

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему «Автоматизація процесу керування випіканням хліба в першій зоні тунельної печі»

Здобувача (ки) І.В. Узун

4 курсу A-40 групи

Керівник доцент О.В. Мазур

Консультанти:

Хобін В.А., д.т.н., проф.

Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС

Савенко І.І., проф. кафедри МіЛ

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від «19» жовтня 2023 р., протокол №603-03

Завідувач(ка) кафедри АТПіРС _____
(назва кафедри) (підпис) Підпис

І.М. Світий
(ПІБ)

Одеса 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова
Факультет	Автоматизації та робототехніки
Кафедра	Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітня програма	«Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедри АТП і РС

_____ Левінський В.М.
«23» листопада 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА Здобувач Узун Ігор Володимирович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування випіканням хліба в першій зоні тунельної печі»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Мазур Олександр Васильович, к.т.н. доцент
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 603-03 від 19.10.23 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи «11» червня 2024 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис технологічного процесу випічки хліба, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів керування технологічним процесом випічки хліба, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.
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	Мазур О.В. к.т.н., доцент		
Розділи 2, 3	Хобін В.А., проф. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Савенко І.І., проф. кафедри МіЛ		

7. Дата видачі завдання 04 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«04» березня 2024 р.	
Розділ 2	«18» березня 2024 р.	
Розділ 3	«01» квітня 2024 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2024 р.	
Розділ 5	«29» квітня 2024 р.	
Розділ 6	«13» травня 2024 р.	
Розділ 7	«27» травня 2024 р.	
Розділ 8	«03» червня 2024 р.	
Розділ 9	«10» червня 2024 р.	

Здобувач Узун І.В.

Керівник роботи Мазур О.В.

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 Узун І.В.

Прізвище, ініціали

Підпис

Зміст

Завдання.....	2
Календарний план	3
Зміст	4
Реферат	7
Перелік умовних позначень.....	8
Вступ.....	9
1.ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПІЧКИ ХЛІБА, ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ.....	10
1.1 Узагальнений опис технологічних процесів підприємства та рівня його автоматизації	10
1.2. Вибір об'єкта для модернізації системи автоматизації, визначення та аналіз процесів і відповідного обладнання.....	12
1.3 Проаналізувати вплив ефективності управління технологічними процесами на якість продукції та витрати.Визначити потенційні джерела економічної ефективності при впровадженні систем модернізації.....	18
1.4 Конкретизація мети модернізації системи	19
1.5 Висновки за розділом.....	20
2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИПІЧКИ ХЛІБА, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ	21
2.1 Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання.....	21
2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання	22
2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень	35
2.4 Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним	40
2.5 Висновки за розділом.....	58
3.РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР	59
3.1 Конкретизація завдань регулювання для процесу випічки хліба	59
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури	61

3.3 Структурний і параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності	74
3.4 Висновки за розділом	84
4.КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ	85
4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом ...	85
4.2 Розробка алгоритмів формалізації положень, автоматичного логічного керування пуском і нормальним зупиненням секцій	87
4.3 Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного керування для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях	90
4.4 Реалізація алгоритмів логіко-програмного керування в виді функціональної логічної схеми	92
4.6 Висновки за розділом	95
5.ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ...	97
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення	97
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання	101
5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням.....	104
5.4. Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі	108
5.5 Висновки за розділом	115
6.ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, КОНТРОЛERA І МЕРЕЖ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ САК	116
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж	116
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування	117
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання	125
6.4. Висновки за розділом	129
7.РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК.....	130

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування	130
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.	131
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	132
7.4 Тестування систем керування.....	139
7.5. Висновки за розділом.....	141
8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САКТА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	142
8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та складдокументації її технічного забезпечення.....	142
8.2 Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби	143
системи	143
8.3 Розробка принципів схем.....	145
8.4 Охорона праці.....	146
8.4. Висновки за розділом.....	155
9. ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ	156
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації процесу випічки хліба	156
9.2 Річна економія за рахунок модернізації системи автоматизації процесу випічки хліба	160
9.3 Приріст чистого прибутку та чистого грошового потоку за рік після модернізації системи автоматизації процесу випічки хліба	163
9.4 Висновки за розділом.....	164
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	165
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	166
ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації	168
ДОДАТОК Б Документація до принципової електричної схеми	169

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Іваненка Івана Івановича «Автоматизація процесу керування випіканням хліба в першій зоні тунельної печі» викладена на 170 сторінках, кількість таблиць 27, рисунків – 141, додатків - 2, джерел з переліку посилань - 16.

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

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом випікання хліба в першій зоні тунельної печі.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування процесу випікання хліба в першій зоні тунельної печі, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САР, зниження числа аварійних ситуацій, покращення взаємодії з оператором-технологом.

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

Отримані результати – розроблені алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САР; алгоритми пуску і зупинки обладнання; програми для ПЛК, що реалізують ці алгоритми; розроблені інтерфейси АРМ оператор-технолога і наладчика САР; фрагменти документації технічного забезпечення системи керування.

Перелік умовних позначень

ОР – об'єкт регулювання

ОК – об'єкт керування

ТП – технологічний процес

ПД регулятор – пропорціональний диферинцюючий 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 – предпускова звукова сигналізація

АРМ – автоматизоване робоче місце

ЗА – засоби автоматизації

ММ – математична модель

Вступ

Об'єктом дослідження системи автоматизації була обрана тунельна циклотермічна піч TU 21X3. Виробництво здійснюється за вертикальною схемою технологічних процесів. Підготовка сировини і тіста проводиться на другому поверсі. На першому поверсі відбувається обробка тіста, бродіння заготовок, випікання хліба, охолодження та пакування готової продукції.

У промисловому виробництві досягнення мети виправдано лише за умови грамотного здійснення технологічного процесу. Виробництво випічки вимагає не тільки кваліфікованих фахівців, а й сучасного обладнання. Цей технологічний процес має певні труднощі, такі як підтримання температури поверхні заготовки, що нагрівається паром, і контроль температури зони зволоження. Сьогодні підприємства з виробництва хлібобулочних виробів використовують сучасне обладнання, але не сучасні САК.

Підвищення конкурентоспроможності можливе лише за допомогою модернізації САК. Така модернізація дозволить знизити енергетичні витрати, відсоток браку готової продукції, поліпшити якість продукції за рахунок впровадження алгоритмів динамічної точності САК та реалізації на сучасних засобах автоматизації. Тому модернізація САК з використанням сучасних засобів автоматизації та впровадженням алгоритмів підвищення динамічної точності є актуальною задачею.

1.ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПІЧКИ ХЛІБА, ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ.

1.1 Узагальнений опис технологічних процесів підприємства та рівня його автоматизації

Процес випікання призначений для закріплення структури сформованого продукту і отримання споживчих властивостей готового виробу. Одним з основних чинників, що впливає на якість готового продукту при реалізації технологічного процесу випічки хліба є отримання якісної скоринки, що запобігає подальшій надмірній втраті вологи в процесі випічки та забезпечує певні смакові та естетичні властивості готового продукту. Важливу роль у цьому відіграють процеси тепло- і масообміну та міжфазних переходів, що протікають в першій зоні хлібопекарної печі.

Суть процесу випікання полягає в цілеспрямованій зміні потоку матеріалу (відформованого тіста) та енергії (джерела тепла) в спеціальному технічному пристрої (хлібопекарській печі) з метою отримання готового продукту (хлібобулочного виробу) з певними характеристиками, тобто показниками якості. У процесі випікання еластичність, структурна міцність і сухість м'якушки поступово збільшуються, спочатку в прилеглих до скоринки шарах, а потім і в центрі буханця.

Всі ці зміни, що характеризують процес перетворення тіста на хліб, є результатом низки фізичних, мікробіологічних, хімічних і біохімічних процесів.

Процес випікання здійснюється у печах різної конструкції, включаючи тунельні, тупикові, ротаційні та пекарські печі. Печі можуть бути як жарочні, так і подові. Опалення печей здійснюється за допомогою газу або електрики.

Робочий об'єм пекарної камери зазвичай розділений на чотири зони, кожна з яких має характерні температурні режими і час витримки продукту (значення робочих параметрів наведені для нарізаного хліба)

I зона - зона парозволоження. В цій зоні здійснюється формування скоринки, яка в подальшому забезпечує необхідні тепломасообмінні процеси в середині батону, що забезпечують подальше випікання хліба. Для отримання глянцевої поверхні скоринки на хлібі його поверхня повинна короткочасно (на протязі 3-4 хвилин) піддаватися впливу повітря з високою відносною вологістю в зоні зволоження. Температура повітря в першій зоні хлібопекарної печі повинна підтримуватись на рівні 100-105°C, при відносній вологості $\phi = 60-70\%$. В цій зоні температура батону в центрі м'якушки досягає 36-38°C, верхньої оболонки (скоринки) 80-85°C і нижньої оболонки 90-95°C.

II зона - зона інтенсивного нагрівання з експозицією 10 хвилин. Характеризується під зміною об'єму продукту і збільшенням швидкості виділення вологи. При цьому температура навколишнього середовища в робочій камері становить від 200 до 215 °C. Цей період закінчується, коли форма виробу стабілізується і температура в центрі м'якушки досягає 50-65°C, верхньої скоринки - 115-135°C і нижньої скоринки - 135-155°C.

III зона-перехідна. В ній температура повітря знижується до 140°C - 145°C. За час перебування в третій зоні (10 хвилин), температура в центрі батона досягає 85-95°C, температура верхньої та нижньої оболонок знижується до 110°C та 120°C відповідно.

IV зона— зона допікання. Випікання хліба в цій зоні триває 24 хвилини. Температура повітря в четвертій зоні ще трохи знижується і становить 130-135°C. За цей час температура в центрі батона досягає 98 °C, верхньої скоринки - 110 °C , нижньої скоринки - 120 °C.

Для обігріву печі використовується природний газ з тиском 42 кПа і температурою від 6 до 20 °C. Повітряна газова суміш спалюється в печі. Для нормального спалювання газу в топці до неї подається повітряна газова суміш у співвідношенні 11-12 кубів повітря на 1 кубічний метр газу. Для безпечної роботи газового топкового агрегату, з метою забезпечення не проникнення топкових газів за межі агрегату, тиск в камері згорання та газоходах печі

повиннен бути трохи менший ніж зовнішній атмосферний тиск. Температура продуктів згоряння, що використовуються для обігріву зон випічки камери, коливається від 1000 до 1600 °С і знижується до 450-480 °С шляхом рециркуляції частини газу на виході з печі. Продукти згоряння, змішані з рециркуляційним газом, через димохід потрапляють в опалювальний канал.

Гази на виході хлібопекарних камер охолоджуються до 340-380 °С захоплюються рециркуляційним вентилятором і подаються на змішування с гарячими топковими газами.

Технологічна схема процесу випічки показана на рис.1.1

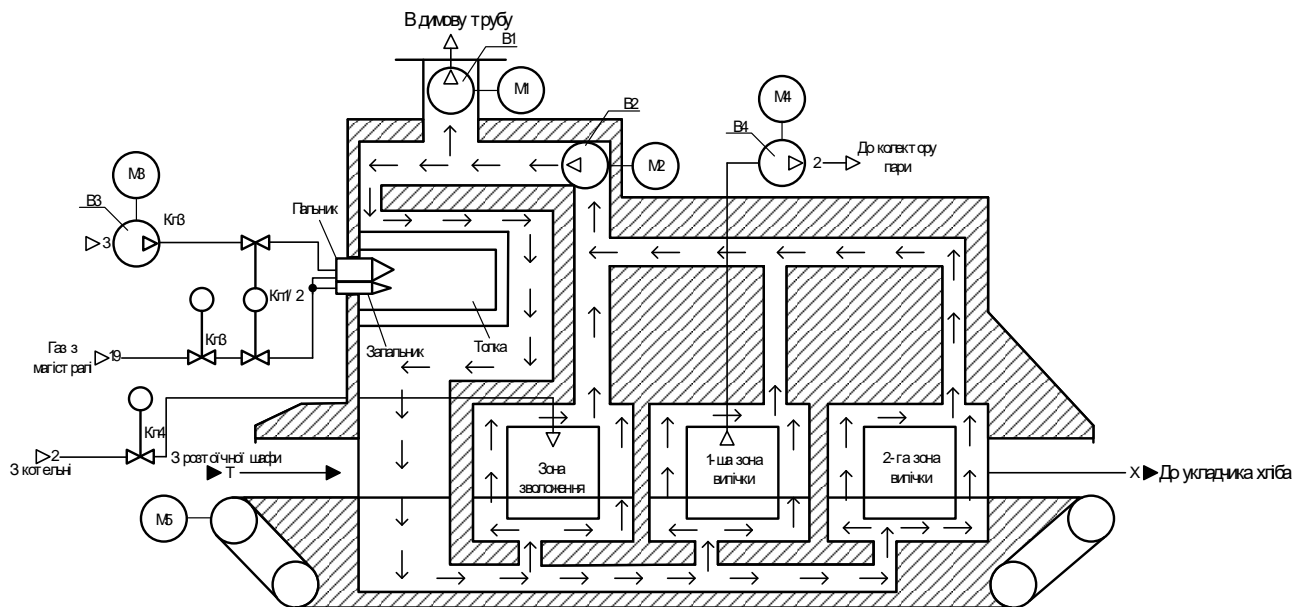


Рис.1.1 – Технологічна схема процесу випічки хліба

1.2. Вибір об'єкта для модернізації системи автоматизації, визначення та аналіз процесів і відповідного обладнання.

Технологічний процес випічки хліба, який є об'єктом дослідження, з метою обробки системи автоматизації, реалізується в тунельній печі ТУ 21Х3.

Тунельна циклотермічна піч TU 21X3 фірми Kumkaaya [16] – відноситься до серії циклотермічних тунельних печей, призначених для м'якого випікання широкого асортименту дріжджових хлібів і листкових виробів: хліба, круасанів, пирогів тощо. Укомплектована кам'яним подом, піч може застосовуватися для випікання виробів із хрусткою кіркою, «сільського» хліба.

– Непряма радіаційна система циклотермічного нагрівання надає широкі можливості з точки зору ефективності процесу випікання та гнучкості його налаштування. Конструктивно піч розділена на зони, які мають трубопроводи у верхній і нижній частині. Унікальна система з трубчастими нагрівачами забезпечує рівномірну тепловіддачу за площею пекарної зони, а отже, рівномірний колір продукту та розподіл вологи;

– Модульованість – Секції циклотермічної печі можуть використовуватися в комбінації з секціями, заснованими на інших принципах, для створення гібридних систем;

– Пекарна камера складається з модулів довжиною 2,5 м і виготовлена з антикорозійної високотемпературної сталі з алюмінійованим покриттям. Камеру встановлено на рамі та піднято над підлогою. Модулі з'єднуються між собою і формують піч із незалежними зонами довжиною від 5 до 15 м для забезпечення оптимальних параметрів випікання. Кожна зона має термодатчик для контролю режиму випікання й окремий пальник для підтримки заданої температури;

Характеристики тунельної циклотермічної печі TU 21X3 фірми Kumkaaya:

- Габарити (мм) – 4605x23680x3593;
- Розміри камери випікання (мм) – 3000x21000x224;
- Площа випічки (м²) – 63;
- Потужність мережі (кВт) – 19;
- Кількість пальників (шт.) – 1;
- Споживання пара (кг/м²/час) – 5;

– Тиск газу (мбар) – 50-300.



Рис.1.2 – Тунельна циклотермічна піч TU 21X3 фірми Kumkaya

Метою процесу приготування хліба є отримання готової продукції з певними показниками якості. У промисловому виробництві досягнення цієї мети виправдане лише за умови логічності процесу та дотримання низки технологічних вимог.

- забезпечується достатня кількість целюлози для однієї години роботи;
- тиск пари в паропроводі не перевищує 0,2 МПа; і
- Енергоспоживання процесу не повинно перевищувати нормативних значень;
- Режим роботи технологічного обладнання не повинен перевищувати гранично допустимих значень;
- Шкідливий вплив процесу на здоров'я людини та навколишнє середовище не повинен перевищувати нормативних значень.

Параметризована схема технологічного процесу випічки хліба, що реалізується в тунельній печі представлена на рис. 1.3.

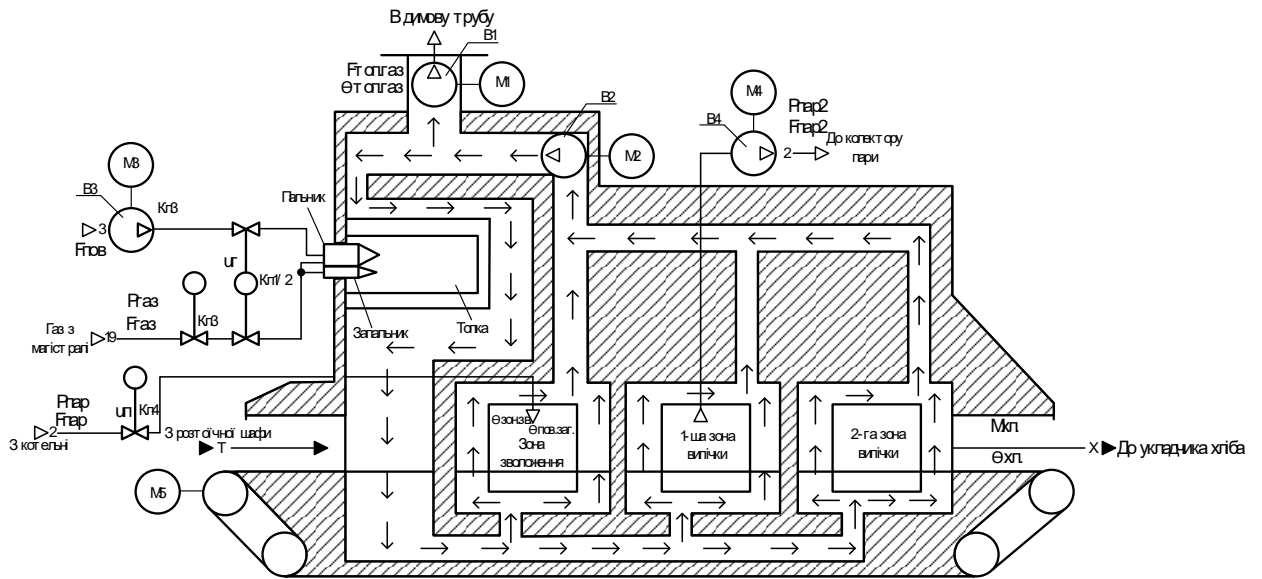


Рис. 1.3 – Параметризована схема процесу випічки хліба

Розглянемо параметри, нанесені на дану схему:

$F_{пов}$ – витрати повітря, кг/год;

$P_{газ}$ – тиск газу, МПа;

$F_{газ}$ – витрати газу, кг/год;

$P_{пар}$ – тиск пари, МПа;

$F_{пар}$ – витрати пари, кг/год;

$P_{пар2}$ – тиск відпрацьованої пари, МПа;

$F_{пар2}$ – витрати відпрацьованої пари, кг/год;

$F_{топ.газ.}$ – витрати топкових газів, кг/год;

$\Theta_{топ.газ.}$ – температура топкових газів, °С;

$\Theta_{зон.зв.}$ – температура в зоні зволоження, °С;

$\Theta_{пов.заг.}$ – температура поверхні заготівки, °С;

$M_{тіст}$ – вологість тіста, %

$\Theta_{тіст}$ – температура тіста, °С

$M_{хл}$ – вологість хліба, %

$\Theta_{хл.}$ – температура хліба, °С

$U_{г.}$ – положення ОР для зміни витрати повітря та газу, %х.р.о.;

U_p – положення ОР для зміни витрати пари, %х.р.о.;

δ_1 – конструктивні параметри у зоні зволоження%.

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технічні регламенти, що визначають умови ведення технологічного процесу випічки хліба забезпечують певну продуктивність та отримання продукту з необхідними якісними характеристиками. Технічні регламенти - це сукупність номінальних значень змінних процесу та діапазонів допусків на відхилення від них. Для технологічного процесу випікання хліба в першій зоні такими параметрами є $\Theta_{зон.зв}$ та $\Theta_{пов.заг}$.

Правила експлуатації визначають умови, необхідні для нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Це сукупність номінальних значень і діапазонів допусків на відхилення робочих параметрів технологічного обладнання. У процесі випікання хліба таких параметрів немає.

Техніко-економічні та екологічні нормативи визначають умови ефективності процесу та екологічні аспекти. Вони являють собою набір номінальних і гранично допустимих значень технічних, економічних та екологічних параметрів. У процесі випікання хліба це $F_{газ}$, $F_{топ.газ}$ та $F_{пар}$.

Якщо параметри процесу приготування їжі відхиляються від заданих значень через зміну параметрів, що характеризують умови процесу, допуски можуть бути перевищені навіть при достатньо ефективному контролі процесу. Однак процес не зупиняється при перевищенні технологічного допуску, а відхилення з часом зникає. Коли параметри процесу виходять за межі допуску, якість знижується, а кількість браку збільшується.

Допуски на відхилення нормативних параметрів від їх поточних значень можна розділити на довгострокові та короткострокові. Довгострокові допуски визначають область малих відхилень, де середнє значення вважається близьким до стандартного, тому ці відхилення не виключаються. Короткострокові допуски для параметрів виходять за межі області малих відхилень і призводять до зниження ефективності процесу, тому вони

допускаються лише протягом обмеженого часу. Якщо параметр виходить за межі зони короткочасних допустимих відхилень, це свідчить про відхилення в процесі або роботі обладнання, що може призвести до аварії. Для аналізу стандартів на процеси приготування їжі створимо таблицю нормативів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номинальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі		Короткочасні
					Величина	Величина	Час, с
1	Температура в зоні зволоження	$\Theta_{\text{зон.звол}}$	°C	100	±2	±5	120
2	Температура поверхні заготівки	$\Theta_{\text{пов.заг}}$	°C	65	±1	±3	40

Поточні значення регулюючих параметрів завжди відрізняються від номінальних значень (і навіть можуть виходити за межі допусків) через зміну умов, в яких відбувається процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами, які для зручності можна згрупувати за певними ознаками.

Параметри сировини характеризують властивості продукту, що підлягає переробці. Ця група параметрів включає параметри сировини ($\Theta_{\text{тіст}}$, $M_{\text{тіст}}$).

Енергетичні параметри характеризують енергію, що подається ззовні до технологічного обладнання і використовується для зміни властивостей продукту. До цієї групи параметрів відносяться пара і газ.

Механічні (або інші специфічні) параметри технічного обладнання характеризують стан робочого органу. До цієї групи параметрів належать $U_{\text{г}}$, $U_{\text{п}}$, δ_1 .

Формалізація визначення взаємозв'язків між параметрами процесу досягається шляхом переходу до формалізованої параметричної схеми технологічного процесу (рис. 1.4).

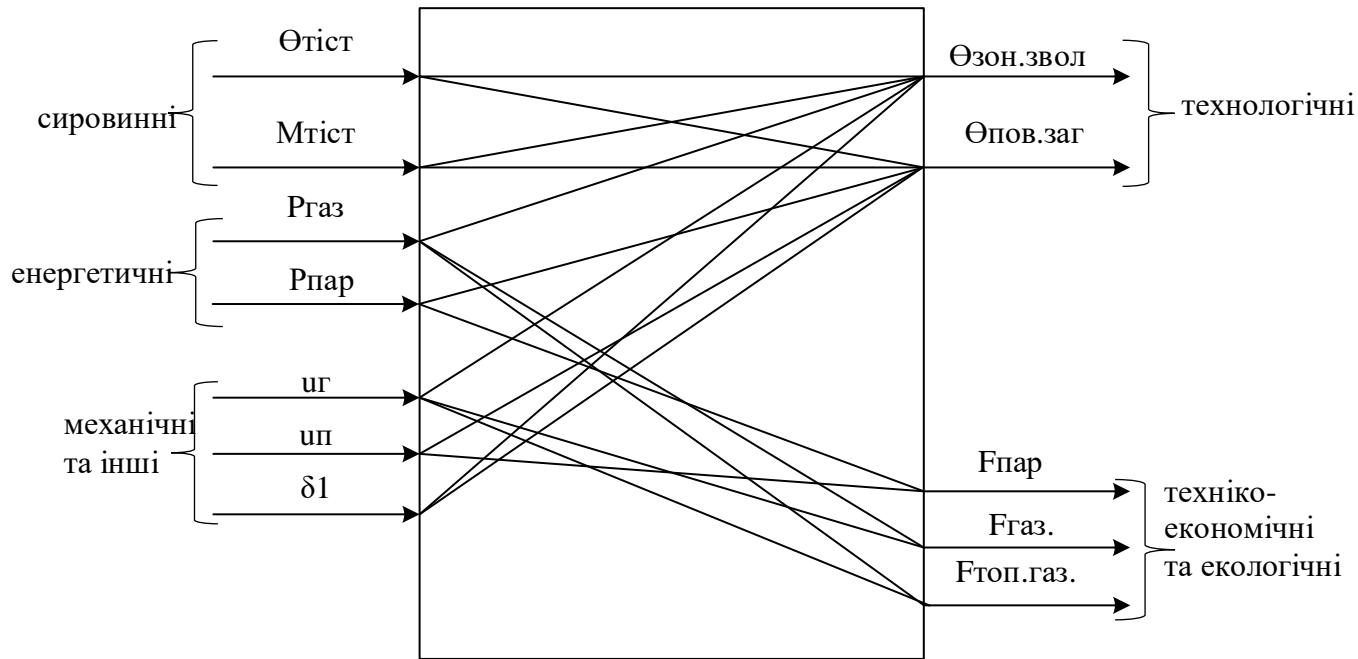


Рис. 1.4 – Параметрична схема процесу випічки хліба

1.3 Проаналізувати вплив ефективності управління технологічними процесами на якість продукції та витрати. Визначити потенційні джерела економічної ефективності при впровадженні систем модернізації.

Модернізація. У процесі функціонування САК необхідно підвищувати якість регулювання регульованих змінних.

Серед потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні системи модернізації можна виділити наступні:

- Зменшення споживання газу за рахунок покращення контролю температури в зоні зволоження; та
- Зменшення витрат пари за рахунок підвищення якості контролю температури поверхні заготовки;

Імітаційне моделювання показало, що зменшення середнього значення відхилення $\Delta T_{\text{зон.звол}}$ на 1°C призводить до економії газу близько 8%, а

зменшення середнього значення відхилення $\Delta T_{\text{пов.заг}}$ на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ призводить до економії пари близько 10%.

Проблеми, які необхідно вирішити, та їх вплив на показники економічної ефективності наведено в таблиці 1.2.

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

Статті витрат	Очікуване джерело економії	Кількісна оцінка
Витрати газу	Стабілізація температури в зоні зволоження	Умовно змінна норма витрати газу: до автоматизації – 0,5 т/т після автоматизації – 0,4 т/т
Витрати пари	Стабілізація температури поверхні заготівок	Умовно змінна норма витрати пари: до автоматизації – 0,15 Гкал/т після автоматизації – 0,135 Гкал/т

1.4 Конкретизація мети модернізації системи

Економічною метою дослідження є підвищення конкурентоспроможності та прибутковості підприємств за рахунок покращення якості контролю регулюючих змінних та зниження енергоспоживання при впровадженні модернізованої АСУ ТП.

Системи управління хлібопекарськими процесами реалізуються на основі апаратно-програмних засобів для отримання інформації про змінні процесу і виконання керуючих дій за допомогою ПК і центрального процесора.

Система повинна виконувати наступні функції

а) Інформаційна:

- Збір та обробка технічної інформації

- оперативне відображення технічної інформації
- зберігання технічної інформації

б) Контроль:

- Стабілізація технічних параметрів;
- Вибір режиму управління;
- Автоматичне логічне управління агрегатом на стандартних і нестандартних решетах.

1.5 Висновки за розділом

Циклотермічна стрічкова піч TU 21X3 фірми Kumkayabuла обрана в якості об'єкта дослідження автоматизованих систем. Описано та проаналізовано технологічний процес випікання хліба та необхідне обладнання.

Економічною метою дослідження є підвищення конкурентоспроможності та прибутковості підприємства за рахунок покращення якості контролю регулюючих змінних та зниження питомих витрат енергії при встановленні модернізованої САК. Споживання газу зменшується за рахунок підвищення якості регулювання температури в зоні зволоження. Споживання пари також зменшується за рахунок підвищення якості контролю температури поверхонь заготовок.

Виходячи з наведеного вище аналізу, існує необхідність підвищення якості регулювання, вдосконалення алгоритмів управління, розвитку мереж управління та обчислювальної техніки, а також розробки SCADA для автоматизованих робочих місць операторів.

2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИПІЧКИ ХЛІБА, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

2.1 Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання

Для процесу випікання хліба необхідно вибрати температуру зони зволоження $\Theta_{\text{зон.звол}}$ та температуру поверхні заготовки $\Theta_{\text{пов.заг}}$. Необхідною умовою розв'язання задачі керування є наявність керуючих впливів на входні змінні, якими потрібно керувати. У цьому прикладі такими параметрами є положення регулятора подачі газу $U_{\text{г}}$, а також положення клапану подачі пари $U_{\text{п}}$. Всі інші входні впливи, крім керуючих впливів, називаються неконтрольованими збуреннями f_1 і f_2 . Детерміновані складові цих збурень додаються до керуючих впливів адитивно, а стохастичні складові додаються до керуючих координат.

Структурна схема процесу випічки хліба в першій зоні тунельної печі як об'єкту керування наведена на рис. 2.1.

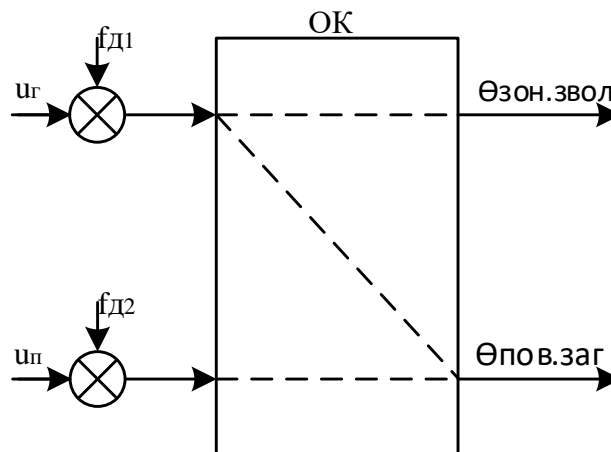


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу випічки хліба як об'єкту керування

2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

Перед початком експериментів бажано оцінити властивості каналів, які визначають модель, на основі апріорних даних, що базуються на фізичних властивостях об'єкта.

Канал U_T для технологічних процесів приготування їжі - u_T – Озон.звол.ОК має властивості самовирівнювання, оскільки технологічний процес є тепловим і тому збільшення керуючого впливу призводить до підвищення температури в зоні зволоження (регульовані координати).

Канал U_P – $\Theta_{\text{пов.заг}}$ також має самовирівнювальну функцію, де збільшення керуючого впливу призводить до збільшення температури поверхні заготовки (регульовані координати).

У каналі u_T – $\Theta_{\text{пов.загкерування}}$ також має властивість самовирівнювання, де збільшення керуючої дії призводить до зменшення температури на поверхні заготовки (координати керування).

Для визначення моделі каналу контролю якості були сплановані та проведені активні експерименти.

План активного експерименту:

1. Змінюючи положення регулятора, отримують значення координати регулювання, близьке до номінального. Для нашого ОК значенням $u_T = 60 \% \text{ х.р.о.}$ та $u_P = 60 \% \text{ х.р.о.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $\Theta_{\text{зон.звол.}} = 100^\circ\text{C}$, $\Theta_{\text{пов.заг.}} = 65^\circ\text{C}$.

2. Дочекайтеся закінчення перехідного процесу в каналі та початку сталого режиму, коли вихідна змінна перестане змінюватися.

3. Змінюємо керуючу дію u_1 з кроком $10\% \text{ х.р.о.}$ і зафіксуємо, коли вона почне змінюватися.

4. Зафіксуємо зміну вихідної змінної, поки не настане новий сталий режим.

5. Поверніть u_1 у початковий стан і дочекайтеся закінчення перехідного процесу в каналі та початку сталого режиму.

6. Змінюйте керуючу дію u_2 на 10%х.р.о крок за кроком і відмічайте, коли вона починає змінюватися.

7. Фіксуйте зміни вихідної змінної до тих пір, поки не буде досягнуто нового сталого режиму.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2-2.4.

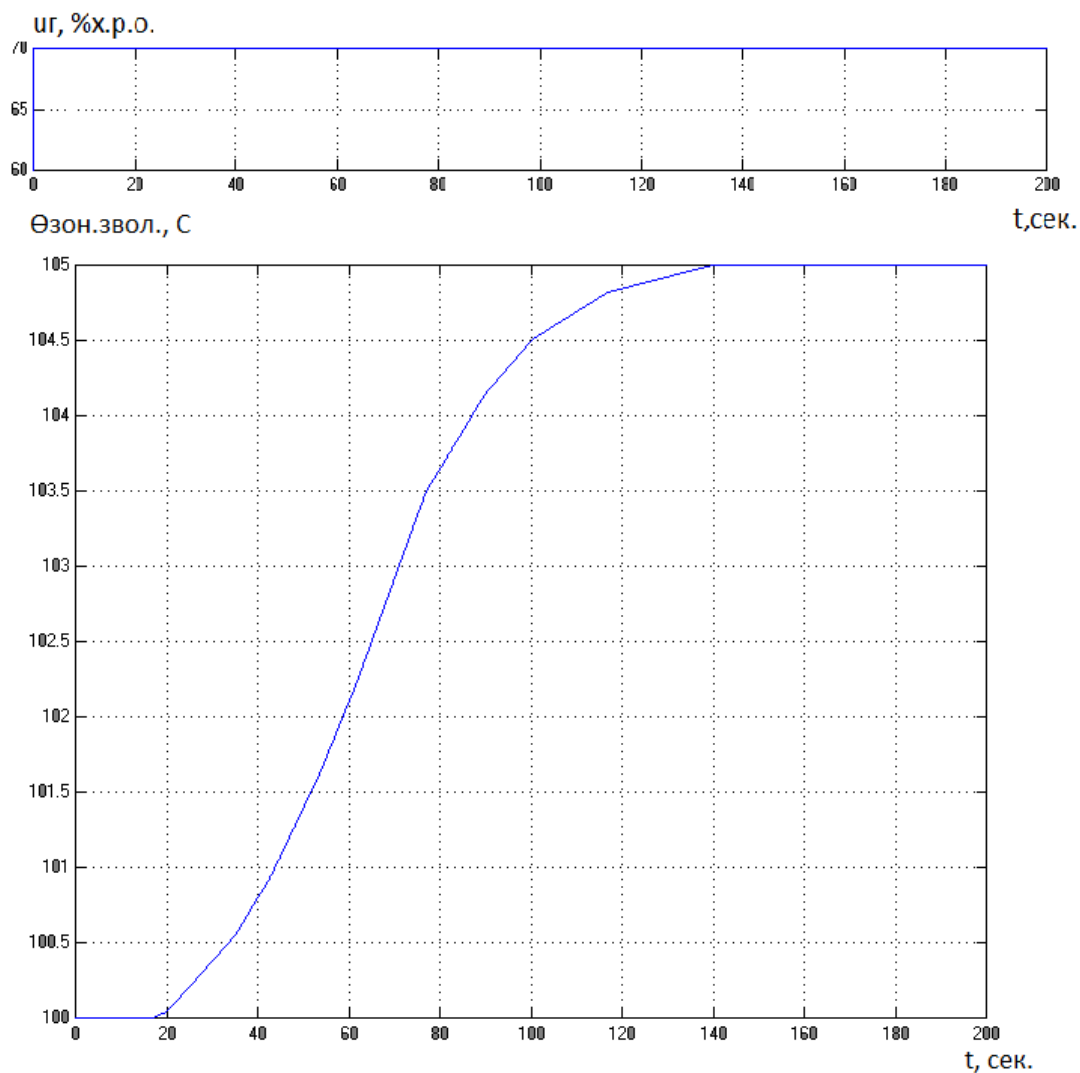


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту за каналом «уг –
Озон.звол»

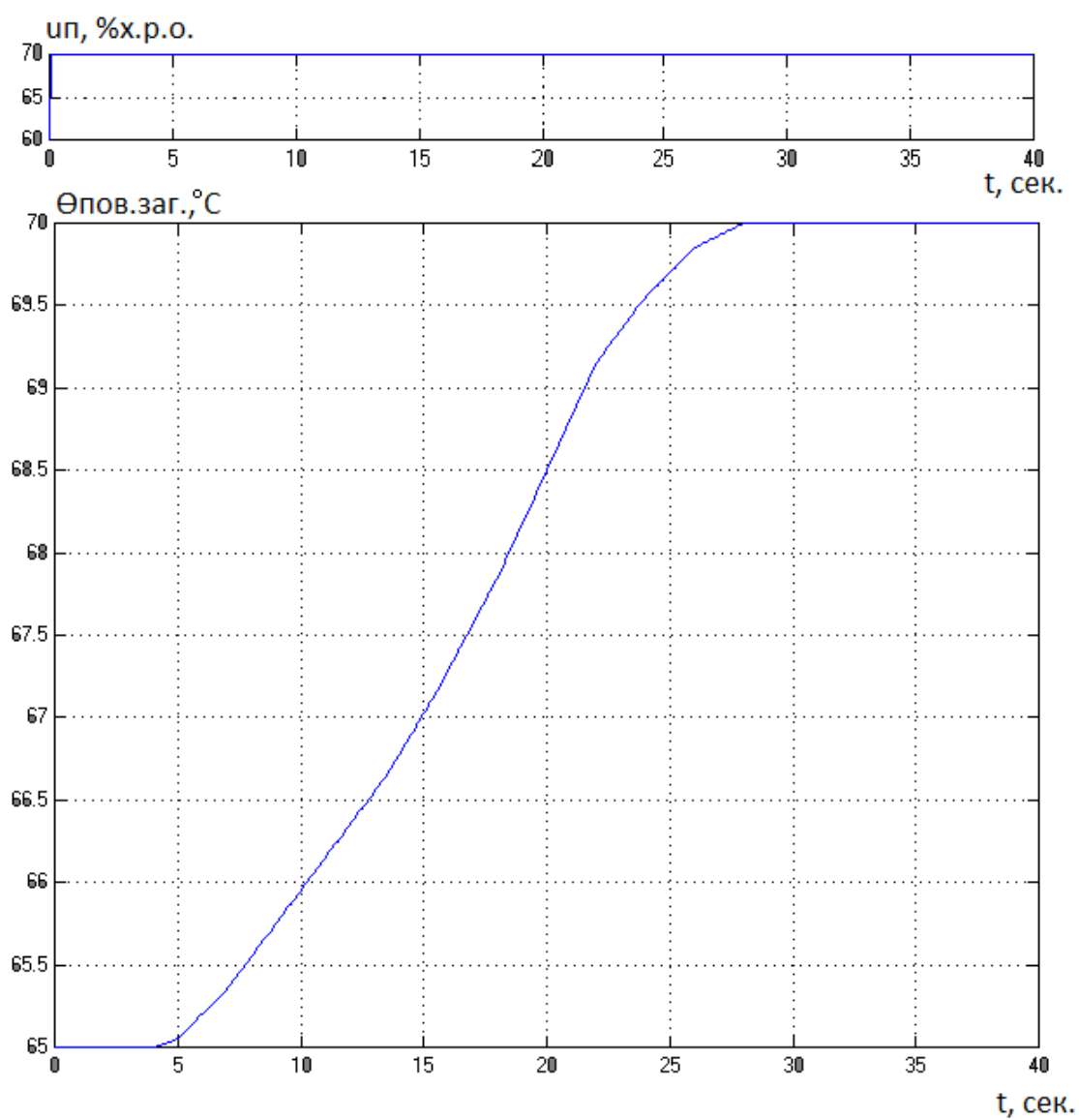


Рис. 2.3 – Результати активного експерименту за каналом «up –
Opov.zaг»

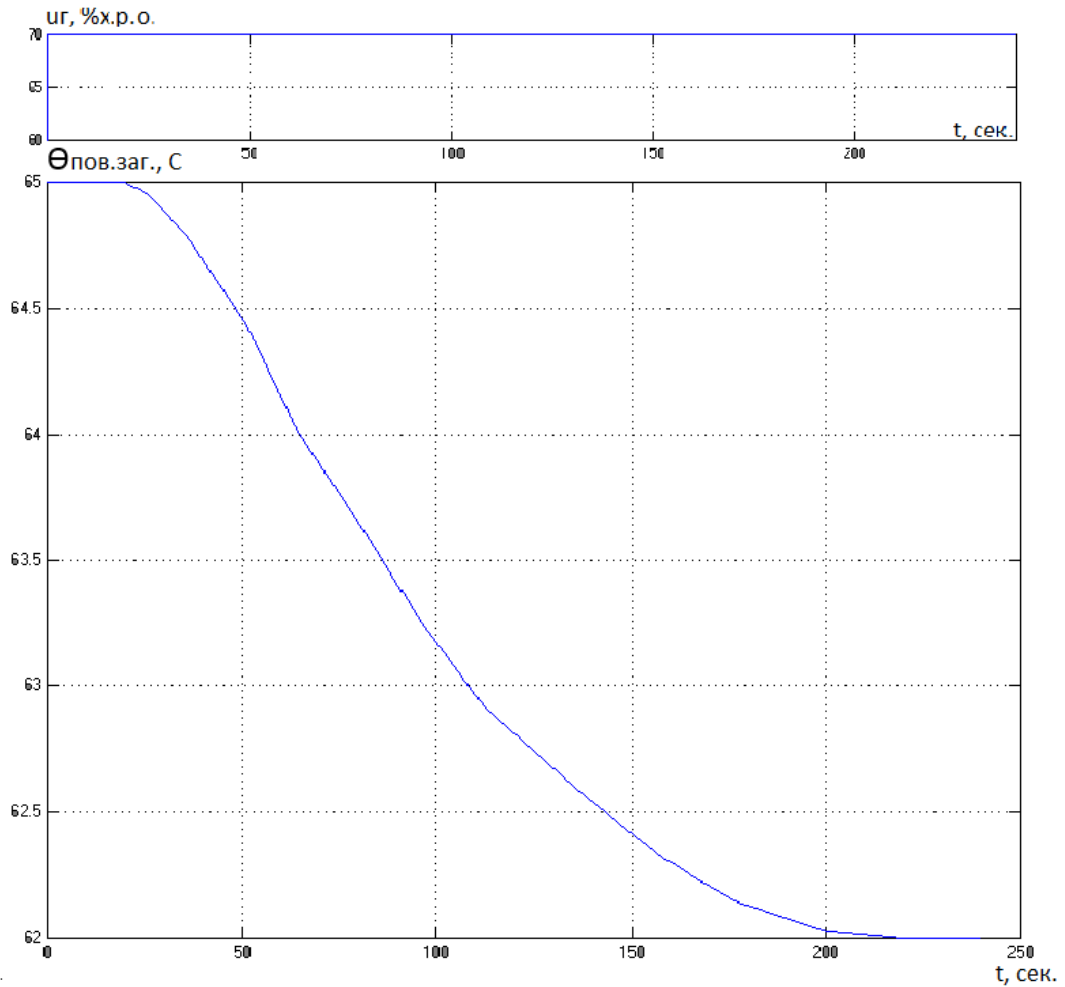


Рис. 2.4 – Результати активного експерименту за каналом «УГ –
Опов.заг»

За результатами активних експериментів (рис. 2.2-2.4) канали ОК «УГ –
Озон.звол», «УП – Опов.заг» та «УГ – Опов.заг» мають властивості
самокорекції і їх моделі можна описати першим порядком, а враховуючи
передаточні функції другого порядку, можна зробити висновок, що модель
можна описати як

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2} \quad \text{- за каналом «УГ – Озон.звол»}$$

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2} \quad \text{- за каналом «УП – Опов.заг»}$$

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2} \quad \text{- за каналом «УГ – Опов.заг»}$$

Для параметричного опису моделі ОК в каналі «уг – Өзон.звол»зі статичними характеристиками потрібні коефіцієнт передачі ОК (K_0), постійна часу (T_0) та час затримки (τ_0).

Коефіцієнти передачі QC визначаються за наступним рівнянням:

$$K_0 = \frac{\Delta \vartheta_{\text{зон.звол}}}{\Delta U_{\Gamma}} = \frac{105-100}{70-60} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{ x. p. o.}$$

Для визначення часових констант і часу запізнення як для моделей першого, так і для моделей другого порядку слід використовувати підхід "два в одному".

Для моделі 1-го порядку

$$\Delta \vartheta_{1,0} = 105 - 100 = 5^\circ\text{C};$$

$$\vartheta_{0,33} = 0,33 \cdot 5 + 100 = 101,65^\circ\text{C};$$

$$\vartheta_{0,7} = 0,7 \cdot 5 + 100 = 103,5^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 54\text{c};$$

$$t_{0,7} = 77\text{c}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 54 - 77}{2} = 42,5 \text{ c}$$

$$T = \frac{77 - 42,5}{1,2} = 28,75 \text{ c}$$

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

$$W_0(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-42,5p}}{28,75p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$\vartheta_{0,19} = 0,19 \cdot 5 + 1000 = 100,95^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 43\text{c}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 43 - 77}{2} = 26 \text{ с}$$

$$T = \frac{77 - 26}{2,4} = 20 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-26p}}{(20p + 1)^2}$$

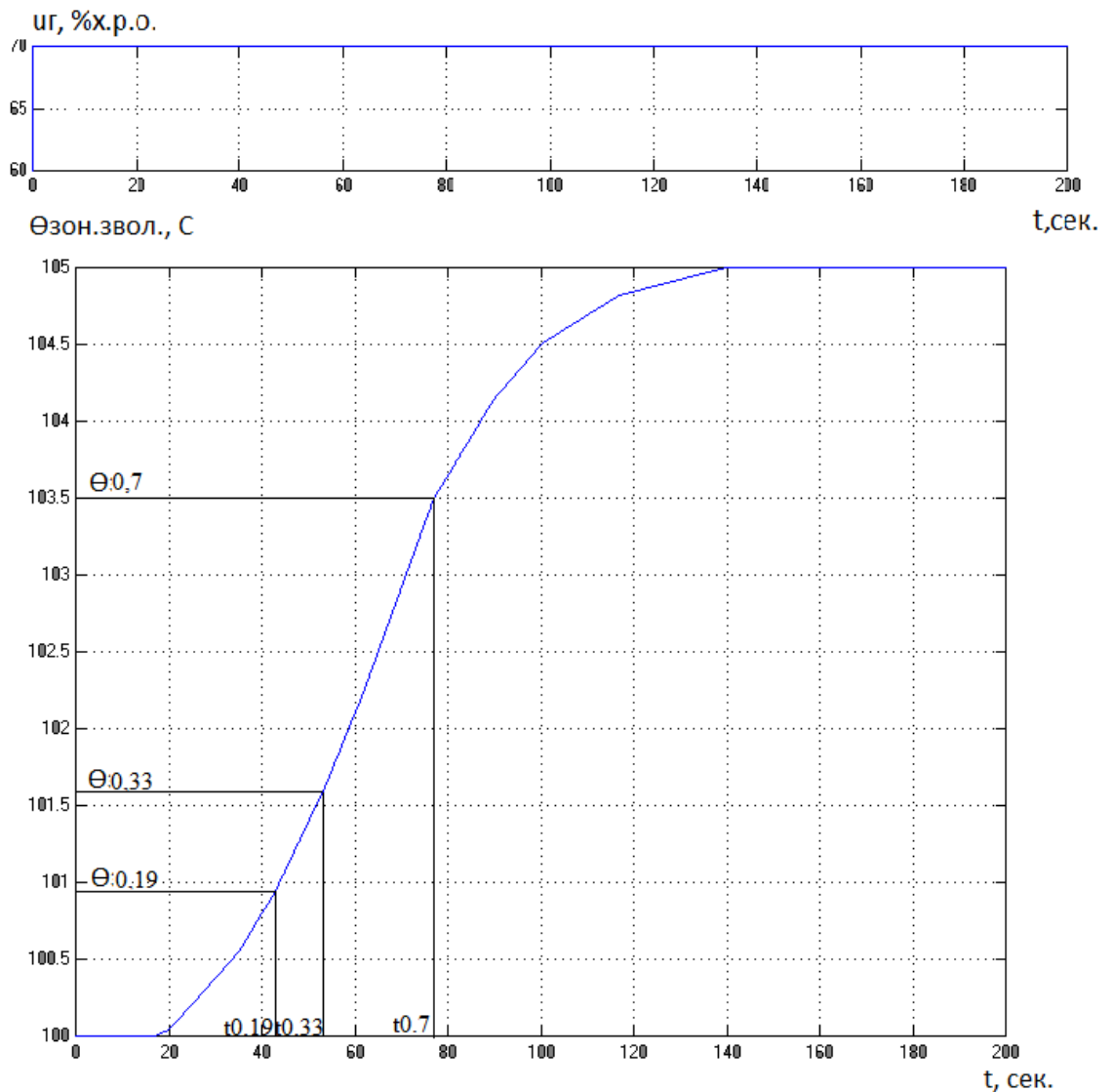


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом «уг –
 Озон.звол»

Параметричний опис моделі ОК в каналі "вгору - вниз" зі статичними характеристиками вимагає визначення коефіцієнта передачі ОК (K_0), постійної часу (T_0) і часу затримки (τ_0).

