

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



**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
**на тему «Автоматизація процесу керування обробкою виноматеріалу теплом»**  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувачки **К.Ю. Саркісян**  
(прізвище, ініціали)  
4 курсу, групи А-40

Керівник доцент **І.М. Світий**  
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти:  
доцент Левінський В.М.  
(посада, прізвище та ініціали)  
доцент Степанов М.Т.  
(посада, прізвище та ініціали)  
професор Савенко І.І.  
(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р., протокол № \_\_\_\_

Завідувач(ка) кафедри АТПіРС \_\_\_\_\_  
(назва кафедри) (підпис) Підпис

**І.М. Світий**  
(ПІБ)

## ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Автоматизації та робототехніки</u> .
Кафедра	<u>Автоматизації технологічних процесів і</u> <u>робототехнічних систем</u> .
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u> .
Спеціальність	<u>151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані</u> <u>технології</u> .
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в</u> <u>автоматизації</u> .

### ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри АТПіРС  
В.М. Левінський

«23» листопада 2023 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

**Здобувач Саркісян Карина Юріївна**

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування обробкою виноматеріалу теплом»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Світій Іван Миколайович, 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 ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК  
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.  
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САК.  
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	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	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 Саркісян К.Ю.

Керівник роботи Світий І.М.

*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 Саркісян К.Ю.

Прізвище, ініціали

Підпис

## Реферат

Кваліфікаційна робота бакалавра Саркісян Карини Юріївни «Автоматизація процесу керування обробкою виноматеріалу теплом» викладена на 199 сторінках, кількість таблиць 24, рисунків – 154, додатків – 6, джерел з переліку посилань – 15.

*Ключові слова:* обробка вина теплом, автоматизація, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, оптимальний параметричний синтез, програмований логічний контролер, АРМ оператора, проектна документація.

*Об'єкт розробки* – система автоматичного керування процесом обробки виноматеріалу теплом в потоці в пластинчастому теплообміннику.

*Мета роботи* – підвищення техніко-економічних та екологічних показників процесу обробки виноматеріалу теплом в потоці, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності САР температури вина, зниження числа нештатних ситуацій, зниження втрат від браку готової продукції 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 температури вина; алгоритми пуску, технологічної зупинки, відпрацювання нештатних ситуацій; програми для ПЛК, що реалізують ці алгоритми; розроблені інтерфейси АРМ оператор-технолога і наладчика САР; фрагменти документації технічного забезпечення системи керування ділянкою обробки виноматеріалу теплом в потоці.

## Зміст

	Стор.
Перелік умовних позначень, символів, одиниць.....	9
Вступ.....	10
1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	11
1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	11
1.2 Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього.....	23
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.....	25
1.4 Висновки за розділом.....	26
2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання	27
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	27
2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання.....	28
2.3. Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання.....	42
2.4. Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу	46

	Стор.
2.5 Висновки за розділом.....	64
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	65
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом.....	65
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	67
3.3 Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз.....	81
3.4 Висновки за розділом.....	94
4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	95
4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко- програмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій.....	95
4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату при технологічному пуску, технологічній зупинці, блокуванню передаварійних ситуацій та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис.....	96
4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою, блокування передаварійних ситуацій та аварійної зупинки технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис.....	101
4.4 Висновки за розділом.....	116
5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	118
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення.....	118

	Стор.
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	120
5.3 Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням.....	123
5.4 Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	126
5.5 Висновки за розділом.....	134
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	135
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	135
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	137
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	144
6.4 Висновки за розділом.....	148
7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	149
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	149
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.....	150
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	151
7.4 Тестування системи керування.....	158
7.5 Висновки до розділу.....	161
8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	162
8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	162

	Стор.
8.2 Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи.....	163
8.3 Розробка принципів схем.....	165
8.4 Охорона праці.....	166
8.5 Висновки за розділом.....	175
9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.....	176
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації.....	176
9.2 Розрахунок поточних витрат при роботі базової та модернізованої системи автоматизації.....	178
9.3 Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства.....	184
9.4 Висновки до розділу.....	187
Висновки.....	188
Перелік використаних джерел.....	191
Додатки.....	193
Додаток А. Документація до схеми автоматизації.....	193
Додаток Б. Документація до принципової електричної схеми.....	194
Додаток В. Схема автоматизації.....	196
Додаток Г. ПЕС вводу/виводу аналогових сигналів.....	197
Додаток Д. ПЕС вводу дискретних сигналів.....	198
Додаток Е. ПЕС виводу дискретних сигналів.....	199

### **Перелік умовних позначень, символів, одиниць**

ОК – об'єкт керування;

САК – система автоматичного керування;

ОПС – оптимальний параметричний синтез;

ЗНВ – зона незначимих відхилень;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПК – персональний комп'ютер.

## Вступ

Вино є готовий до споживання продукт бродіння виноградного або іншого плодово-ягідного сусла, що має набір типових органолептичних показників, зокрема, вміст етилового спирту та цукру. Натуральне бродіння сусла забезпечують дріжджі, які перетворюють цукристі речовини сусла на етиловий спирт, а потім етиловий спирт на оцтову кислоту. Тому дуже важливо технологічно вчасно пригнітити життєдіяльність дріжджів, щоб забезпечити стабільність вмісту цукру і етилового спирту у тривалий термін зберігання вина, зокрема, в пляшках.

Існує декілька способів стабілізації виноматеріалу перед розливом. Зокрема, це пастеризація вина в потоці з подальшим розливом його в пляшки в гарячому стані з наступним охолодженням укупорених пляшок. Цей вид пастеризації застосовують для стабілізації інфікованого вина. Така пастеризація передбачає нагрівання вина до температури 43...55°C з наступним розливанням у пляшки.

Пастеризація – це досить жорсткий спосіб обробки виноматеріалу, який може призвести також до втрат комплексу органолептичних показників. Отже, точність відтворення технології виробництва вина є запорукою його належної якості. А єдиним способом точного відтворення технології є високоякісна система керування, зокрема, система автоматичного регулювання режимних параметрів.

Саме побудові такої системи керування і присвячена ця кваліфікаційна робота бакалавра.

## **1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК**

### **1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів**

"Україна велична земля, що народжує Великі вина", впевнена команда SHABO. Українці мають право пишатись вином своєї країни, і місія компанії у тому, щоб забезпечити це право [1]. Такою є місія лідера українського виноробства, компанії SHABO.

На основі багатовікових традицій шабського виноробства у 2003 році було створено компанію SHABO – український виноробний комплекс з повним циклом виробництва. Діяльність компанії спрямована на вирощування та перероблення винограду, виробництво й реалізацію алкогольної продукції SHABO.

Підприємство є лідером української галузі з виробництва преміальних вин та брендів. Продукцію компанії відзначено понад 500 нагородами авторитетних міжнародних конкурсів. Сьогодні широкий асортимент продукції SHABO представлено в усіх регіонах України, а також у 20 країнах: США, Бразилії, Канаді, Великій Британії, Швейцарії, Франції, Італії, Данії, Чехії, Грузії, Ізраїлі, Бельгії, Польщі, Латвії, Литві, Казахстані, Нігерії, Естонії, Японії, Китаї.

В SHABO створено сучасний комплекс з високотехнологічним обладнанням. Виробничі потужності компанії розташовані у безпосередній близькості від виноградників Шабо, що дозволяє максимально швидко доставляти щойно зібраний виноград на виробництво. Обладнання виробничо-технологічної бази підприємства є одним з кращих в Європі.

### *Комплекс первинної переробки винограду*

Зібрані вручну виноградні грона вже через 15-30 хвилин (в залежності від віддаленості ділянки) рефрижераторами доставляють до відділення первинної переробки. Загальна площа цього комплексу — майже 1 500 кв. м. Тут виноград проходить делікатне ручне сортування у кілька етапів. Далі автоматизований процес переробки та пресування на сучасному устаткуванні «Bucher XPlus». Усі процеси відбуваються під постійним контролем спеціалістів.

За сезон тут можна переробити до 20 тисяч тон винограду.

### *Комплекс преміальних вин SHABO*

Тут створюють Великі Вина SHABO – вина Контрольованих найменувань за походженням (КНП). Компанія перша і єдина в Україні має право створювати вина подібної категорії.

Делікатне ручне сортування щойно зібраного винограду в декілька етапів. Відбір лише найкращого. Після цього ягоди червоних сортів винограду відправляють для бродіння на м'яззі в дубових баріках «Taransaud», оснащених системою контролю температури. Грона ж білих сортів винограду без попереднього дроблення спочатку проходять процес делікатного пресування у пресах «Bucher XPlus», а потім – бродіння в дубових баріках, забезпечених температурним контролем.

### *Комплекс міцних виноградних напоїв*

SHABO багато років є лідером країни в галузі створення якісних преміальних коньяків України й бренді. З 2013 року компанія випускає оригінальний варіант виноградного алкоголю – Grape Vodka. Сучасний комплекс площею понад 20 000 кв.м забезпечує повний цикл виробництва міцних алкогольних напоїв, створених з винограду. Технологічна схема повного циклу містить такі етапи: вирощування й переробку винограду, отримання високоякісного виноматеріалу, дистиляцію виноградного спирту, витримку коньячних спиртів і бутильовання благородних напоїв – коньяків, бренді й Grape Vodka від SHABO.

Дистиляція (“спиртокуріння”) – один з найважливіших етапів виробництва міцних виноградних напоїв. В SHABO дистиляційне устаткування безперервної дії надає можливість “перекурювати” до 20 млн літрів виноматеріалів і виробляти майже 3 млн літрів високоякісних коньячних спиртів. Відділення витримки й зберігання коньячних спиртів обладнане відповідно до європейських стандартів. Витримка та зберігання коньячних спиртів SHABO здійснюється в дубових баріках і спеціальних місткостях. Залежно від категорії напою процес триває від трьох років і більше. Кожного виноматеріалу, дистиляцію виноградного спирту, витримку коньячних спиртів і бутілювання благородних напоїв – коньяків, бренді та Grape Vodka.

#### *Дім ігристих вин SHABO*

Перші ігристі вина в Шабо почали створювати ще в 19 столітті швейцарські переселенці. Якість цієї продукції було відзначено багатьма медалями на міжнародних конкурсах. Для цього компанія звела унікальний для України виробничий комплекс - Дім ігристих вин SHABO. Сучасне та високотехнологічне устаткування розмістили в тематичній архітектурній будові, підкреслюючи історію цієї місцевості. Дім ігристих вин має загальну площу майже 3 га. Сучасне обладнання забезпечує бездоганну якість на усіх етапах виробництва. Тут створюють ігристі вина за класичною технологією шампанізації в пляшці й методом Charmat.

Процес виробництва класичних (витриманих) ігристих вин триває від 9 місяців до 13 років. Протягом цього часу в кожній окремо взятій пляшці відбувається процес природного бродіння.

В основі методу Charmat – також природне бродіння, як і у класичному методі шампанізації в пляшці, лише роль пляшки виконують сучасні закриті акратофори (резервуари), що вміщують до 24 тис. шампанських пляшок. Тому такі ігристі вина іноді називають акратофорними або резервуарними. Для їх створення необхідно від 3-х до 6-ти місяців.

### *Витримка та зберігання вин SHABO*

Виносховище SHABO займає загальну площу майже 5 тис. кв. м і має три рівні: нульовий, п'ять та дев'ять метрів під землею. Тут у дубових баріках і сучасних місткостях з нержавіючої сталі одночасно може зберігатися понад 9,5 мільйонів літрів вина.

Загалом у компанії SHABO понад 1050 дубових французьких баріків, які за літражем, якістю й регіоном походження деревини було ретельно підібрано до кожного конкретного сорту вина.

Для зберігання виноматеріалів використовуються сучасні вертикальні місткості з нержавіючої сталі, які мають вбудовану систему контролю температури.

### *Лабораторія технічного контролю*

В компанії SHABO діє європейська модель «безперервного відстежування якості» – від виноградної ягоди до готового продукту. У лабораторії хімічного й технічного контролю проводять найточніші дослідження будь-якого ступеня складності. Лабораторне обладнання нового покоління надає можливість застосовувати методики за стандартами України, єврорегламенту та Міжнародної Організації Винограду й Вина (MOVB).

### *Комплекс розливу продукції SHABO*

Щорічно SHABO виробляє близько 15 млн пляшок, загалом понад 240 найменувань продукції, створеної винятково з відбірного винограду. На виробництві 7 ліній розливу. Сучасне європейське обладнання дозволяє повною мірою зберегти в кожній пляшці SHABO смак та аромат винограду та ексклюзивні властивості теруару

### *Хол квеври*

Тут можна побачити, як виготовляються унікальні вина за кахетинською технологією, якій понад 8 тисяч років. За цією багатовіковою кахетинською технологією – бродіння і витримка проходять на м'яззі у

спеціальних керамічних амфорах, ще їх називають «квеврі». Завдяки цьому колір вина білих сортів винограду набуває яскраво-бурштинового кольору. У смаку формується приємна терпкість та легка танінність. Вино насичується антиоксидантами та вітамінами, що містяться у твердих частинках винограду.

Особливими є і самі величні амфори “квеврі”. Компанія привезла до України 15 автентичних виробів, об'ємом 1400 і 2000 літрів. Встановила їх у Винному домі SHABO. У квеврі, що закопані під землю, і відбувається процес мацерації й витримки на м'яззі протягом 5 місяців.

Тепер розглянемо ділянку технологічного процесу розливу вин (сухих столових, та інших). Технологічна схема лінії розливу вина у пляшки наведена на рис. 1.1.

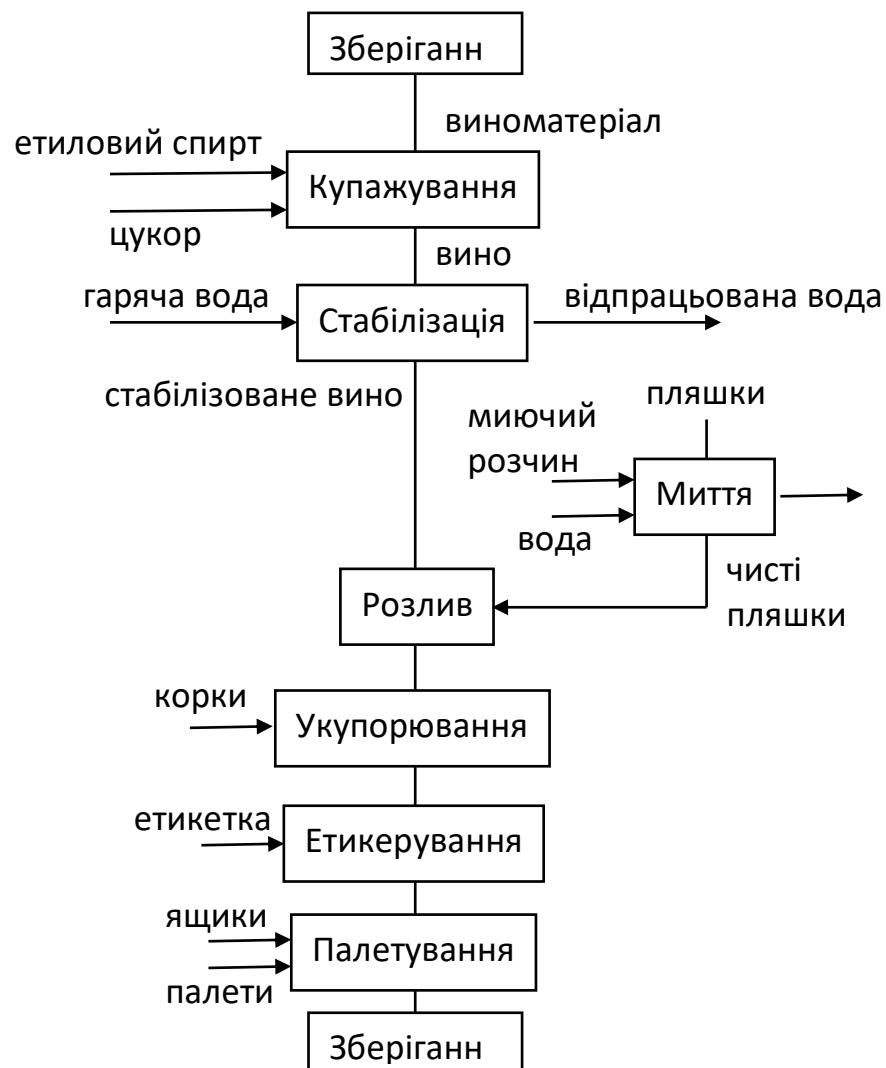


Рис. 1.1 – Технологічна схема лінії розливу вина у пляшки

Виноматеріал зі зберігання піддається купажуванню, при якому нормалізується за вмістом спирту та цукру. Утворене вино стабілізується за рахунок обробки теплом або холодом. Пляшки піддаються антисептичному миттю. Потім стабілізоване вино розливається в пляшки, пляшки укупорюються, етикетуються, укладаються у ящики, ящики укладаються на піддони і відправляються на склад для зберігання та накопичення відпускних партій.

Надалі в якості об'єкту керування будемо розглядати ділянку стабілізації купажованого вина. Існує кілька способів стабілізації. В рамках кваліфікаційної роботи бакалавра розглянемо один із способів: обробку вина теплом або пастеризацію. Технологічна схема процесу обробки виноматеріалу теплом наведена на рис. 1.2.

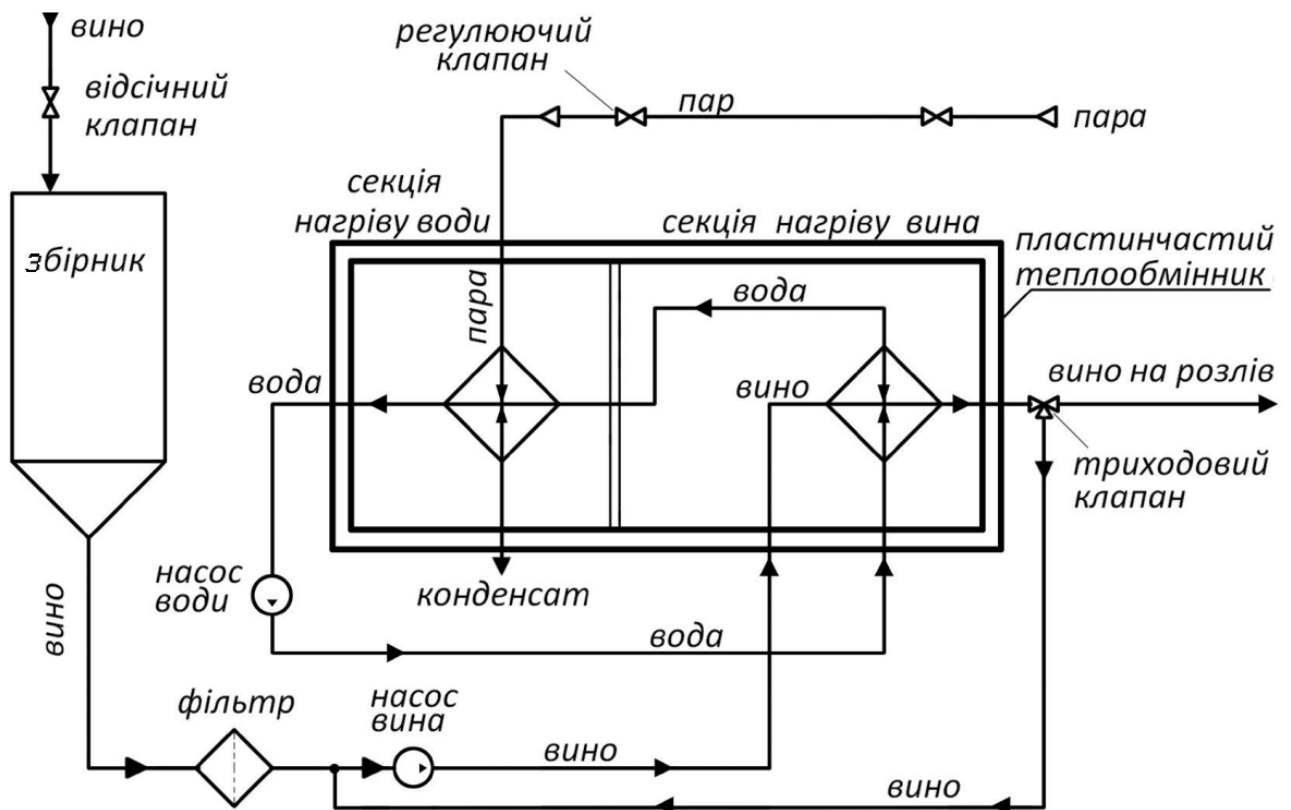


Рис. 1.2 – Технологічна схема процесу обробки виноматеріалу теплом у потоці

З ділянки підготовки вино через відсічний клапан надходить у збірник. Далі насосом через фільтр вино направляється в секцію підігріву вина пластинчастого теплообмінника, де нагрівається до температури 48-50°C. З секції підігріву, через триходовий клапан, вино прямує на ділянку розливу.

Гріючим агентом для вина є вода, що циркулює в замкнутому контурі пластинчастого теплообмінника. Нагрівання води до температури 85°C проводиться у секції підігріву води пластинчастого теплообмінника. Для нагрівання води використовується пара, що надходить через регулюючий клапан. 8 Температура води на виході секції її підігріву регулюється зміною витрати пари, що надходить до теплообмінника. Циркуляцію води через секції теплообмінника здійснює насос води. У разі зниження температури вина на виході теплообмінника нижче заданої, триходовий клапан направляє вино не на ділянку розливу, а на повторне нагрівання в теплообмінник. Такий режим циркуляції вина також проводиться при запуску установки із «холодного» стану (алгоритм запуску установки).

У виноробстві широкого поширення набули пластинчасті теплообмінники різноманітних конструкцій. Прикладом такого теплообмінника є пастеризаційний апарат «Альфа Лаваль» Р11-ЕВ. На рис. 1.3 показана схема пластинчастого теплообмінника.

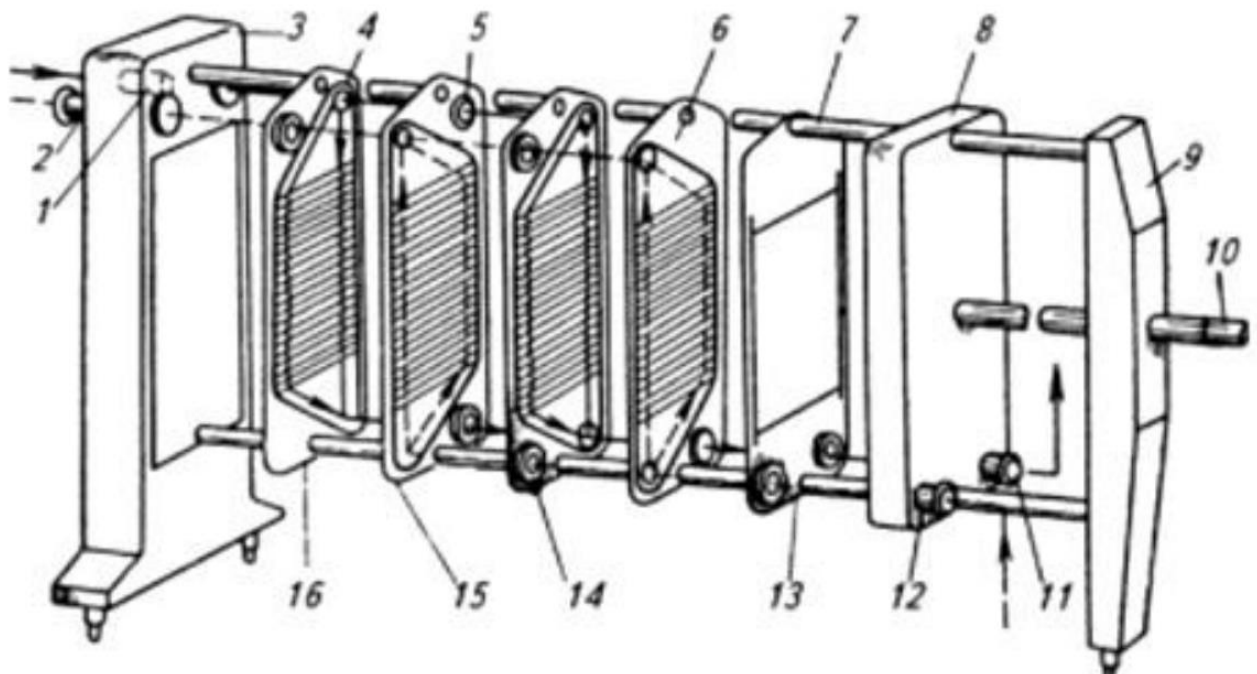


Рис. 1.3 – Конструкція пластинчастого теплообмінника

Він складається з групи робочих теплообмінних пластин 14, підвішених на горизонтальних штангах 7, кінці яких закладені в стійках 3 і 9. За

допомогою натискної плити 8 і гвинта 10 пластини в зібраному стані стиснуті в один пакет. На схемі для більш ясного зображення потоків 5 рідин показано лише п'ять пластин у розімкнутому положенні. Насправді пластини в робочому положенні щільно притиснуті один до одного на гумових прокладках 4 та 5. На схемі шлях вина, що обробляється, позначений суцільною лінією, а теплоносія — пунктирною. Продукт входить в апарат через штуцер 1 і через верхній кутовий отвір у першій ліворуч пластині 16 (кінцевий) потрапляє в поздовжній колектор, утворений кутовими отворами пластин після їх збирання. По колектору продукт проходить до граничної пластини 6, що має глухий кут (без отвору), і розподіляється по непарних каналах між пластинами, які повідомляються з кутовим колектором завдяки розташуванню гумових прокладок. При русі вниз у міжпластинчастому каналі продукт обтікає хвилясту поверхню пластин, що обігриваються з зворотного боку теплоносієм, виходить у поздовжній колектор, утворений нижніми кутовими отворами, і виходить з апарата через штуцер 11. Теплоносій рухається в апараті назустріч продукту. Він надходить у штуцер 12, проходить через нижній колектор, розподіляється по парних каналах (між кінцевою пластиною 13 і граничною 6, граничною 15 і кінцевою 16) і рухається по них вгору, а потім верхній колектор і штуцер 2 виходить з апарату. Паралельна розстановка плоских пластин в цілому з малими проміжками між ними дозволяє розмістити в просторі робочу поверхню теплообмінника найбільш компактно, що призводить до значного зменшення розмірів пластинчастого апарату в порівнянні з іншими типами рідинних теплообмінників. Пластинчастий теплообмінник може бути охарактеризований як розбірний, а й як набірний. Його конструкція дозволяє мати безліч різних варіантів компонування. 6 Компонування апарата умовно позначають дробом, де сума цифр у чисельнику показує число послідовно з'єднаних пакетів трактом продукту, а значення кожної з цифр - кількість паралельних міжпластинних каналів у відповідному пакеті. У знаменнику даються самі відомості для теплоносія. Позначення такого роду називають

формулами компонування. Існує велика різноманітність форм пластин та їх профілів. Вони діляться формою поверхні і напрямку потоку рідини в міжпластинному просторі. Такий поділ має безпосереднє відношення до теплових та гідравлічних характеристик пластин. Пластини бувають каналчастими (зі спіральним або зигзагоподібним каналом), однопоточними (з стрічковим або сітчастим потоком), плоскими зі вставками. Пластини можуть бути розділені також за внутрішніми ознаками, що встановлюють різницю між пластинами всередині одного апарату: за призначенням в апараті (рядові, граничні, кінцеві); місцезнаходження ущільнювальних прокладок (двосторонні, односторонні, гладкі); відносного розташування ущільнювальних прокладок (ліві, праві); відносного розташування входу і виходу та за загальним напрямком потоку на пластині (прямі, діагональні). У нашій роботі розглядається пластинчастий теплообмінник, що складається з двох секцій. Принцип дії обох секцій однаковий, але в одній секції проводиться нагрівання води за допомогою пари, що гріє, а в іншій секції відбувається нагрівання вина отриманою гарячою водою. Таким чином досліджуваний у КП теплообмінник складається з: 1. Секції підігріву води (де гріючим агентом є пара) 2. Секції підігріву вина (де гріючим агентом є гаряча вода). Вино подається до теплообмінника насосом. Під час проходження каналів пластин вино нагрівається до заданої температури та прямує на ділянку розливу. Гаряча вода, циркулюючи за замкнутим контуром, через пластини віддає тепло вину і прямує в секцію, де підігрівається гарячою парою. Для забезпечення циркуляції води замкнутим контуром використовується насос.

Мета ведення процесу обробки виноматеріалу теплом – отримання заданої температури виноматеріалу, що подається на гарячий розлив у пляшки, за визначений час. При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

Технологічний процес обробки виноматеріалу теплом доцільно реалізовувати, якщо:

- є запас виноматеріалу на 1 годину роботи установки;
- є мінімально припустимий тиск пари в паропроводі (0,2МПа);
- є вода, як проміжний теплоносіє;
- повинна бути електроенергія в колах електричного живлення із середньостатистичними параметрами мережі  $220\text{В} \pm 10\%$ , 50 Гц.

Технологічний процес обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику є тепловим процесом, пов'язаним з теплообміном між паром, яка конденсується, гарячою водою та виноматеріалом. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.4.

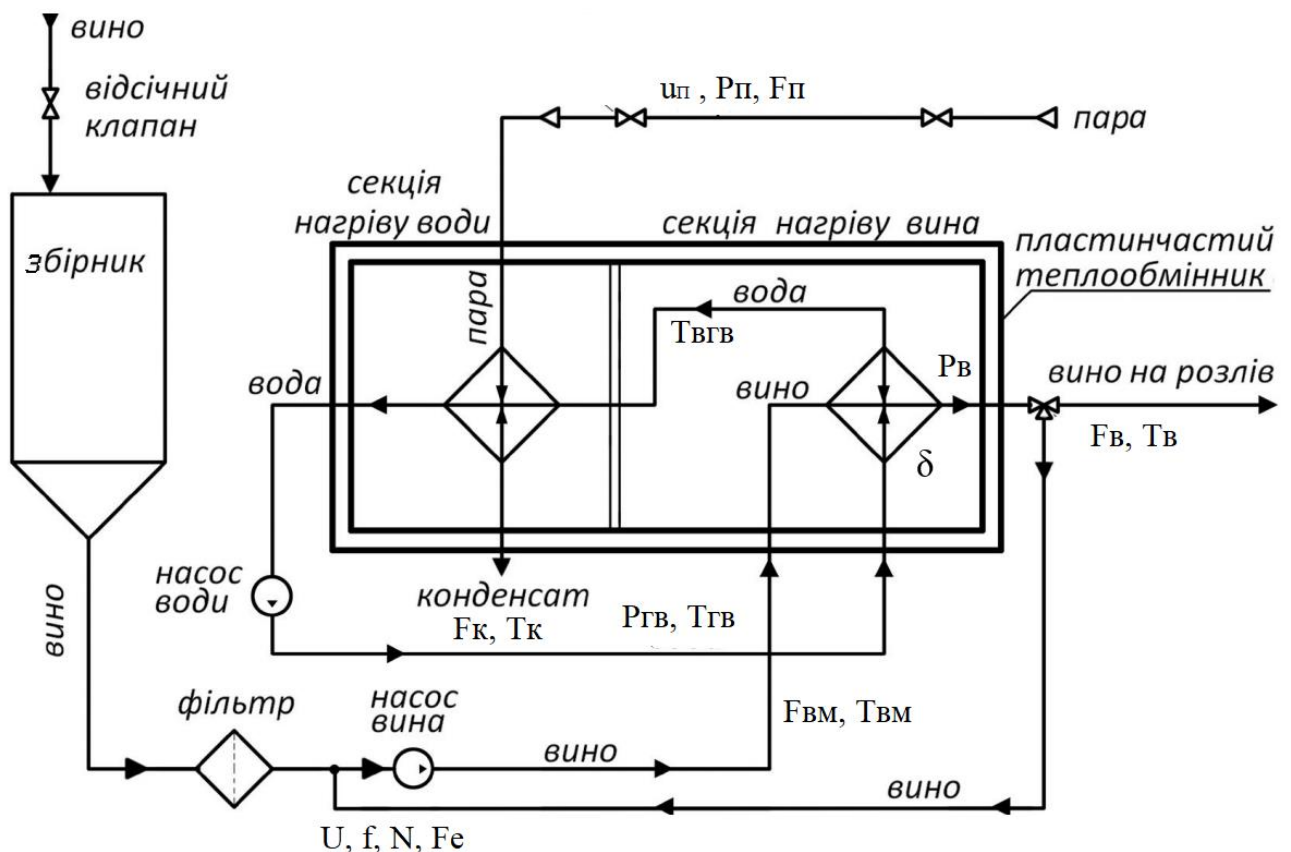


Рис. 1.4 – Параметризована технологічна схема процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

$P_p$  – тиск пари в паропроводі, МПа;

$G_p$  – витрати пари, кг/год;

$u_p$  – положення регулюючого органу подачі пари, %х.р.о.;

$G_{vm}$  – витрати виноматеріалу, кг/год;

$T_{vm}$  – температура виноматеріалу, °С;

$G_v$  – витрати вина, кг/год;

$T_v$  – температура вина, °С;

$P_v$  – тиск продукту в системі, МПа;

$P_{gw}$  – тиск гарячої води, МПа;

$T_{gw}$  – температура гарячої води, °С;

$T_{vgw}$  – температура відпрацьованої гарячої води, °С;

$G_k$  – витрати конденсату, кг/год;

$T_k$  – температура конденсату, °С;

$U$  – напруга в електромережі, В;

$f$  – частота в електромережі, Гц;

$N$  – сумарна потужність електроприводів, кВт;

$G_e$  – витрати електроенергії, кВт · год;

$\delta$  – налипання часток продукту на теплопередавальних поверхнях теплообмінника, мм.

