводах. Інше технічне обладнання приводної системи та АПМ технолога розміщується в окремому не пожежо- та вибухобезпечному приміщенні з температурою 18 - 25 °С і вологістю 35 - 55%.

Початок «Правил влаштування електроустановок»:

відкрита або зовнішня електроустановка

Щодо безпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної безпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку;

б) приміщення з підвищеною безпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

- 1) вологості або струмопровідного пилу;
- 2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- 3) високої температури;
- 4) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого;

в) особливо небезпечні приміщення, які характеризуються наявністю однієї з умов, що створює особливу небезпеку:

- 1) особливої вологості;
- 2) хімічно активного або органічного середовища;
- 3) одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки

Відповідно, приміщення де знаходиться сушарка слід віднести, до –
«Приміщення з підвищеною небезпекою»

Згідно з «Правилами будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» клас вибухонебезпечних зон характерних виробництв та категорія і група вибухонебезпечної суміші повинні відображатися в нормах технологічного проектування або в галузевих переліках виробництв з вибухо-пожежонебезпеки.

Газо-, паро-повітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пило повітряні — вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Вибухонебезпечна зона класу 0 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу.

Вибухонебезпечна зона класу 0 згідно з вимогами даного розділу може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (тут і далі нормальна робота — ситуація, коли установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів).

Вибухонебезпечна зона класу 2 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго.

Частоту виникнення і тривалість вибухонебезпечного газо-, пароповітряного

середовища визначають за правилами (нормами) відповідних галузей промисловості.

Вибухонебезпечна зона класу 20 — простір, у якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої або надмірної товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

Вибухонебезпечна зона класу 21 — простір, у якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації.

Ця зона може включати простір поблизу місця порошкового заповнення або осідання і простір, де під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилових шарів, які можуть утворювати небезпечну концентрацію вибухонебезпечної пило повітряної суміші.

Вибухонебезпечна зона класу 22 — простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто й існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії.

Ця зона може включати простір поблизу обладнання, що утримує пил, який може вивільнятися шляхом витоку і формувати пилові утворення.

Відповідно до введеної класифікації операційну площадку, де розміщується сушилка зерна, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 1 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи.

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють допустимий рівень

вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин (стаціонарних і пересувних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9). Ступінь захисту IP54 Частини машин, що дають іскріння (наприклад, контактні кільця), повинні бути замкнені в оболонку зі ступенем захисту IP54

Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів (стаціонарних, пересувних і переносних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху. Допускається застосовувати електрообладнання без засобів вибухозахисту для апаратів і приладів, що не іскрять і не нагріваються вище +80° С в оболонці зі ступенем захисту не менше IP54
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9) оболонки зі ступенем захисту не менше IP54

Для шахтної зерносушарки, слід вибирати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Вибухобезпечне електрообладнання».

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» визначають:

Пожежонебезпечна зона класу П-I — простір у приміщенні, у якому знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху більше +65° С.

Пожежонебезпечна зона класу П-II — простір у приміщенні, у якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна.

Пожежонебезпечна зона класу П-IIa — простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Пожежонебезпечна зона класу П-III — простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахнення понад +65° С або тверді горючі речовини.

По класифікації вибухонебезпечності обладнання та приміщень відноситься до Пожежонебезпечна зона класу П-III — простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахнення понад +65° С або тверді горючі речовини.

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють:

Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класу			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Установки стаціонарні, які іскрять або мають частини, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні, які не іскрять і не мають частин, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Установки на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять або не іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44

Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класів			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах, які не іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Шафи для розміщення апаратів і приладів	IP44	IP54 IP44*	IP44	IP44
Коробки наборів затискачів силових і вторинних кіл	IP44	IP44	IP44	IP44

По класифікації вибухонебезпечності обладнання та приміщень робоче середовище відноситься до П-Па пожежонебезпечної зони - простір у приміщенні, в якому знаходиться газоподібні-горючі речовини і матеріали. (IP44)

5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання

ТСП-106 Pt100 термоперетворювач



Рис. 5.1 - Погружной термоперетворювач ТСП-106 Pt100.

Датчик призначений для безперервного вимірювання температури в системах контролю і автоматичного регулювання різного призначення.

Датчик складається з вимірювального елемента поміщеного в захисну трубку, різьбової втулки, клемної колодки, алюмінієвого корпусу і кришки.

Кришка через гумову прокладку кріпиться на корпусі і фіксується двома гвинтами, створюючи при цьому герметичне з'єднання. Різьбова втулка має косий зріз для фіксування термоперетворювача в гільзі.

Принцип дії:

Термометр опору - електронний прилад, призначений для вимірювання температури. Принцип дії заснований на залежності електричного опору металів,

сплавів і напівпровідникових матеріалів від температури. При застосуванні напівпровідникових матеріалів його зазвичай називають термоопором, терморезистором або термістором.

ТСП-106- pt100-B3-D4 -L100-Lн100-Lв 0,2м / -40 +270град Silflex

Характеристики:

Зовнішній вигляд -106 (спець.датчик для харчової промисловості: м'ясні, хлібобулочні вироби)

Тип НСХ - ТСП / pt100

Під'єднання - В3 (тридротовий)

Діаметр, d — 4 мм

Довжина заглибної частини L — 100 мм

Довжина зовнішньої частини, Lн — 100 м

Довжина дроту - 0,1м Silflex

Діапазон робочих температур -40 +270град



Рис. 5.2 промисловий датчик температури та вологості АТО-ТАНТ-AF1020

Передавач температури та вологості використовує цифровий датчик температури та вологості AM2305 та перетворює температуру та вологість повітря у стандартний сигнал 4-20 мА. Промисловий передавач температури та вологості має пилозахисний корпус з ПК, металевий фільтр, широкий діапазон

вимірювання, високу точність, стійкість до хімічного забруднення, відмінну довготривалу стабільність та повторюваність.

Модель АТО-ТАНТ-AF1020

Вага 130 г

Розміри (Д*Ш*В) 297*70*28 мм

Вихідний сигнал 4-20 мА

Напруга живлення Постійний струм 18-36 В

Діапазон вимірювання відносної вологості 0~99,9% відносної вологості

Діапазон вимірювання температури -40~+80°C

Точність вимірювання вологості $\pm 3\%$ відносної ваги

Точність температури $\pm 0,5^\circ\text{C}$

Роздільна здатність 0,1°C/0,1% відносної вологості

Довгострокова стабільність <0,5% відносної вологості/рік, <0,1°C/рік

Споживання енергії <4 мА

Час відгуку 8 секунд

Час увімкнення 3 секунди

Матеріал корпусу ПК

Робоче середовище Температура: -40~80°C, вологість: 0~99,9% без конденсації

Середовище зберігання Температура: 0~60°C, вологість: <90% відносної вологості

Список упаковки продукту 1*АТО-ТАНТ-AF1020 з 50-см чотирижильним екрануючим проводом, 1*фланець (монтується в повітропровід), 2*монтажні гвинти

Електропроводка Червоний: V+, чорний: GND, жовтий: RH (вихід вологості 4-20 мА), білий: T (вихід температури 4-20 мА)



Рис. 5.3 Індикатор технологічний мікропроцесорний ITM-110

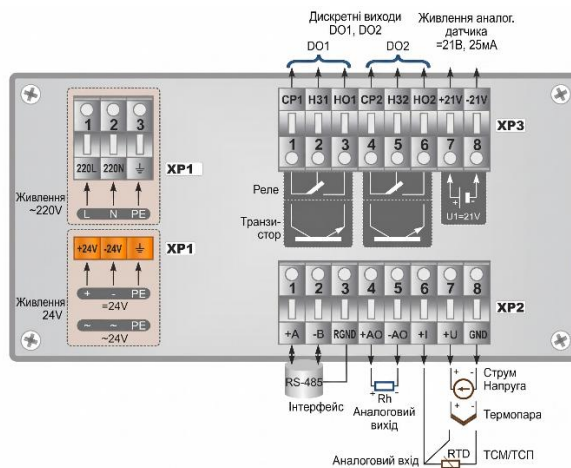


Рис. 5.4 Схема підключення Індикатор технологічний мікропроцесорний ITM-110

Кількість аналогових входів - 1

Діапазон зміни вхідного сигналу:

- уніфіковані

0-5мА ($R_{вх}=400 \text{ Ом}$), 0(4)-20 мА ($R_{вх}=100 \text{ Ом}$), 0-10В ($R_{вх}>25\text{кОм}$)

- напруги

0-50мВ, 0-75мВ, 0-200мВ, 0-1В, 0-5В

- від термоперетворювачів опору

ТСР 50П, 100П, гр.21, ПММ 50М, 100М, гр.23

- від термопар

ТХК(L), ТХА(K), ТПП(S), ТПР(B), ТВР(A), ТЖК(J), ТХКн(E)

Період вимірювання, не більше

0,1 сек

Гальванічна ізоляція

трирівнева (по входу, виходу, живленню)

Період оновлення інформації на дисплеї: не більше

0,5 сек

Для вимірювання розрідження у топці застосовано датчик розрідження

HMP 331, вих. 4-20 мА, живл. 24В, потуж. 1 Вт, ступінь захисту IP 65, діапазон: -45-0 Па, основна похибка 0,1% ДВ, вибухозахист Ex ia, зовнішній вигляд показано на рис. 5.4 , технічні характеристики на рис. 5.5.



Рис. 5.5 – Зовнішній вигляд датчика розрідження HMP 331

Технічні характеристики

Параметр	Значення
Діапазони тиску	від 0...0,017 до 0...600 бар; -1...0 бар, абсолютний, надлишковий, розрідження
Основна похибка	0,1 % ДВ
Вихідний сигнал	4...20 мА, HART-протокол
Сенсор	кремнієвий п'єзорезистивний
Діапазон температур вимірюваного середовища	-40...+125°C
Клас захисту	IP 65-68
Механічне приєднання	M10x1, M12x1.5, M20x1.5, G1/4", G1/2", G3/4", G1", G1 1/2", 1/2" NPT, фланець (DN25, DN50, DN80), PASVE 1"
Електричне приєднання	кабельний ввід, M20x1.5

Рис. 5.6 – Технічні характеристики датчика температури датчику розрідження HMP 331

Схема підключення датчика розрідження показана на рис. 5.7.

Схема підключення

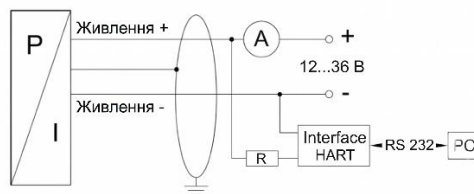


Рис. 5.7 – Схема підключення датчика розрідження HMP 331



Рис.5.8 Форсунка Ф-1 для подачі горючої суміші

Це пневматична паливна форсунка, яка використовується для розпилення дизельного палива або мазуту в топках сушильних установок.

Основні характеристики

Тип палива: дизель або мазут

Тиск палива:

мін: 0,075 МПа

макс: 0,175 МПа

Витрата палива: $\approx 50 - 375$ кг/год

Спосіб розпилення: пневматичний (повітря)

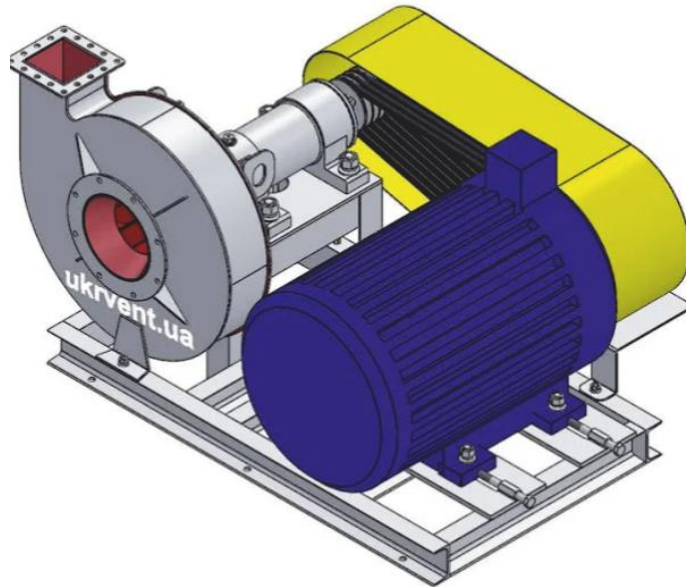


Рис.5.9 Вентилятор АД-3.5

Вентилятор АД-3,5 з двигуном 15 кВт і швидкістю обертання 3000 об/хв — це потужне промислове рішення для вентиляції, яке забезпечує стабільний повітряний потік у важких умовах експлуатації. Виконання №5 передбачає надійну конструкцію для ефективної роботи в системах з високими вимогами до продуктивності та тривалості служби

Основні Характеристики

Тип: радіальний (центробіжний)

Тиск: високий

Номер: 3,5 (діаметр робочого колеса ~350 мм)

Привід:

прямий або ремінний

Потужність двигуна:

~2,2 – 15 кВт

Частота обертання:

~1500 – 3000 об/хв

Кут виходу: 0°, 45°, 90°, 180°

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу



Рисунок 5.10 - Мікроконтролер Siemens SIMATIC S7-1500.

Контролер Siemens SIMATIC S7-1500, оснащений робочою пам'яттю розміром 1 МБ для програм та 4,5 МБ для даних. Перший інтерфейс: PROFINET IRT з 2-портовим комутатором, другий інтерфейс: PROFINET RT, продуктивність біта 6 нс. Використання SIMATIC Memory Card є обов'язковим.

Основні характеристики:

Робоча пам'ять для програм: 1 МБ

Робоча пам'ять для даних: 4,5 МБ

1-й інтерфейс: PROFINET IRT з 2-портовим комутатором

2-й інтерфейс: PROFINET RT

Продуктивність біта: 6 нс

Застосування: Використовується для централізованого управління та обробки даних в системах автоматизації та контролю, де важлива висока швидкість обчислень та продуктивність.

діапазон надлишкового тиску середовища, яке треба контролювати лежить в межах від 0 до 1 МПа.;

основна зведена похибка – 0,5% ВМВ;

температура зовнішнього середовища - від 15 °С до 40 °С;

датчик виконує перетворення тиску в уніфікований сигнал постійного струму 4...20 мА;

напруга живлення - 12...36 В постійного струму;

- дані вимірювального каналу не впливають на якість продукції (тому що контролюються температури по зонам).

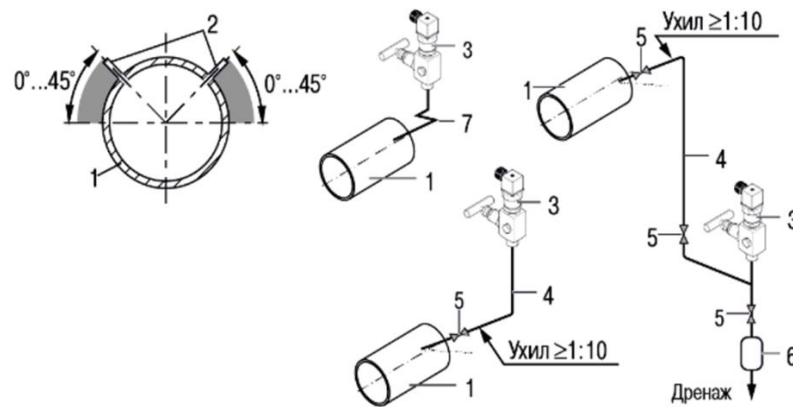


Рисунок 5.11 Розташування відвідних трубок на трубопроводі та приклад монтажу перетворювача.

трубопровід, 2 – відвідна трубка, 3- перетворювач тиску з вентильним блоком, 4-з'єднувальна лінія, 5-запірний вентиль, 6- посудина для збирання конденсату, 7 – одновиткова імпульсна трубка.

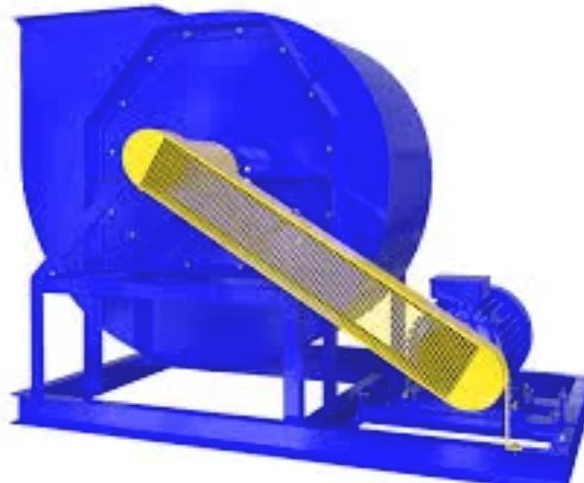


Рис.5.12 Приточний вентилятор зовнішнього повітря ВЦ 4-76

Призначений для подачі й відведення повітря у промислових умовах, зокрема на елеваторах і зерносушильних установках, що робить його надійним вибором для аграрного чи виробничого підприємства. Його конструкція забезпечує високу продуктивність і стабільну роботу навіть за інтенсивного навантаження.

Тип: відцентровий (радіальний)

Тиск: низький

Продуктивність: до $\sim 30\,000\text{ м}^3/\text{год}$ (залежить від номера)

Температура повітря:

стандарт: до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$

жаростійке виконання: до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Запиленість: до 100 мг/м^3

Двигун: 1,5 – 55 кВт (залежно від розміру)

Місцеве керування виконавчими механізмами здійснює блок ручного керування БРУ-7 (рис. 5.32).

Він призначений для використання в системах промислової автоматизації виробничих процесів в якості:

Блоку ручного задатчика аналогового сигналу;

Блоку ручного управління аналоговим виконавчим механізмом (ІМ).

Технічні характеристики:

Вхідний аналоговий сигнал: 0-5мА ($R_{вх} = 400 \text{ Ом}$), 0 (4) -20 мА ($R_{вх} = 100 \text{ Ом}$), 0-10В ($R_{вх} = 25\text{кОм}$);

Вихідний аналоговий сигнал: 0-5 мА ($R_{н} < 2\text{кОм}$), 0 (4) -20 мА ($R_{н2} \text{ кОм}$);

Максимальна похибка установки сигналу завдання: по цифровому індикатору $\pm 0,1\%$ (вихід задатчика підключений та вхід індикатора) по лімбу потенціометра $\pm 2,0\%$;

Температура навколишнього середовища: від -40°C до $+70^\circ \text{C}$;

Напруга живлення БРУ-7: $\sim 220 (+22, -33) \text{ В}$, $(50 \pm 1) \text{ Гц}$ змінного струму або $24 (\pm 4) \text{ В}$ постійного струму;

Напруга живлення БРУ-7К1: $24 (\pm 4) \text{ В}$ постійного струму; - Споживана потужність: не більше 7 Вт ($\sim 220\text{В}$) - для БРУ-7; - Струм споживання: не більше 150 мА - для БРУ-7К1.