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta\theta_{\text{пов. заг}}}{\Delta U_{\text{п}}} = \frac{70 - 65}{70 - 60} = 0,5 \text{ \% / \%х. р. о.}$$

Для визначення часових констант і часу запізнення як для моделей першого, так і для моделей другого порядку слід використовувати підхід "два в одному".

Для моделі 1-го порядку

$$\Delta\theta_{1,0} = 70 - 65 = 5^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{0,33} = 0,33 \cdot 5 + 65 = 66,65^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{0,7} = 0,7 \cdot 5 + 65 = 68,5^{\circ}\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.6), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 13,5\text{с};$$

$$t_{0,7} = 20\text{с}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 13,5 - 20}{2} = 10,25 \text{ с}$$

$$T = \frac{20 - 10,25}{1,2} = 8,125 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-10,25p}}{8,125p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$\theta_{0,19} = 0,19 \cdot 5 + 65 = 65,95^{\circ}\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.6), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 10\text{с}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 10 - 20}{2} = 5 \text{ с}$$

$$T = \frac{20 - 5}{2,4} = 6,25 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-5p}}{(6,25p + 1)^2}$$

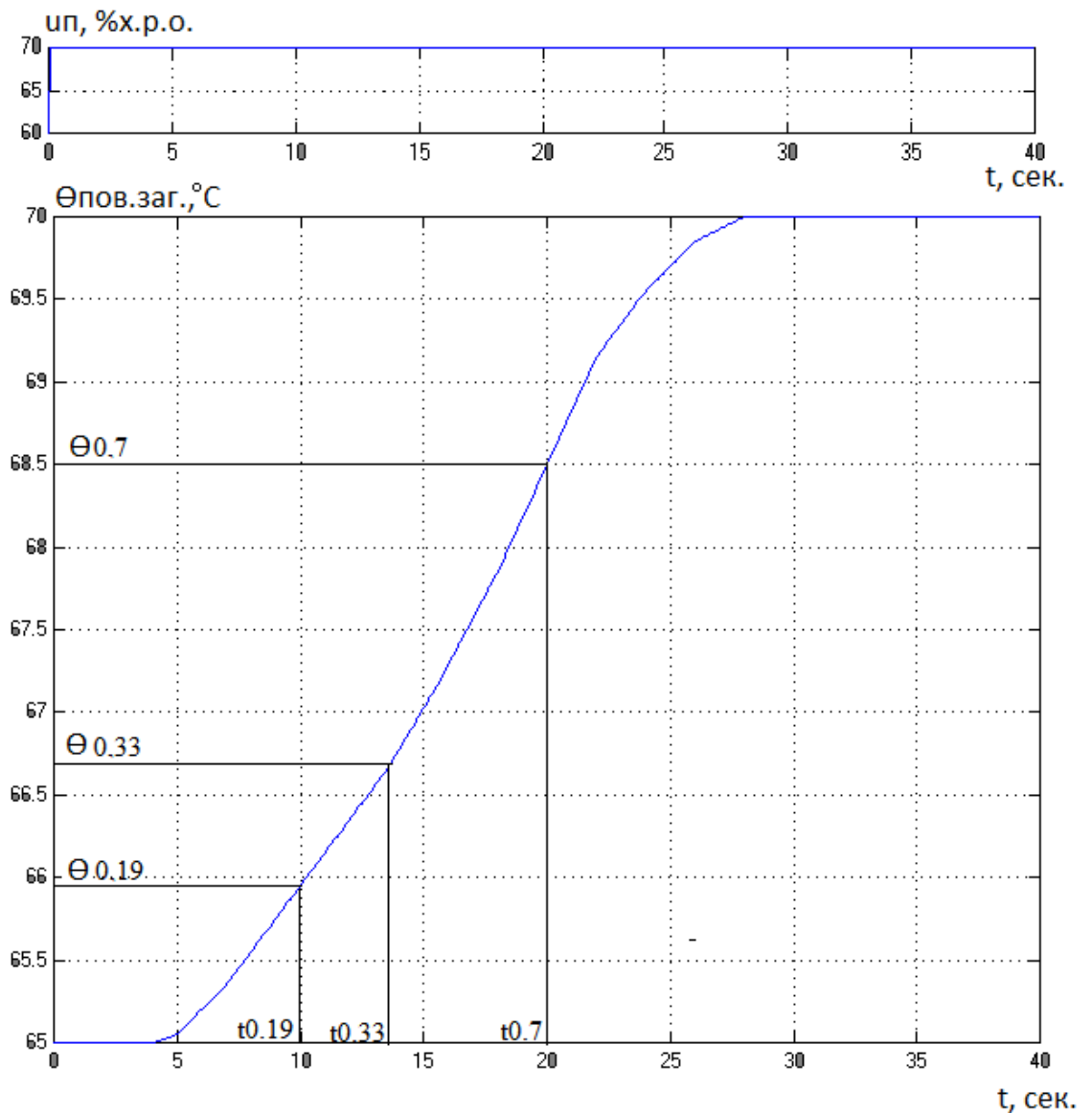


Рис. 2.6 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « u_p – $\Theta_{\text{пов.заг}}$ »

Параметричний опис моделі ОК в каналі "уг – Опов.заг" зі статичними характеристиками вимагає визначення коефіцієнта передачі ОК (K_0), постійної часу (T_0) та часу затримки (τ_0).

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta\theta_{\text{пов. заг}}}{\Delta U_{\text{г}}} = \frac{62 - 65}{70 - 60} = -0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х. р. о.}$$

Для визначення часових констант і часу запізнення як для моделей першого, так і для моделей другого порядку слід використовувати підхід "два в одному".

Для моделі 1-го порядку

$$\Delta\theta_{1,0} = 62 - 65 = -0,3^\circ\text{C};$$

$$\theta_{0,33} = 0,33 \cdot (-0,3) + 65 = 64,01^\circ\text{C};$$

$$\theta_{0,7} = 0,7 \cdot (-0,3) + 65 = 62,9^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.7), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 64,5\text{с};$$

$$t_{0,7} = 113\text{с}.$$

Тоді

$\tau =$

$$\frac{3 \cdot 64,5 - 113}{2} = 40,25 \text{ с}$$

$$T = \frac{113 - 40,25}{1,2} = 60,625 \text{ с}$$

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

$$W_0(p) = \frac{-0,3 * e^{-40,25p}}{60,625p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$\theta_{0,19} = 0,19 \cdot (-0,3) + 65 = 64,43^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.7), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 51\text{с}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 51 - 113}{2} = 20 \text{ с}$$

$$T = \frac{113 - 20}{2,4} = 38,75 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{-0,3 * e^{-20p}}{(28,75p + 1)^2}$$

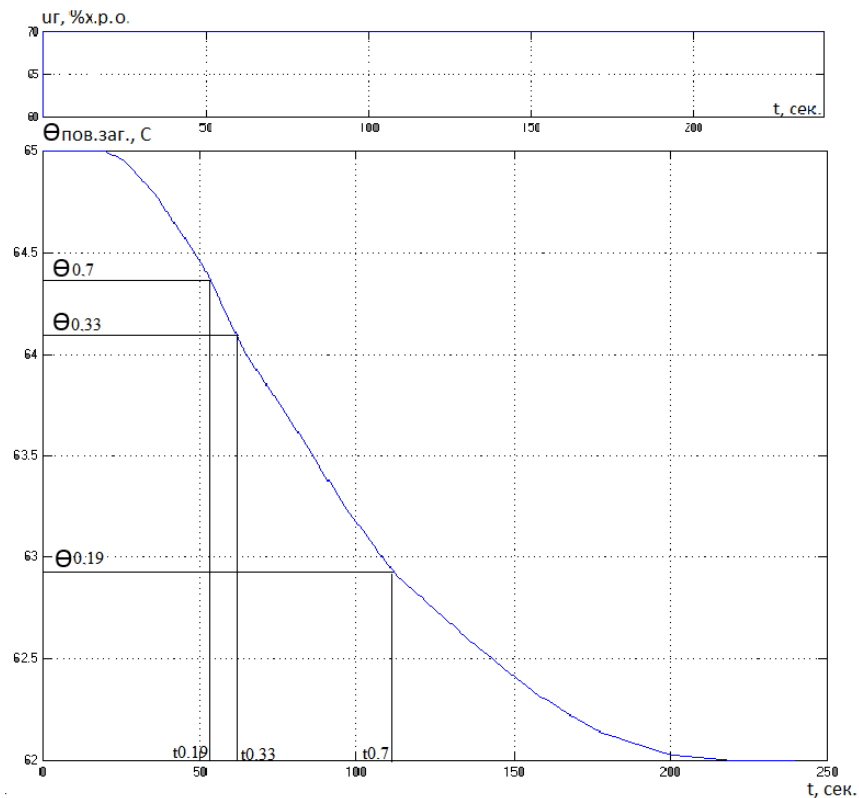


Рис. 2.7 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом «уг –
Өпов.заг»

Статичні властивості ОК визначаються статичними властивостями каналу (моделі). Вони відображають зв'язок між вхідними/вихідними координатами (змінними) каналу ОК після згасання статичного сталого режиму, тобто всі перехідні складові цих змінних.

Планування та проведення активних експериментів для визначення моделей статичних властивостей ОК.

Планування активних експериментів.

А. Діапазон варіювання факторів в експерименті фактично визначає діапазон, в якому отримана модель може бути коректно використана. Тому він повинен відповідати реальному діапазону варіації змінних, спричинених факторами.

Б. Крок фактора має бути таким, щоб кількість експериментів не була надто великою або надто малою, якщо необхідний інтервал змін перекривається.

В. Кількість інтеграцій (для корекції випадкових складових) визначається щільністю випадкових складових у вхідних та вихідних змінних КК, кількістю факторів (навмисно змінених вхідних змінних), витратами часу та іншими умовами. Кількість ітерацій, як правило, становить від трьох до п'яти. У деяких випадках ітерації можуть бути повністю пропущені.

Г. Порядок зміни факторів, особливо при великій їх кількості, слід вибирати таким чином, щоб рандомізувати експеримент, тобто внести в хід експерименту випадковий характер. Це можна зробити шляхом рандомізації порядку факторів i , можливо, величини їхніх приростів. Організуючи експеримент таким чином, можна гарантувати, що властивості об'єкта не будуть "пропущені". У найпростішому випадку можна також використовувати регуляризований дизайн.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.8.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної
характеристики ОК

иг	ип	Θзон.звол.	Θпов.заг.
60	60	100	65
70	60	105	62
80	60	110	59
50	60	95	68
40	60	90	71
60	70	100	70
60	80	100	75
60	50	100	60
60	40	100	55
10	60	65	77
60	0	100	17
60	100	100	82
100	60	117	52

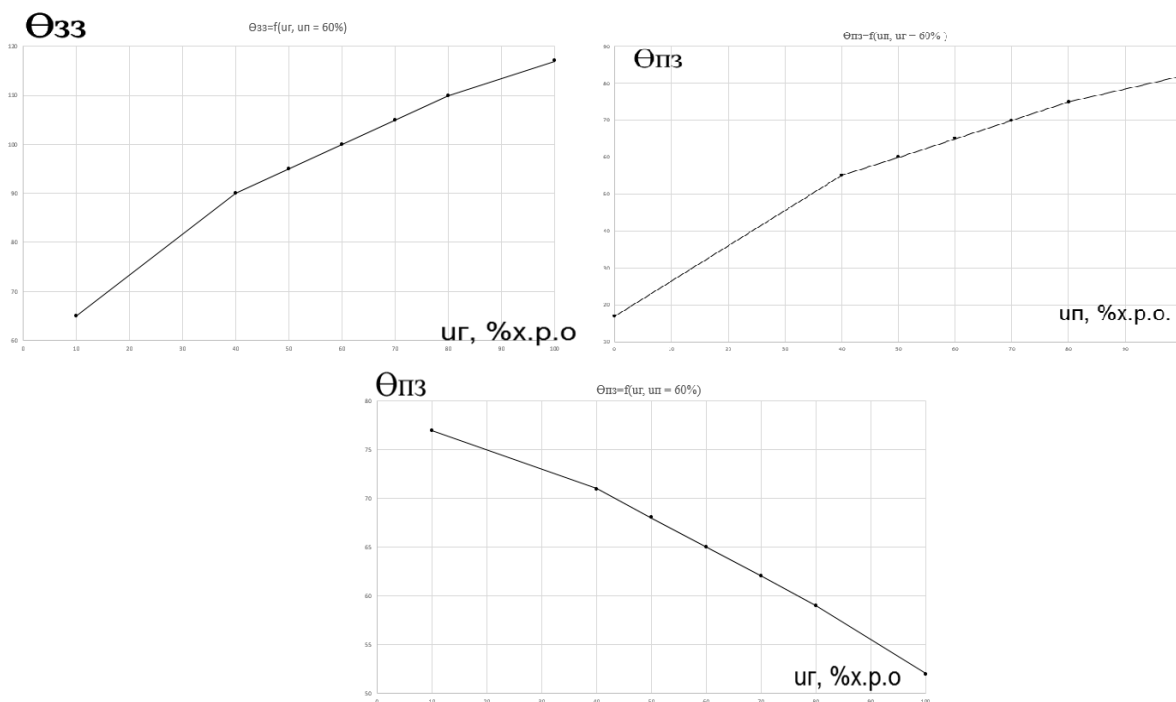


Рис. 2.8 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

У випадку досліджуваного ОК статичні властивості можна описати лінійною залежністю такого вигляду

Для $\Theta_{\text{зон.звол}}$:

$$\Theta_{\text{зон.звол}} = a_1 \cdot U_{\Gamma} + a_0$$

Параметр a_1 було задано в процесі ідентифікації. У цьому випадку

$$a_1 = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$$

Параметр a_0 можна визначити із залежності:

$$a_0 = \Theta_{\text{зон.звол}} - a_1 \cdot U_{\Gamma} = 100 - 0,5 \cdot 60 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика для $\Theta_{\text{зон.звол}}$ досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$\Theta_{\text{зон.звол}} = 0,5 \cdot U_{\Gamma} + 70$$

$$\Theta_{\text{пов.заг}} = a_3 \cdot ип + a_4 \cdot уг + a_2$$

Параметри a_1 та a_2 були нами визначені в процесі ідентифікації вище.

При цьому $a_3 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$, $a_4 = -0,3 \text{ х.р.о.}$

Параметр a_0 можна визначити з залежності:

$$a_2 = \Theta_{\text{пов.заг}} - a_3 \cdot u_{\text{п}} - a_4 \cdot u_{\text{г}} = 65 - 0,5 \cdot 60 - (-0,3) \cdot 60 = 53^{\circ}\text{C}.$$

Отже, статична характеристика для Топдосліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$\Theta_{\text{пов.заг}} = 0,5 \cdot u_{\text{п}} + (-0,3) \cdot u_{\text{г}} - 53.$$

2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову ($f_{\text{нд}}$) доцільно привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові ($f_{\text{нс}}$) доцільно привести до регульованої координати. Приводити дії стохастичних неконтрольованих збурень будемо до каналу « $u_{\text{п}} - \Theta_{\text{пов.заг}}$ ».

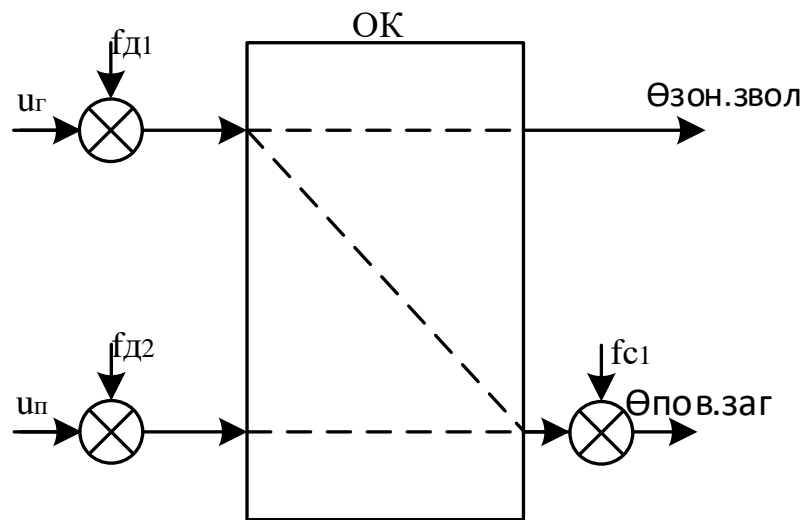


Рис. 2.9 – Структурна схема додання координатних збурень

Оскільки отримати реальні експериментальні дані неможливо, для навчання можна використовувати генератори даних. Щоб згенерувати результати пасивного експерименту для дослідження неконтрольованих збурень, ви повинні бути готові відповісти на такі питання

1. Які мінімальні та задані значення для регульованих координат? Для розглянутого ОК $T^{\text{мін}} = 17^{\circ}\text{C}$; $T^{\text{зд}} = 65^{\circ}\text{C}$.

2. які значення та розміри часу затримки в каналі керування для відповідних координат керування? ОК $\tau_0 = 10,25$ с для каналу контролю, що розглядається.

Генерування результатів пасивних експериментів забезпечується програмою rgen у середовищі Matlab. Результати генерації випадкових процесів, що відповідають неконтрольованому сигналу збурення досліджуваного ОК, наведено на рис. 2.10.

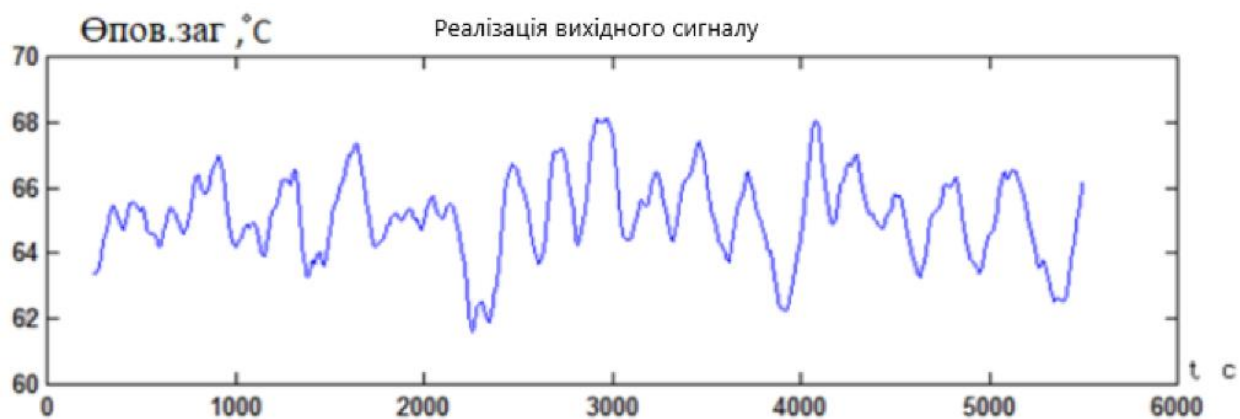


Рис. 2.10 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

Програмне забезпечення IdSoft в середовищі Matlab можна використовувати для визначення закономірностей контрольованих і неконтрольованих збурень системи координат.

Доступна наступна інформація: щільність ймовірності, математичне очікування, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, період середньоквадратичного відхилення (СКП), кількість СКП в реалізації випадкового процесу, нормована кореляційна функція та спектральна щільність випадкового процесу.

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням, наведені на рис. 2.11.

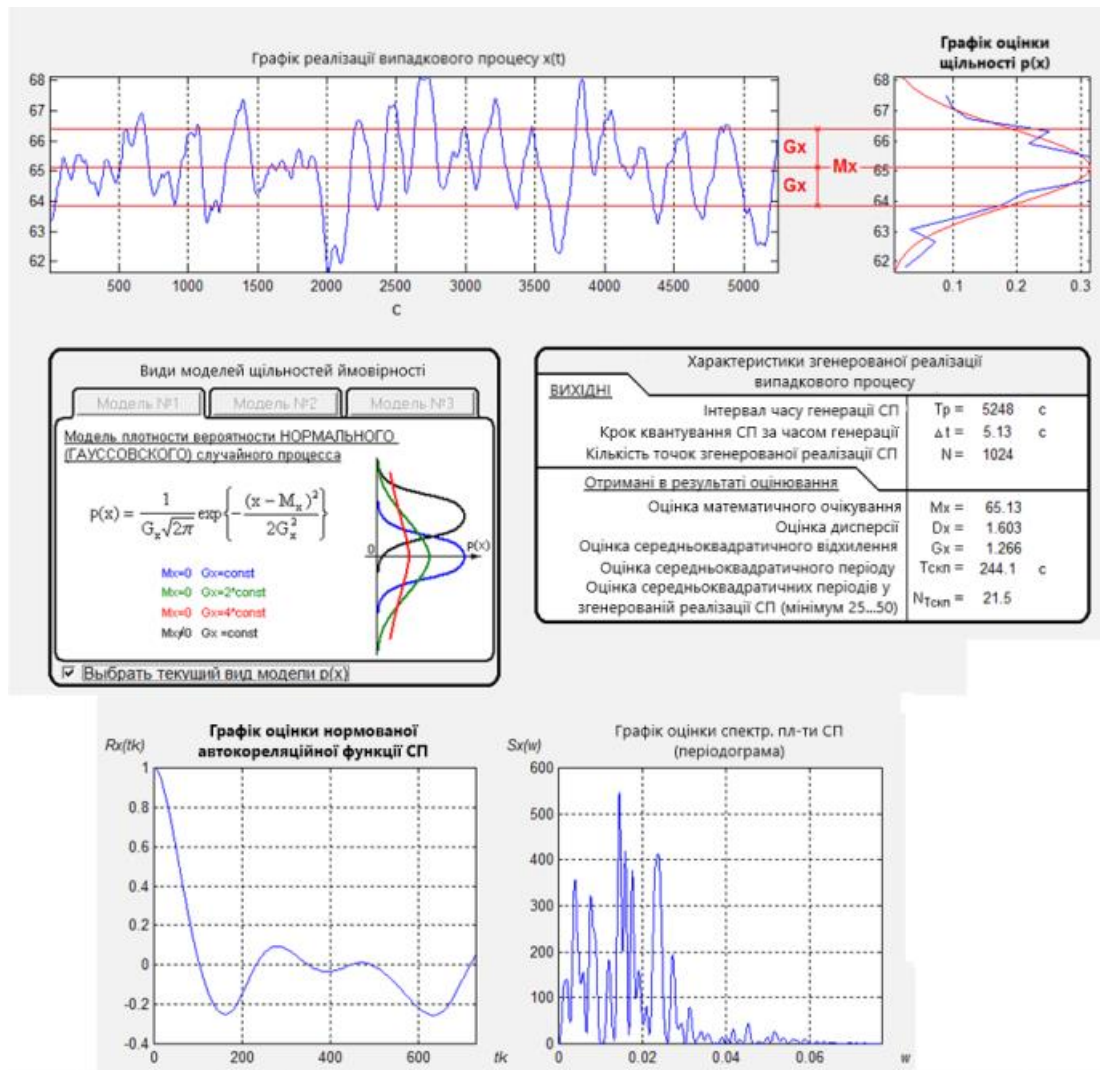


Рис. 2.11 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

Модель обирається на основі оціненої щільності ймовірності стохастичного процесу. Модель є нормальним стохастичним процесом:

$$p(f) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(f - m_f)^2}{2\sigma_f^2}}$$

За результатами оцінювання нормованої кореляційної функції серед типових було обрано два варіанти моделі для кореляційної функції та спектральної щільності:

Модель №5:

$$R_f(\tau_K) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_K|} \cdot \cos(\beta \cdot |\tau_K|)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 2\alpha \cdot (\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2) + 4\alpha^2 \omega^2}$$

Модель №6:

$$R_f(\tau_K) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_K|} \cdot \left(\cos(\beta \cdot |\tau_K|) + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \sin(\beta \cdot |\tau_K|) \right)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 4\alpha \cdot (\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

Параметрами моделі випадкової складової збурення є коефіцієнт згасання α та коефіцієнт флуктуації β . Пошук значень цих параметрів називається параметричною ідентифікацією моделі випадкової складової. Зазвичай це робиться в два етапи: 1) вибір початкового наближення параметрів і 2) пошук значень параметрів, які найкраще апроксимують передбачення моделі.

При виборі початкових наближень для параметрів можна використовувати рекомендовані значення, що надаються програмою. При оптимізації параметричних моделей використовується процедура пошуку з використанням квадратичних критеріїв. При цьому вирішується задача $\bar{a}^* = \arg \min \left[\left(\hat{R}_{\bar{f}}(\tau_K) - R_{\bar{f}}^M(\tau_K) \right)^2 \right]$, $\bar{a} = \{\alpha, \beta\}^T$.

Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.12, моделі №6 – на рис. 2.13, а підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.14.

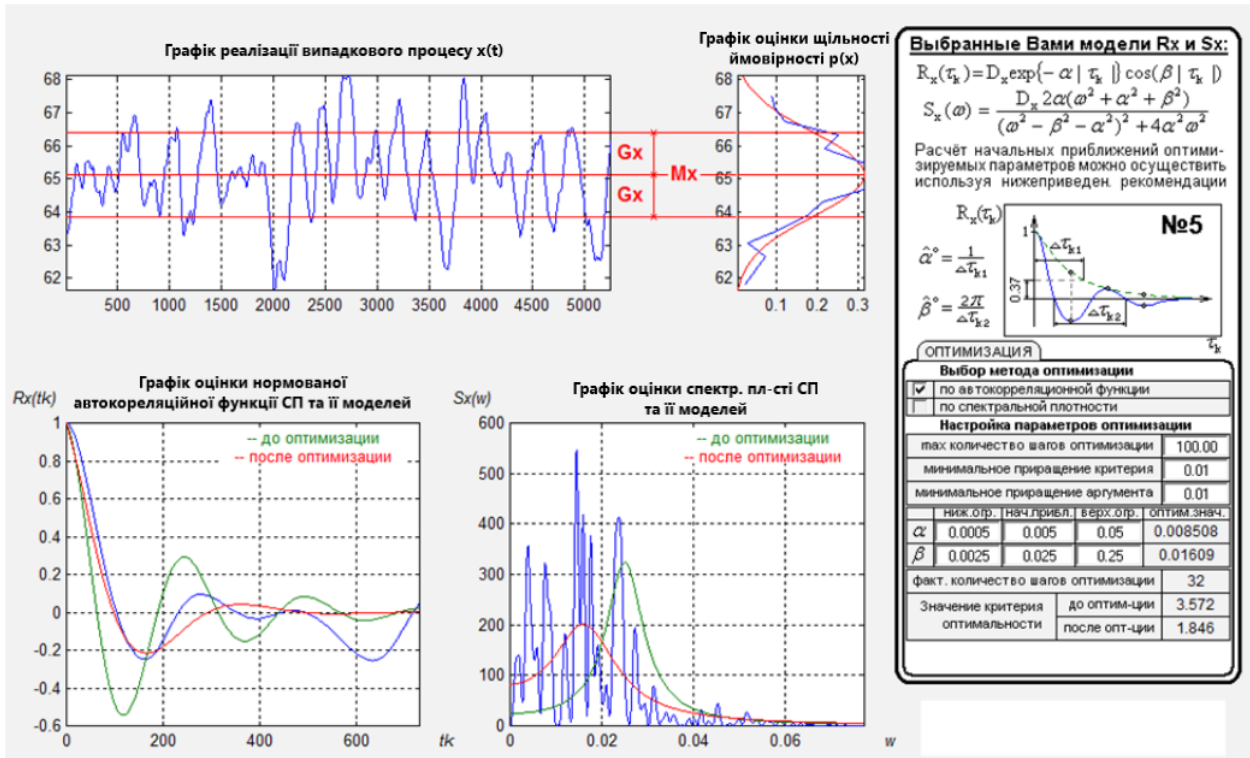


Рис. 2.12 – Результаты параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

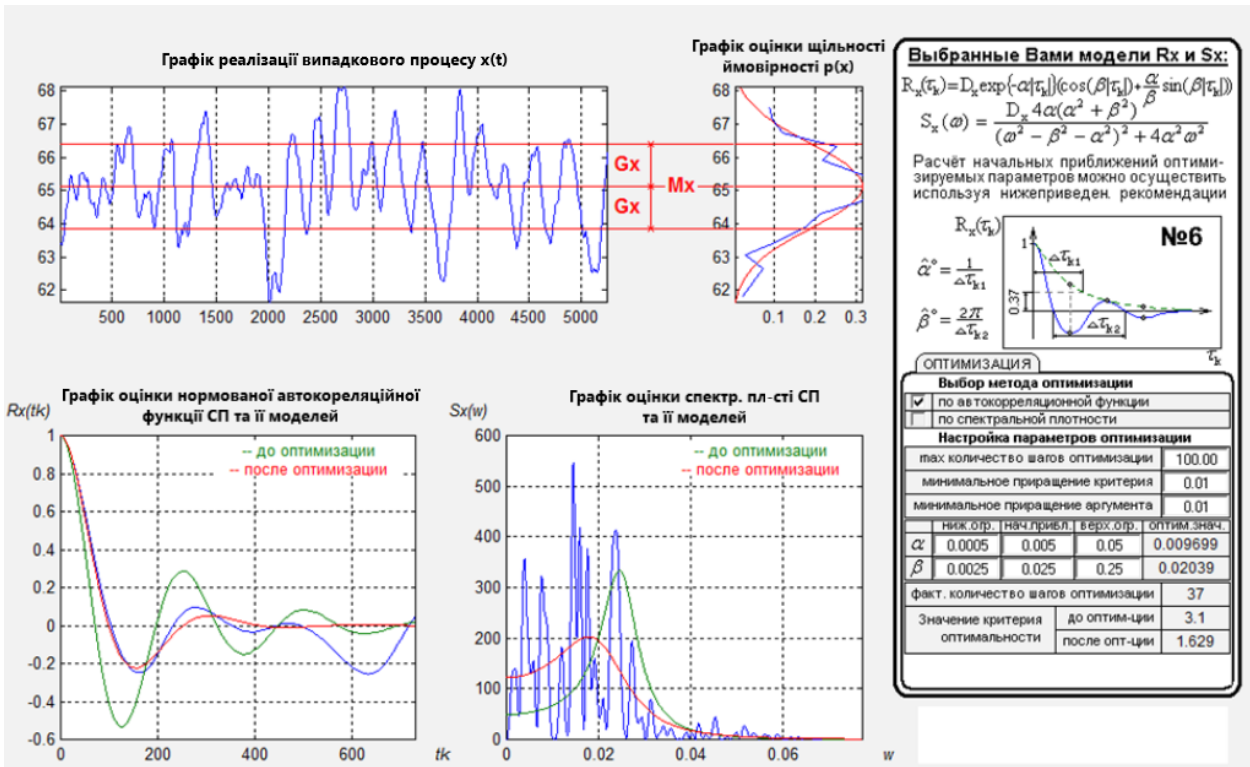


Рис. 2.13 – Результаты параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень

Таблиця результатів ідентифікації						
Номер моделі	α	β	A	C	γ	Значення критерія оптимізації
✓ 5	0.0085078	0.016094	-	-	-	3.4087
✓ 6	0.0096992	0.020391	-	-	-	2.655

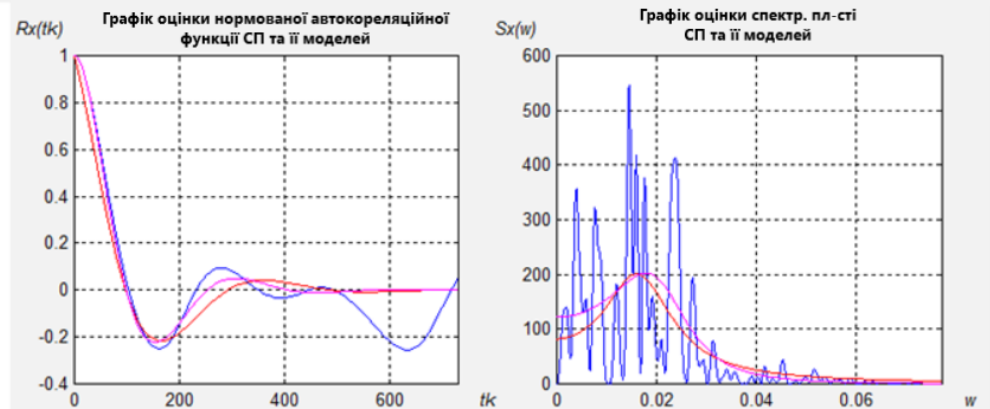


Рис. 2.14 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделей для неконтрольованих збурень (рис. 2.14), найбільш придатною моделлю є модель №6, оскільки в цій моделі середньоквадратичне відхилення кореляційної функції моделі від її розрахункового значення є невеликим.

Для контролю якості цього дослідження в якості моделі для детермінованої складової неконтрольованого збурення було прийнято ступінчасту поведінку вхідного сигналу з кроком 10%.

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

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналів «иг – Өзон.звол», «ип – Өпов.заг», «иг – Өпов.заг» ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК для каналу уг –
 Озон.звол має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-42,5p}}{28,75p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК для каналу уг –
 Озон.звол має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-26p}}{(20p + 1)^2}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК для каналу уп –
 Опов.заг має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-10,25p}}{8,125p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК для каналу уп –
 Опов.заг має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-5p}}{(6,25p + 1)^2}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК для каналу уг –
 Опов.заг має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,3 * e^{-40,25p}}{60,625p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК для каналу уг –
 Опов.заг має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,3 * e^{-20p}}{(38,75p + 1)^2}$$

Модель повинна мати вхідні дані, а вихідні дані моделі відображаються в одній системі координат. Експериментальні дані відкладаються в тій же системі координат. Для додавання експериментальних даних на діаграму, експериментальні дані повинні бути підготовлені в табличній формі і реалізовані в компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК

експериментальні дані для каналів «иг – Өзон.звол», «ип – Өпов.заг», «иг – Өпов.заг» зведено в таблиці 2.2, 2.3, 2.4 відповідно. Схема моделювання для каналів «иг – Өзон.звол», «ип – Өпов.заг», «иг – Өпов.заг» керування ОК наведені на рис. 2.15, 2.17, 2.19 відповідно. Результати моделювання для каналів «иг – Өзон.звол», «ип – Өпов.заг», «иг – Өпов.заг» наведені на рис. 2.16, 2.18, 2.20.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані за каналом «иг – Өзон.звол»

t, c	Топ, °С	t, c	Топ, °С
0	100	90	104,15
10	100	100	104,5
17	100	117	104,82
20	100,04	140	105
35	100,55	160	105
43	100,95	170	105
54	101,65	180	105
62	102,25	200	105
68	102,75		
77	103,5		
83	103,8		

Таблиця 4.2 – Експериментальні дані за каналом «ип – Өпов.заг»

t, c	Топ, °С	t, c	Топ, °С
0	65	22	69,15
2	65	24	69,55
4	65	26	69,85
5	65,05	28	70
7	65,35	30	70
10	65,95	32	70
11	66,15	34	70
13,5	66,65	36	70
15,5	67,15	38	70
18	67,85	40	70
20	68,5		

Таблиця 4.3 – Експериментальні дані за каналом «иг – Өпов.заг»

t, c	Топ, °С	t, c	Топ, °С
0	65	147	62,45
15	65	158	62,32
20	65	166	62,24
26	64,95	178	62,14
37	64,76	200	62,03
51	64,3	220	62
64,5	64,01	240	62
86	63,5		
96	63,25		
113	62,9		
132	62,65		

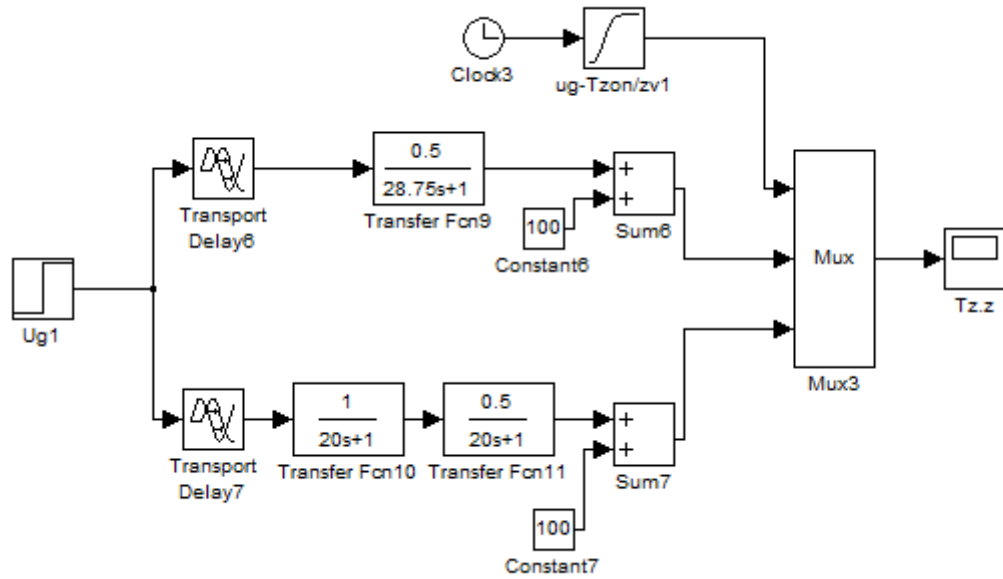


Рис. 2.15 – Схема моделювання каналу «уг – Озон.звол» керування ОК

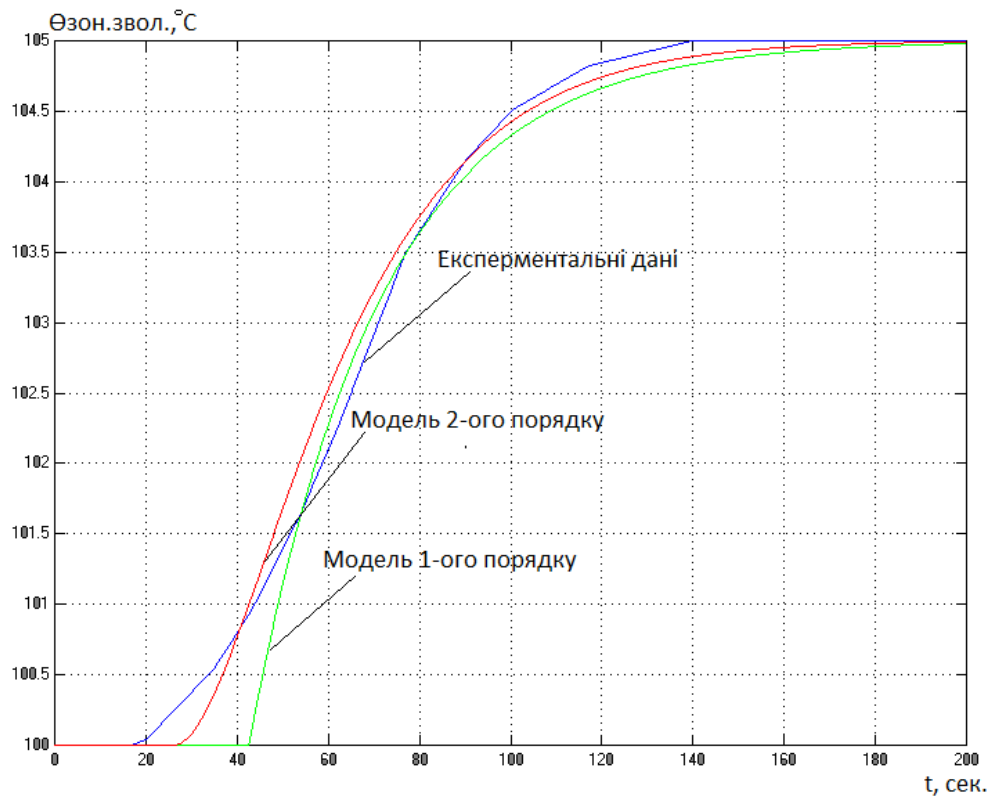


Рис. 2.16 – Результати моделювання ОК по каналу «уг – Озон.звол»

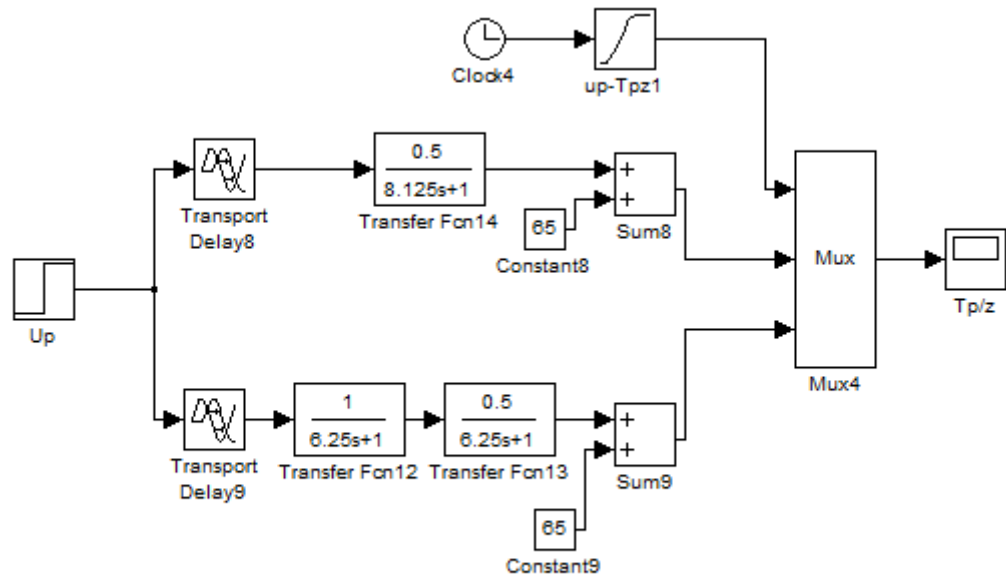


Рис. 2.17 – Схема моделювання каналу «уп – $\Theta_{\text{пов.заг}}$ » керування ОК

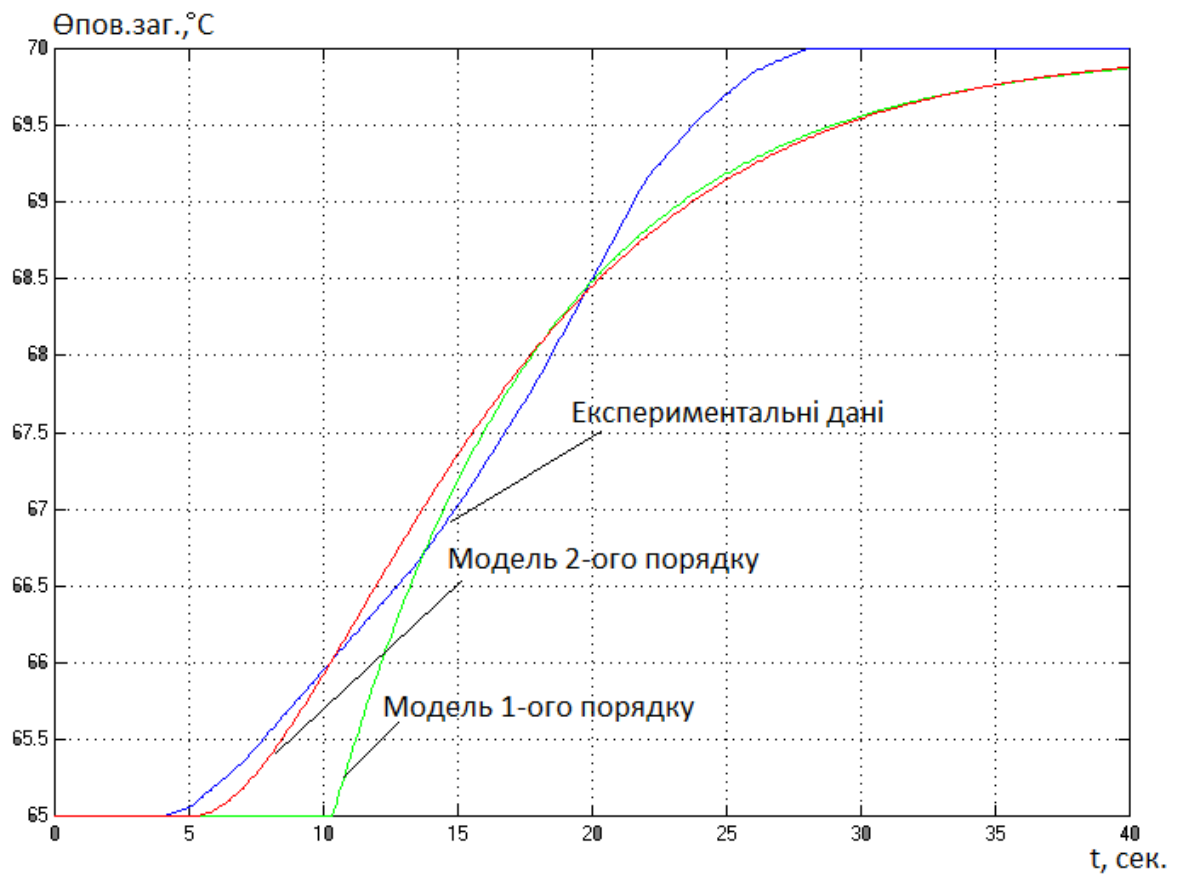


Рис. 2.18 – Результати моделювання ОК по каналу «уп – $\Theta_{\text{пов.заг}}$ »

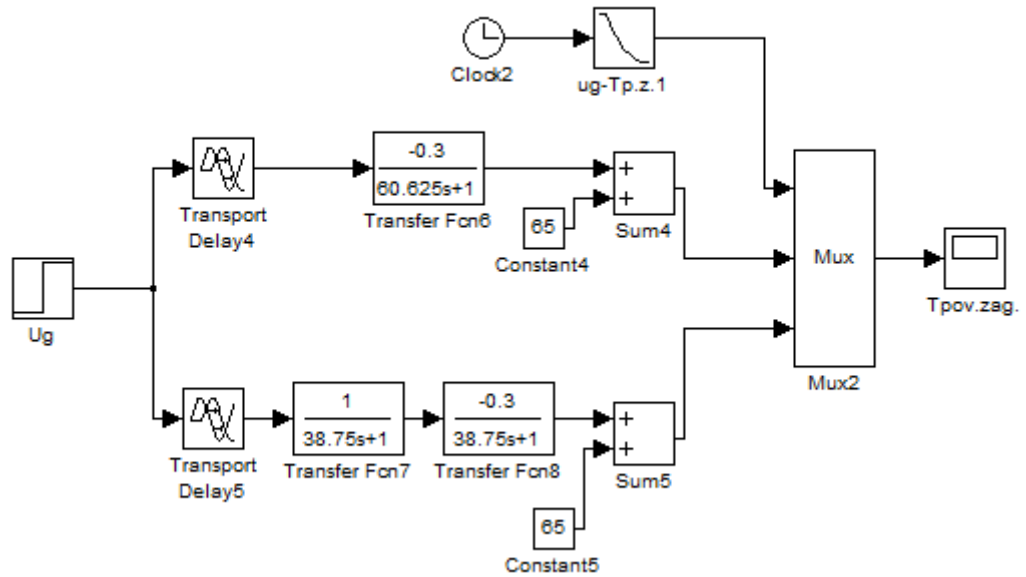


Рис. 2.19 – Схема моделювання ОК по каналу «уг – Θ пов.заг»

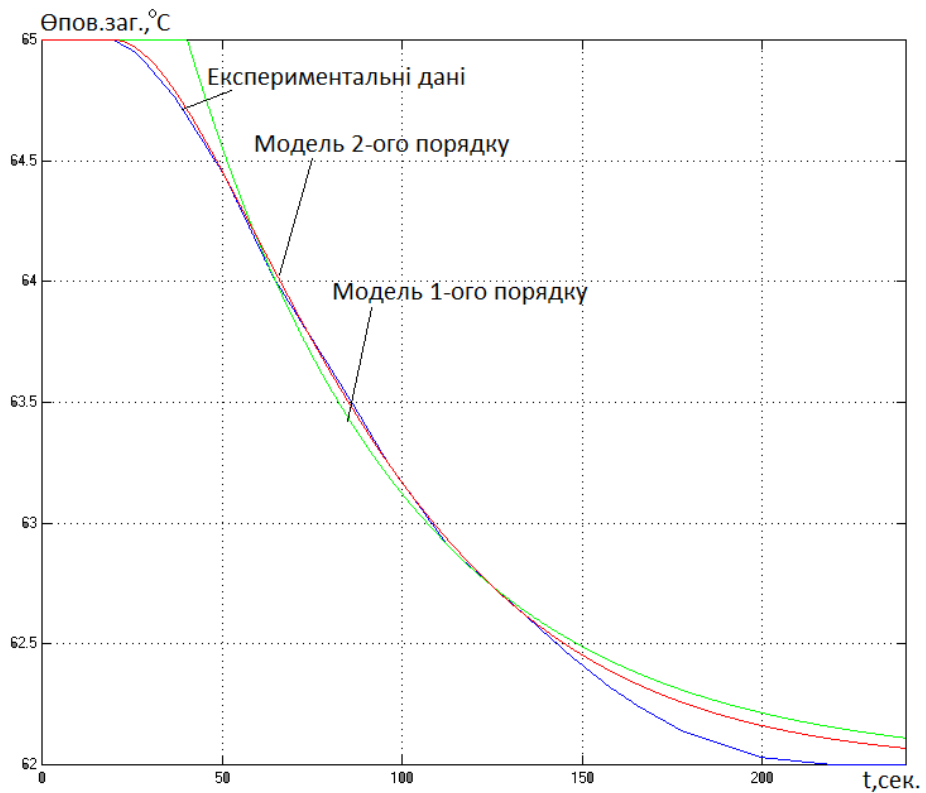


Рис. 2.20 – Результати моделювання ОК по каналу «уг – Θ пов.заг»

Як видно з рисунків вище моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані, але модель 2-го порядку точніша.