Оснoву нормативів ведення процесу складають три основних регламенти.

*Технологічний регламент* – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Для технологічного процесу обробки виноматеріалу теплом такими параметрами є температура вина ( $T_v$ ), температура гарячої води ( $T_{gw}$ ) та витрати вина ( $G_v$ ).

*Експлуатаційний регламент* – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Для пластинчастого теплообмінника до цієї групи параметрів віднесемо тиск виноматеріалу в системі ( $P_v$ ).

*Техніко-економічний і екологічний регламент* визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. До цієї групи параметрів можна віднести витрати пари (Fп), температуру відпрацьованої гарячої води (Твгв), витрати конденсату (Fк), температуру конденсату (Тк) та витрати електроенергії (Fe).

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликані зміною параметрів, характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному керуванні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски.

Перевищення температурою вина гранично припустимого значення призведе до втрати поживних речовин вина, як готового продукту, призведе до зниження його якості. Зниження температури вина нижче гранично припустимого значення призведе до порушення режиму пригнічення мікрофлори виноматеріалу, зниження стабільності параметрів вина в процесі зберігання і, як результат, до втрат якості готового продукту.

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короткочасні відхилення. Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.1.

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці виміру	Номінальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі		Короткочасні
					Величина	Величина	Час
1	Температура вина	Тв	°С	50	±0,5	±3	150с

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами та можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку, тобто виноматеріалу, а саме витрати ( $F_{ВМ}$ ) та температуру ( $T_{ВМ}$ ).

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного обладнання ззовні і витрачається на зміну властивостей технологічної води. До цієї групи параметрів віднесемо пари, а саме тиск ( $P_{П}$ ), параметри гарячої води, а саме тиск ( $P_{ГВ}$ ), а також параметри електроенергії, а саме напругу ( $U$ ) та частоту ( $f$ ) в електромережі.

Механічні та інші специфічні параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо положення регулюючого органу подачі пари ( $u_{П}$ ) та сумарну потужність електродвигунів установки ( $N$ ), налипання часток продукту на теплопередавальних поверхнях теплообмінника ( $\delta$ ).

Параметрична схема процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику наведена на рис. 1.5.

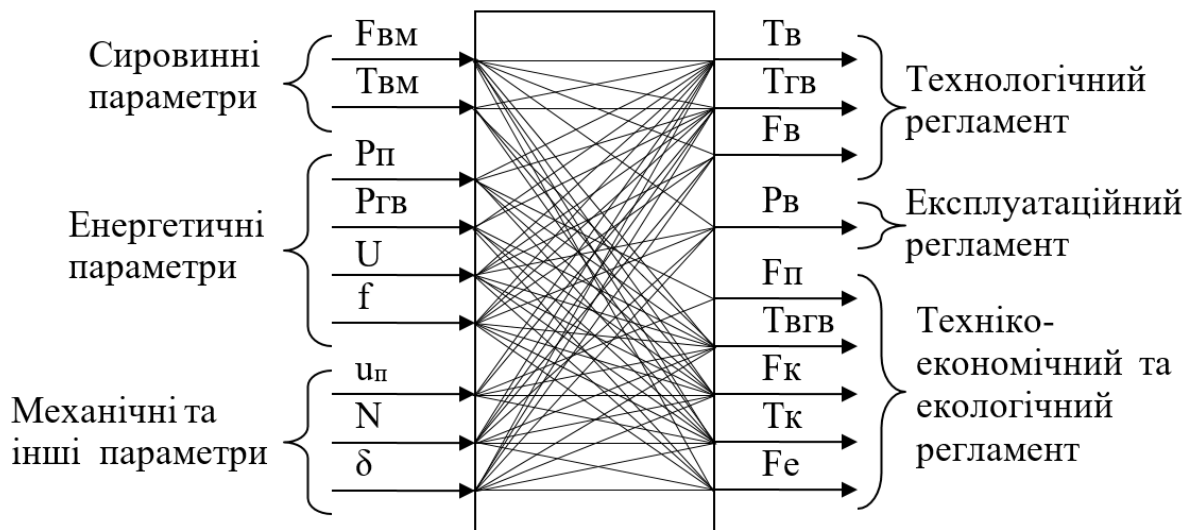


Рис. 1.5 – Параметрична схема процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику

## **1.2 Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього**

Класичною схемою автоматизації ділянки передбачено автоматичне регулювання температури вина за позиційним законом регулювання. Інформація про температуру вина отримується від термометра опору типу ТСП, ця інформація надається оператору, показується та реєструється автоматичним мостом типу МСР, автоматичне регулювання забезпечує позиційна вставка моста, керуюча дія реалізується електричним виконавчим механізмом типу ПР. Схемою автоматизації передбачено дистанційне керування виконавчими механізмами і силовими електроприводами ділянки.

Логічне керування процесом передбачає пуск ділянки в роботу, технологічну зупинку та відпрацювання нештатних ситуацій. Послідовність дій передбачено технологічною інструкцією, але реалізується в дистанційному режимі.

В рамках курсової роботи з метрології, технологічних вимірювань та приладів (МТВП) було запропоновано вимірювально-інформаційну систему на базі мікропроцесорного контролера МІК-52 (Мікрол, Україна). Системою передбачено регулювання температури гарячої води дроселюванням потоку пари. Температура вина на виході із теплообмінника контролюється на предмет відповідності регламенту. Якщо температура вина не відповідає регламентованому значенню, то вино направляється на рециркуляцію.

Також системою керування контролюються температура вина на вході, рівень вина в збірнику, тиск, температура та витрати гріючої пари. Для цього використовуються технічні засоби автоматизації, що здатні інтегруватися до комп'ютерної-контролерної мережі. Дистанційне управління виконавчим механізмом подачі пари забезпечується блоком БРУ-7 з комплекту технічних засобів фірми Мікрол, що дозволить побудувати контролерну мережу на основі контролера МІК-51.

Але слід зазначити, що алгоритми керування в рамках курсової роботи з МТВП не розроблялися. Але архітектурою системи передбачено можливість реалізації функцій регулювання і логічного керування в автоматичному режимі.

### **1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК**

Точність підтримання температури вина на виході із теплообмінника при обробці вина теплом забезпечує підтримання на припустимому рівні якість готової продукції за умови зменшення перевитрат тепла. До того ж, саме стабілізація вина теплом застосовується в першу чергу для продукту з загрозою суттєвих втрат якості. Отже, у процесі функціонування системи керування процесом обробки вина теплом основним джерелом підвищення ефективності процесу є зменшення втрат від браку готової продукції. З цим пов'язане збільшення продуктивності лінії.

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

Таблиця 1.2

Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної  
ефективності

Статті витрат	Очікуваний джерело економії	Кількісна оцінка
Втрати від браку готової продукції	Підвищення точності підтримання температури вина на виході теплообмінника	Продуктивність лінії розливу до автоматизації – 280 дал/год після автоматизації – 310 дал/год

Економічною метою дипломної роботи є підвищення конкурентоспроможності основних показників економічної діяльності підприємства за рахунок заходів з підвищення якості готової продукції шляхом впровадження модернізованої системи управління.

Система управління процесом обробки вина теплом у пластинчастому теплообміннику реалізується на базі технічних засобів, ПК та МПК.

Система повинна реалізовувати такі функції:

а) інформаційні: збір та обробка інформації; оперативне відображення інформації; зберігання інформації;

б) керуючі: стабілізація технологічних параметрів; логічне керування ходом технологічного процесу; ручне (дистанційне) керування технологічним процесом; вибір режимів керування.

#### **1.4 Висновки за розділом**

Технологічний процес обробки вина теплом у пластинчастому теплообміннику є одним з ключових процесів на лінії розливу готової продукції. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме обробки вина теплом було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування. Провівши аналіз господарської діяльності підприємства і ходу технологічного процесу, можна

зробити висновок , що саме на цій ділянці технологічної схеми можна істотно змінити техніко-економічні показники виробництва в цілому, такі як зменшення втрат від браку готової продукції.

Виходячи з вище викладеного, при впровадженні для процесу обробки вина теплом у пластинчастому теплообміннику модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися зниження втрат від браку готової продукції. Для цього слід буде поліпшити якість регулювання температури вина, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

## 2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання

### 2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання

Для процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику в якості регульованої координати доцільно обрати температуру вина  $T_v$ . В об'єкті керування доцільно обрати температуру гарячої води  $T_{ГВ}$  в якості проміжної точки об'єкта керування. До керуючих дій доцільно віднести положення регулюючих органів подачі пари ( $u_p$ ). Для процесу обробки вина теплом в пластинчастому теплообміннику не було виявлено збурень, враховуючи які можна суттєво покращити якість регулювання, тому всі вхідні дії, крім керуючих дій, віднесемо до неконтрольованих збурень  $f_1$  та  $f_2$ . Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до керуючої дії та проміжної точки, а стохастичну складову – до регульованої координати.

Структурна схема процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику наведена на рис. 2.1.

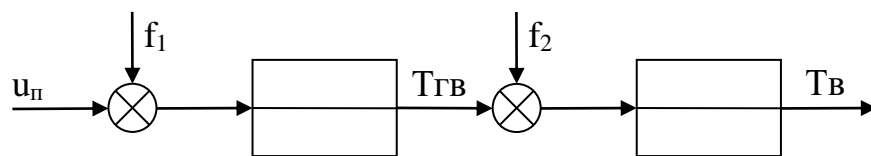


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику як об'єкту регулювання

На рисунку:

$u_p$  – положення регулюючого органу подачі пари, %х.р.о.;

$T_v$  – температура вина, °С;

$T_{ГВ}$  – температура гарячої води, °С;

$f_1, f_2$  – вектори неконтрольованих збурень.

## 2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

Перед початком експериментів доцільно на основі апріорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, попередньо оцінити властивості каналів, моделі яких підлягають ідентифікації.

Для технологічного процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику ОК за всіма каналами має властивості самовирівнювання, отже є статичним, оскільки є тепловим. Збільшення керуючої дії, пов'язаної з дроселюванням потоку пари, призведе до збільшення температури гарячої води і температури вина.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни керуючої дії домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенню  $u_{п} = 60$  %х.р.о. будуть відповідати значення регульованих координат  $T_{гв} = 85^{\circ}\text{C}$  та  $T_{в} = 50^{\circ}\text{C}$ .

2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів, при яких вихідні змінні перестануть змінюватися.

3. Змінимо керуючу дію  $u_{п}$  ступінчастим чином на 10%х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2.

За результатами активного експерименту (рис. 2.2) можна зробити висновок, що за всіма канал наш ОК має властивість самовирівнювання, а тому може бути описаний передаточними функціями такого вигляду:

$$W_o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{T_o p + 1}; \quad W_o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{(T_o p + 1)^2}$$

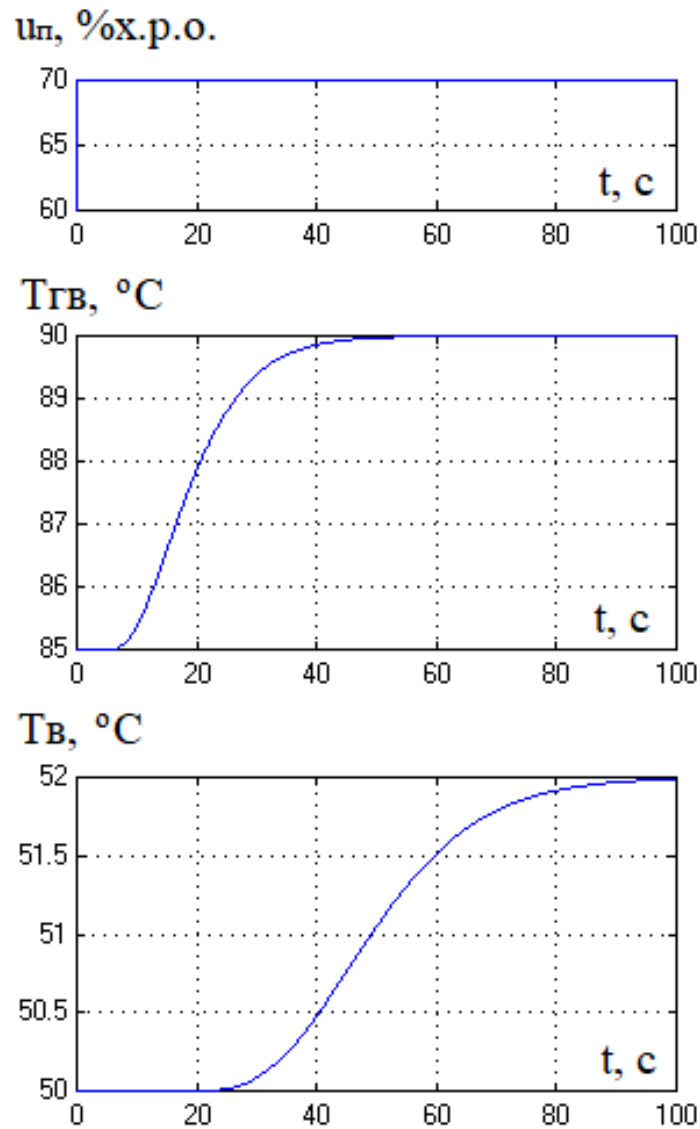


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

Параметричну ідентифікацію математичних моделей каналів ОК проводитимемо за методиками «двох загальних точок» для моделей 1-го та 2-го порядку. Для параметричної ідентифікації моделей зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК ( $K_0$ ), сталу часу ( $T_0$ ) і час запізнення ( $\tau_0$ ).

#### Канал « $u_n - T_{Гв}$ »

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta T_{Гв}}{\Delta u_n} = \frac{90 - 85}{70 - 60} = 0,5 \text{ } ^\circ C / \%x.p.o.$$

Для моделі 1-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо  $t_{0,33}$  і  $t_{0,7}$ .

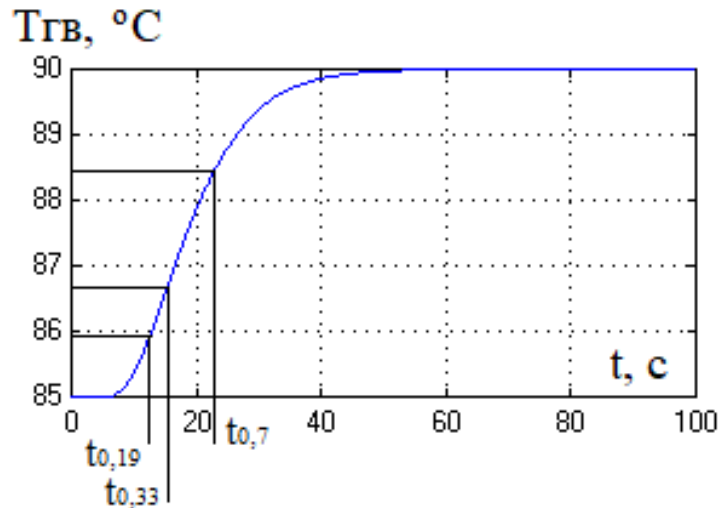


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $u_{\text{п}}$  – ТГВ»

$$t_{0,33} = 15,6 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 22,6 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 15,6 - 22,6}{2} = 12,1 \text{ с}$$

$$T = \frac{22,6 - 12,1}{1,2} = 8,8 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-12,1p}}{8,8p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$t_{0,19} = 12,5.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 12,5 - 22,6}{2} = 7,5 \text{ с}$$

$$T = \frac{22,6 - 7,5}{2,4} = 6,3 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-7,5p}}{(6,3p + 1)^2}$$

**Канал « $u_n - T_B$ »**

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta T_B}{\Delta u_n} = \frac{52 - 50}{70 - 60} = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.4), знаходимо  $t_{0,33}$  і  $t_{0,7}$ .

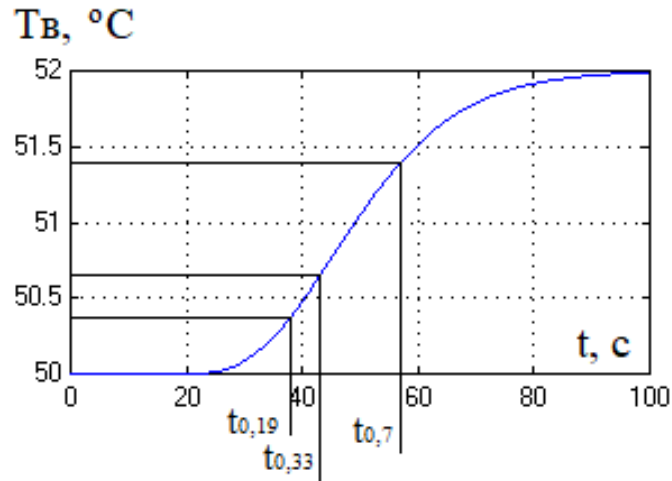


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $u_n - T_B$ »

$$t_{0,33} = 43,2 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 56,8 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 43,2 - 56,8}{2} = 36,4 \text{ с}$$

$$T = \frac{56,8 - 36,4}{1,2} = 17 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-36,4p}}{17p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$t_{0,19} = 37,8 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 37,8 - 56,8}{2} = 28,3 \text{ с}$$

$$T = \frac{56,8 - 28,3}{2,4} = 11,9 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-28,8p}}{(11,9p + 1)^2}$$

### Канал «ТГв – Тв»

Визначаємо коефіцієнт передачі:

Для визначення  $\tau$  та  $T$  зберемо схему моделювання, наведену на рис. 2.5. Результати ідентифікації каналу ОК за моделлю 1-го порядку наведено на рис. 2.6, результати ідентифікації каналу ОК за моделлю 2-го порядку наведено на рис. 2.7.

#### Модель 1-го порядку

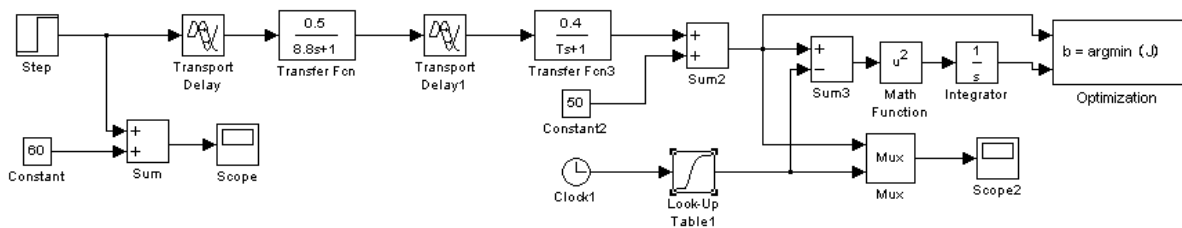
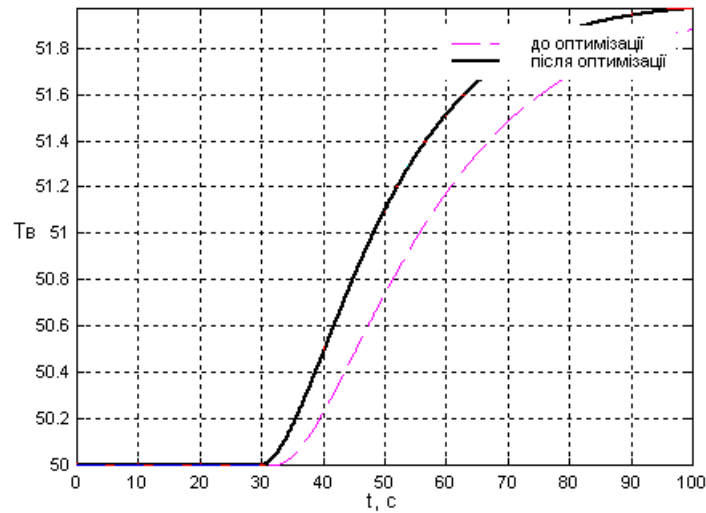
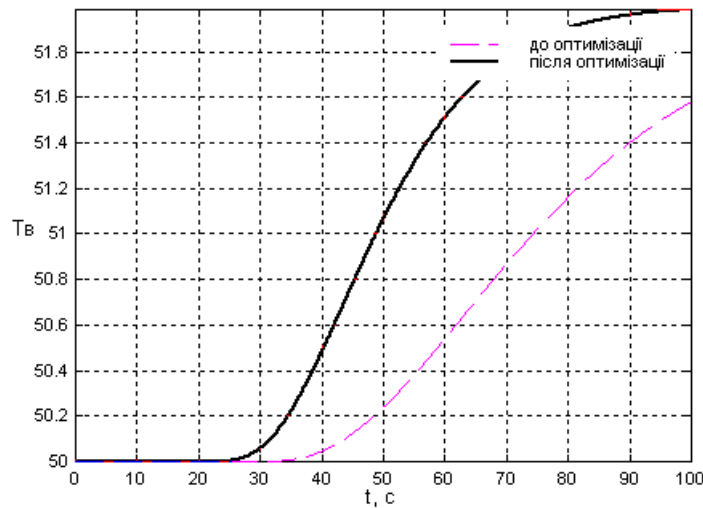


Рис. 2.5 – Схема моделювання для ідентифікації моделі ОК 1-го порядку за каналом «ТГв–Тв»



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
tau	17.4874	0	20	100	до - 4.6321
T	13.404	1	20	100	після - 0.11539
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1200
					фактична - 63

Рис. 2.6 – Результати ідентифікації моделі ОК 1-го порядку за каналом «Тгв–Тв»



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
tau	13.7671	0	20	100	до - 36.27
T	8.688	1	20	100	після - 0.0091375
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1200
					фактична - 76

Рис. 2.7 – Результати ідентифікації моделі ОК 2-го порядку за каналом «Тгв–Тв»

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

$$W_o(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-17,5p}}{13,4p + 1}$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-13,8p}}{(8,7p + 1)^2}$$

Проведемо ідентифікацію моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями

Для цього сплануємо активний експеримент на об'єкті для реалізації обраного методу та відображення результатів натурного або уявного експериментів у вигляді оцінок статичних характеристик.

Суть планування експерименту полягає у виборі діапазонів зміни факторів, кроку збільшення факторів, послідовності їх зміни та числа повторів цих змін.

**А.** Діапазони зміни факторів в експерименті фактично визначає діапазон, де отримана модель може коректно використовуватися. Тому вони повинні відповідати реальним діапазонам зміни змінними, обумовлених факторами.

**Б.** Крок факторів повинен бути такими, щоб при перекритті необхідного діапазону їх зміни кількість дослідів не була б занадто великою або малою – найчастіше рекомендується 3...6 дослідів.

**В.** Кількість повторів (для компенсації випадкової складової) визначається інтенсивністю випадкових складових у вхідних і вихідних змінних ОК, кількістю факторів (цілеспрямовано змінюваних вхідних змінних) витратами часу та інших обставин. Кількість повторів приймається рівною 3...5. У деяких випадках повторів можна не робити взагалі.

**Г.** Послідовність зміни факторів особливо при їх великій кількості доцільно вибрати такою, щоб рандомизувати експеримент, тобто додати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок

запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить “не пропустити” особливостей властивостей об'єкту, що при однакових з'єднаннях факторів при повторах можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.6...2.8.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	$u_{п}$ , %х.р.о.	$T_{гв}$ , °C	$T_{в}$ , °C
1	60	85	50
2	70	90	52
3	80	95	54
4	100	105	58
5	50	80	48
6	40	75	46
7	30	70	44
8	20	60	40
9	0	25	25

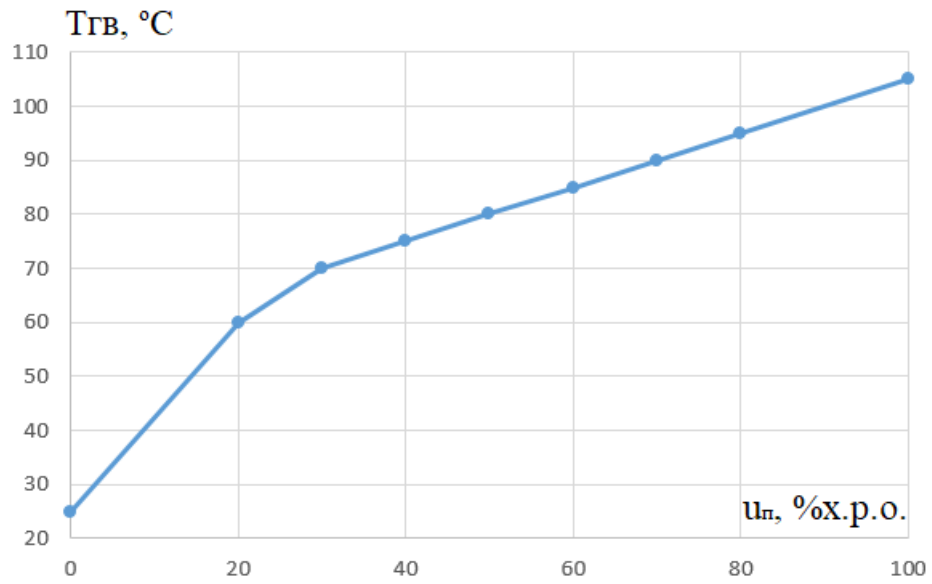


Рис. 2.6 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом « $u_{п}$  –  $T_{ГВ}$ »

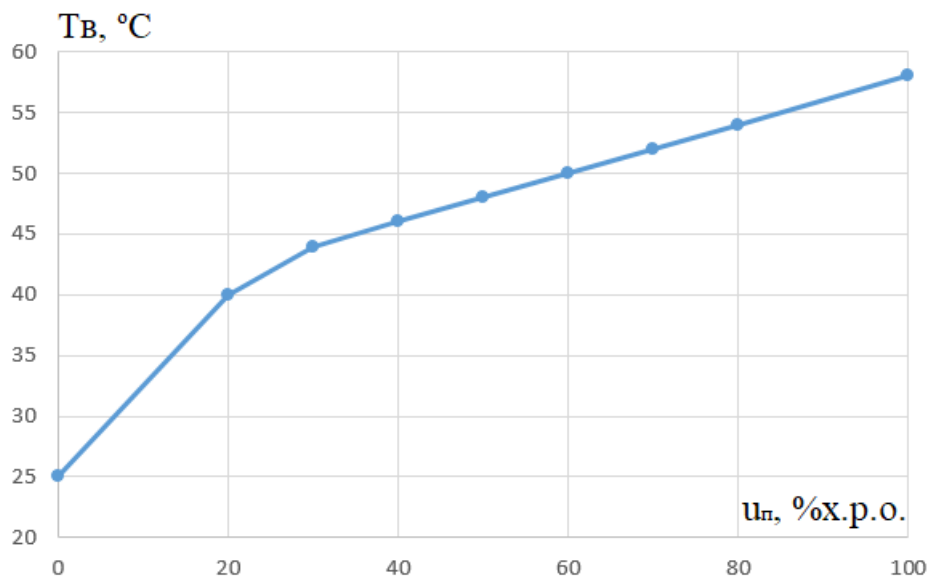


Рис. 2.7 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом « $u_{п}$  –  $T_{В}$ »

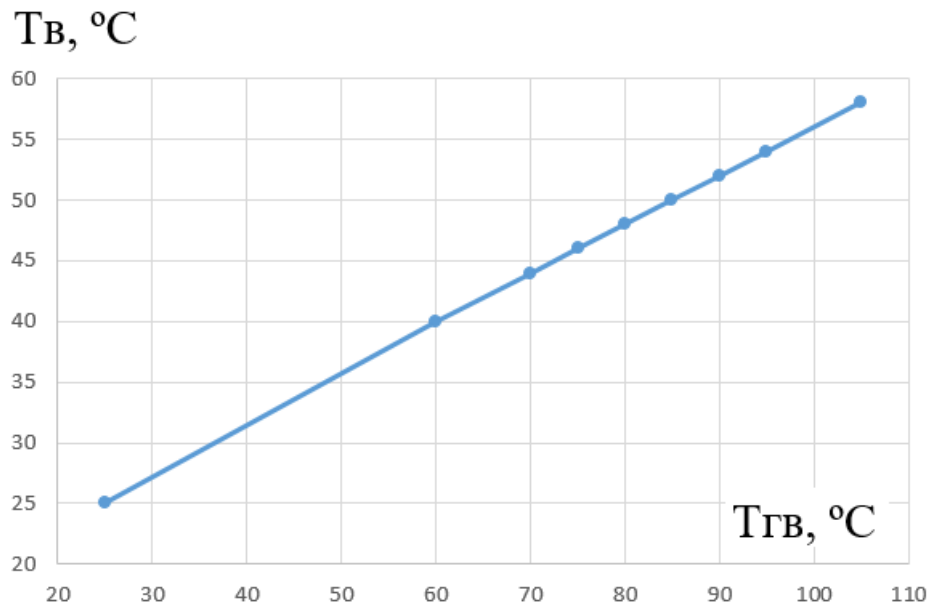


Рис. 2.8 – Статична характеристика ОК за каналом «ТГв – Тв»

Проведемо ідентифікацію моделі статички для ТГв

Для досліджуваного ОК статична характеристика може бути описана залежностями виду:

$$T_{Гв} = a_1 \cdot u_{п} + a_0 \text{ – модель 1-го порядку}$$

$$T_{Гв} = a_1 \cdot u_{п}^2 + a_2 \cdot u_{п} + a_0 \text{ – модель 2-го порядку}$$

Для параметричної ідентифікації використаємо процедуру polytool середовища Матлаб. Результати параметричної ідентифікації наведено на рис. 2.9.