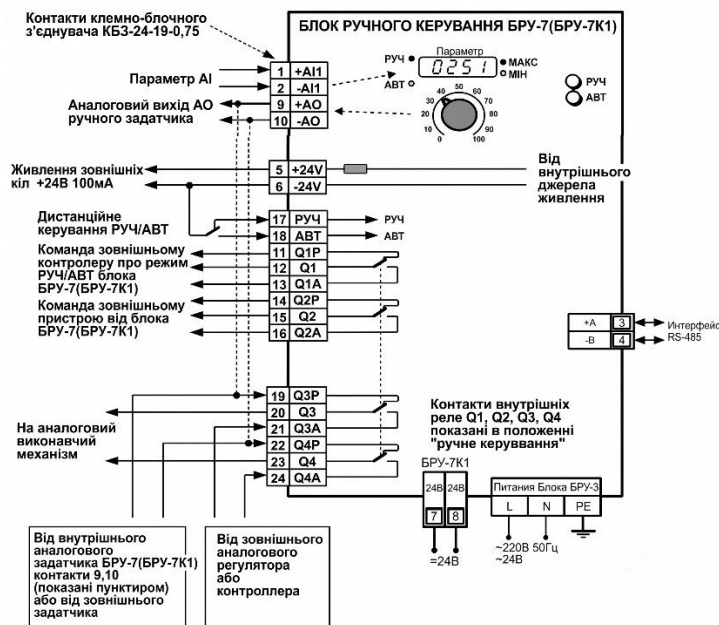


Рис. 5.13 – Схема підключення блоку ручного управління БРУ-7:

5.4. Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі

Оскільки шахтна зерносушарка це відносно компактна будівля, то відповідно датчики та виконавчі пристрої, які встановлені на неї, також розміщуються на невеликих відстанях одні від інших. Тому шафу з ПЛК та допоміжним устаткування доцільно розташувати в приміщенні топки, або окремої споруди довкола зерносушарки, що скоротить довжини кабелів при підключенні. Виходячи з цих обставин та досвіду реалізації таких систем, виберемо централізовану контролерно-комп'ютерну мережу з реалізацією АРМ на панелі оператора, яка може бути встановлена на передній панелі шафи або в окремому приміщенні. Для реалізації розроблених алгоритмів керування оберемо ПЛК SIMATIC S7-1500 із середовищем програмування TIA Portal.

Виконавши аналіз системи автоматизації лінії первинної переробки винограду за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.5 – Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид А/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Вологість зерна на виході зерносушарки	А	I	4...20 мА DC
2	Температура агенту сушіння на вході до 1-ої зони сушіння	А	I	4...20 мА DC

3	Температура агенту сушіння на вході до 2-ої зони сушіння	A	I	4...20 mA DC
4	Температура зерна на виході з 1-ої зони сушіння	A	I	4...20 mA DC
5	Температура зерна на виході з 2-ої зони сушіння	A	I	4...20 mA DC
6	Сигнал положення РО, що змінює витрати палива	A	I	4...20 mA DC
7	Сигнал положення РО, що змінює витрати атмосферного повітря до першої зони сушіння	A	I	4...20 mA DC
8	Керуюча дія - положення РО, що змінює витрати палива	A	O	0...10 V DC
9	Керуюча дія - положення РО, що змінює витрати атмосферного повітря до першої зони сушіння	A	O	0...10 V DC
10	Сигнал датчика верхнього рівня надсушильного бункеру	D	I	24 V DC
11	Сигнал датчика нижнього рівня надсушильного бункеру	D	I	24 V DC
12	Сигнал датчика контролю тиску палива	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану авт. вимикача приводу вентилятору M1	D	I	24 V DC
14	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
15	Сигнал перемикача режиму	D	I	24 V DC

	(лок./дистанц.) M1			
16	Сигнал стану авт. вимикача приводу вентилятору M2	D	I	24 V DC
17	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
18	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M2	D	I	24 V DC
19	Сигнал стану авт. вимикача двигуна вентилятору M3	D	I	24 V DC
20	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
21	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M3	D	I	24 V DC
22	Сигнал стану авт. вимикача двигуна вентилятору високого тиску M4	D	I	24 V DC
23	Сигнал стану контактора M4	D	I	24 V DC
24	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M4	D	I	24 V DC
25	Сигнал стану авт. вимикача двигуна вентилятору високого тиску M5	D	I	24 V DC
26	Сигнал стану контактора M5	D	I	24 V DC
27	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M5	D	I	24 V DC
28	Сигнал датчику контролю швидкості транспортеру M5	D	I	24 V DC
29	Сигнал стану «відкритий» відсічного клапану подачі	D	I	24 V DC

	палива			
30	Сигнал стану «закритий» відсічного клапану подачі палива	D	I	24 V DC
31	Сигнал керування приводу вентилятору M1	D	O	24 V DC
32	Сигнал керування приводу вентилятору M2	D	O	24 V DC
33	Сигнал керування двигуном вентилятору M3	D	O	24 V DC
34	Сигнал керування двигуном вентилятору високого тиску M4	D	O	24 V DC
35	Сигнал керування двигуном транспортера M5	D	O	24 V DC
36	Сигнал керування відсічним клапаном подачі палива	D	O	24 V DC
37	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 7, AO – 2, DI – 20, DO – 7

Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54.

На наступних рисунках наведені рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі з урахуванням зазорів, можливості розсіювання тепла, а також схема заземлення.

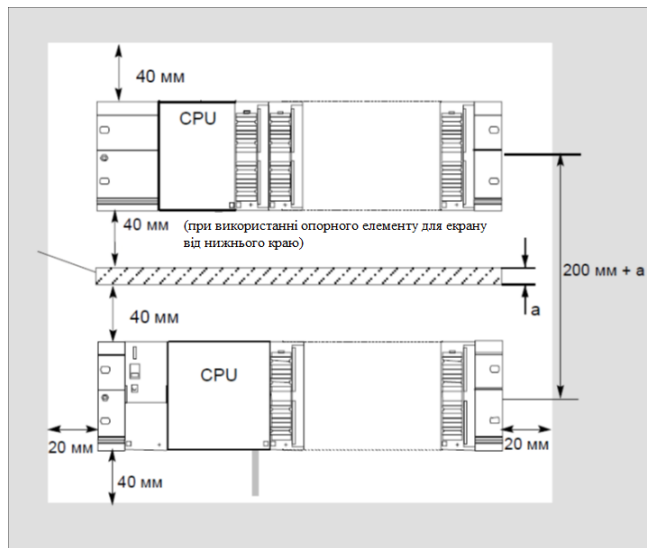


Рис. 5.14 – Зазори при встановленні S7-1500 у шафі.

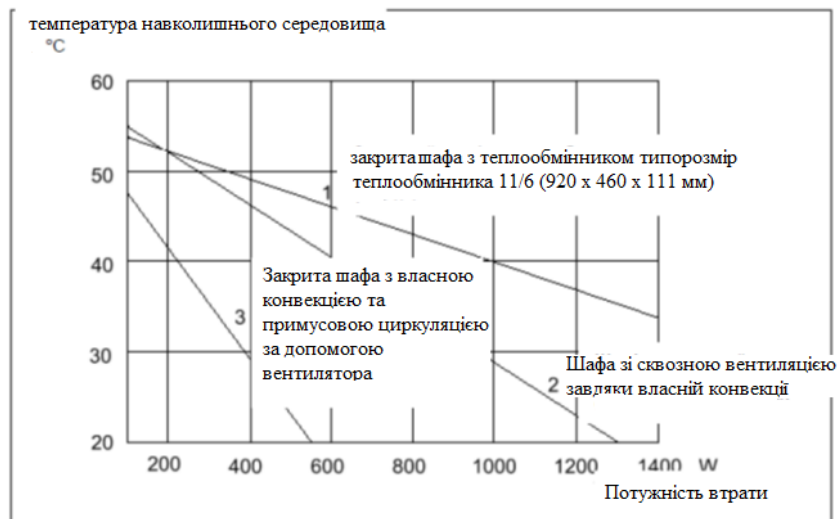


Рис. 5.15 – Діаграма припустимих потужностей розсіювання.

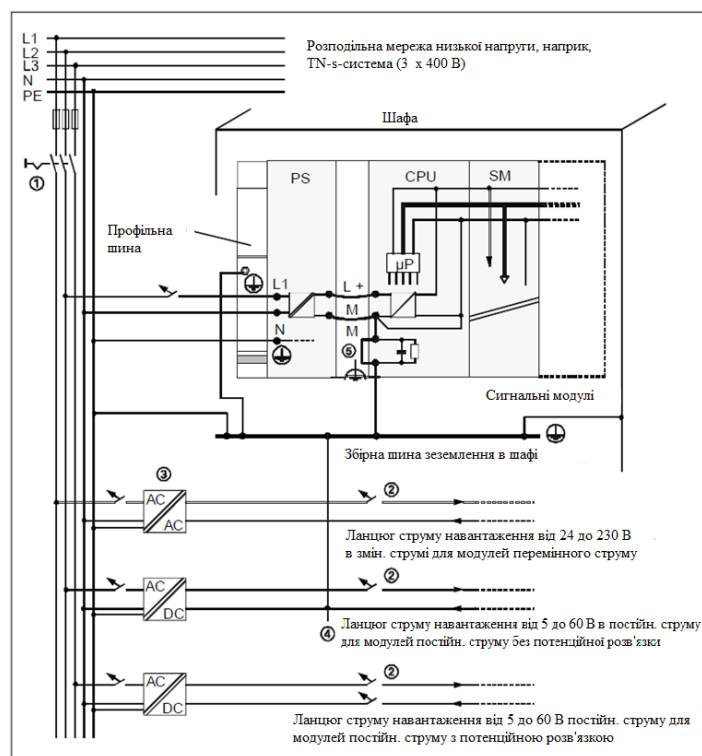
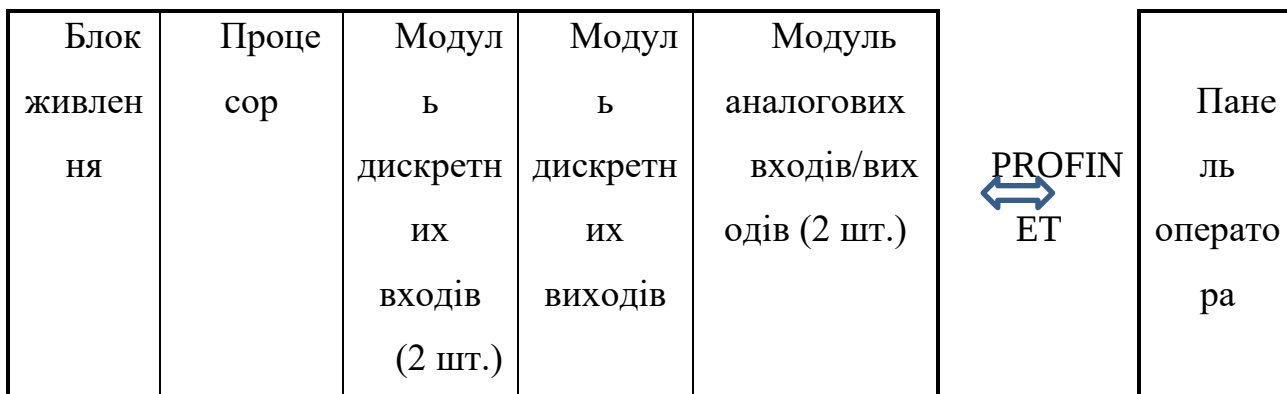


Рис. 5.16 – Схема заземлення в шафі.

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування процесом сушіння зерна в шахтній зерносушарці приймає наступний вигляд.



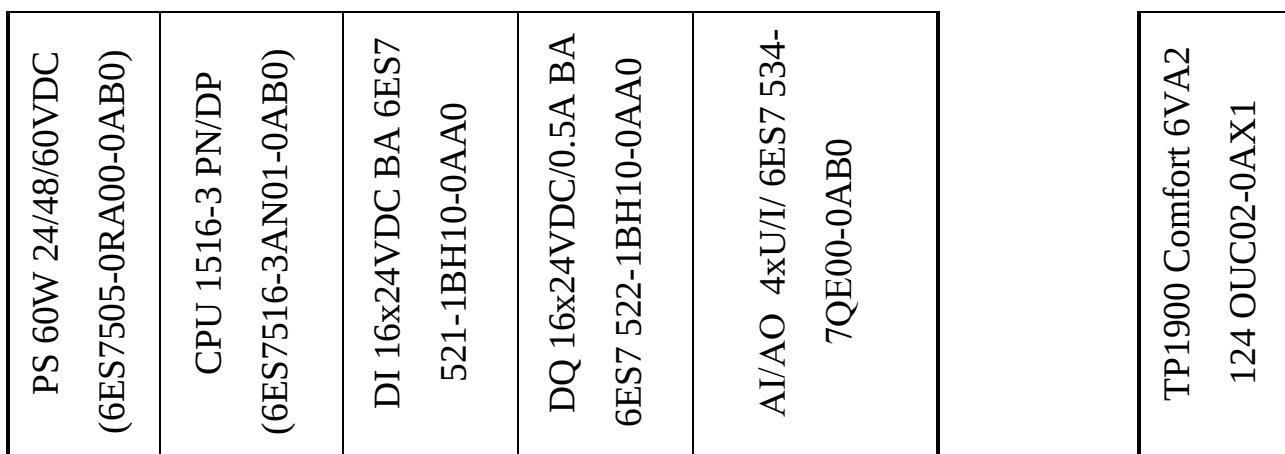


Рис. 5.17 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом сушіння зерна в шахтній зерносушарці.

Центральний процесор CPU 1516-3 PN / DP призначений для побудови систем керування, що вимагають виконання програм великого об'єму, високій швидкості оброблення даних і обслуговування систем розподіленого введення-виведення на основі мереж PROFINET IO і PROFIBUS DP. Оснащений інтерфейсами PROFINET, а також PROFIBUS. Це дає можливість застосувати його при подальшій розбудові системи на інші ділянки виробництва.

6ES7516-3AN01-0AB0	
General information	
Product type designation	CPU 1516-3 PN/DP
Hardware function version	FS03
Firmware version	V2.0
Engineering with STEP 7 TIA Portal can be configured/integrated as of version	V14
Configuration control	
Via data record	Yes
Display	
Screen diagonal (cm)	6.1 cm
Operator controls	
Number of buttons	6
Mode selector	1
Supply voltage	
Type of supply voltage	24 V DC
Low limit of permitted range (DC)	19.2 V
High limit of permitted range (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Power and voltage failure buffering	
Power/voltage failure buffer time	5 ms

Input current	
Current consumption (rated value)	0.85 A
Inrush current, max.	2.4 A; rated value
I _t	0.02 A ² s
Power	
Power consumption from the backplane bus (balanced)	6.7 W
Incoming power to the backplane bus	12 W
Power loss	
Power loss, typ.	7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes
Work memory	
Integrated (for program)	1 MB
Integrated (for data)	5 MB

Рис. 5.17– Технічні дані CPU

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-

1BH10-0AA0). Обрано дві штуки. Він здатен сприймати до 16 сигналів від датчиків, на виходах яких є сигнали $-3...+5$ VDC (рівні логічного нуля) або $+11...30$ VDC (рівні логічної одиниці).

Digital inputs	
Number of inputs	16
Configurable digital inputs	No
Sinking/sourcing input	Sinking input
Input characteristic curve acc. to IEC 61131, type 3	Yes
Input voltage	
Type of input voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
for signal "0"	-30 to +5 V
for signal "1"	+11 to +30 V
6ES7521-1BH10-0AA0	
Input current	
for signal "1", typ.	2.7 mA
Input delay (for rated value of input voltage)	
For standard inputs	
• Configurable	No
• with "0" to "1", min.	3 ms
• with "0" to "1", max.	4 ms
• with "1" to "0", min.	3 ms
• with "1" to "0", max.	4 ms
For interrupt inputs	
• Configurable	No
for technological functions	
• Configurable	No
Cable length	
shielded, max.	1000 m
unshielded, max.	600 m

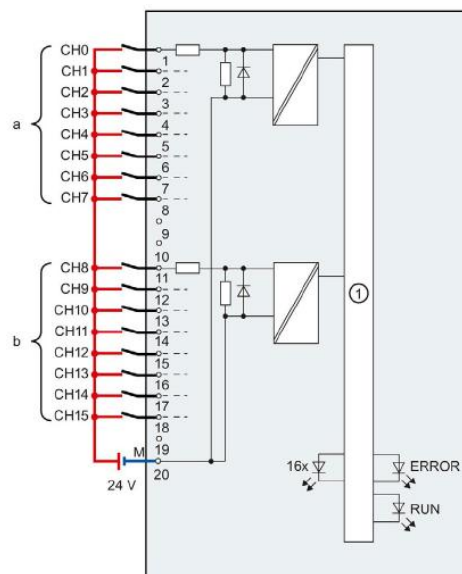


Рис. 5.18 – Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0). При виводі керуючих сигналів на його виходах з'являється напруга 24 VDC, вихідні транзистори здатні продукувати струм на навантаження до 0,5 А.

Digital outputs	
Type of digital output	Transistor
Number of outputs	16
Sourcing output	Yes
Digital outputs, configurable	No
Short-circuit protection	Yes
• Response threshold, typ.	1 A
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-53 V)
Activation of a digital input	Yes
6ES7522-1BH10-0AA0	
Switching capacity of the outputs	
With resistive load, max.	0.5 A
With lamp load, max.	5 W
Load resistance range	
Low limit	48 Ω
High limit	12 kΩ
Output voltage	
Type of output voltage	DC
for signal "1", min.	L+ (-0.8 V)
Output current	
For signal "1" rated value	0.5 A
For signal "1" permitted range, max.	0.5 A
For signal "0" residual current, max.	0.5 mA
Output delay with resistive load	
"0" to "1", max.	100 μs
"1" to "0", max.	500 μs

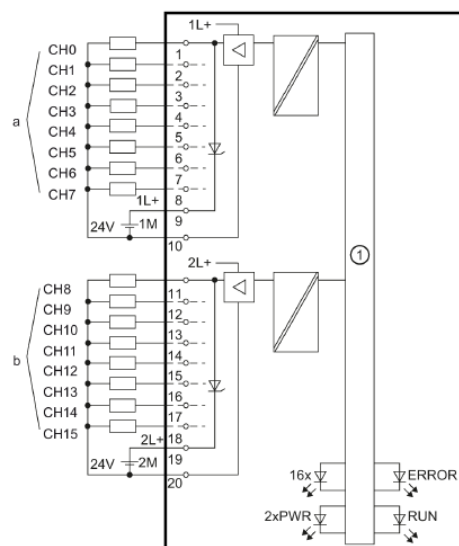


Рис. 5.19 – Технічні характеристики та схема підключень
DQ 16x24VDC/0.5A BA

Для вводу/виводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0). Обрано дві штуки. Він здатен сприймати аналоговий сигнал струму 4...20 mA DC від датчиків з 4-х провідною або 2-х провідною схемами підключення.

6ES7534-7QE00-0AB0	
Analog Inputs	
Number of analog inputs	4
Number of analog inputs with current measurement	4
Number of analog inputs with voltage measurement	4
Number of analog inputs with resistance/resistance thermometer measurement	2
Number of analog inputs with thermocouple measurement	4
Permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	28.8 V
Permissible input current for current input (destruction limit), max.	40 mA
Technical unit for temperature measurement adjustable	Yes
Input ranges (rated values), currents	
0 mA to 20 mA	Yes
Input resistance (0 mA to 20 mA)	25 Ω; plus approx. 42 ohm for overvoltage protection by PTC
-20 mA to +20 mA	Yes
Input resistance (-20 mA to +20 mA)	25 Ω; plus approx. 42 ohm for overvoltage protection by PTC
4 mA to 20 mA	Yes
Input resistance (4 mA to 20 mA)	25 Ω; plus approx. 42 ohm for overvoltage protection by PTC

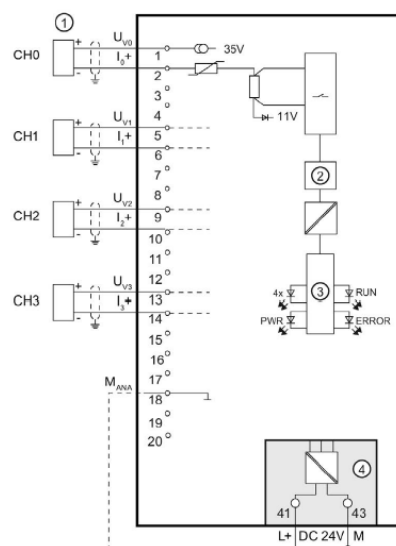


Рис. 5.20 – Технічні характеристики та схема підключень
датчиків сили струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0

Analog outputs	
Number of analog outputs	2
Voltage output, short-circuit protection	Yes
Voltage output, short-circuit current, max.	24 mA
Current output, open-circuit voltage, max.	22 V
Cycle time (all channels) min.	3.2 ms; +/- 0.5ms, regardless of the number of activated channels
Output ranges, voltage	
0 V to 10 V	Yes
1 V to 5 V	Yes
-10 V to +10 V	Yes
Output ranges, current	
0 mA to 20 mA	Yes
-20 mA to +20 mA	Yes
4 mA to 20 mA	Yes
Connection of actuators	
for voltage output two-wire connection	Yes
for voltage output four-wire connection	Yes
for current output two-wire connection	Yes
Load resistance (in the rated output range)	
for voltage outputs, min.	1 kΩ; 0.5 kilohm at 1 V to 5 V
for voltage outputs, capacitive load, max.	1 μF
for current outputs, max.	750 Ω
for current outputs, inductive load, max.	10 mH
Cable length	
Shielded cable length, max.	800 m; for current, 200 m for voltage

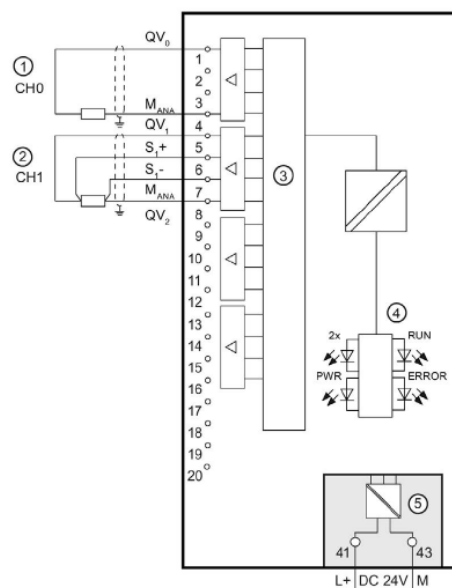


Рис. 5.21 – Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0

До виходів цього модуля можна підключати виконавчі механізми, які сприймають керуючий сигнал із діапазону 0...10 V DC по 2-х провідній або 4-х провідній схемі підключення. Виходи мають захист від короткого замикання.