Модель статичної характеристики:

$$\Theta_{\text{зон.звол}} = 0,5 \cdot U_{\Gamma} + 70.$$

$$\Theta_{\text{пов.заг}} = 0,5 \cdot u_{\Pi} + (-0,3) \cdot u_{\Gamma} - 53.$$

Для виконання цього розділу використовуйте функціональні можливості програми MS Excel. Експериментальні дані для тестування статичної моделі наведено в таблиці 2.1, а розрахункові результати - в таблиці 2.4, а також графічно зображено на рисунку 2.21.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків моделі статичної характеристики

u _Г	u _П	Θ _{зон.звол.}	Θ _{пов.заг.}
60	60	100	65
70	60	105	62
80	60	110	59
50	60	95	68
40	60	90	71
60	70	100	70
60	80	100	75
60	50	100	60
60	40	100	55
10	60	65	77
60	0	100	17
60	100	100	82
100	60	117	52

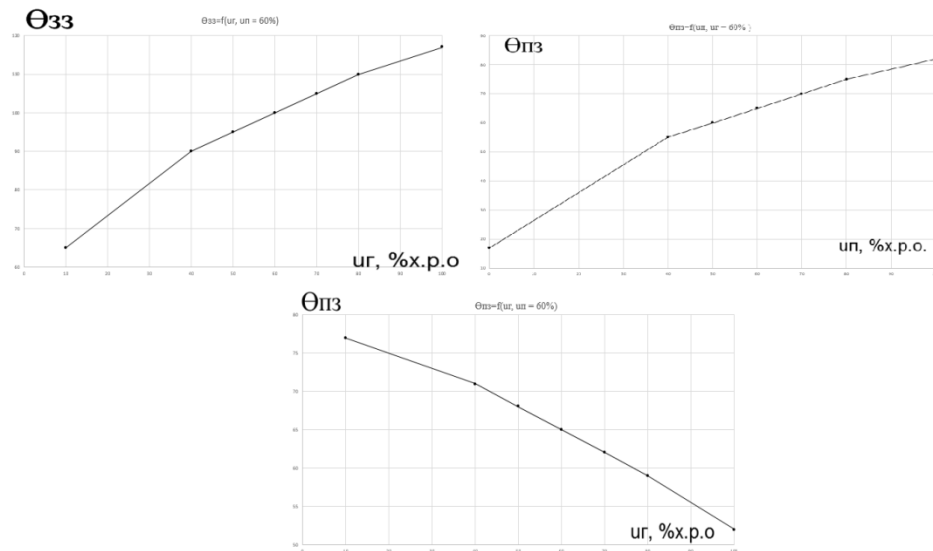


Рис. 2.21 – Результати моделювання статичної характеристики ОК

Як видно із графіка (рис. 2.21), модель статичної характеристики точно описує експериментальні дані.

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки каналів ОК. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК, наведена на рис. 2.22, а результати моделювання – на рис. 2.23, 2.24 та 2.25.

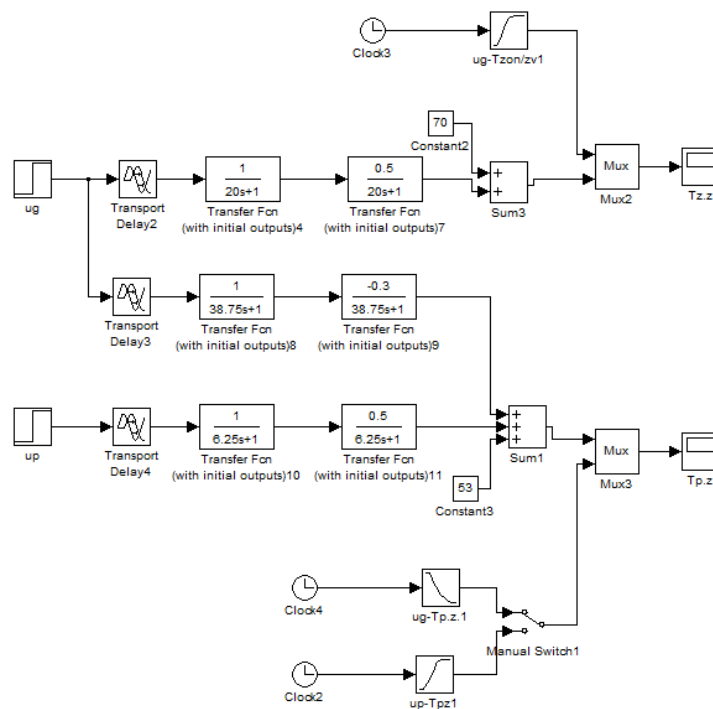
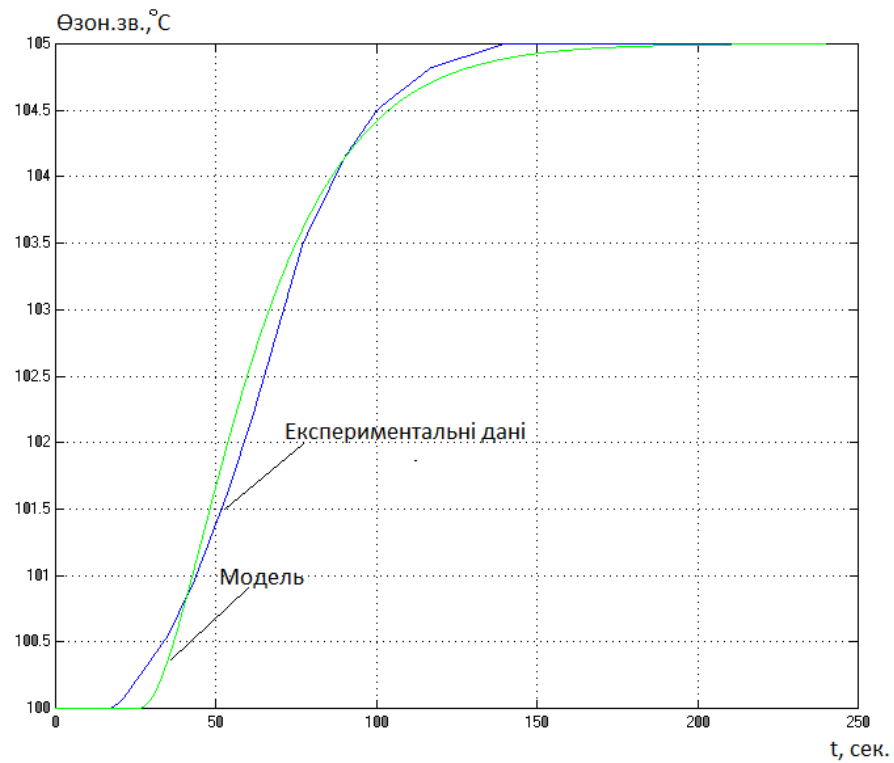
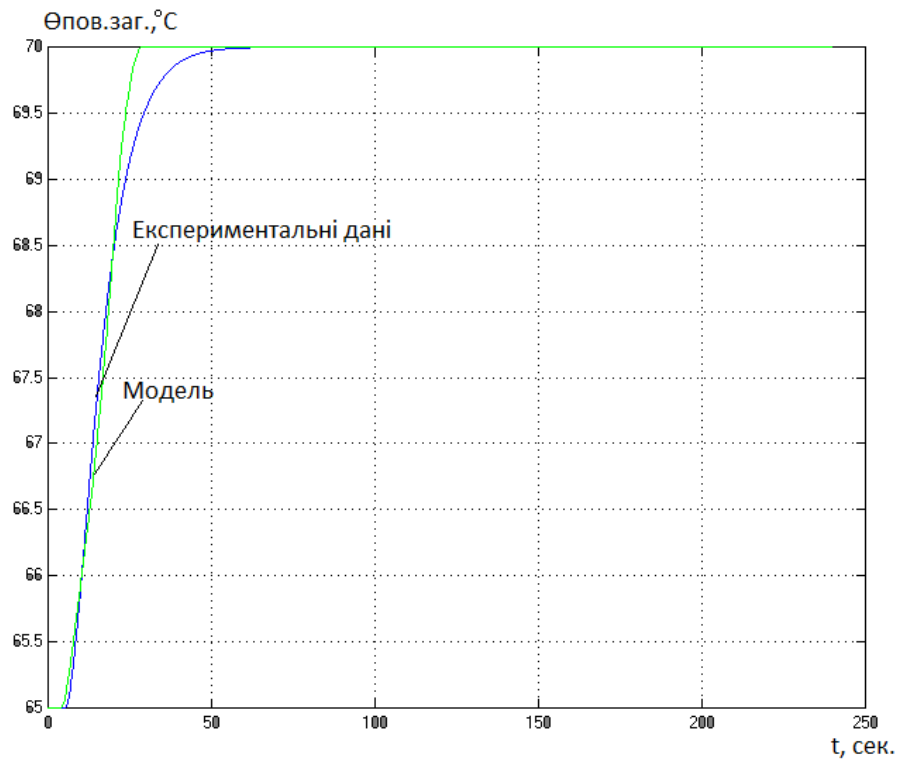


Рис. 2.22 – Схема моделювання повної моделі ОК

Рис. 2.23 – Результати реалізації повної моделі ОК за каналом «иг –
Озон.звол» в середовищі МатлабРис. 2.24 – Результати реалізації повної моделі ОК за каналом «ип –
Opov.zaг» в середовищі Матлаб

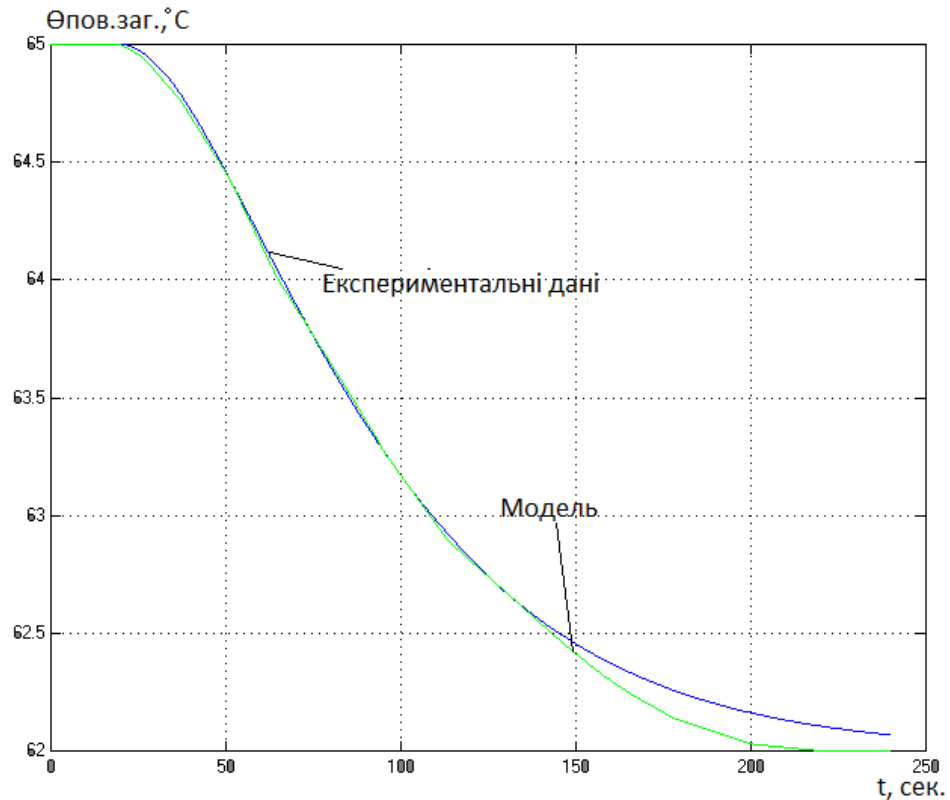


Рис. 2.25 – Результати реалізації повної моделі ОК за каналом «уг – Опов.заг» в середовищі Матлаб

Як показують результати моделювання, модель ОК точно відображає експериментальні дані. Це означає, що отримана модель ОК є адекватною.

Для відтворення моделі збурень як стохастичних процесів (СП) із заданими властивостями будемо використовувати метод формуючому фільтру. Його можна представити у вигляді такої структурної схеми моделювання (рис. 2.26).

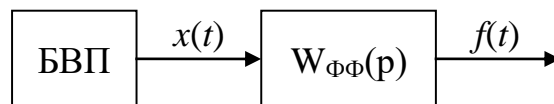


Рис. 2.26 – Структурна схема моделі СП

Для відтворення моделі стохастичного процесу із заданими властивостями спочатку треба визначити передаточну функцію формуючого

фільтра $W_{\phi\phi}(p)$. Відомо, що спектральні щільності вхідного $x(t)$ і вихідного $f(t)$ сигналів взаємозалежні:

$$|W_{\phi\phi}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\phi\phi}(j\omega) \cdot W_{\phi\phi}(-j\omega)$$

Якщо випадковий процес $x(t)$ має властивості білого шуму, то його спектральна щільність $S_x(\omega) = a = \text{const}$. Вона може бути розрахована за формулою:

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_z}{3},$$

де G_x - середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_z – крок генерації випадкового процесу.

Надалі до передаточної функції формуючого фільтра підставляють формули для спектральних щільностей вхідного й вихідного сигналу.

Для моделі №6:

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \left(\cos(\beta|\tau_k|) + \frac{\alpha}{\beta} \sin(\beta|\tau_k|) \right);$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}.$$

$$\begin{aligned} S_f(j\omega) &= \frac{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}{(-(j)^2 \omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 - 4\alpha^2 (j)^2 \omega^2} = \\ &= \frac{\sqrt{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + \alpha^2 + 2\alpha j\omega} \cdot \frac{\sqrt{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + \alpha^2 - 2\alpha j\omega}. \end{aligned}$$

Бачимо, що

$$W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{2}{S_x(\omega)} \frac{\sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \alpha^2 + \beta^2}.$$

А після заміни

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{D_f \alpha (\alpha^2 + \beta^2)}}{p^2 + 2\alpha p + \alpha^2 + \beta^2} = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{D_f \alpha (\alpha^2 + \beta^2)}}{(\alpha^2 + \beta^2) \left(\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} p^2 + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} p + 1 \right)}$$

Тоді

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1},$$

де

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad \xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}.$$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,0096992; \quad \beta = 0,020391.$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{1,266}{2} = 0,633$$

$$\Delta t_\Gamma = \frac{1}{(2 \dots 3) * \alpha} = \frac{1}{(2 \dots 3) * 0,0096992} = 51 \dots 34 \text{ с}$$

Виберемо крок генерації, рівним 35 с.

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 * \Delta t_\Gamma}{3} = 0,633^2 \frac{2 * 35}{3} = 9,35$$

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} * \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{2}{9,35} * \sqrt{\frac{1,603 * 0,0096992}{0,0096992^2 + 0,020391^2}} = 1,18$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0096992^2 + 0,020391^2}} = 44$$

$$\xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,0096992}{\sqrt{0,0096992^2 + 0,020391^2}} = 0,43$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра.

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{1,18}{44^2 p^2 + 2 * 0,43 * 44 p + 1}$$

Сигнал неконтрольованих збурень повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 65,13$$

$$\sigma_f = 1,266$$

$$\alpha = 0,0096992$$

$$\beta = 0,020391$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.27.

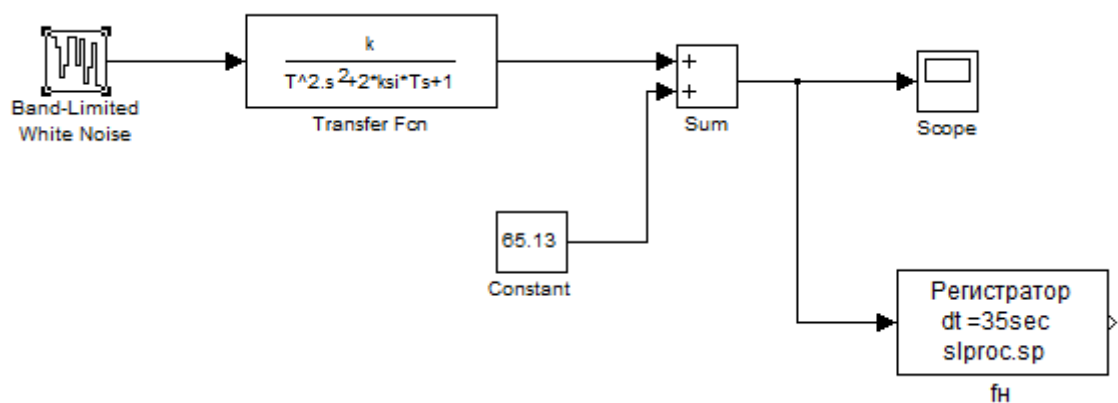


Рис. 2.27 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 9,35;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t_{\Gamma} = 35;$$

$$\text{Seed} = 1.$$

Результати моделювання наведені на рис. 2.28.

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|65,11 - 65,13|}{65,11} \cdot 100\% = 0,03\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta\sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,3441 - 1,266|}{0,3441} \cdot 100\% = 267,9\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta\alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,006437 - 0,0096992|}{0,006437} \cdot 100\% = 50,6\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,01617 - 0,020391|}{0,01617} \cdot 100\% = 26,1\%$$

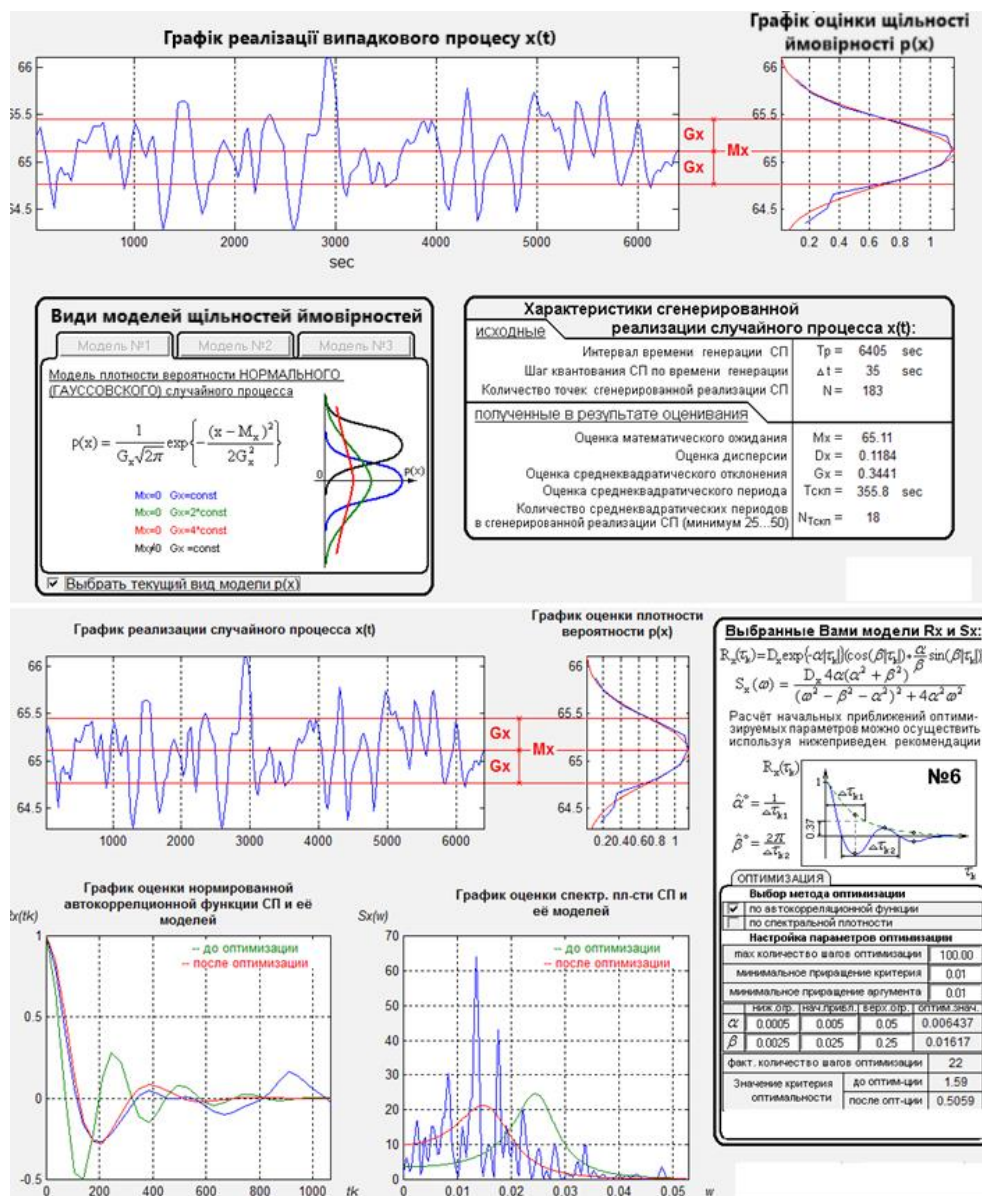


Рис. 2.28 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Похибки регенерації σ_f , α і β перевищують 5%, а це означає, що параметри формуючого фільтра слід відрегулювати. Після налаштування параметри формуючого фільтра стали такими: $k = 4,34$; $T = 38$ с. Схему моделювання остаточного формуючого фільтра показано на рисунку 2.29, а результати моделювання - на рисунку 2.30.

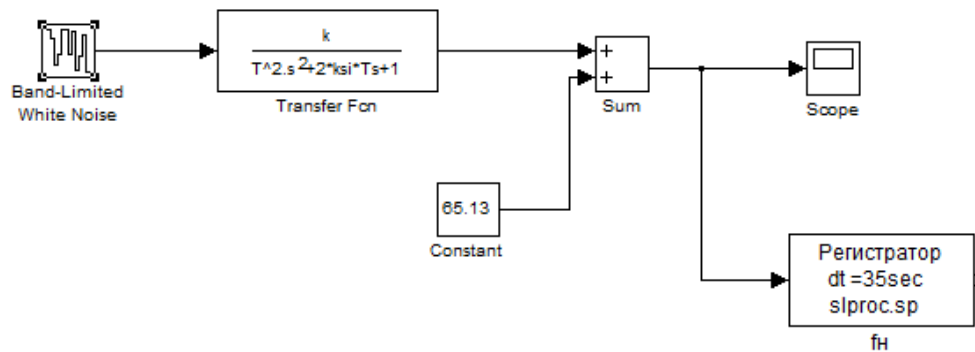


Рис. 2.29 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри

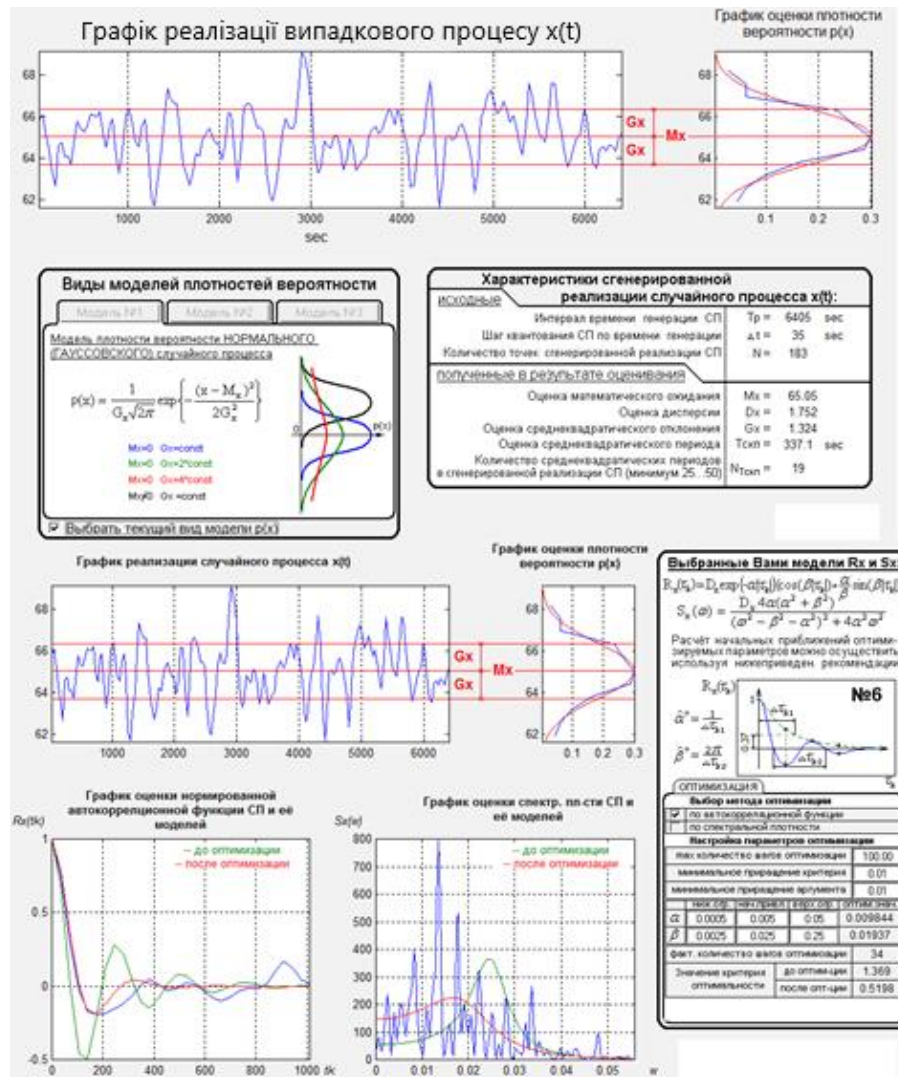


Рис. 2.30 – Результати моделювання неконтрольованих збурювань із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|65,05 - 65,13|}{65,05} \cdot 100\% = 0,12\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|1,324 - 1,266|}{1,324} \cdot 100\% = 4,38\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta\alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,009844 - 0,0096992|}{0,009844} \cdot 100\% = 1,47\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,01937 - 0,020391|}{0,01937} \cdot 100\% = 4,6\%$$

Похибка відтворення σ_f , α і β менша від 5%, а значить точність моделі неконтрольованих збурювань є достатньою.

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель вхідних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.31.

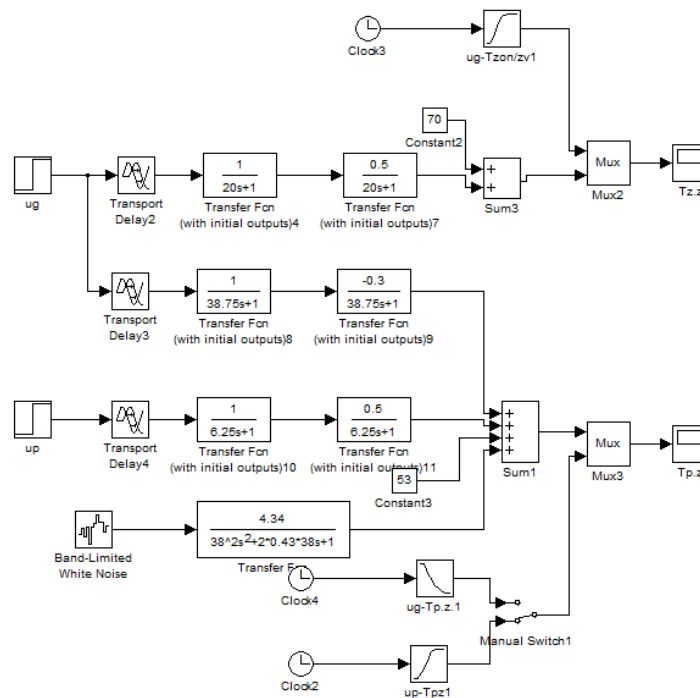


Рис. 2.31 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проведемо експеримент з повною моделлю ОК. Результати експерименту під впливом лише детермінованих збурень показано на рис. 2.32, а результати експерименту під впливом стохастичних неконтрольованих збурень показано на рис. 2.33.

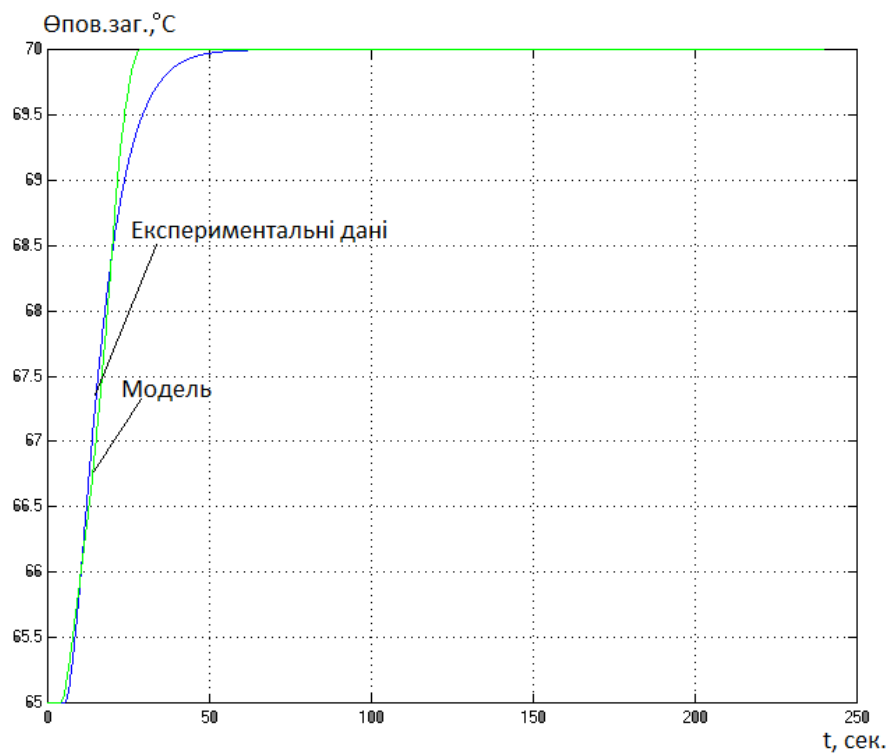


Рис 2.32 – Результати експерименту в результаті дії збурень тільки детермінованого характеру

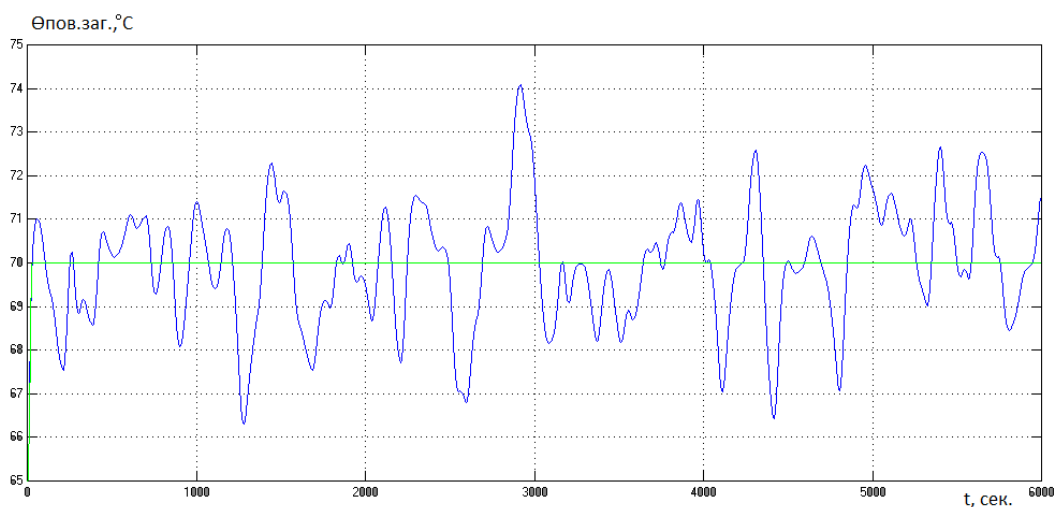


Рис. 2.33 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень

Як показують результати експериментів, модель ОК в достатній мірі відтворює результати експериментальних досліджень.

2.5 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу тунельна циклотермічна піч була ідентифікована як об'єкт керування. Були ідентифіковані канали управління і перехресні канали, і результати показали, що об'єкт має статичні властивості по каналах «уг - Озон.звол», «ип - Опов.заг», «иг - Опов.заг» і найбільш точно може бути описаний моделлю другого порядку. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії, для параметричної ідентифікації моделей каналу керування застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку.

Контрольовані канали збурень визначалися пасивними експериментами з використанням програми rgen у середовищі Matlab.

Імітаційне моделювання отриманих моделей проводилося в середовищі моделювання MATLAB.

В подальшому отримані моделі будуть використані для підвищення динамічної точності синтезу САК, а також для аналізу та керування технологічними процесами харчових виробництв.

3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР

3.1 Конкретизація завдань регулювання для процесу випічки хліба

Загальна мета контролю полягає в управлінні потоками матеріалів та енергії для досягнення характеристик продукції необхідного типу та якості.

Із загальної мети керування можна виділити окремі завдання:

- утримання вихідних змінних ($\Theta_{\text{зв.зн}}$, $\Theta_{\text{пов.зн}}$) об'єкта керування на заданих значеннях ($\Theta_{\text{зв.зн ЗДН}}$, $\Theta_{\text{пов.зн ЗДН}}$) - задача регулювання.
- Пристосування об'єкта керування до зміни характеристик в процесі експлуатації - задача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкта керування - задача оптимізації;
- Забезпечення ініціалізації, вимкнення та аварійного ввімкнення і вимкнення - задача логічного керування.

Температуру Θ у вологій зоні і температуру поверхні Θ заготовки необхідно контролювати, щоб здійснювати процес випікання хліба якісно і економічно ефективно.

Відповідно до стандартів технологічних процесів (див. табл. 1.1), температура $\Theta_{\text{зон.звол}}$ в зоні зволоження повинна підтримуватися на рівні $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 5^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 120 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.1.

Температура поверхні заготовки Θ повинна підтримуватися на рівні $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно до стандартів технологічного процесу (див. Таблицю 1.1). $\pm 1^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 3^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 40 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.2.

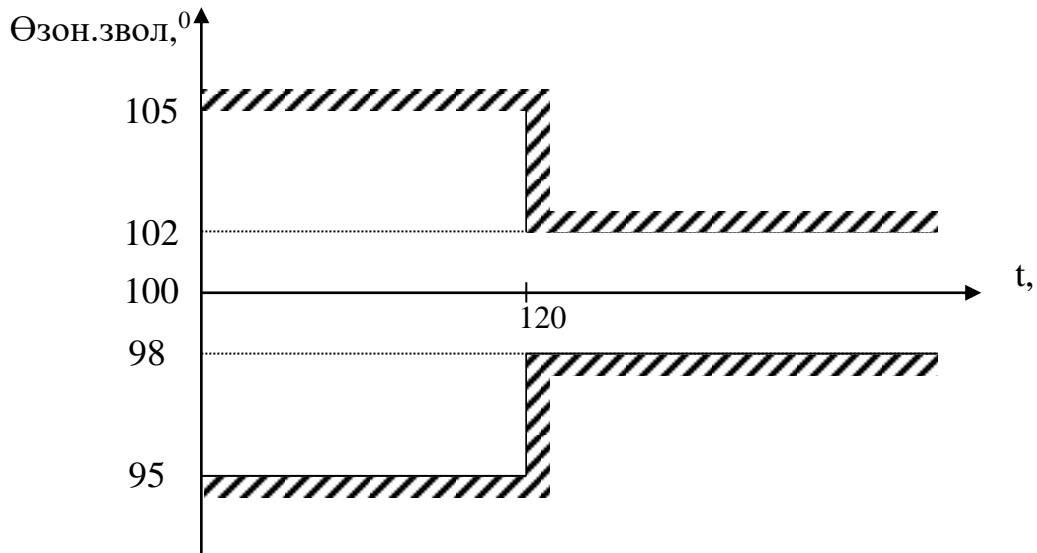


Рис. 3.1 – Регламентна зона для температурив зоні зволоження

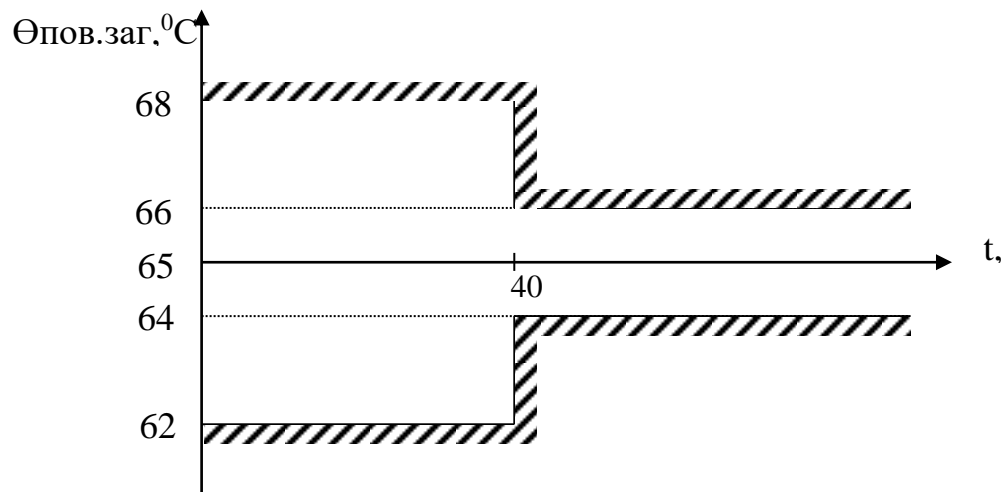


Рис. 3.2 – Регламентна зона для температури поверхні заготовки

Як видно з регламенту САР щодо процесу випікання хліба, до великих відхилень висуваються особливо суворі вимоги. Це пов'язано з тим, що недотримання цих норм може призвести до бракування та значних фінансових втрат. У той же час, невеликі відхилення також дуже суворо регламентуються. Тому доцільно обирати модульні критерії як інтегральний критерій, який жорстко карає за незначні відхилення, а за короткочасні - за незначні відхилення. Рівняння для такого критерію виглядає наступним чином:

$$J = \int_0^{t_M} [|\Delta\theta_{\text{зон.звол}}(t)| + |(\theta_{\text{пов.заг}}(t))|] \cdot dt$$

де t_M – час моделювання;

$\Delta\theta_{\text{зон.звол}}(t)$ – відхилення температури в зоні зволоження від заданого значення.

$\Delta\theta_{\text{пов.заг}}(t)$ – відхилення температури поверхні заготовки від заданого значення.

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Координатна схема процесу приготування показана на рисунку 2.1. 2.1 Згідно з цією та відповідною структурною схемою принципу керування за замкнутим контуром, структурна схема САР показана на рисунку 3.3

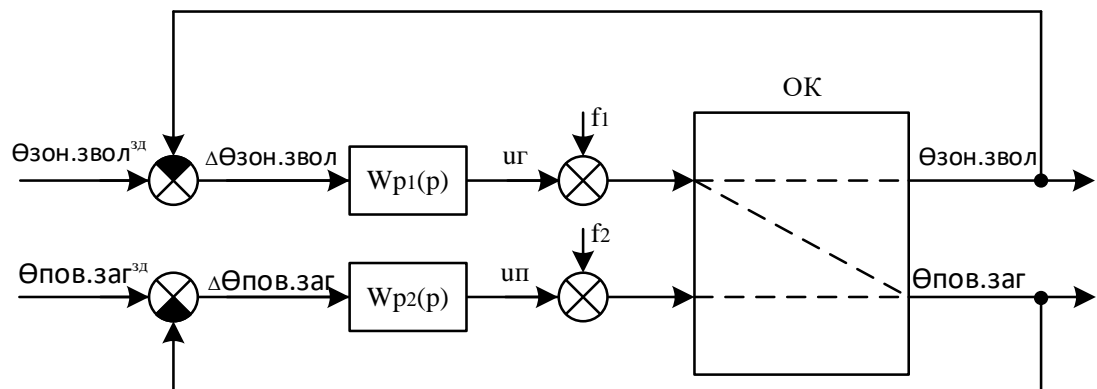


Рис. 3.3 – Структурна схема САР випічки хліба базової структури

На рисунку:

Θзон.зв. – температура в зоні зволоження, °С;

Θпов.заг. – температура поверхні заготовки, °С;

Uг, – положення РО для зміни витрати повітря та газу, %х.р.о.;

$U_{\text{п}}$ – положення РО для зміни витрати пари, %х.р.о.;

f_1, f_2 – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{\text{р1}}(p)$ – передаточна функція регулятора в зоні зволоження;

$W_{\text{р2}}(p)$ – передаточна функція регулятора температури поверхні заготівки;

$\Theta_{\text{зон.зв.}}^{\text{ЗД}}$ – задане значення температури в зоні зволоження, °С;

$\Delta\Theta_{\text{зон.зв.}}$ – помилка регулювання значення температури в зоні зволоження, °С;

$\Theta_{\text{пов.заг.}}^{\text{ЗД}}$ – задане значення температури поверхні заготівки, °С;

$\Delta\Theta_{\text{пов.заг.}}$ – помилка регулювання температури поверхні заготівки, °С.

Процес пічки хлібаза каналом «иг – $\Theta_{\text{зон.звол}}$ », «ип – $\Theta_{\text{пов.заг}}$ » має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора:

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{\text{ИЗ}}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right) + u_0;$$

Передаточна функція ПІ-регулятора:

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

Рівняння руху ПІД-регулятора:

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{\text{ИЗ}}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{\text{нр}} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0;$$

Передаточна функція ПІД-регулятора:

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{\text{ИЗ}} p} + \frac{T_{\text{нр}} p}{0,2 \cdot T_{\text{нр}} p + 1} \right)$$

В результаті Частини 2 кваліфікаційного дослідження було визначено модель каналу для трансформації поведінки системи координат процесу випікання хліба. Результати ідентифікації наведені в Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 –Результати ідентифікації каналів перетворення координатних дій ОК

Канал ОК	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку
«цг – Өзон.звол»	$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-42,5p}}{28,75p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-26p}}{(20p + 1)^2}$
«цп – Өпов.заг»	$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-10,25p}}{8,125p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-5p}}{(6,25p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.4 а з ПД-регулятором - на рис. 3.5. Структурна схема моделювання ОК наведена на рис. 3.6.