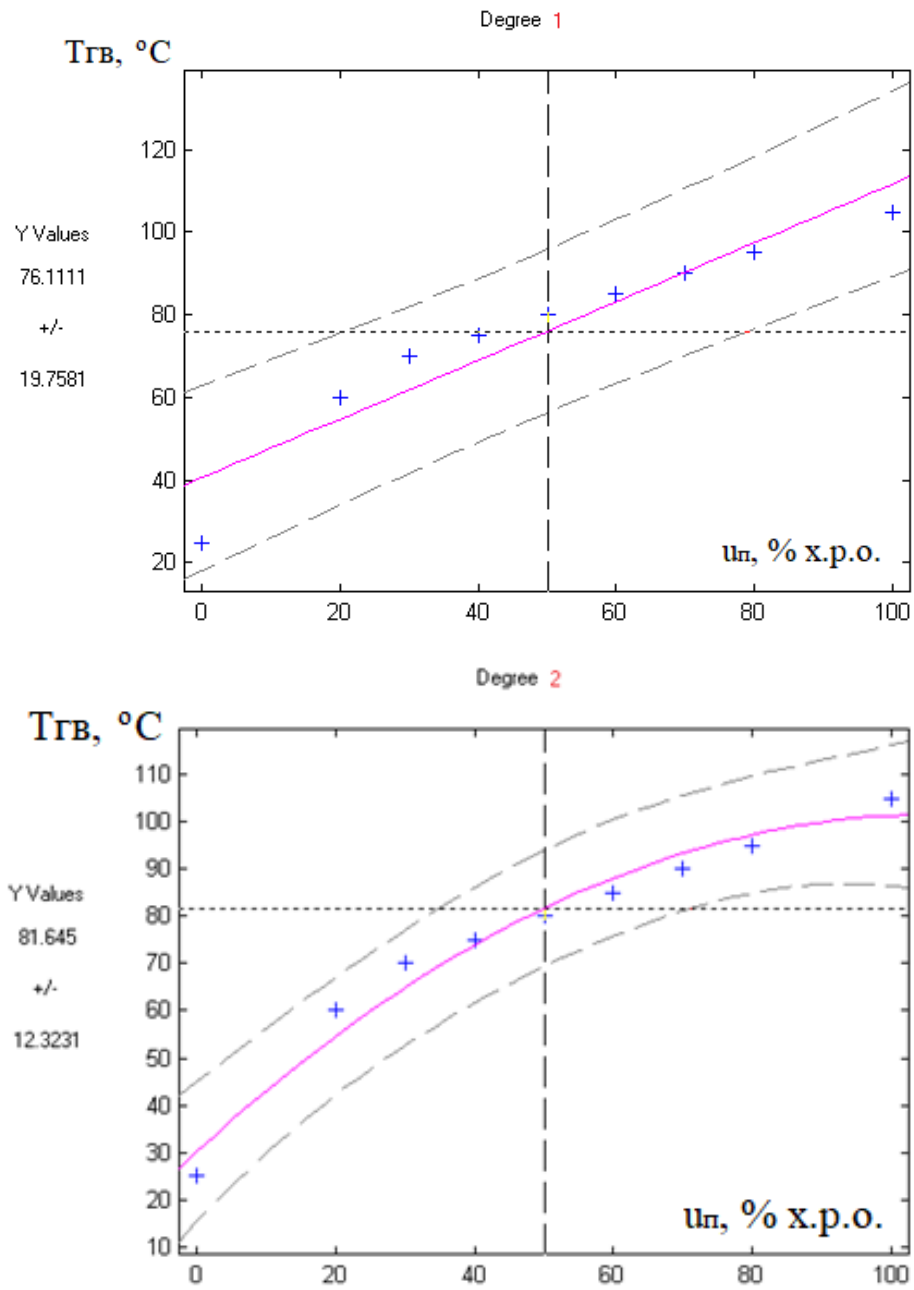


Рис. 2.9 – Результати параметричної ідентифікації моделі статички ОК за каналом « $u_n - T_{ГВ}$ »

```

u =
    0    20    30    40    50    60    70    80    100
» t
t =
    25    60    70    75    80    85    90    95    105
» polytool(u,t)
» beta
beta =
    0.7115    40.5342
» beta
beta =
   -0.0064    1.3501    30.1049

```

Рис. 2.9 (закінчення) – Результати параметричної ідентифікації моделі статички ОК за каналом « $u_{\text{п}} - T_{\text{ГВ}}$ »

Отже, статичні характеристики досліджуваного ОК будуть описані залежностями:

$$T_{\text{ГВ}} = 0,7115 \cdot u_{\text{п}} + 40,5342 \text{ – модель 1-го порядку}$$

$$T_{\text{ГВ}} = -0,0064 \cdot u_{\text{п}}^2 + 1,3501 \cdot u_{\text{п}} + 30,1049 \text{ – модель 2-го порядку}$$

Проведемо ідентифікацію моделі статички для каналу « $u_{\text{п}} - T_{\text{в}}$ »

Для досліджуваного ОК статична характеристика може бути описана залежностями виду:

$$T_{\text{в}} = a_1 \cdot u_{\text{п}} + a_0 \text{ – модель 1-го порядку}$$

$$T_{\text{в}} = a_1 \cdot u_{\text{п}}^2 + a_2 \cdot u_{\text{п}} + a_0 \text{ – модель 2-го порядку}$$

Для параметричної ідентифікації використаємо процедуру `polytool` середовища Матлаб. Результати параметричної ідентифікації наведено на рис. 2.10.

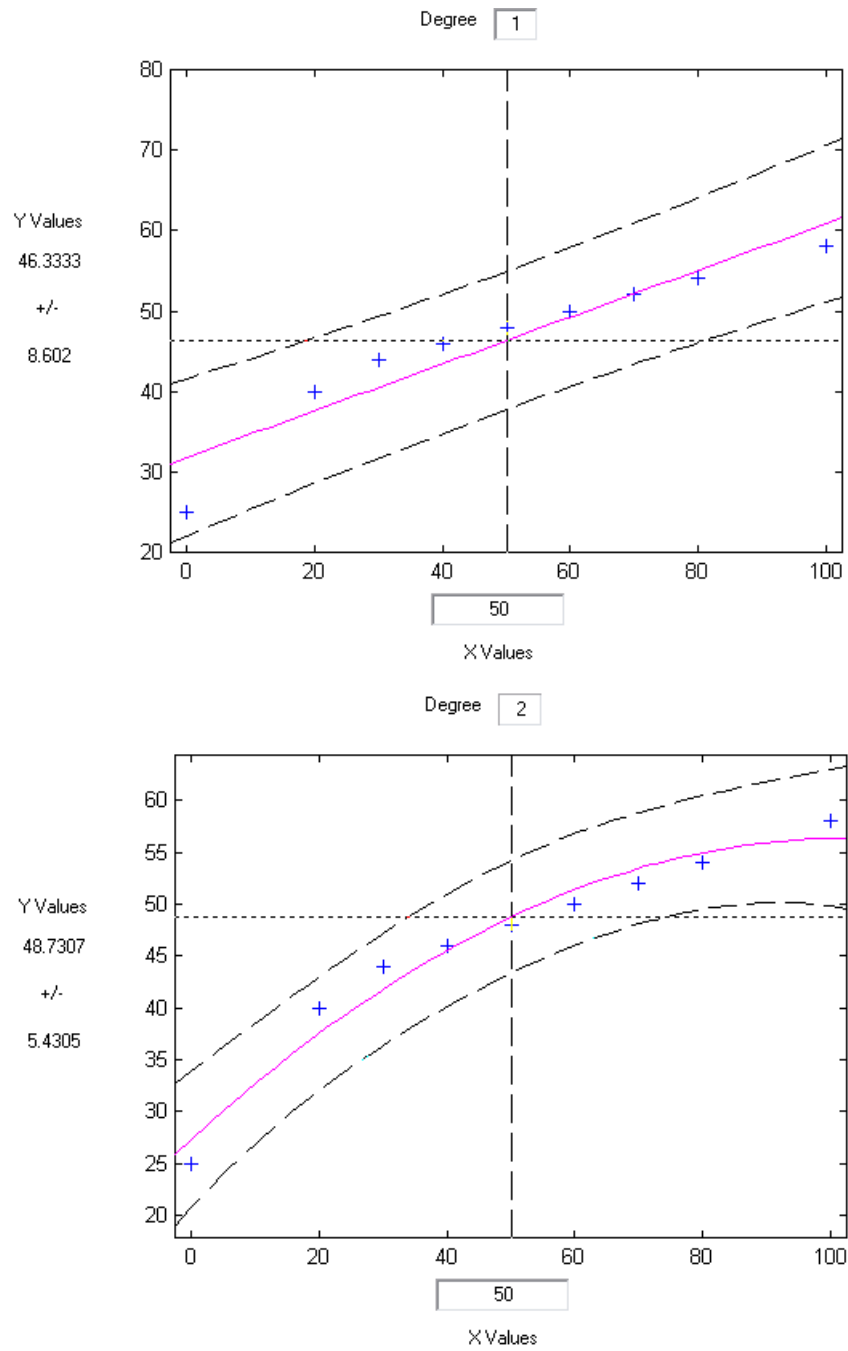


Рис. 2.10 – Результати параметричної ідентифікації моделі статички ОК за каналом « $u_{\text{П}}$  –  $T_{\text{В}}$ »

```

u =
    0    20    30    40    50    60    70    80    100
» tv
tv =
    25    40    44    46    48    50    52    54    58
» polytool(u,tv)
» beta
beta =
    0.2910    31.7821
» beta
beta =
   -0.0028    0.5676    27.2639

```

Рис. 2.10 (закінчення) – Результати параметричної ідентифікації моделі статички ОК за каналом « $u_{\text{п}} - T_{\text{в}}$ »

$T_{\text{в}} = 0,291 \cdot u_{\text{п}} + 31,7821$  – модель 1-го порядку

$T_{\text{в}} = -0,0028 \cdot u_{\text{п}}^2 + 0,5676 \cdot u_{\text{п}} + 27,2639$  – модель 2-го порядку

Проведемо ідентифікацію моделі статички для каналу « $T_{\text{ГВ}} - T_{\text{в}}$ »

Як видно з рис. 2.8, статична характеристика досліджуваного каналу ОК може бути описана лінійною залежністю виду:

$$T_{\text{в}} = a_1 \cdot T_{\text{ГВ}} + a_0$$

Проведемо параметричну ідентифікацію цієї моделі.

$$a_1 = \Delta T_{\text{в}} / \Delta T_{\text{ГВ}} = (52 - 50) / (90 - 85) = 2 / 5 = 0,4$$

$$a_0 = T_{\text{в}} - a_1 \cdot T_{\text{ГВ}} = 50 - 0,4 \cdot 85 = 16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{в}} = 0,4 \cdot T_{\text{ГВ}} + 16$$

### 2.3. Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція системи на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни управляючих дій. З теорії автоматичного керування відомо, що фізичний діапазон зміни управляючої дії лежить у межах  $0...100$  %х.р.о., а діапазон зміни неконтрольованих збурень може становити приблизно  $10...15\%$  від діапазону зміни управляючої дії, тобто становить приблизно  $10...15$  %х.р.о. (якщо неконтрольовані збурення прикладені до управляючої дії), або  $(10...15) \cdot K_0$  (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову ( $f_{нд}$ ) доцільно привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові ( $f_{нс}$ ) доцільно привести до регульованої координати.

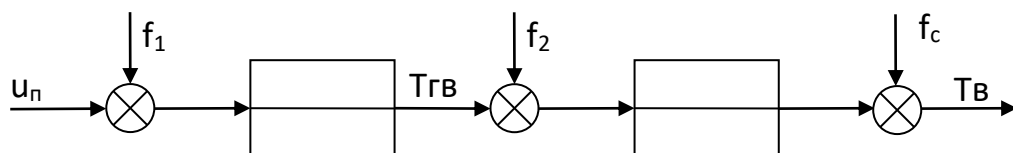


Рис. 2.11 – Структурна схема додання координатних збурень

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані немає, то з навчальною метою можна скористатися генератором даних. Для генерації результатів пасивного експерименту з метою дослідження неконтрольованих збурень треба бути готовими до відповіді на наступні питання.

1. Яким є мінімальне і задане значення регульованої координати? Для досліджуваного ОК  $T_{В}^{МН} = 25^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{В}^{ЗД} = 50^{\circ}\text{C}$ .

2. Яким є значення і розмірність часу запізнення в каналі управління для досліджуваної регульованої координати? Для досліджуваного ОК  $\tau_0 = 36,4\text{с}$ .

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати програма rgen у середовищі Матлаб. Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованих збурень досліджуваного ОК наведені на рис. 2.12.

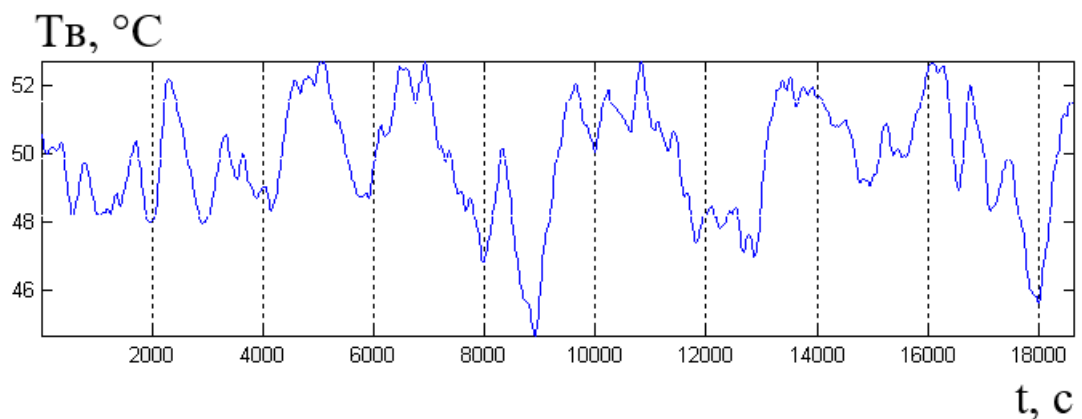
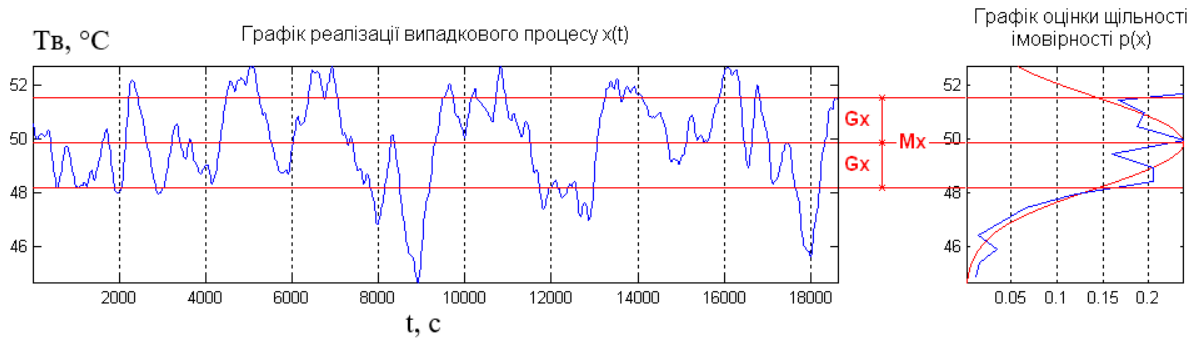


Рис. 2.12 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

Для ідентифікації моделей неконтрольованих координатних збурень можна використовувати програму IdSoft середовища Матлаб.

Першим етапом ідентифікації моделі неконтрольованих збурень є оцінювання імовірнісних характеристик відповідних випадкових процесів, а саме щільності імовірності, математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, середньоквадратичного періоду (СКП), кількості СКП у реалізації випадкового процесу, нормованої кореляційної функції і спектральної щільності випадкового процесу.

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням, наведені на рис. 2.13.



**Види моделей щільності імовірності**

Модель №1   
  Модель №2   
  Модель №3

**Модель щільності імовірності НОРМАЛЬНОГО (ГАУССІВЬКОГО) випадкового процесу**

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

Mx=0 Gx=const  
 Mx=0 Gx=2\*const  
 Mx=0 Gx=4\*const  
 Mx≠0 Gx=const

Обрати поточний вид моделі p(x)

Характеристики згенерованої реалізації випадкового процесу x(t):	
<b>ВИХІДНІ</b>	
Інтервал часу генерації ВП	Tr = 18636.8 с
Крок квантування ВП за часом генерації	Δt = 18.2 с
Кількість точок згенерованої реалізації ВП	N = 1024
<b>ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ОЦІНЮВАННЯ</b>	
Оцінка математичного очікування	Mx = 49.87
Оцінка дисперсії	Dx = 2.812
Оцінка середньоквадратичного відхилення	Gx = 1.677
Оцінка середньоквадратичного періоду	Tскп = 1331 с
Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50)	NТскп = 14

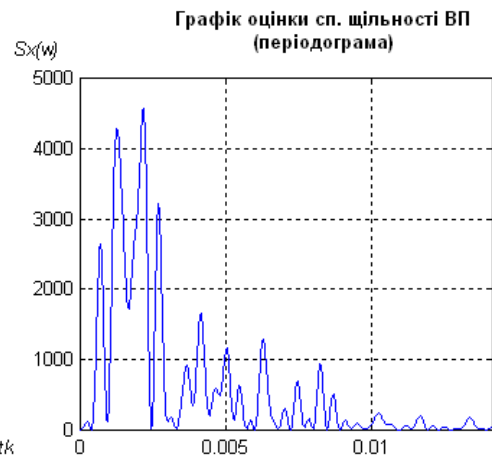


Рис. 2.13 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

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

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

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

Модель №5

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

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

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 моделей випадкових складових збурень є коефіцієнт спаду  $\alpha$  і коефіцієнт коливальності  $\beta$ . Пошук значень цих параметрів і називають параметричною ідентифікацією моделі стохастичної складової збурень. Вона ведеться, як правило, у два етапи: 1) вибір початкових наближень параметрів  $\hat{\alpha}^0, \hat{\beta}^0$ ; 2) пошук значень параметрів, які забезпечують найкраще наближення моделі до її оцінки.

При виборі початкових наближень параметрів можна користуватися рекомендаціями, які викладені в програмі. При параметричній оптимізації моделі використовується пошукова процедурами, що використовує квадратичний критерій. При цьому вирішується задача

$$\bar{a}^* = \arg \min \left[ \left( \hat{R}_f(\tau_k) - R_f^M(\tau_k) \right)^2 \right], \quad \bar{a} = \{\alpha, \beta\}^T.$$

Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.14.

Таблиця результатів ідентифікації						
Номер моделі	$\alpha$	$\beta$	A	C	$\gamma$	Значення критерію оптимізації
✓ 5	0.00088151	0.0018511	-	-	-	2.8172
✓ 6	0.00095834	0.0022537	-	-	-	6.7872

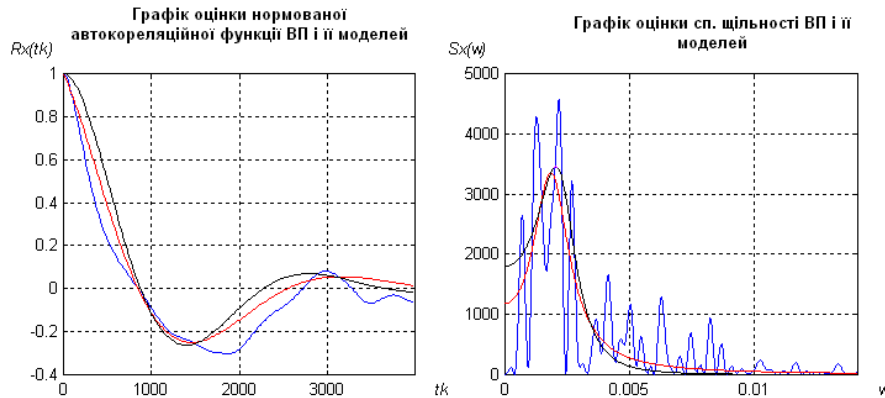


Рис. 2.14 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 2.14) кращою є модель №5, тому що для цієї моделі меншими є середньоквадратичні відхилення моделі від оцінок кореляційних функцій.

#### 2.4. Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналів « $u_{п} - T_{гв}$ », « $u_{п} - T_{гв}$ » ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку. Було отримано параметри моделей за каналами ОК. Результати цієї ідентифікації зведемо в таблицю.

Таблиця 2.2 – Результати ідентифікації моделей каналів

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
« $u_{\text{п}} - T_{\text{ГВ}}$ »	$W_o(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-12,1p}}{8,8p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-7,5p}}{(6,3p + 1)^2}$
« $u_{\text{п}} - T_{\text{В}}$ »	$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-36,4p}}{17p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-28,8p}}{(11,9p + 1)^2}$
« $T_{\text{ГВ}} - T_{\text{В}}$ »	$W_o(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-17,5p}}{13,4p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-13,8p}}{(8,7p + 1)^2}$

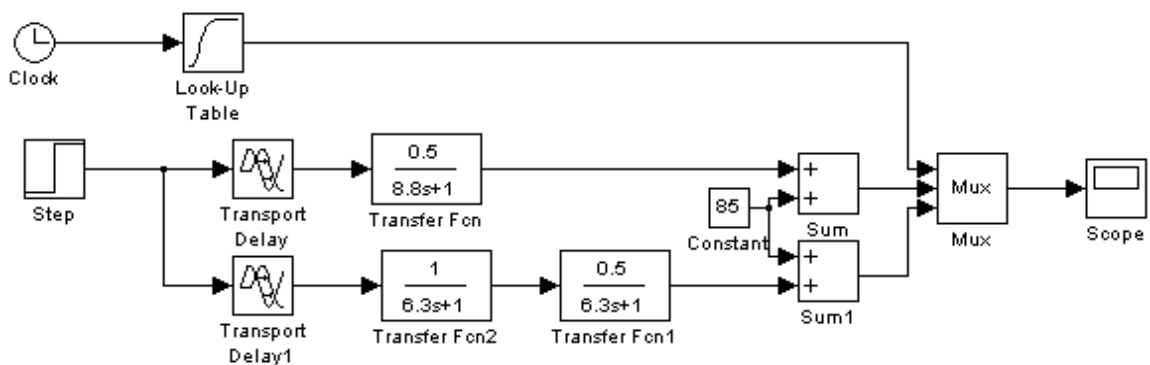
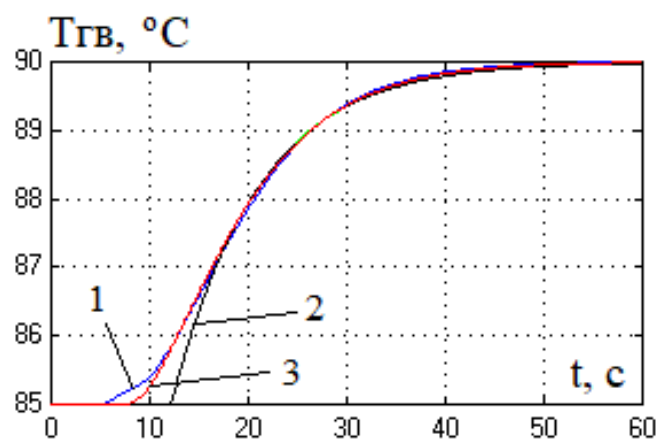
Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані для каналів « $u_{\text{п}} - T_{\text{ГВ}}$ », « $u_{\text{п}} - T_{\text{В}}$ » зведено в таблиці 2.3 і 2.4 відповідно. Схема моделювання для каналів « $u_{\text{п}} - T_{\text{ГВ}}$ », « $u_{\text{п}} - T_{\text{В}}$ » ОК наведені на рис. 2.15, 2.17 та 2.19 відповідно. Результати моделювання для каналів наведені на рис. 2.16, 2.18 та 2.20.

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані за каналом « $u_{\text{п}} - T_{\text{ГВ}}$ »

t, с	$T_{\text{ГВ}}, ^\circ\text{C}$	t, с	$T_{\text{ГВ}}, ^\circ\text{C}$	t, с	$T_{\text{ГВ}}, ^\circ\text{C}$
0	85	25	88,81	45	89,93
5,3	85	27,5	89,135	47,5	89,955
10	85,37	30	89,38	50	89,97
12,5	85,92	32,5	89,56	55	89,99
15	86,59	35	89,69	60	90
17,5	87,26	37,5	89,79	65	90
20	87,87	40	89,855	70	90
22,5	88,39	42,5	89,9	80	90

Таблиця 2.4 – Експериментальні дані за каналом « $u_{\text{п}}$  –  $T_{\text{в}}$ »

t, c	$T_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$
0	50	42,5	50,62	67,5	51,73
20	50	45	50,77	70	51,79
22,5	50	47,5	50,915	75	51,86
25	50,01	50	51,06	80	51,915
27,5	50,04	52,5	51,19	85	51,95
30	50,08	55	51,31	90	51,97
32,5	50,15	57,5	51,42	95	51,98
35	50,24	60	51,52	100	51,99
37,5	50,35	62,5	51,6	110	52
40	50,48	65	51,67	120	52

Рис. 2.15 – Схема моделювання ОК за каналом « $u_{\text{п}}$  –  $T_{\text{в}}$ »Рис. 2.16 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_{\text{п}}$  –  $T_{\text{в}}$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

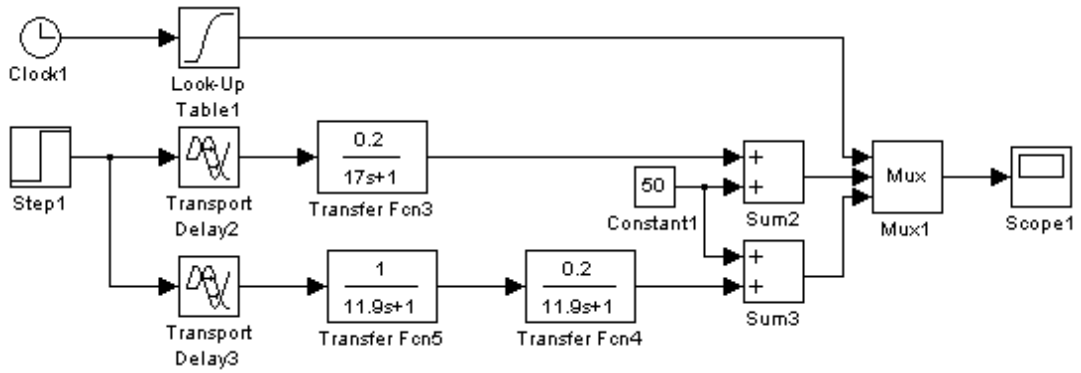


Рис. 2.17 – Схема моделювання ОК за каналом « $u_n - T_v$ »

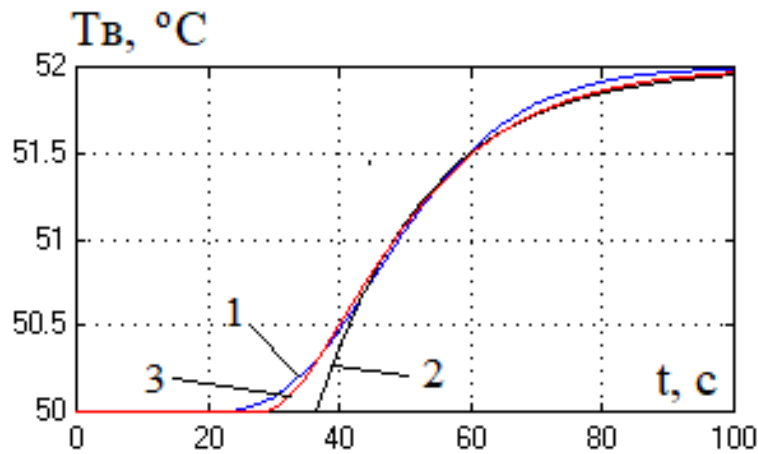


Рис. 2.18 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_n - T_v$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

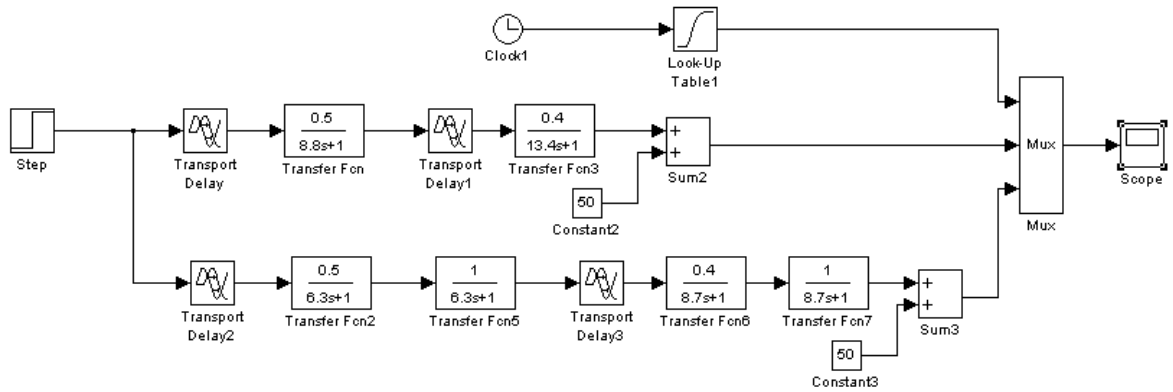


Рис. 2.19 – Схема моделювання ОК за каналом « $T_{gv} - T_v$ »

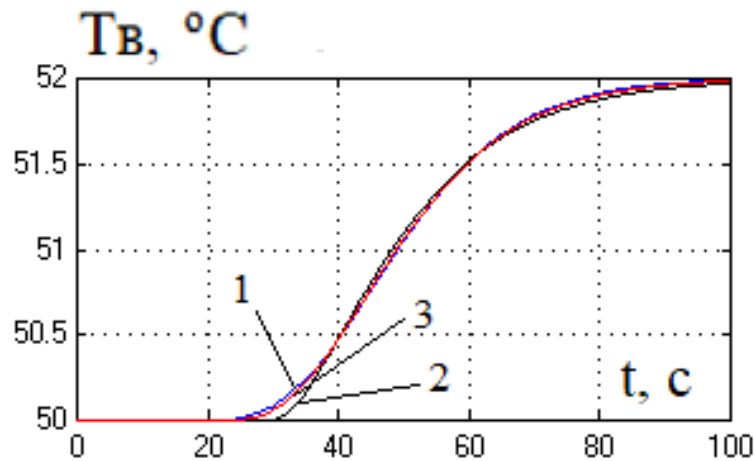


Рис. 2.20 – Результати моделювання ОК по каналу « $T_{ГВ} – T_{В}$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

Як видно з рис. 2.16, 2.18 та 2.20, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані, але моделі 2-го порядку точніші.