5.5 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування шахтною зерносушаркою. Класи точності, ступінь захисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

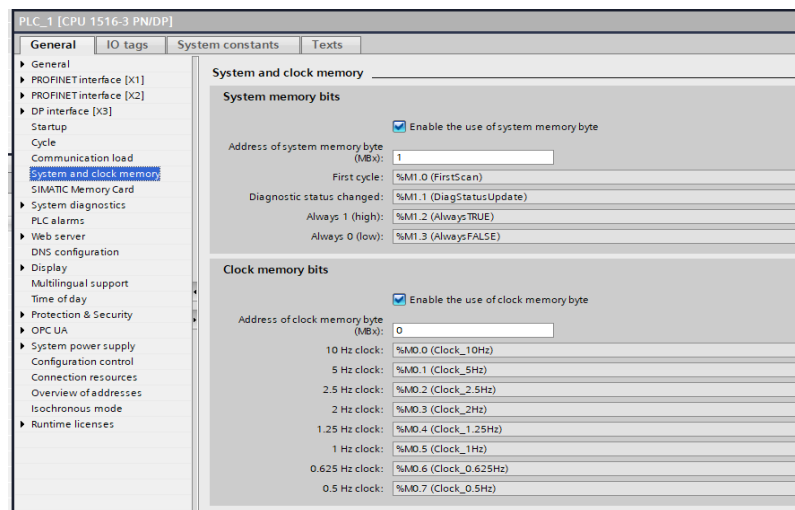


Рис. 6.2 Конфігурування системних областей пам'яті CPU.

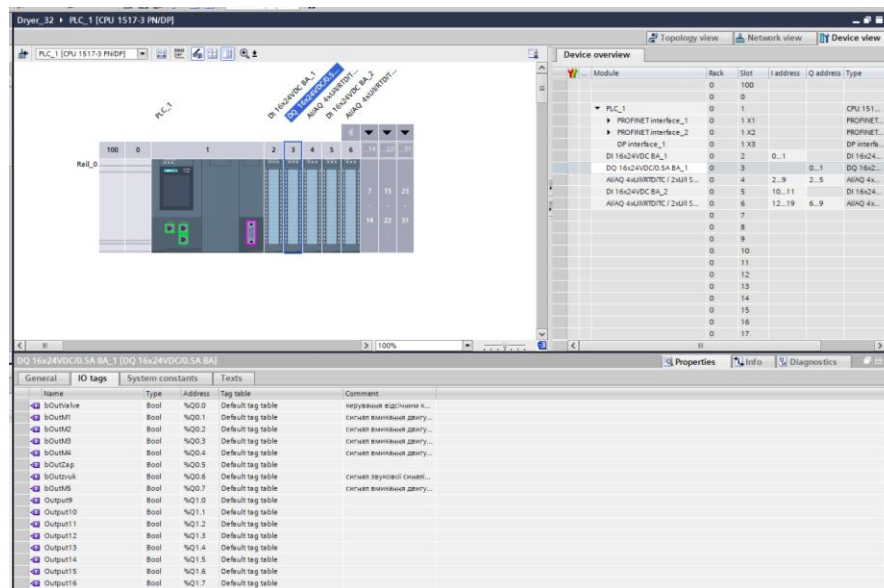


Рис. 6.3 Приклад визначення модулів ПЗО.

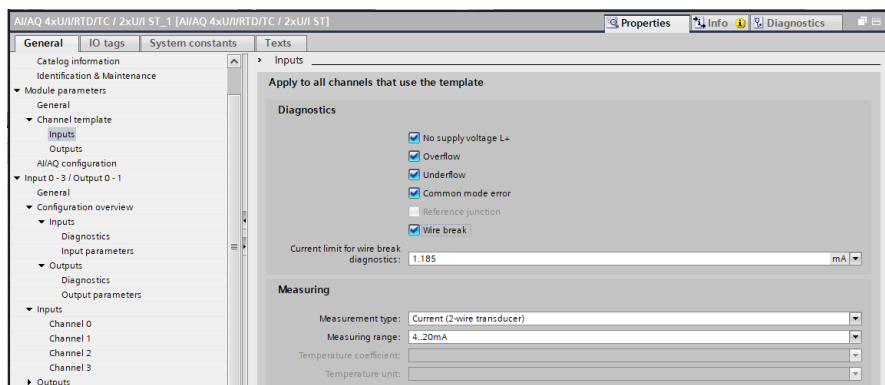


Рис. 6.4 Приклад визначення виду вхідного сигналу
і діапазону його зміни для аналогового модуля.

Відповідно до табл. 5.5 проводимо остаточне редагування імен входів/виходів в таблиці тегів програми.

Name	Data type	Address	Retain	Access	Write	Visible	Supervise	Comment
bOutM1	Bool	%Q0.1						сигнал вмикання двигуна M1
bOutM2	Bool	%Q0.2						сигнал вмикання двигуна M2
bOutM3	Bool	%Q0.3						сигнал вмикання двигуна M3
bOutM4	Bool	%Q0.4						сигнал вмикання двигуна M4
bOutM5	Bool	%Q0.5						сигнал вмикання двигуна M5
Output9	Bool	%Q0.6						сигнал звукової сигналізації
Output10	Bool	%Q0.7						сигнал вмикання двигуна M5
Output11	Bool	%Q1.0						
Output12	Bool	%Q1.1						
Output13	Bool	%Q1.2						
Output14	Bool	%Q1.3						
Output15	Bool	%Q1.4						
Output16	Bool	%Q1.5						
winM	Int	%I0.1						вологість зерна
winT2_2	Int	%I0.2						температура зерна на виході 2-ї зони
winF81	Int	%I0.3						положення PO1
winF82	Int	%I0.4						положення PO2
wOutOil	Int	%Q0.6						керуваний вплив витрати палива
wOutOil	Int	%Q0.7						керуваний вплив витрати повітря
bLL_251	Bool	%I10.0						верхній рівень у збірнику зерна
bLL_252	Bool	%I10.1						нижній рівень у збірнику зерна
bPS_gas	Bool	%I10.7						контроль тиску газу
bSS_7	Bool	%I11.0						датчик контролю швидкості транспортера
iwT1_2a	Int	%WI2						температура сушильного агенту 1 зона
iwT2_2a	Int	%WI4						температура сушильного агенту 2 зона
iwT1_2	Int	%WI6						температура зерна на виході 1 зона

Рис. 6.5 Приклад вікна таблиці тегів САК процесу сушіння зерна в шахтній зерносушарці.

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

В дереві каталогу проекту створюємо дві папки: Cyclic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання температури та вологості зерна, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування.

У вкладці Libraries відкриваємо бібліотеку SOL і за допомогою миші перетягуємо в проект теги з бібліотеки SOL та необхідні функціональні блоки для керування електроприводами, аналоговими та відсічним клапанами.

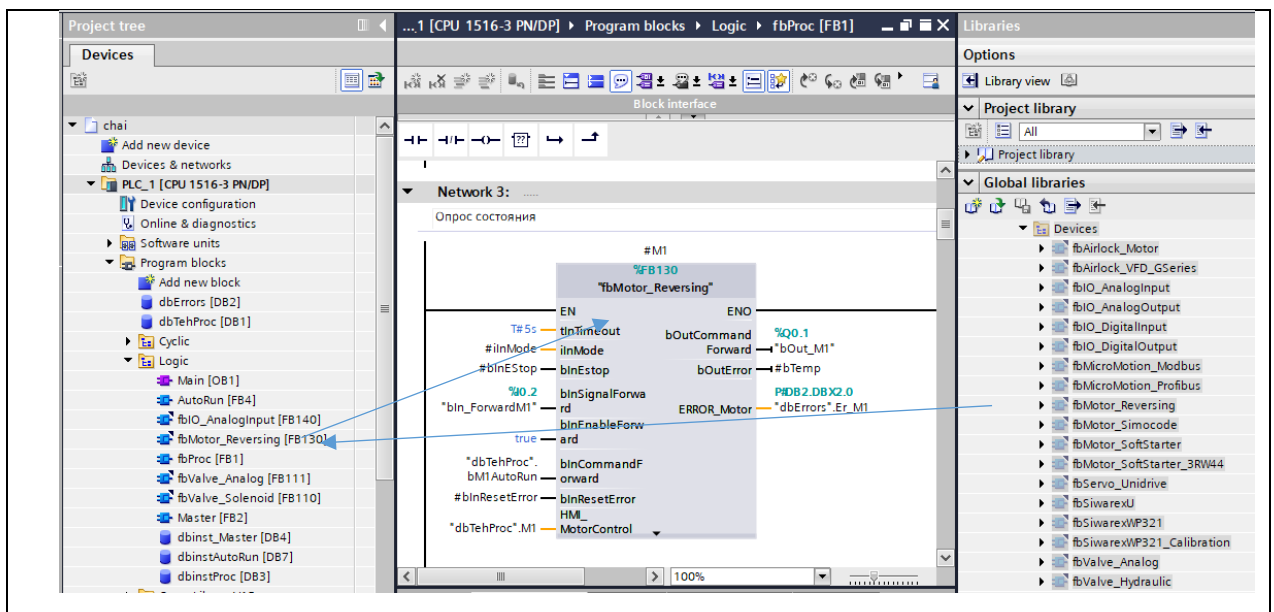


Рис. 6.6 Приклад додавання функціонального блоку FB Motor.

Основні функціональні можливості цих блоків:

- формування керуючих впливів;
- - аналіз зворотного зв'язку про результати виконання;
- - формування структур даних для обміну з НМІ програмами.

Використовуючи бібліотечні типи даних, які розміщені в дереві каталогу проекту PLC data types, створюємо два глобальних блоки даних dbTehProc, dbErrors.

Siemens - C:\Programs\Siemens\Projects\Dryer_32\Dryer_32

Project: Dryer_32 [CPU 1517-3 PN/DP] > Program blocks > dbErrors [DB2]

Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Write...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Comment
1	Static									
2	Ex_Valve_Analog	"udtError_Analog..."	0.0							
3	Ex_M1	"udtError_Motor"	2.0							
4	Ex_M2	"udtError_Motor"	4.0							
5	Ex_M3	"udtError_Motor"	6.0							
6	Ex_M4	"udtError_Motor"	8.0							
7	Ex_PID	"udtError_PID_Com..."	10.0							
8	Ex_Temper	"udtError_Analogin..."	12.0							
9	Ex_Valve_Analog_1	"udtError_Analogic..."	14.0							
10	Ex_PID_1	"udtError_PID_Com..."	16.0							
11	Ex_SolValve	"udtError_Valve"	18.0							

Dryer_32 > PLC_1 [CPU 1517-3 PN/DP] > Program blocks > dbTehProc [DB1]

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Write...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Comment
1	Static								
2	AnalogValve	"udtMtr_AnalogVal..."							
3	AnalogValve_1	"udtMtr_AnalogVal..."							
4	SolValve	"udtMtr_ValveCont..."							
5	M1	"udtMtr_MotorCon..."							
6	M2	"udtMtr_MotorCon..."							
7	M3	"udtMtr_MotorCon..."							
8	M4	"udtMtr_MotorCon..."							
9	SystemControl	"udtMtr_SystemCo..."							
10	RunControl	"udtMtr_System..."							
11	Temperature	"udtMtr_Analogin..."							
12	PID_Control	"udtMtr_PID_Com..."							
13	PID_Control_1	"udtMtr_PID_Com..."							
14	BM1AutoRun	Bool	False						
15	BM2AutoRun	Bool	False						
16	BM3AutoRun	Bool	False						
17	BM4AutoRun	Bool	False						
18	SubstationAutoRun	Bool	False						

Рис. 6.7 Створення глобальних блоків даних dbTehProc, dbErrors при реалізації САК процесом первинної переробки винограду.

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів вентиляторів M1 – M4 та транспортеру M5, аналогових та відсічного клапанів. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи.

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint
1	Input							
2	inMode	Int	0	Non-ret...	☒	☒	☒	
3	binEstop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	
4	binResetError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	
5	binSimulate	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	
6	Output							
7	bOutAuto	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	
8	bOutError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	
9	InOut							
10	<Add new>							
11	Static							
12	M1	*fbMotor_Reversing			☒	☒	☒	☒
13	M2	*fbMotor_Reversing			☒	☒	☒	☒
14	M3	*fbMotor_Reversing			☒	☒	☒	☒
15	M4	*fbMotor_Reversing			☒	☒	☒	☒
16	AnalogValve	*fbValve_Analog			☒	☒	☒	☒
17	AnalogValve_1	*fbValve_Analog			☒	☒	☒	☒
18	Temperature	*fbIO_AnalogInput			☒	☒	☒	☒
19	SolValve	*fbValve_Solenoid			☒	☒	☒	☒
20	rOutAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒
21	rOutAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒
22	rinAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒
23	rinAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒
24	iTemper	Int	0	Non-retain	☒	☒	☒	

Рис. 6.8 Інтерфейс функціонального блоку fbProc.

Підпрограма fbProc створена на мові LD. Для кожного електроприводу викликається екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbMotor_Reversing та попередньо пишеться строчка програми, яка імітує зворотній зв'язок з виходу цього блоку на його вхід, тобто спрацювання контактора електропривода. До входів/виходів fbMotor_Reversing підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors (рис. 6.9).

Аналогічно здійснюється опит стану відсічних (рис. 6.10) та аналогових клапанів (рис. 6.11). Для цього викликаються екземпляри бібліотечних функціональних блоків fbValve_Solenoid, fbValve_Analog, до входів/виходів яких

підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

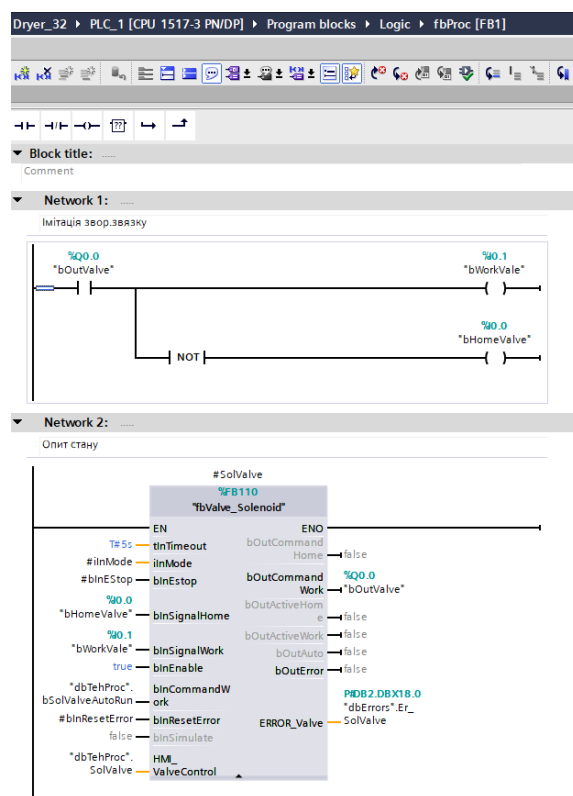


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

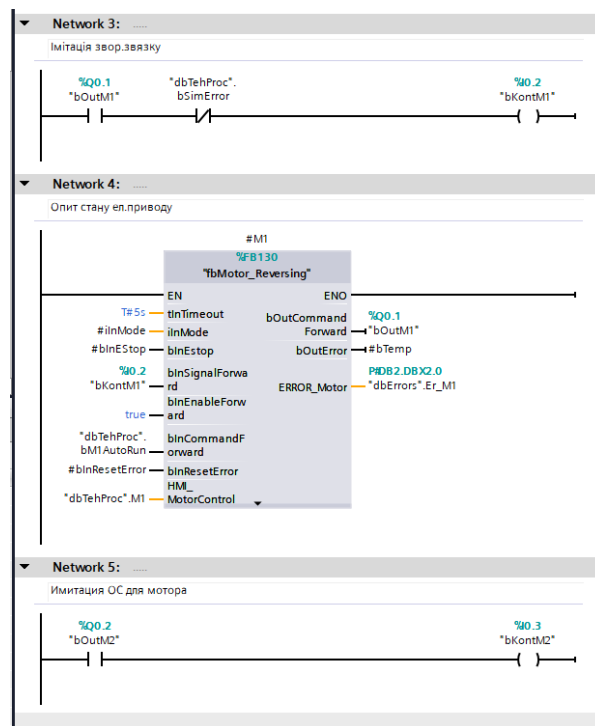


Рис. 6.10 Фрагмент підпрограми fbProc

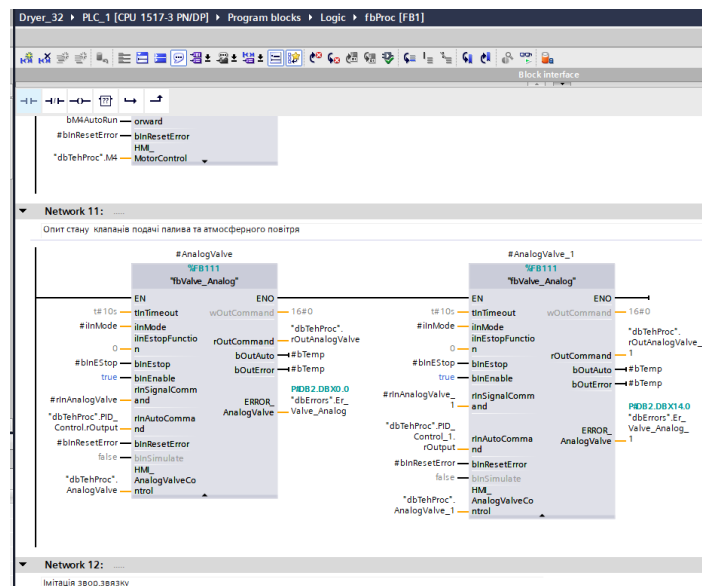


Рис. 6.11 Фрагмент підпрограми fbProc

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

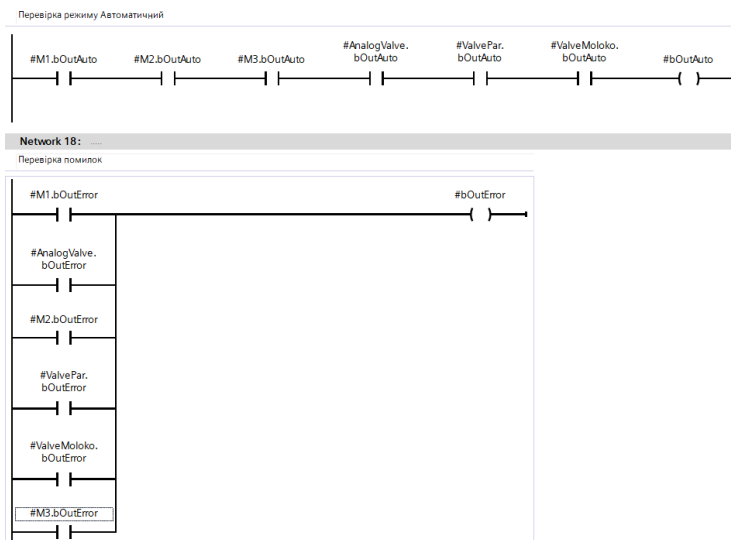


Рис. 6.12 Фрагмент підпрограми fbProc

Далі складаємо підпрограму пуску та зупинки обладнання шахтної зерносушарки fbAutoRun, яка базується на алгоритмах, розроблених у розділі 4.