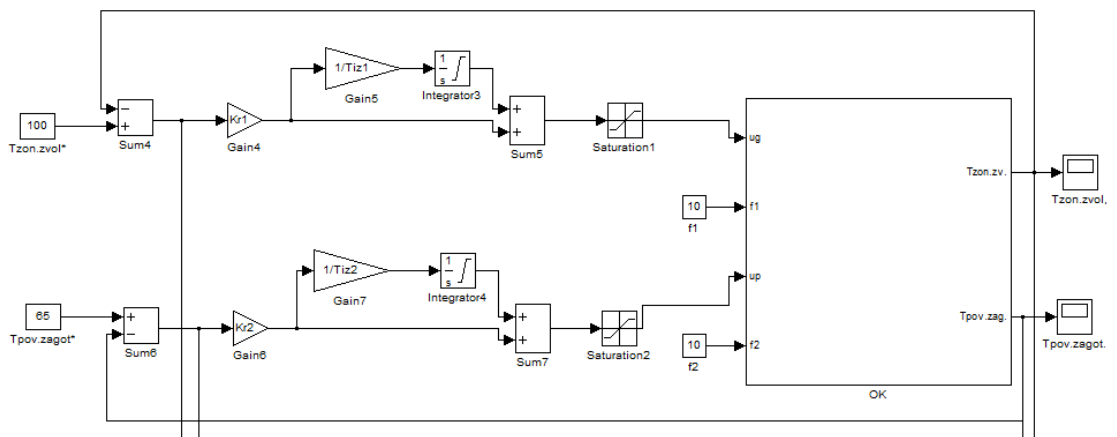


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

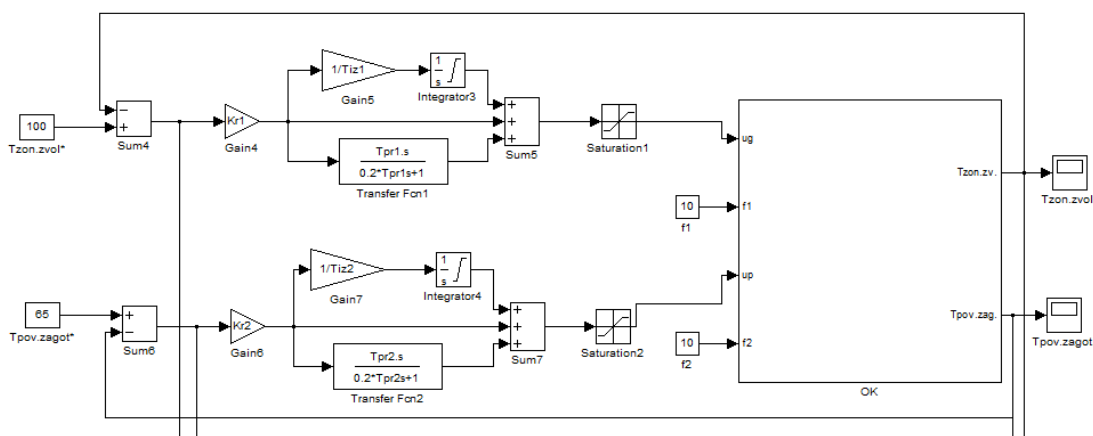


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

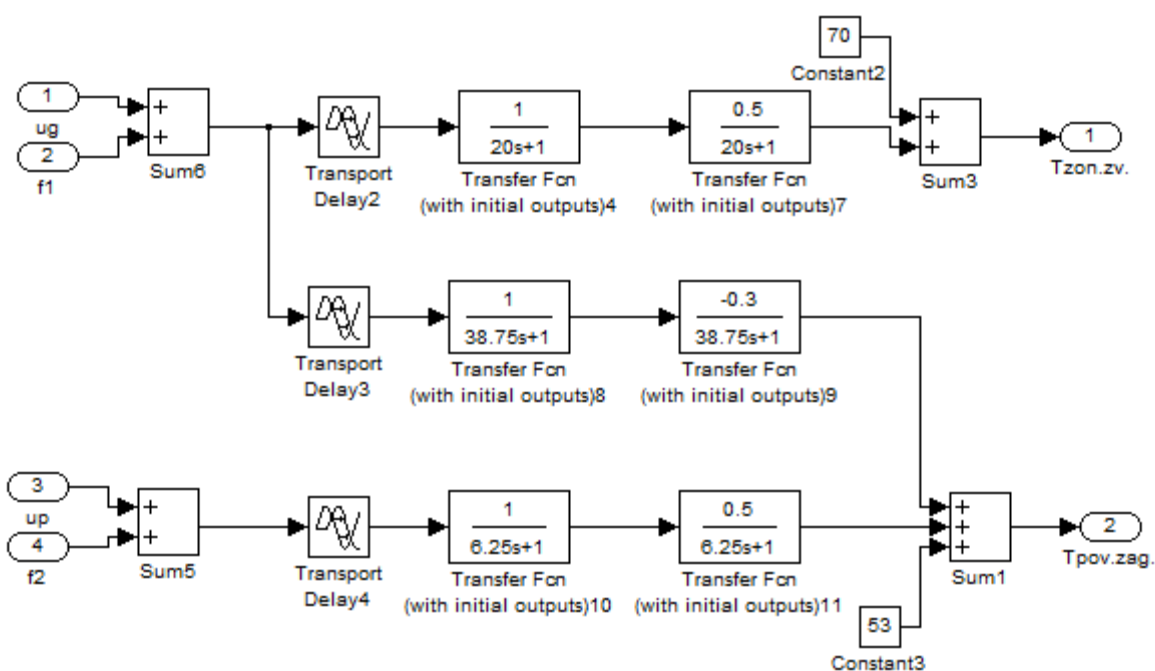


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання ОК

Вибрати перші наближення параметрів налаштування алгоритму керування на основі інженерного параметричного (субоптимального) синтезу САР.

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора за каналом «уг - Озон.звол»:

$$k_p = 0,8 \cdot T_0 / (k_0 \cdot \tau_0) = 0,8 \cdot 28,75 / ((0,5) \cdot 42,5) = 1,09 \text{ \%х.р.о.} / \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{из} = 2,5 \cdot \tau_0 = 2,5 \cdot 42,5 = 105,375 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора за каналом «уг - Озон.звол»:

$$k_p = T_0 / (k_0 \cdot \tau_0) = 28,75 / ((0,5) \cdot 42,5) = 1,36 \text{ \%х.р.о.} / \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{из} = 2 * \tau_0 = 2 * 42,5 = 85 \text{ с}$$

$$T_{пр} = \tau_0 = 21,075 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора за каналом «ип - Өпов.заг»:

$$k_p = 0,8 * T_0 / (k_0 * \tau_0) = 0,8 * 8,125 / (0,5 * 10,25) = 1,26 \% \text{х.р.о.} / \%$$

$$T_{из} = 2,5 * \tau_0 = 2,5 * 10,25 = 26,65 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора за каналом «ип - Өпов.заг»:

$$k_p = T_0 / (k_0 * \tau_0) = 8,125 / (0,5 * 10,25) = 1,58 \% \text{х.р.о.} / \%$$

$$T_{из} = 2 * \tau_0 = 2 * 10,25 = 20,5 \text{ с}$$

$$T_{пр} = \tau_0 = 5,125 \text{ с}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис.

3.7. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.8.

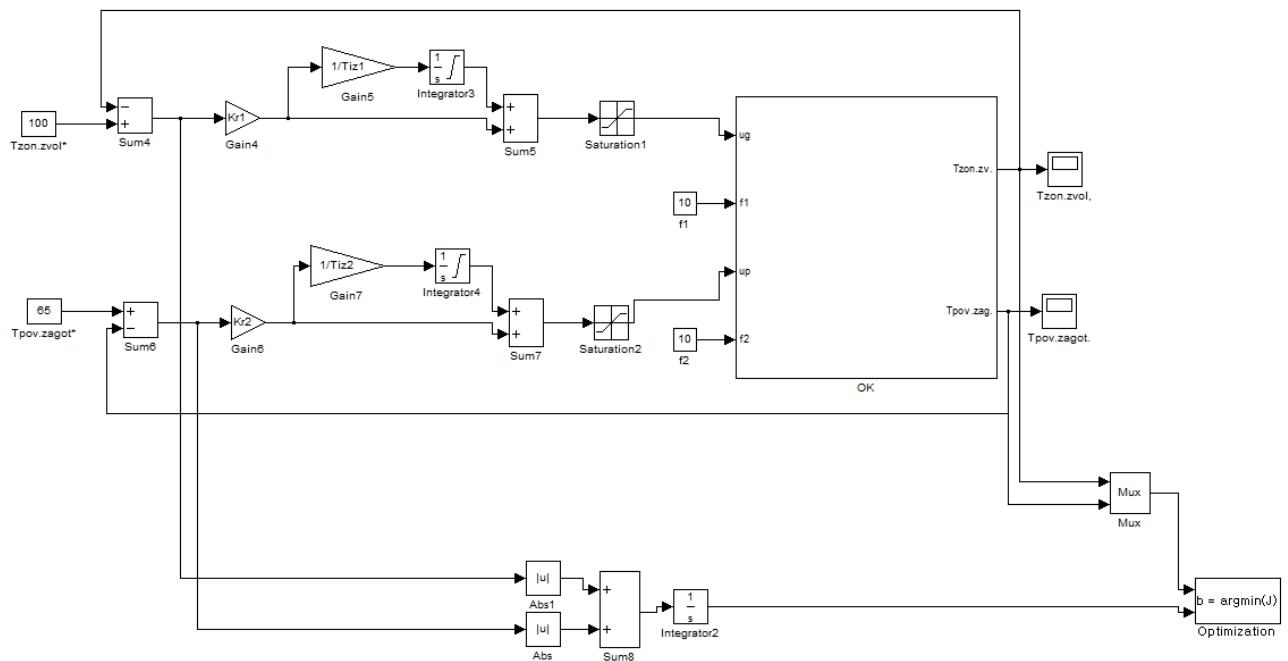
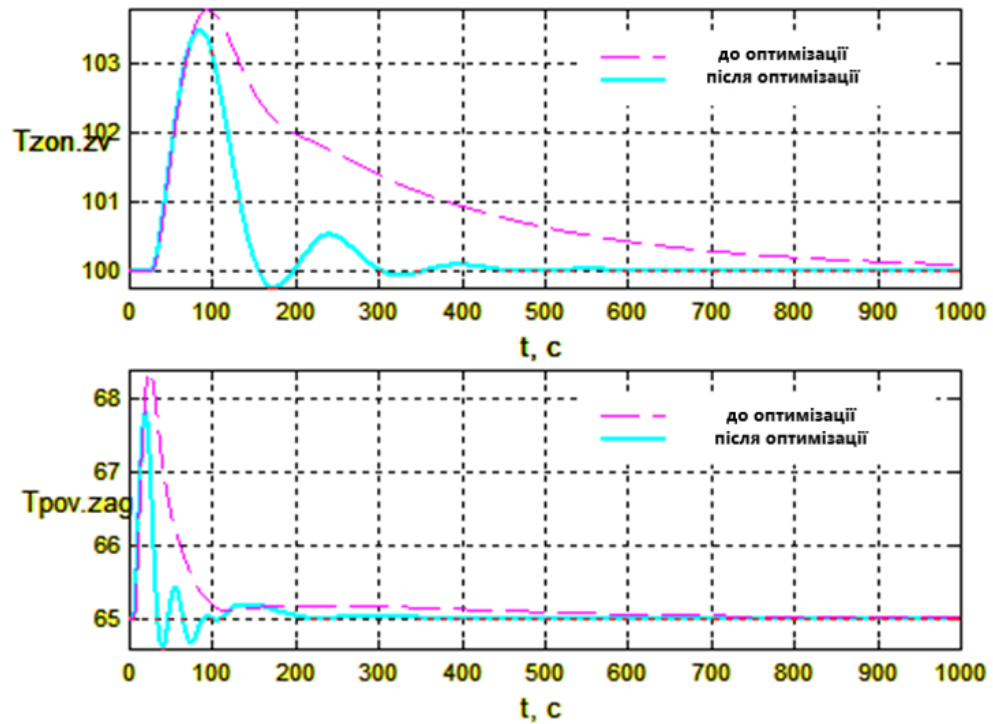


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання для САР з ПІ-регулятором для оптимального параметричного синтезу



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	1.9142	0	1.09	50	До - 1152.7675
Tiz1	52.403	0	105.375	500	Після - 368.6164
Kr2	3.0708	0	1.26	50	оптимізації
Tiz2	17.6562	0	26.65	500	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальне - 1000
					фактичне - 227

Рис. 3.8 – Результати оптимізації параметрів ПІД-регулятора у складі САР

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.9. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рис. 3.10.

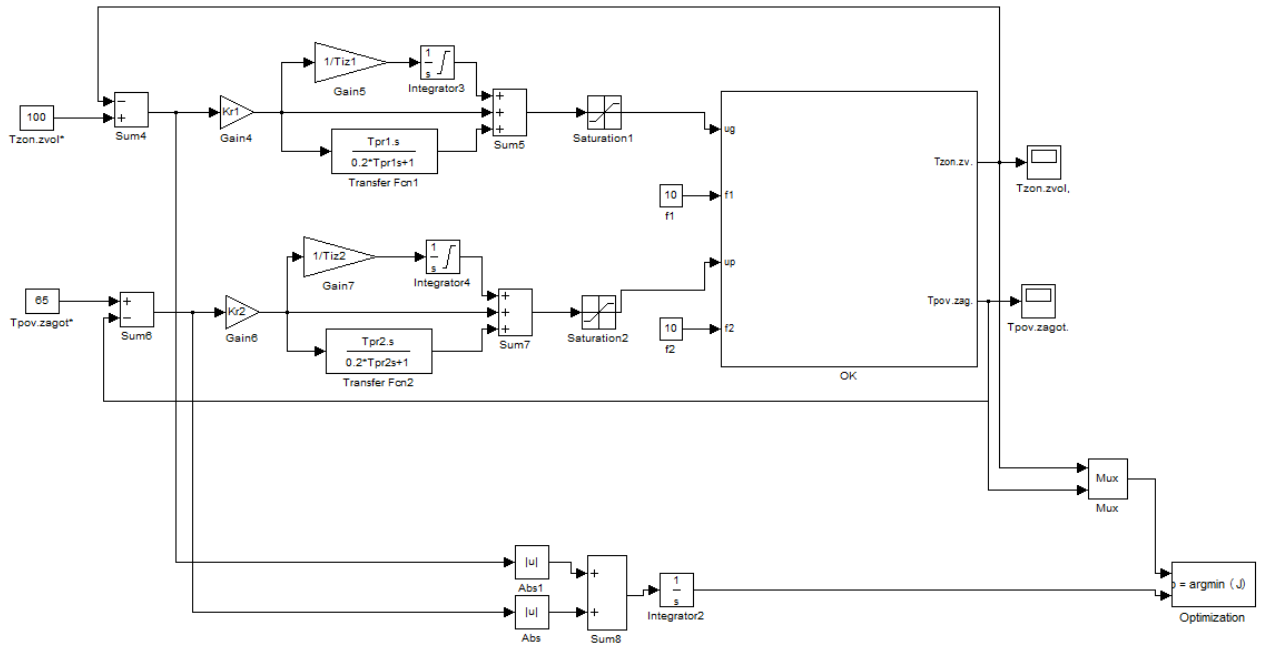
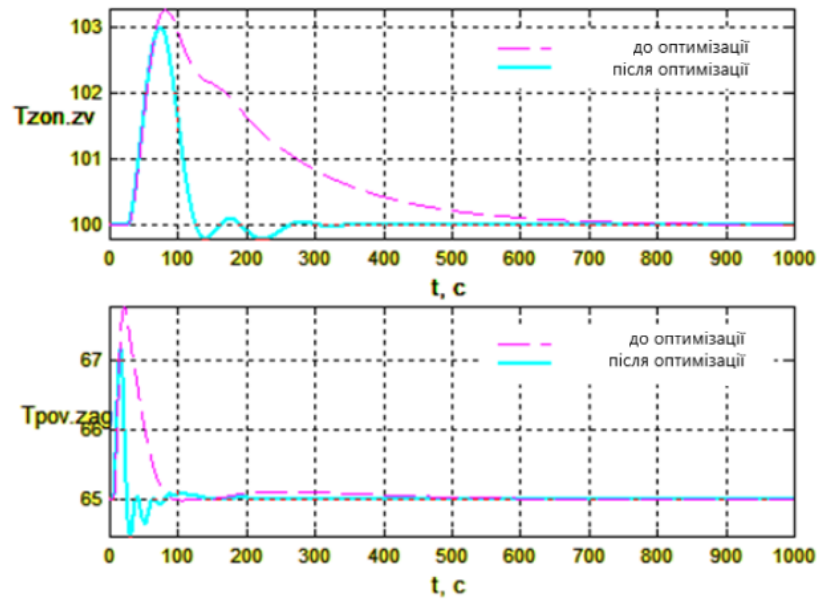


Рис. 3.9 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором для оптимального параметричного синтезу



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	2.5214	0	1.36	50	до - 748.3834
Tiz1	37.4987	0	84.3	500	после - 214.6991
Tpr1	16.4038	1	21.075	200	оптимізації.
Kr2	4.438	0	1.58	50	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	9.3762	0	20.5	500	максимальное - 1000
Tpr2	3.9338	1	5.125	200	фактическое - 466

Рис. 3.10 – Результати оптимізації параметрів ПД-регулятора у складі САР

Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимізованих системах з показниками, де визначені значення критеріїв оптимізації та гранично допустимі значення. Порівняння САР з ПІ-регулятором та САР з ПІД-регулятором показано на рис. 3.11 та в таблиці 3.2.

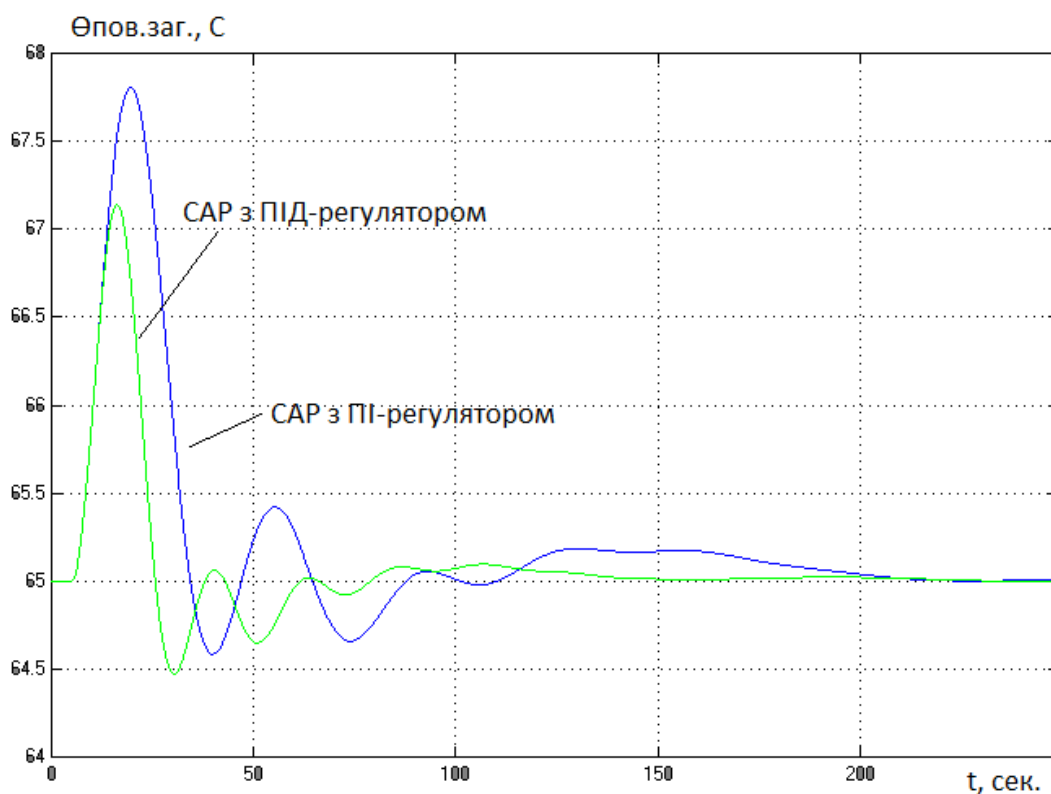
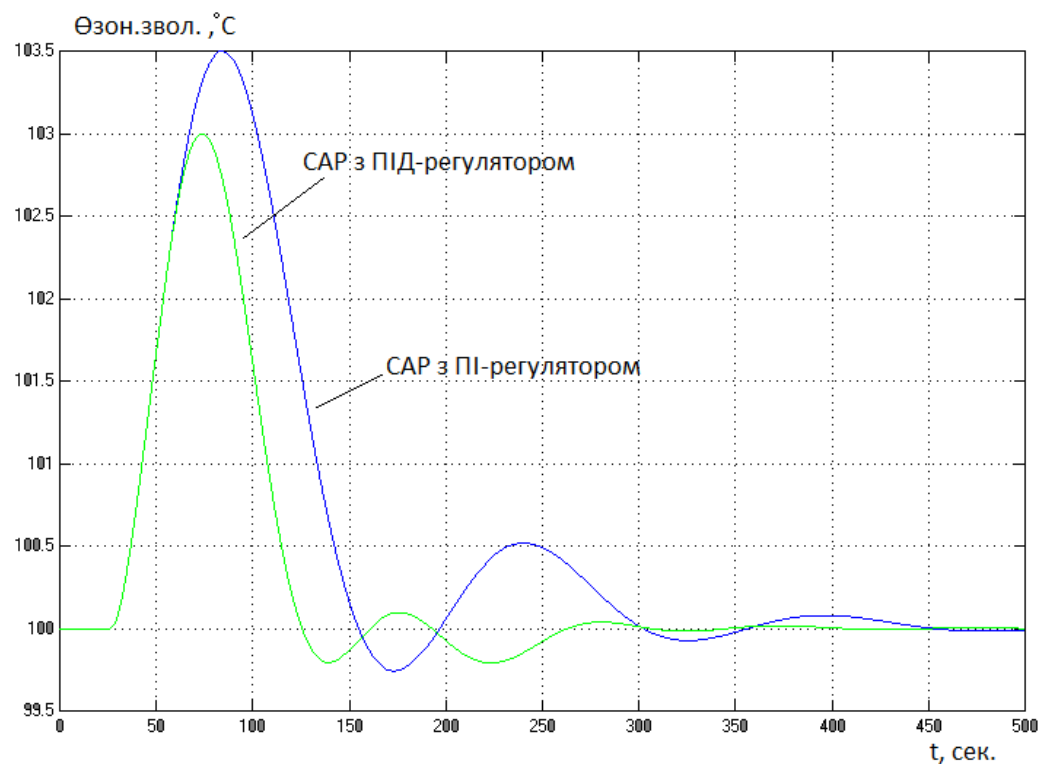


Рис. 3.11 – Результати порівняння САР з ПІ-регулятором та ПІД-регулятором

Таблиця 3.2 – Порівняння САР з ПІ-регулятором та САР з ПІД-регулятором

САР	$\Delta\Theta_{\text{зон.звол}}$ max, °C	$T_{\text{пп}}$ $\Theta_{\text{зон.звол}}$, с	$\Delta\Theta_{\text{пов.заг}}$ max, °C	$T_{\text{пп}}$ $\Theta_{\text{пов.заг}}$, с	J
ПІ	103,5	120	2,8	30	368,6
ПІД	103	100	2,1	25	214,7

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регулятором є кращою за всіма параметрами. Тому закони ПІД-регулювання будуть використовуватися в подальшому.

Найбільш часто змінюваними параметрами ОК є коефіцієнти передачі та час затримки. Слід зазначити, що через нелінійність параметри каналу можуть змінюватися наступним чином. $\pm 20\%$. У цьому кваліфікаційному дослідженні випробування на шорсткість проводили з різним часом затримки контролю якості. У той же час, дослідження САР, пов'язані з шорсткістю, повинні проводитися під впливом детермінованих поступових неконтрольованих збурень. 10% х.р.о. Результати аналізу на грубіть показані на рис. 3.12, 3.13 для САР з ПІ-регулятором та САР з ПІД-регулятором відповідно.

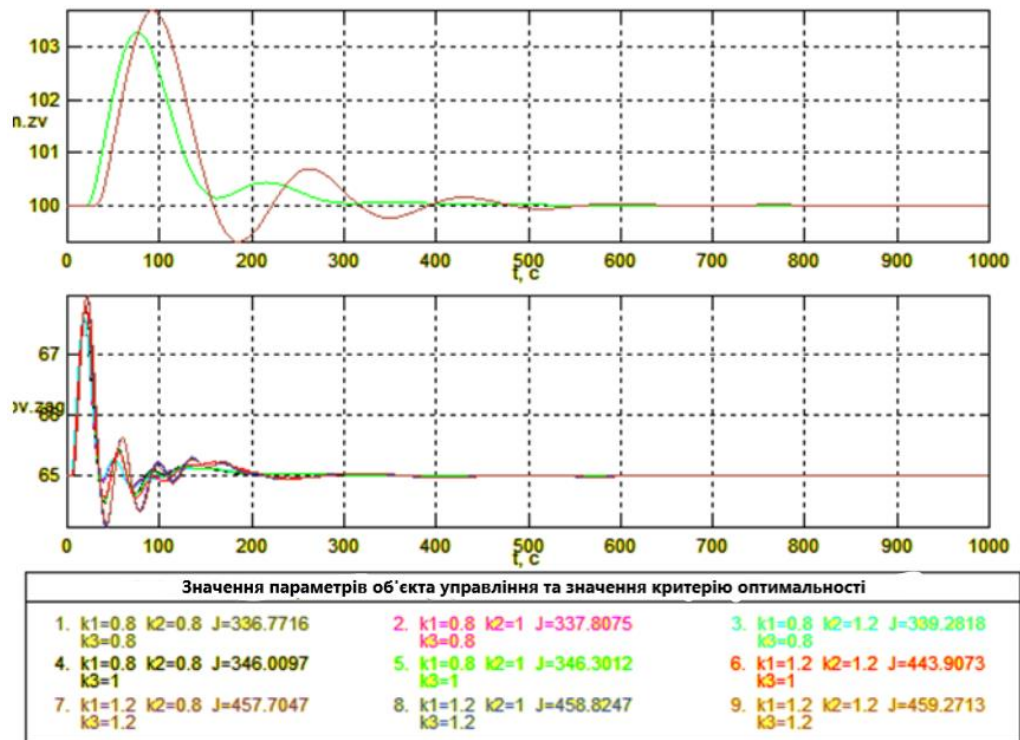


Рис. 3.12 – Результати перевірки САР з ПІ-регулятором на грубість

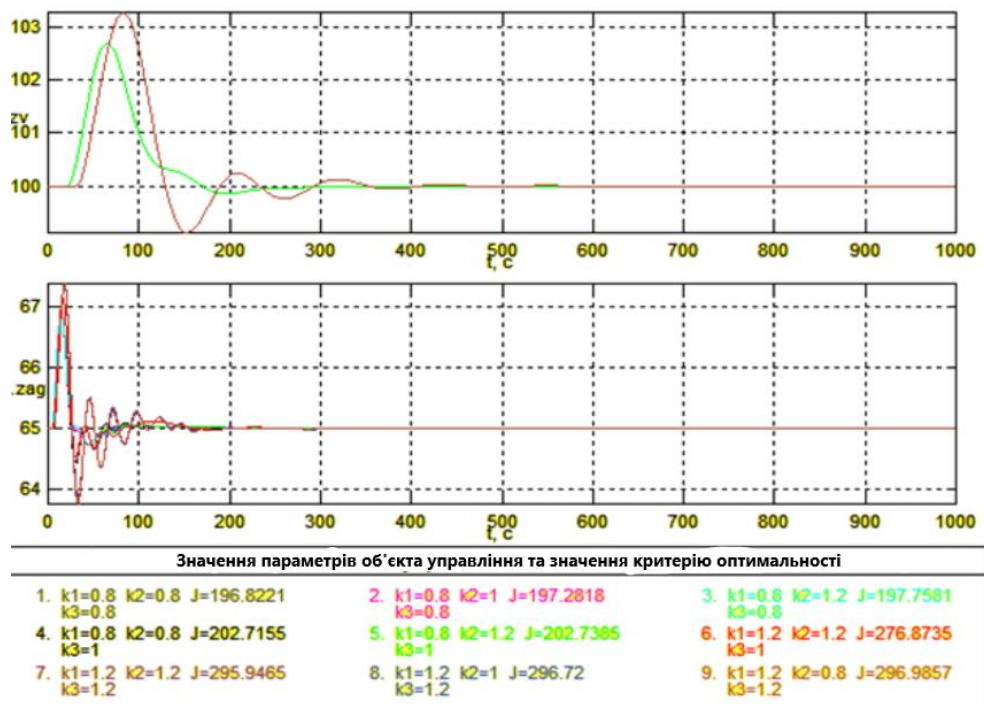


Рис. 3.13 – Результати перевірки САР з ПІД-регулятором на грубість

Як видно з результатів, САР як з ПІ-, так і з ПІД-регуляторами є грубою в умовах зі змінними параметрами, оскільки виробляє перехідні стани, які призводять до збіжності системи керування.

Для оцінки САР на грубість у сталих режимах для каналу «ип – Опв.заг»будемо використовувати схеми моделювання, наведені на рис. 3.14 – 3.15. Результати моделювання САР з ПІ-регулятором наведені на рис. 3.16, а з ПІД-регулятором – на рис. 3.17.

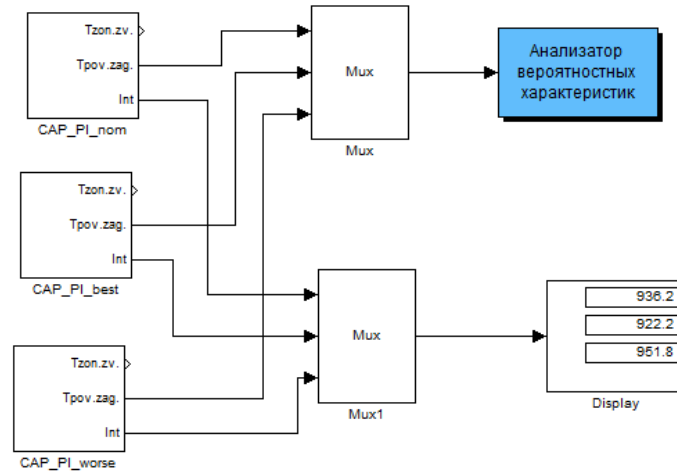


Рис. 3.14 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах

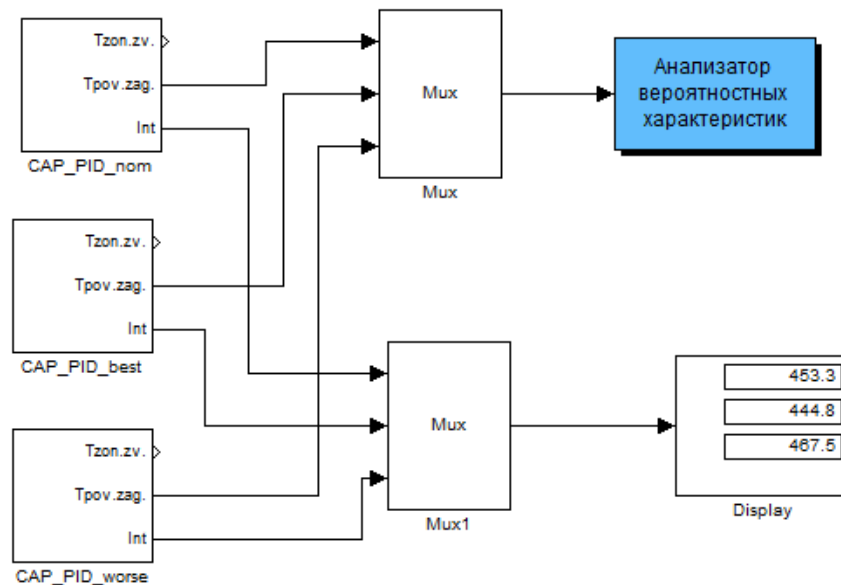


Рис. 3.15 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах

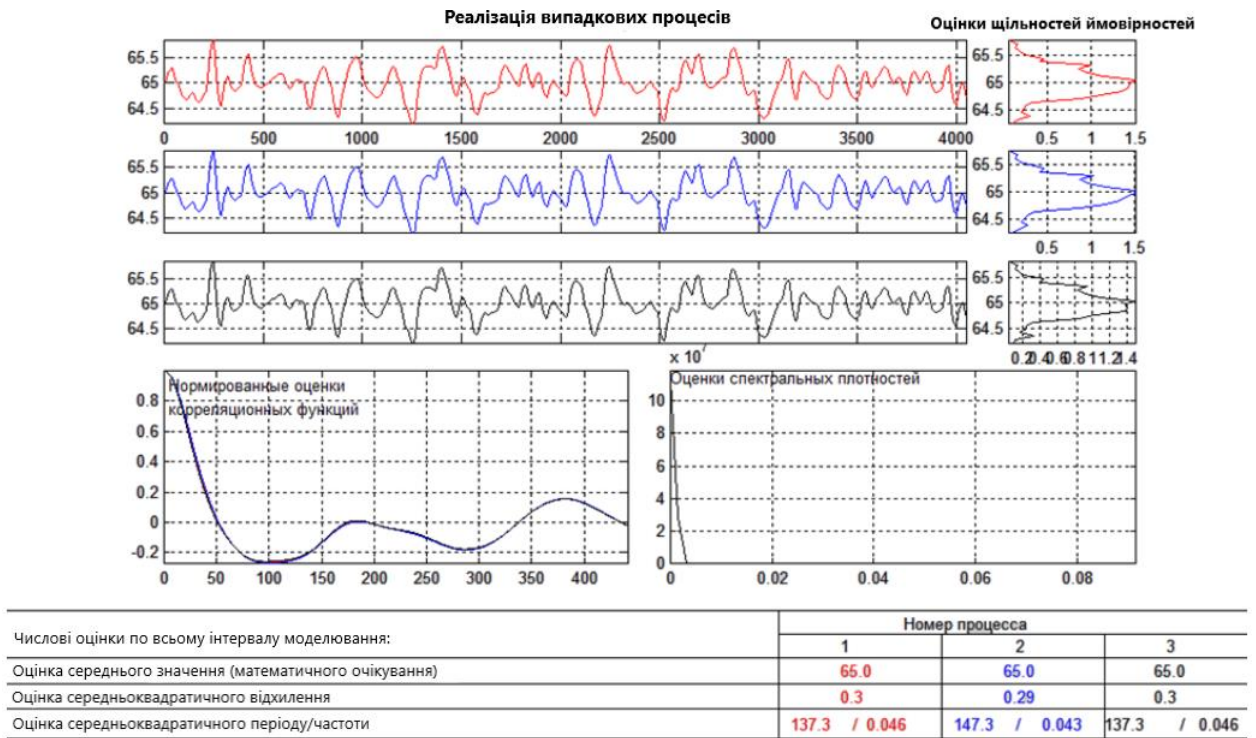


Рис. 3.16 – Результати моделювання САР з ПІ-регулятором

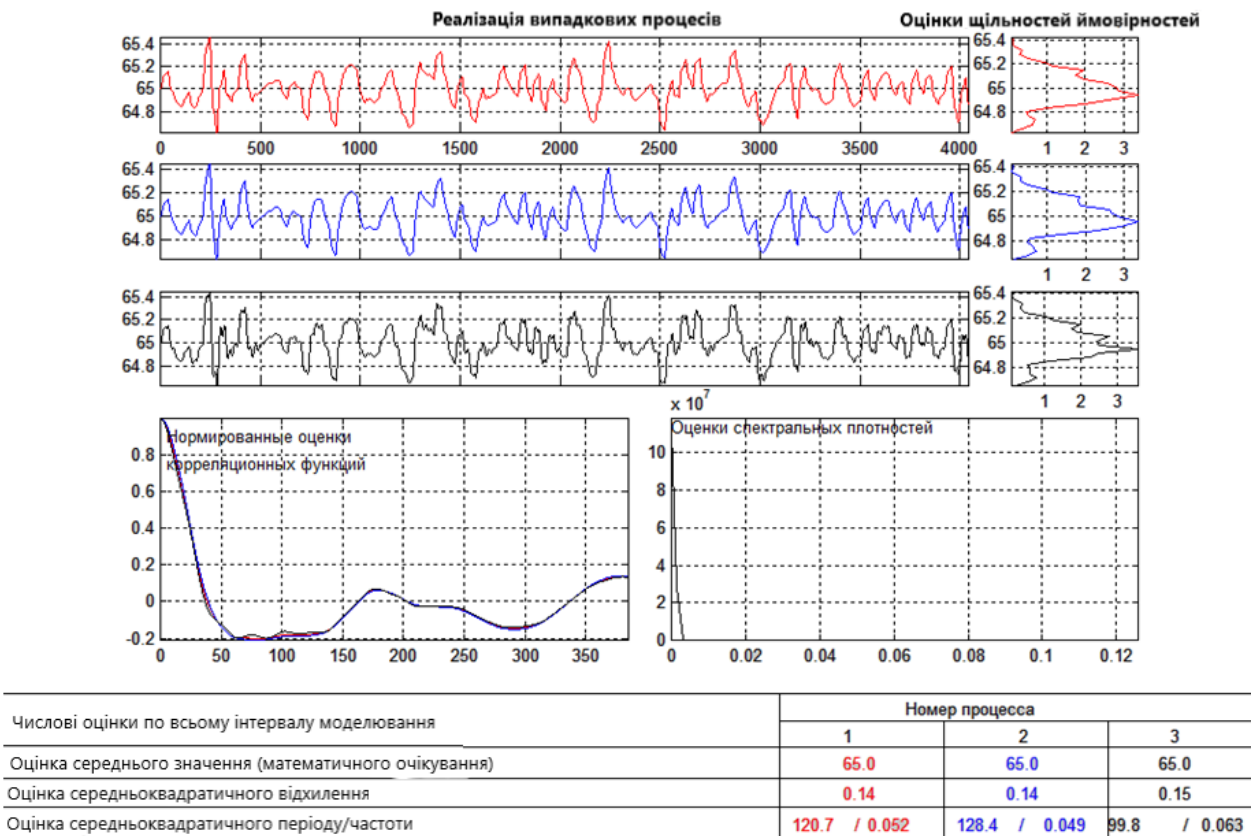


Рис. 3.17 – Результати моделювання САР з ПІД-регулятором

Результати моделювання порівнюються за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, часом середньоквадратичного

відхилення та критерієм інтегрування; порівняльні результати оцінки грубості САР з ПІ-регулятором наведені в таблиці 3.3, а порівняльні результати САР з ПД-регулятором наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.3 – Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість у сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	65	65	65
Середньоквадратичне відхилення	0,3	0,29	0,3
Середньоквадратичний період	137,3	147,3	137,3
Інтегральний критерій	936,2	922,2	951,8

Таблиця 3.4 – Результати оцінки САР з ПД-регулятором на грубість у сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	65	65	65
Середньоквадратичне відхилення	0,14	0,14	0,15
Середньоквадратичний період	120,7	128,4	99,8
Інтегральний критерій	453,3	444,8	467,5

З вищесказаного можна зробити висновок, що САР з ПД-регулятором перевершує САР з ПІ-регулятором за більшістю показників якості. Тому в подальших дослідженнях в якості базового алгоритму керування буде використано ПД-регулятор.

3.3 Структурний і параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності

Основним шляхом підвищення динамічної точності розглянутої САР є побудова автономної САР. Відповідно до цього структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.18.

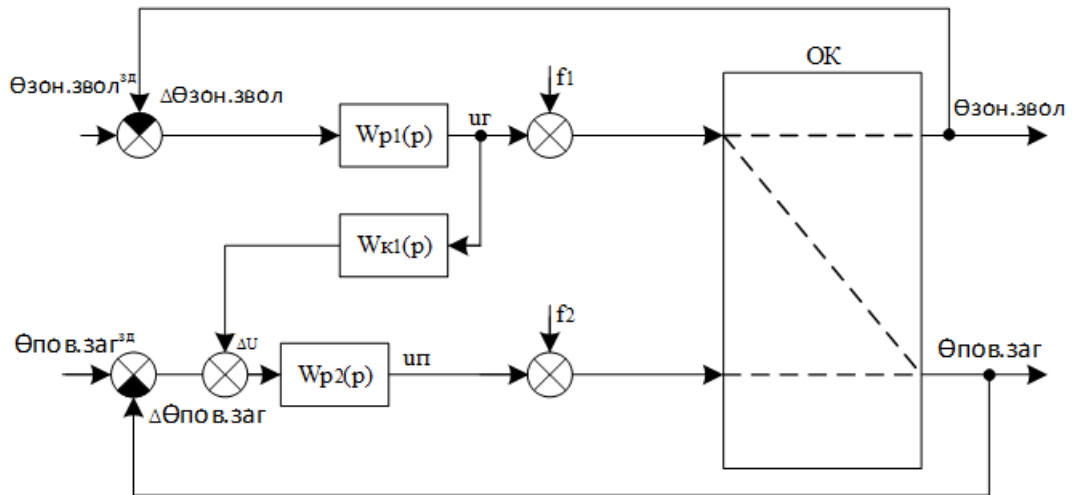


Рис. 3.18 – Структурна схема автономної системи керування

На рисунку:

u_k – вплив регулюючої дії, °С;

$W_{k1}(p)$ - передаточна функція коригуючого зв'язку.

В результаті виконання Частини 2 кваліфікаційного дослідження було визначено модель каналу для трансформації скоординованих дій в процесі випікання хліба. Результати ідентифікації наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 –Результати ідентифікації каналів перетворення
координатних дій ОК

Канал ОК	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку
«уг – Өпов.заг»	$W_o(p) = \frac{-0,3 * e^{-40,25p}}{60,625p + 1}$	$W_o(p) = \frac{-0,3 * e^{-20p}}{(38,75p + 1)^2}$
«уп – Өпов.заг»	$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-10,25p}}{8,125p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,5 * e^{-5p}}{(6,25p + 1)^2}$

Оптимальні параметри ПДД-регулятора за каналом «уп - Өпов.заг»:

$$K_p = 4,438 \frac{\%x.p.o.}{\text{°C}}; T_{из} = 9,38с; T_{ПР} = 3,93с$$

Розрахунок коригуючої ланки:

$$W^K(p) = - \frac{W_{уг-Өпов.заг}^o(p)}{W_{уп-Өпов.заг}^o(p) * W_{уп-Өпов.заг}^p(p)}$$

Тоді

$$\begin{aligned} W^K(p) &= - \frac{\frac{-0,3 * e^{-40,25p}}{60,625p+1}}{\frac{0,5 * e^{-10,25p}}{8,125p+1} * 4,438 * \left(1 + \frac{1}{9,38p} + 3,93p\right)} = \\ &= e^{(-40,25 - (-10,25))p} * \left(- \frac{-0,3}{0,5 * 4,438}\right) * \frac{\frac{1}{60,625p+1}}{\frac{36,86p^2+9,38p+1}{9,38p} * \frac{1}{8,125p+1}} = \\ &= 0,13 * e^{-30p} \frac{9,38p * (60,625p + 1)}{(36,86p^2 + 9,38p + 1) * (8,125p + 1)} \end{aligned}$$

Отримана передаточна функція коригуючого зв'язку є фізично реалізованою.

Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.19.

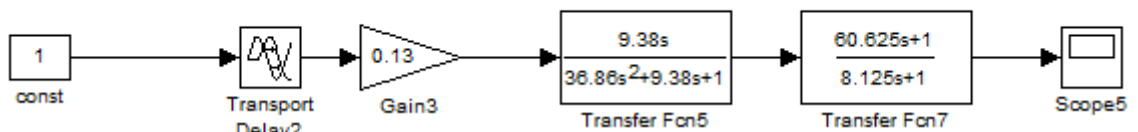


Рис. 3.19 – Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку

Перед тим як додавати коригуючу ланку до САР її потрібно спростити. Спрощена коригуюча ланка матиме вигляд:

$$W^k(p) = K_k * \frac{T_{kp}}{(T_{kp} + 1)^2} * e^{-Kp}$$

В якості початкових наближень параметрів ланки корекції прийняті наступні значення параметрів: $K_k = 0,13$; $T_{k1} = 30$, $T_{k2} = 8,125 \cdot 3.20$. Для уточнення початкових наближень параметрів ланки корекції використовується схема моделювання, показана на рисунку 3.20. Початкові наближення показані на рисунку 3.21, а результати моделювання показані на рисунку 3.22.