Моделі статичних характеристик за каналом « $u_{П} – T_{ГВ}$ »:

$$T_{ГВ} = 0,7115 \cdot u_{П} + 4,05342 \text{ – модель 1-го порядку}$$

$$T_{ГВ} = -0,0064 \cdot u_{П}^2 + 1,3501 \cdot u_{П} + 30,1049 \text{ – модель 2-го порядку}$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделей статички наведені в таблиці 2.1, результати розрахунків зведені в таблицю 2.5 і рисунок 2.21.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків моделей статичних характеристик за каналом « $u_{п}$  –  $T_{ГВ}$ »

№ експерименту	$u_{п}$ , % х.р.о.	$T_{ГВ}$ , °C	Модель	
			1-го порядку	2-го порядку
1	0	25	40,5342	30,1049
2	20	60	54,7642	54,5469
3	30	70	61,8792	64,8479
4	40	75	68,9942	73,8689
5	50	80	76,1092	81,6099
6	60	85	83,2242	88,0709
7	70	90	90,3392	93,2519
8	80	95	97,4542	97,1529
9	100	105	111,6842	101,1149

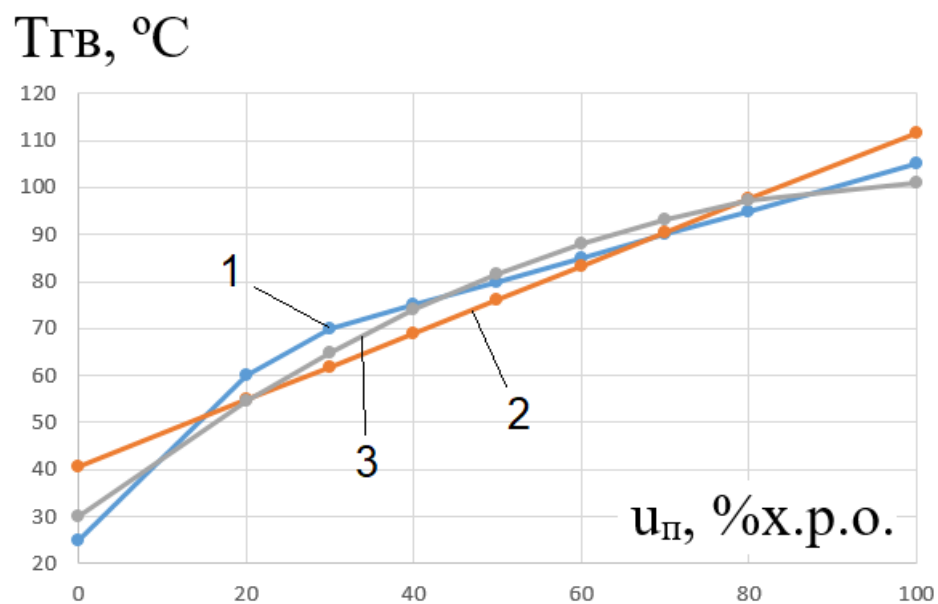


Рис. 2.21 – Результати розрахунків моделей статичних характеристик за каналом « $u_{п}$  –  $T_{ГВ}$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

Як видно із таблиці 2.5, модель 2-го порядку точніше описує експериментальні дані. Отже, модель статички 2-го порядку і будемо

використовувати у подальших дослідженнях.

Моделі статичних характеристик за каналом « $u_{п} - T_{в}$ »:

$T_{в} = 0,291 \cdot u_{п} + 31,7821$  – модель 1-го порядку

$T_{в} = - 0,0028 \cdot u_{п}^2 + 0,5676 \cdot u_{п} + 27,2639$  – модель 2-го порядку

Експериментальні дані для перевірки моделей статички наведені в таблиці 2.1, результати розрахунків зведені в таблицю 2.6 і рисунок 2.22.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунків моделей статичних характеристик за каналом « $u_{п} - T_{в}$ »

№ експерименту	$u_{п}$ , % х.р.о.	$T_{в}$ , °С	Модель	
			1-го порядку	2-го порядку
1	0	25	31,7821	27,2639
2	20	40	37,6021	37,4959
3	30	44	40,5121	41,7719
4	40	46	43,4221	45,4879
5	50	48	46,3321	48,6439
6	60	50	49,2421	51,2399
7	70	52	52,1521	53,2759
8	80	54	55,0621	54,7519
9	100	58	60,8821	56,0239

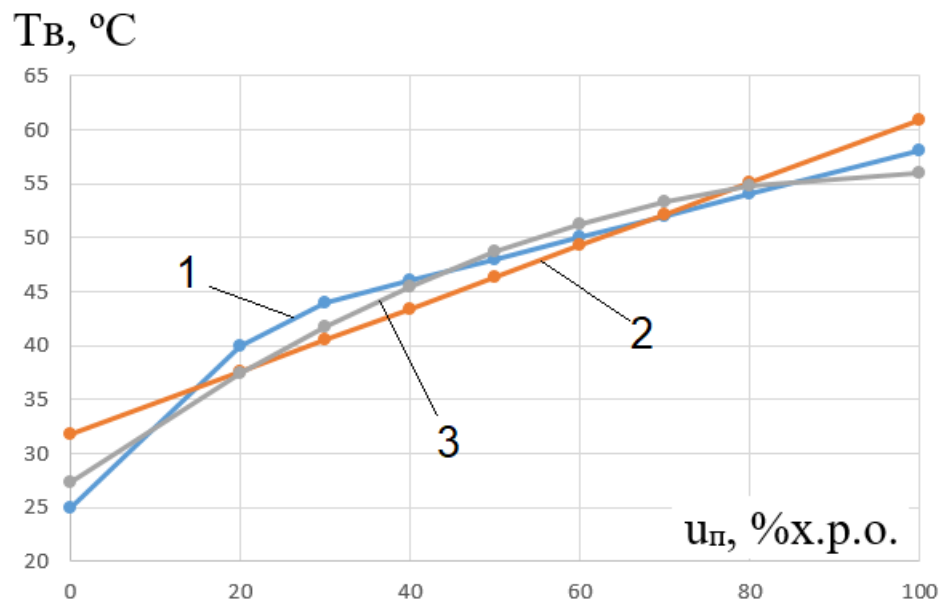


Рис. 2.22 – Результати розрахунків моделей статичних характеристик за каналом « $u_p$  –  $T_B$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

Як видно із таблиці 2.6, модель 2-го порядку точніше описує експериментальні дані. Отже, модель статички 2-го порядку і будемо використовувати у подальших дослідженнях.

Статична характеристика ОК за каналом « $T_{гв}$  –  $T_B$ » має вигляд

$$T_B = 0,4 \cdot T_{гв} + 16$$

Експериментальні дані для перевірки моделей статички наведені в таблиці 2.1, результати розрахунків зведені в таблицю 2.7 і рисунок 2.23.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку моделі статичної характеристики за каналом «ТГв – Тв»

№ експерименту	ТГв, °С	Тв, °С	Модель
1	25	25	26
2	60	40	40
3	70	44	44
4	75	46	46
5	80	48	48
6	85	50	50
7	90	52	52
8	95	54	54
9	105	58	58

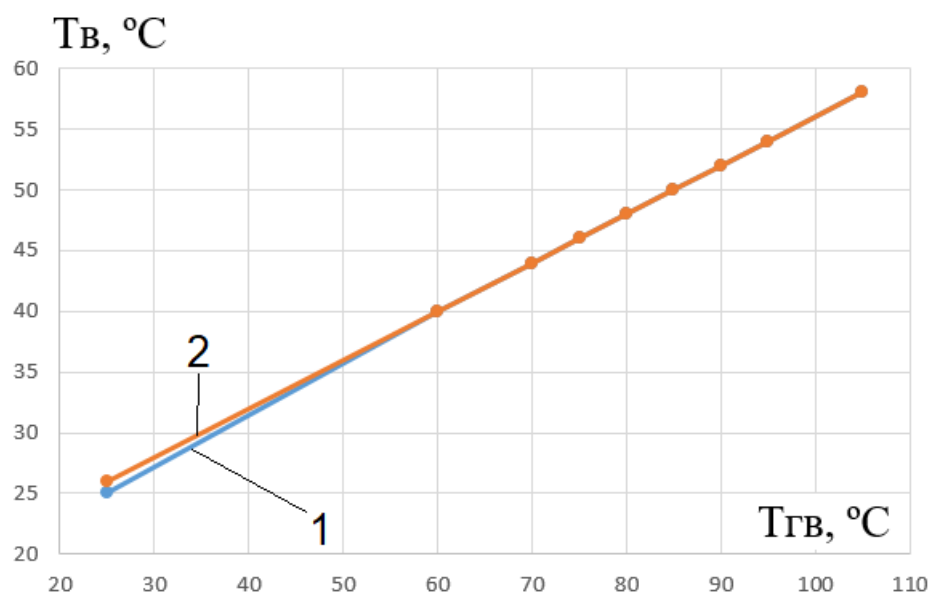


Рис. 2.23 – Результати розрахунку моделі статичної характеристики за каналом «ТГв – Тв»: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

Як видно з рис. 2.23, лінійна модель достатньо точно описує статичну характеристику ОК за каналом «ТГв – Тв».

Для реалізації повної моделі ОК об'єднуємо моделі динаміки і статички каналів ОК. Реалізація моделей каналів ОК для дослідження САР каскадної структури можлива у двох варіантах. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК за першим варіантом, наведена на рис. 2.24, а результати моделювання – на рис. 2.25. Схема моделювання, що відображує модель ОК за другим варіантом, наведена на рис. 2.26, а результати моделювання – на рис. 2.27.

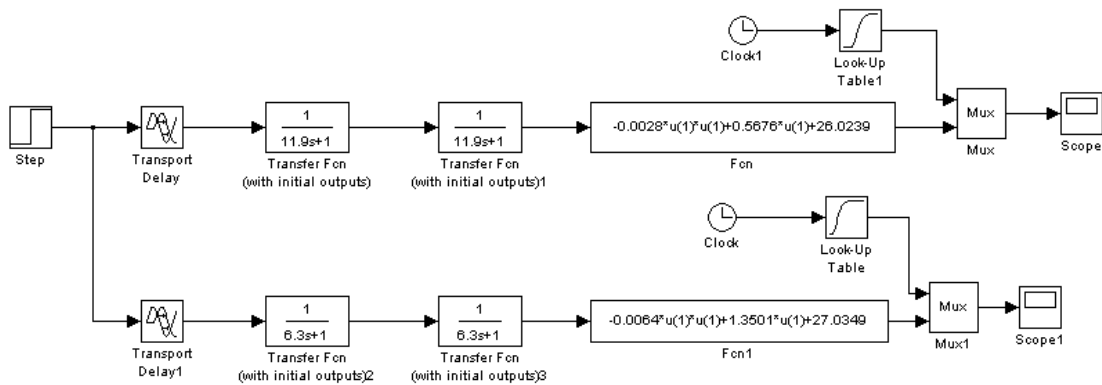


Рис. 2.24 – Схема моделювання повної моделі ОК за першим варіантом

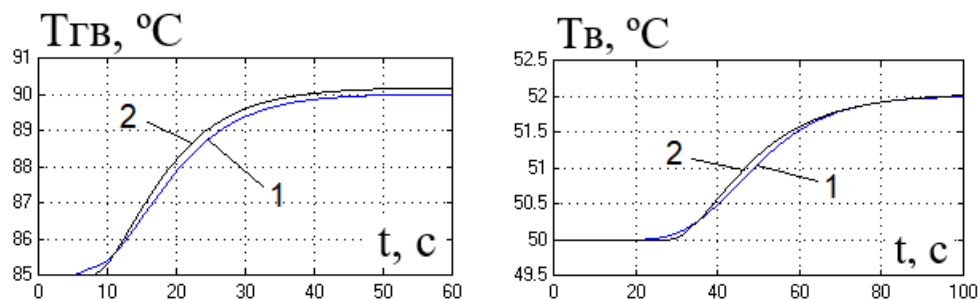


Рис. 2.25 – Результати реалізації повної моделі каналів ОК в середовищі Матлаб: 1 – експериментальні дані; 2 - модель

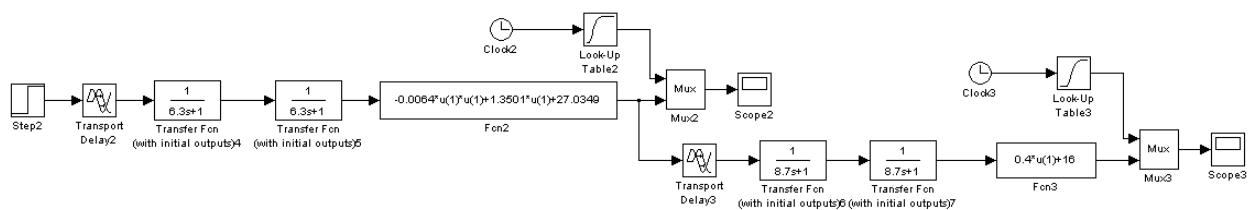


Рис. 2.26 – Схема моделювання повної моделі ОК за другим варіантом

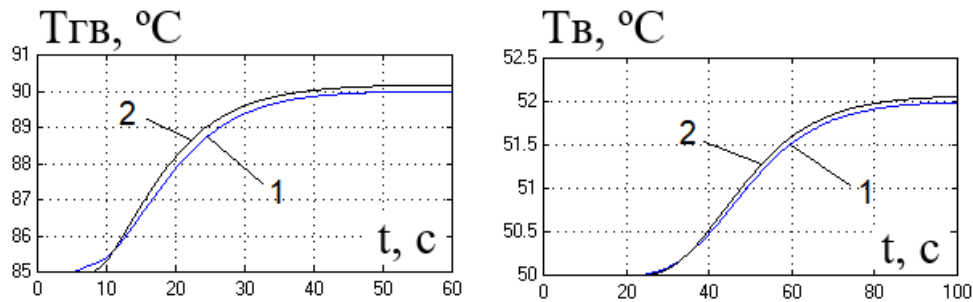


Рис. 2.27 – Результати реалізації повної моделі каналів ОК в середовищі Матлаб: 1 – експериментальні дані; 2 - модель

Як видно з результатів моделювання, модель ОК достатньо точно відображає експериментальні дані. Це означає, що отримана модель каналів 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

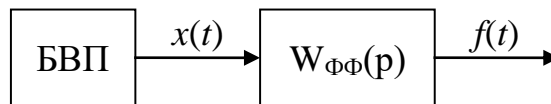


Рис. 2.28 – Структурна схема моделі СП

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

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_2}{3},$$

де  $G_x$ - середньоквадратичне відхилення процесу  $x(t)$ ,  $\Delta t_2$  – крок генерації випадкового процесу.

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

Для моделі №5

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \cos(\beta|\tau_k|); \quad S_f(\omega) = \frac{D_f 2\alpha(\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}$$

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

Бачимо, що 
$$W_{\text{фб}}(j\omega) = \frac{\sqrt{2D_f\alpha}(j\omega + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2})}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \alpha^2 + \beta^2}.$$

А після заміни

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

Далі маємо 
$$W_{\text{фб}}(p) = k \frac{Tp + 1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1},$$

де 
$$k = \sqrt{\frac{2D_f\alpha}{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad \xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}.$$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,00088151; \beta = 0,0018511;$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{1,677}{2} = 0,8385$$

$$\Delta t_\Gamma = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot 0,00088151} = 378,1 \dots 567,2$$

Виберемо крок генерації, рівним 400 с.

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_\Gamma}{3} = 0,8385^2 \cdot \frac{2 \cdot 400}{3} = 187,5$$

$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot D_f \cdot \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{187,5} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2,812 \cdot 0,00088151}{0,00088159^2 + 0,0018511^2}} = \frac{1}{187,5} \cdot \sqrt{\frac{0,000000777}{0,000000777 + 0,000000777}}$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,00088159^2 + 0,0018511^2}} = 487,7 \text{ с}$$

$$\xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,00088159}{\sqrt{0,00088159^2 + 0,0018511^2}} = 0,43$$

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

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

Сигнал неконтрольованих збурень має відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 49,87^\circ\text{C}$$

$$\sigma_f = 1,677$$

$$\alpha = 0,00088159$$

$$\beta = 0,0018511$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.29

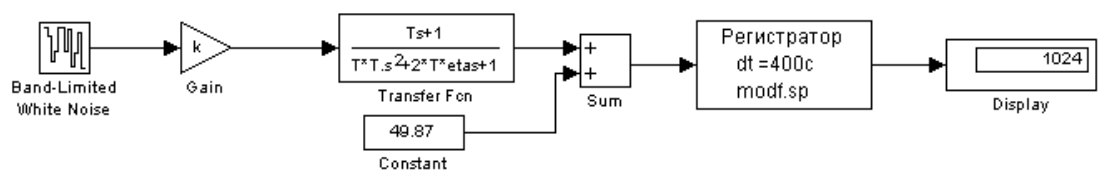


Рис. 2.29 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 187,5;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t_T = 400;$$

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

$t, c$   $T_B, ^\circ C$

Результати моделювання наведені на рис. 2.30.

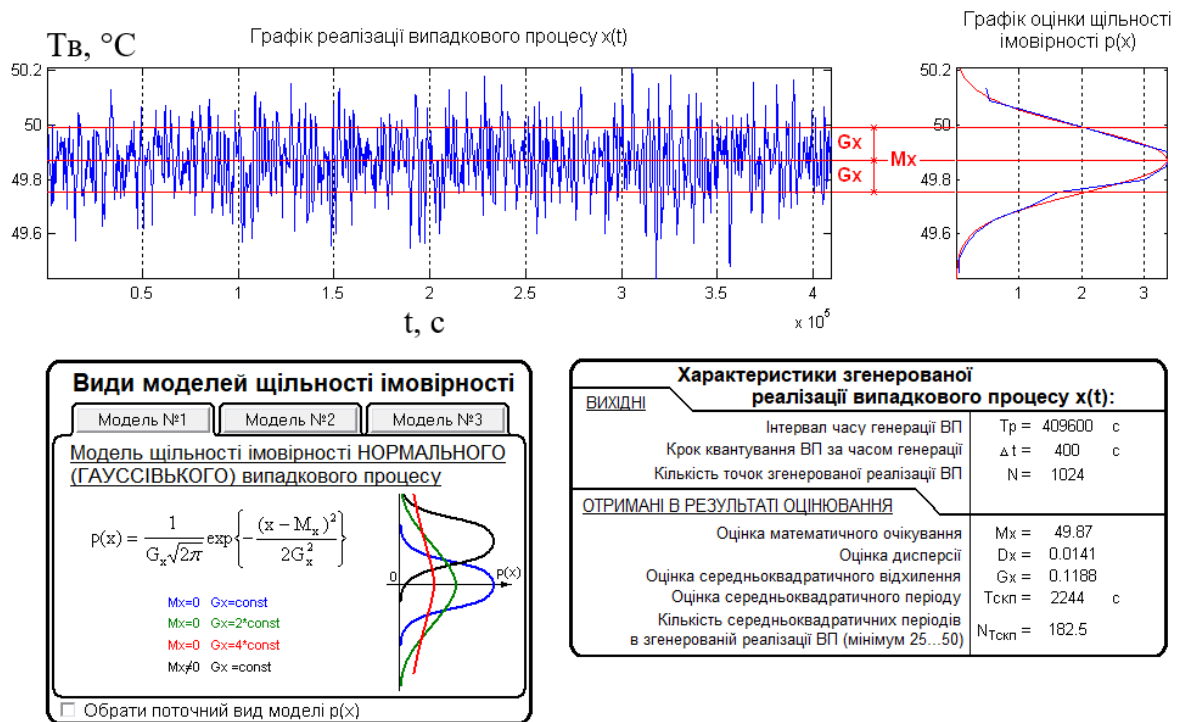


Рис. 2.30 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

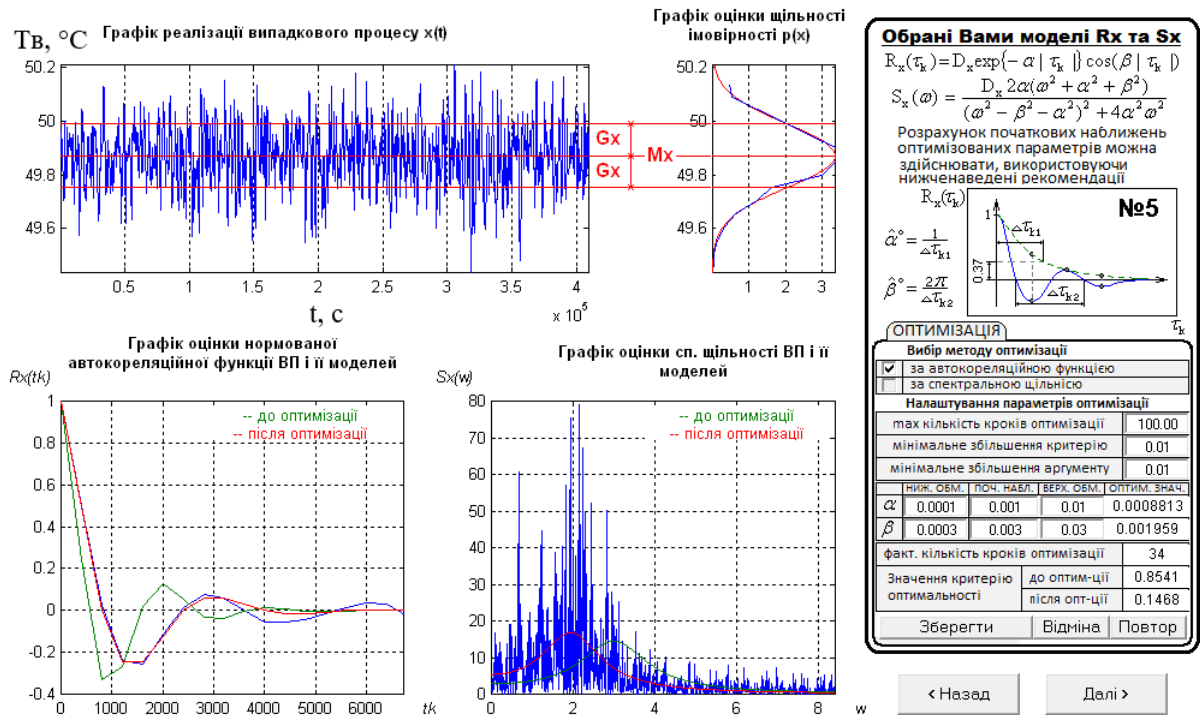


Рис. 2.30 (закінчення) – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|49,87 - 49,87|}{49,87} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,1188 - 1,677|}{0,1188} \cdot 100\% = 1312\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \widehat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0008813 - 0,00088159|}{0,0008813} \cdot 100 = 0,03\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \widehat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,001959 - 0,0018511|}{0,001959} \cdot 100\% = 4,5\%$$

Похибка відтворення  $\sigma_f$  більша від 5%, а значить необхідно провести коректування коефіцієнту передачі формуючого фільтра.

$$k = k \cdot \frac{\sigma_f}{\sigma_f} = 0,18 \cdot \frac{1,677}{0,1188} = 2,54$$

Після коректування коефіцієнту передачі формуючого фільтра було отримано наступні результати моделювання (рис. 2.31).

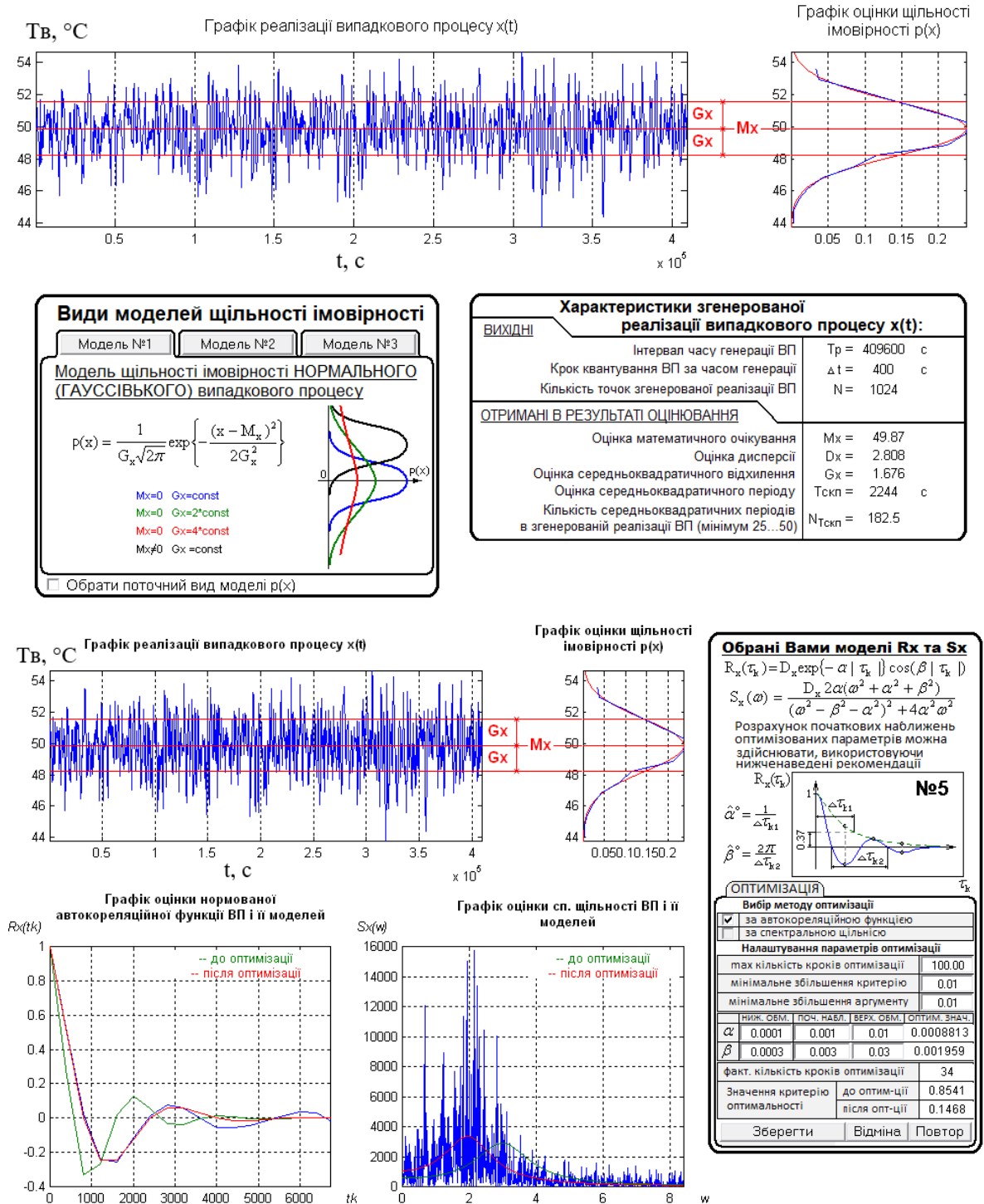


Рис. 2.31 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із відкоригованими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|49,87 - 49,87|}{49,87} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|1,676 - 1,677|}{1,676} \cdot 100\% = 0,06\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \widehat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0008813 - 0,00088159|}{0,0008813} \cdot 100 = 0,03\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \widehat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,001959 - 0,0018511|}{0,001959} \cdot 100\% = 4,5\%$$

Отже, після коригування були отримані наступні параметри формуючого фільтра:  $k = 2,54$ ;  $T = 487,8$  с;  $\zeta = 0,43$ .

Оскільки точність відтворення параметрів випадкового процесу в моделі не перевищує 5%, то можна вважати, що точність моделі неконтрольованих збурень є достатньою.

Остаточно передаточна функція формуючого фільтра матиме вигляд:

Схема моделювання остаточної формуючого фільтра наведена на рис. 2.32

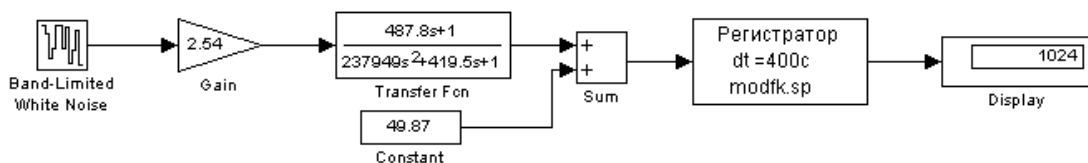


Рис. 2.32 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим

фільтром, що має скоректовані параметри

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель неконтрольованих збурень. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.33.

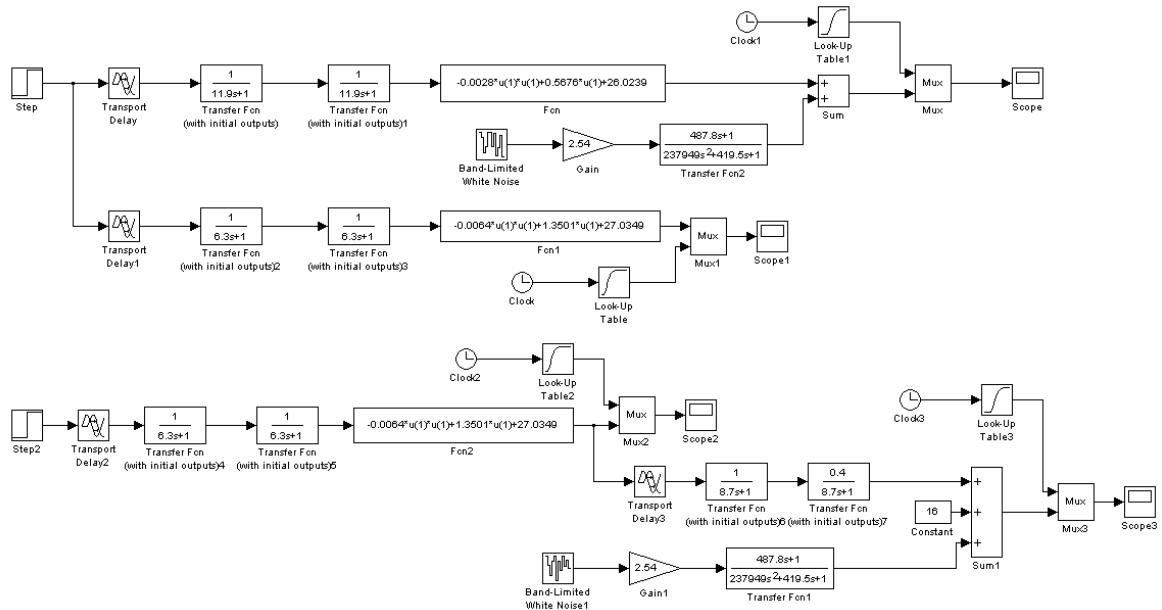


Рис. 2.33 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проведемо експерименти з повною моделлю ОК. Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.34.

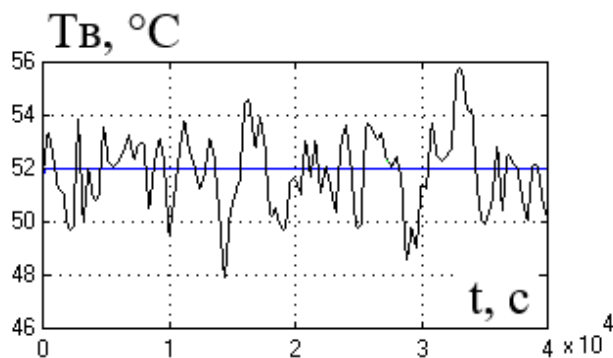


Рис. 2.34 – Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб

## 2.5 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація моделі процесу обробки теплом вина, як об'єкта керування. Були ідентифіковані канали управління, в результаті чого було з'ясовано, що всі вищезгадані канали мають статичні властивості, тобто властивостями самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що в пластинчастому теплообміннику протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати, які мають достатній ступінь відповідності результатів моделювання експериментальним даним.

### **3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР**

#### **3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом**

Загальною метою керування є керування матеріальними та енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідної змінної об'єкту керування ( $T_v$ ) на її заданому значенні ( $T_v^{ЗДН}$ ) – задача регулювання.
- пристосування в процесі роботи об'єкту управління до його змінних властивостей - задача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - задача оптимізації;
- забезпечити ввімкнення і вимкнення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

Для якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу обробки виноматеріалу теплом необхідно регулювати температуру виноматеріалу  $T_v$ .

Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його змінних властивостей, заданим. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Цю задачу можна вирішити, змінюючи (коригуючи) настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак готової продукції,

збільшити продуктивність обладнання. Для процесу обробки виноматеріалу теплом цю задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження витрат енергії (пари).