Спочатку створюється інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun, в якому вказуються змінні та їх типи.

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Comment
4	Output									
5	bOutAutoRunning	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
6	InOut									
7	<add new>									
8	Static									
9	bAutoRun	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
10	bAutoStop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
11	bZvuk	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
12	bM1	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
13	b5V	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
14	bM4	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
15	bAV	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
16	Timer1	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
17	Timer2	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
18	Timer3	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
19	Timer4	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
20	Timer5	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
21	Timer6	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
22	Timer7	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐	
23	Timer8	IEC_TIMER		Non-ret...	☒	☒	☒	☐	☐	

Рис. 6.13 Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun.

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.14), які забезпечують почерговий запуск та зупинку електроприводів та клапанів. Інтервали затримок встановлюються у відповідних таймерах типу TON, які відносяться до базових інструкцій мови, так само як і SR-тригери.

Завершують підпрограму строки із визначенням режиму роботи «ручний-автоматичний» ПІД-регулятора (рис. 6.16).

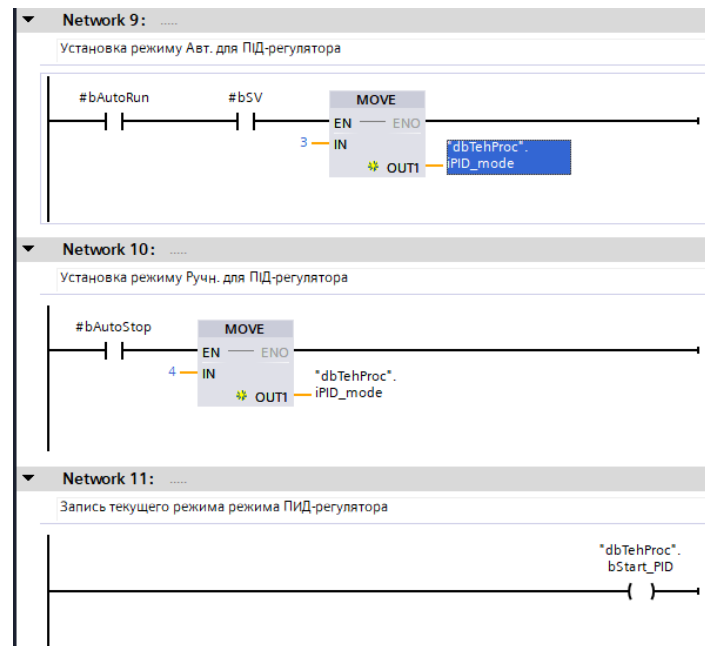


Рис. 6.16 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

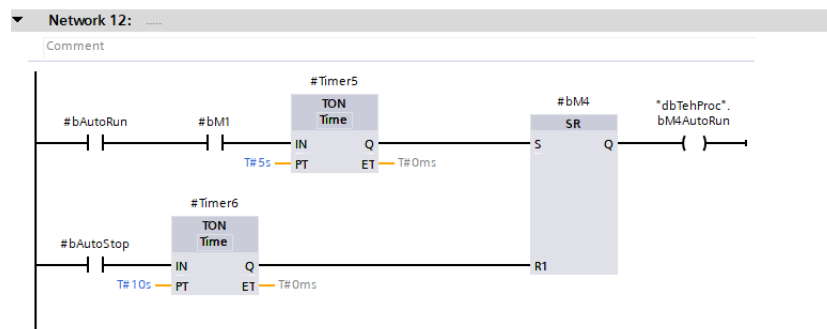


Рис. 6.17 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

Виклик на виконання підпрограм `fbProc` та `fbAutoRun` здійснюється в підпрограмі `Master` (рис. 6.18), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі `Main` (OB1).

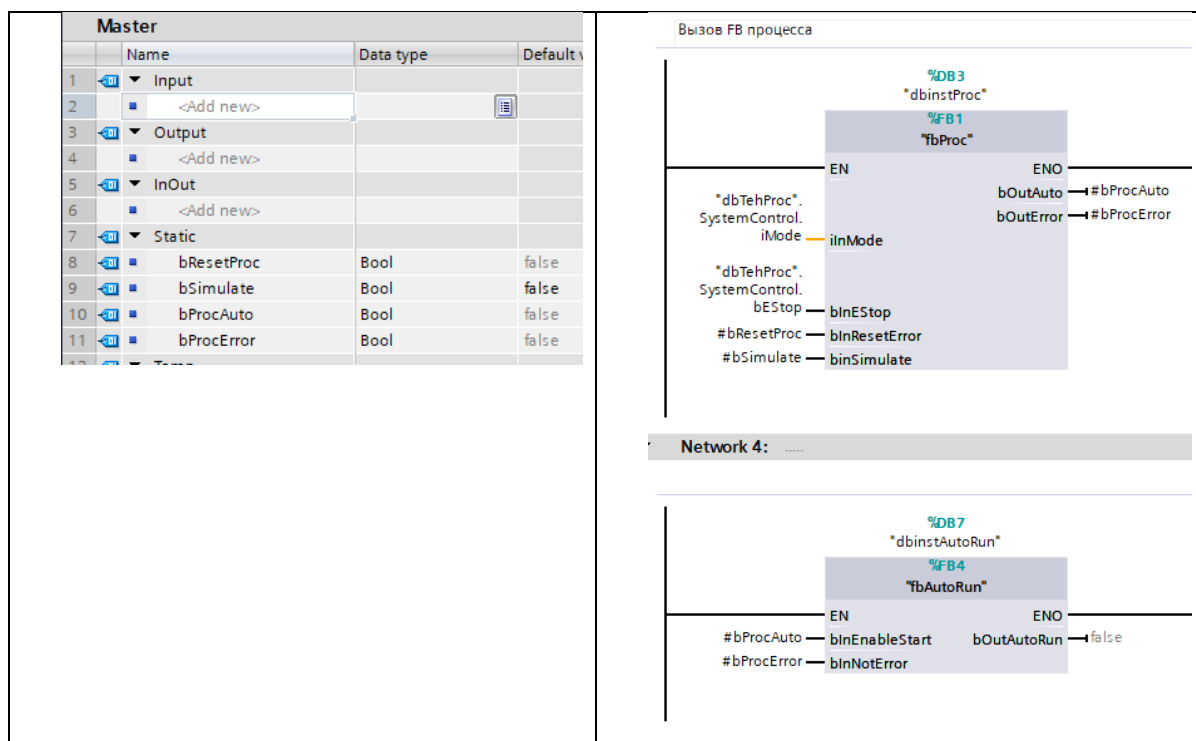


Рис. 6.18 Інтерфейс та текст підпрограми Master.

Циклічне виконання цих підпрограм забезпечує опит стану обладнання, його автоматичний пуск і зупинку.

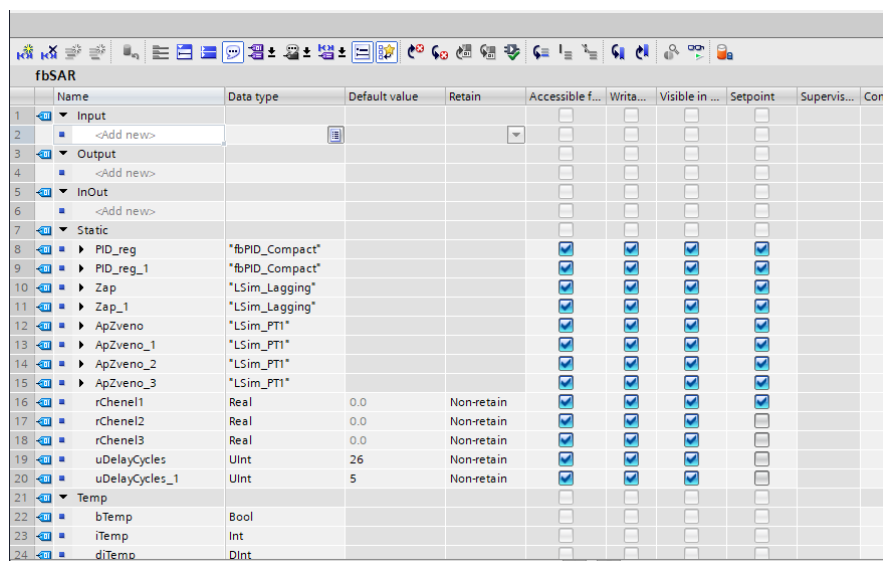
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Алгоритми регулювання температури та вологості зерна були розроблені і протестовані в розділах 1..3, де були визначені параметри моделі об'єкту керування і параметри ПІД-регуляторів.

В середовищі TIA Portal модель SAR температури зерна та його вологості реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожну 0,1 сек в організаційному блоці Syclic interrupt (OB30). Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель SAR запрограмована з використанням функціональних блоків

типового регулятора fbPID_Compact та типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК. Інтерфейс підпрограми SAR представлений на рис. 6.19, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.



	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Com
1	Input									
2	<Add new>									
3	Output									
4	<Add new>									
5	InOut									
6	<Add new>									
7	Static									
8	PID_reg	"fbPID_Compact"			☒	☒	☒	☒		
9	PID_reg_1	"fbPID_Compact"			☒	☒	☒	☒		
10	Zap	"LSim_Lagging"			☒	☒	☒	☒		
11	Zap_1	"LSim_Lagging"			☒	☒	☒	☒		
12	ApZveno	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒		
13	ApZveno_1	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒		
14	ApZveno_2	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒		
15	ApZveno_3	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒		
16	rChenel1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
17	rChenel2	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
18	rChenel3	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
19	uDelayCycles	UInt	26	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
20	uDelayCycles_1	UInt	5	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
21	Temp									
22	bTemp	Bool			☐	☐	☐	☐		
23	iTemp	Int			☐	☐	☐	☐		
24	diTemp	DInt			☐	☐	☐	☐		

Рис. 6.19 Інтерфейс функціонального блоку fbSAR.

Перша строчка підпрограми fbSAR містить виклик функціональних блоків ПІД-регулятора fbPID_Compact, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

ОК (рис. 6.23). Параметри моделі відповідають значенням, отриманим при ідентифікації моделі ОК.

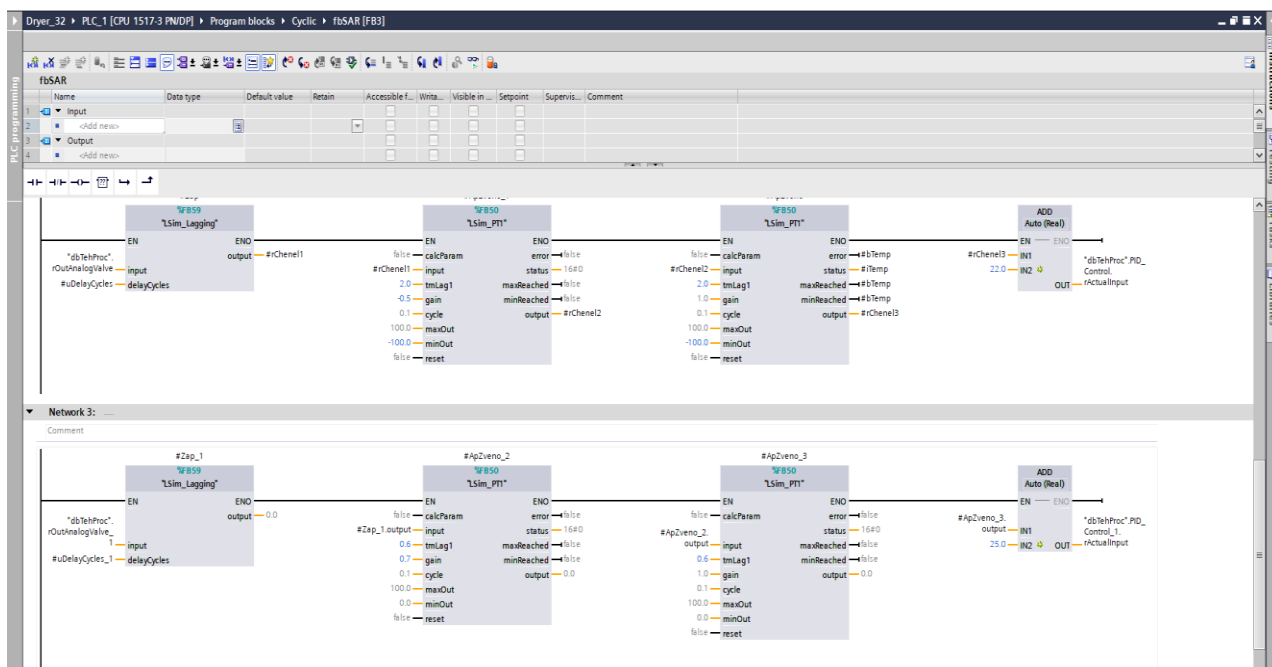


Рис. 6.22 Фрагмент функціонального блоку fbSAR,
що реалізує модель ОК

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM. На рисунку 6.23 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.



Рис. 6.23 Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування.

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу були отримано навички використання документації виробника контролерів Siemens. Виконано обґрунтований вибір необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання для процесу сушіння зерна у шахтній зерносушарці.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET. Результати конфігурування наведено на рис. 7.1.

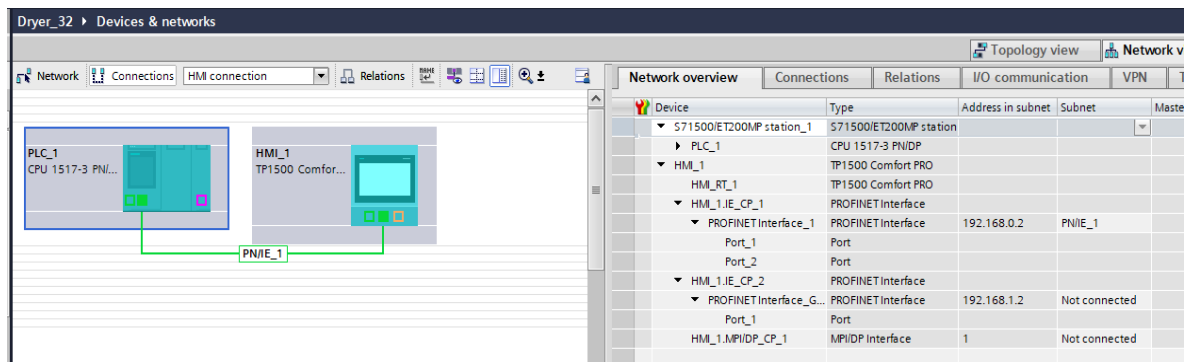


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

Конфігурування панелі оператора TP 1900 Comfort виконуємо в розділі Runtime settings дерева каталогу проекту.

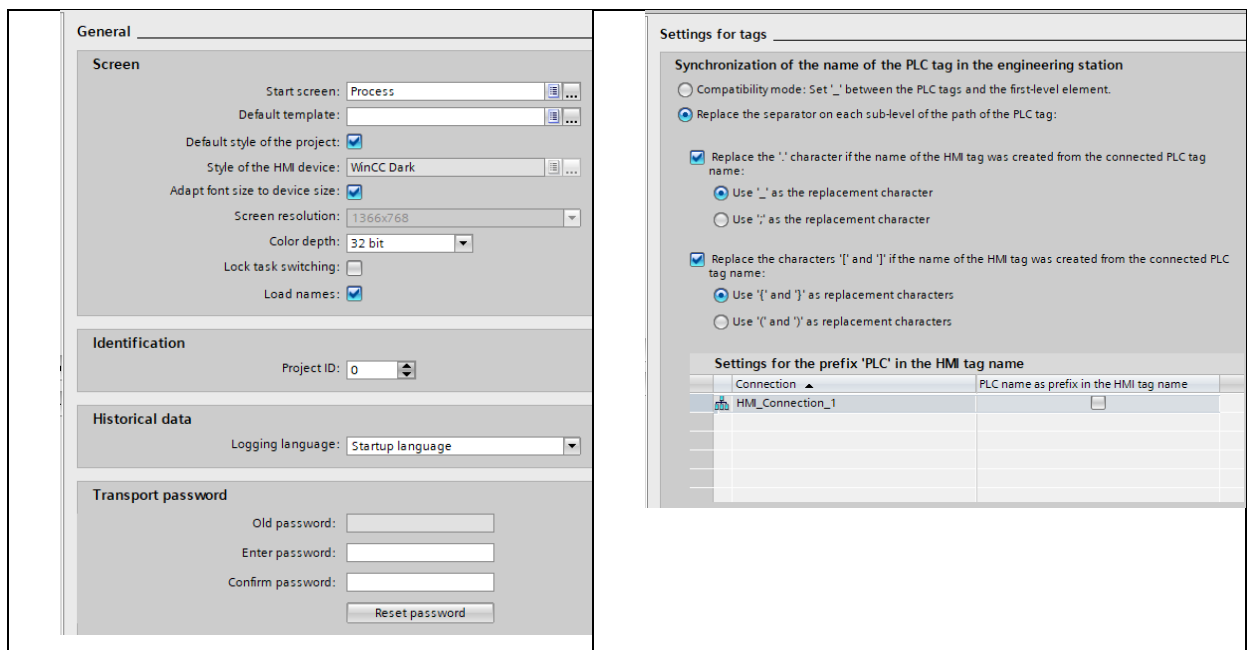


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

Щоб пов'язати між собою теги ПЛС та HMI, створюємо таблицю HMI-тегів Default tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛС dbTechProc.

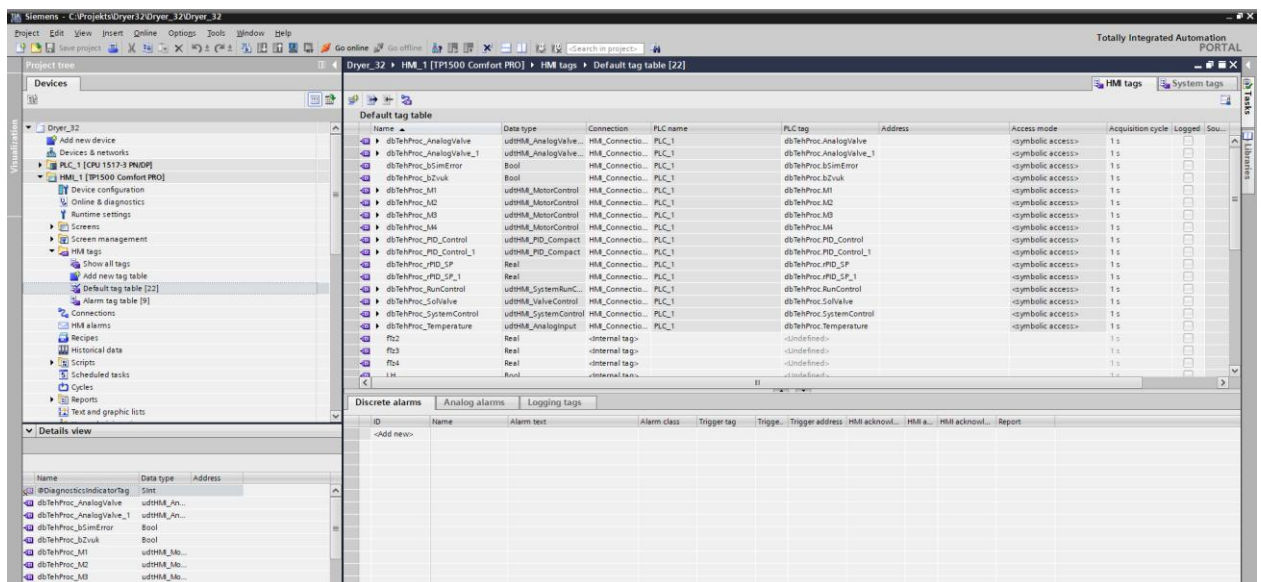


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці HMI-тегів

В подальшому завдяки цьому взаємозв'язку зміни в змінних ПЛС будуть

відображатися в елементах НМІ.