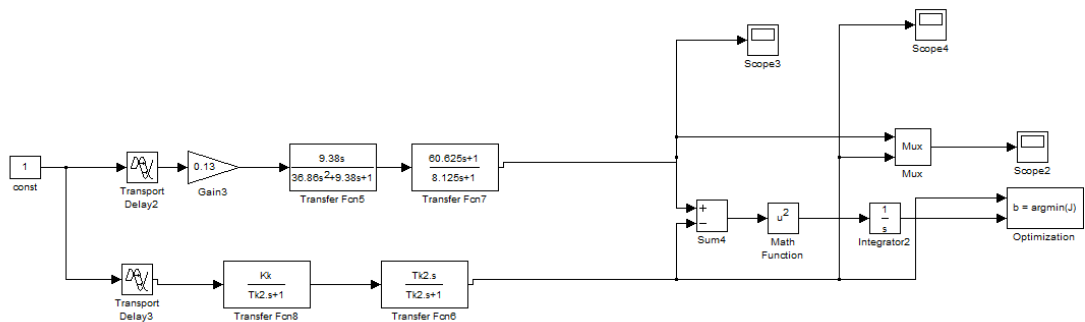


Рис. 3.20 – Схема моделювання СКЛ

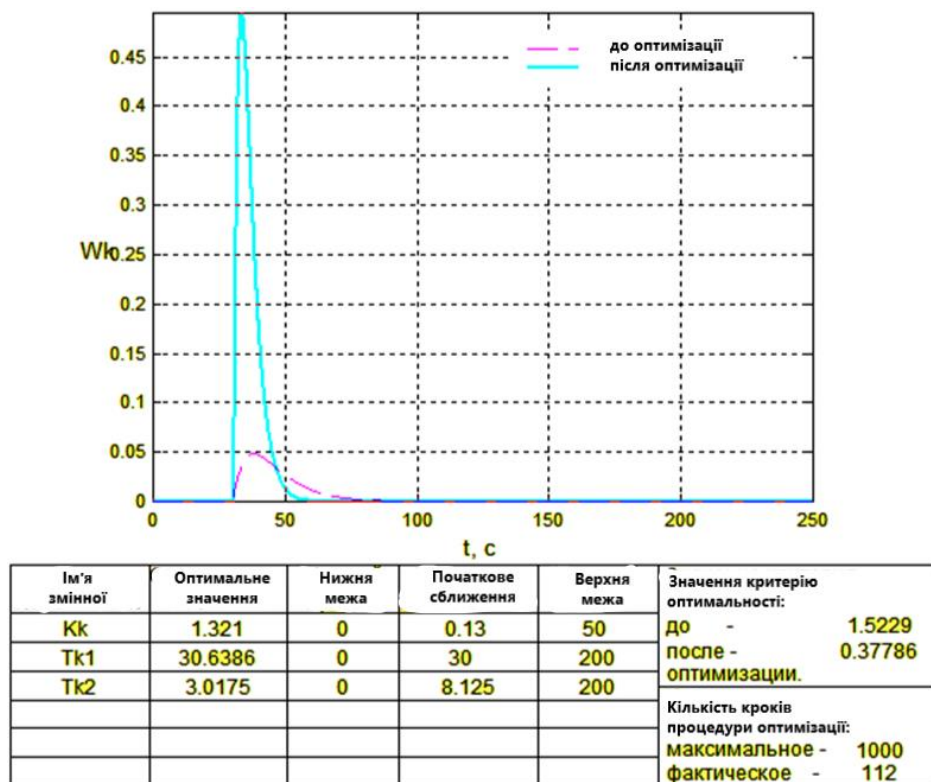


Рис. 3.21 – Результати моделювання СКЛ

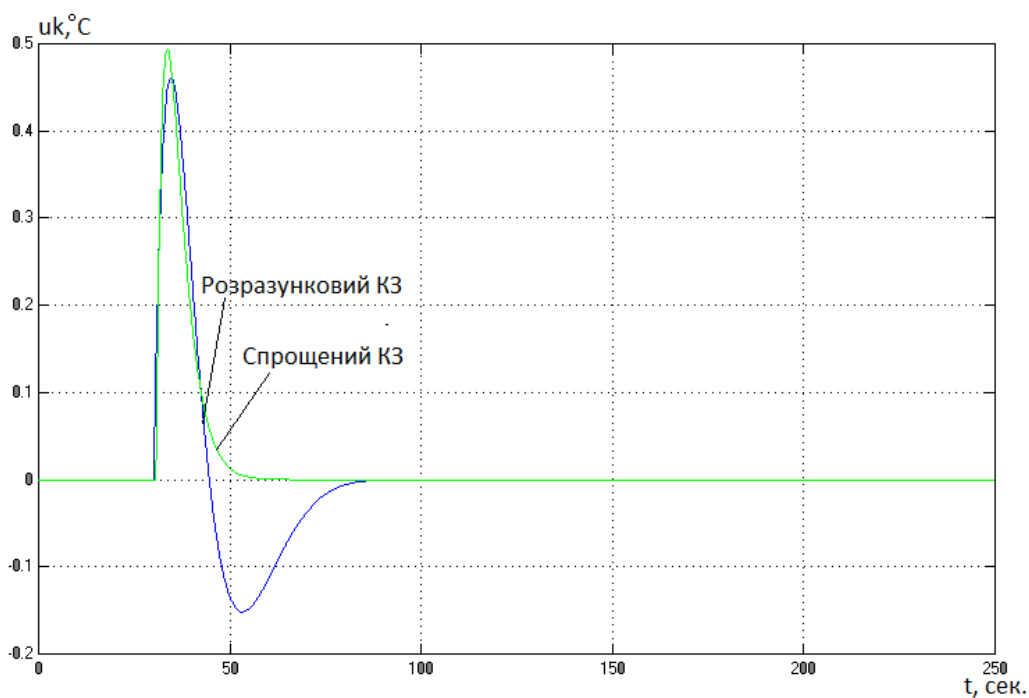


Рис. 3.22 – Перехідні характеристики розрахункового та спрощеного коригуючого зв'язку

Структурна схема моделювання САР ПДТ наведена на рис. 3.23.

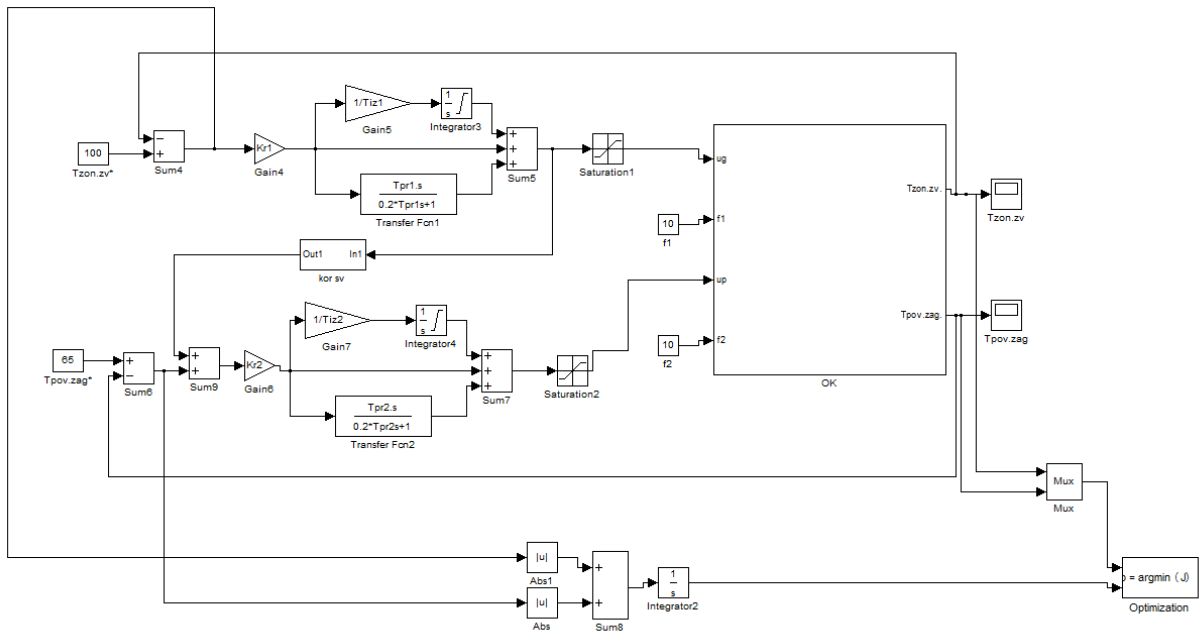
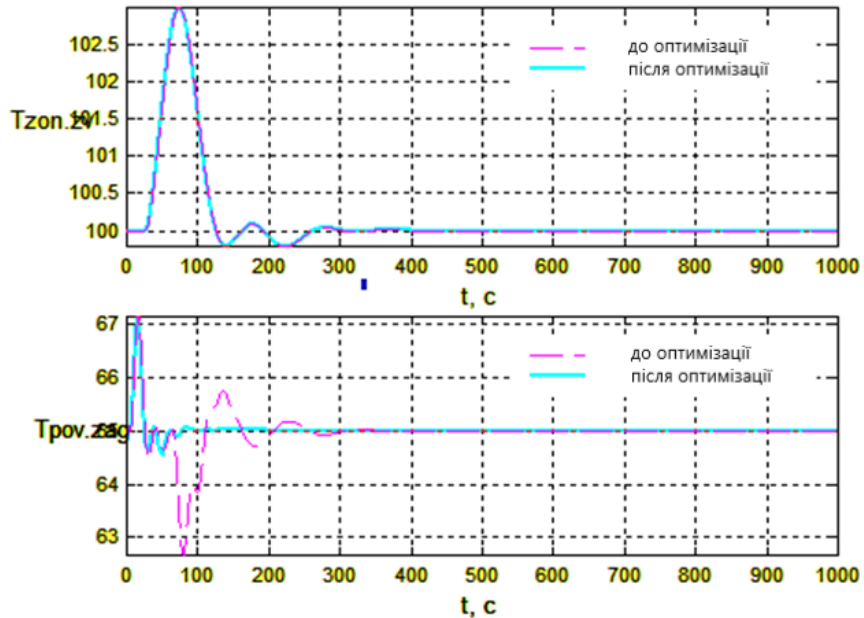


Рис. 3.23– Структурна схема моделювання САР ПДТ

Результати оптимального параметричного синтезу САР ПДТ наведено на рис. 3.24.



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове сближення	Верхня межа	Значення критерія оптимальності
Kk	0.085568	0	1.321	50	до - 302.429
Tk1	56.1136	0	30.6386	200	после - 212.5431
Tk2	2.1241	0	3.0175	200	оптимизации.
Kr2	4.3094	0	4.438	50	Кількість кроків процедури оптимізації: максимальное - 1000 фактическое - 426
Tiz2	9.1458	0	9.3762	200	
Tpr2	4.4786	1	3.9338	200	

Рис. 3.24 – Результати оптимізації параметрів САР ПДТ

Як і в випадку з САР базової структури, дослідження САР підвищеної динамічної точності на грубість проведемо при варіації $\pm 20\%$ часу запізнень ОК. Результати аналізу на грубість показані на рис. 3.25.

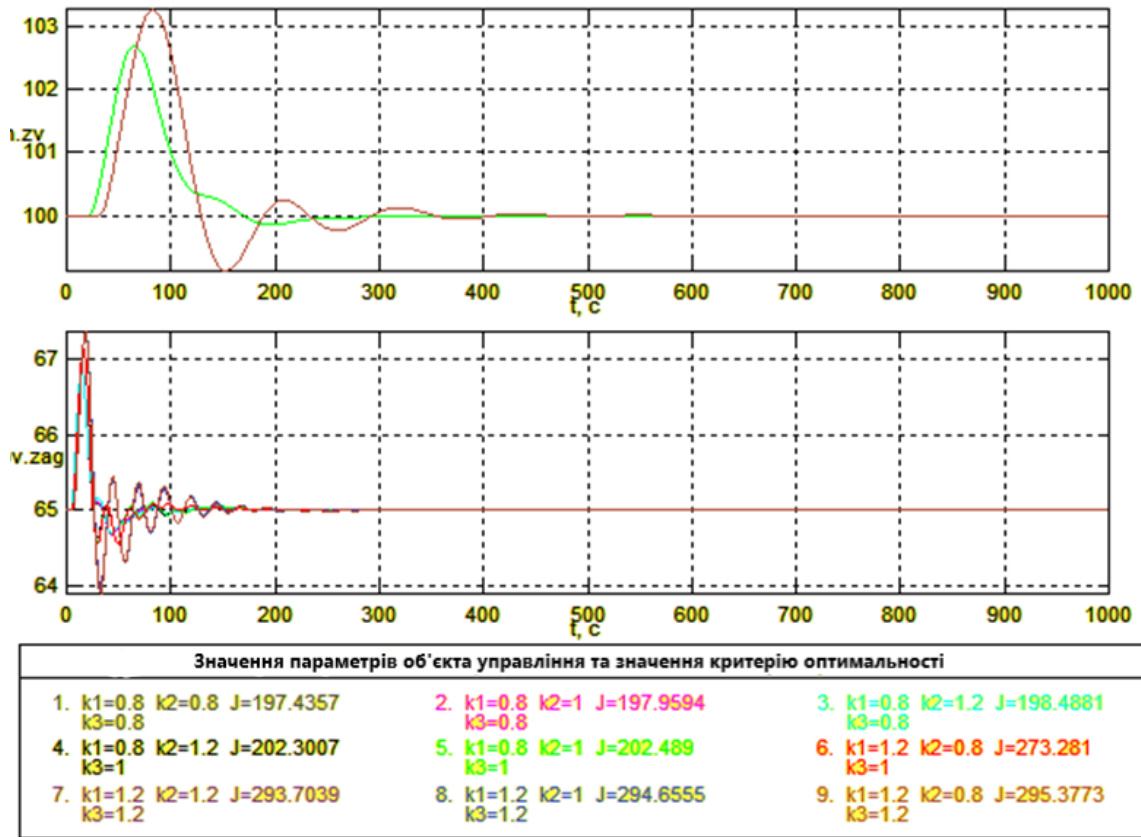


Рис. 3.25 – Результати перевірки САР ПДТ

Як видно з результатів, САР з ПД-регулятором та компенсаційною ланкою є грубою в умовах зі змінними параметрами, оскільки генерує перехідні процеси, які призводять до збіжності системи регулювання.

Схема моделювання для оцінки CAP ПДП для стаціонарної шорсткості, показана на Рисунок 3.26. Результати моделювання показані на рисунку 3.27.

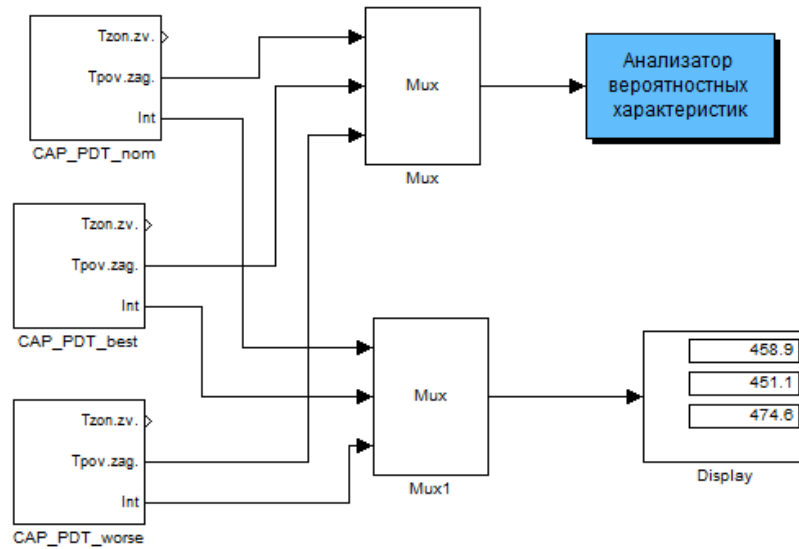
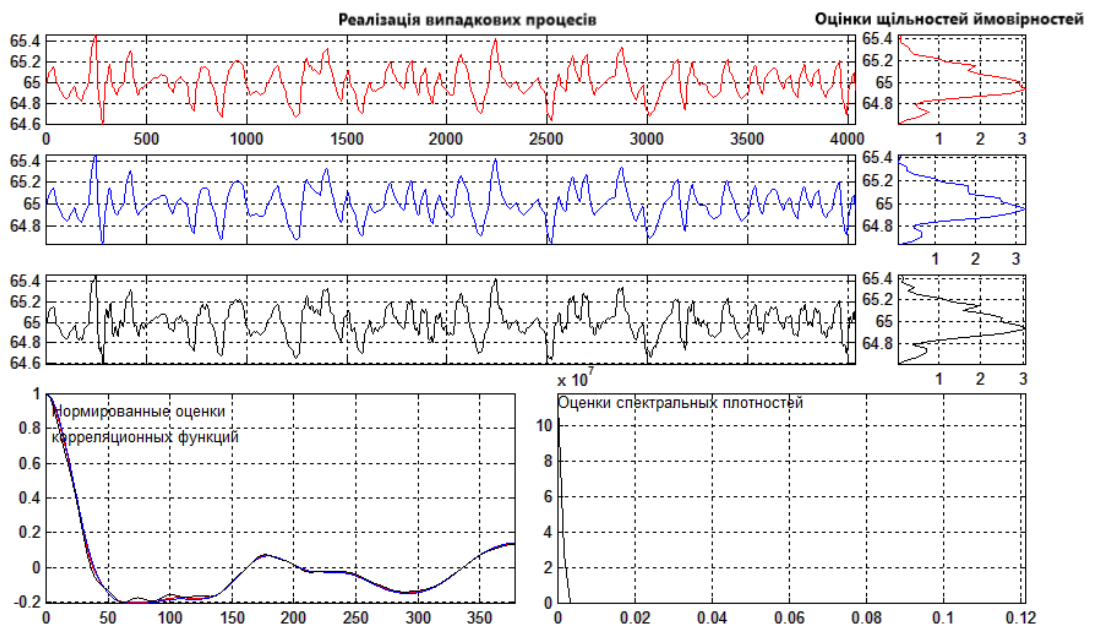


Рис. 3.26 - Структурна схема моделювання CAP ПДТ



Числові оцінки по всьому інтервалу моделювання:	Номер процесса		
	1	2	3
Оцінки середнього значення (математичного очікування)	65.0	65.0	65.0
Оцінка середньоквадратичного відхилення	0.14	0.14	0.15
Оцінка середньоквадратичного періоду/частоти	118.7 / 0.053	126.2 / 0.05	103.5 / 0.061

Рис. 3.27 – Результати моделювання CAP ПДТ

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним

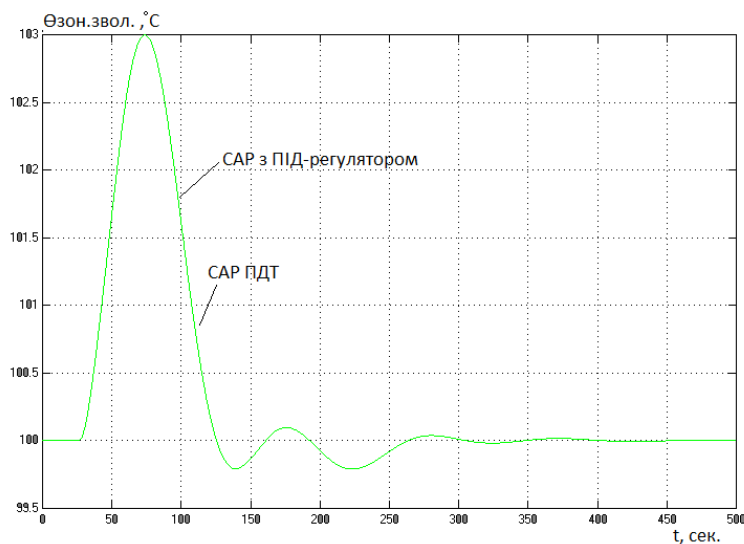
періодом та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САР ПДТ на грубість зведено в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати оцінки САР ПДТ на грубість у сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	65	65	65
Середньоквадратичне відхилення	0,14	0,14	0,15
Середньоквадратичний період	118,7	126,2	103,5
Інтегральний критерій	458,9	451,1	474,6

Проведено порівняльний аналіз перехідних станів параметрично оптимізованої системи зі значенням критерію оптимізації та показника, для якого визначено гранично допустиме значення. Порівняння САР з базовою структурою та САР з підвищеною динамічною точністю наведено на рисунку 3.28 та в таблиці 3.7. 3.28 і таблиця 3.7.

Для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності на грубість у сталих режимах будемо використовувати схему моделювання, наведену на рис. 3.29. Результати моделювання наведені на рис. 3.30 та в таблиці 3.9.



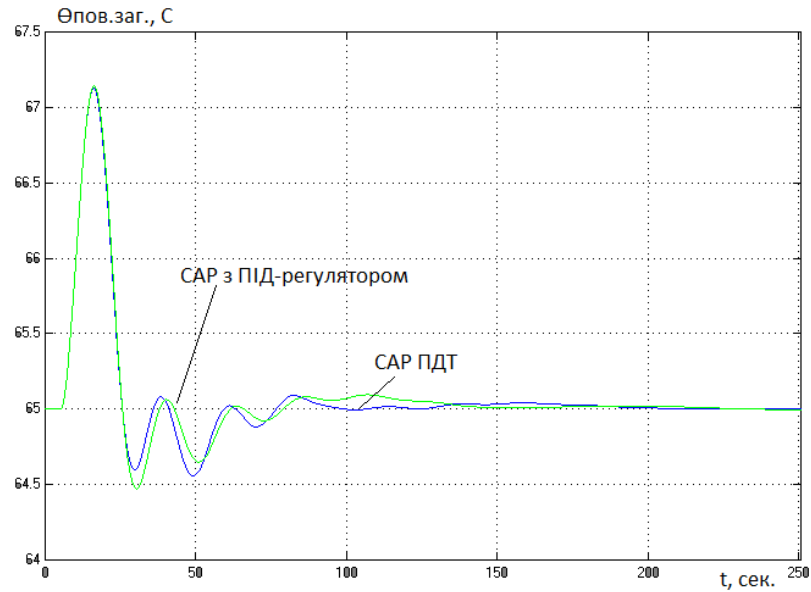


Рис. 3.28 – Результати порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 3.7 – Порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності

САР	$\Delta\Theta_{\text{зон.звол}}$ max, °C	$T_{\text{пп}}$ Озон.звол, с	$\Delta\Theta_{\text{пов.заг}}$ max, °C	$T_{\text{пп}}$ Θпов.заг, с	J
ПІД	103	100	2,1	25	214,7
ПДТ	103	100	2,1	25	212,5

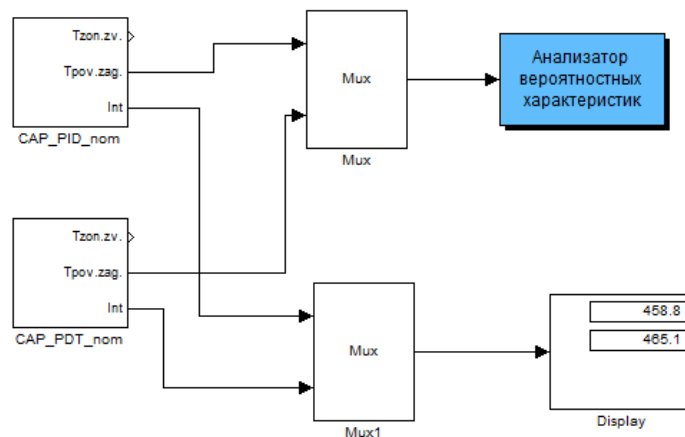
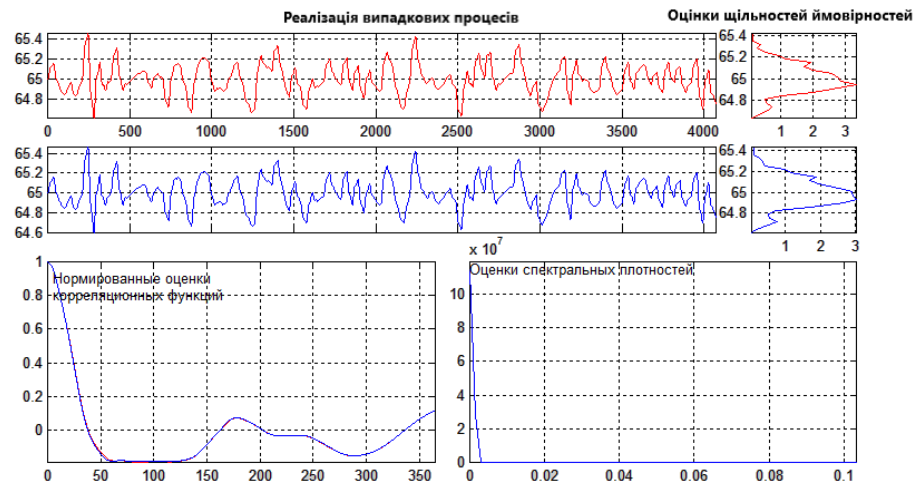


Рис. 3.29 - Структурна схема моделювання САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності для порівняння оцінки грубості у сталих режимах



Числові оцінки по всьому інтервалу моделювання:	Номер процесса	
	1	2
Оцінки середнього значення (математичного очікування)	65.0	65.0
Оцінка середньоквадратичного відхилення	0.14	0.15
Оцінка середньоквадратичного періоду/частоти	121.6 / 0.052	121.6 / 0.052

Рис. 3.30 – Результати моделювання САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 3.7 – Результати оцінки САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності у сталих режимах

Показники якості	Структура САР	
	Базова	Підвищеної динамічної точності
Математичне очікування	65	65
Середньоквадратичне відхилення	0,14	0,15
Середньоквадратичний період	121,6	121,6
Інтегральний критерій	458,8	465,1

З наведеного вище можна зробити висновок, що для більшості показників якості САР з базовою та покращеною динамічною точністю майже ідентичні. Це означає, що, як і очікувалося, автономні САР не дають суттєвого покращення якості перехідного процесу.

3.4 Висновки за розділом

Сформульовано максимально допустимі вимоги до якості контролю технічних параметрів в процесі випікання хліба.

Синтез САР проводився в два етапи. На першому етапі за допомогою інженерного методу Копеловича було розраховано налаштування регулятора, а на другому етапі застосовано оптимальний параметричний синтез. В якості критерію оптимальності використовувався інтегральний модульний критерій.

В якості базового алгоритму керування використовується ПІД-алгоритм. Бажано підвищити динамічну точність САР за рахунок забезпечення автономності каналу керування. САР з покращеною динамічною точністю є грубими.

Для більшості показників якості САР з базовою та покращеною динамічною точністю майже ідентичні. Це означає, що, як і очікувалося, автономні САР суттєво не покращують якість перехідних процесів.

4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом

В якості об'єкта модернізації системи автоматизації обраний процес випічки хліба, апаратно-технологічна схема якого зображена на рис. 4.1.

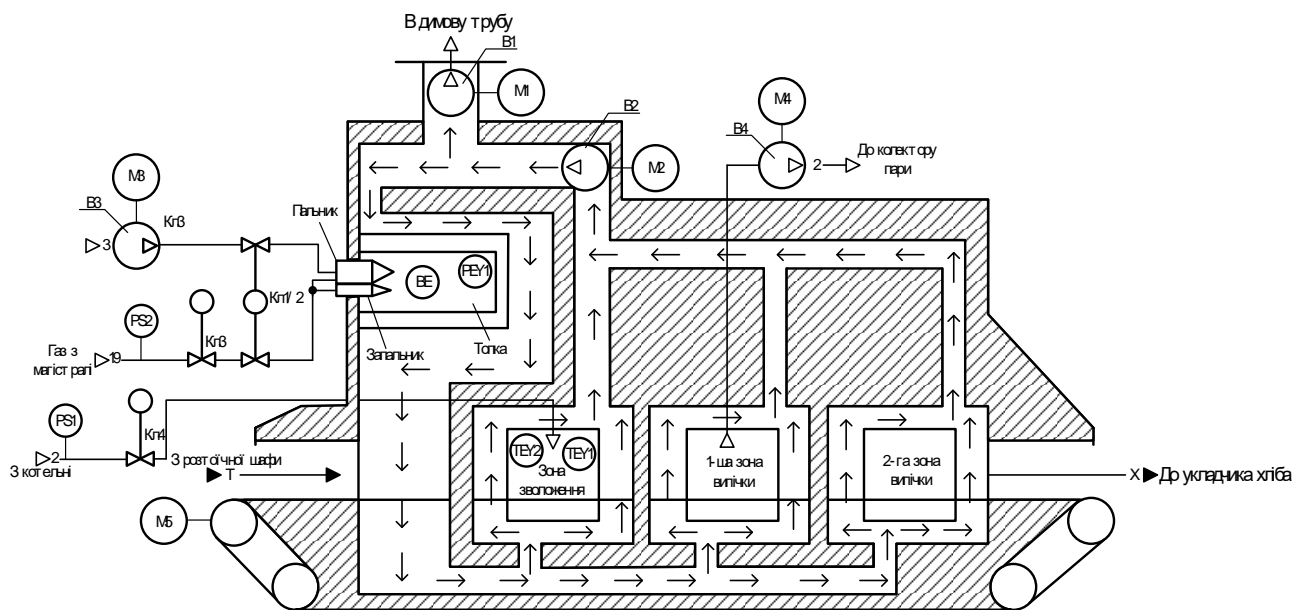


Рис. 4.1 – Апаратно-технологічна схема процесу випічки хліба

Опис керування процесом.

Як вихідні дані розглянемо такі характеристики обладнання (рис. 4.1):

Клапан Кл1/2 – регулюючий клапан подачі газу (аналогової дії), клапан Кл3 – запірний (дискретної дії), клапан Кл4 – регулюючий клапан подачі пари (аналогової дії), електродвигуни вентиляторів М1-М4 та транспортера М5 – дискретної дії. Також використаємо дані попередніх досліджень з ідентифікації ОК (п. 2.2) та САР (п. 3.2).

Розробити алгоритми автоматичного логічного управління відповідно до критеріїв технологічного процесу (див. таблицю 1.1).

4.1.1. Перед початком технологічного процесу необхідно перевірити передпускові умови, до яких відносяться наступні: тиск газу у трубопроводі подачі газу ($P_g > P_{min}$), тиск пари у трубопроводі подачі пари ($P_p > P_{min}$). Процес доцільно починати за наявності заготовок у розтоїчній шафі, що оператор перевіряє в ручному режимі.

Потім відповідальна особа повинна бути поінформована про те, що технічний процес розпочався. Для цього використовується звукова сигналізація.

Спочатку увімкніть вентилятори В1 і В3 (М1 і М3) і увімкніть Кл1/2 на 100%, щоб спорожнити піч.

Після чищення піч необхідно розпалити газом. Для цього відкрийте запірний клапан подачі палива (Кл3), відкрийте регулятор подачі газу (Кл1/2) на 20% і запаліть "малим" пальником. Якщо запалювання відбулося успішно, перейдіть на "великий" пальник. Потім запусіть циркуляційний вентилятор (М2), увімкніть регулятор температури в зоні зволоження, відкрийте паровий клапан (Кл4) на 60% і запусіть вентилятор В4 (М4). Коли температура в зоні зволоження досягне мінімально необхідного значення, запусіть конвеєр (М5) і увімкніть контроль температури поверхні заготовки.

Якщо розпалювання не вдалося, необхідно припинити подачу газу в топку, заклавши запірний клапан (Кл3), щоб створити максимально можливу тягу в топці. Для цього необхідно запусіти вентилятори В1 і В3 (М1 і М3), відкрити Кл1/2 на 100% для подачі повітря в топку і повторити процес розпалювання. Аналогічно, якщо полум'я з'являється і зникає, топку необхідно продути таким же чином без втручання оператора, щоб зупинити процес.

Щоб зупинити процес, спочатку зупиніть подачу заготовки, зупиніть конвеєр (М5) і В4 (М4), вимкніть Кл4 і Кл3 і спорожніть піч. Після спорожнення котла вимкніть вентилятори (М1 і М3) і закрийте Кл1/2.

4.2 Розробка алгоритмів формалізації положень, автоматичного логічного керування пуском і нормальним зупиненням секцій

Формалізувати процедури роботи установки в режимі пуску і зупинки у вигляді блок-схем і розробити відповідні алгоритми управління на основі опису технологічного процесу, описаного вище.



Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту функціонування процесу випічки хліба

На рис. 4.2 наведено блок-схему регламенту функціонування в режимі пуску

Перед початком роботи ми перевіряємо умови, необхідні для запуску вказані вище (п.4.1.1.). Наступним кроком треба забезпечити передумову звукової сигналізації та забезпечуємо циркуляцію повітря в топці. Далі ми

провентилюємо топку та створюємо умови для розпалювання малим факелом. Проводимо розпалювання. Якщо розпалювання провелося незадовільно, ми припиняємо подачу газу в топку та подачу заготовок до топки. За умов, якщо розпалювання пройшло задовільно ми переходимо на великий факел та виводим температуру в зоні зволоження на робочий режим. Наступним кроком ми забезпечуємо подачу заготовок до робочої зони та забезпечуємо регулювання температури поверхні заготовок.



Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту функціонування за зупинкою випічки хліба

Першим кроком зупинки випічки хліба буде припинення подачі заготовок до печі, виробити заготовки. Далі ми припиняємо послідовно подачу пари та газу до топки. Далі нам потрібно провентильовати топку. Коли провентильовали топку, припиняємо вентиляцію.

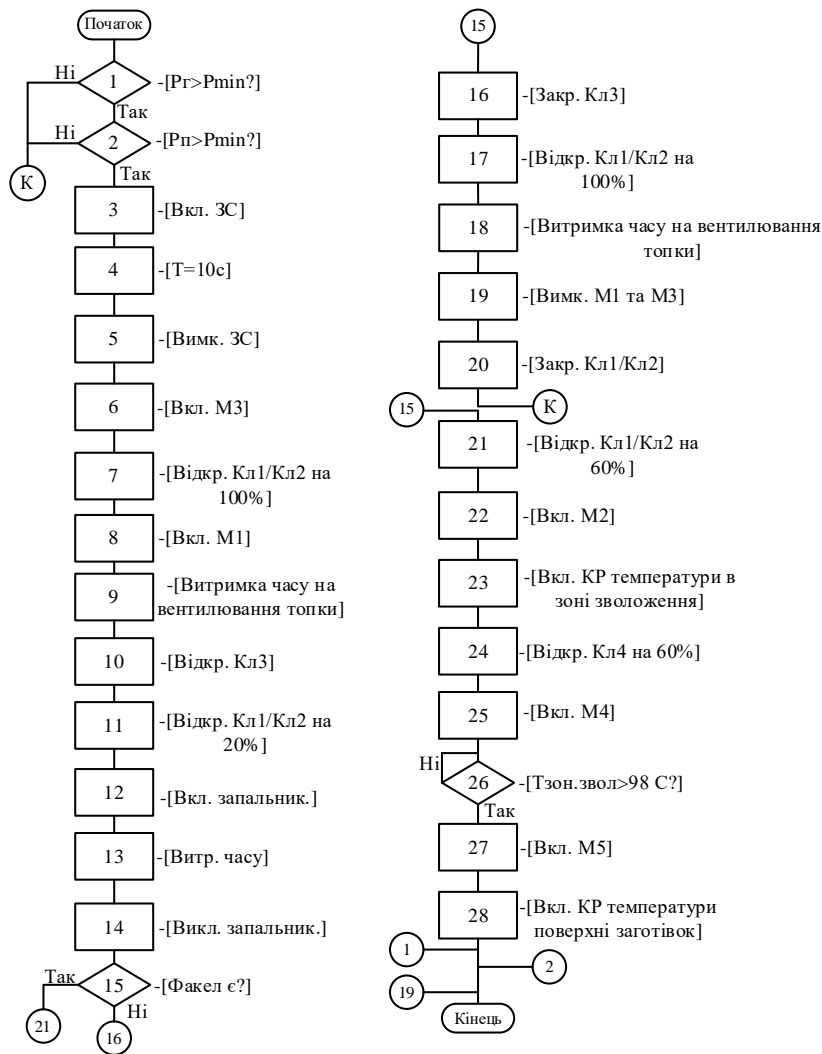


Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму пуску процесу випічки хліба

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. 4.5 – Блок-схема алгоритму зупинки процесу випічки хліба

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

Як нештатну ситуацію було розглянуто зникнення факелу. Регламент аварійної зупинки наведено на рис. 4.6, а на рис. 4.7 – алгоритм.



Рис. 4.6 – Блок-схема регламенту аварійної зупинки процесу випічки хліба

При аварійній ситуації наші дії потрібні виконуватися в наступній послідовності: спочатку ми перевіряємо наявність факелу. Якщо факелу не має, ми припиняємо подачу газу до топки, щоб запобігти перенасиченням топки газом та можливим вибухом в подальшому. Наступним кроком ми припиняємо подачу заготовок до печі та припиняємо подачу пари. Після всіх попередніх кроків треба провентильовати топку.



Рис. 4.7 – Блок-схема алгоритму аварійної зупинки процесу випічки хліба

4.4 Реалізація алгоритмів логіко-програмного керування в виді функціональної логічної схеми

Формування умов необхідних для запуску здійснюється елементом 3 за сигналами від датчиків реле тиску рідкого палива 1, а також від кнопки ПУСК 4, які приходять у схему через ДЦП 2-5. Підхоплення сигналу пуску здійснює RS-тригер 6. Після появи логічної «1» на виході RS-тригера включиться передпускова сигналізація (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 7 (10 с). Формує сигнал на ППЗС елемент 8 «&» через ЦДП 9. Сигнал «1» надходить на вхід «S» RS-тригера (елемент 10) та через ЦДП 11, починає роботу насос сушарного агенту М3.

Також сигнал «1» надходить на елемент 14 «1», який потрапляє на вхід на вхід «S» RS-тригера (елемент 15) і через задатчик 16 з перемикачем 17 сигнал (100%) через ЦАП 18 подається на М4 з ЧП, який включає на 100% продуктивність вентилятора високого тиску.

Також сигнал «1» надходить на таймер(елемент 20), та через витримку часу, потрапляє на вхід «S» RS-тригера (елемент 21) та через ЦДП 22, який відкриває Кл1, запірний клапан газу.

Також сигнал «1» надходить на вхід «S» RS-тригера (елемент 23) і через задатчик з перемикачем 24 сигнал (20%) і через перемикач 26 та ЦАП 32 сигнал поступає на регулюючий клапан газу (Кл2). Той же сигнал з 33 поступає на таймер 33 та «&» 34, з котрого сигнал включення (тривалістю 10 с) подається через ЦДП 35 на запальний пристрій (ЗП). При наявності сигналу на ЗП та наявності Факелу, (про це свідчить 1 на виході елемента «&» 45), перемикач підключає задатчик з перемикачем 25 (60%), чим імітується перехід з малого факелу на великий, одночасно підключається КР «співвідношення повітря – газ»(елемент 19).

За наявності факелу (про це свідчить 1 на виході елемента «&» 45), сигнал 1 поступає на вхід «S» RS-тригера (елемент 36) та через ЦДП 37, починає роботу двигун відбираючого транспортеру М4.

Також сигнал «1» з виходу RS-тригера (елемент 36) надходить на таймер(елемент 38), та через витримку часу, потрапляє на вхід «S» RS-тригера (елемент 39) та через ЦДП 44, який вмикає двигун подавального транспортеру М3.

Також а наявності факелу (про це свідчить 1 на виході елемента «&» 45), вмикає КР Ок.

КР Ок задатчик 25 (60%), що включає Кл. 2 подає сигнал на перемикач 31.КР ОЗ спочатку формує керуючий сигнал 60% через ЦАП 32 на Кл. 2, а після того, як сигнал з датчика Ок та АЦП 27 досягне нижньої границі діапазону регулювання температури, про що засвідчить сигнал *I* з

порогового елемента 29, сигнал *I* з «&» 30 підключає вихід КР Θ_k до виходу **u** регулятора 28, а також цим же сигналом вмикає двигуни М2 та М1 конвеєрів.

Щоб здійснити штатну зупинку технологічного процесу необхідно СИГНАЛ 1 від кнопки «Стоп» 41 через ДЦП 42 та елемент «1» 48 подати на вхід «R» RS-тригера 6, після чого на його виході з'явиться 0, а через 10 с (через таймер – елемент 7) 0 з'явиться на всіх елементах, що підключені до 6, при цьому всі RS-тригери будуть готові до скидання 1 зі своїх виходів за приходом сигналу 1 на їхні «R» входи (вмикає М1 подавального транспортеру, запірний Кл1 та регулюючий Кл2 клапани газу). Також цей сигнал вмикає на 2хв на 100% продуктивності роботи М4 вентилятору високого тиску, а потім вмикає їх.

Аналогічним чином працює аварійна зупинка в ситуаціях коли при запалюванні малим факелом запалення не сталось, або коли при роботі котла факел зник.

Функціонально логічна схема керування процесом складена, як описано вище, наведена на рис. 4.8.

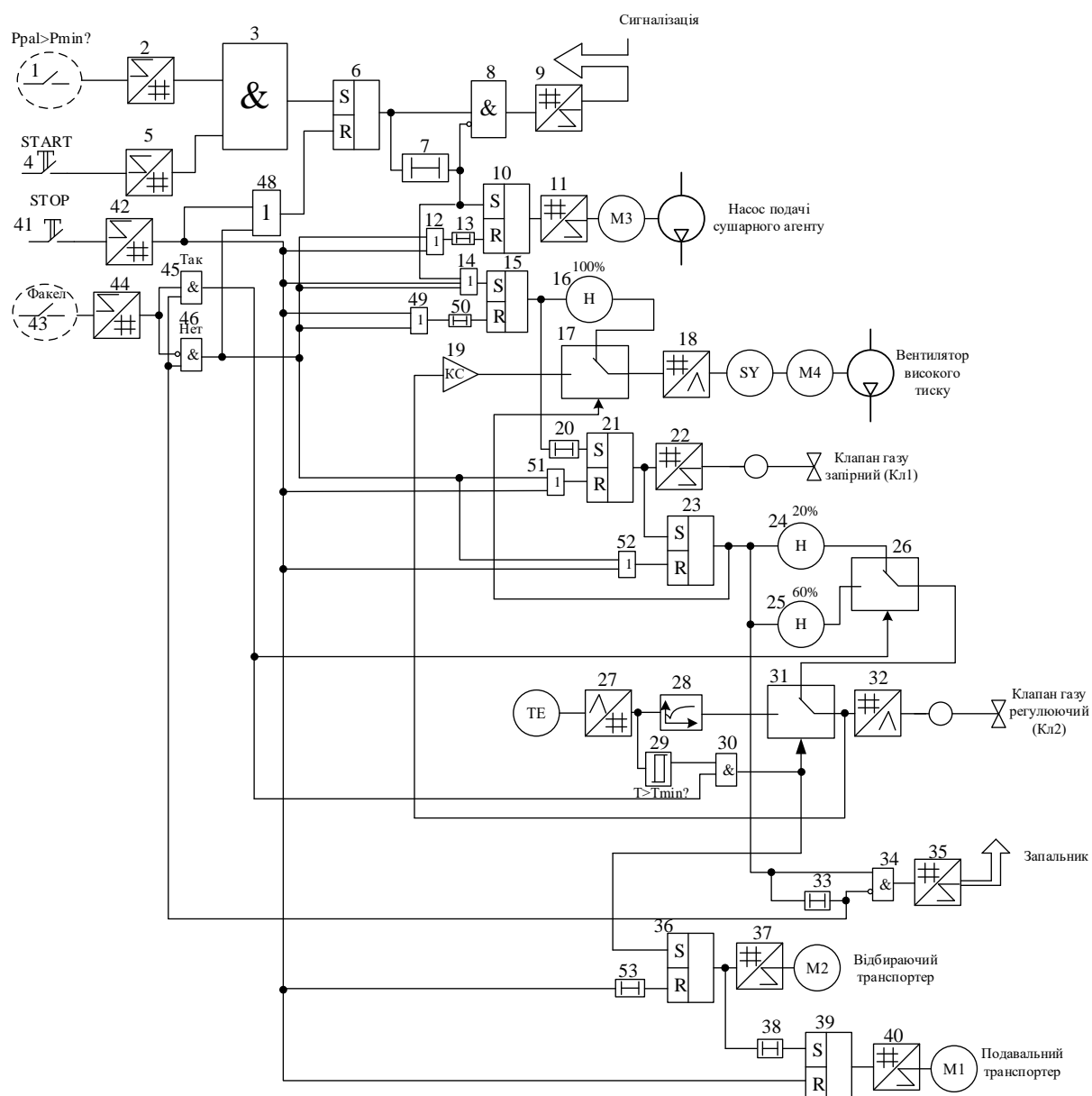


Рис. 4.8 – Функціонально логічна схема керування процесу випічки хліба

4.6 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу були розроблені операційні процедури та алгоритми запуску та зупинки процесу варіння в нормальному та аварійному режимах для даного технологічного процесу, створена та реалізована в MATLAB функціональна логічна схема.

Можна сказати, що розроблені алгоритми керування та характеристики, отримані під час моделювання роботи САК, дуже точно відповідають реальним технічним процесам.

Результати моделювання показують покращений алгоритм автоматичного логічного керування та метод функціонального логічного керування процесом приготування їжі.

5.ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО- КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення

5.1.1 До переліку середовищ, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню відноситься: пароповітряна суміш в першій зоні пекарної камери з температурою 98-102 °С та відносною вологістю 60-70% - з нею стикаються чутливі елементи датчиків; природний газ середнього тиску 0,05...0,3 бара, який спалюється в топці – його витрати змінюються регулюючим клапаном, а подача - відсічним клапаном; повітря з навколишнього середовища з температурою 18...25 °С, яке подається в топку нагнітаючим вентилятором для спалювання газу у пропорції 9 м³ на 1 м³ газу; гази від продуктів згоряння з температурою 340...380 °С – переміщуються рециркуляційним і витяжним вентиляторами; насичена пара з тиском 1,5 бар і температурою 111 °С – її витрати змінюються регулюючим клапаном.

5.1.2 Процес випічки хліба здійснюється в тунельній печі, яка встановлена у приміщенні цеху, температура повітря в якому змінюється в діапазоні 18...25 °С. Цей процес є пожежовибухонебезпечним, оскільки в приміщенні можуть виникнути фактори, які здатні викликати пожежу або вибух.

«Правила улаштування електроустановок» визначають: жарке приміщення - приміщення, в якому під впливом різних теплових випромінювань температура повітря перевищує постійно або періодично + 35 °С (наприклад, приміщення із сушарками, печами, котельні тощо).

Щодо безпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

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

- 1) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- 2) високої температури;
- 3) 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;

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена піч, слід віднести до жаркого приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

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 вибухопожежонебезпеки.

Газо-, пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні — вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

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

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена піч, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 2.

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

Табл. 5.1 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

Табл. 5.2. 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 приміщення, де встановлена піч, слід вибирати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Підвищеної надійності проти вибуху».

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

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

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена піч, слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-П.

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

Табл. 5.3. 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-IIIa	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

Табл. 5.4 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-IIIa	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

Для приміщення, де встановлена піч, слід вибрати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP54.

Оскільки датчики температури повітря в першій зоні печі і температури поверхні хліба, а також виконавчі механізми подачі газу і пари монтуються безпосередньо на корпусі печі, то їх виконання повинно передбачати ступінь захисту не менше IP54, ступінь вибухозахисту - підвищеної надійності проти вибуху.

На обслуговуючий персонал діють такі шкідливі чинники, як шум та підвищена температура. Тому АРМ оператора-технолога доцільно винести в окреме приміщення, в яке зводиться вся необхідна інформація про стан технологічних параметрів. В системі слід передбачити можливість місцевого та дистанційного керування технологічним обладнанням.

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

В ході технологічно процесу випічки хліба використовуються наступні технічні засоби:

5.2.1 Для виміру температури пароповітряної суміші в першій зоні печі застосований датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -150 °С.



а)

Технічні характеристики:

Тип НСХ: 100П;

Кількість ЧЕ: 2;

Клас допуску: В;

Схема з'єднання: 2-проводна;

Різьбове з'єднання: М20х1,5;

Матеріал захисної арматури: сталь 12Х18Н10Т;

Діапазон температури: -50...250 °С;

Ступінь захисту: IP54 (до 120 °С).

Ступінь вибухозахисту – 0ЕхІаІВТ6

б)

Рис.- 5.1. Датчик температури Тера

а) зовнішній вигляд;

б) технічні характеристики

5.2.2 Нормуючий вимірювальний перетворювач ПСТ (0/150) – 100П

Для перетворення опору датчика в уніфікований сигнал 4-20мА вибраний нормуючий пристрій ПСТ (0/150) -100П. Він встановлюється безпосередньо в корпусі датчика температури.



а)

Технічні характеристики:

Тип ПСТ (0/150) - 100П;

Схема з'єднання: 2-проводна;

Діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА

Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт;

Умови експлуатації : - 30 ... + 50 °С, вологість 95% при 35 °С

б)

Рис.5.2.- Нормуючий вимірювальний перетворювач а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.3 Для виміру температури поверхні хлібних заготовок застосований оптичний датчик температури Calex Ex2-151-LT-5, діапазон -20 -100 °С. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.3.



- Suitable for hazardous areas, Zone 0, 1 and 2 (gas), and Zone 20, 21 and 22 (dust), with a suitable Intrinsically Safe isolator
- Temperature range: -20°C to 1000°C
- Two wire, 4-20 mA output
- Rescalable output and adjustable emissivity setting via optional USB adapter
- Fast response time and high stability
- Stainless steel 316 housing - ideal for offshore applications
- IP65 sealed
- Supplied with up to 25 m cable

Рис. 5.3. – Оптичний датчик температури Calex Ex2-151-LT-5

5.2.4 Для виміру тиску пари в паропроводі застосоване реле тиску RT 110L, степiнь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X.