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

Відповідно до нормативів ведення технологічного процесу (див. табл. 1.1) температура виноматеріалу  $T_v$  має підтримуватися на рівні  $50^\circ\text{C}$  з точністю  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . За цим параметром припустимі короточасні відхилення до  $\pm 3^\circ\text{C}$  протягом часу не більше 150 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.1.

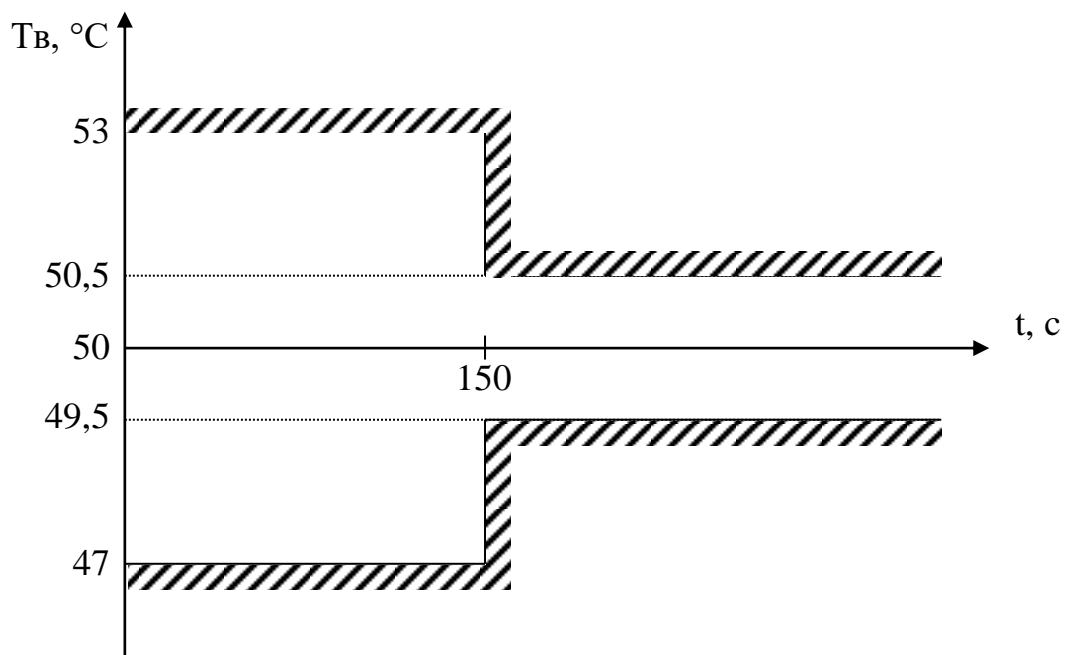


Рис. 3.1 – Регламентні зони для температури виноматеріалу  $T_v$

Як видно з регламентів на САР для процесу обробки виноматеріалу теплом особливо жорсткі вимоги пред'являються до тривалих відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до суттєвого порушення режимів роботи основного технологічного обладнання і, як наслідок суттєвих економічних збитків. При цьому максимальні динамічні відхилення регламентуються не дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний критерій, що штрафує малі (незначні) відхилення. Тому ефективність роботи САР температури виноматеріалу процесу обробки виноматеріалу теплом і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^{t_M} |\Delta T_B(t)| dt$$

де  $t_M$  – час моделювання;

$\Delta T_B(t)$  – помилки регулювання температури виноматеріалу.

### 3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Відповідно до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування, структурна схема САР температури виноматеріалу технологічного процесу обробки виноматеріалу теплом матиме вигляд, наведений на рис. 3.2.

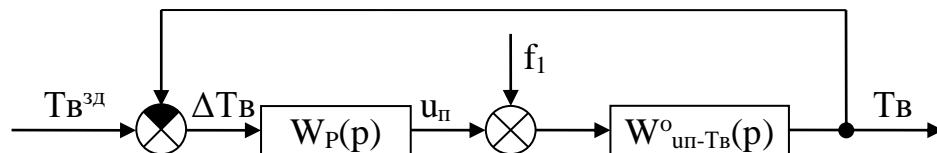


Рис. 3.2 – Структурна схема САР процесу обробки виноматеріалу теплом базової структури

На рисунку:

$u_{п}$  – положення регулюючого органу подачі пари;

$T_{в}$  – температура виноматеріалу;

$T_{в}^{здн}$  – задане значення температури виноматеріалу;

$\Delta\theta_{в}$  – помилка регулювання температури виноматеріалу;

$f_1$  – вектор неконтрольованого збурення;

$W_{p}(p)$  – передаточна функція регулятора температури виноматеріалу.

Процес обробки вина теплом за каналом керування має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД) алгоритми регулювання.

Передаточна функція ПІ-регулятора

Передаточна функція ПІД-регулятора

Проведемо вибір початкових наближень налаштувань алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-36,4p}}{17p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = 0,8 \cdot T_o / (K_o \cdot \tau_o) = 0,8 \cdot 17 / (0,2 \cdot 36,4) = 1,87 \text{ \%х.р.о. / } ^\circ\text{C};$$

$$T_{ІВ} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 36,4 = 91 \text{ с.}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_p = 1,0 \cdot T_o / (K_o \cdot \tau_o) = 1,0 \cdot 17 / (0,2 \cdot 36,4) = 2,34 \text{ \%х.р.о. / \%};$$

$$T_{ІВ} = 2,0 \cdot \tau_o = 2,0 \cdot 36,4 = 72,8 \text{ с};$$

$$T_{УП} = 0,5 \cdot \tau_o = 0,5 \cdot 36,4 = 18,2 \text{ с.}$$

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

рисунку 3.3. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.4.

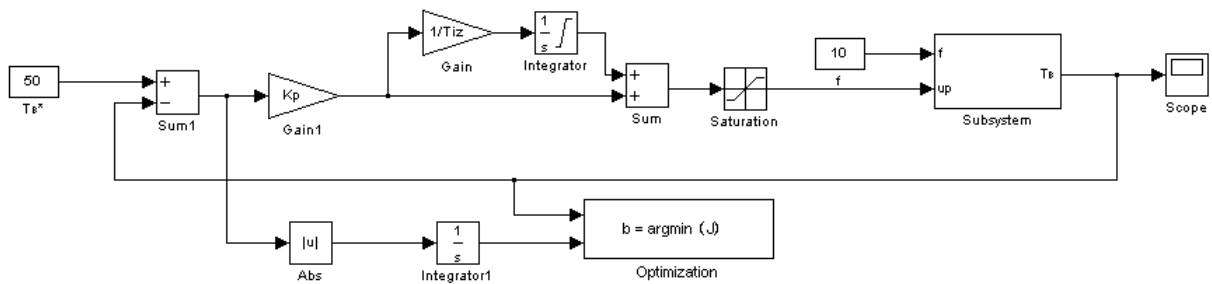
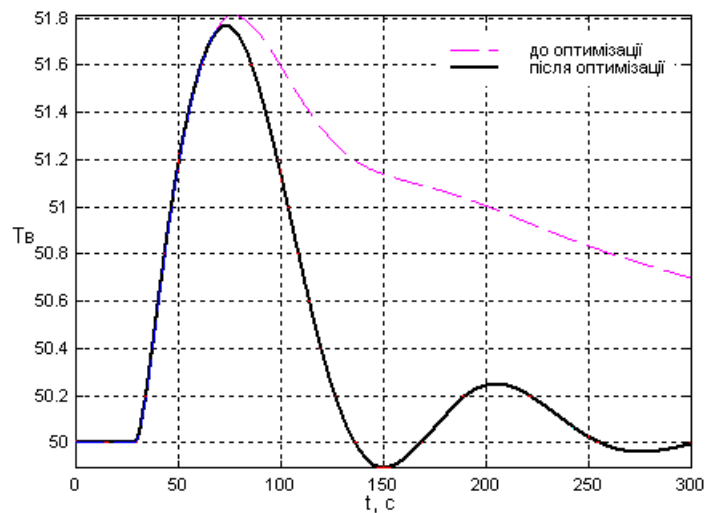


Рис. 3.3 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kp	3.1522	0	1.87	10	до - 297.7916
Tiz	37.156	1	91	130	після - 123.0495
					оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1200
					фактична - 79

Рис. 3.4 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.5. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.6.

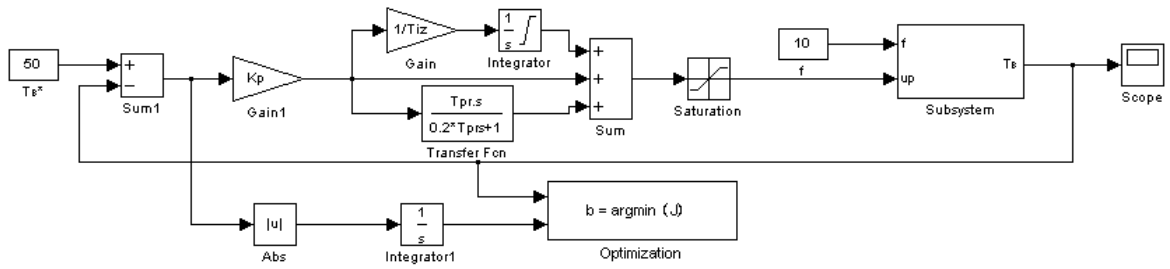
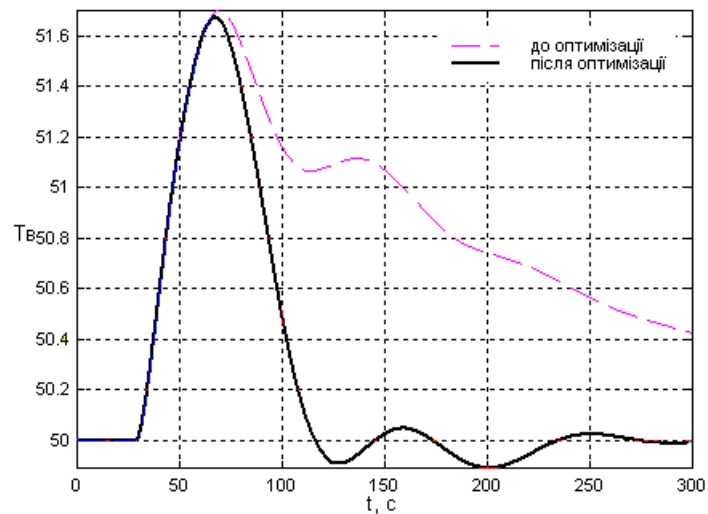


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kp	3.7248	0	2.34	10	до - 241.9092
Tiz	28.205	1	72.8	130	після - 87.3098
Tpr	13.2816	0	18.2	50	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1200
					фактична - 192

Рис. 3.6 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Для порівняння САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.7. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.8 і в таблиці 3.1.

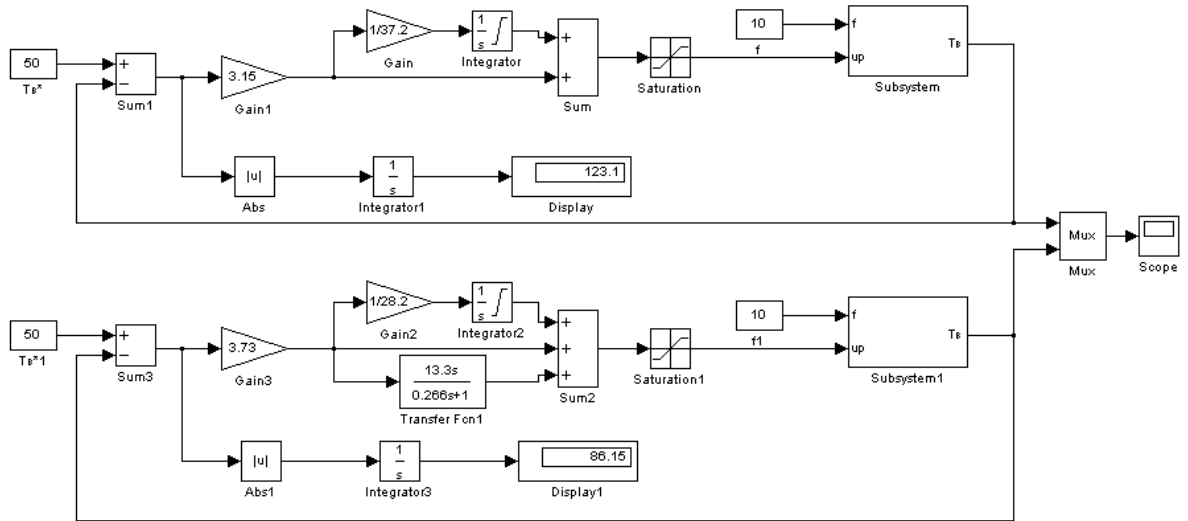


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

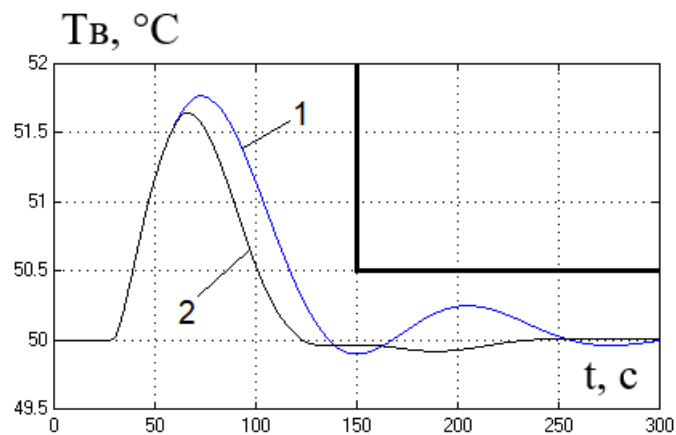


Рис. 3.8 – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.1 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_{в}^{МАКС}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{пн}, \text{ c}$	
ПІ	1,77	116,75	123,1
ПІД	1,65	100,85	86,15

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регуляторами є кращою за усіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання доцільно використовувати і надалі.

В процесі роботи теплообмінника внаслідок нелінійності параметри каналів можуть варіювати в межах до  $\pm 20\%$ . При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень  $10\% \times \text{р.о.}$  Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором на грубість наведені вище на рис. 3.3 та 3.5. Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.9, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.10. Як видно з результатів, САР з ПІ-регуляторами та з ПІД-регулятором є грубими.

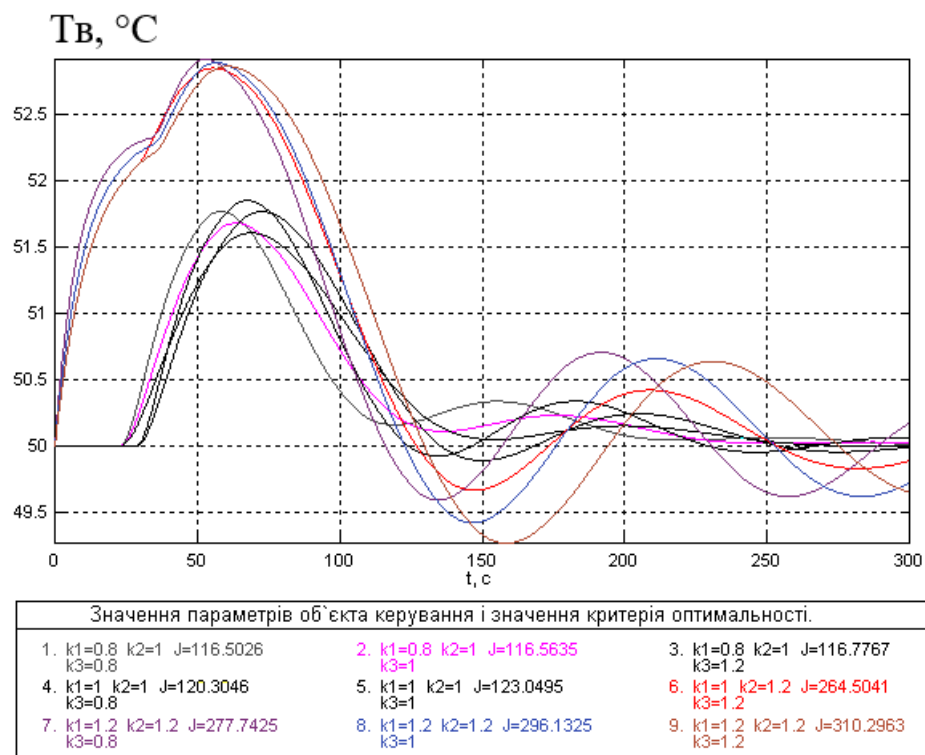


Рис. 3.9 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором

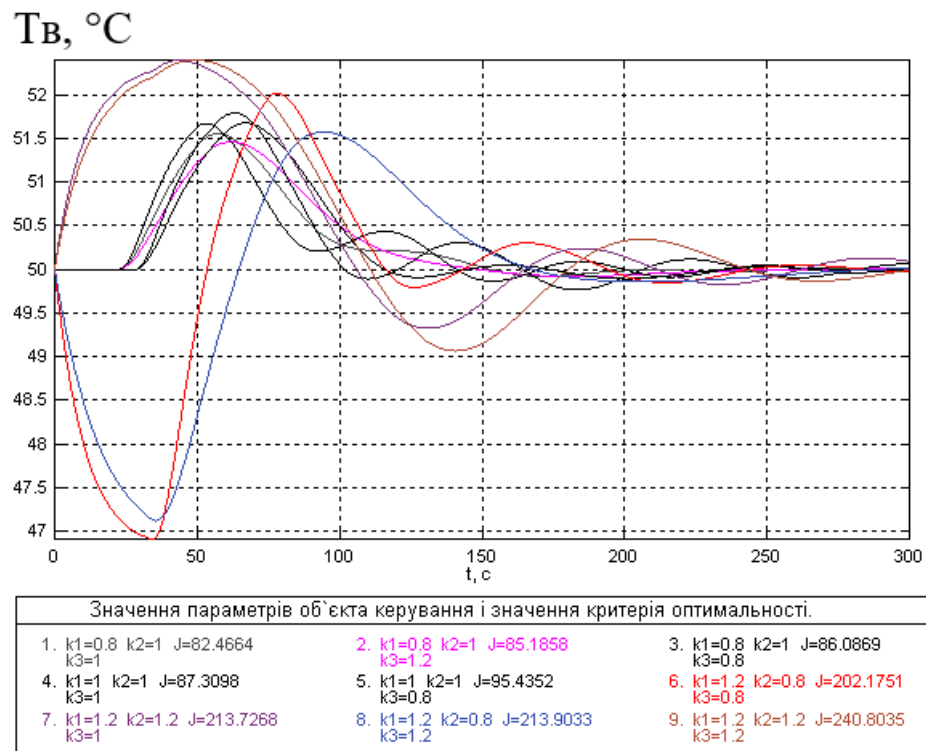


Рис. 3.10 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором

Як видно з результатів оцінки САР з ПІ-регуляторами на грубість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є менші на 20% час запізнення та стала часу ОК. "Найнесприятливішим" для керування є на 20% більші параметри ОК. Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.11. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.12 і зведено в таблицю 3.2.

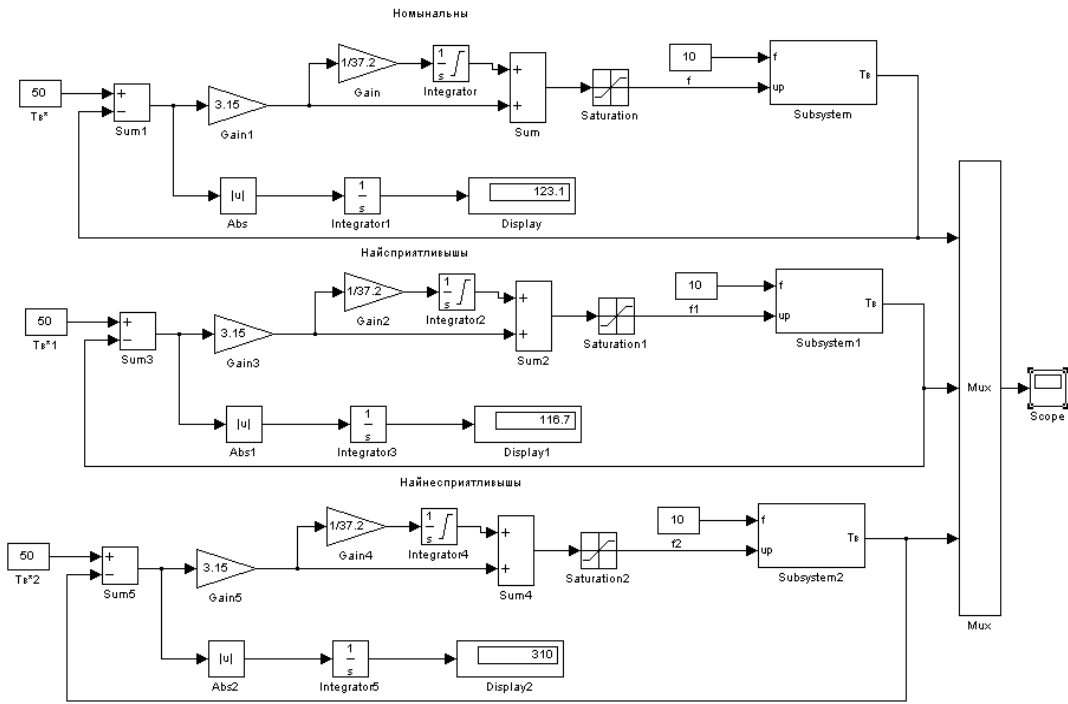


Рис. 3.11 – Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором

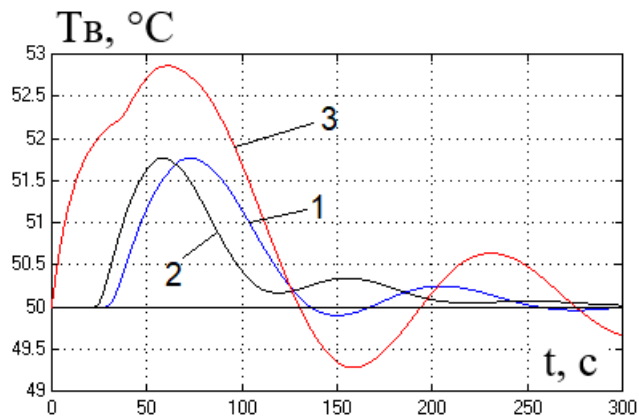


Рис. 3.12 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.2 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_{в}^{МАКС}, ^\circ C$	$T_{пш}, c$	
НОМІНАЛЬНІ	1,77	116,7	123,1
«найсприятливіші»	1,77	97,3	116,7
«найнесприятливіші»	2,86	248,9	310

Як видно з результатів оцінки САР з ПІД-регуляторами на grubість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є менший на 20% час запізнення ОК та номінальні значення інших параметрів. "Найнесприятливішим" для керування є на 20% більші параметри ОК. Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.13. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.14 і зведено в таблицю 3.3.

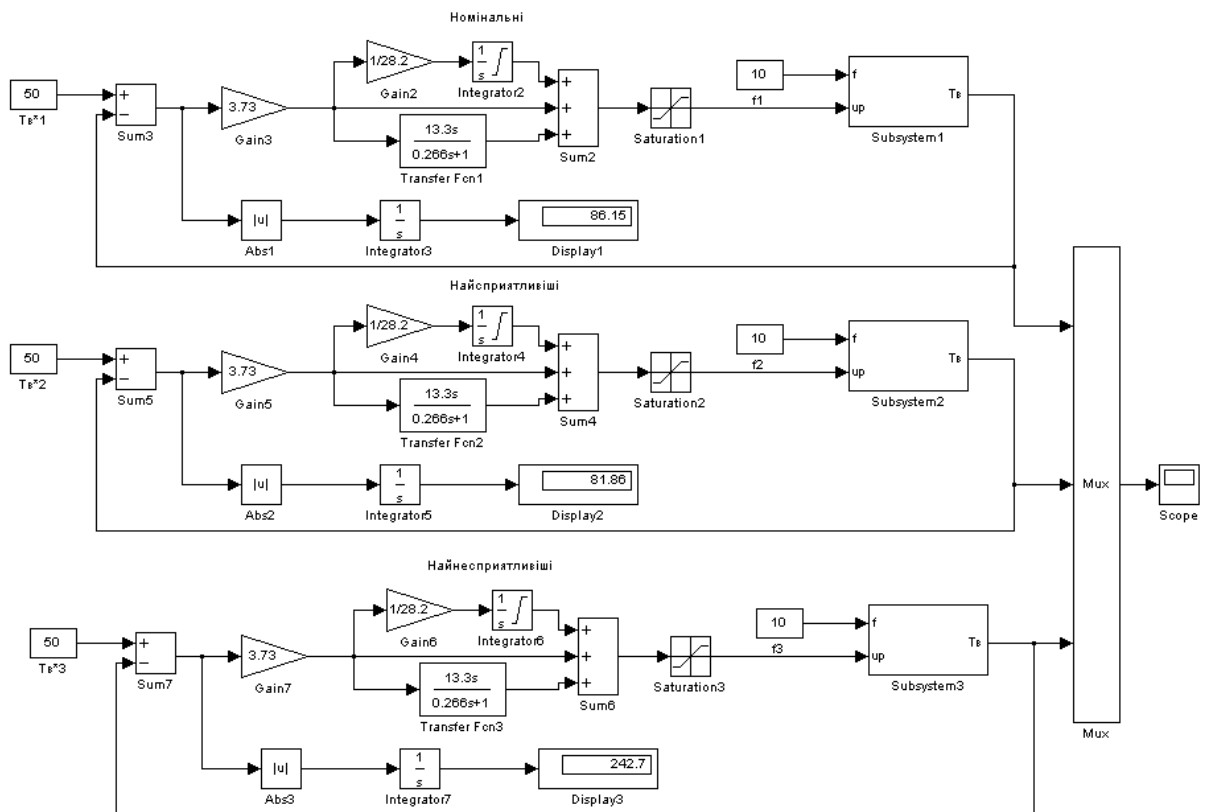


Рис. 3.13 – Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

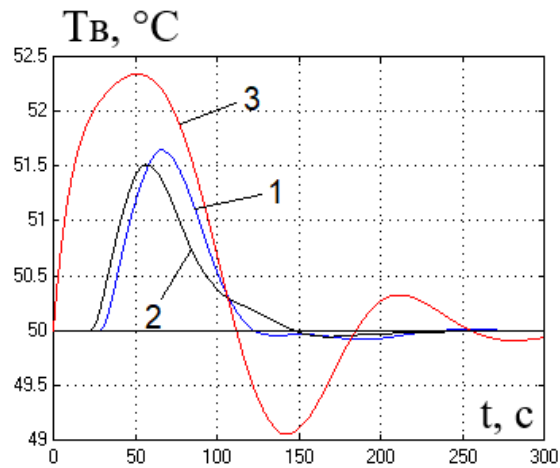


Рис. 3.14 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.3 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_B^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}}, \text{с}$	
номінальні	1,65	100,9	86,15
«найсприятливіші»	1,51	93,1	81,86
«найнесприятливіші»	2,34	167	242,7

Для оцінки САР на грубість у сталому режимі будемо використовувати схеми моделювання, наведені на рис. 3.15, 3.16 і 3.17. Результати моделювання САР з ПІ-регулятором наведені на рис. 3.18, а з ПІД-регулятором - на рис. 3.19.