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів АРМ оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування шахтною зерносушаркою:

- екран схеми установки для управління технологічним процесом сшіння;

- екран для спостерігання за регульованими змінними (вологість та температура зерна);

- екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічних агрегатів.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

- екран схеми установки надає функції управління усіма клапанами та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному;

- екран для спостерігання за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регуляторів температури та вологості зерна;

- екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності , а також перегляду повідомлень, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів.

Шаблон екранів Template_1 створюється в розділі Screen Management дерева каталогу проекту в розділі НМІ. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проект.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикання екранів АРМ. Він включає логотипи академії, елемент відображення поточної дати і часу, назву

проекту, прізвище розробника проекту.

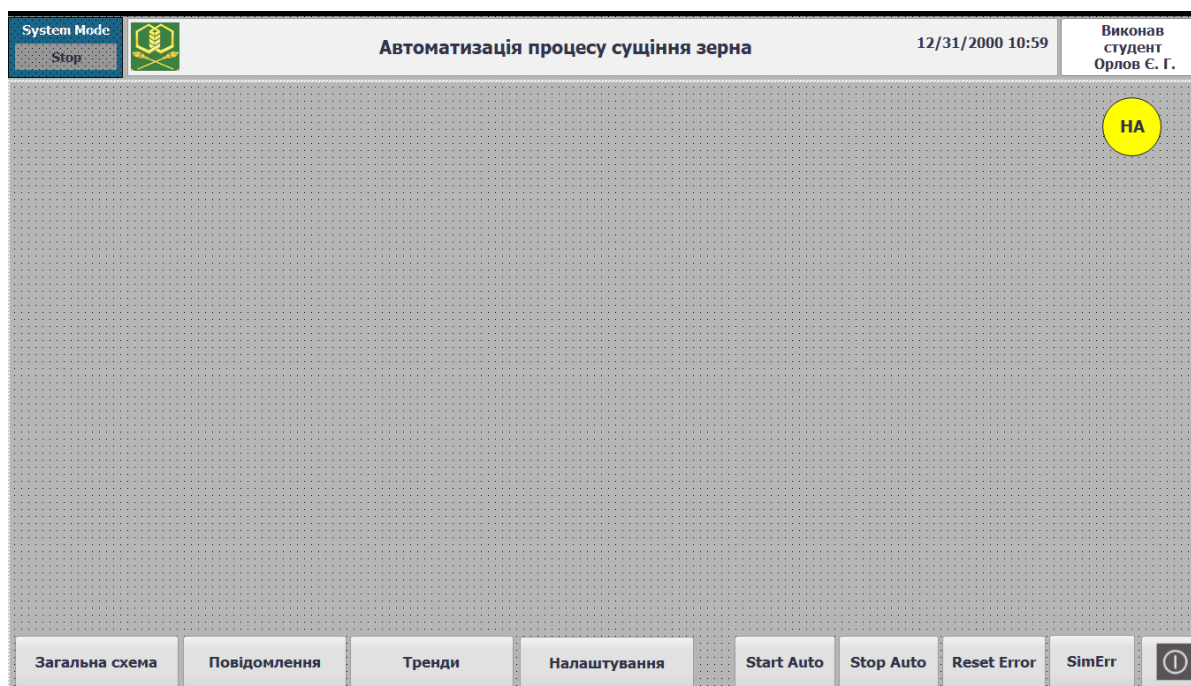


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції «ActivateScreen» (рис. 7.5).

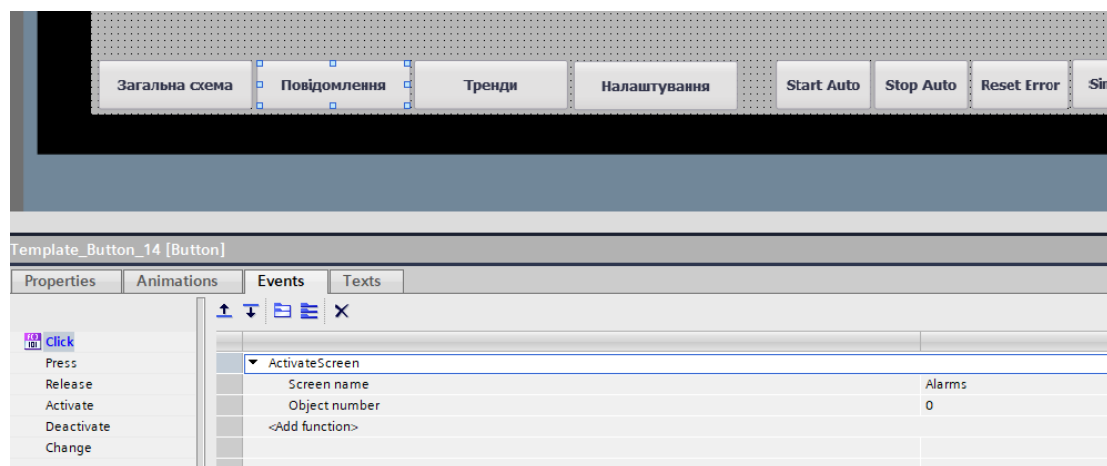


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Для кожної одиниці обладнання створюємо спливаючі вікна Pop-up screens і заповнюємо їх з відповідного розділу бібліотеки SOL.

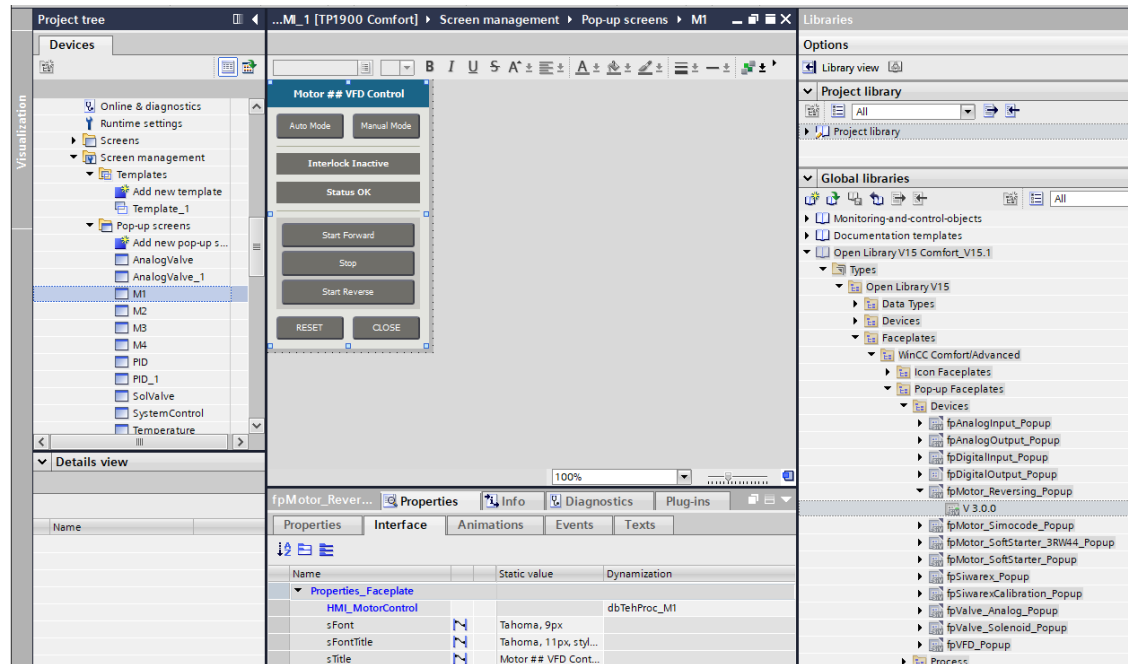


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом НМІ, який буде забезпечувати динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів.

Основний екран «Загальна схема» містить схематичне зображення шахтної зерносушарки з нанесеними на нього елементами відображення і управління. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і керування дозволять оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи.

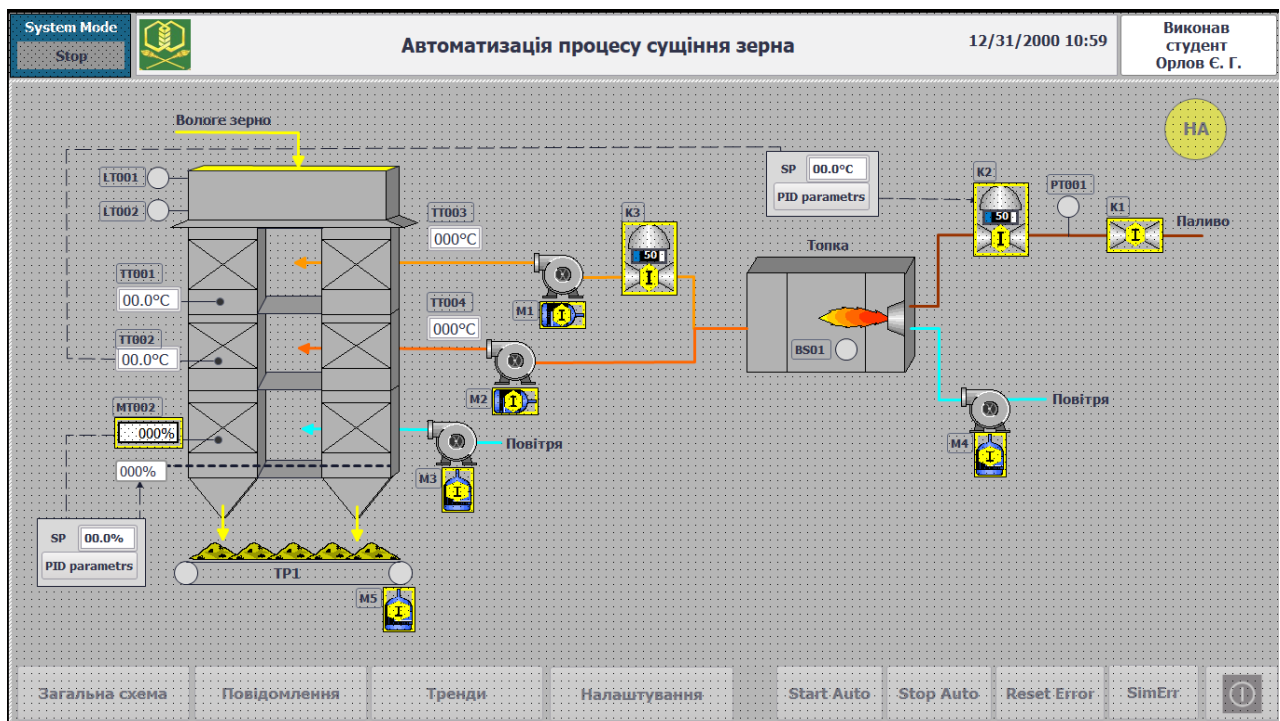


Рис. 7.7 Екран схеми установки

Для цього на проекцію екрану переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

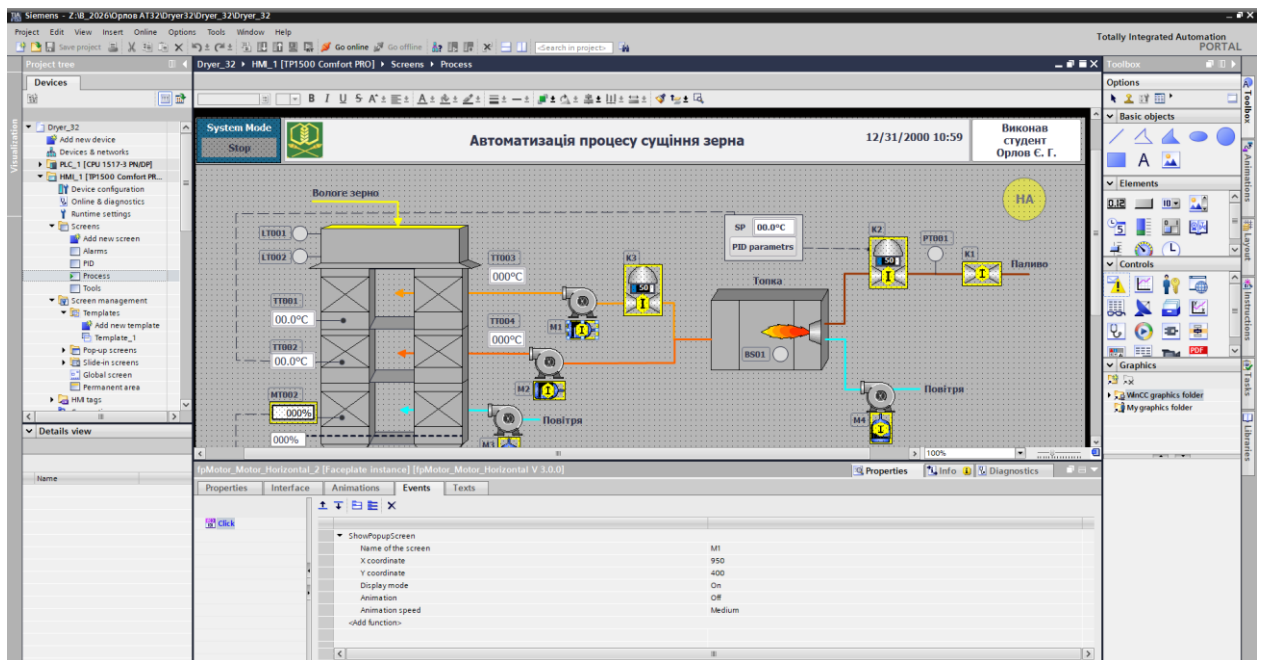


Рис. 7.8 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupScreen.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів та налаштування параметрів ПІД-регуляторів в проекті передбачений екран PID (рис. 7.9).

Для побудови графіків зміни вологості та температури зерна використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.10.

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПІД-регулятора здійснюється натисканням відповідної кнопки на екрані.

Змінити задане значення контуру регулювання можна за допомогою вікна вводу/виводу.

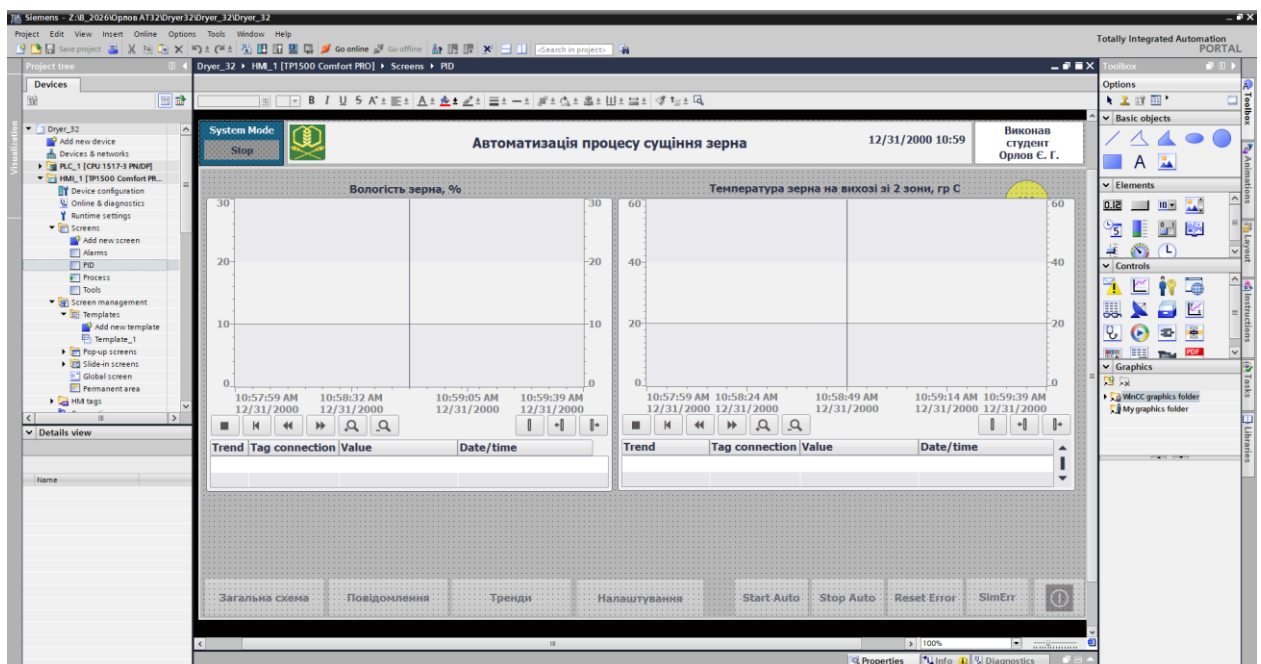


Рис. 7.9 Екран графіків

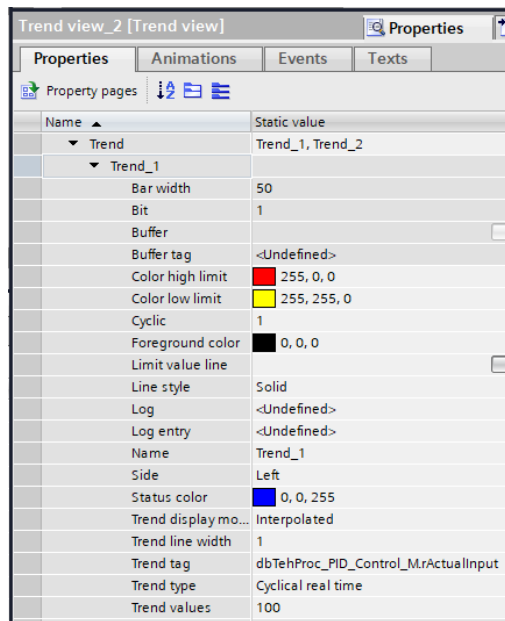


Рис. 7.10 Вікно налаштування елементу Trend

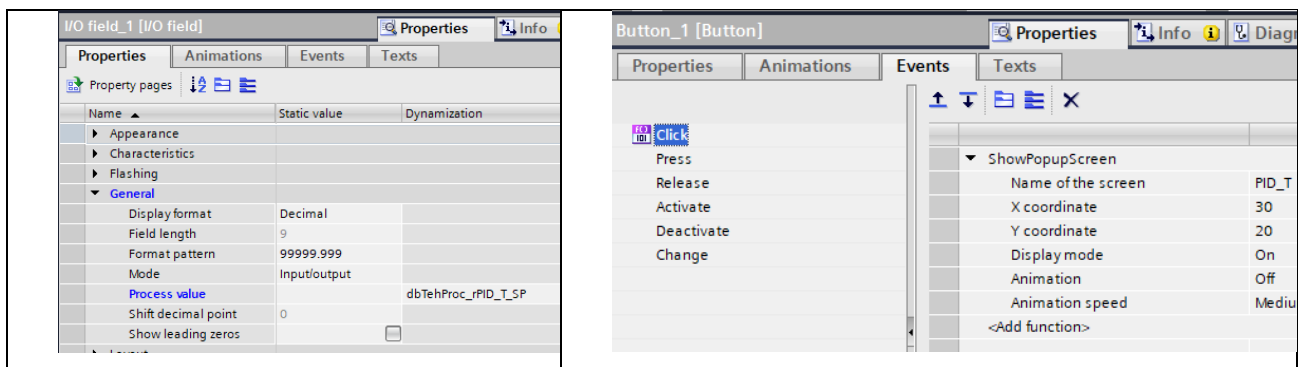


Рис. 7.11 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу сушіння зерна і виникнення подій (Alarm) з обладнанням зерносушарки в проекті створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення ОС ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

В програмі користувача в ПЛК функціональні блоки, які обслуговують одиницю обладнання, формують інформацію про події в 16-бітному слові (тип Word). Кожному виду несправності відповідає певний біт. Ці слова потім

збираються в програмі ПЛК в окремий блок даних dbErrors.