Технічні характеристики:

Робочий діапазон [бар]	Диференціал [бар]	Нейтральна зона [бар]	Макс. робочий тиск [бар]	Випробувальний тиск [бар]	Приєднання	Код для замовлення	Тип
-0.8 – 5	0.2	0.2 – 0.9	22	25	G 3/8 A ¹⁾	017L003366	RT 1AL
0.2 – 3	0.08	0.08 – 0.2	7	8	G 3/8 A	017L001566	RT 110L
0.2 – 6	0.25	0.25 – 0.7	22	25	G 3/8 A	017L003266	RT 200L
4 – 17	0.35	0.35 – 1.4	22	25	G 3/8 A ¹⁾	017L004066	RT 5AL
10 – 30	1	1 – 3.0	42	47	G 3/8 A	017L004266	RT 117L

а)

б)

Рис.- 5.4 Реле тиску RT 200L:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.5 Для виміру тиску газу в газопроводі застосоване реле тиску PSG901.64, степiнь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X.



Технічні характеристики:

Назва	Макс. тиск	Діап. налаштування
PSG901.61	0,5 бар	5 - 20 мбар
PSG901.62		10 - 50 мбар
PSG901.63		25 - 100 мбар
PSG901.64	1 бар	50 - 250 мбар
PSG901.65		100 - 500 мбар

а)

б)

Рис.- 5.5 Реле тиску PSG901.64:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.6 Для контролю факела в топці печі застосовується фотодатчик ФД-101 в комплекті із сигналізатором СП-101. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.6.



Напряжение питания	220 В, 50 Гц
Ультрафиолетовая ячейка	R2868
Область спектра	180 — 265 нм
Макс. чувствительность	210 ± 10 нм
Степень защиты	IP 54
Мин. сила сигнала постоянного тока	1 мкА
Потребляемая мощность, не более, ВА	0.3

а)

б)

Рис. 5.6. – Датчик контролю факела ФД-101:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням

5.3.1 Для переривання подачі природного газу використовується відсічний електромагнітний клапан типу VML з автоматичним взводом повільного відкриття торгової марки Elettromeccanica Delta S.p.A.



Присоединение	Резьба ISO 7/1 от Rp 1/2" до Rp 2" 1/2. Фланцы PN16 – ISO 7005 DN40 – DN150
Температура окружающей среды	-15°C / +60°C
Рабочее давление	200-360-500 мбар и 6 бар
Встроенный фильтр	600 мкм, металлическая сетка
Напряжение	230 VAC 50/60 Hz; 110 VAC 50/60 Hz; 24 VAC/DC
Время открытия	Настраиваемое
Время закрытия	< 1 сек
Класс защиты	IP54 EN 60529 (IP65 по запросу).
Рабочая среда	Природный газ (группа H - метан), городской газ (бытовой), сжиженный газ (LPG) и неагрессивные газы.

а)

б)

Рис. 5.7 Електромагнітний клапан типу VML:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.3.2 Для зміни витрат природного газу використовується регулюючий клапан типу Kromschroder RV-E з електроприводом, сигнал керування 4...20 мА або 0...10 В DC.



Тип газу	природний, сжиженный (газообразная фаза), воздух и биогаз
Ду	от 32 до 100
Макс. рабочее давление (по исполнению)	150, 200, 360, 500, 1000 мбар
Напряжение питания	220 В, 110 В, 24 В
Степень защиты	IP 54
Время открытия	60 сек.
Присоединение	RV..ML: фланец с трубной резьбой Rp по ISO 7-1 RV..F: фланец по ISO 7005, PN16
Материал корпуса	сплав AlSi
Рабочая температура	от -20 до +60 °С
Электроподключение	клеммная колодка 2.5 мм.кв, 3 x PG 13.5
Контактная нагрузка	60 – 250 В, 50/60 Гц, макс. 2А (омическая нагрузка)
Контактная нагрузка при 24 В	макс. 40 мА
Управляющие сигналы (RV..E с аналоговым управлением)	0(4)..20 мА 0..10 В 0..135 Ом

а)

б)

Рис. 5.8 Електромагнітний клапан типу VML:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.3.3 Для зміни витрат пари застосовані регулюючий клапан Belimo H7025X10-S2 та виконавчий механізм Belimo NVD24SR



Температура регулируемой среды	-10 °С ... +200 °С ≤ +5 °С с подогревателем штока
Условное давление	2500 кПа при средней температуре 120 °С 2300 кПа при средней температуре 200 °С
Характеристика потока	Участок А-АВ: линейная Участок В-АВ: линейная
Амплитуда изменений регулируемой среды	DN 15 Sv > 30 DN 20...100 Sv > 50
Величина утечки	Участок А-АВ: макс. 0.05% от Kvs Участок В-АВ: макс. 1% от Kvs
Др _s	См. табл. типоразмеров
Рабочий ход	См. табл. типоразмеров
Точка запаривания	Верхняя
Положение установки	Вертикально или горизонтально
Обслуживание	Не требуется
Материалы:	
- корпус	чугун GGG 40.3
- конус	нержавеющая сталь
- седло / седло байпаса	нержавеющая сталь
- шток	нержавеющая сталь
- уплотнение штока	PTFE - уплотнение

Рис. 5.9 Зовнішній вигляд та основні техн.характеристики клапану H7025X10-S2



Технические характеристики NVD230-3	
Напряжение питания	АС 230 В 50/60 Гц
Диапазон напр. питан.	АС 198...264 В
Расчетная мощность	7 ВА
Потребляемая мощн.	6 Вт
Соединит. кабель	1 м, 4x0.75 мм ²
Номинальный ход	20 мм
Усилие	500 Н
Ручное управление	Шестигранный ключ, самовозврат
Время хода штока	150 с
Уровень шума	Макс. 35 дБ
Индикация положения	Механическая, 10...20 мм штока
Степень защиты	IP 54
Класс защиты	I (с заземлением)
Температура эксплуатации	0°...+50°
Темп-ра хранения	-40°...+80°
Техн. обслуживание	Не требуется
Вес	1.5 кг (без клапана)

Рис. 5.10 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики виконавчого механізму BELIMO NVD24SR

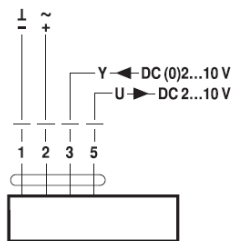


Рис. 5.11 Схема електричних підключень електроприводу BELIMO NVD24SR

5.3.4 Для вибору пристроїв прямого пуску електроприводів вентиляторів використана програма фірми АВВ, яка дозволяє для типових випадків розрахувати необхідні параметри та вказує на найменування пристроїв. Потужність електроприводів вентиляторів 1,5 кВт.

Starting type	Direct-On-Line Starter	
Short-circuit protection device type	Manual Motor Starter	
Rated short-circuit current I _q (kA)	16.0 kA	
Coordination type	1	
Rated power - 400 V - 50 Hz - AC3 (kW)	1.5 kW	
Rated Current I _e - 400V - AC3 (A)	3.45 A	

Manual Motor Starter	Order Code	Current setting range (A)
MS116-4,00	1SAM250000R1008	2,50 - 4,00

Connecting link between MMS & contactor		Order Code
BEA 16/116		1SBN081406R1000

50 Hz 60 Hz

Contactor	Type	<input checked="" type="checkbox"/> Coil voltage	Order Code
KM1	A9-30-10	220...230V - 50 Hz	1SBL141001R8010

Рис. 5.12 Вид вікна програми вибору пристроїв прямого пуску електроприводів

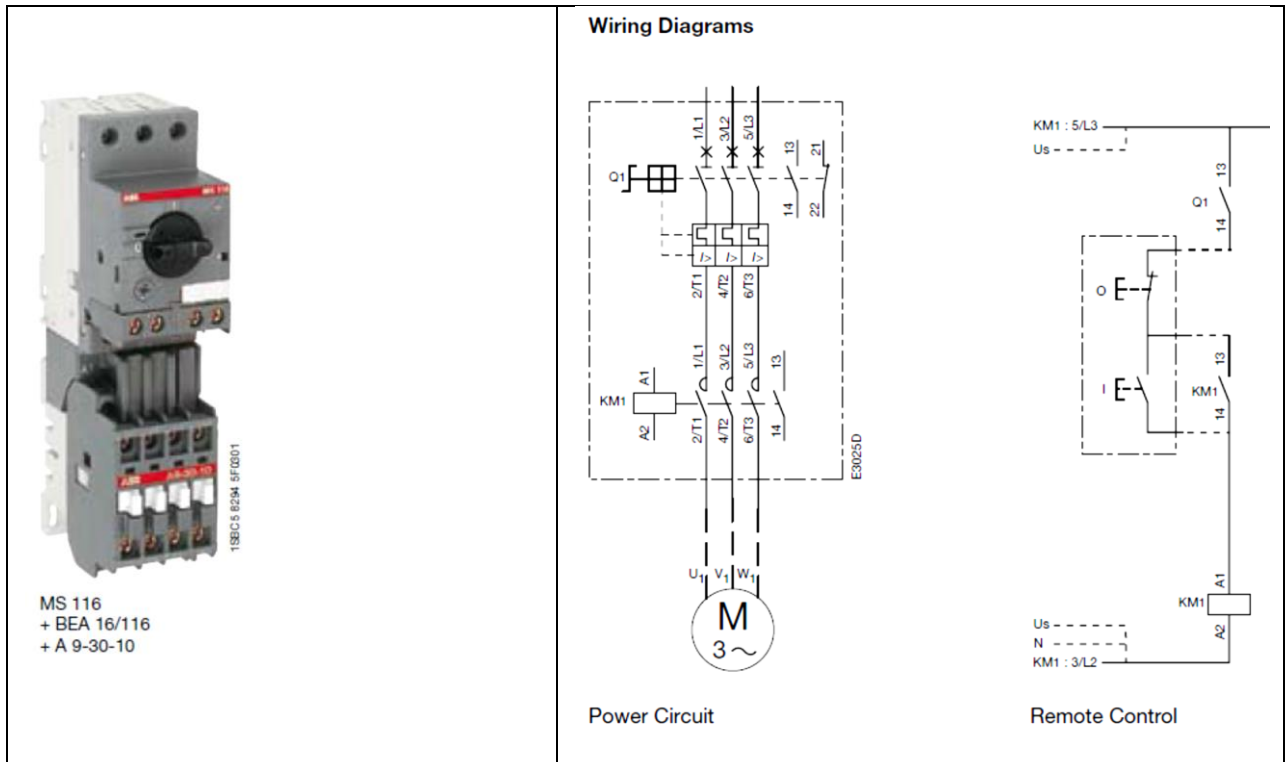


Рис. 5.13 Зовнішній вигляд автомату захисту двигуна, контактора та рекомендована схеми підключень електроприводів

Для електроприводу конвеєрної стрічки потужністю 5,5 кВт застосований автоматичний вимикач захисту двигуна SIEMENS SIRIUS 3RV2021-1KA10, діапазон регульованої теплової уставки 9.0 ... 12.5 А, номінальна потужність 5.5 кВт/ 400В , струм миттєвого спрацювання 163.0 А, номінальний струм 12.5 А, гарантований струм розчеплення при к.з 100кА / 400 В., типорозмір S0, пускова переваантажувальна характеристика CLASS 10.

Контактор Siemens 3RT2017-1AP1-0CC0, для комутації електродвигунів, 3-полюсний, АС-3, потужність двигуна 5,5кВт/400В, Іном. 12 А, з блок-контактом 1НВ, номінальна напруга управління АС 230 В, типорозмір S00, номінальний струм основного контакту 12 А, з можливістю комунікації, гвинтові клеми.

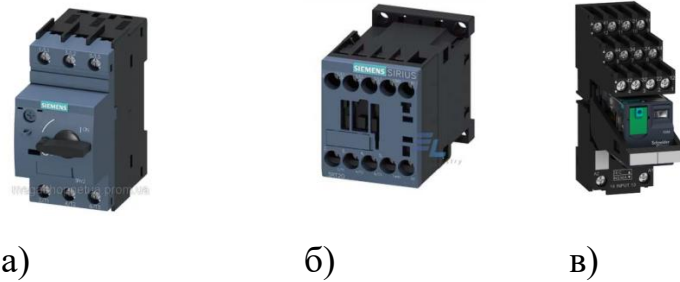


Рис. 5.14 Зовнішній вигляд:

- а) автоматичного вимикача 3RV2021-1KA10;
- б) контактора 3RT2017-1BB41-0CC0
- в) проміжного реле Schneider Electric RXM4AB2BDPVS

Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS) служить для розмноження сигналів та гальванічного розподілу.

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

5.4.1 Попередній вибір принципів побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі. Оскільки в системі автоматизації датчики, виконавчі пристрої, шафа з ПЛК та допоміжним устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно, тому виберемо централізовану контролерно-комп'ютерну мережу з реалізацією АРМ на панелі оператора. Для реалізації розроблених алгоритмів керування оберемо ПЛК SIMATIC S7-1500 із середовищем програмування TIA Portal.

5.4.2 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи. Виконавши аналіз системи автоматизації випічки хліба 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 виході контролера або
1	Температура повітря в І зоні	A	I	0...20 mA DC
2	Температура поверхні заготовки	A	I	0...20 mA DC
3	Сигнал датчика тиску газу	D	I	24 V DC
4	Сигнал датчика тиску пари	D	I	24 V DC
5	Сигнал датчика контролю факела	D	I	24 V DC
6	Сигнал стану авт.вимикача М1	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану контактора М1	D	I	24 V DC
8	Сигнал перемикача режиму М1	D	I	24 V DC
9	Сигнал стану авт.вимикача М2	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану контактора М2	D	I	24 V DC
11	Сигнал перемикача режиму М2	D	I	24 V DC
12	Сигнал стану авт.вимикача М3	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану контактора М3	D	I	24 V DC
14	Сигнал перемикача режиму М3	D	I	24 V DC
15	Сигнал стану авт.вимикача М4	D	I	24 V DC
16	Сигнал стану контактора М4	D	I	24 V DC
17	Сигнал перемикача режиму М4	D	I	24 V DC
18	Сигнал стану кнопки АвСтоп М4	D	I	24 V DC
19	Сигнал керування М1	D	O	24 V DC
20	Сигнал керування М2	D	O	24 V DC
21	Сигнал керування М3	D	O	24 V DC
22	Сигнал керування М4	D	O	24 V DC
23	Сигнал керування відсічним клапаном подачі газу	D	O	24 V DC
24	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC
25	Сигнал керування запальником	D	O	24 V DC
26	Сигнал керування виконавчим механізмом подачі газу	A	O	0...10 V DC
27	Сигнал керування викон. мех.	A	O	0...10 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:
AI – 2, AO – 2, DI – 16, DO – 7

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

В системі автоматизації ПЛК та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно, тому виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування.

Систему керування ПЛК будемо розробляти на базі контролера S7-1500 фірми Siemens. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

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

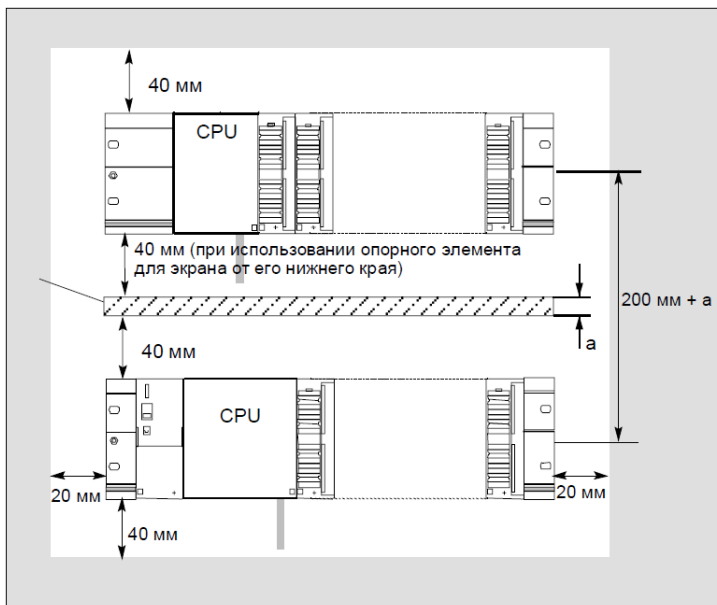


Рис. 5.15 Зазори при встановленні S7-1500 у шафі

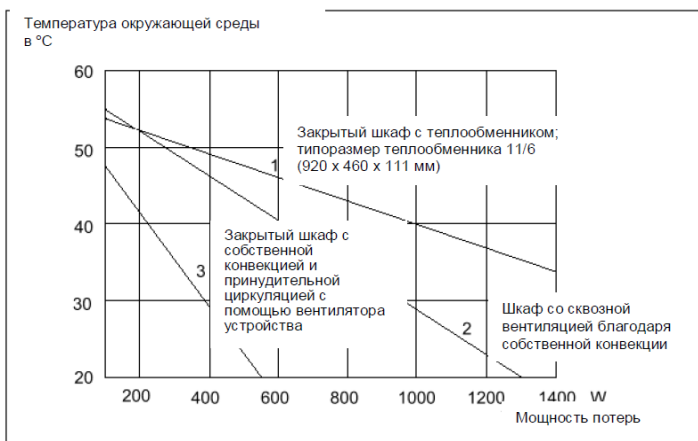


Рис. 5.16 Диаграмма припустимих потужностей розсіювання

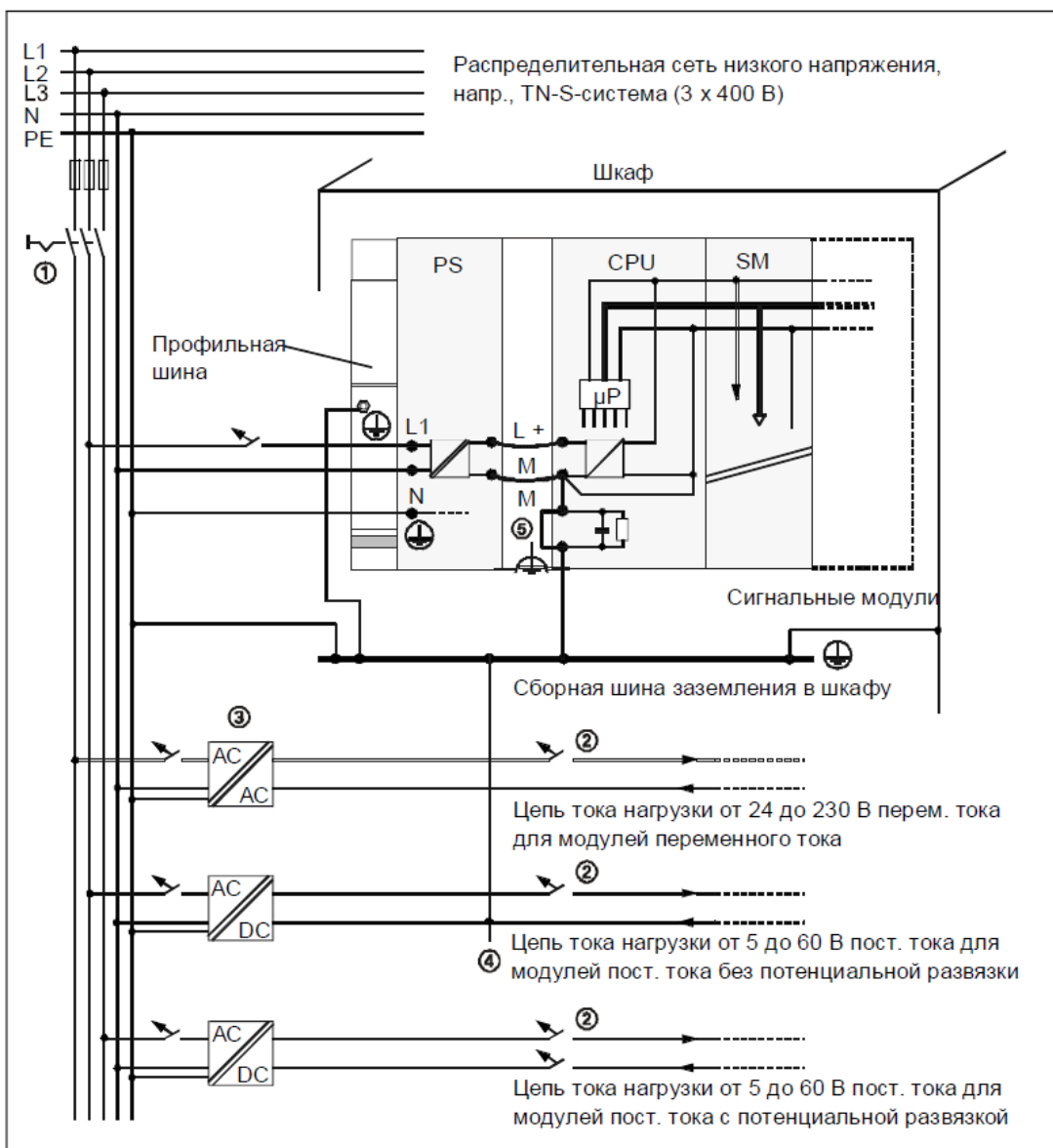


Рис. 5.16 Схема заземлення в шафі

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 приймає наступний вигляд.

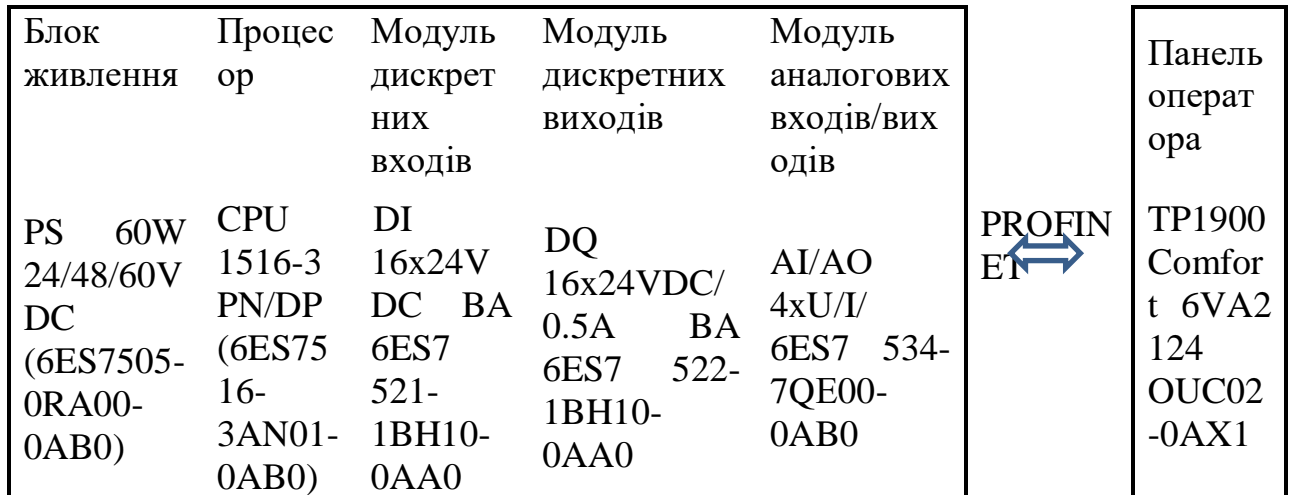


Рис. 5.17 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Центральний процесор CPU 1516-3 PN / DP призначений для побудови систем управління, 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.

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. 5.18 Технічні дані CPU

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)

Дискретные входы	
Количество входов	16
Количество групп входов	1
Активный уровень входного сигнала	Высокий (P)
Входная характеристика по IEC 61131:	
• типа 1	Нет
• типа 3	Есть
Входное напряжение:	
• номинальное значение	=24 В
• сигнала низкого уровня	+5 ... -30 В
• сигнала высокого уровня	+11 ... +30 В
Входной ток сигнала высокого уровня, типовое значение	2.5 мА
Задержка распространения входного сигнала при номинальном входном напряжении:	
• для стандартных входов	0.05/ 0.1/ 0.4/ 1.6/ 3.2/ 12.8/ 20 мс
• настройка	Есть
• для входов аппаратных прерываний	
• настройка	Есть
Длина кабеля, не более:	
• экранированный кабель	1000 м
• обычный кабель	600 м

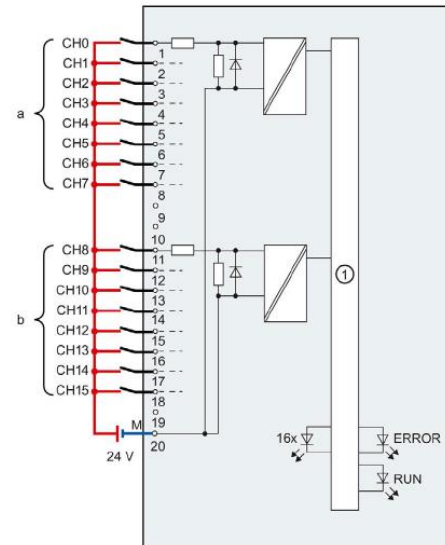


Рис. 5.19 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)

Дискретные выходы	
Количество выходов	16
Количество потенциальных групп выходов	2
Тип ключа выходного каскада	Транзисторный
Настраиваемая реакция на остановку центрального процессора	Нет
Коммутация	P шины питания нагрузки
Защита выходов от коротких замыканий	Есть, электронная, тактируемая
• ток срабатывания защиты, типовое значение	1 А
Ограничение коммутационных перенапряжений до уровня	U_L - 53 В
Использование дискретного входа в качестве нагрузки	Возможно
Коммутационная способность выхода:	
• при активной нагрузке, не более	0.5 А
• при ламповой нагрузке, не более	5 Вт
Сопротивление нагрузки	48 Ом ... 12 кОм
Выходное напряжение высокого уровня, не менее	U_L - 0.8 В
Ток выхода:	
• сигнала высокого уровня, номинальное значение	0.5 А
• сигнала низкого уровня, не более	0.5 мА
Время переключения при активной нагрузке, не более:	
• от низкого к высокому уровню	100 мкс

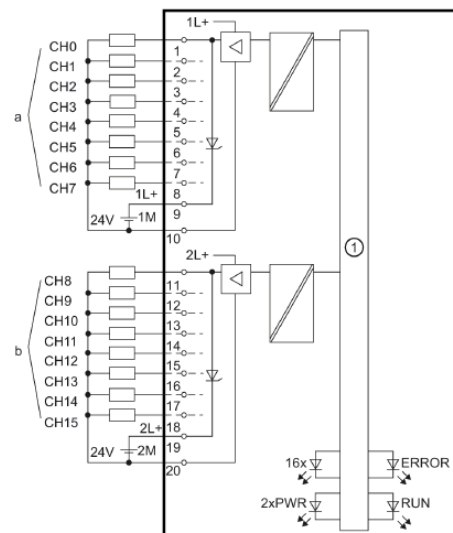


Рис. 5.20 Технічні характеристики та схема підключень DQ 16x24VDC/0.5A BA

Рекомендації щодо підключення дискретних сигналів. У тих випадках, коли від контакторів приходять сигнали ~ 220 В змінного струму, то для їхнього перетворення в сигнали ≈ 24 В постійного струму слід використовувати інтерфейсні реле, наприклад, фірми Relpol.

Для захисту вихідних ланцюгів модулів дискретного виходу від індуктивних перенапруг, які виникають при відключенні індуктивностей (котушок реле й контакторів), при монтажі слід керуватися наступними рекомендаціями:

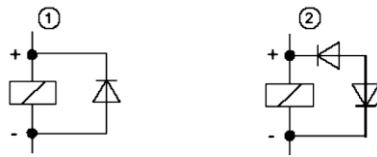


Рис. 5.21 - Рекомендації Siemens при підключенні дискретних виходів

Для вводу/виходу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0).

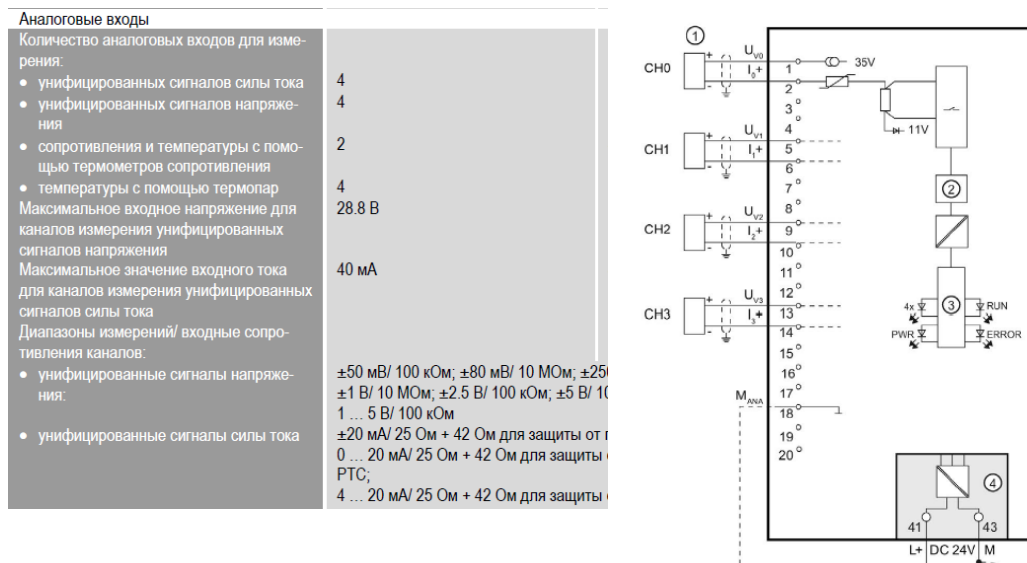


Рис. 5.22 Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0

Аналоговые выходы	
Количество выходов	2
Количество групп входов	1
Защита от коротких замыканий:	Только для каналов напряжения
• ток короткого замыкания, не более	24 мА
Выходное напряжение канала силы тока при отсутствии нагрузки, не более	22 В
Время цикла (все каналы), не менее	3.2 мс (независимо от количества каналов, находящихся в активном состоянии)
Выходные диапазоны:	
• унифицированные сигналы напряжения	±10 В; 1 ... 5 В; 0 ... 10 В
• унифицированные сигналы силы тока	±20 мА; 0 ... 20 мА; 4 ... 20 мА
Схемы подключения исполнительных устройств:	
• 2-проводная для канала напряжения	Есть
• 4-проводная для канала напряжения	Есть
• 2-проводная для канала силы тока	Есть
Параметры цепи нагрузки:	
• для каналов напряжения:	
- активное сопротивление, не менее	1 кОм (0.5 кОм для диапазона 1 ... 5 В)
- емкость, не более	1 мкФ
• для каналов силы тока:	
- активное сопротивление, не более	750 Ом
- индуктивность, не более	10 мГн
Длина экранированного кабеля, не более:	
• для каналов силы тока	800 м
• для каналов напряжения	200 м

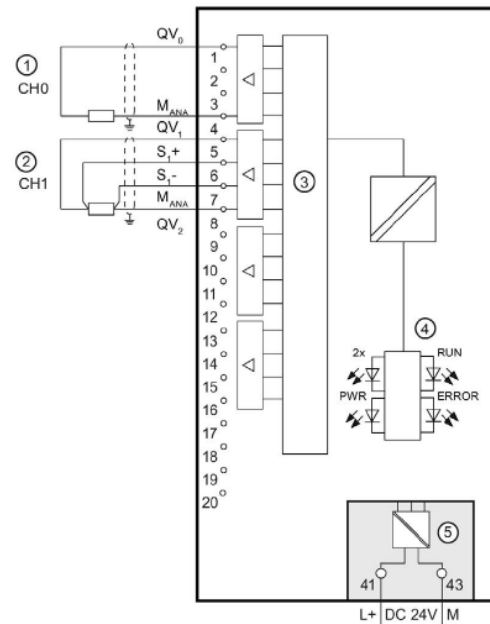


Рис. 5.23 Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0

5.5 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом випічки хліба в тунельній печі. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту 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.

6. ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, КОНТРОЛЕРА І МЕРЕЖ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ САК

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

У середовищі TIA Portal створюємо проєкти додаємо до його складу контролер CPU 1516-3 PN / DP та панель оператора TP1900 Comfort, які за своїми технічними характеристиками відповідають поставленій задачі автоматизації.

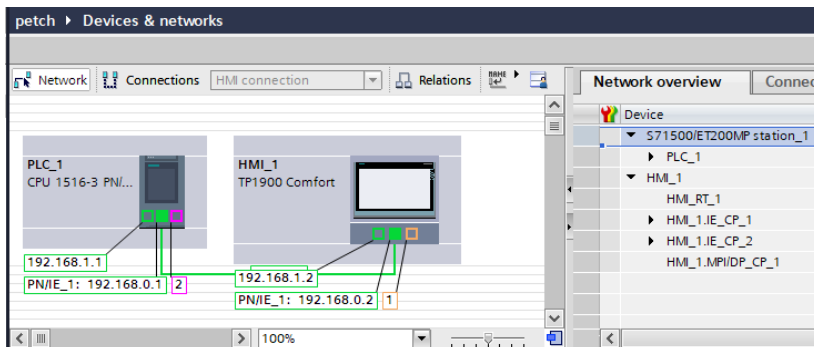


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проєкту

Проводимо налаштування мережевих зв'язків між ними, вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMIconnection.

Виконуємо конфігурування обраного контролера і його модулів ПЗО. Спочатку необхідні модулі вводу/виводу перетягуємо в поле редагування з бібліотеки, присвоюємо імена фізичним входам і виходам.

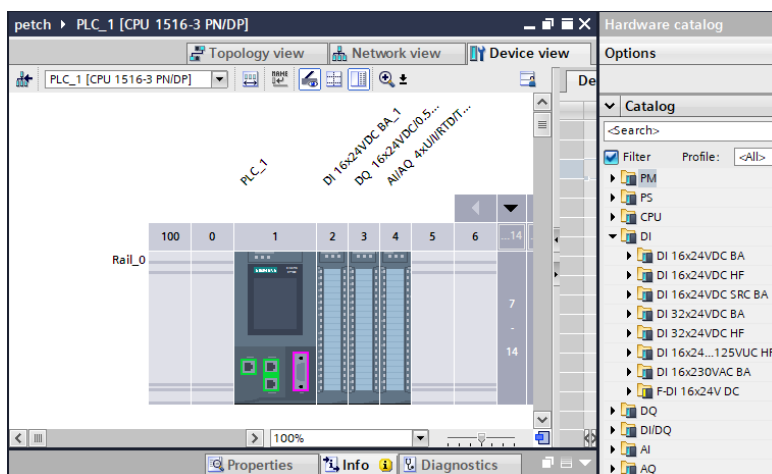


Рис. 6.2 Визначення модулів ПЗО

Визначаємо у властивостях модулів вид сигналів та діапазони їх зміни.

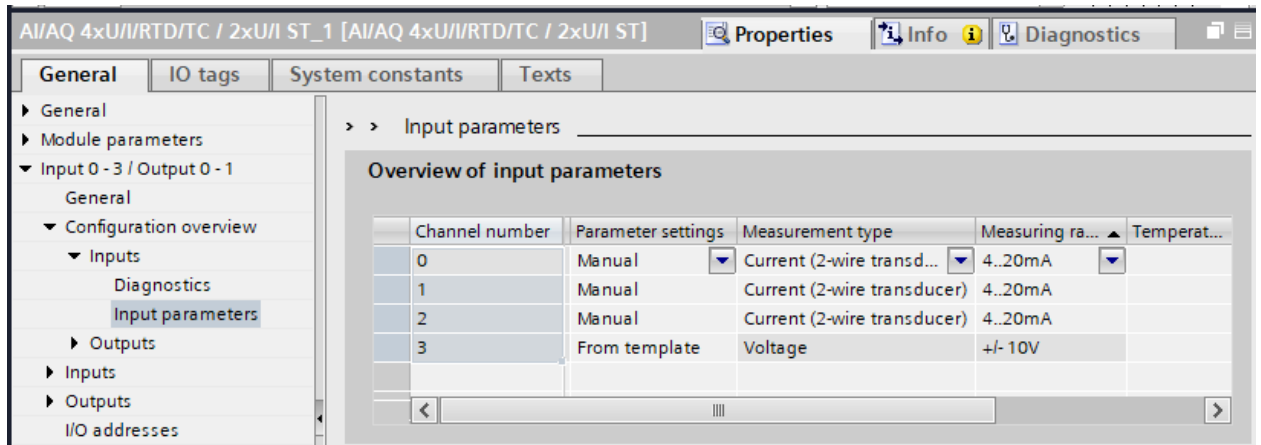


Рис. 6.3 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни

На вкладці IOtags (рис. 6.3) визначаємо імена змінних для вхідних і вихідних сигналів. Остаточне редагування імен входів/виходів відповідно до табл. 5.5 проводимо в таблиці тегів програми.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...
15	bHomeValve	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	bWorkVale	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	bKontM1	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	bKontM2	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	bKontM3	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	bKontM4	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	bKVRM1	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	bKVRM2	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	bKVRM3	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	bKVRM4	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	bAVM1	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	bAVM2	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	bAVM3	Bool	%I1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	bAVM4	Bool	%I1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	bAVM5	Bool	%I1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	bDaviGaz	Bool	%I1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис. 6.4 Приклад вікна таблиці тегів

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

6.2.1 В дереві каталогу проекту створюємо два підкаталоги: Сусліс, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи

регулювання, 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.

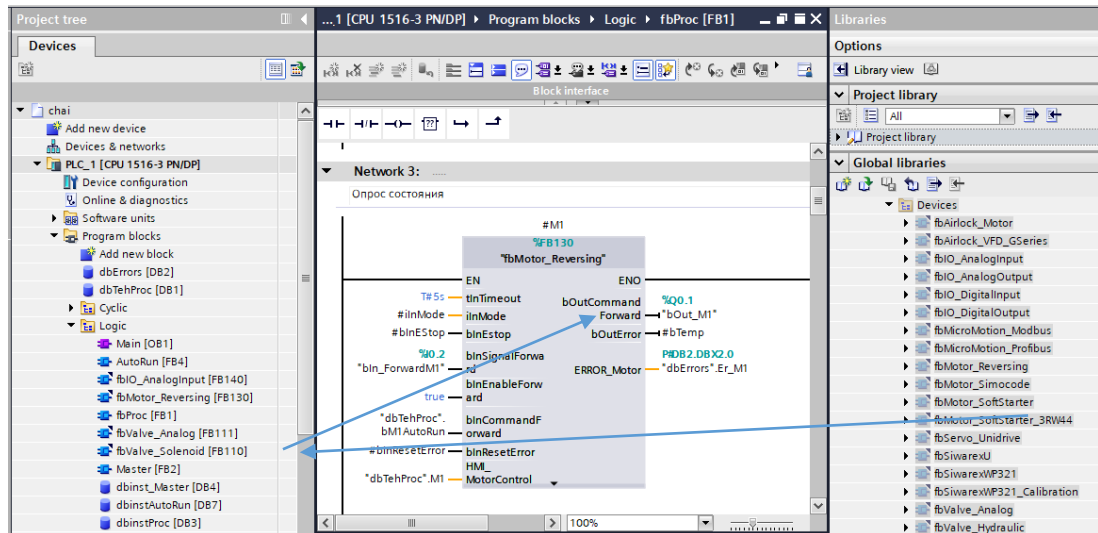


Рис. 6.5 Приклад додавання функціонального блоку FbMotor

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

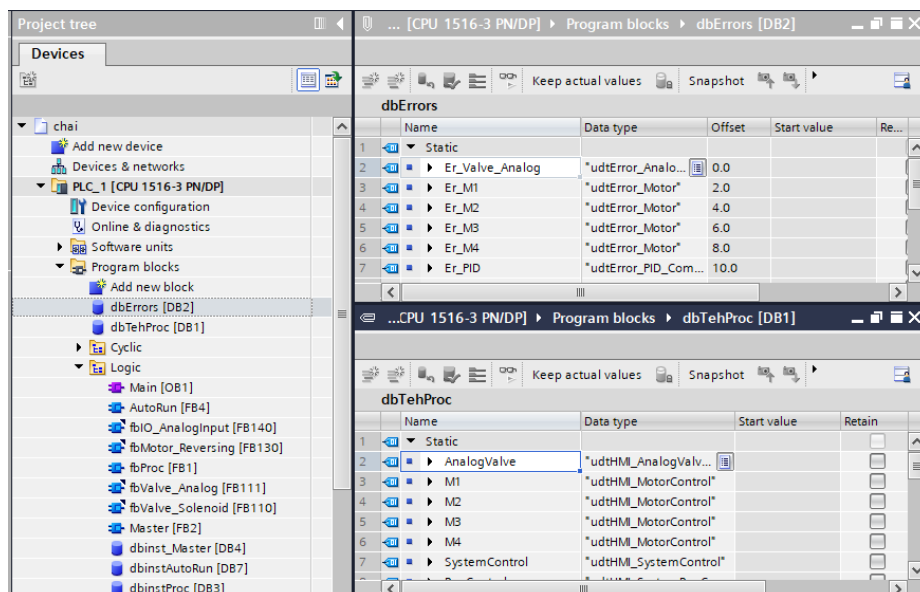


Рис. 6.6 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

6.2.2 Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів M1...M4, 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
1	Input				
2	inMode	Int	0	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>
3	binEStop	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
4	binResetError	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
5	binSimulate	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Output				
7	bOutAuto	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
8	bOutError	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
9	InOut				
10	<Add new>				
11	Static				
12	M1	*fbMotor_Reversing*			<input checked="" type="checkbox"/>
13	M2	*fbMotor_Reversing*			<input checked="" type="checkbox"/>
14	M3	*fbMotor_Reversing*			<input checked="" type="checkbox"/>
15	M4	*fbMotor_Reversing*			<input checked="" type="checkbox"/>
16	AnalogValve	*fbValve_Analog*			<input checked="" type="checkbox"/>
17	AnalogValve_1	*fbValve_Analog*			<input checked="" type="checkbox"/>
18	Temperature	*fbIO_AnalogInput*			<input checked="" type="checkbox"/>
19	SolValve	*fbValve_Solenoid*			<input checked="" type="checkbox"/>
20	rOutAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
21	rOutAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
22	rinAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
23	rinAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
24	iTemper	Int	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
25	wTempRez	Word	16#0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
26	wTemp	Word	16#0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
27	unipolar	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
28	Temp				
29	bTemp	Bool			<input type="checkbox"/>
30	wTemp	Word			<input type="checkbox"/>
31	Constant				

Рис. 6.7 Інтерфейс 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. 6.8).

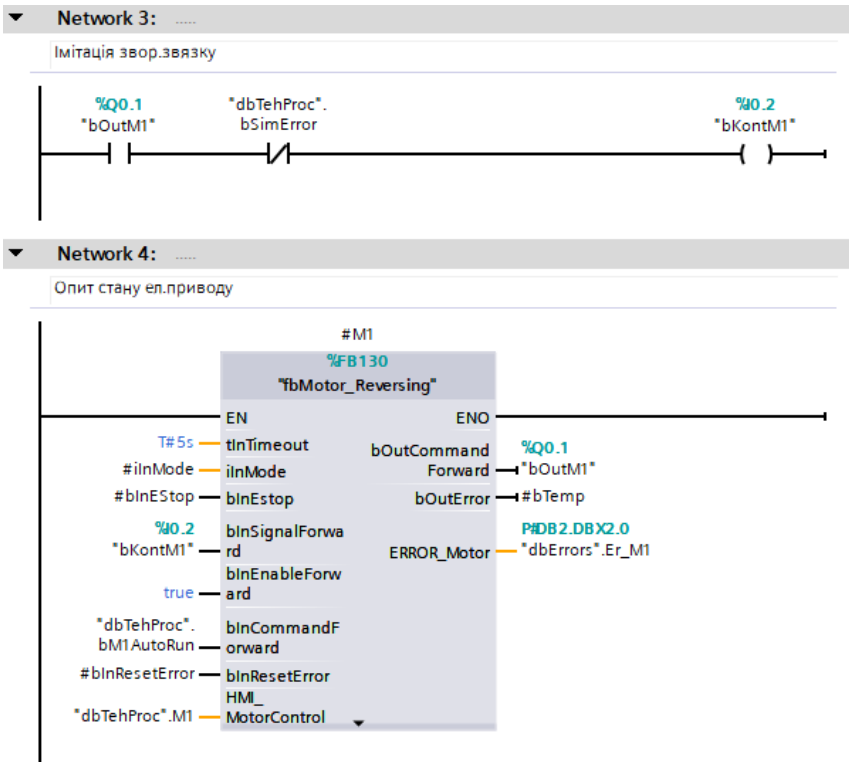


Рис. 6.8 Фрагмент підпрограми fbProc

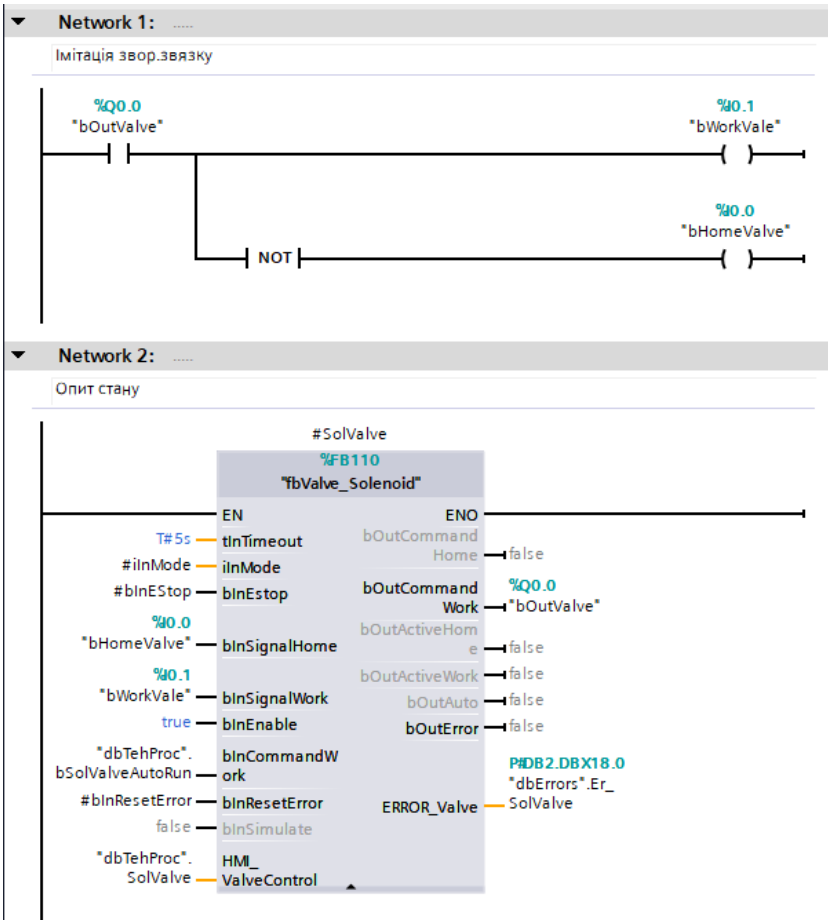


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

Аналогічно здійснюється опит стану відсічного (рис. 6.9) та аналогових клапанів (рис. 6.10). Для цього викликаються екземпляри бібліотечних функціональних блоків fbValve_Solenoid, fbValve_Analog, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

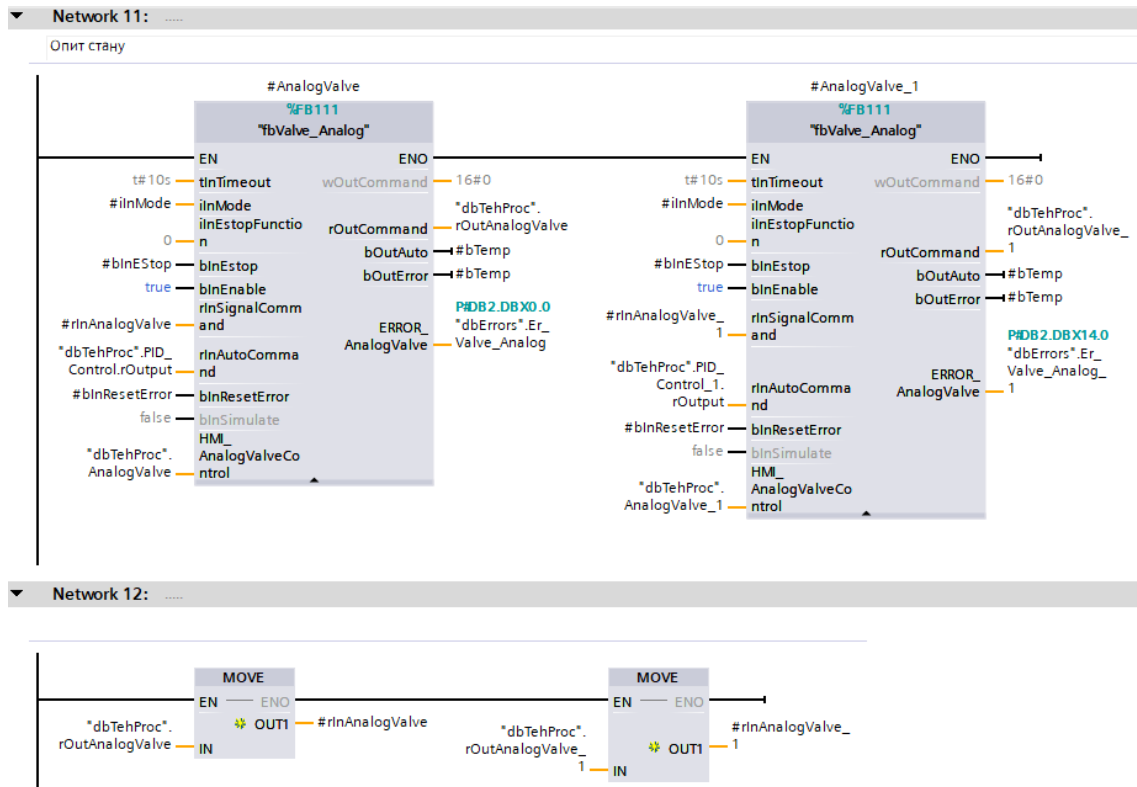


Рис. 6.10 Фрагмент підпрограми fbProc

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання (рис. 6.11).