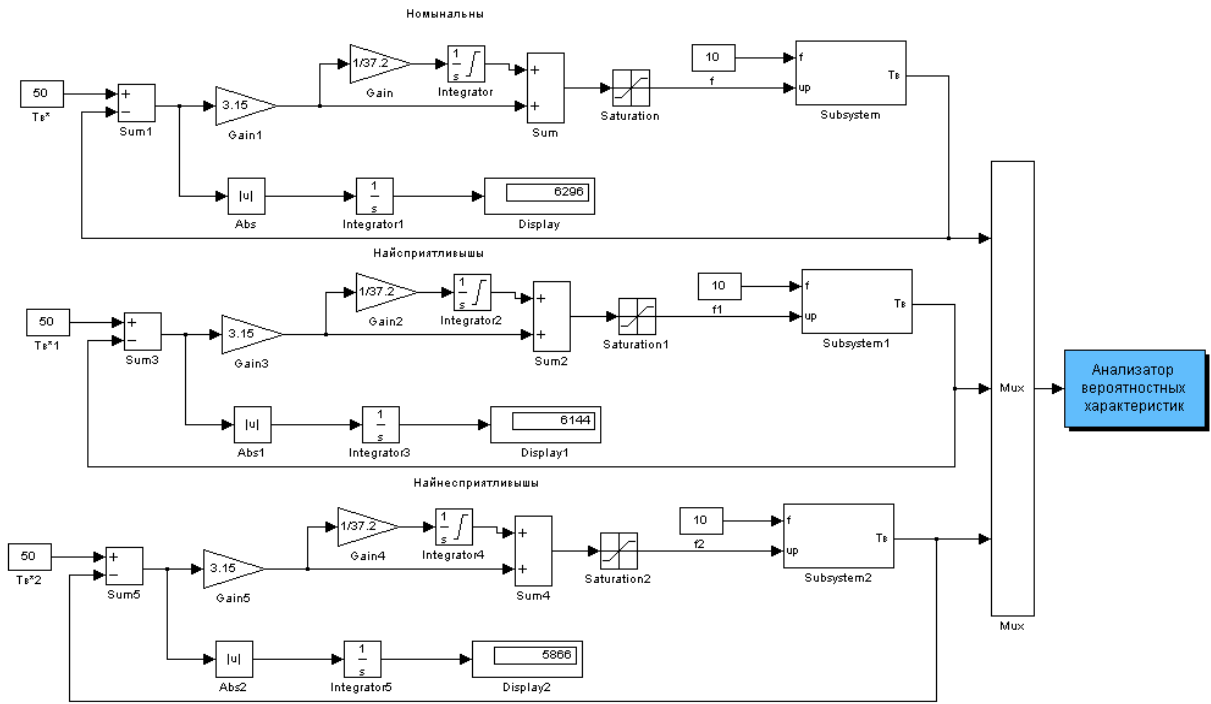


Рис. 3.15 - Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах

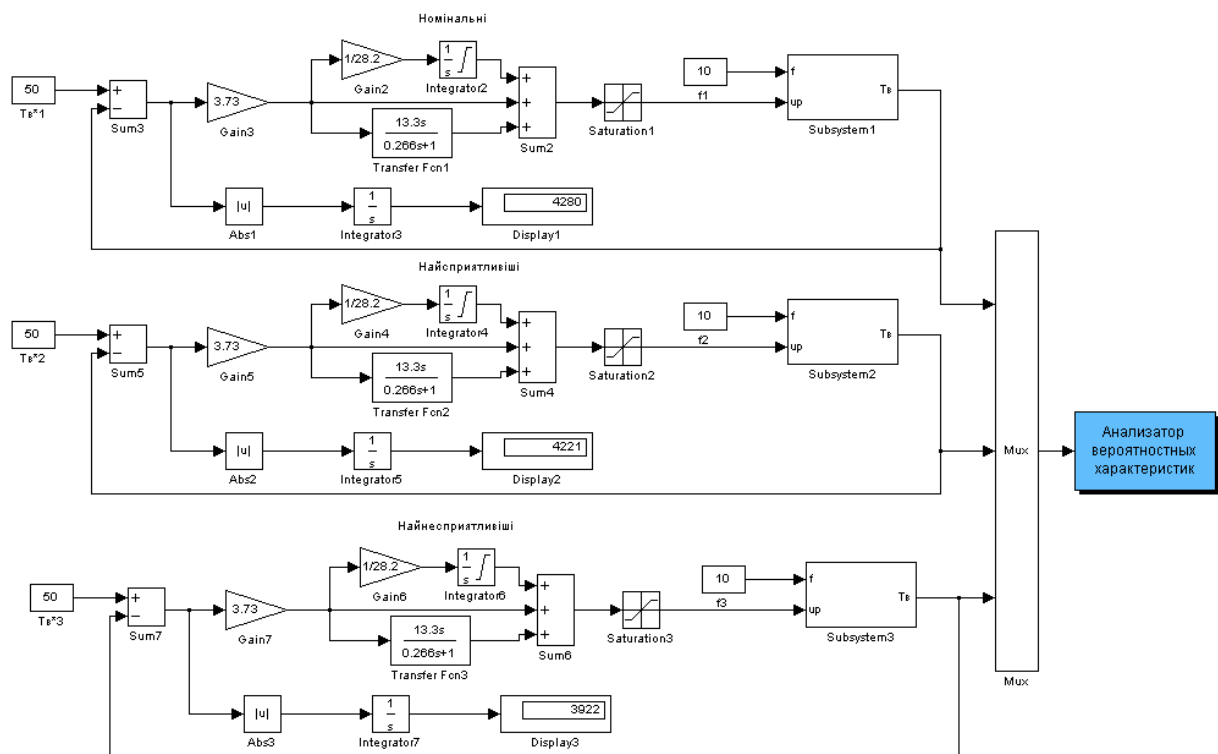


Рис. 3.16 - Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах

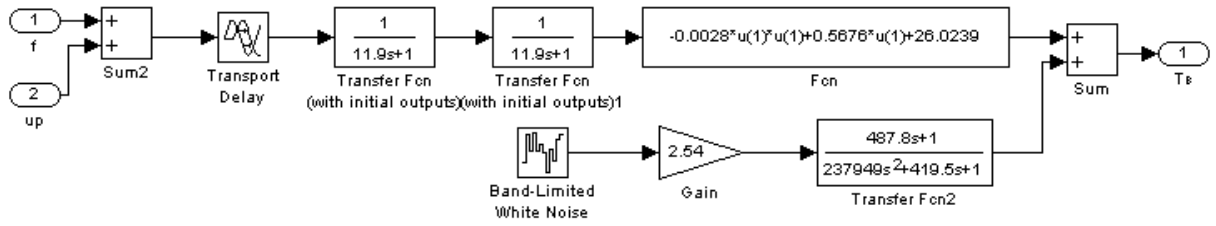
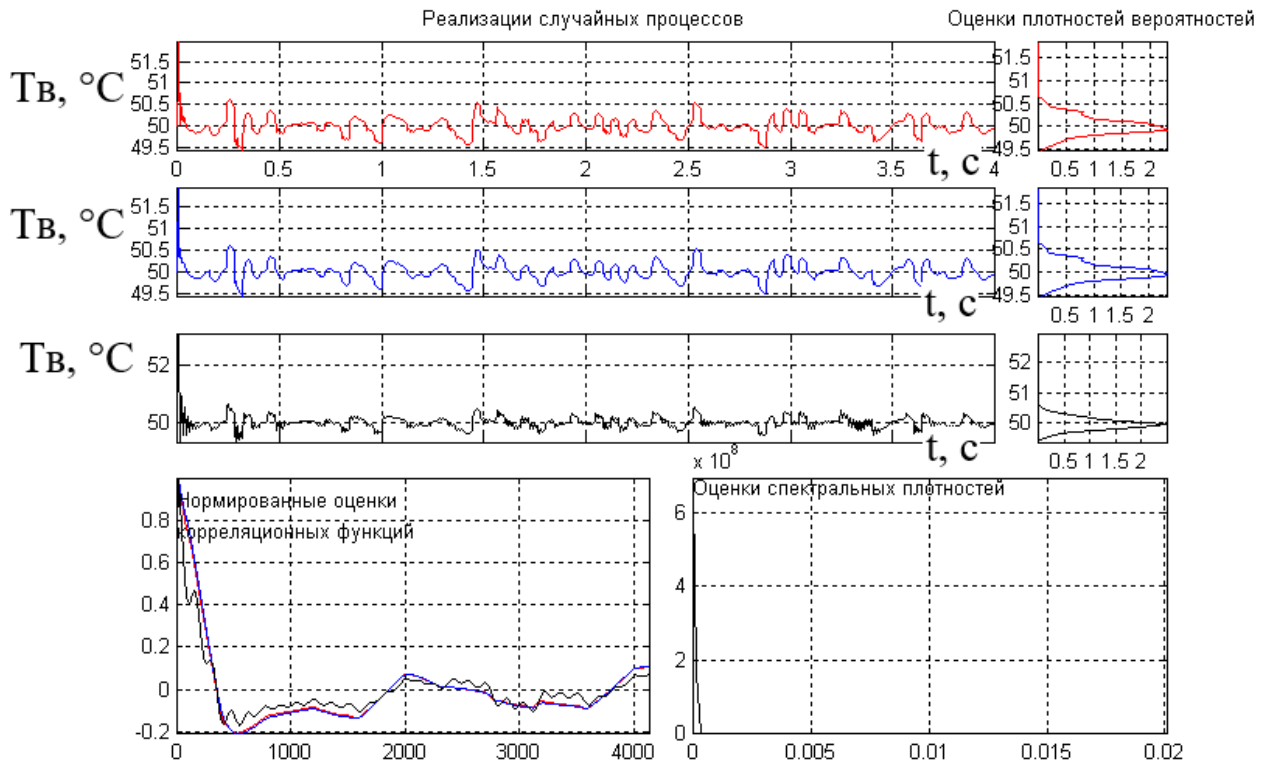


Рис. 3.17 - Структурна схема моделювання ОК для оцінки грубості САР у сталих режимах



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	50.0	50.0	50.0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.21	0.21	0.22
Оценка среднеквадратического периода / частоты	1212.1 / 0.0052	1379.3 / 0.0046	525.0 / 0.01

Рис. 3.18 – Результати моделювання САР з ПІ-регулятором

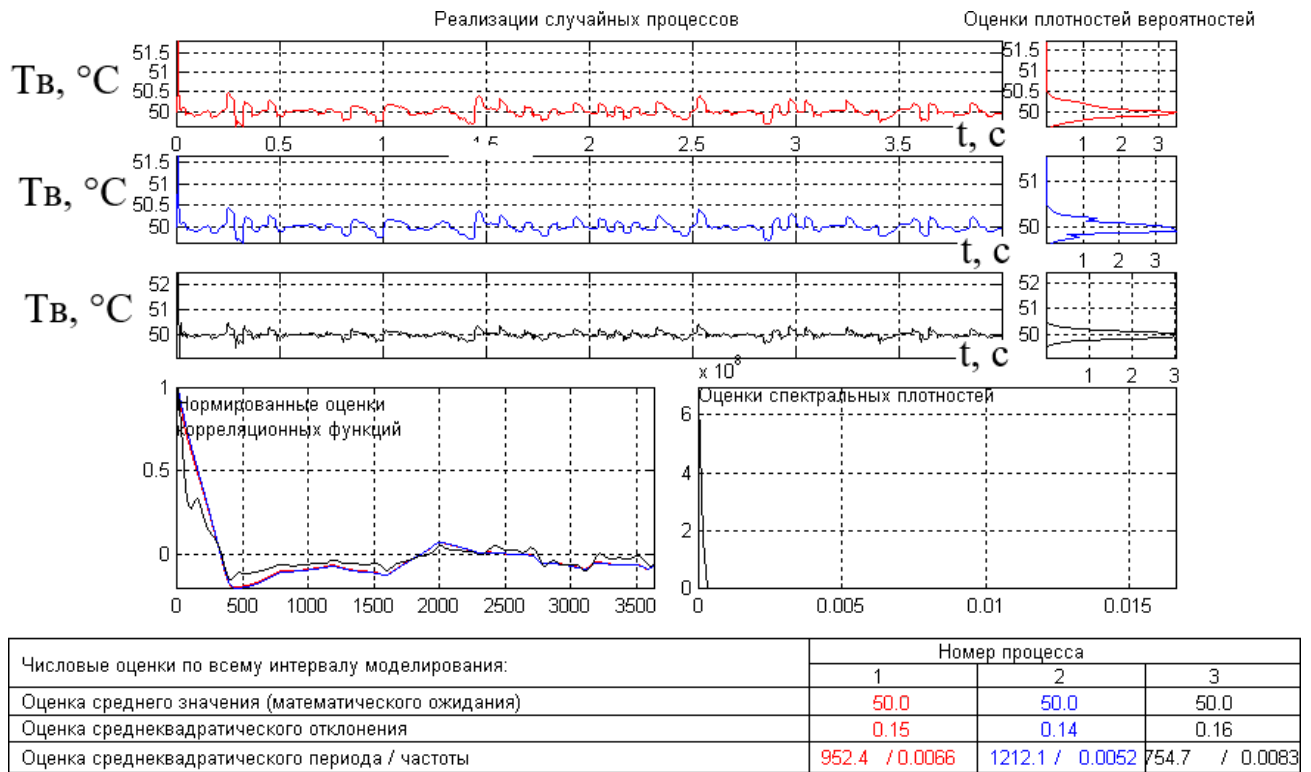


Рис. 3.19 – Результаты моделирования САР з ПД-регулятором

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним періодом та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САР на грубість з ПІ-регулятором зведено в таблицю 3.4, а САР з ПД-регулятором – в таблиці 3.5.

Таблиця 3.4 – Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальн і	«найсприятливіші »	«найнесприятливіші »
Тв, °С			
Математичне очікування	50	50	50
Середньоквадратичне відхилення	0,21	0,21	0,22
Середньоквадратичний період	1212,1	1379,3	625,0
Частота	0,0052	0,0046	0,01
<b>Інтегральний критерій</b>	6296	6144	5866

Таблиця 3.5 – Результати оцінки САР з ПД-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
θ, °С			
Математичне очікування	50	50	50
Середньоквадратичне відхилення	0,15	0,14	0,16
Середньоквадратичний період	952,4	1212,1	754,7
Частота	0,0066	0,0052	0,0083
<b>Інтегральний критерій</b>	4280	4221	3922

### 3.3 Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна заданих значень регульованих координат, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення  $\tau_0 / T_0$ , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР).

Аналіз САР температури виноматеріалу процесу обробки виноматеріалу теплом показав, що основною причиною недостатньої якості САР є вплив неконтрольованих збурень. Враховуючи особливості ОК, пов'язані з наявністю проміжної точки, якою є температура гарячої води, способом підвищення динамічної точності САР є використання для регулювання інформації з проміжної точки та побудова каскадної САР.

В основу підвищення динамічної точності САР температури виноматеріалу буде покладено каскадний принцип, пов'язаний із введенням до структури САР внутрішнього контуру регулювання. Відповідно до цього принципу структурна схема каскадної САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.20.

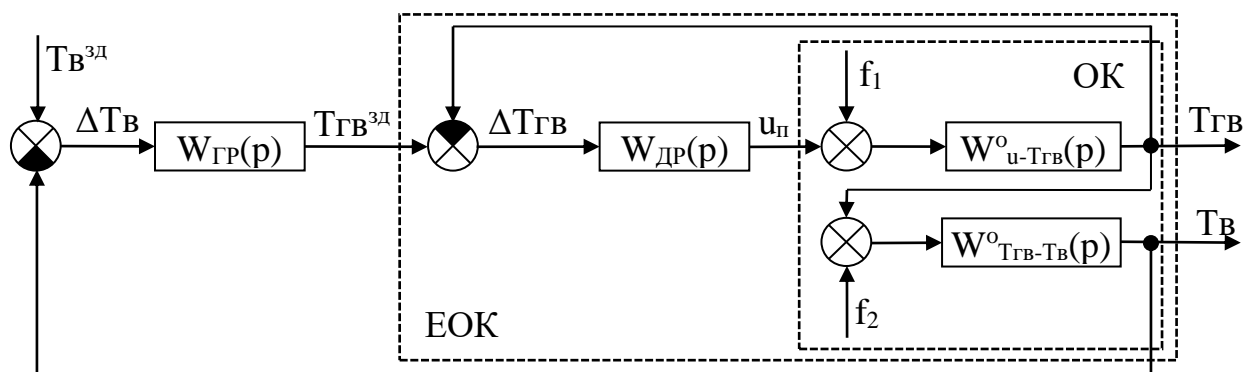


Рис. 3.20 – Структурна схема каскадної САР температури вина

На схемі

ОК – об'єкт керування;

ЕОК – еквівалентний об'єкт керування;

$W_{u-T_{ГВ}}^o(p)$  – передаточна функція ОК за каналом « $u_{п} - T_{ГВ}$ »;

$W_{T_{ГВ}-T_{В}}^o(p)$  – передаточна функція ОК за каналом « $T_{ГВ} - T_{В}$ »;

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

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

$T_{ГВ}$  – температура гарячої води, °С;

$\Delta T_{ГВ}$  – помилка регулювання температури гарячої води, °С;

$T_{ГВ}^{зд}$  – задане значення температури гарячої води, °С;

$T_{В}$  – температура виноматеріалу, °С;

$\Delta T_{В}$  – помилка регулювання температури виноматеріалу, °С;

$T_{В}^{зд}$  – задане значення температури виноматеріалу, °С;

$u_{п}$  – положення регулюючого органу подачі пари, %х.р.о.;

$f_1, f_2$  – вектори неконтрольованих збурень.

Температура гарячої води  $T_{ГВ}$  обрана в якості проміжної точки, оскільки цей параметр є зручним для вимірювання, інерційність ОК в проміжній точці є суттєво меншою, ніж в ОК в цілому, в проміжній точці є змога компенсувати певну частину неконтрольованих збурень.

Розрахунок початкових наближень параметрів допоміжного регулятора проводитимемо на основі параметрів ОК за каналом « $u_{п} - T_{ГВ}$ ».

В якості допоміжного регулятора розглянемо три варіанти: П-, ПД-, та ПІ-закон регулювання.

Передаточна функція П-регулятора:

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

$$T_{\text{УПДР}} = \tau_o = 12,1 \text{ с}$$

ПІ-регулятор:

$$T_{\text{ІЗДР}} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 12,1 = 30,25 \text{ с}$$

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

Знайдемо параметри ЕОК.

Для П- і ПД-допоміжного регулятора

Для П-регулятора

$$T_{\text{ЕОК}} \approx 0,5 \cdot T_{\text{У-ТГВ}} + T_{\text{ТГВ-ТВ}} = 0,5 \cdot 8,8 + 13,4 = 17,8 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{ЕОК}} = \tau_{\text{У-ТГВ}} + \tau_{\text{ТГВ-ТВ}} = 12,1 + 17,5 = 29,6 \text{ с}$$

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

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

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

Параметри головного регулятора:

$$T_{\text{ІЗГР}} = 2,0 \cdot \tau_{\text{ЕОК}} = 2,0 \cdot 29,6 = 59,2 \text{ с}$$

$$T_{\text{УПГР}} = 1,0 \cdot \tau_{\text{ЕОК}} = 29,6 \text{ с}$$

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

Параметри головного регулятора:

$$T_{\text{ВГР}} = 2,0 \cdot \tau_{\text{ЕОК}} = 2,0 \cdot 29,6 = 59,2 \text{ с}$$

$$T_{\text{УШГР}} = 1,0 \cdot \tau_{\text{ЕОК}} = 29,6 \text{ с}$$

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

Параметри головного регулятора:

$$T_{\text{ВГР}} = 2,0 \cdot \tau_{\text{ЕОК}} = 2,0 \cdot 29,6 = 59,2 \text{ с}$$

$$T_{\text{УШГР}} = 1,0 \cdot \tau_{\text{ЕОК}} = 29,6 \text{ с}$$

Схема моделювання каскадної САР, якщо допоміжний регулятор ПІ, матиме вигляд, наведений на рис. 3.21. Результати оптимізації налаштувань ПІ- та ПІД-регуляторів – на рис. 3.22.

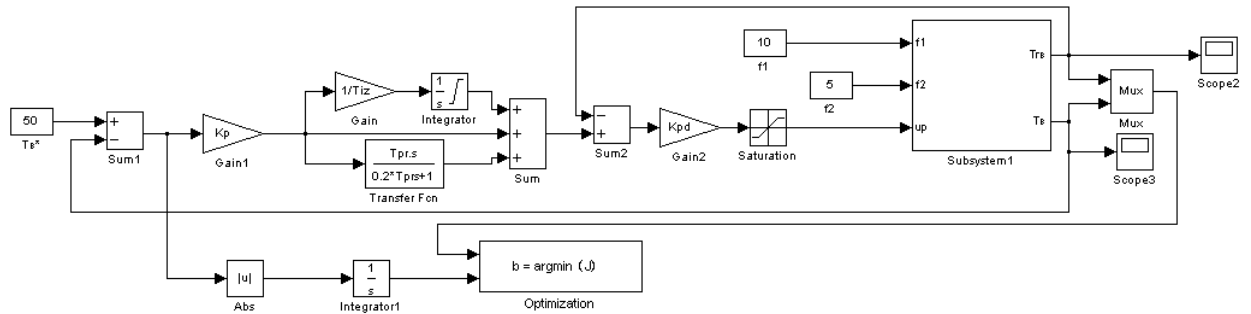
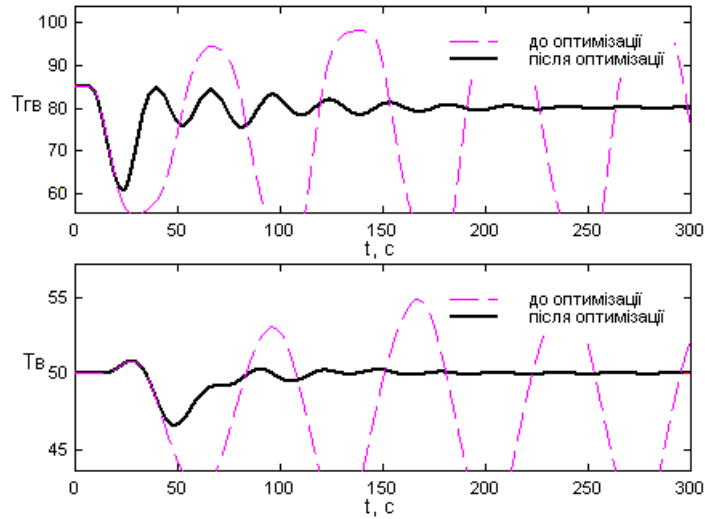


Рис. 3.21 – Схема моделювання каскадної САР з ПІ- та ПІД-регуляторами



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kp	2.0584	0	4.3	10	до - 1240.7679
Tiz	18.7588	1	59.2	500	після - 104.6511
Trp	8.1659	1	29.6	50	оптимізації.
Kpd	3.3908	0	1.02	1000	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1200
					фактична - 833

Рис. 3.22 – Результати оптимізації П- та ПД-регуляторами каскадної САР

Схема моделювання каскадної САР, якщо допоміжний регулятор ПД, матиме вигляд, наведений на рис. 3.23. Результати оптимізації налаштувань ПД- та ПД-регуляторів – на рис. 3.24.

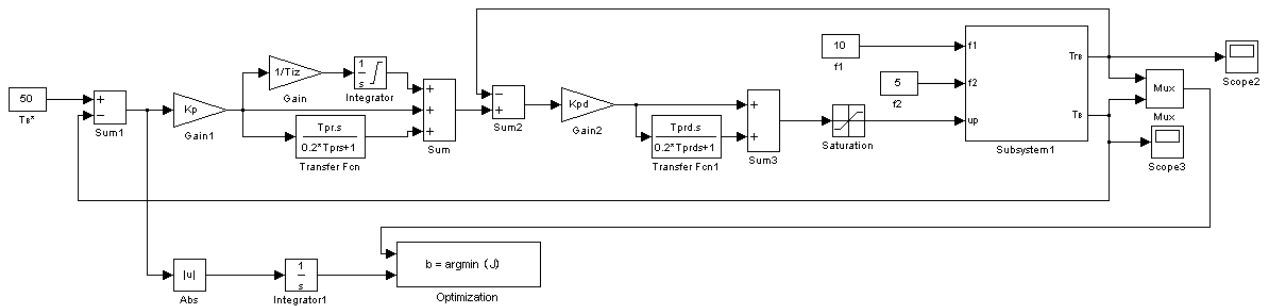


Рис. 3.23 – Схема моделювання каскадної САР з ПД- та ПД-регуляторами

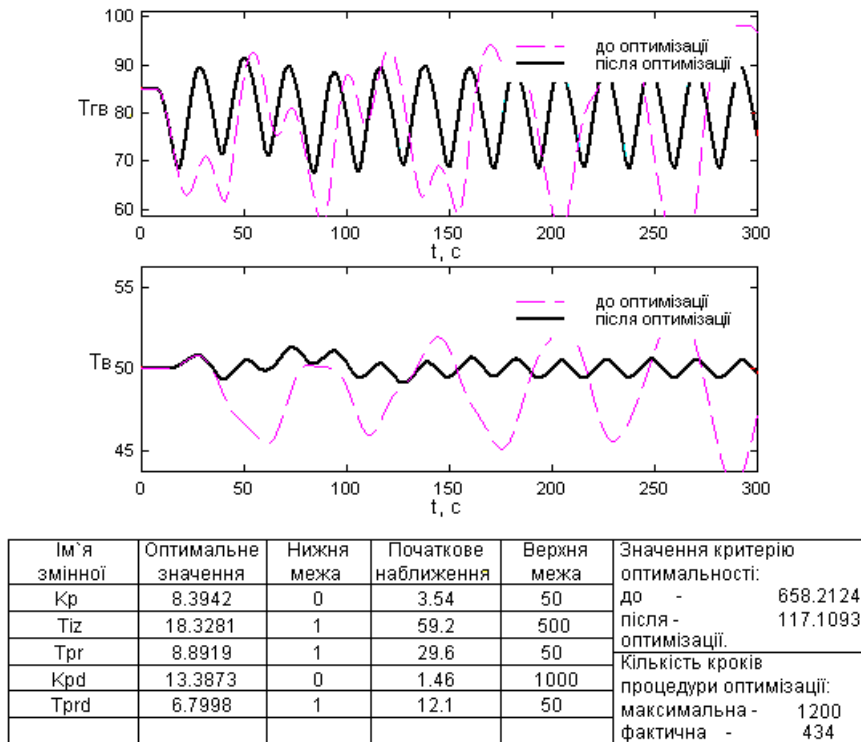


Рис. 3.24 – Результати оптимізації ПД- та ПІД-регуляторами каскадної САР

Схема моделювання каскадної САР, якщо допоміжний регулятор ПІ, матиме вигляд, наведений на рис. 3.25. Результати оптимізації налаштувань ПІ- та ПІД-регуляторів – на рис. 3.26.

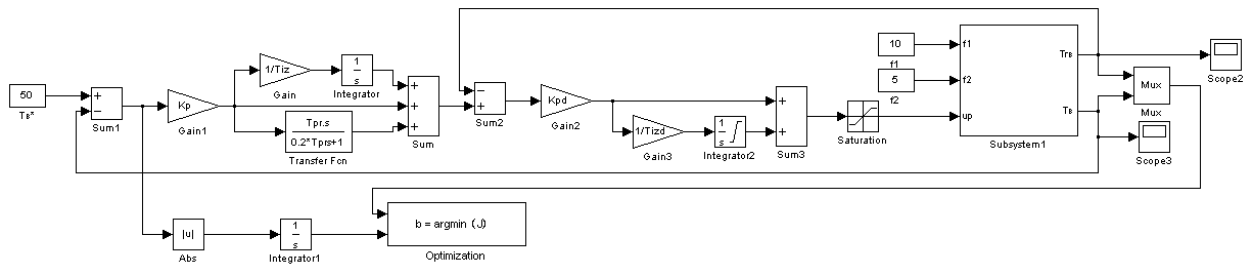
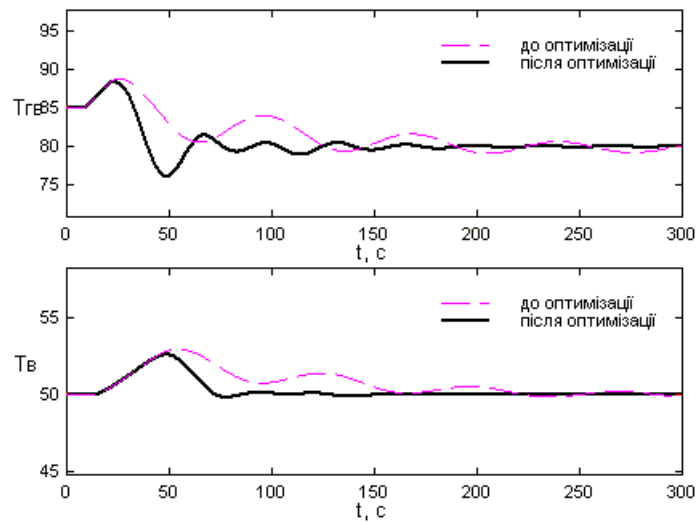


Рис. 3.25 – Схема моделювання каскадної САР з ПІ- та ПІД-регуляторами



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kp	1.6937	0	1.5	10	до - 219.9916
Tiz	24.9401	1	59.2	500	після - 87.8218
Tpr	6.2024	1	29.6	50	оптимізації.
Kpd	3.3665	0	1.16	1000	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tizd	21.5312	1	30.25	500	максимальна - 1200
					фактична - 549

Рис. 3.26 – Результати оптимізації ПД- та ПД-регуляторами каскадної САР

Порівняння трьох варіантів каскадної САР будемо проводити за прямими показниками якості, інтегральним показником та за дотриманням гранично-припустимих вимог. Схема моделювання для порівняння варіантів каскадної САР наведена на рис. 3.27, а результати моделювання – на рис. 3.28 та у таблиці 3.6.

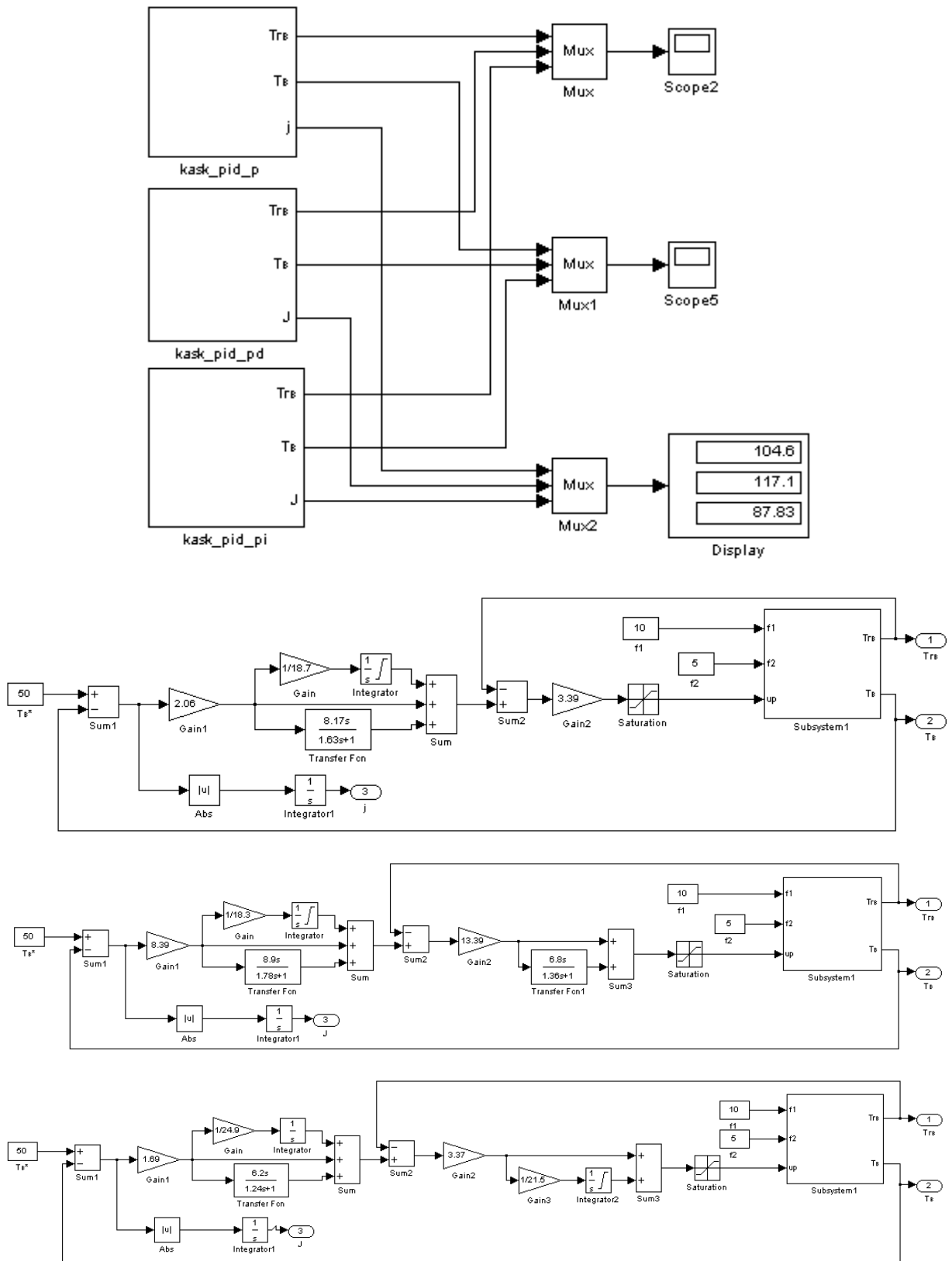


Рис. 3.27 – Схема моделювання для порівняння варіантів каскадної САР

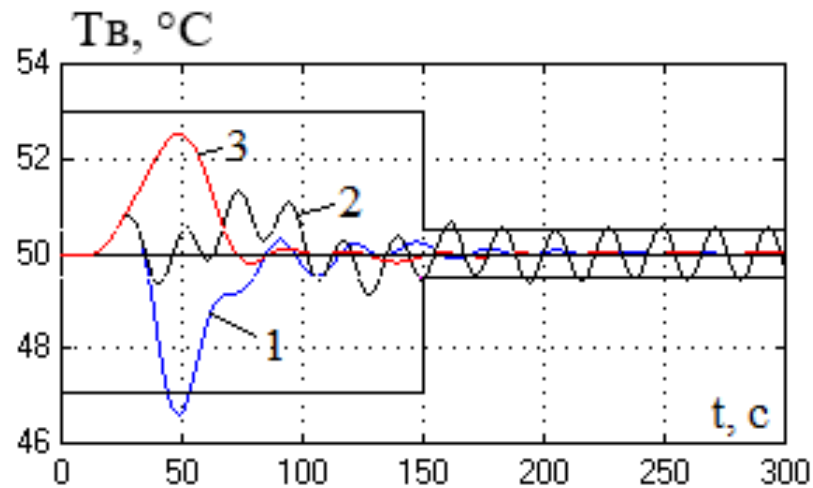


Рис. 3.28 – Результати моделювання для порівняння варіантів каскадної САР:  
1 – допоміжний регулятор П; 2 – допоміжний регулятор ПД; 3 – допоміжний регулятор ПІІІ

Таблиця 3.6 – Результати порівняння варіантів каскадної САР

Допоміжний регулятор	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_{\text{в}}^{\text{МАКС}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пн}}, \text{ с}$	
П	3,41	79,4	104,6
ПД	1,32	> 300 с	117,1
ПІІІ	2,54	67,3	87,8

Як видно з результатів порівняння, найприйнятнішим варіантом каскадної САР є варіант з допоміжним ПІІІ-регулятором, оскільки саме цей варіант є кращим за переважною більшістю показників якості і єдиним, що відповідає гранично припустимим вимогам.

САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме, часів запізнення в каналах ОК  $\pm 20\%$ . Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведені на рис. 3.29 – 3.31. Як видно з

результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК, лише САР з допоміжним ПІ-регулятором є грубою.

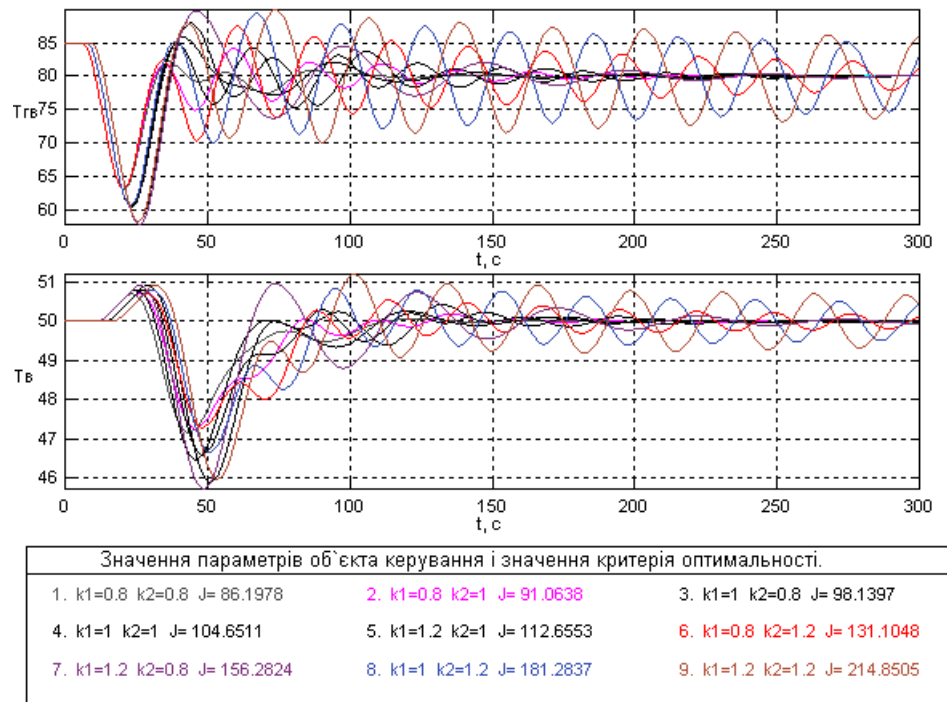


Рис. 3.29 – Результати перевірки САР з П- та ПІД регуляторами підвищеної динамічної точності на грубість

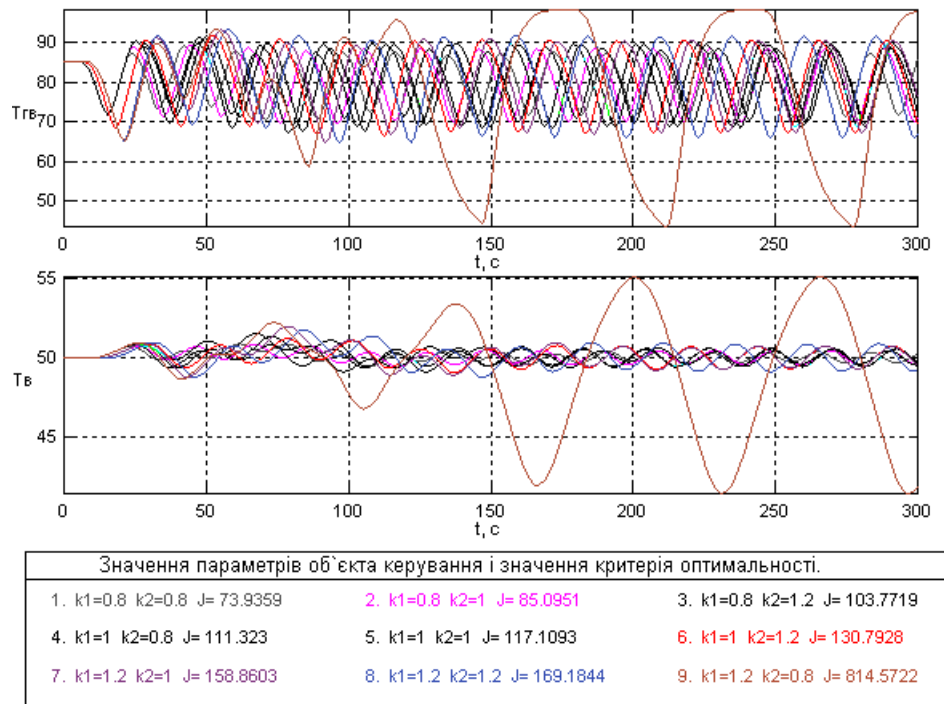


Рис. 3.30 – Результати перевірки САР з ПД- та ПІД регуляторами підвищеної динамічної точності на грубість

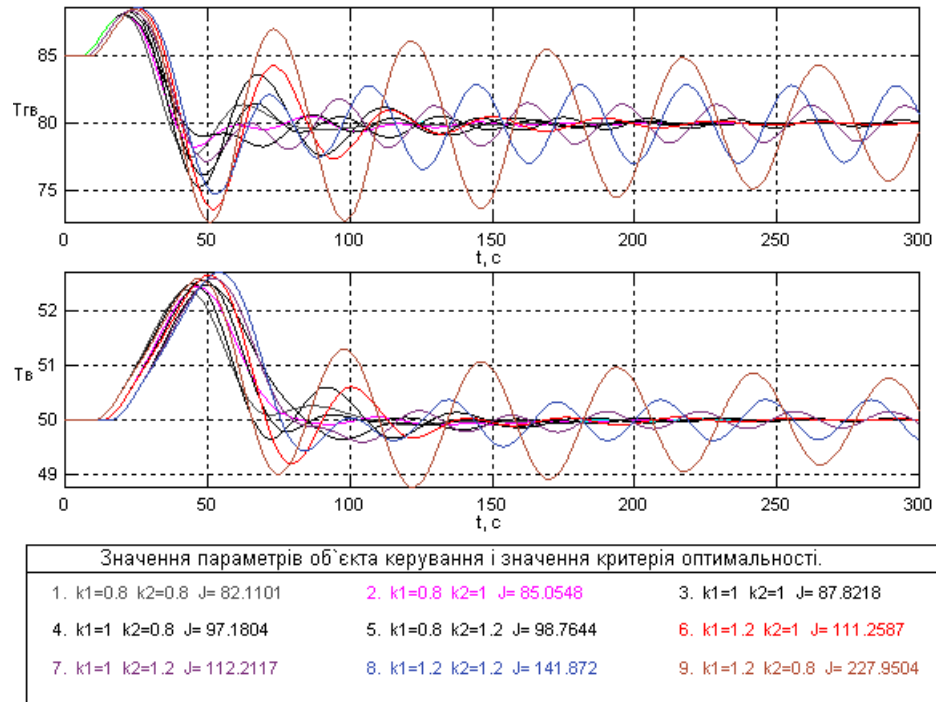


Рис. 3.31 – Результати перевірки САР з ПІ- та ПІД регуляторами підвищеної динамічної точності на грубість

Для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.32. Результати порівняння наведені на рис. 3.33 і в таблиці 3.7.

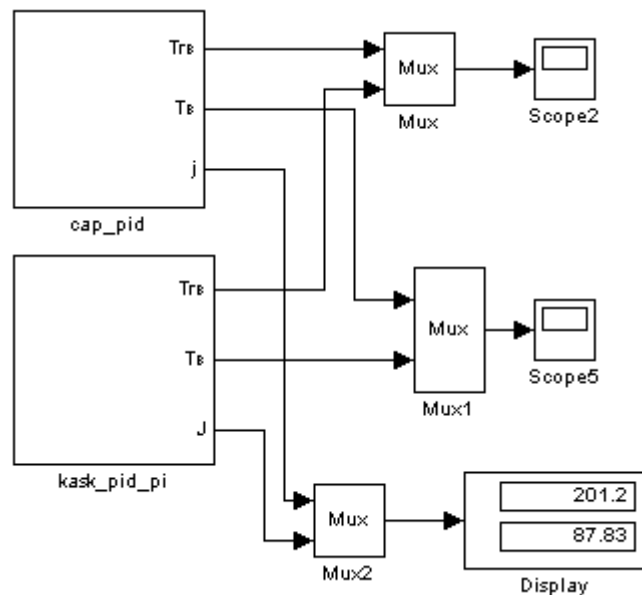


Рис. 3.32 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи САР базової структури і САР каскадної структури

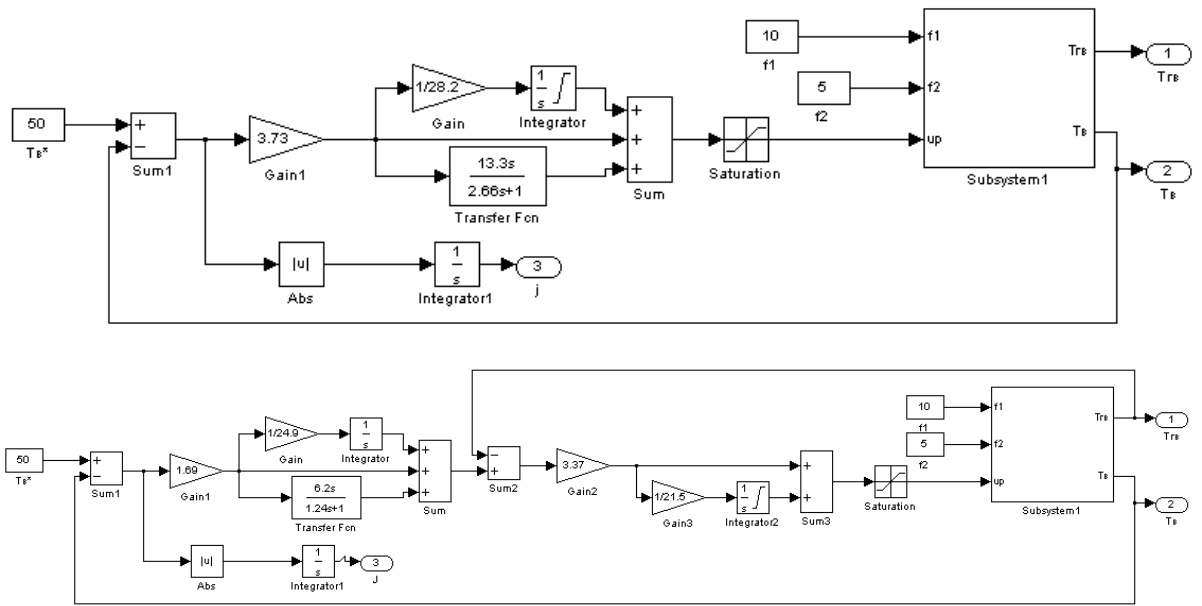


Рис. 3.32 (закінчення) – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи САР базової структури і САР каскадної структури

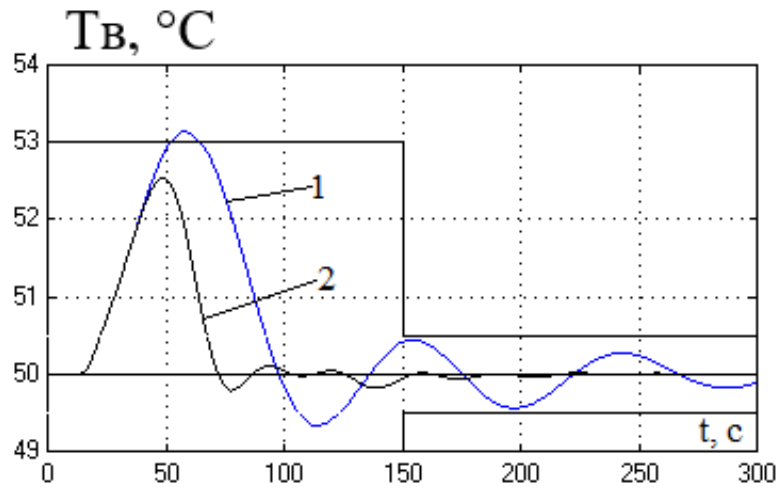


Рис. 3.33 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури (1) і САР каскадної структури (2)

Таблиця 3.7 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Варіант САР	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_{в}^{МАКС}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{пш}, \text{ c}$	
Базова	3,14	123,5	201,2
Каскадна	2,54	67,3	87,8

### 3.4 Висновки за розділом

САР підвищеної динамічної точності задовольняє гранично припустимим вимогам.

Після підвищення динамічної точності САР інтегральний критерій зменшився на 56%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 19%, час перехідного процесу зменшився на 44%.

САР підвищеної динамічної точності є грубою.

Оскільки САР каскадної структури дає покращення інтегрального показника якості регулювання та прямих показників якості, тому САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно.

## **4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом**

### **4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій**

Перед пуском теплообмінник перевіряють на герметичність, промивають 10... 15 хвилин розчином соди, потім водою і стерилізують 30 хвилин, пропускаючи воду температурою 85°C. В гарячий апарат відразу подають вино, що прискорює початок робочого циклу. Для попередження пригорання за відсутності вина нагрівання припиняють.

Технологічна зупинка розпочинається з припинення подачі вина до установки. Вино із установки витісняється водою. Після вироблення продукту установка прополіскується 5 хвилин гарячою водою.

До нештатних ситуацій належать недогрівання та перегрівання вина, відсутність тиску вина в системі трубопроводів та відсутність вина у вхідному збірнику.

При недогріванні вина продукт направляється на рециркуляцію. Якщо температура продукту не буде поновлена через 150 секунд, здійснюється зупинка установки.

При перегріванні вина відсікається подача пари до установки. Якщо температура не буде поновлена через 150 секунд, здійснюється зупинка установки.

За відсутності вина у вхідному збірнику здійснюється технологічна зупинка ділянки.

За відсутності тиску вина в системі продуктопроводів відсікається подача пари до установки.



промивають на протязі 10 хвилин. Потім миючий розчин зливають в дренаж, установку промивають водою на протязі 5 хвилин і стерилізують гарячою водою на протязі 30 хвилин. Промивання здійснюють злиттям води в дренаж, а стерилізацію – в режимі рециркуляції. Для стерилізації забезпечують циркуляцію води в системи обігрівання, а в секцію підігрівання води подають гріючу пару. Потім гарячу воду зливають в дренаж, а установку заповнюють продуктом. Блок-схема регламенту функціонування установки при технологічному пуску наведена на рис. 4.2.

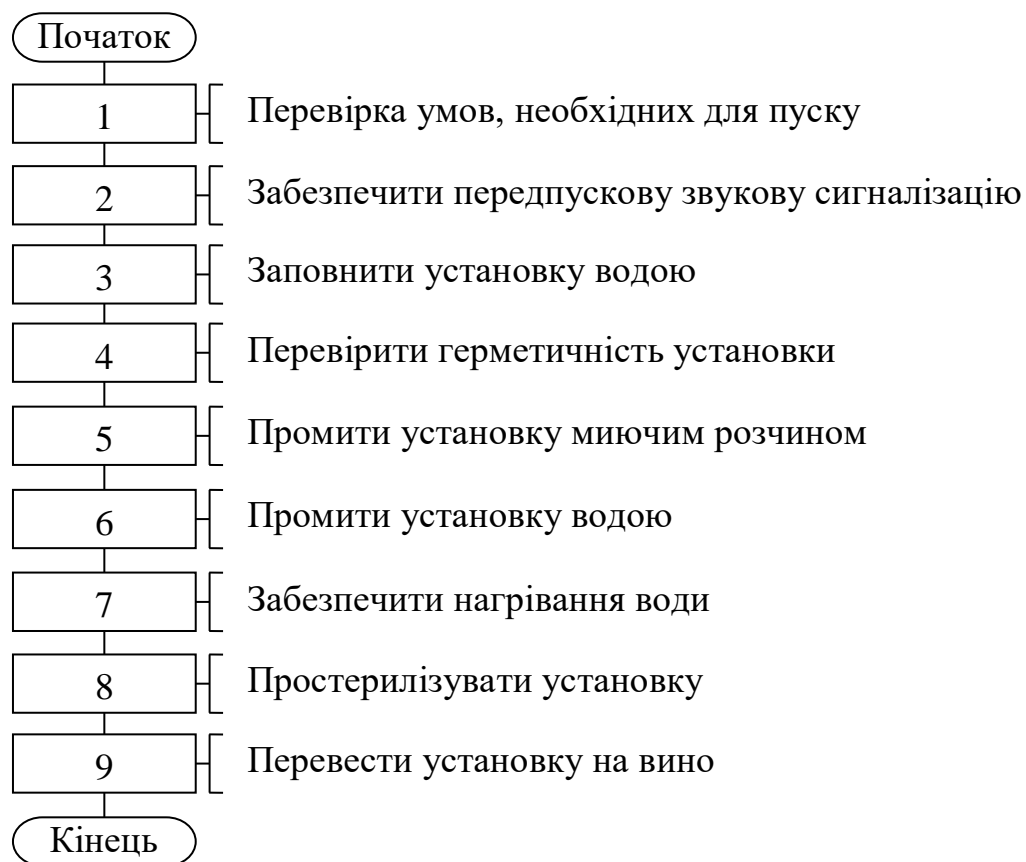


Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту функціонування установки обробки вина теплом при технологічному пуску

Технологічна зупинка проводиться без умов за бажанням оператора і розпочинається з того, що в установку припиняють подавати вино, а установку заповнюють водою. Потім установку промивають водою в режимі зливання води в

дренаж на протязі 10 хвилин. Після цього припиняють нагрівання води, а потім і циркуляцію води в системі. Блок-схема регламенту функціонування установки обробки вина теплом при технологічній зупинці наведена на рис. 4.3.



Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту функціонування установки обробки вина теплом при технологічній зупинці наведена

Як вже було відзначено вище, до нештатних ситуацій роботи установки належать недогрівання та перегрівання вина, відсутність тиску вина в системі трубопроводів та відсутність вина у вхідному збірнику.

При недогріванні вина продукт направляється на рециркуляцію. Якщо температура продукту не буде поновлена через 150 секунд, здійснюється відповідна сигналізація і подальша технологічна зупинка. Якщо за 150 секунд температура вина поновиться, то вино далі починає випускатися на гарячий розлив. Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина, наведена на рис. 4.4.

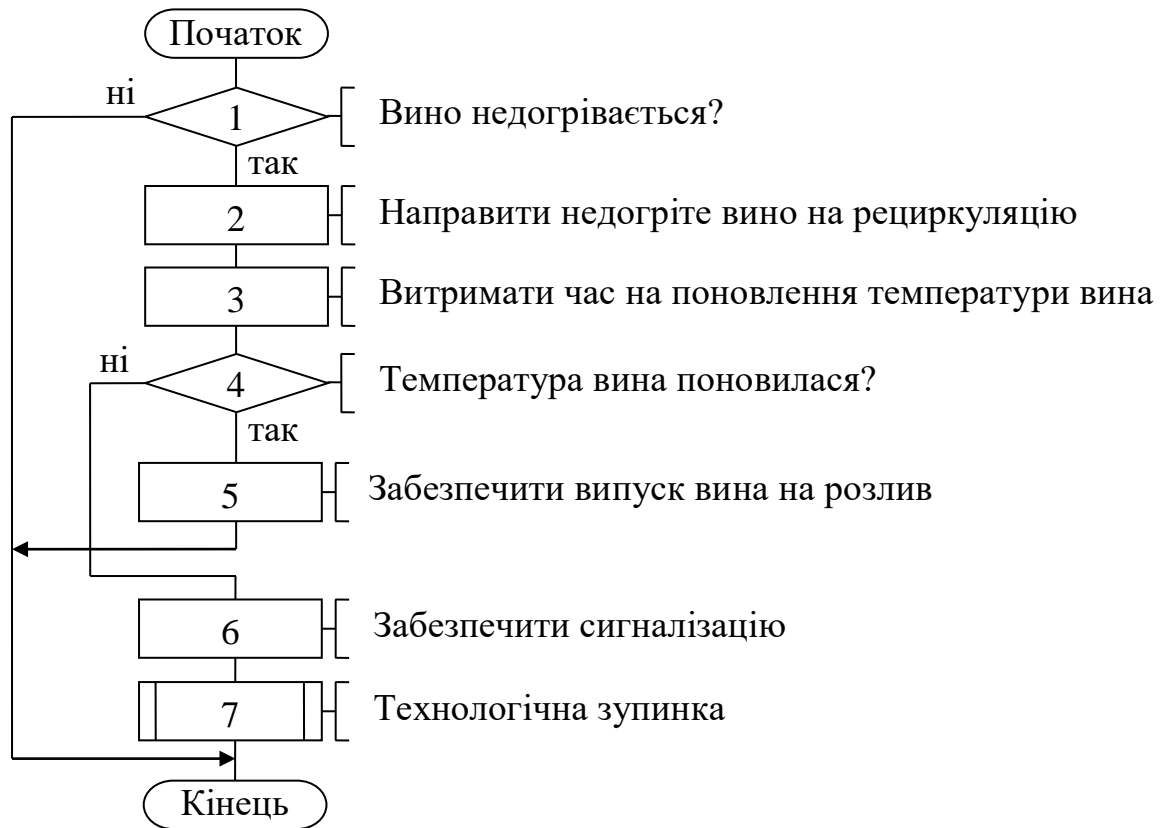


Рис. 4.4 – Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина,

При перегріванні вина відсікається подача пари до установки. Якщо через 150 секунд температура вина впаде до регламентованого значення, подача пари має поновитися. Якщо температура не буде поновлена через 150 секунд, здійснюється зупинка установки. Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина, наведена на рис. 4.5.

За відсутності вина у вхідному збірнику або при засміченні фільтра здійснюється технологічна зупинка ділянки. Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з відсутністю вина у вхідному збірнику, наведена на рис. 4.6.

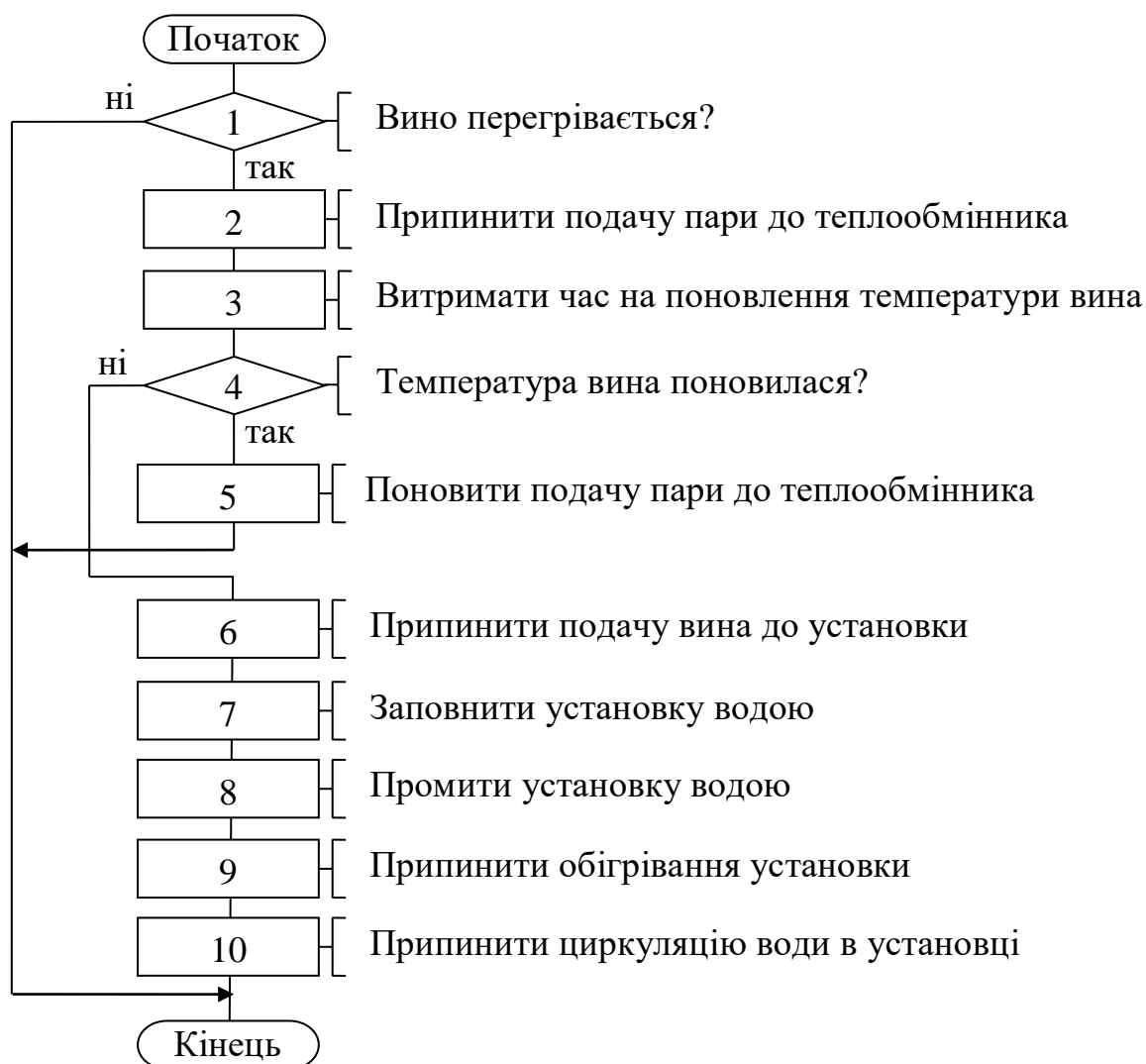


Рис. 4.5 – Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина,

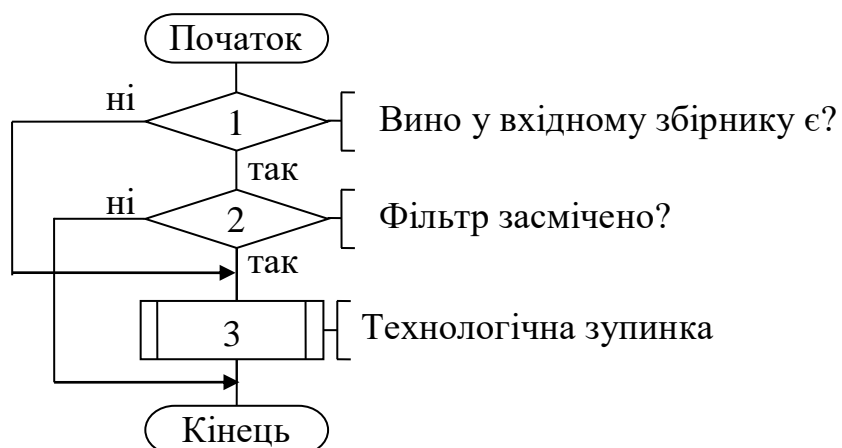


Рис. 4.6 – Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з відсутністю вина у вхідному збірнику або засміченні фільтра

### **4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою, блокування передаварійних ситуацій та аварійної зупинки технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис**

У відповідності до регламенту (рис. 4.2) пуск установки в роботу здійснюється згідно з алгоритмом автоматичного логічного керування, наведеним на рис. 4.7.

Перевірка умов, необхідних для пуску включає в себе перевірку п'яти умов: рівню вина в збірнику ( $L_v > PP?$ ), рівню води в збірнику системи обігріву ( $L_{гв} > PP?$ ), рівню миючого розчину в збірнику ( $L_{рс} > PP?$ ), тиску пари в паропроводі ( $P_p > P_{pmin}?$ ) та тиску води в водопроводі ( $P_v > P_{vmin}?$ ). Якщо хоча б одна умова не виконана, відбувається рух на кінець алгоритму. Якщо усі вимоги виконуються, то здійснюється передпускова звукова сигналізація. Для цього звуковий сигналізатор вмикається на 30 секунд. Для заповнення установки водою попередньо забезпечується рециркуляція води в продуктопроводах, що здійснюється переключенням триходового клапана ТХК1 в положення 2. Потім відкривається клапан КЛ1 подачі води до продуктопроводу і вмикається насос Н2. Для перевірки герметичності установки слід перевірити наявність робочого тиску в продуктопроводі ( $P_{впр} > P_{вроб}?$ ). Для промивання установки миючим засобом треба припинити подачу води до установки, закрити клапан КЛ1, та відкрити клапан подачі миючого засобу КЛ2. При цьому миючий засіб має зливатися в дренаж. Для цього триходовий клапан ТХК1 треба переключити в положення 1, а ТХК2 – в положення 2. Надалі має здійснюватися витримка часу 10 хвилин. Для ополіскування установки водою треба закрити клапан подачі миючого

розчину Кл2 і відкрити клапан подачі води Кл1, після чого витримати час 5 хвилин. Надалі слід забезпечити циркуляцію гарячої води в системі, для чого слід запустити насос Н1.