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами HMI.

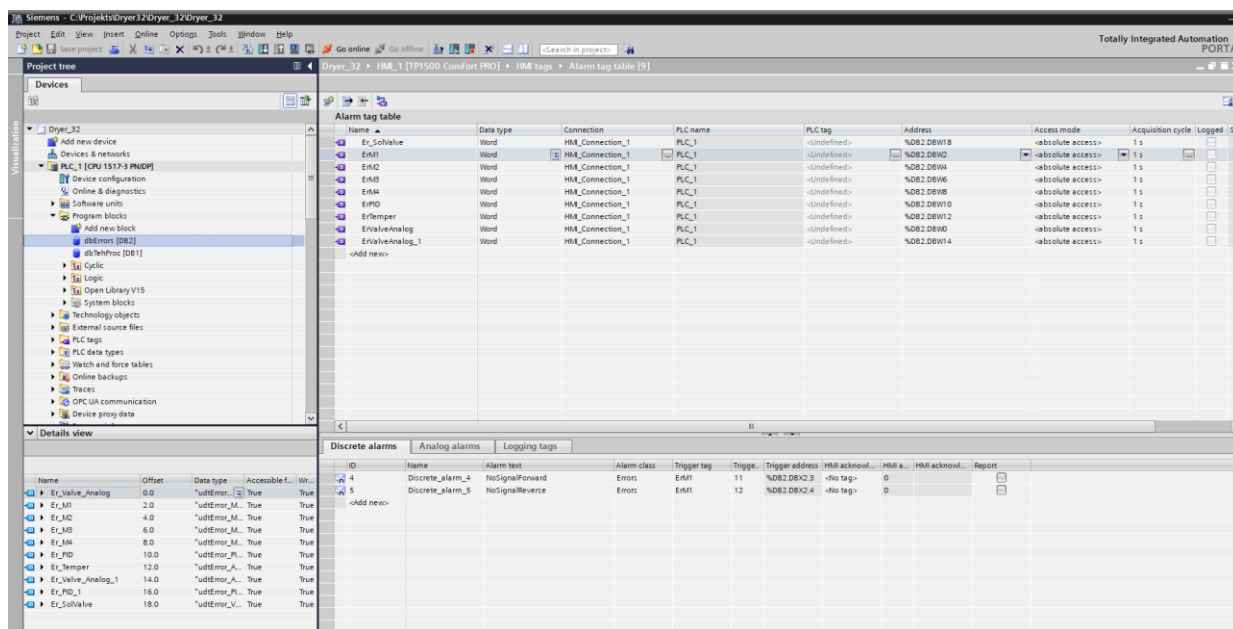


Рис. 7.13 Приклад привязки тегів dbErrors з HMI-тегами

Кожний біт HMI-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.13). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text).

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

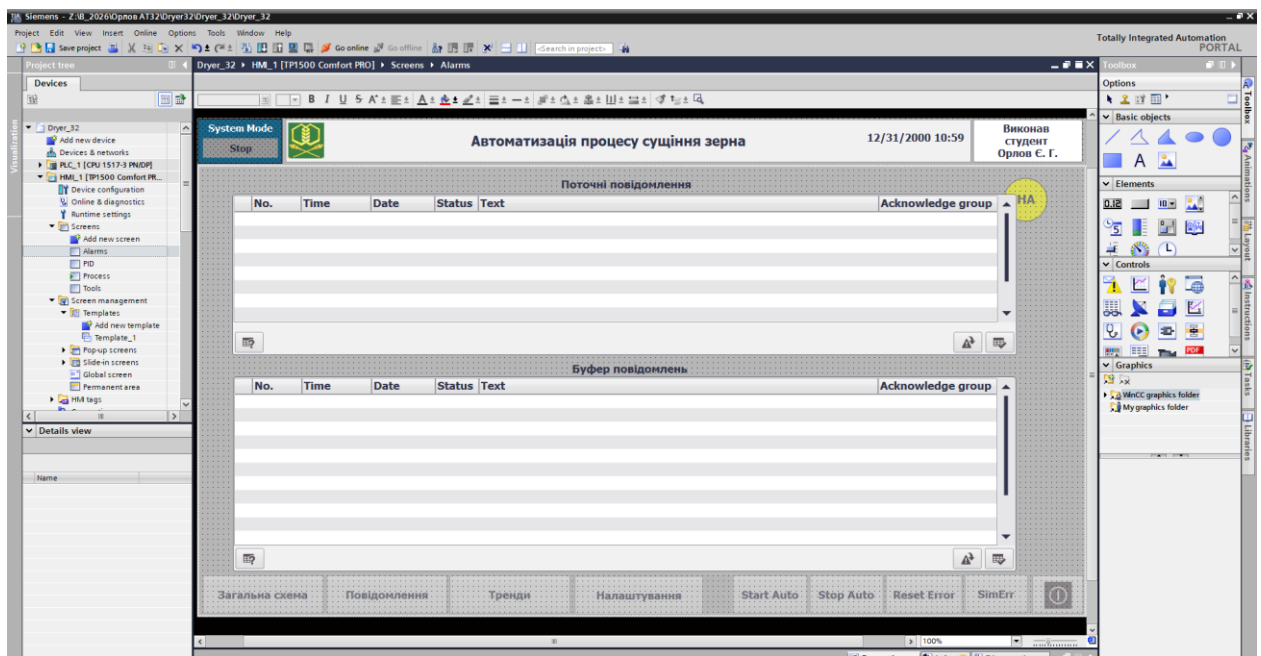


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

Вивід повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень.

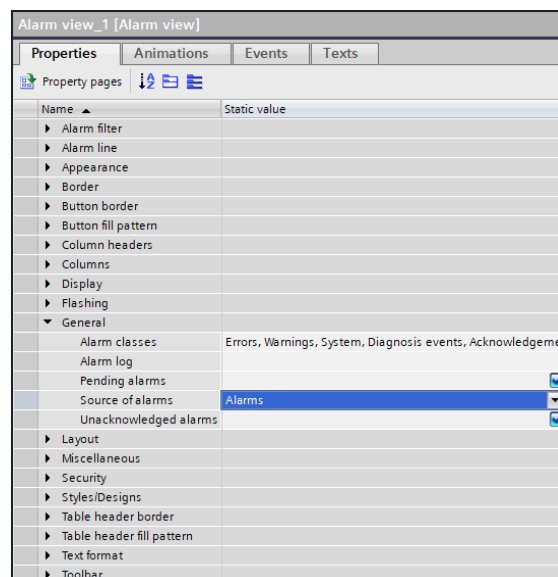


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.4 Тестування системи керування.

Тестування системи керування процесом сушіння зерна у шахтній зерносушарці проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовище якої завантажуюємо проект ПЛК після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі Win CC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюємо проект HMI.

В залежності від вимог виробництва оператор має змогу налаштувати систему на режими: стоп, ручний, автоматичний, індивідуальний.

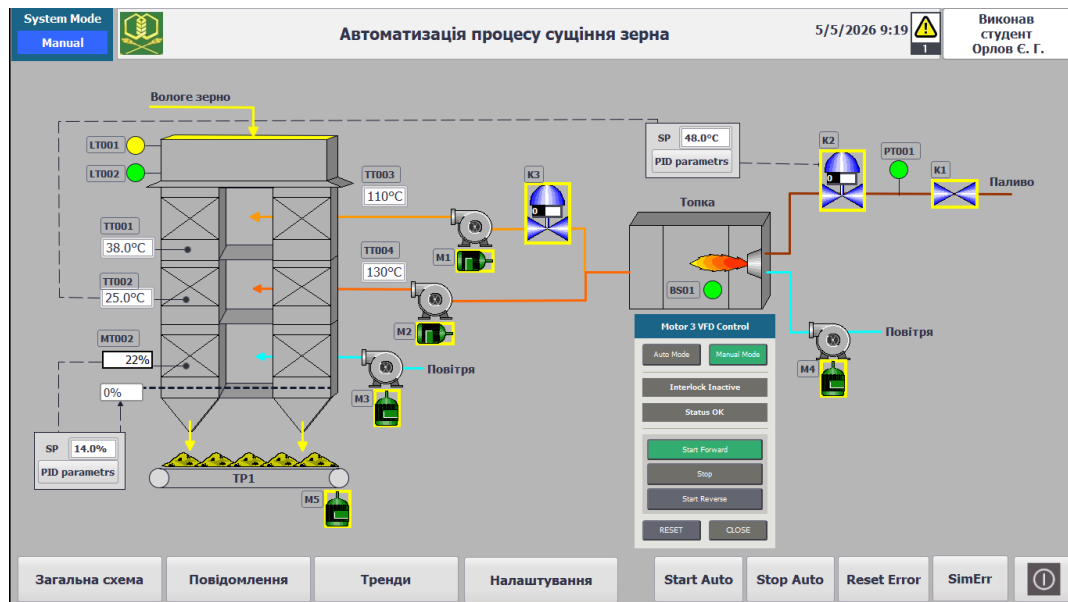


Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі.

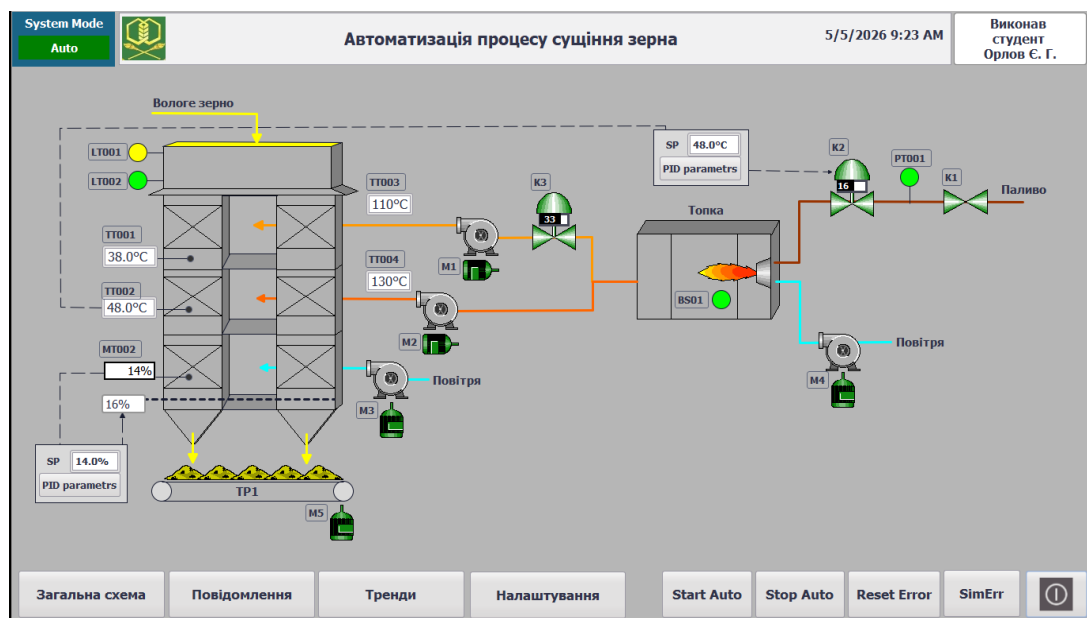


Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі.

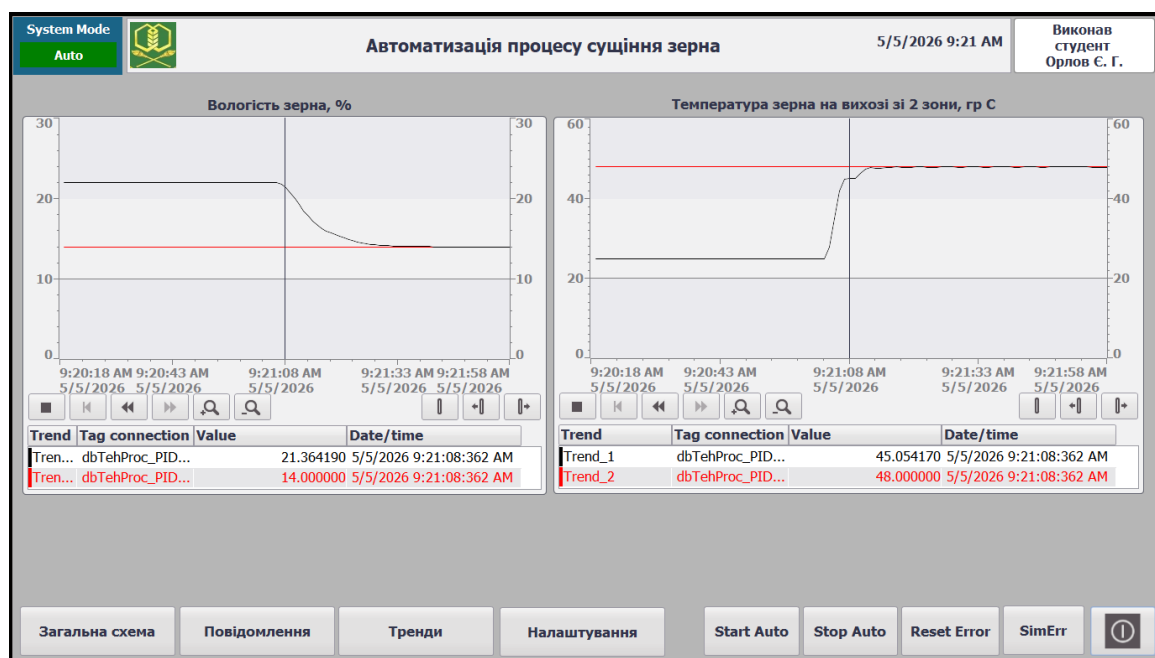


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

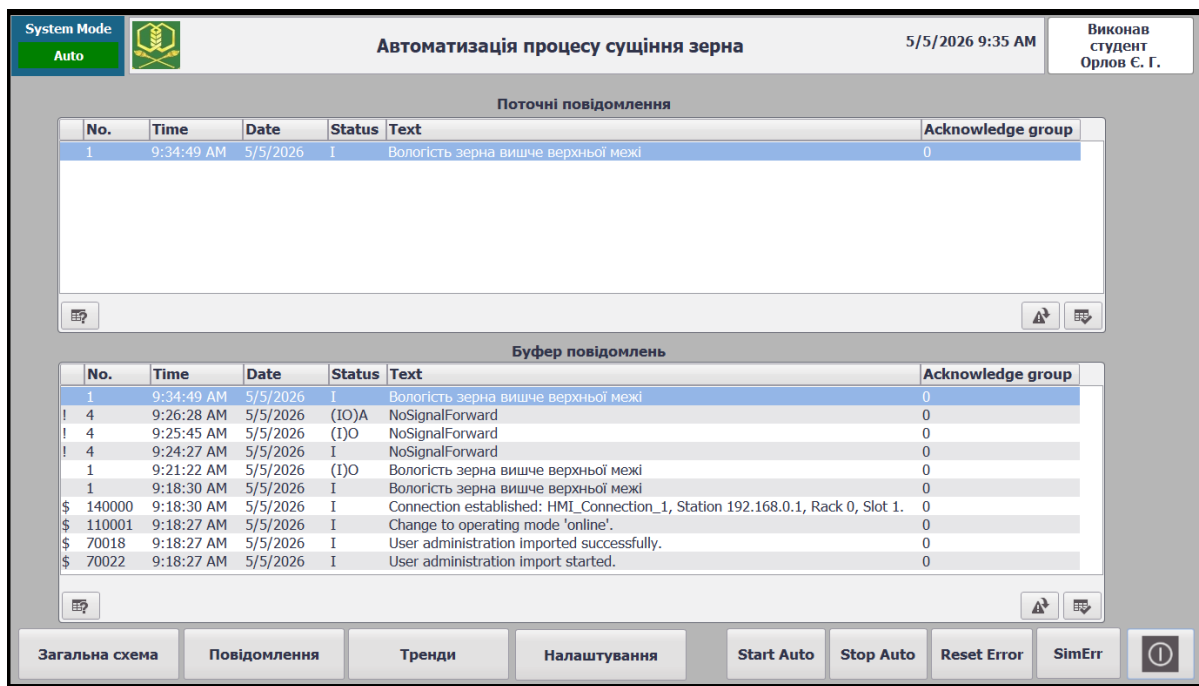


Рис. 7.19 ЕкранAlarms в тестовому режимі при імітації несправності.

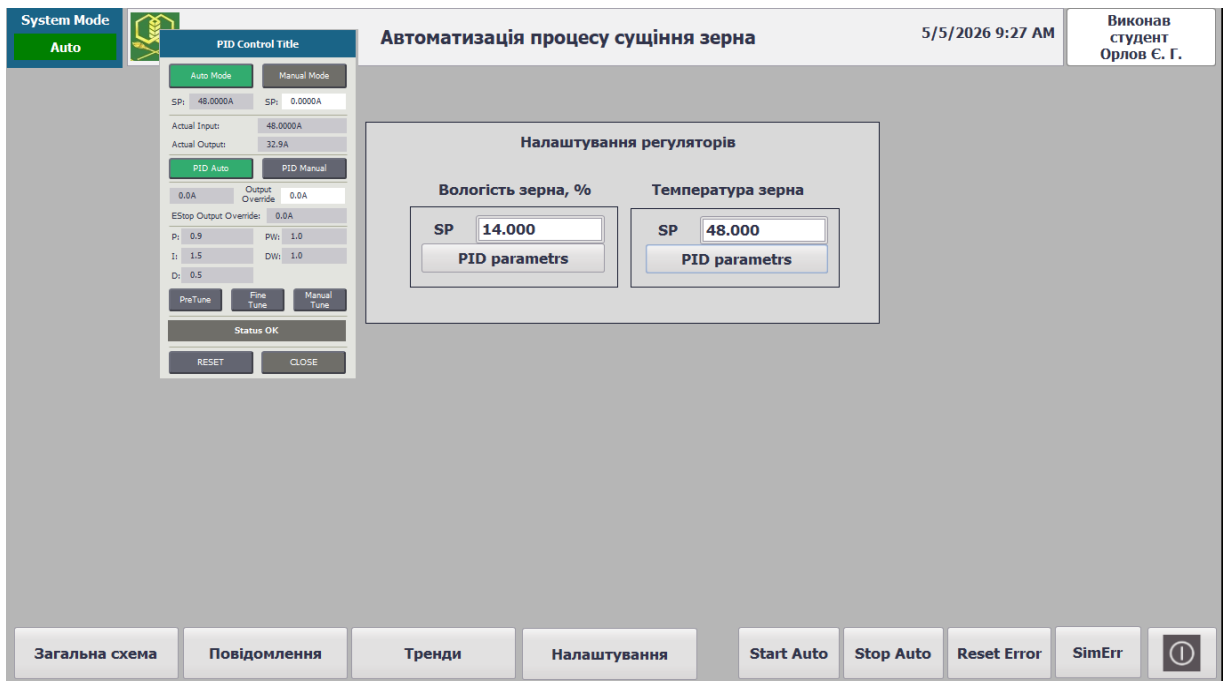


Рис. 7.20 Екран Налаштування в тестовому режимі.