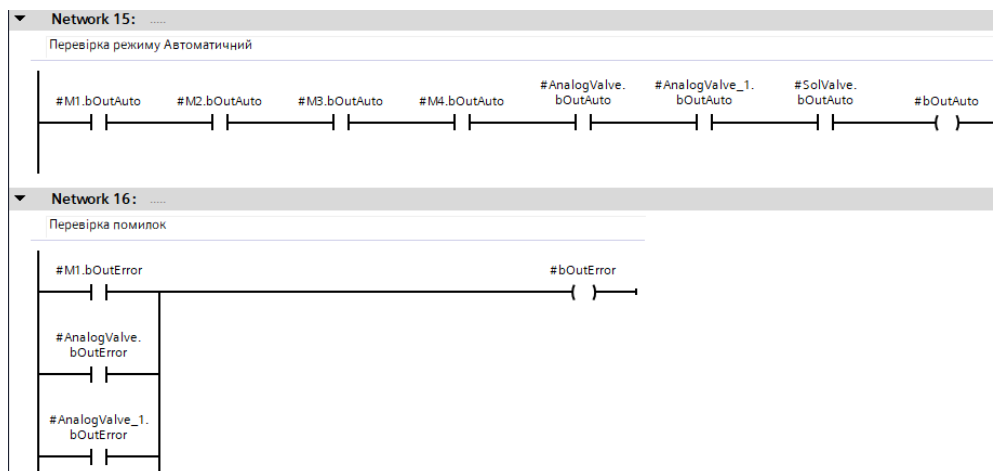


Рис. 6.11 Фрагмент підпрограми fbProc

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

Спочатку створюється інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun, в якому вказуються змінні та їх типи (рис. 6.12).

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible
1	Input				
2	bInEnableStart	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
3	bInNotError	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Output				
5	bOutAutoRunning	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
6	InOut				
7	<Add new>				
8	Static				
9	bAutoRun	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
10	bAutoStop	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
11	bZvuk	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
12	bM1	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
13	bSV	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
14	bM4	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
15	bAV	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Timer1	IEC_TIMER		Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Timer2	IEC_TIMER		Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Timer3	IEC_TIMER		Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Timer4	IEC_TIMER		Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
20	Timer5	IEC_TIMER		Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
21	Timer6	IEC_TIMER		Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>
22	Temp				

Рис. 6.11 Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.13), 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.

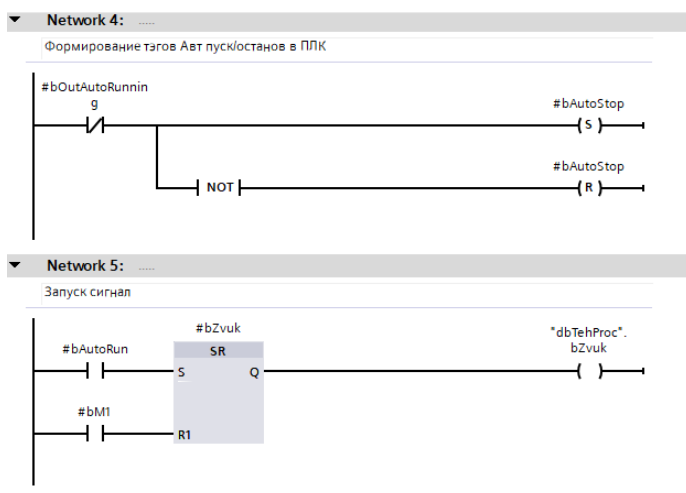


Рис. 6.13 Фрагмент підпрограми fbAutoRun

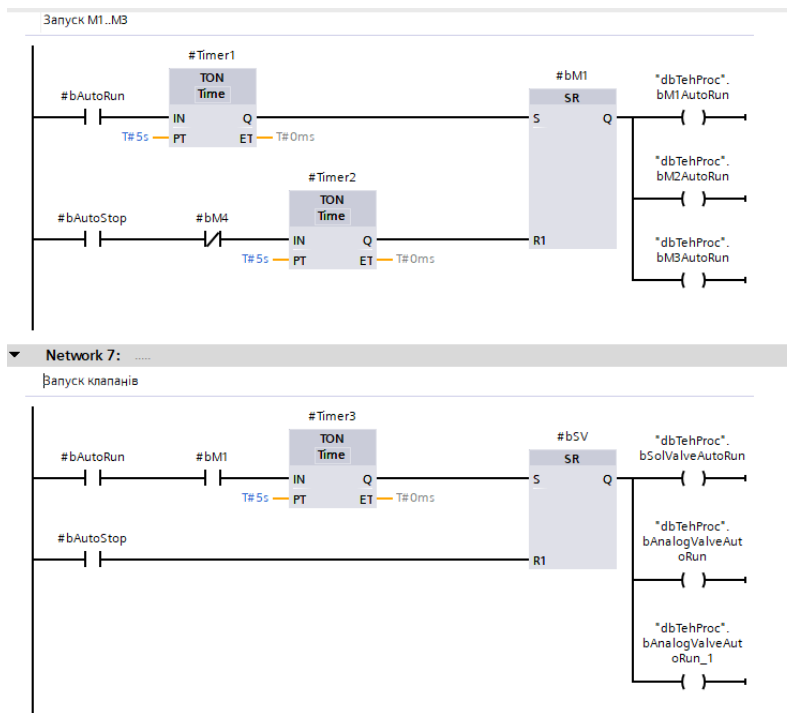


Рис. 6.13 Фрагмент підпрограми fbAutoRun

Завершують підпрограму строки із визначенням режиму роботи ПД-регулятора (рис.)

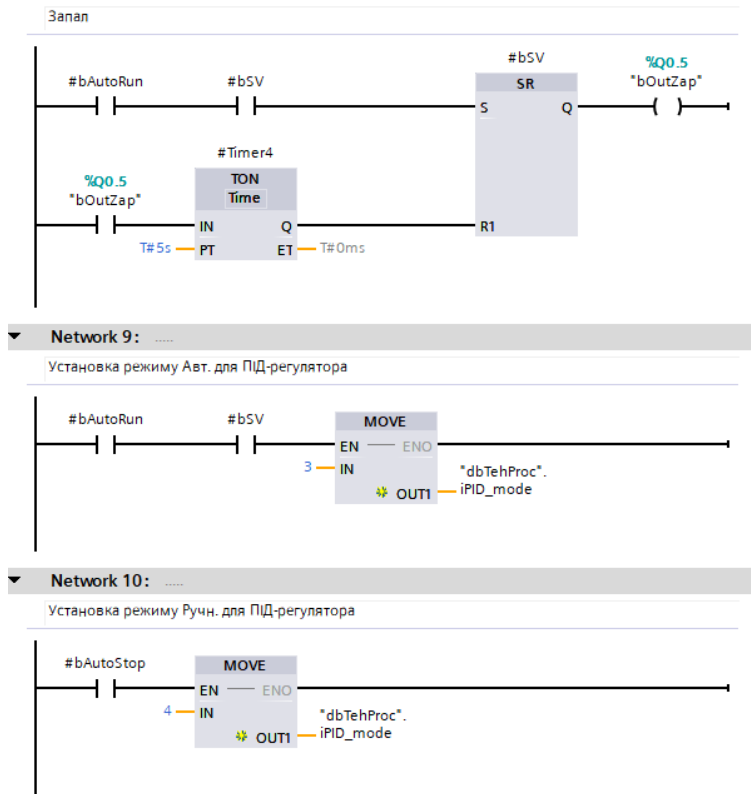


Рис. 6.13 Фрагмент підпрограми AutoRun

Виклик на виконання підпрограм `fbProc` та `fbAutoRun` здійснюється в підпрограмі `Master` (рис. 6.14), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі `Main` (OB1).

Master			
	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	<Add new>		
3	Output		
4	<Add new>		
5	InOut		
6	<Add new>		
7	Static		
8	<code>bResetProc</code>	Bool	false
9	<code>bSimulate</code>	Bool	false
10	<code>bProcAuto</code>	Bool	false
11	<code>bProcError</code>	Bool	false

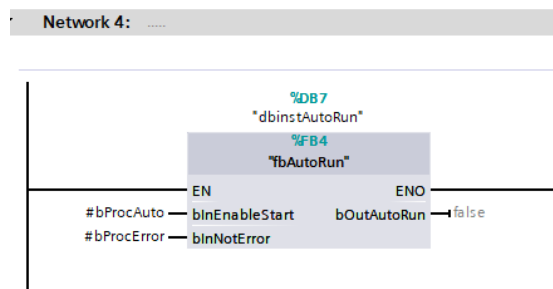
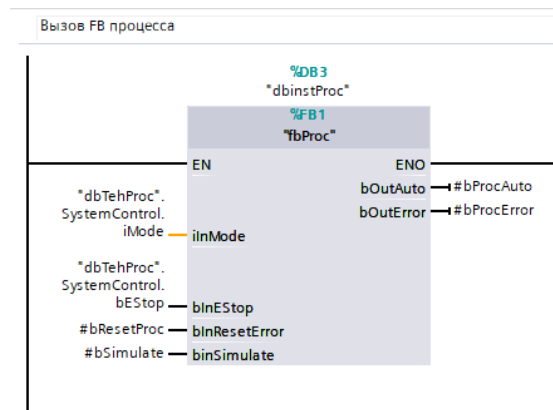


Рис. 6.14 Інтерфейс та текст підпрограми Master

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

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

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

Модель САР реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якої виконується кожну 0,1 сек в організаційному блоці Cyclicinterrupt (OB30). Необхідність використання саме організаційного блоку OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК, і типового регулятора fbPID_Compact з бібліотеки OpenLibrary. Інтерфейс підпрограми САР представлений на рис. 6.15, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.

	Name	Data type	Default value
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
17	■ rChenel2	Real	0.0
18	■ rChenel3	Real	0.0
19	■ uDelayCycles	UInt	26
20	■ uDelayCycles_1	UInt	5
21	▼ Temp		
22	■ bTemp	Bool	
23	■ iTemp	Int	
24	■ diTemp	DInt	
25	■ dwTemp	DWord	
26	■ rTemp	Real	
27	▼ Constant		

Рис. 6.15 Інтерфейс функціонального блоку fbSAR

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

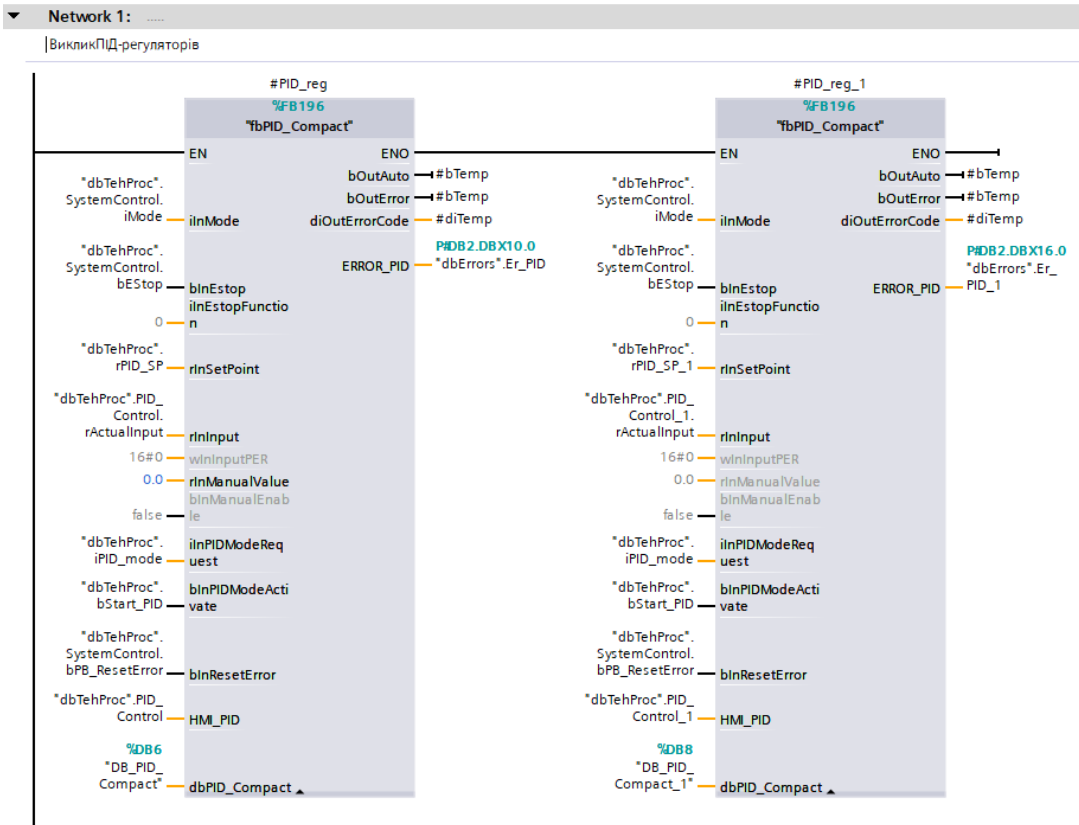


Рис. 6.16 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR, що реалізує ПД-регулятори

Налаштування параметрів ПД-регуляторів проводимо через їх блоки даних, що знаходяться в розділі Technologyobjects в дереві каталогу проекту.

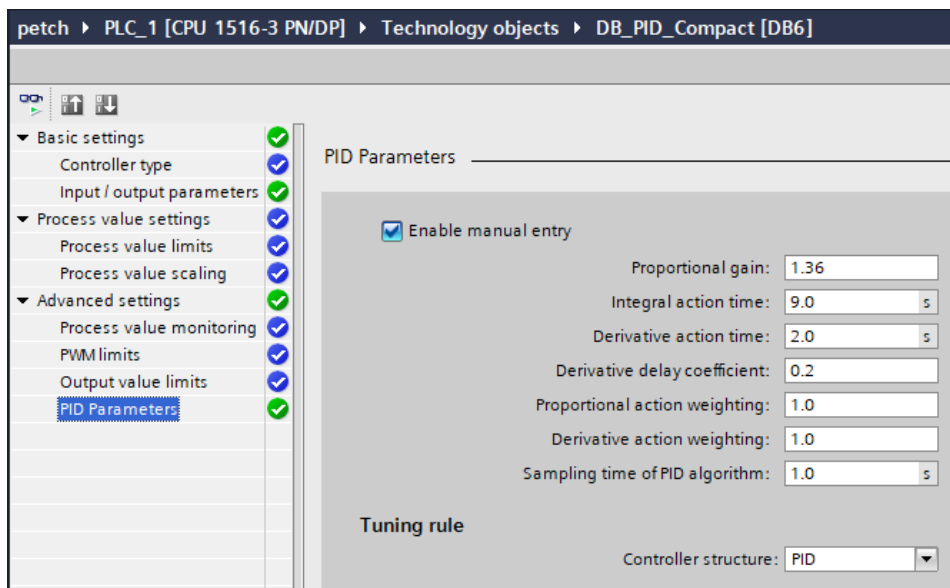


Рис. 6.17 Приклад налаштування параметрів ПД-регулятора

Вихідні сигнали ПД-регуляторів підключаються до входів функціональних блоків аналогових клапанів (див. рис. 6.10).

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.17). Параметри моделі відповідають значенням, розрахованим в розділі 3.

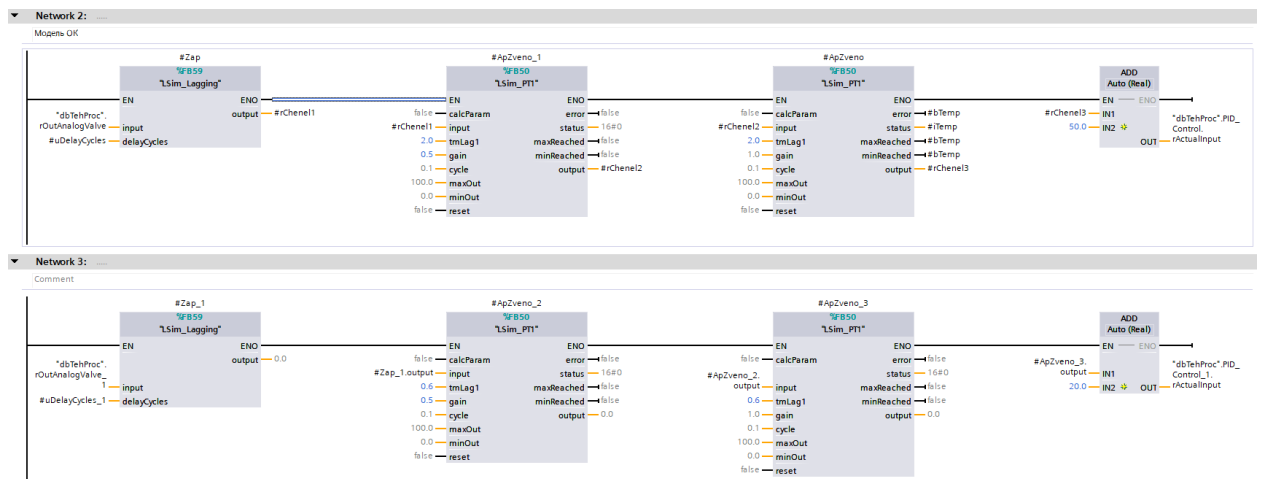


Рис. 6.18 Фрагмент функціонального блоку fbSAR, що реалізує модель ОК

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM. Нарисунку 6.19 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.



Рис. 6.19 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 вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та принципи їх програмування.

Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору 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.

7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКАСАК

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

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMIconnection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET.

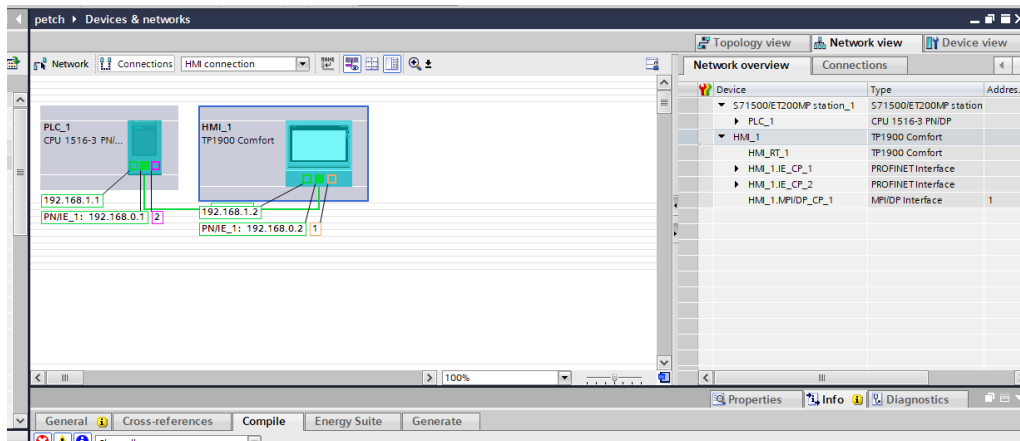


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

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

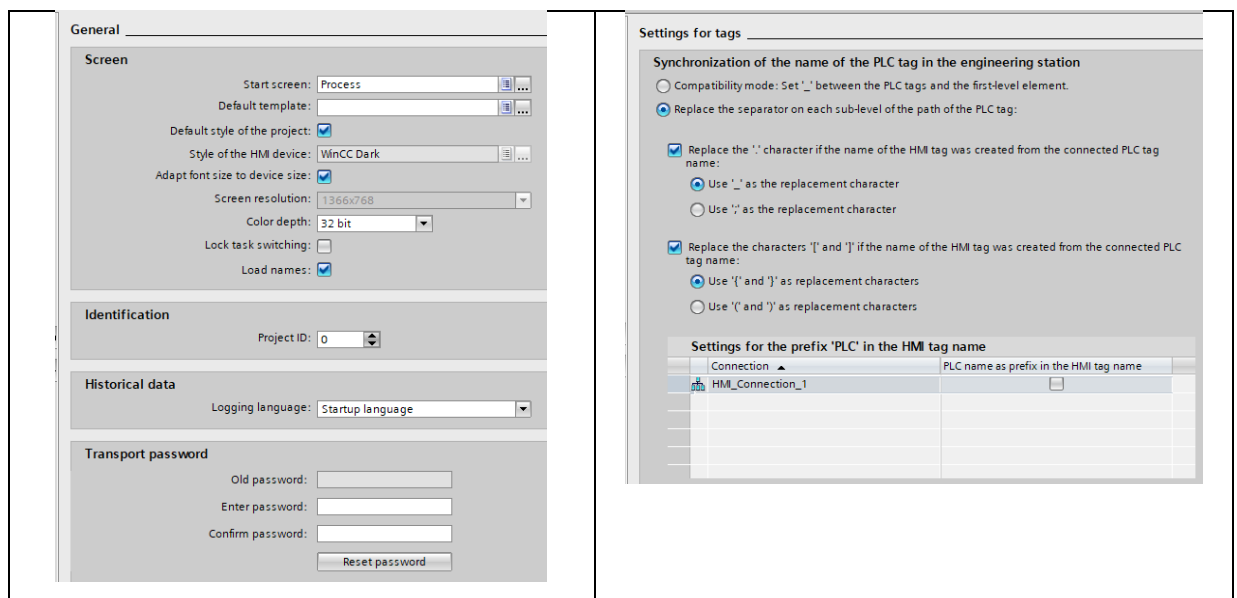


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

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

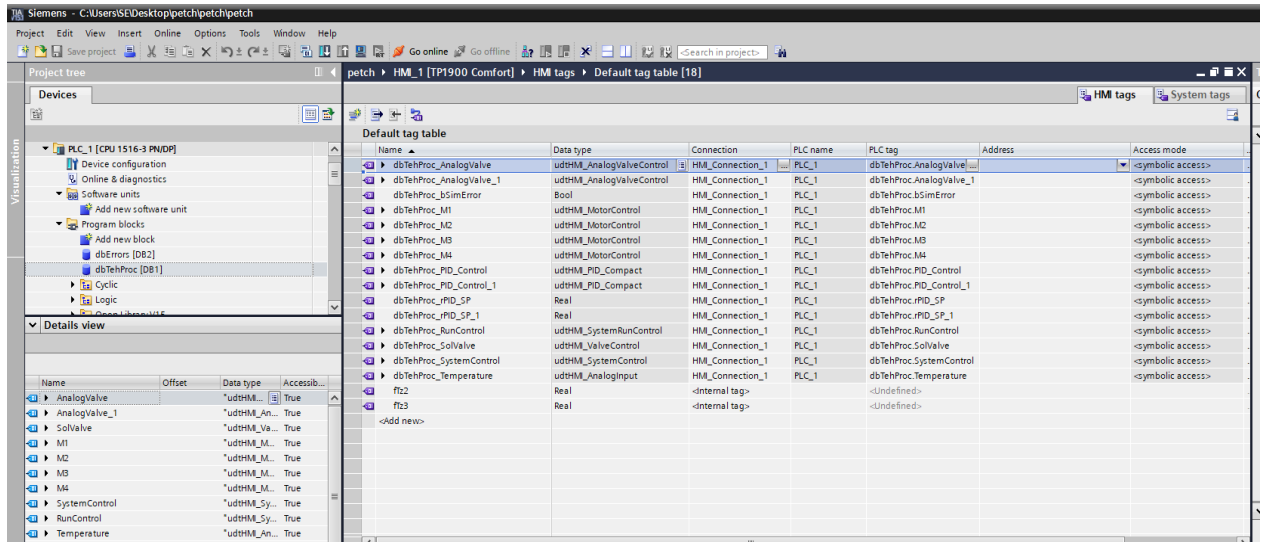


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці НМІ-тегів

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 процесом жаріння м'ятки;
- екран схеми установки для управління технологічним процесом;
- екран для спостереження за регульованими змінними;
- екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічного агрегату.

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 спостереження за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регуляторів;

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 ScreenManagement дерева каталогу проекту в розділі НМІ. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, як і входять в проект.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Він включає логотипи академії, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту.

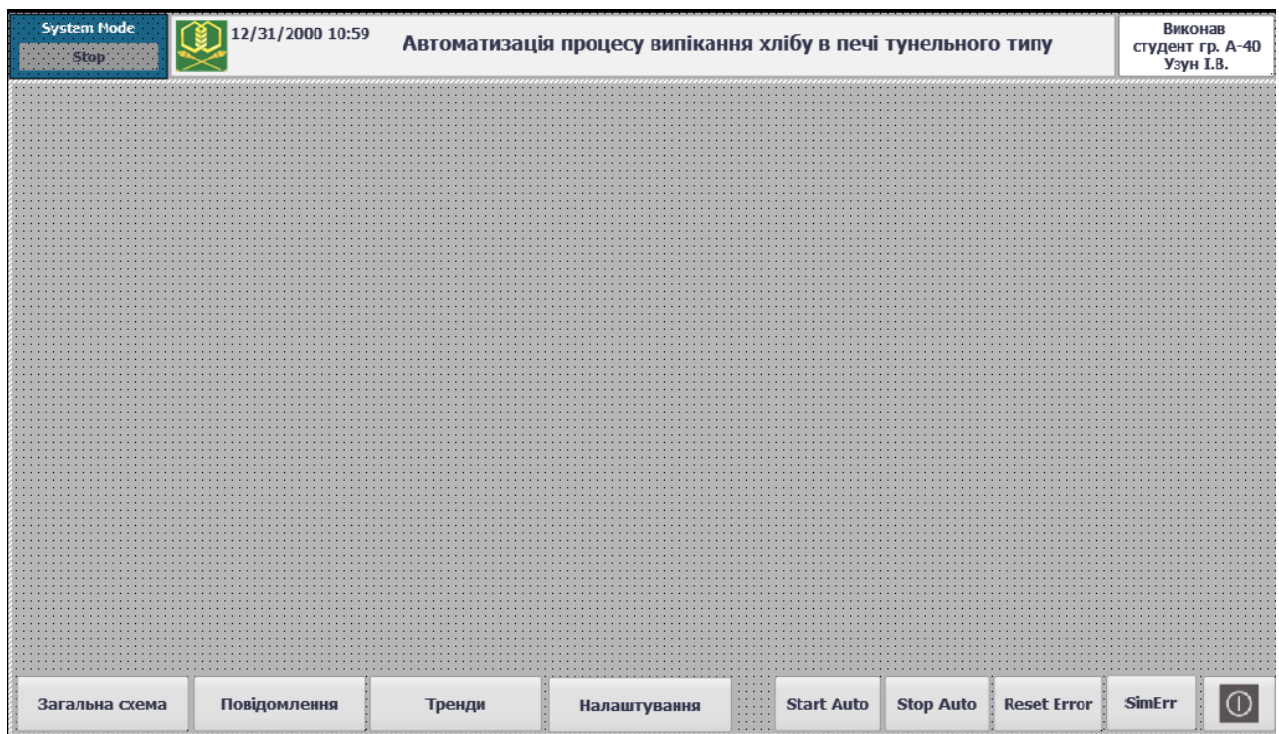


Рис.7.4– Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції.

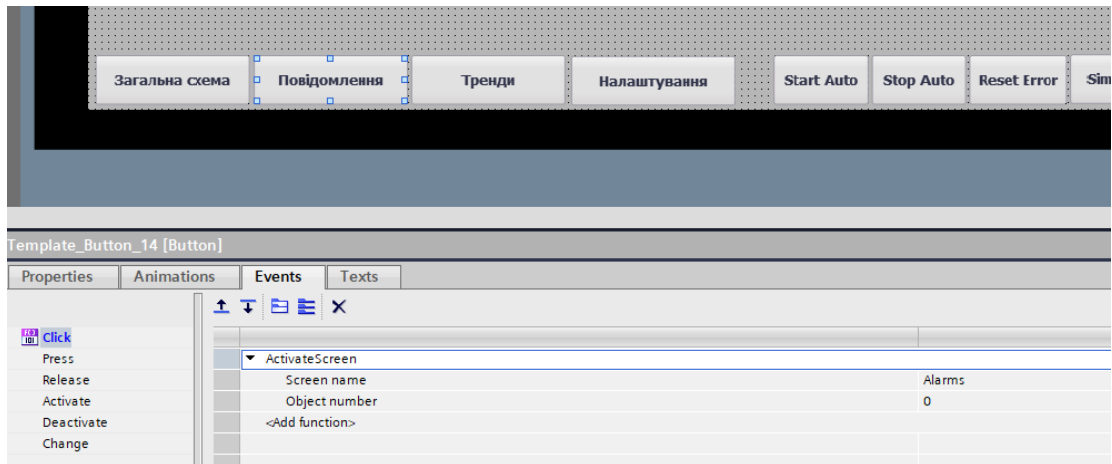


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «ActivateScreen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

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

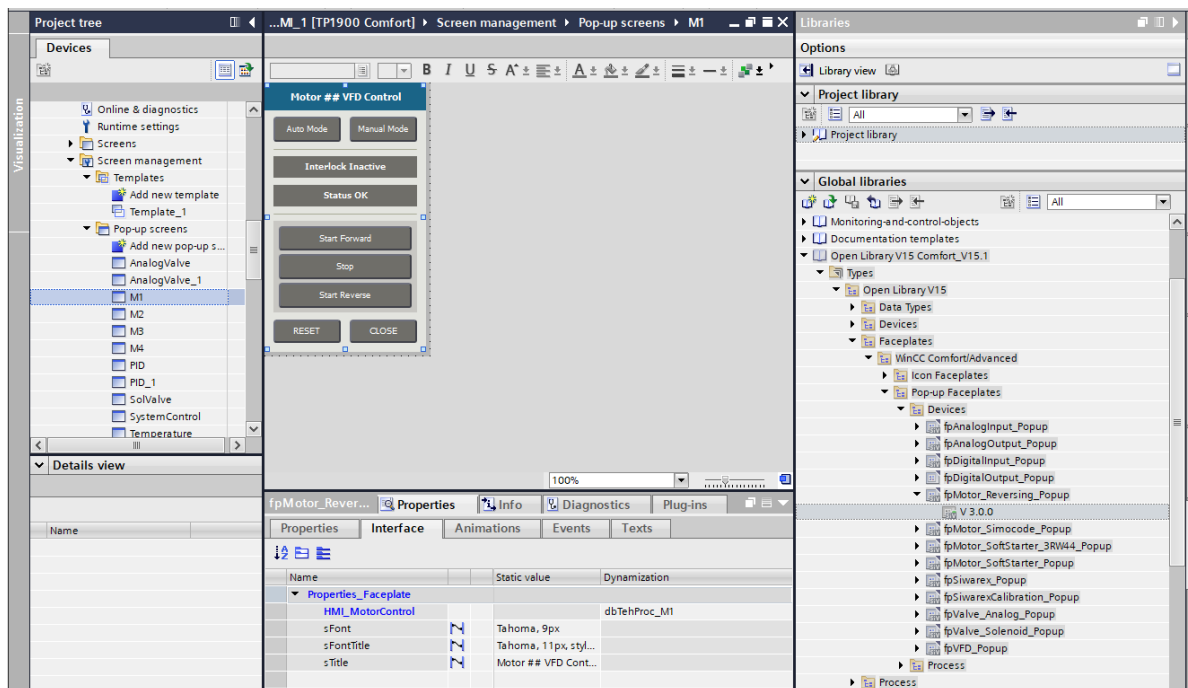


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням

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

Основний екран «Схема установки» містить схематичне зображення системи волого-термічної обробки м'ятки 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 управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи.

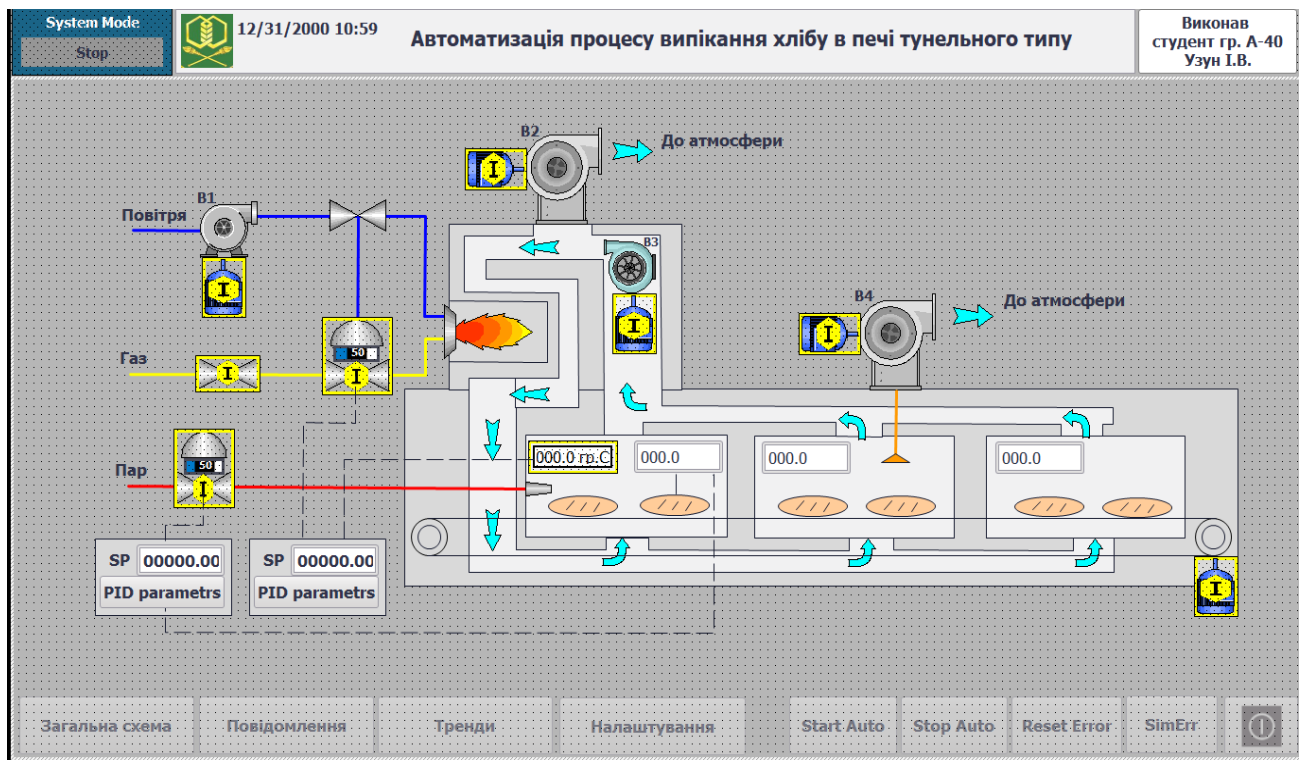


Рис. 7.7 Екран схеми установки

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

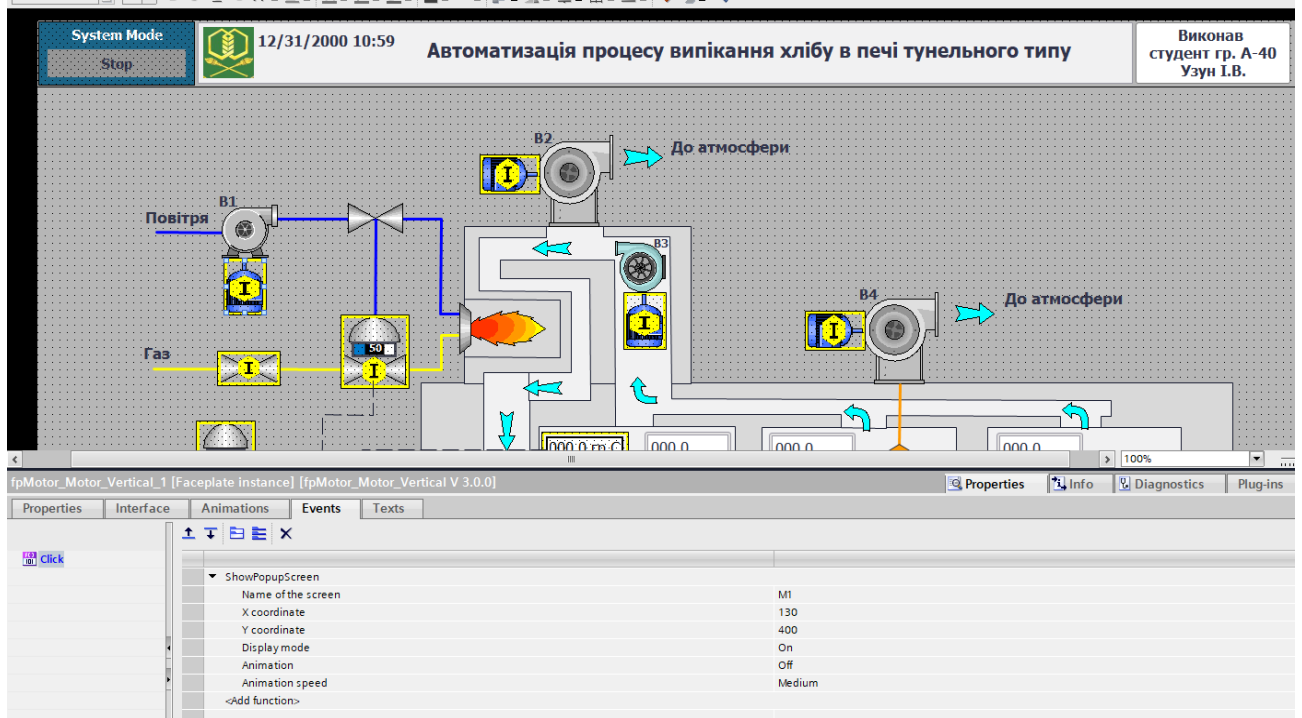


Рис. 7.8 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкриття 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 ПД-регуляторів в проекті передбачений екран PID (рис. 7.9).

Для побудови графіків змін температури і вологості мезги використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.10.

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

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

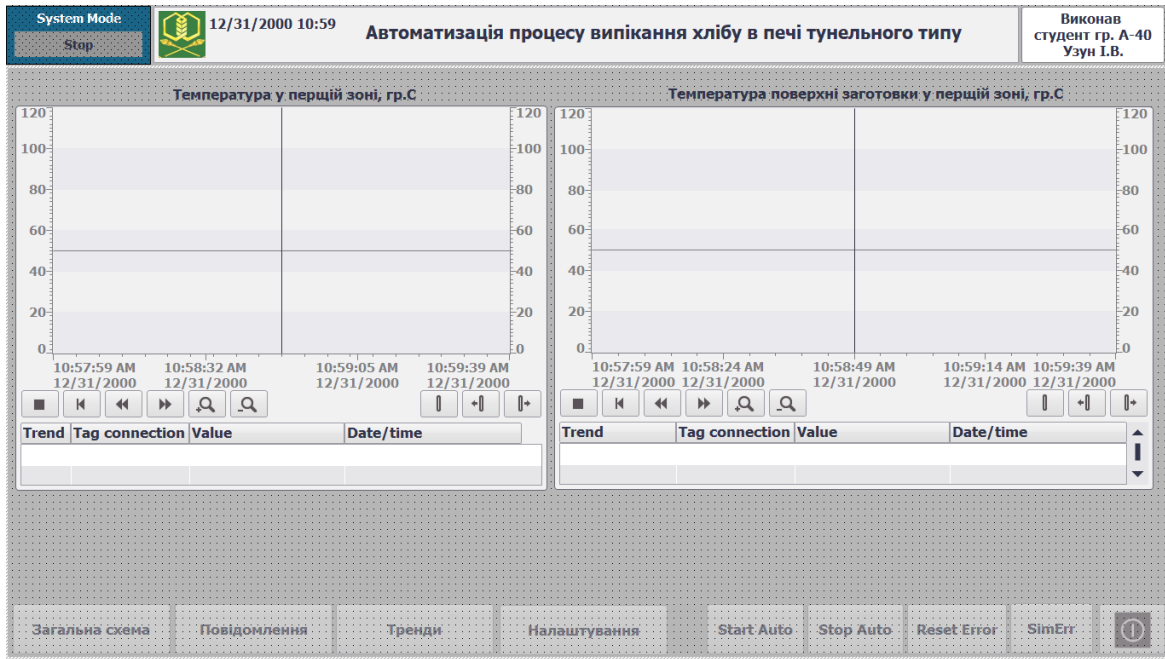


Рис. 7.9 Екран графіків

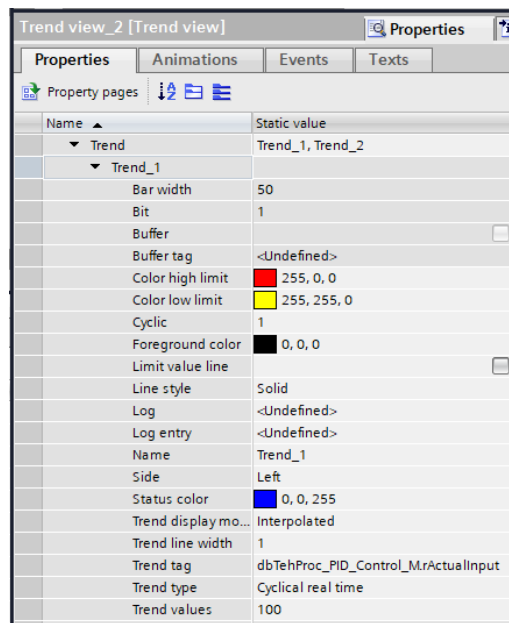


Рис. 7.10 Вікно налаштування елементу Trend

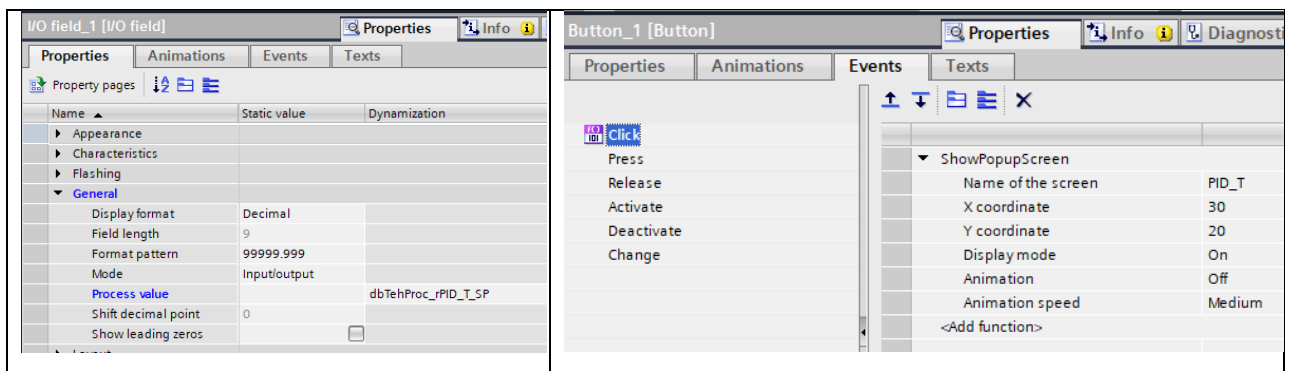


Рис. 7.11 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і виникнення подій (Alarm) з обладнанням установки 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.

Name	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address
Er_SolValve	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW18
ErM1	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW2
ErM2	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW4
ErM3	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW6
ErM4	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW8
ErPID	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW10
ErTemper	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW12
ErValveAnalog	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW0
ErValveAnalog_1	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW14

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigge..	Trigger address	HMI acknowl...	HMI a...	HMI acknowl...	Report
4	Discrete_alarm_4	NoSignalForward	Errors	ErM1	11	%DB2.DBX2.3	<No tag>	0		<input type="checkbox"/>
5	Discrete_alarm_5	NoSignalReverse	Errors	ErM1	12	%DB2.DBX2.4	<No tag>	0		<input type="checkbox"/>

Рис. 7.13 Приклад привязки тегів dbErrors з HMI-тегами

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

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

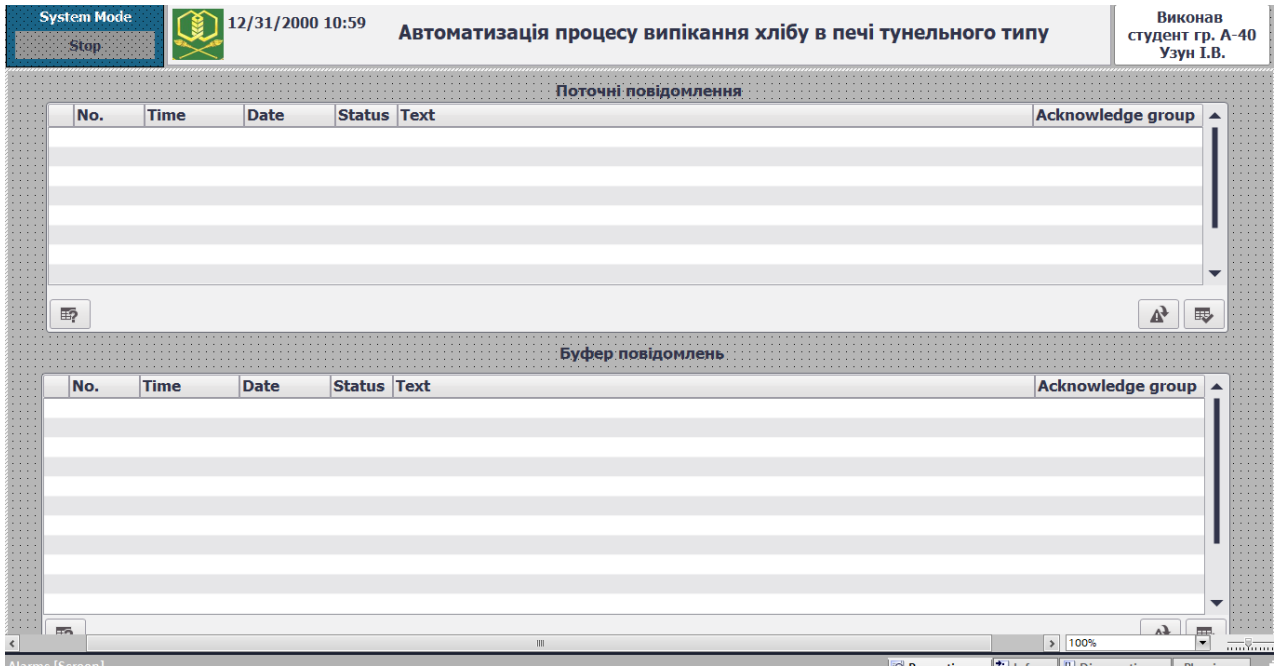


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

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.

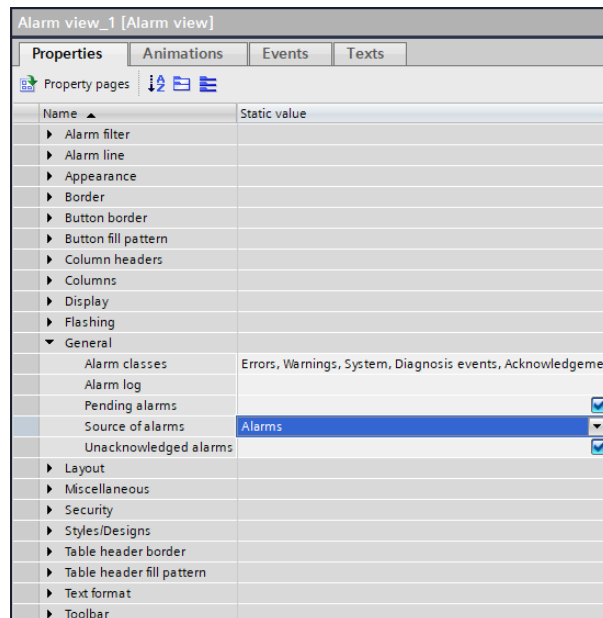


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.4 Тестування систем керування.

Тестування проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовище якої завантажуюмо проект ПЛК після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі WinCCRuntimeAdvanced, куди після компіляції завантажуюмо проект HMI.

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

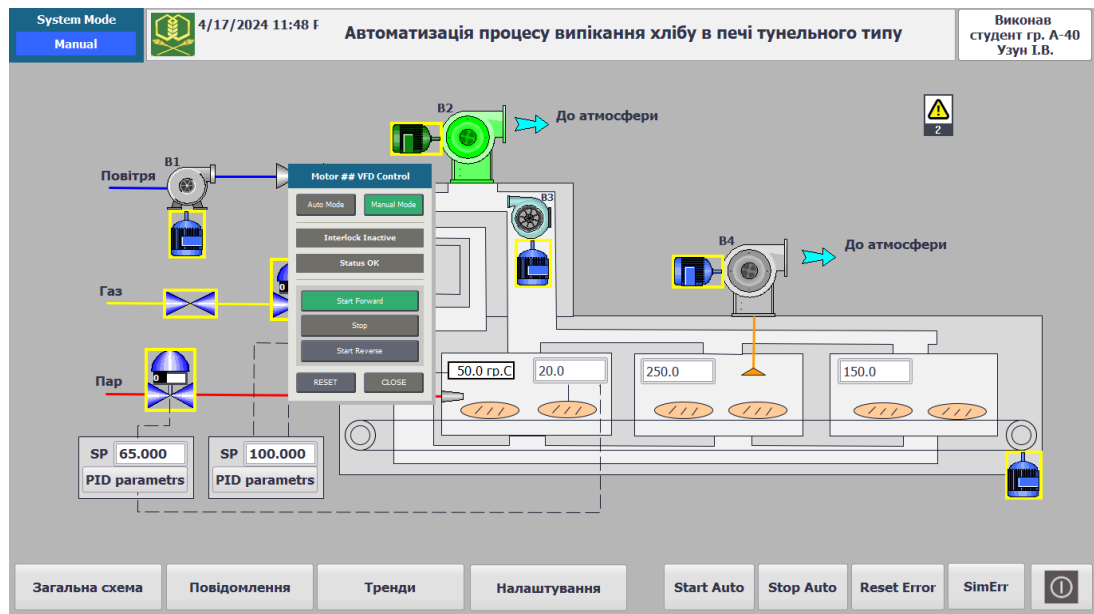


Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі

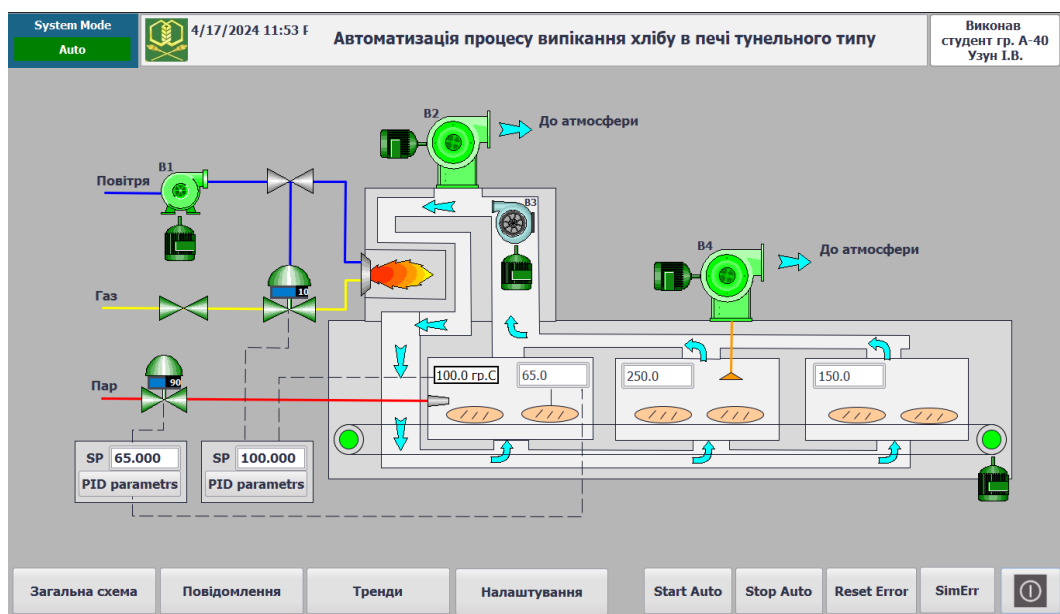


Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі

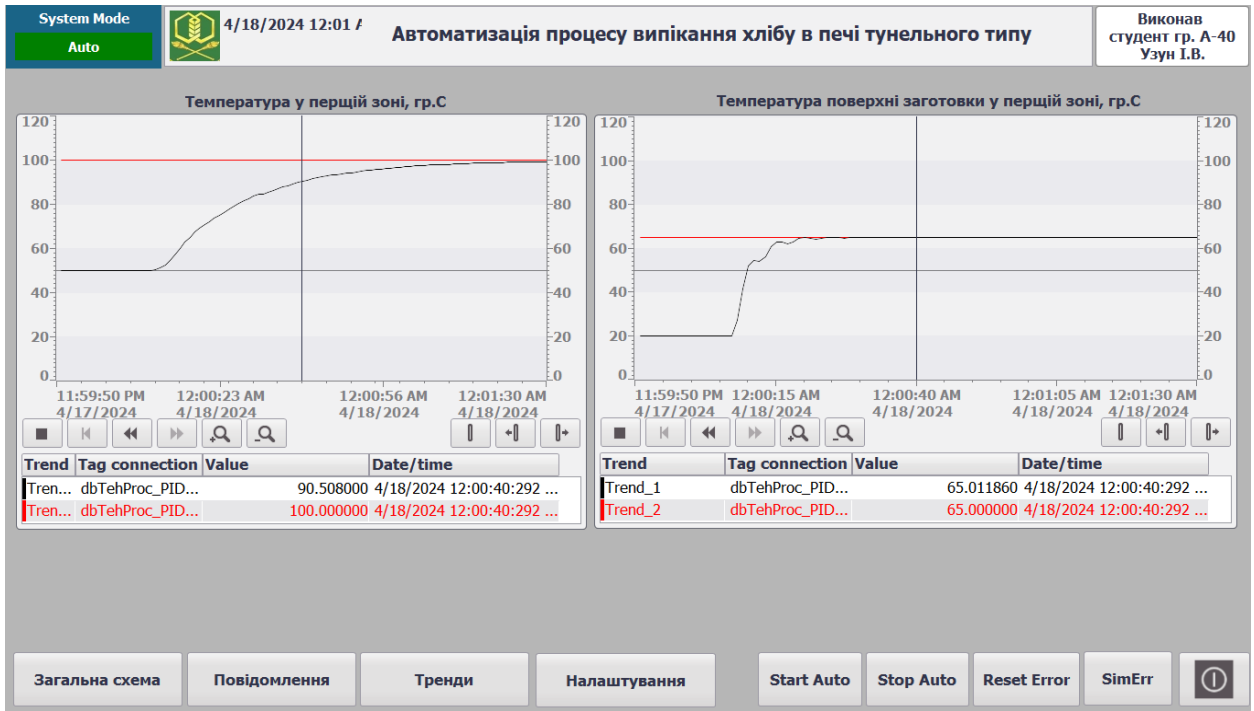


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

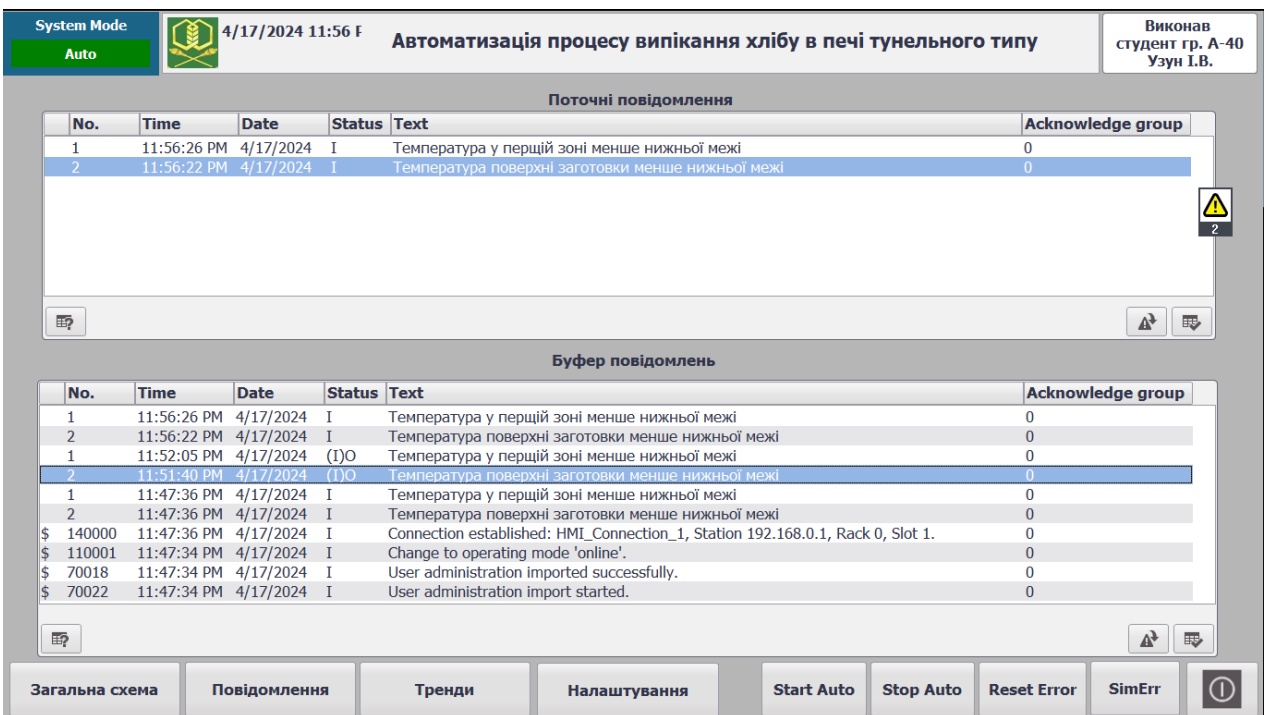


Рис. 7.18 ЕкранAlarmsв тестовому режимі при імітації несправності.



Рис. 7.18 Екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності.

7.5. Висновки за розділом

У цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом волого-теплової обробки м'ятки. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

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

8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САКТА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та складдокументації її технічного забезпечення

Основними параметрами процесу випічки хліба, на які накладено регламентні обмеження, є температура повітря в першій зоні та температура поверхні хлібної заготовки. Підтримання температури повітря в першій зоні забезпечується за рахунок зміни витрат газу, який надходить в топку, а підтримання температури поверхні хлібної заготовки забезпечується за рахунок зміни витрат пари.

Основу інтелектуального ядра системи керування складає контролер SimaticS7-1500 та панель оператора TP 1900 Comfort.

Датчики та виконавчі механізми обирались з урахуванням степені захисту і степені вибухозахисту.

За результатами вибору комплексу технічних засобів й 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/виходів ПЛК.

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів.

Центральний процесор CPU 1516-3 PN / DP, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсами PROFINET та PROFIBUS.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на профільній шині Siemens 122мм, як окрема конструкція 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, PROFIBUS;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу (струм, напруга – модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0);
- опитування стану дискретних входів та вивід дискретних сигналів (DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

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 та специфікацій на технічні засоби системи

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 Б.А. 2.4-16:2008 «Автоматизація технологічних

процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах». 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), вихідний аналоговий сигнал напруги 0...10 V DC.

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

1...4 – керування та контроль стану електроприводів;

5 – регулювання температури повітря в 1-й зоні печі за рахунок зміни положення виконавчого механізму подачі газу;

6 – регулювання температури поверхні хлібної заготовки за рахунок зміни положення виконавчого механізму подачі пари;

7 – керування відсічним клапаном подачі газу;

8 – контроль тиску газу в магістралі;

9 – контроль тиску пари в магістралі;

10 – контроль наявності факела;

11 - керування пристроєм запалу;

12 – керування звуковою сигналізацією.

Реалізована функція інтерфейсного зв'язку ПЛК панеллю оператора.

У контурі 5 реалізована система регулювання температури повітря в 1-й зоні печі. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем 5а пропорційний температурі сигнал струму 4...20 мА DC подається на вхід модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I AI (SM 334). ПЛК формує керуючий вплив, який з виходу цього модуля у вигляді напруги 0...10 VDC подається на виконавчий механізм подачі газу 5б і в пропорції на виконавчий механізм подачі повітря 5в.

У контурі 6 реалізована система регулювання температури поверхні хлібної заготовки. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем 6а пропорційний вологості сигнал струму 4...20 мА DC подається на вхід модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I AI (SM 334).

ПЛК формує керуючий вплив, який з виходу цього модуля у вигляді напруги 0...10 VDC подається на виконавчий механізм подачі пари бб.

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

8.3 Розробка принципів схем

8.3.1 На принциповій електричній схемі (ПЕС) показують елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частини. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань. ПЕС складають відповідно до вимог Держстандартів (ДСТУ) :

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.701. ЕСКД. Схеми. Види й типи. Загальні вимоги до виконання;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.709. ЕСКД. Система маркування ланцюгів в електричних схемах;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.710. ЕСКД. Позначення умовні, буквено-цифрові, які вжиті на електричних схемах.

8.3.2 Розробка принципів електричних схем підключення до модулів ПЛК

Модуль дискретних входів DI 16x24VDCBA (6ES7521-1BH10-0AA0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. До його входів по кабелях W5, 6, 7, 8, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 VDC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування.

До цього ж модуля надходять дискретні сигнали 0 або 24 VDC, які характеризують поточний стан датчика контролю факела в топці, а також стан датчиків-реле тиску газу і пари у відповідних магістралях.

Модуль дискретних виходів DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. На його виходах формуються сигнали 0 або 24 VDC, які по кабелям W5, 6, 7, 8, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами. Також до виходу модуля дискретних виходів підключаються проміжні реле K1, K2 та дзвоник НР, який формує звуковий сигнал. Контакти проміжних реле вмикають живлення 220 VAC для відсічного клапану та пристрою запалу.

Модуль аналогових входів/виходів AI 4xU/IAQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W9, 10, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики з уніфікованим виходом 4...20 mA DC відповідно: датчик температури повітря в 1-й зоні печі та датчик температури поверхні хлібних зоготовок.

Аналогові виходи модуль AI 4xU/IAQ 2x4xU/I за допомогою кабелів W11, 12, що підключаються до клем SA-X1, передає сигнали керування на виконавчі механізми подачі газу 5б і пари 6б.

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

8.4 Охорона праці

У цьому підрозділі будемо виявляти потенційно небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникнути під час експлуатації установки. Представимо їх гранично допустимі концентрації з посиланням на відповідні нормативні акти, та опишемо наслідки їх впливу. Інформацію узагальнимо у таблиці 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	21-24 °С	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
3.	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання
4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місці	80 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /112 дБ	Захворювання нервової системи

		(локальна вібрація)	
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	10 Вт/м ²	Біохімічні зміни в організмі
11.	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/ см ³ ; n-: 3000-5000 одиниць/ см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
№ 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	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	Біохімічні зміни в організмі

	тощо.)	мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Класифікація приміщень об'єкту автоматизації була встановлена у розділі 5.

Робоче місце оператора автоматизованої системи передбачає використання панелі оператора, за допомогою якої оператор може спостерігати за роботою установки та керувати нею у дистанційному або автоматичному режимі. На екрані панелі всі прилади установки мають свої символічні позначення та можуть змінювати колір у разі зміни стану. У разі аварії чи блокування установки, інженер може швидко виявити місце події та усунути проблему. Оскільки робоче місце оператора розташоване у приміщенні, всі елементи робочого місця відповідають наступним вимогам:

- площа одного робочого місця становить 10,0 м², об'єм - 25,0 м³; норматив: площа – 6,0 м², об'єм - 20,0 м³.
- інженер сидить за стандартним столом на комфортному кріслі;
- на ЖК-моніторі відображається вся необхідна інформація;
- трудові операції виконуються лише на робочому місці;

- робоче місце має добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, а на столі розміщено світильник. Визначимо категорію робіт за ступенем важкості. Оператор АРМ працює у сидячому положенні, що пов'язане з постійним спостереженням (див. таблицю 8.2).

Таблиця 8.2 – 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	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторський пункт	Теплий	Легка 1а	23-25	40-60	0,1
№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
2	Операторський пункт	Холодний	Легка 1а	23-25	40-60	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 8.3

Таблиця 8.3 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

№	Виробниче приміщення	Вид освітлення	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд та підрозряд зорової роботи	КПО, %	Освітленість, лк
1	Операторський пункт	Бічне, одностороннє	0,30-0,5	Б-2	1	400

На кожному технологічному об'єкті необхідно мати затверджені робочі експлуатаційні інструкції, а також виконавчі схеми електричних і трубних з'єднань обладнання для забезпечення його нормальної експлуатації. Перелік таких інструкцій і схем підтверджує головний інженер підприємства. Забороняється запуск і експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними або відключеними КВПіА, системою технологічної захисту і пристроями, необхідними для автоматизованої експлуатації обладнання. Під час запуску та зупинки обладнання в ручному режимі слід відстежувати виконання відповідних операцій за показниками контрольно-вимірювальних приладів. У разі порушення встановленої послідовності або тривалості операцій, а також відхилення параметрів від заданих, необхідно негайно зупинити обладнання і повернути його в початковий стан.

Реле, пристрої захисту, засоби технологічної автоматики та прилади, які контролюють роботу обладнання, повинні бути опломбовані. Під час

будь-яких робіт на панелях, щитах та електроавтоматиці, коли основне обладнання включено, необхідно дотримуватися заходів обережності, щоб уникнути помилкових дій через людські помилки. Виконання таких робіт без виконавчих схем (по пам'яті) або без відповідних обсягів і послідовностей операцій є забороненим. Після проведення робіт у вторинних ланцюгах необхідно перевірити їх справність та правильність підключення шляхом перевірки пристрою (схеми) безпосередньо або за допомогою тестування.

Забезпечення безпеки персоналу, який обслуговує обладнання, а також сторонніх осіб вимагає використання належної ізоляції, дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або їх захисного огороження, а також застосування блокування апаратів, заземлення або занулення корпусів електроустаткування та елементів електроустановок, які можуть бути під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. Монтажні та ремонтні роботи у електричних мережах та пристроях, а також роботи з приєднання та від'єднання проводів, мають проводитися лише при відключенні напруги. Засоби автоматизації, які перебувають під напругою або можуть бути підключені до неї у будь-який момент, вважаються активними електроустановками і підлягають відповідним правилам техніки безпеки. Для робіт у електроустановках напругою $\sim 220\text{В}$ / $\sim 380\text{В}$ широко застосовуються ізольовані ручки слюсарно-монтажного інструменту, такі як викрутки, кліщі, плоскогубці тощо. Додатковими засобами захисту є діелектричні рукавички, калоші та килими.

Роботу з очищення та змащення рухомих частин, а також ремонт чи заміну окремих деталей машин і механізмів без їх зупинки заборонено. Всі датчики мають бути справними, з чітким клеймом, що вказує на дату останньої перевірки, та опломбованими. Ремонтні роботи на апаратах і комунікаціях, що перебувають під тиском або наповнені робочими газами, парою, рідинами тощо, заборонені під час їх робочого або холостого ходу.

Перед проведенням ремонту обладнання, механізмів, що зчеплені з електродвигунами, необхідно розробити електричну схему та встановити

попереджувальний плакат "Не включати, працюють люди!". Також переконайтеся у наявності заглушок на вході та виході газу або рідини з обладнання та комунікацій перед початком робіт. Заглушки мають бути оснащені хвостиками для покращеного видимості. Запобіжники у пристроях автоматики слід видаляти тільки при відключеному живленні. Кожен працівник повинен пам'ятати про небезпеку електричного струму для життя: сила струму 0,1 А є смертельною для людини.

Металеві неструмоведучі частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою у разі несправності та можуть бути доступні для дотику людей, підлягають захисному заземленню. У приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також на вулиці, заземлення є обов'язковим при напрузі вище 36 В змінного струму та 110 В постійного струму. При напрузі 500 В і вище, як у випадку змінного, так і постійного струму, заземлення обов'язкове в усіх ситуаціях, а в вибухонебезпечних приміщеннях — незалежно від рівня напруги.

Згідно з типовими правилами пожежної безпеки, відповідальність за організацію пожежної безпеки покладається на керівників об'єктів, які зобов'язані:

- забезпечити вивчення та виконання типових правил всіма працівниками підприємства;

- проводити інструктаж з протипожежної безпеки та заняття з пожежно-технічного мінімуму;

- встановлювати суворий протипожежний режим у всіх приміщеннях підприємства та контролювати його дотримання;

періодично перевіряти стан пожежної безпеки об'єкта та наявність та справність пожежогасних засобів.

Пожежну безпеку окремих підрозділів підприємства (таких як цехи, лабораторії, майстерні, склади тощо) забезпечують безпосередні керівники, які зобов'язані:

-Забезпечувати дотримання встановленого протипожежного режиму на підпорядкованих їм ділянках.

-Підтримувати справність виробничого обладнання та вживати негайних заходів для усунення несправностей, які можуть призвести до пожежі.

-Контролювати, щоб після закінчення роботи підпорядковані ділянки були прибрані від спалених відходів та електроприймачі були відключені. Забезпечувати постійну готовність до застосування засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Всі працівники та службовці промислових підприємств проходять спеціальну пожежну підготовку, яка включає в себе протипожежний інструктаж (первинний і повторний) та заняття з пожежно-технічного мінімуму, проведені за спеціальною програмою

Для кожного цеху, майстерні та інших об'єктів необхідно розробити протипожежні інструкції, які будуть погоджені з пожежною охороною підприємства або місцевими органами державної пожежної охорони. Ці інструкції визначають місця та порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації і зв'язку, а також обов'язки працівників у разі виникнення пожежі, правила виклику пожежної команди та процедури зупинки та відключення устаткування.

У приміщеннях і на території підприємства, зазвичай, дозволяється куріння лише на спеціально відведених для цього місцях. Заборонено використовувати відкритий вогонь (такий як паяльні лампи, факели тощо) для обігрівання трубопроводів, що містять замерзлі або застигли рідини. Заборонено блокувати доступ до технологічного устаткування, засобів зв'язку та пожежогасіння, а також до проходів і виходів з приміщень.

На кожному об'єкті повинні бути розміщені схеми пожежного водопроводу, на яких вказані місця встановлення пожежних кранів і гідрантів. Ці місця повинні бути позначені спеціальними значками і написами "ПК" і "ПГ"

На підприємствах встановлюється система електричної пожежної сигналізації, яка має на меті оперативно повідомляти службу пожежного захисту про виникнення пожеж у будь-якому приміщенні або спорудженні підприємства. Особливо небезпечні виробництва обов'язково оснащуються автоматичними системами пожежогасіння, такими як пінна, водяна або порошкова.

8.4. Висновки за розділом.

Під час виконання цього розділу був розроблений набір технічної документації для системи автоматизації керування процесом сушіння чаю на основі контролера Siemens SIMATIC S7-1500.

Розроблений набір включає основні документи технічного забезпечення для системи автоматизації керування процесом сушіння чаю. Під час виконання цього завдання були отримані навички розробки технічної документації для систем автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також у рамках цього розділу були опрацьовані основні аспекти з охорони праці під час експлуатації системи автоматичного керування процесом.

9. ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ

9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації процесу випічки хліба

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

Таблиця 9.1 – Таблиця вартості засобів автоматизації

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кількість	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Датчик температури	TEPA (ТСП гр.100П),	1	5 850	5 850
Датчик температури	Calex Ex2-151-LT-5	1	9 340	9 340
Датчик тиску	PSG901.64	1	5 780	5 780
Реле тиску	RT 200L	2	5 250	10 500
Датчик контролю факела	ФД-101	1	26 889	53 778
Повітряна заслінка	BelimoD6300 W	1	27620	27620
Електропривід до ВМ	BELIMO NVD24SR	2	16 500	33 000
Регулюючий клапан	Belimo H7025X10-S2	1	14 300	14 300
Електромагнітний клапан	Kromschroder RV-E	1	5 840	11 680
Електромагнітний клапан	Elettromeccanica Delta S.p.A.	1	41 210	41 210
Контактор	Siemens 3RT2017-1AP1-0CC0	1	28260	28260

Таблиця 9.1 (продовження) – Таблиця вартості засобів автоматизації

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кількість	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Автоматичний вимикач захисту двигуна	SIEMENS SIRIUS 3RV2021-1KA10	1	26 228	26 228
Проміжного реле	Schneider Electric RXM4AB2BDPVS	1	15 732	15 732
Модуль дискретних виходів	DQ 16x24VDC/ 0.5A BA6ES7 522-1BH10-0AA0	1	6 454	6 454
Блок живлення	PS 60W 24/48/60V DC (6ES7505-0RA00-0AB0)	1	13 257	13 257
Процесор	CPU 1516-3 PN/DP (6ES7516-3AN01-0AB0)	1	940	940
Модуль дискретних входів	DI 16x24V DC BA 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	6 285	6 285
Автоматичний вимикач	Schneider GV2ME143	5	1 892	9460
Реле перенавантаження	Schneider LR3D146	5	1 550	7750
Кнопка, червоний штовхач	Schneider XB7NA42	11	110	1210
Кнопка, зелений штовхач	Schneider XB7NA31	6	120	720
Джерело безперебійного живлення	Luxeon UPS-1000LE	1	6 700	6 700
Перемикач на 3 положення	Schneider XB7ND33	8	230	1840

Світлосигнальна	Schneider	5	88	440
Сирена	Schneider XVS10BMW	1	5 000	5 000
Реле проміжне	Weidmuller PS 35836971	8	410	3280
Щит	Schneider	1	6 150	6 150

Таблиця 9.1 (закінчення) – Таблиця вартості засобів автоматизації

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кількість	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Патрон карболітовий E27 настінний косий	ФПП-03	1	32	32
Трансформатор на DIN-рейку	EI-19293	1	700	700
Вимикач кнопковий на DIN-рейку	SVN413 Hager	5	390	1950
Розетка на DIN-рейку	Hager SN016	2	250	500
Розетка	Legrand Quteo 2K+3	2	165	330
Автоматичний вимикач	Schneider iC60N	4	220	880
Запобіжник	Запобіжник з плавкою вставкою, ВП	8	10	80
Клемна колодка	Клемна колодка на 50 клем, conta-connect SRK 2,5/2A	2	550	1100
Блок живлення	«ОВЕН» БП60Б-Д4-24	1	1 600	1 600
Персональний комп'ютер	Dell 9020-4507	1	25 000	25 000
Вартість:				384 936

Таблиця 9.2 – Таблиця вартості монтажних матеріалів та кабельної продукції

Кабельна продукція			
Тип кабелю	Довжина, м	Ціна без ПДВ, грн	
		Ціна 1м, грн	Сума, грн
Кабель КВВГнг5х2,5	175	27,6	4830
Кабель КВВГ5х1,5	100	31,2	3120
Кабель КВВГ4х2,5	20	27,5	550
Кабель КВВГ4х1	80	19,5	1560
Дрот з'єднувальний ПВСн2*1+1*1	7	14,1	98,7
Дрот з'єднувальний ПВСн2*1	125	8,2	1025
Дрот монтажний ПВ3*0,5	80	2,3	184
Гофрована трубаDISPIPE 15GF	540	103	55620
Короб монтажний 30 мм, пластик	9	12,8	115,2
DIN-рейка 35мм	3	27	81
Профільна шина 122мм (480 мм)	0,48	1126	540,5
Вартість:			67 724

Вартість всього технічного рішення (C_{OPT}):

$$C_{OPT} = 384\,936 + 67\,724 = 452\,660 \text{ грн.} \quad (9.1)$$

2. Визначаємо первинні капітальні інвестиції ($I_{C_{PER}}$), необхідні для впровадження засобів автоматизації за формулою:

$$I_{C_{PER}} = [(C_{PP} + C_{PP} \cdot C_M + C_{PP} \cdot C_T / 100 + C_{PP} \cdot C_{TP} / 100) + (C_{PP} + C_{PP} \cdot C_T / 100 + C_{PP} \cdot C_{TP} / 100) \cdot C_{ZC} / 100] \quad (9.2)$$

де: C_{PP} – продажна вартість засобів автоматизації, яка визначається за формулою:

$$C_{PP} = C_{OPT} + C_{OPT} \cdot \text{ПДВ} = C_{OPT} (1 + \text{ПДВ}) = C_{OPT} (1 + 0,2) = C_{OPT} 1,2. \quad (9.3)$$

де: C_{OPT} – оптова ціна засобів автоматизації;

ПДВ – податок на додану вартість (20%).

$$C_{PP} = 452\,660 \cdot (1 + 0,2) = 452\,660 \cdot 1,2 = 543\,192 \text{ грн.}$$

C_M – коефіцієнт відрахування на монтажні роботи ($C_M = 0,1$);

C_T – коефіцієнт відрахування на тару і упаковку ($C_T = 0,25\%$);

$\text{Ц}_{\text{ТР}}$ – коефіцієнт відрахування на транспортні витрати ($\text{Ц}_{\text{ТР}} = 5\%$);

$\text{Ц}_{\text{ЗС}}$ – коефіцієнт відрахування на заготовчо–складські витрати ($\text{Ц}_{\text{ЗС}} = 1,2\%$).

Сумарні капітальні інвестиції, які підприємство повинне буде вкласти для впровадження засобів автоматизації, дорівнює сумі витрат на придбання, монтаж і налагодження засобів автоматизації. Знайдемо суму первинних інвестицій для альтернативних варіантів реалізації системи регулювання:

$$\text{ІС}_{\text{ПЕР}} = 543\,192 \cdot [(1+0,1+0,0025+0,05) + (1+0,0025+0,05) \cdot 0,012] = 543\,192 \cdot 1,165 = 632\,818,68 \text{ грн.}$$

9.2 Річна економія за рахунок модернізації системи автоматизації процесу випічки хліба

Технічні характеристики процесу випічки хліба до модернізації зведено в таблицю 9.3, а після модернізації – в таблицю 9.4.

Таблиця 9.3 – Технічні характеристики системи автоматизації процесу випічки хліба до модернізації

Параметри	Позначення	Значення	Одиниця Виміру
Витрати газу на 1т продукції	$\text{НВ}_{\text{Г1}}$	0,5	т/т
Норма витрати енергії пари на 1т продукції	$\text{НВ}_{\text{П1}}$	0,15	Гкал/т
Середньодобова продуктивність печі	П	30	т/доба
Час роботи печі в році (сезон)	ЧР	300	дів/рік
Вартість газу за 1 т	$\text{Ц}_{\text{Г}}$	500	грн/т
Вартість пару за 1 Гкал	$\text{Ц}_{\text{П}}$	1319	грн/Гкал

Таблиця 9.4 – Технічні характеристики системи автоматизації процесу одержання спирту-сирця з бражки після модернізації

Параметри	Позначення	Значення	Одиниця Виміру
Витрати газу на 1т продукції	НВ _{Г2}	0,4	т/т
Норма витрати енергії пари на 1т продукції	НВ _{П2}	0,135	Гкал/т
Середньодобова продуктивність печі	П	30	т/доба
Час роботи печі в році (сезон)	ЧР	350	дб/рік
Вартість газу за 1 т	Ц _Г	800	грн/т
Вартість пару за 1 Гкал	Ц _П	1629	грн/Гкал

1. Визначимо обсяг виробленої продукції у печі за рік роботи (ОВ_Р), за формулою:

$$ОВ_R = ЧР \cdot П. \quad (9.4)$$

де: ЧР – час роботи системи автоматизації;

П– продуктивність системи автоматизації.

$$ОВ_R = 350 \cdot 30 = 10\,500 \text{ т/рік.}$$

2. Визначимо витрати на газ до модернізації системи автоматизації за рік (З_{Г1}), за формулою:

$$З_{Г1} = ОВ_R \cdot НВ_{Г1} \cdot Ц_G. \quad (9.5)$$

де: ОВ_Р – обсяг виробленої продукції за рік роботи;

НВ_{Г1} – норма витрати газу до модернізації;

Ц_Г– вартість газу.

$$З_{Г1} = 10\,500 \cdot 0,5 \cdot 800 = 4\,200\,000 \text{ грн.}$$

3. Визначимо витрати на газ після модернізації системи автоматизації за рік (З_{Г2}), за формулою:

$$З_{Г2} = ОВ_R \cdot НВ_{Г2} \cdot Ц_G. \quad (9.6)$$

де: OB_p – обсяг виробленої продукції за рік роботи;

$NB_{Г2}$ – норма витрати газу після модернізації;

$Ц_Г$ – вартість газу.

$$З_{Г2} = 10\,500 \cdot 0,4 \cdot 800 = 3\,360\,000 \text{ грн.}$$

4. Визначимо витрати на пар до модернізації системи автоматизації за рік ($З_{П1}$), за формулою:

$$З_{П1} = OB_p \cdot NB_{П1} \cdot Ц_{П1}. \quad (9.7)$$

де: OB_p – обсяг виробленої продукції за рік роботи;

$NB_{П1}$ – норма витрати пари до модернізації;

$Ц_{П1}$ – вартість пари.

$$З_{П1} = 10\,500 \cdot 0,15 \cdot 1629 = 2\,565\,675 \text{ грн.}$$

5. Визначимо витрати на пар після модернізації системи автоматизації за рік ($З_{П2}$), за формулою:

$$З_{П2} = OB_p \cdot NB_{П2} \cdot Ц_{П2}. \quad (9.8)$$

де: OB_p – обсяг виробленої продукції за рік роботи;

$NB_{П2}$ – норма витрати пари після модернізації;

$Ц_{П2}$ – вартість пари.

$$З_{П2} = 10\,500 \cdot 0,135 \cdot 1\,629 = 2\,309\,108 \text{ грн.}$$

4. Визначимо зменшення витрат на газ після модернізації системи автоматизації за рік (ΔZ_G), за формулою:

$$\Delta Z_G = Z_{Г2} - Z_{Г1}. \quad (9.9)$$

де: $Z_{Г2}$ – витрати на газ після модернізації системи автоматизації за рік;

$Z_{Г1}$ – витрати на газ до модернізації системи автоматизації за рік.

$$\Delta Z_G = 3\,360\,000 - 4\,200\,000 = -840\,000 \text{ грн.}$$

4. Визначимо зменшення витрат на пар після модернізації системи автоматизації за рік (ΔZ_P), за формулою:

$$\Delta Z_P = Z_{П2} - Z_{П1}. \quad (9.10)$$

де: $Z_{П2}$ – витрати на пар після модернізації системи автоматизації за рік;

$Z_{П1}$ – витрати на пар до модернізації системи автоматизації за рік.

$$\Delta Z_P = 2\,309\,108 - 2\,565\,675 = -256\,675 \text{ грн.}$$

9.3 Приріст чистого прибутку та чистого грошового потоку за рік після модернізації системи автоматизації процесу випічки хліба

1. Встановимо зміну амортизаційних відрахувань (ΔZ_A):

$$\Delta Z_A = IC_{\text{ПЕР}} \cdot N_A \quad (9.11)$$

де: $IC_{\text{ПЕР}}$ – первинні капітальні інвестиції;

N_A – норматив амортизаційних відрахувань.

Засоби автоматизації відносяться до 4 групи основних фондів підприємства, для яких норматив амортизаційних обчислень дорівнює 15% в квартал, та річний норматив дорівнює 50%.

$$\Delta Z_A = 632\,818,68 \cdot 0,5 = 316\,409,34 \text{ грн.}$$

2. Визначимо зміну повної собівартості за рахунок модернізації системи автоматизації ($\Delta C_{\text{П}}$):

$$\Delta C_{\text{П}} = \Delta Z_A + \Delta Z_{\text{Г}} + \Delta Z_{\text{П}} \quad (9.12)$$

де: ΔZ_A – зміна амортизаційних відрахувань;

$\Delta Z_{\text{Г}}$ – зменшення витрат на газ після модернізації системи автоматизації за рік;

$\Delta Z_{\text{П}}$ – зменшення витрат на пар після модернізації системи автоматизації за рік.

$$\Delta C_{\text{П}} = 316\,409,34 + (-840\,000) + (-256\,567) = -780\,157,66 \text{ грн.}$$

3. Визначимо приріст прибутку ($\Delta \text{П}$):

$$\Delta \text{П} = -\Delta C_{\text{П}} \quad (9.13)$$

де: $\Delta C_{\text{П}}$ – зміна повної собівартості продукції.

$$\Delta \text{П} = -(-780\,157,66) = 780\,157,66 \text{ грн.}$$

4. Встановимо приріст чистого прибутку ($\Delta \text{ЧП}$):

$$\Delta \text{ЧП} = (\Delta \text{П} - \Delta Z_A) \cdot (1 - N_{\text{П}}) \quad (9.14)$$

де: $\Delta \text{П}$ – приріст прибутку;

ΔZ_A – зміна амортизаційних відрахувань;

$N_{\text{П}}$ – податок на прибуток (18%).

$$\Delta \text{ЧП} = (780\,157 - 316\,409,34) \cdot (1 - 0,18) = 463\,748,32 \cdot 0,82 = 380\,273,62 \text{ грн.}$$

5. Розрахуємо чистий грошовий потік за формулою (ЧГП):

$$\text{ЧГП} = \Delta \text{ЧП} + \Delta Z_A \quad (9.15)$$

де: $\Delta\text{ЧП}$ – приріст чистого прибутку;

$\Delta\text{З}_A$ – зміна амортизаційних відрахувань.

$\text{ЧГП} = 380\,273,62 + 316\,409,34 = 696\,682,96$ грн.

9.4 Висновки за розділом

Виходячи з вищезазначених розрахунків, проект є інвестиційно привабливим, адже приріст чистого прибутку та чистий грошовий потік більше нуля та дорівнюють, відповідно, 380 273,62 грн. та 696 682,96 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Було зроблено опис та аналіз технологічного процесу випічки хліба та необхідного обладнання. Була проведена ідентифікація тунельної циклотермічної печі як об'єкта керування. Були ідентифіковані канали керування та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що каналами «уг - Озон.звол», «ип - Опов.заг», «уг - Опов.заг» об'єкт має статичні властивості і найбільш точно може бути описаний моделями другого порядку. Підвищення динамічної точності САР доцільно проводити шляхом забезпечення автономності 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 випікання хліба у печі TNP на базі контролера Fastwell/O і середовища CodeSys. Було розроблено варіант фрагменту комплексу технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-300.

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

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
https://science.kname.edu.ua/images/dok/derzhstandart_3008_2015.pdf
2. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів": для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса ОНАХТ, 2016. — Електрон. текст. дан.: 96 с.
<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.157312>
3. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.
4. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади навч. посіб./ В. Г. Муратов. — Вид. 2-ге, допов. — Київ : Освіта України, 2016. — 364 с. <https://elc.library.onaft.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТcnv.BibRecord.155904>
5. Савицький, В. К. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. /В.К. Савицький, Р.М. Федоришин; Нац. ун-т "Львівська політехніка".— Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2018. — 292с.
<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentSearchResult?jsessionid=6CD40B15F14DD9265BF7FD9A559C892C>
6. Левінський В. М. Конспект курсу лекцій з курсу "Технічні засоби автоматизації". Розділ "Виконавчі пристрої" : для студентів спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехн. систем. — Одеса : ОНАХТ, 2018. — Електрон. текст. дані: 150 с.
<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.162866>
7. Левінський В. М. Основи створення проектів автоматизації в середовищі ПІАPortal : електрон. навч. посіб. для підгот. студентів спец. "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — Електрон. текст. дані: 177 с.
<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.166190>
8. Пупена О.М., Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.
9. Пупена О.М, Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Промислові

мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний 35 посібник. – К. : Вид-во "Ліра-К", 2011. – 552 с.

10. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. напряму 6050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та за-очної форм навчання. – К.: НУХТ, 2011. – 68 с.

11. ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems Copyright: 2015 Length: 64 pages

12. Автоматизація виробничих процесів : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед ; Нац. ун-харч. технологій. — Вид. 2-ге, випр. — Київ : Ліра-К, 2017. — 378 с. — Бібліогр.:с.376-377.
<https://elc.library.ontu.edu.ua/libraryw/DocumentDescription?docid=OdONANT.1739079>

13. Трегуб Віктор Григорович Проектування систем автоматизації : навч. посіб. / В. Г. Трегуб ; Нац. ун-т харч. технологій. — Київ Ліра-К, 2017. – 344 с. : табл., рис. – Бібліогр.: с. 341.
<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-/DocumentDescription?docid=OdONANT-cnv.BibRecord.161435>

14. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці : конспект лекцій / О. О. Фесенко, В. М. Лисюк, С. М. Неменуца, З. М. Сахарова ; Каф. безпеки життєдіяльності. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — Електрон. текст. дані: 149 с.
<https://elc.library.ontu.edu.ua/libraryw/DocumentDescription?docid=OdONANT.1739079>

15. Методичні вказівки до економічної складової кваліфікаційної роботи бакалаврів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» /Укладачі д.е.н., проф. Савенко І.І., к.е.н., доц. Корсікова Н.М., Одеса: ОНТУ, 2022. 10 с.

16. Національний стандарт України «Автоматизація технологічних процесів. зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах» ДСТУ Б А.2.4-16:2008.

ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації
Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
5а	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -150 °С з нормуючим перетворювачем ПСТ (0/150) -100П,діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА, Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт	1	
5б	Регулюючий клапан типу Kromschroder RV-E з електроприводом, сигнал керування 4...20 мА, час повного ходу 60 с	1	
6а	Оптичний датчик температури Calex Ex2-151-LT-5, діапазон -20 -100 °С,діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА, Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт	1	
6б	Виконавчий механізм BELIMONVD24SR, зусилля 150 Н, час повного ходу 150 с	1	
7а	Електромагнітний клапан типу Elettromeccanica Delta S.p.A, живлення 230 VAC	1	
8а	Реле тиску PSG901.64, степінь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X	1	
9а	Реле тиску RT 110L, степінь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X	1	
10а	Фотодатчик ФД-101 в комплекті із сигналізатором СП-101	1	
	<u>Прилади у шафіоператора</u>		
ПЛК	Контролер програмований SIMATIC S7-1500, CPU 1516-3 PN/DP (6ES7516-3AN01-0AB0)	1	
	Модуль дискретного вводу DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	16 DI
	Модуль дискретного виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	16DO
	Модуль аналогового вводу виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0		4 AI/2AQ
ПО	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
P1	Дзвоник електричний, живл. 24 VDC	1	

ДОДАТОК Б Документація до принципової електричної схеми
Таблиця Б – Попередній перелік обладнання допринципової електричної
схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>DI</u>		
	Модуль дискретного вводу DI 16x24VDC ВА 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	
8a	Реле тиску PSG901.64, степінь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X	1	
9a	Реле тиску RT 110L, степінь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X	1	
10a	Фотодатчик ФД-101 в комплекті із сигналізатором СП-101	1	
	<u>DO</u>		
	Модуль дискретного виводу DQ 16x24VDC/0.5A ВА 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
7a	Електромагнітний клапан типу Elettromeccanica Delta S.p.A, живлення 230 VAC	1	
11a	Запальний пристрій	1	
HA	Дзвоник електричний, живл. 24 VDC	1	
K1, K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	2	
	<u>AI/AQ</u>		
	Модуль аналогового вводу виводу DQ 16x24VDC/0.5A ВА 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	
5a	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -150 °C з нормуючим перетворювачем ПСТ (0/150) -100П, діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА, Споживана потужність, не більше:	1	

	0,8 Вт		
6а	Оптичний датчик температури Calex Ex2-151-LT-5, діапазон -20 -100 °С, діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА, Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт	1	
5б	Регулюючий клапан типу Kromschroder RV-E з електроприводом, сигнал керування 4...20 мА, час повного ходу 60 с	1	
6б	Виконавчий механізм BELIMO LH24A-SR100, зусилля 150 Н, час повного ходу 150 с	1	