7.5 Висновки за розділом: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи керування технологічним процесом сушіння зерна у шахні зерносушарці. Створені екран для відображення схеми шахтної зерносушарки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу (температури та вологості зерна) та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень

Основною характеристикою процесу сушіння зерна в шахтній зерно сушарці є температура зерна в трьох зонах. Підтримання температури в трьох зонах підтримується за рахунок подачі суміші приточного повітря та топкових газів.

За результатами вибору комплексу технічних засобів і відповідно до складеної технічної структури системи керування розроблено комплект її проектної документації. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – принципову електричну схему підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – принципову електричну схему підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – принципову електричну схему підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів;
- пояснювальна записка до проекту.

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи оператора

встановлюють ПЛК та елементи живлення до нього, а на фасадній двері – панель оператора. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора.

Центральний процесор CPU 1214, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1200 та CPU монтуються на DIN-рейку 35 мм в шафі оператора. Вони використовуються для отримання інформації з датчиків безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми для підтримки регламентних значень регульованих змінних, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по мережам PROFINET;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу (струм, напруга – модуль SM 1231 AI 4 x 13 bit (6ES7 231-4HD32-0XB0) та модуль SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7 232-4HD32-0XB0);
- опитування стану дискретних входів, вбудованих в CPU 1214C (6ES7 214 - 1BG40-0XB0) та вивід із вбудованих дискретних виходів сигналів керування.

Взаємодія контролера і панелі оператора здійснюється по мережі PROFINET. Для керування сушаркою застосовується панель оператора TP1900 Comfort (6VA2 124 OUC02-0AX1), на якій встановлена система виконання SCADA WinCC Comfort, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів.

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно

до ДСТУ ISO 14617-6:2018 «Графічні умовні позначки для схем. Частина 6. Функції вимірювання та керування». Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК сумісно з панеллю оператора. Всі використані датчики вхідних сигналів обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА DC), вихідний аналоговий сигнал струмовим (4...20мА DC).

Розглянемо перелік контурів контролю й керування, які наведені на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1 – керування та контроль стану ЕД М1 двигуна подачі приточного повітря 1;
- 2 – керування та контроль стану ЕД М2 приточного повітря 2;
- 3 – керування та контроль стану ЕД М3 приточного повітря 3;
- 4 – керування та контроль стану ЕД М4 приточного повітря 4;
- 5 – керування температури продукту на виході з кожної з трьох зон, за рахунок подачі суміші топкових газів та приточного повітря;

Реалізована функція передпускової сигналізації, та функція інтерфейсного зв'язку ПЛК панеллю оператора.

У контурах 1, 2, 3, 4 керування приводами передбачені функції місцевого керування, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у силовій шафі, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

У контурі 5 реалізована система автоматичного регулювання температури продукту на виході з кожної з трьох зон сушіння (перша, друга зона сушіння та зона охолодження). Розглянемо дію цього контуру.

Вимірюваний параметр — температура продукту на виході з відповідної зони — знімається датчиком температури (ТПр/5), який формує уніфікований сигнал 4...20 мА DC, пропорційний значенню температури. Цей сигнал надходить на програмований логічний контролер ПЛК ТС/5, де відбувається порівняння з заданим значенням та формування керуючого впливу.

Керуючий сигнал у вигляді струму 4...20 мА DC подається на виконавчі механізми регулювання подачі теплоносія — регулюючі клапани подачі топкового газу та повітря (TCV/5), а також на приводи повітряних заслінок. Зміна положення регулюючих органів забезпечує корекцію співвідношення «газ—повітря», що дозволяє підтримувати задану температуру продукту на виході з кожної зони.

У контурі передбачені режими ручного керування та індикації регульованої величини (HIC/5), які реалізовані на панелі оператора. Також передбачено сигналізацію відхилення температури від заданих значень для запобігання перегріву або недосушування продукту.

У додатку А наведені схема автоматизації та перелік приладів та засобів, які використані в цій схемі.

8.3 Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК

До вбудованих дискретних входів ПЛК CPU 1214C (6ES7 214 - 1BG40-0XB0) по кабелях W5, 6, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування.

На вбудованих дискретних виходах ПЛК формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W5, 6, 7, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами. Також до виходу модуля дискретних виходів по кабелю W10, що підключається до клем SA-X1, підключається дзвоник НА, який формує звуковий сигнал.

Модуль аналогових входів SM 1231 AI 4 x 13 bit (6ES7 231-4HD32-0XB0) розміщується на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів

за допомогою екранованих кабелів W11, 12, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики з уніфікованим виходом 4...20 mA DC відповідно: датчик температури повітря TY5 та датчик вологості продукту MY4.

Модуль аналогових виходів SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7 232-4HD32-0XB0) розміщується на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналоговий вихід цього модуля формує сигнал 4...20 mA DC, який за допомогою кабелю W15, що підключається до клем SA-X1, передає сигнал керування на виконавчий механізм клапану подачі пари TCV4.

У додатку Б наведені ПЕС підключення до модулів ПЛК та перелік приладів, що в них використані.

8.4 Охорона праці

В цьому підрозділі проідентифікуємо потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації установки. Наведемо їх гранично-допустимі концентрації з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановлені, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	22-25 °C	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2	Підвищена або знижена	0,25-0,45 м/с	Простудні

.	рухливість повітря		захворювання, перегрів організму
3.	Підвищена або знижена вологість повітря	70-80%	Ревматичні, алергічні, захворювання
4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,1%,Е – 250 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів

Таблиця 8.2 (продовження) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місці	85 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,029 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /115 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи
7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми
8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів

9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	15 Вт/м ²	Біохімічні зміни в організмі
11.	Підвищений рівень іонізації повітря	п+: 1600-3200 одиниць/ см ³ ; п-: 3200- 5200 одиниць/ см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання

Таблиця 8.2 (закінчення) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання

1 4.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
1 5.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Категорії приміщень об'єкту автоматизації були визначені в розділі 5.

АРМ оператора передбачає роботу з панеллю оператора, за допомогою якої він спостерігає за роботою установки, а також має можливість керувати установкою в дистанційному або автоматичному режимі. На екрані панелі всі прилади установки мають свої умовні позначення та мають можливість змінювати колір при зміні стану. При появі аварії чи блокуванні в установці, інженер має можливість побачити місце, в якому з'явилася аварія, та усунути помилку.

Так як автоматизоване робоче місце розташоване у приміщенні, забезпечується відповідність усіх елементів робочого місця:

- площа на одне робоче місце становить, 10,0 м², а об'єм - 25,0 м³;

норма: площа – 6,0 м², об'єм - 20,0 м³.

- інженер сидить за стандартним столом на м'якому кріслі;

- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;

- трудові операції виконуються виключно на робочому місці;

- на робочому місці добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, на столі знаходиться світильник.

Визначимо категорію робіт за ступенем важкості. Оператор АРМ виконує роботу в положенні сидячі, що пов'язане з постійним спостереженням (таблиця 8.3).

Таблиця 8.3 – Виробниче приміщення, період року, категорія роботи, що

виконується, температура, відносна вологість, швидкість руху повітря

№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносн а вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторськи й пункт	Теплий	Легка 1а	25- 27	45-65	0,1
№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносн а вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
2	Операторськи й пункт	Холодни й	Легка 1а	24- 26	45-65	0,1

Зорову роботу, яку на АРМ виконує оператор , відповідає наступним розрядам: Б-2 (робота з дисплеєм), А-2 (робота з документами). Забезпечення нормованих значень КПО та освітлення на АРМ оператор досягається за рахунок:

- бокового одностороннього розташування вікон;
- фарбування стелі та стін приміщення у світлі кольори;
- планове очищення скла віконних проїомів;
- застосування систем комбінованого освітлення.

Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення наведені у таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

	Виробниче приміщення	Вид освітлення	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд та підрозряд зорової роботи	КП О, %	Освітленість, лк
	Операторський пункт	Бічне, одностороннє	0,35-0,55	Б-2	1	400

На кожному технологічному об'єкті для забезпечення нормальної експлуатації засобів автоматизації повинні бути затверджені робочі експлуатаційні інструкції та виконавчі схеми електричних і трубних з'єднань апаратури. Перелік інструкцій і схем затверджується головним інженером підприємства.

Пуск і експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними та відключеними КВПіА, системою технологічної захистів і пристроями необхідними для експлуатації обладнання в режимі ручного керування, забороняються. У процесі пуску і зупинки устаткування в режимі ручного керування необхідно стежити за проходженням відповідних операцій за показаннями контрольно-вимірювальних приладів. При порушенні встановленої послідовності, тривалості операцій і відхиленні параметрів від заданих слід негайно зупинити обладнання і повернути його в початковий стан.

Реле й засоби захисту, пристрої технологічної автоматики, а також прилади, за якими ведеться контроль за роботою обладнання повинні бути опломбовані. При необхідності проведення будь-яких робіт на панелях, в щитах і ланцюгах захисту і електроавтоматики умови ввімкненого основного обладнання слід вжити заходів обережності проти помилкових дій в результаті помилок персоналу. Виконання цих робіт без виконавчих схем (по пам'яті), а також без заданих обсягів і послідовностей операцій забороняється. Після проведення робіт у вторинних ланцюгах слід перевірити справність цих ланцюгів і правильність їх

приєднання шляхом випробування пристрою (схеми) в дії безпосередньо або побічно.

Безпека обслуговуючого персоналу і сторонніх осіб повинна забезпечуватися шляхом застосування належної ізоляції, дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або шляхом їх закриття, огороження застосування блокування апаратів, заземлення або занулення корпусів електроустаткування і елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

Монтажні ремонтні роботи в електричних мережах і пристроях або поблизу них, також роботи по приєднанню і від'єднанню проводів повинні проводитися тільки при знятій напрузі.

Засоби автоматизації з джерелами електроенергії, які знаходяться під напругою або на які в будь-який момент може бути подана напруга, вважаються чинними електроустановками і на них поширюються правила по техніки безпеки. Слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками, викрутки, кліщі, плоскогубці та ін. широко застосовуються при роботах без зняття напруги в електроустановках напругою $\sim 220\text{В}$ / $\sim 380\text{В}$. В якості додаткових засобів захисту застосовуються діелектричні рукавички, діелектричні калоші і діелектричні килими.

Забороняється проводити на ходу, без зупинки машин і механізмів, чищення і змащення рухомих частин, ремонт і заміну окремих деталей.

Всі датчики повинні бути справними, мати чітке клеймо із зазначенням дати перевірки та опломбованими. Забороняється проведення ремонтних робіт на апаратах і комунікаціях, які знаходяться під тиском, на робочому і холостому ходу, наповнених робочими газами, парою, рідинами і т.д.

Перед ремонтом обладнання, механізмів, зчеплених з електродвигунами, обов'язково повинна бути розроблена електрична схема і вивішений

попереджувальний плакат «Не включати, працюють люди!».

Перед ремонтом необхідно переконатися в наявності заглушок на вході і виході газу або рідини з обладнання і комунікацій. Заглушки встановлюють з хвостиками, щоб їх можна було бачити. Запобіжники в пристроях автоматики необхідно знімати тільки при відключеному напрузі. Кожен робітник повинен пам'ятати, що електричний струм небезпечний для життя: сила струму 0,1А - смертельна для людини.

Захисного заземлення підлягають металеві неструмоведучих частини електрообладнання, які внаслідок несправності можуть виявитися під напругою і до яких можливий дотик людей. При цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зовнішніх пристроях заземлення обов'язково при номінальній напрузі вище 36 В змінного струму і 110 В постійного струму. При напрузі 500 В і вище змінного і постійного струму заземлення обов'язково в усіх випадках, а у вибухонебезпечних приміщеннях захисне заземлення здійснюється при будь-яких напругах змінного і постійного струму.

Відповідно до типових правил пожежної безпеки організація пожежної безпеки покладається на керівників об'єктів, які зобов'язані:

- організувати на підвідомчих об'єктах вивчення і виконання типових правил усіма працівниками підприємства;
- організувати проведення протипожежного інструктажу і заняття з пожежно-технічного мінімуму;
- встановити у всіх приміщеннях підприємства строгий протипожежний режим і контролювати його дотримання;
- періодично перевіряти стан пожежної безпеки об'єкта, наявність і справність технічних засобів боротьби з пожежею.

Пожежну безпеку окремих підрозділів підприємства (цехів, лабораторій,

майстерень, складів і т.п.) забезпечують їх безпосередні керівники, які зобов'язані:

- забезпечити дотримання на підпорядкованих їм ділянках встановленого протипожежного режиму;
- стежити за справністю виробничого обладнання та негайно вживати заходів до усунення несправностей, що призводять до пожежі;
- стежити за тим, щоб після закінчення роботи прибиралися спаленні відходи, відключалися електроприймачі;
- забезпечити постійну готовність до дії засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Усі робітники і службовці промислових підприємств проходять спеціальну протипожежну підготовку, яка складається з протипожежного інструктажу (первинного і повторного) і занять з пожежно-технічного мінімуму, що проводяться за спеціальною програмою.

Для кожного цеху, майстерні та інших об'єктів повинні бути розроблені протипожежні інструкції, погоджені з пожежною охороною підприємства або з місцевими органами державної пожежної охорони. У цих інструкціях визначаються місця і порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації і зв'язку; обов'язки працівників при виникненні пожежі, правила виклику пожежної команди, зупинки і відключення устаткування.

У приміщеннях і на території підприємства, як правило, куріння дозволяється тільки в спеціально відведених для цього місцях. Забороняється застосування відкритого вогню (паяльні лампи, факели та ін.) для обігрівання трубопроводів із замерзлими або застиглими рідинами. Забороняється захаращувати підходи до технологічного устаткування, засобів зв'язку і пожежогасіння, а також проходи і виходи з приміщення.

На кожному об'єкті повинні бути схеми пожежного водопроводу із

зазначенням місць встановлення пожежних кранів і гідрантів, місця їх установки повинні бути позначені спеціальними значками і написами «ПК» і «ПГ».

На підприємствах встановлюється електрична пожежна сигналізація, яка служить для швидкого сповіщення служби пожежної охорони про яка виникла пожежі в будь-якому приміщенні або спорудженні підприємства. Особливо небезпечні виробництва мають бути оснащені засобами автоматичного пожежогасіння: пінного, водяного, порошкового.

8.5 Висновок за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1200.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу сушіння зерна в шехтній зерносушарці. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом.

РОЗДІЛ 9 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗА ТЕМОЮ КЕРУВАННЯ СУШІННЯМ ЗЕРНА В ШАХТНІЙ ЗЕРНО СУШАРЦІ

9.1. Розрахунок капітальних вкладень (інвестицій) на модернізацію обладнання

1. Підрахуємо оптову вартість вибраних нами засобів автоматизації, на основі цін заявлених виробником, на момент розрахування.

Таблиця вартості засобів автоматизації

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	К Кіл- сть	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Погружний термоперетворювач	ТСП-106 Pt100.	3	1679	5037
Індикатор технологічний мікропроцесорний	ITM-110	1	8200	8200
Промисловий датчик вологості та температури каналний із вбудованим зондом	АТО-ТАНТ- AF1020	3	4500	13500
Датчика розрідження	HMP 331	1	11300	11300
Форсунка	Ф-1	1	5618	5618

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	К Кіл- сть	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Вентилятор	АВД-3.5	1	16500	16500
Світлосигнальна арматура	AD220DS	3	50	150
Світлосигнальна арматура	AD24-22DS	3	50	150
Мікропроцесорний процесор S7-1200 фірми Siemens	1516-3 PN/DP	1	125000	125000
Модуль вводу дискретних сигналів, 16 каналів, =24В	6ES7221-1BH32- 0XB0	1	10000	10000
Модуль виводу дискретних сигналів, 16 каналів, =24В; 0,5А	6ES7222-1BH32- 0XB0	1	9000	9000
Модуль вводу аналогових сигналів	6ES7231-4HF32- 0XB0	1	15000	15000
Модуль виводу аналогових сигналів, 4 канали, 4...20 мА	6ES7232-4HD32- 0XB0	1	22000	22000
Приточний вентилятор	ВЦ 4-76	3	120000	360000

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	К Кіл- сть	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
зовнішнього повітря				
Блок живлення ~220/=24В	HDR-15-24 MEAN WELL	1	520	520
Зумер, звуковий тиск	EMAS MBZS220S (з LED)	1	320	320
Персональний комп'ютер в комплекті, два порти Ethernet, два НЖМД, підтримка RAID	Logitech	1	7000	7000
Джерело безперебійного живлення	Eaton 5S 1000VA	1	10600	10600
Перемикач на 3 положення	Schneider XB7ND33	5	320	1600
Світлосигнальна арматура	Schneider XB7EV04BP	4	135	540
Сирена	Eaton SL7 sounder	1	3300	3300
Реле проміжне	Weidmuller PS 35836971	5	480	2400

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	К Кіл- сть	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Щит	Schneider NSYS3D6640P	1	10000	10000

Усього - 637 735 грн

Таблиця вартості монтажних матеріалів та кабельної продукції

DIN- рейка		4м	40	240
Проф.шина		0,5 м	810	405
Короб монтажний		15 м	15	225
Дріт монтажний	ПВЗ*05	95 м	3.9	370. 5
Кабель контрольний мідний	КВВГ4х1 85	20 м	25,5	510
Кабель контрольний мідний	КВВГ4х1 ,0	20 м	14	280
Дріт з'єднувальний	ПВСн 2*1	130м	16	2080
Дріт з'єднувальний	ПРТО 1*4	150м	19	2850
Труба водогазопровідна	МР20х2,5	460м	21	9660

Усього - 16 620,5 грн

$$\text{Ц}_{\text{опт}} = 637\,735 + 16\,620,5 = 654356 \text{ грн.}$$

Капітальні інвестиції являють собою вкладення коштів у придбання будинків, споруджень ін. об'єктів нерухомої власності, машин, устаткування, інших основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції здійснюються в наступних основних формах: реконструкція, технічне переозброєння, модернізація виробництва, окремих потокових ліній, одиниць устаткування, придбання окремих матеріальних

активів.

Капітальні інвестиції по базовому й новому варіантах техніки визначаються роздільно. Капітальні інвестиції по базовому варіанті включають: витрати на придбання встаткування, у т.ч.:

Вартість устаткування за оптовими цінами Ц_{опт} ;

Витрати на тару й упакування – Ц_т;

Заготівельно-складські видатки – Ц_{з-з};

Витрати на монтаж устаткування – Ц_м;

У сумі ці витрати визначають первинну (балансову) вартість устаткування на підприємстві – ІС^б перв.

Балансову (первинну) вартість діючої техніки визначають на основі дані підприємства, де експлуатується базова техніка.

Первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки при її придбанні може бути розрахована по формулі 9.1.

$$\text{ІСперв}^{\text{б}} = \text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} + \text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{м}} + (\text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{т}}) / 100 + (\text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{тр}}) / 100 \\ + [\{ \text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} + (\text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{т}}) / 100 + (\text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{тр}}) / 100 \}] * \text{Ц}_{\text{з-з}} / 100 \quad (9.1)$$

де: ІСперв^б – первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки, тис. грн.

Ц_{опт}^б – оптова ціна базової техніки, грн. (Ціна засобів автоматизації 654356 грн.)

Нормативи наведені в таблиці 9.1

$$\text{ІСперв}^{\text{б}} = 654356 + 654356 * 0,1 + (654356 * 0,25) / 100 + (654356 * 5,0) / 100 + [654356 + (654356 * 0,25) / 100 + (654356 * 5,0) / 100] * 0,012 = 762\,409,8 \text{ грн.}$$

При проведенні модернізації одиниці діючої техніки капітальні вкладення розраховують укрупнено за формулою:

$$\text{ІС мод} = \text{ІС}^{\text{б}} \text{ перв} * \text{Нмод} \quad (9.2)$$

де: Нмод – норматив витрат на модернізацію експлуатованого технологічного

обладнання. Приймаємо в границях 5-20 % от ІСперв.

$$ІС_{\text{мод}} = 762\,409,8 \text{ тис грн.} \cdot 0,1 = 76\,240,98 \text{ грн.}$$

$$ІС_{\text{мод}}^{\text{н}} = 762\,409,8 \text{ тис грн} \cdot 1,1 = 838\,650,78 \text{ грн}$$

Таблиця 9.1 762 40,98 838 650,78

Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень.

Показники	Позначення	Од.вимір.	Величина
Укрупнений норматив витрат на модернізацію	Нмод	%	10-20
Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи	Цм	-	0,1
Норматив відрахувань на тару й упаковання Цопті	Цт	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від Цопті	Цтр	%	5,0
Норматив відрахувань на заготовительно-складські видатки	Цз-З	%	1,2
Середня ціна 1т лома	Цл	Грн/т	200,0
Норматив витрат на демонтаж від Цопті		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від ІС пер)			
При списанні на лом	-	%	4
При використанні на запчастині	-	%	6
При продажі іншим організаціям	-	%	7

9.2. Розрахунок поточних витрат при роботі базового та нового зразка системи управління та контролю

До складу поточних витрат включаються витрати, що враховуються відповідно до прийнятої в галузі інструкцією калькуляції собівартості продукції (робіт, послуг).

Таблиця 9.2

Нормативні дані і показники.

№ п/	Показники	Од. ви	Величина
------	-----------	--------	----------

1	2	3	4
1	Річний фонд часу роботи обладнання	змін	60
2	Місячний фонд часу робітника	год	168
3	Тривалість роботи в змін	год	8
4	Мінімальний розмір тарифної ставки робітника, який виконує не кваліфіковану роботу	грн	8000
5	Годинна тарифна ставка робітника принятої на підприємстві 1 2 3 4 5 6	грн/год	47,62 51,90 57,14 63,33 73,81 85,71
6	Вартість 1 Квт/год роботи обладнання.	грн/год	6,15
6	Вартість 1 т мазута	грн./т	18000
7	Рентабельність виробництва виду продукції	%	15
8	Оптова ціна продукції	грн./т	7000
9	Оптова ціна сировини	грн./т	5000
10	Податок на прибуток	%	19
11	Норматив річних амортизаційних відрахувань (метод)	%	20
12	Податок на доходи фізичних осіб, військовий збір	%	18,0 + 1,5
13	Єдиний соціальний внесок (нарахування)	%	22,0
14	Норматив відрахувань на поточний і капітальний ремонт	%	10

Розрахунки виконуються з підрозділом витрат на наступні основні статті:

Сировина і матеріали;

Закупівельні комплектуючі вироби, напівфабрикати (роботи, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств і організацій);

Паливо та енергія на технологічні цілі;

Основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників;

Відрахування у єдиний соціальний внесок;

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування;

Загальновиробничі витрати;

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантам зберігання.

Розрахунок виконують тільки по змінюються статтями витрат тобто по тих, які змінюються при переходу від базового варіанту до нового.

Витрати на поточний і капітальний ремонт устаткування встановлені на рівні 10% від його сукупної балансової вартості на початок звітного періоду:

$$V_p = IC_{\text{перв}}^{(6)} * N_p, \quad (9.3)$$

де: N_p – норматив витрат у ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1)

не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Витрати пов'язані з амортизацією устаткування розраховують по формулі:

$$V_a = IC_{\text{перв}}^{(6)} * N_a. \quad (9.4)$$

де: N_a – норма річних амортизаційних відрахувань від первинної вартості устаткування за винятком зношування Для технологічного устаткування дорівнює 20%, у відносних одиницях 0,2. не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження

Таблиця 9.3

Техніко-економічні показники обладнання

№ п/п	Показник	Познач	Од.вим	Базова машина	Нова машина
1	Продуктивність	Пч	т/ч	32	35
2	Маса обладнання	М	т	45	45
3	Габаритні розміри				
	довжина	Д	мм	4600	4600
	ширина	Ш	мм	2400	2400

№ п/п	Показник	Познач	Од.вим	Базова машина	Нова машина
	висота	В	мм	2900	2900
4	Мінімальна маса порції продукту	V _н	кг	32т	32т
5	Тривалість циклу	Ч _д	сек	144	144
6	Установленна потужність	P _э	кВт	3,7	3,7
7	Витрати мазуту	Q _м	Т/т	300	250
8	Опт. ціна обладнання	Ц _{опт} ^б	Тис.г рн	450000	654356
9	Річний фонд робочого часу обладнання	Ф _г	Змін	60	60

Всі витрати, пов'язані з утримуванням базового і нового складу техніки, включаються в статті «Видатки на утримання й експлуатацію встаткування».

Після розрахунків статей, що змінюються, витрат при експлуатації (використанні) базової й нової техніки складається зведена таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 9.5)

$$ОВ^{б(н)} = Поб * Фг * К загр, \quad (9.5)$$

Где: Поб – годинна продуктивність обладнання (з технічного паспорта обладнання)

Фг- річний фонд часу роботи обладнання, година

Кзагр – коефіцієнт завантаження обладнання, що приймається рівним 0,95.

$$ОВ^б = 32 \text{ т/год} * 8 * 60 * 0,95 = 14592 \text{ т}$$

$$ОВ^н = 35 \text{ т/год} * 8 * 60 * 0,95 = 15960 \text{ т}$$

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантам зберігання. Розрахунок виконують тільки по змінюються статтями витрат тобто по тих, які змінюються при переходу від базового варіанту до нового.

Витрати по статті «Сировина, основні та допоміжні матеріали» змінюються

пропорційно зміні продуктивності обладнання.

При використанні нової техніки та збільшенню обсягів виробництва продукції вартість сировини і матеріалів розраховують за формулою:

$$B_c = C_{c^{(б)}} * OВ^{(н)}, \quad (9,6)$$

$$B_c^{б} = 5000 * 14592 = 72960000 \text{ грн.}$$

$$B_c^{н} = 5000 * 15960 = 79800000 \text{ грн.}$$

де : $C_{c^{(б)}}$ – відповідно ціна сировини і матеріалів при експлуатації нової та базової техніки.

$OВ^{(н)}$ – обсяги виробництва продукції при використанні базової і модернізованої техніки в натуральному вимірі.

Витрати мазуту:

$$З_в = C_m * Q_m * \Phi_r \quad (9,7)$$

$$З_в^{б} = 1 * 300 * 60 = 18000 \text{ .грн}$$

$$З_в^{н} = 1 * 250 * 60 = 15000 \text{ .грн.}$$

Витрати на поточний і капітальний ремонт обладнання встановлені на рівні 10% від його балансової вартості на початок звітного періоду і обраховуються за формулою 14,8.

$$З_r = IC_{перв^{(б)}} * Н_r, \quad (9,8)$$

$$З_r^{б} = 762\,40,98 * 0,1 = 76204.1 \text{ грн.}$$

$$З_r^{н} = 838\,650,78 * 0,1 = 83865.1 \text{ грн.}$$

где: $Н_r$ – норматив витрат в ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1)

Витрати пов'язані з амортизацією обладнання розраховуються за формулою :

$$З_a = IC_{перв^{(б)}} * Н_r. \quad (9,9)$$

$$З_a^{б} = 762\,40,98 * 0,24 = 182890 \text{ грн.}$$

$$З_a^{н} = 838\,650,78 * 0,24 = 201276 \text{ грн.}$$

де: $Н_a$ – норма річних амортизаційних відрахувань від первинної вартості обладнання за вирахуванням зносу. Для технологічного обладнання на рівня 24%, у відносних одиницях 0,24.

Витрати, пов'язані з утриманням базової і нової техніки, включаються в статті

«Витрати на утримання і експлуатацію обладнання».

Після розрахунків змінних статей витрат при експлуатації базової і нової техніки складається таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 9.4)

Таблиця 9.4

Зміна річних поточних витрат

№ п/п	Статті з витрат	Поз	Величина, тис грн		Відхилен + -збільш - зменше
			До модер.	Після модер.	
1	Витрати на продукцію	Зс	18000	15000	-
2	Витрати на поточний капітальний ремонт	Зр	76204.1	83865.1	+
3	Витрати пов'язані з амортизацією	За	182890	201276	+
	Всього поточних витрат	З	277 094	300 141,1	+

9.3. Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства

Розрахунок обсягу виробництва продукції здійснюємо за формулою:

$$ОВ^{(н)} = Поб * Фр * К завант * Квиходу, \quad (9.10)$$

Де: Поб – фактична годинна продуктивність обладнання

Фр – річний фонд часу роботи обладнання, год

Кзавант – коефіцієнт завантаження обладнання, приймаємо рівним 0,9.

Квиходу – коефіцієнт виходу. 0,6.

Модернізація машини збільшила продуктивність 32 т/ до 35 т/год

$$ОВ^б = 32 \text{ т/год} * 8 * 60 * 0,95 = 14592 \text{ т}$$

$$ОВ^н = 35 \text{ т/год} * 8 * 60 * 0,95 = 15960 \text{ т}$$

Вартісну оцінку результатів від експлуатації базової і модернізованої техніки, доход від реалізації – розраховуємо за формулою:

$$ТП^{(н)} = ОВ^{(н)} * Цпр \quad (9.11)$$

де: $ОВ^{(н)}$ – обсяги випуску продукції до (б) и опісля (н) модернізації

обладнання,(в натуральних одиницях);

Цпр – ціна одиниці продукції, виробленої базовою (модернізованою технікою), грн;

$$ТП^б = 14592 * 200 = 2\,918\,400 \text{ грн.}$$

$$ТП^н = 15960 * 200 = 3\,192\,000 \text{ грн.}$$

$$\Delta ТП = ТП^н - ТП^б = 3\,192\,000 - 2\,918\,400 = 273\,600 \text{ грн}$$

Повна собівартість виробленої продукції $C^б$ до модернізації обладнання, тис. грн.

$$C^б = ТП^б * 100 / 100 + P \quad (9,12.)$$

де: P – рентабельність виробленої продукції (табл. 9,2.)

$$C^б = 2\,918\,400 * 100 / 115 = 2\,537\,739,13 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виробленої продукції після модернізації техніки розраховуємо за формулою:

$$C^н = C^б - \Delta Z \quad (14,13)$$

$$C^н = 2\,537\,739,13 - 23\,047,0 = 2\,514\,692,13. \text{ грн.}$$

де: ΔZ – зміна поточних витрат від модернізації обладнання, тис. грн.

Прибуток за результатами діяльності підприємства з використанням базової і нової техніки складе, . грн.

$$П^{б(н)} = ТП^{б(н)} - C^{б(н)} \quad (9,14)$$

$$П^б = 2\,918\,400 - 2\,537\,739,13 = 380\,660,87 \text{ грн}$$

$$П^н = 3\,192\,000 - 2\,514\,692,13 = 677\,307,87 \text{ грн.}$$

Приріст прибутку складе:

$$\Delta П = П^н - П^б \quad (9,15)$$

$$\Delta П = 677\,307,87 - 380\,660,87 = 296\,647 \text{ грн.}$$

Розрахуємо приріст чистого прибутку (за вирахуванням податку на прибуток), тис. грн.

$$\Delta ЧП = \Delta П (1 - Нп) \quad (9,16)$$

$$\Delta \text{ЧП} = 296\,647 * 0,81 = 240\,284 \text{ грн}$$

Де: Пп – податок на прибуток (для виробничих підприємств на Україні рівняється 19%), у відносних одиницях – 0,19

Розраховані показники зводимо в табл. 9.5.

Таблиця 9.5

Показники виробничої діяльності підприємства.

№ п/п	Показник	Позначення	Обладнання		Зміна статей витрат (+)- зростання. (-)зниження
			Базове	Модернізоване	
1	2	3	4	5	6
1	Дохід від реалізації, тис. грн.	ТП	2 918 400	3 192 000	+
2	Повна собівартість продукції тис. грн.	С	2 537 739,13	2 514 692,13	-
3	Прибуток, тис. грн.	380 660,87	677 307,87	113387.5	+
4	Чистий прибуток, тис. грн.	ЧП	0	240 284	+
5	ЧПД при коефіцієнт дисконтування (20%)	Кд	0,8333	0,8333	0.8333

9.4 Висновок за розділом

Пропонована зміна модернізації системи автоматизації процесу сушіння зерна у зерносушарці, із застосуванням теоретичних розробок дійсного дослідження є доцільна, тому що чистий приведений прибуток більше 0, а саме 240 284 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Було зроблено опис та аналіз технологічного процесу сушіння зерна в шахтній зерносушарці та необхідного обладнання. Була проведена ідентифікація шахтної сушарки як об'єкта керування. Були ідентифіковані канали керування та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що каналами «u1 - Wвих» об'єкт має статичні властивості і найбільш точно може бути описаний моделями другого порядку. Підвищення динамічної точності САР доцільно проводити шляхом забезпечення каскадності каналів регулювання. Алгоритми керування, а також характеристики, отримані при моделюванні роботи САК, достатньо точно співпадають з реальними технологічними процесами. Була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування та програмне забезпечення системи автоматичного керування процесом сушіння зерна у сушарці на базі контролера Fastwel I/O і середовища CodeSys. було розроблено варіант фрагменту комплексу технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

Був розроблений фрагмент комплексу, який включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу сушіння зерна. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи за курсом «Мікропроцесорні і програмні засоби автоматизації» для бакалаврів 6.050202 денної та заочної форми навчання / Укладачі: В.М.Левинський, А.І. Павлов, М.Т. Степанов - Одеса: ОНАХТ, 2011р. - 13.с
2. Каталог S7-1500 «SIMATIC ST70». - Siemens AG, 2007. - 232 с.
3. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2016р
4. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування» для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2007 р. - 87 с.
5. Муратов В.Г. "Метрологія та основи вимірювання. Конспект лекцій". Частина 1,2,3. - Одеса: ОНАХТ, 2012р.
6. Методичні вказівки до виконання комплексного курсового проекту з дисципліни «Метрологія та технологічні вимірювання галузі»/ Укл. Муратов В.Г. - Одеса: ОНАХТ, 2012р.
7. Методичні вказівки до виконання КП з курсу "Проектування систем автоматизації" для студентів спеціальності 6.050202 денної та заочної форм навчання / Укл. Ю.М. Скаковський, В.І. Старичков. - Одеса: ОДАХТ, 2016. 35
8. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення курсової роботи з дисципліни «Теорія автоматичного керування» для студентів спец. 2103 денної та заочної форм навчання / Укл. В.А. Хобін - Одеса: ОТПП, 1992 р. - 15 с.

ДОДАТКИ

Додаток А Рис. 1 Схема автоматизації, перелік приладів та засобів, які використані в цій схемі.

Позиція на схемі	Вимірювана величина	Найменування приладу за ДСТУ ISO 14617-6	Функція в системі	Місце встановлення	Кількість, шт.
LS	Рівень (L)	Первинний датчик-сигналізатор рівня	Зондування граничного (верхнього) рівня зерна	Надсушильний бункер	1
LIS	Рівень (L)	Блок сигналізації та логічного перемикач рівня	Світлова індикація заповнення та захисне блокування завантаження	Панель оператора (центральна диспетчерська)	1
TEY	Рівень (L)	Первинний датчик-перетворювач температури з нормуючим виходом	Зондування та перетворення сигналу температури агента сушки	Зони сушки 1 та 2	2
TIR	Температура (T)	Прилад індикації та реєстрації температури	Поточне відображення та безперервний запис температурного графіка (тренда)	Панель оператора (центральна диспетчерська)	1
ЗТІС	Температура (T)	Контролер температури з індикацією	Автоматичне регулювання та відображення температури	Шафа автоматики (місцеве встановлення)	3
НІС	Температура / Вручну	Станція ручного дистанційного керування з індикацією	Ручне коригування оператором ступеня відкриття повітряних заслінок	Шафа автоматики / Пульт керування	3
TV	Температура (Повітря)	Регулюючий клапан / виконавча повітряна заслінка	Зміна витрати атмосферного повітря, що подається в зони та топку	Повітропроводи зон сушки, охолодження та топки	4
RS	Факел	Первинний	Оптичний або	Топка (пальник)	1

	(Випромінювання)	датчик-сигналізатор полум'я	іонізаційний контроль наявності факела в топці		
RIS	Факел (Випромінювання)	Логічний блок захисту та сигналізації полум'я	Аварійне вимкнення пальника та сигналізація при згасанні факела	Шафа захисту та сигналізації	1
PS	Тиск палива	Первинний датчик-сигналізатор (реле) тиску	Контроль граничного тиску рідкого або газоподібного палива	Лінія подачі палива до топки	1
PIS	Тиск палива	Блок сигналізації та захисту за тиском	Захисне релейне перемикання при аварійному тиску палива	Шафа КВПіА	1
HV	Паливо / Вручну	Ручний запірний клапан (вентиль)	Ручне сервісне або аварійне перекриття паливної лінії	Лінія подачі палива	1
HS	Керування вручну	Кінцевий вимикач положення ручного клапана	Контроль фактичного стану (відкритий/закритий) вентилів HV 5	На запірній арматурі HV 5	1
FIS	Потік палива / Захист	Релейний блок блокування подачі палива	Захисне технологічне блокування пуску пальника за положенням вентилів	Шафа автоматики топки	1
XV	Паливо	Відсічний електромагнітний клапан безпеки	Автоматичне швидкісне перекриття (відсікання) палива при аварії	Лінія подачі палива до пальника топки	1
MEY	Вологість зерна	Кнопковий пост дистанційного керування двигунами	Безперервне технологічне вимірювання маси вивантажуваного зерна	Лінія вивантаження зерна (вихід із шахти)	1
M1, M2, M3, M4	Електроприводи	Електровентиліатор / двигун механізму	Привод вентиляторів сушильного агента, охолодження та вивантаження	Відповідні технологічні вузли	4
KS	Час /	Програмний	Реалізація	Шафа керування електроприводами	3

	Послідовність	апарат затримки часу (реле часу)	часових затримок для безпечного пуску/зупинки вентиляторів		
--	---------------	---	--	--	--

Додаток Б Рис. 1 ПЕС електроприводу

Таблиця– Перелік елементів принципової схеми підключення дискретних каналів базового блока ПЛК

Позиційне позначення	Найменування та технічна характеристика	Кількість	Примітка
A1	Програмований логічний контролер SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC (6ES7 214-1AG40-0XB0)	1	Базовий блок ПЛК
G1, G2	Блок живлення систем автоматизації SITOR (24 V DC)	2	Джерела живлення
SF1, SF2	Автоматичний вимикач однополюсний	2	Захист вхідних кіл 220V
HL1	Індикаторна лампа сигналізації наявності напруги живлення 24V	1	Панель шафи
KV1	Проміжне реле сигналізації (в контур звукового дзвоника НА)	1	Виход DO
KM1...KM4	Електромагнітні контактори (пуск двигунів норій, вентиляторів, вивантаження ДСП-32)	4	Виходи DO
SB1	Кнопка керування з самоповерненням (Пуск)	1	Вхід DI
SB2	Кнопка керування	1	Вхід DI

	3 самоповерненням (Стоп)		
SA1	Перемикач режимів роботи (Автоматичний / Ручний)	1	Вхід DI
SQ1, SQ2	Кінцеві вимикачі (положення заслінок / датчики підпору норій)	2	Входи DI
XT3	Клемний блок дискретних входів (ряд прохідних клем)	1	
XT4	Клемний блок дискретних виходів (ряд прохідних клем)	1	Монтажна панель

Додаток Б Рис. 2 ПЕС живлення

Позиційне позначення	Найменування та технічна характеристика	Кількість	Примітка
A3	Модуль аналогових виходів SM 1232 AQ 2 x 14 bit (6ES7 232-4HB32- 0XB0)	1	Модуль розширення ПЛК
XT2	Клемний блок аналогових виходів (ряд прохідних клем)	1	Монтажна панель шафи