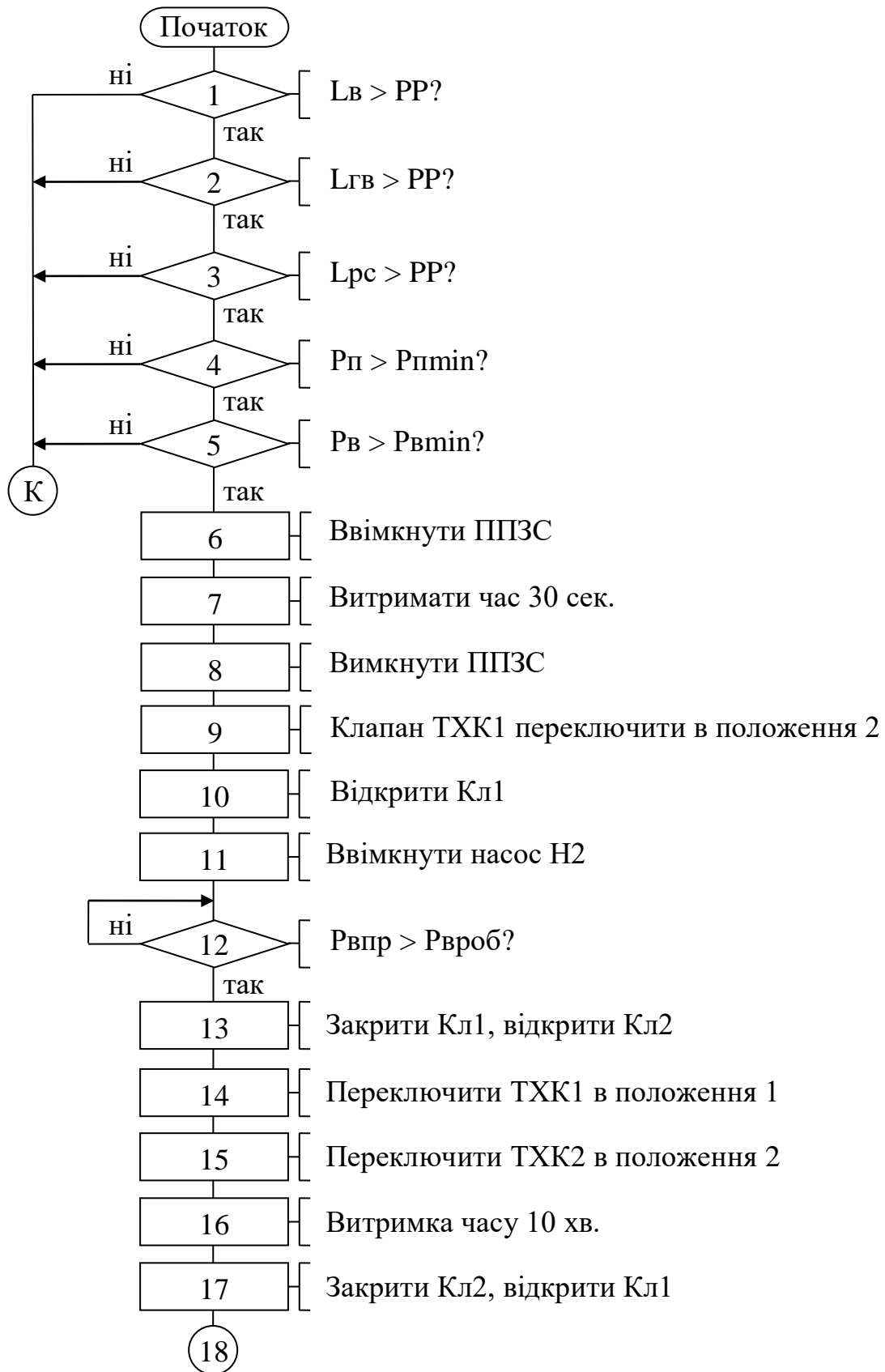


Рис. 4.7 – Блок-схема алгоритму автоматичного логічного керування установкою обробки вина теплом в режимі автоматичного пуску

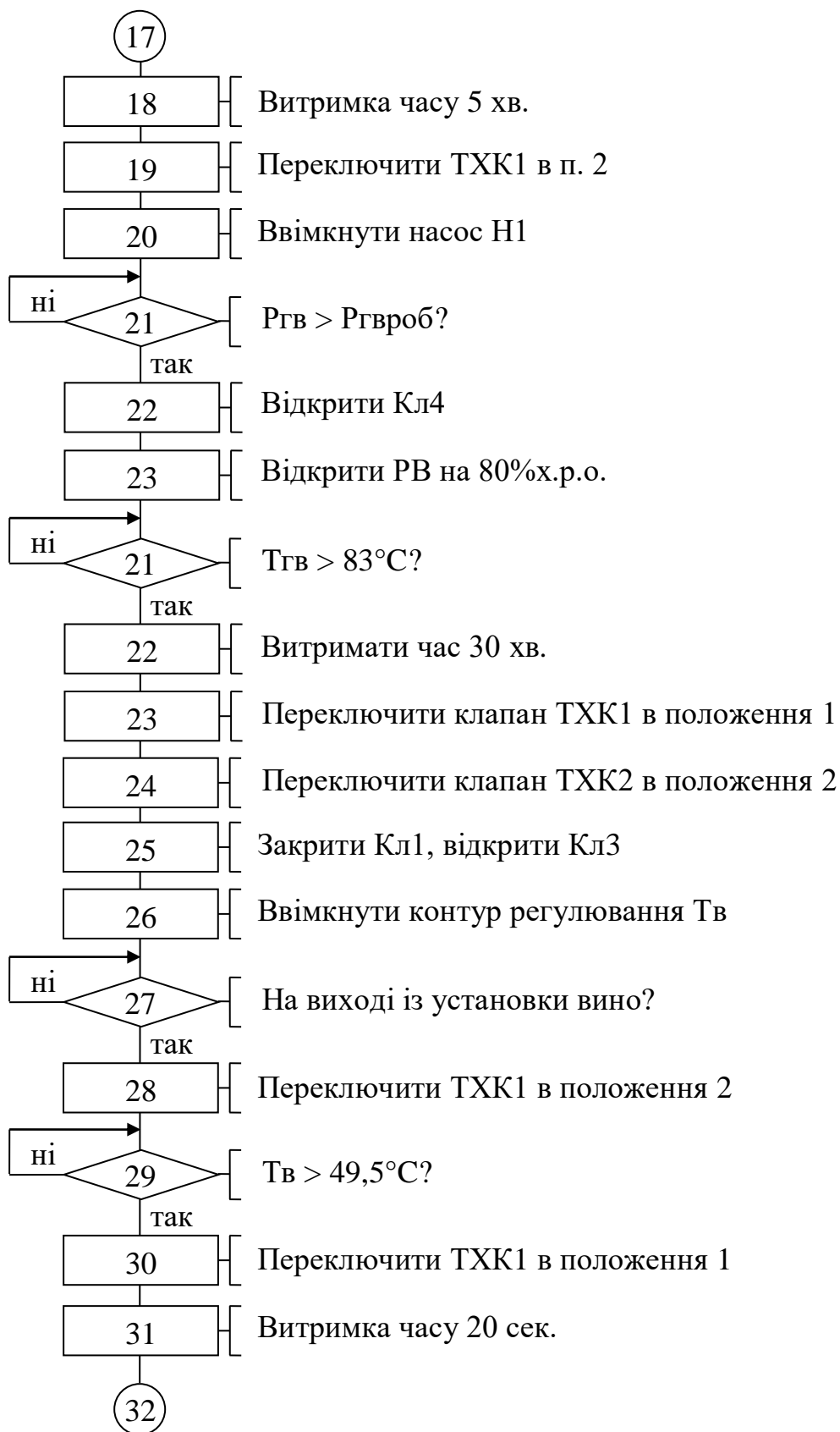


Рис. 4.7 (продовження) – Блок-схема алгоритму автоматичного логічного керування установкою обробки вина теплом в режимі автоматичного пуску

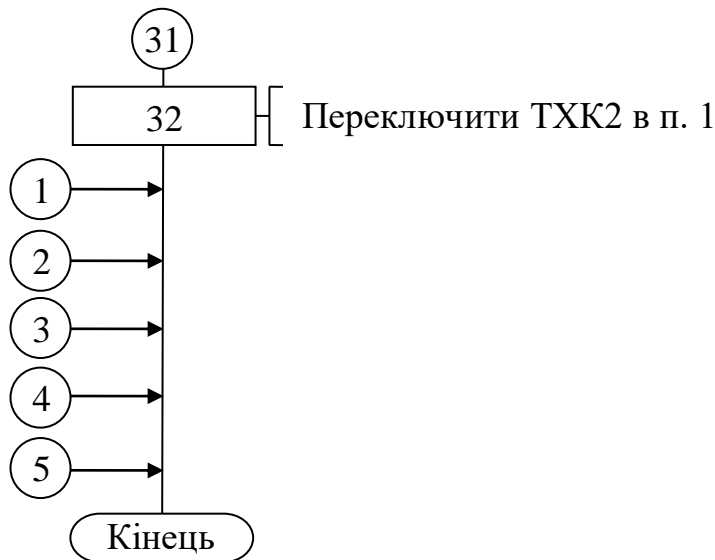


Рис. 4.7 (закінчення) – Блок-схема алгоритму автоматичного логічного керування установкою обробки вина теплом в режимі автоматичного пуску

Для обігрівання установки треба відкрити відсічний клапан на паропроводі Кл4, а регулюючий орган подачі пари РВ відкрити на 80%. Стерилізацію установки слід проводити в режимі рециркуляції води в продуктопроводах, тому триходовий клапан ТХК1 слід перевести у положення 2. При досягненні температурою води на виході із установки значення 83°C слід витримати час 30 хвилин на стерилізацію установки. Для переведення установки на вино слід забезпечити зливання води в дренаж. Для цього слід триходовий клапан ТХК1 перевести в положення 1, а ТХК2 – в положення 2. Надалі в установку припиняється подача води і подається вино. Для цього слід закрити клапан Кл1 і відкрити клапан Кл3. При цьому слід запустити в роботу контур регулювання температури вина. Після заповнення установки вином потрібно забезпечити рециркуляцію продукту. Для цього триходовий клапан ТХК1 слід перевести в положення 2. При досягненні температурою вина значення 49,5°C ( $T_v > 49,5^\circ\text{C}$ ?) розпочинають випуск продукту на розлив. Для цього триходовий клапан ТХК1 треба перевести в положення 1, а ТХК2 – також в положення 1.

Циклограма процесу наведена на рис. 4.8.

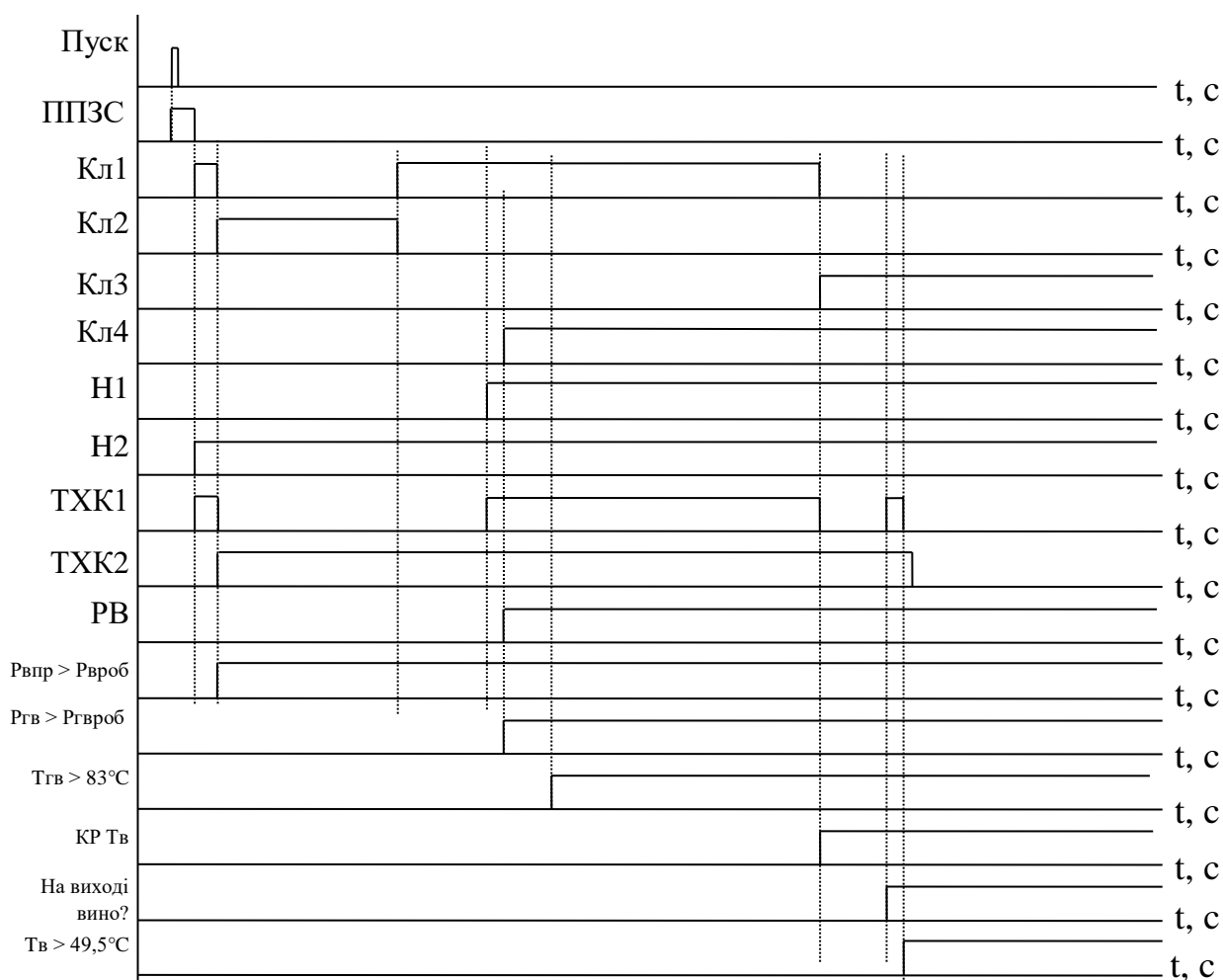


Рис. 4.8 – Циклограма процесу автоматичного пуску ділянки в роботу

У відповідності до регламенту (рис. 4.3) технологічна зупинка установки здійснюється згідно з алгоритмом автоматичного логічного керування, наведеним на рис. 4.9.

Технологічна зупинка розпочинається з потреби оператора її здійснити: з натискання кнопки «Стоп». Для припинення подачі вина на ділянку треба закрити клапан КЛ3, а для заповнення установки водою треба відкрити клапан 1. Надалі слід проконтролювати на виході установки продукт. Якщо на виході із установки вода, то для недопущення потрапляння води на розлив слід переключити триходовий клапан ТХК2 в положення 2, щоб відпрацьована вода зливалася в дренаж.

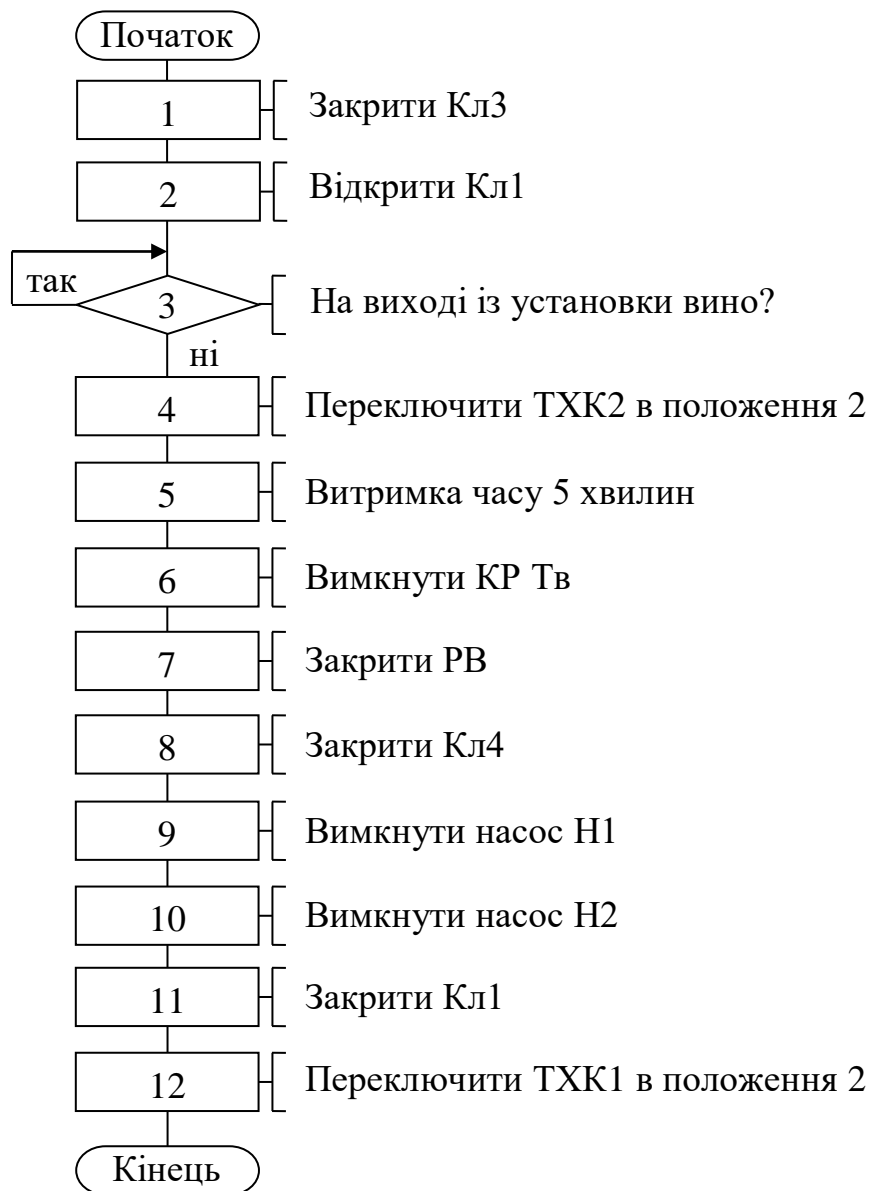


Рис. 4.9 – Блок-схема алгоритму автоматичного логічного керування установкою обробки вина теплом в режимі технологічної зупинки

Для промивання установки водою треба витримати час на промивання 5 хвилин. Так установка, за умови наявності гарячої води в системі обігрівання, буде промиватися гарячою водою, чим ефект від миття продуктопроводів буде підсилюватися. Після промивання установки слід припинити обігрівання установки. Для цього треба вимкнути контур регулювання температури, закрити регулюючий вентиль РВ та відсічний клапан подачі пари Кл1. Потім потрібно вимкнути насос Н1. Надалі треба

вимкнути насос Н2, закрити клапан подачі води до продуктопроводів, а самі продуктопроводи перевести в режим рециркуляції. Для цього треба переключити клапан ТХК1 в положення 2.

Циклограма роботи установки в режимі технологічної зупинки наведена на рис. 4.10.

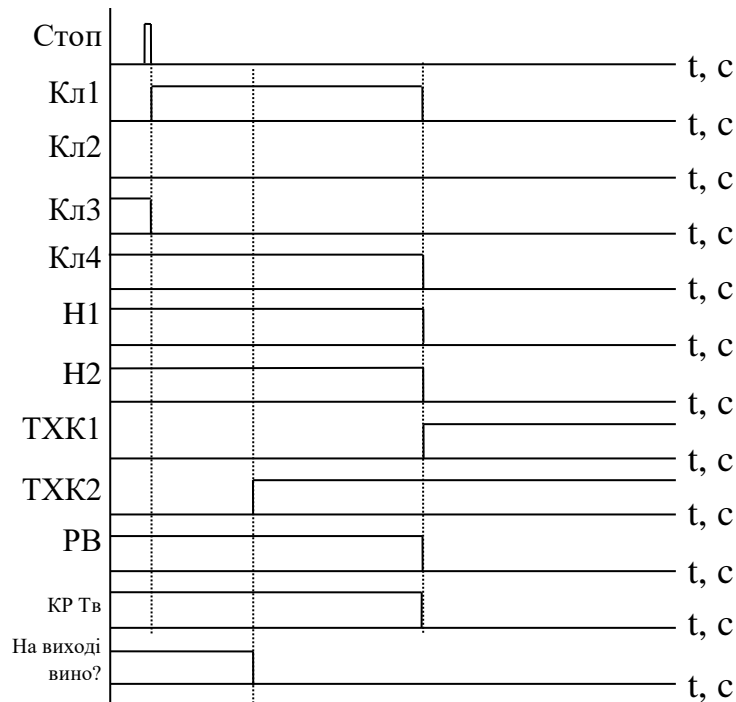


Рис. 4.10 – Циклограма процесу автоматичної технологічної зупинки

У відповідності до регламенту (рис. 4.4) відпрацювання нештатної ситуації для установки, пов'язаної з недогріванням вина, здійснюється згідно з алгоритмом автоматичного логічного керування, наведеним на рис. 4.11.

Контроль недогрівання вина забезпечується контролем недосягнення температурою вина значення  $48^{\circ}\text{C}$ . За наявності цієї нештатної ситуації вино переводиться на рециркуляцію, для цього триходовий клапан ТХК1 переводиться в положення 2. Потім здійснюється витримка часу 150с на поновлення температури вина до  $48^{\circ}\text{C}$ . Якщо за означений час температура

вина перевищить 48°C, то випуск вина на розлив поновлюється. Для цього триходовий клапан ТХК1 переключається в положення 1. Нештатна ситуація відпрацьована.

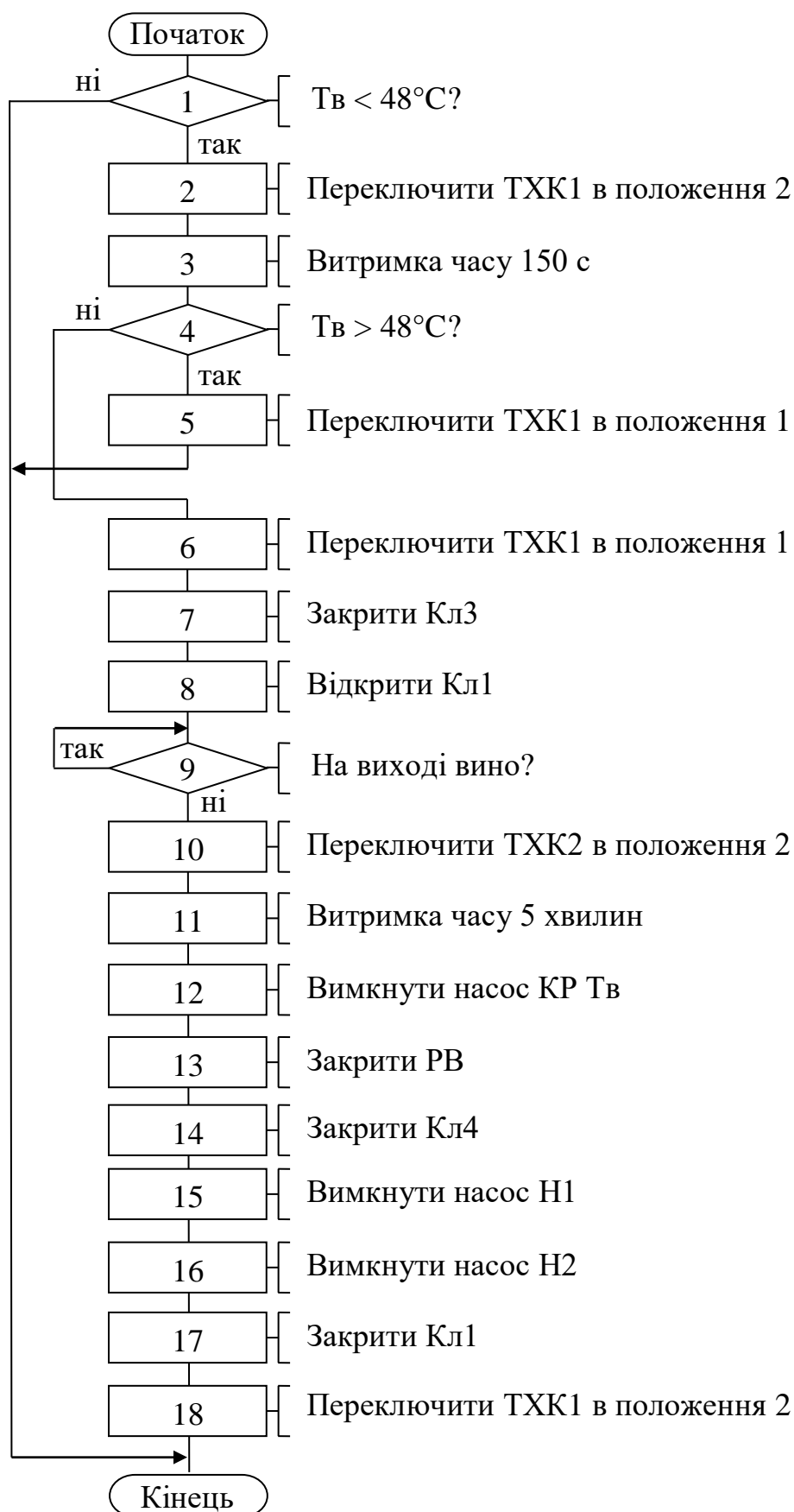


Рис. 4.11 – Блок-схема алгоритму автоматичного керування відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина

Якщо за означений час 150 с температура не поновилася, починається зупинка ділянки. Для цього забезпечується випуск вина з ділянки, для чого ТХК1 переключається в положення 1. В установку припиняють подачу вина, закриваючи клапан Кл3, і починають подачу води, відкриваючи клапан Кл1. Вода витискає вино з продуктопроводів. Якщо на виході установки вода, то для попередження потрапляння води на розлив триходовий клапан ТХК2 перемикається в положення 2, направляючи воду в дренаж. Потім установка на протязі 5 хвилин промивається водою, для чого робиться відповідна витримка часу. Надалі припиняють обігрівання установки, для чого вимикається контур регулювання температури, закривається відсічний клапан подачі пари Кл4 і вимикається насос Н1. Для припинення циркуляції води в продуктопроводах вимикається насос Н2, закривається клапан подачі води до продуктопроводів Кл1, а продуктопроводи перемикаються в режим рециркуляції. Для цього триходовий клапан ТХК1 переключається в положення 2.

Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина, при поновленні температури вина наведена на рис. 4.12, при невдалому поновленні температури вина – на рис. 4.13.

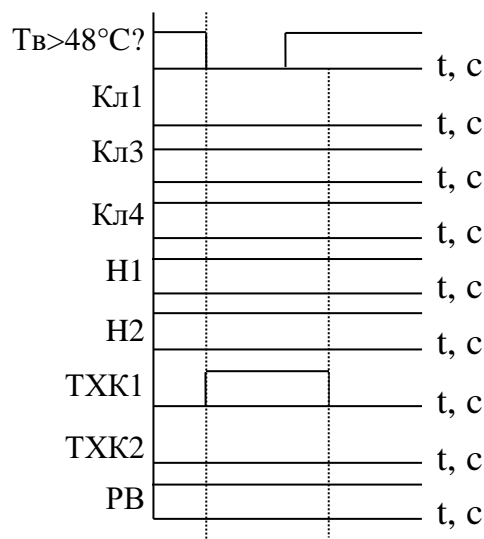


Рис. 4.12 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина, при поновленні температури вина

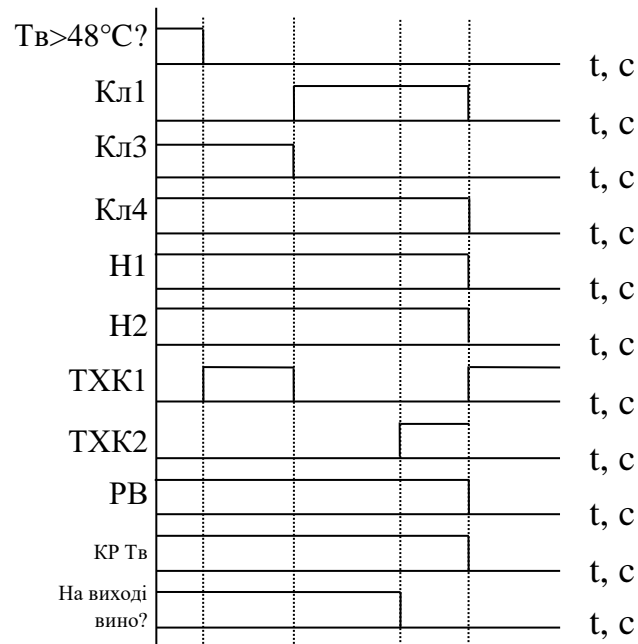


Рис. 4.13 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина, при невдалому поновленні температури вина

У відповідності до регламенту (рис. 4.5) відпрацювання нештатної ситуації для установки, пов'язаної з перегріванням вина, здійснюється згідно з алгоритмом автоматичного логічного керування, наведеним на рис. 4.14.

Контроль перегрівання вина забезпечується контролем перевищення температурою вина значення 53°C. За наявності цієї нештатної ситуації відсікається подача пари до теплообмінника. Для цього закривається клапан КЛ4. Потім здійснюється витримка часу 150с на поновлення температури вина нижче 53°C. Якщо за означений час температура вина стане нижчою від 53°C, то подача пари до теплообмінника поновлюється, відкривається клапан 1. Нештатна ситуація відпрацьована.

Якщо за означений час 150 с температура не поновилася, починається зупинка ділянки. Для цього в установку припиняють подачу вина, закриваючи клапан КЛ3, і починають подачу води, відкриваючи клапан КЛ1. Вода витискає вино з продуктопроводів.

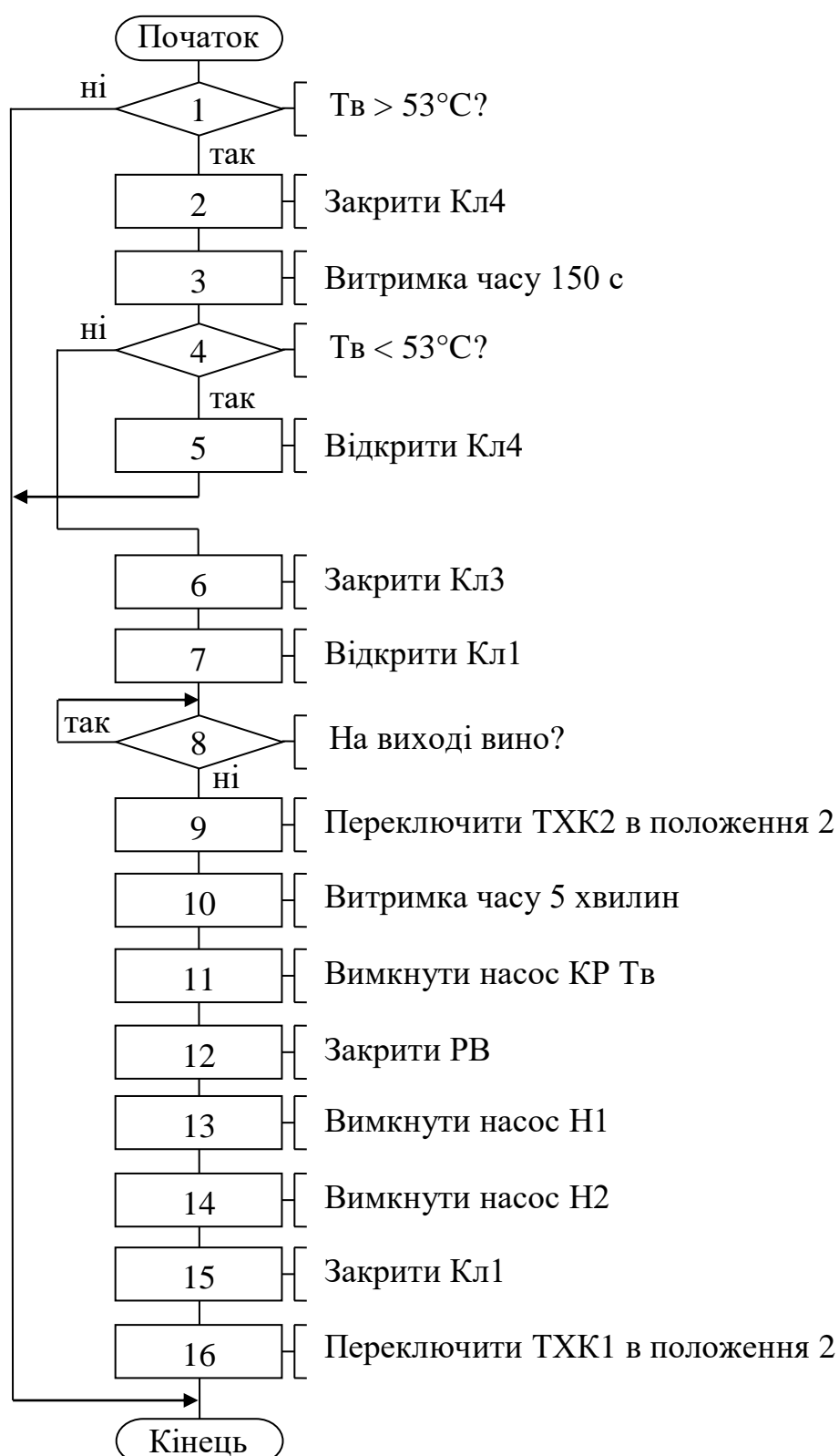


Рис. 4.14 – Блок-схема алгоритму автоматичного керування відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина

Якщо на виході установки вода, то для попередження потрапляння води на розлив триходовий клапан ТХК2 перемикається в положення 2, направляючи воду в дренаж. Потім установка на протязі 5 хвилин промивається водою, для чого робиться відповідна витримка часу. Надалі припиняють обігрівання установки, для чого вимикається контур регулювання температури і вимикається насос Н1. Для припинення циркуляції води в продуктопроводах вимикається насос Н2, закривається клапан подачі води до продуктопроводів Кл1, а продуктопроводи перемикаються в режим рециркуляції. Для цього триходовий клапан ТХК1 переключається в положення 2.

Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина, при поновленні температури вина наведена на рис. 4.15, при невдалому поновленні температури вина – на рис. 4.16.

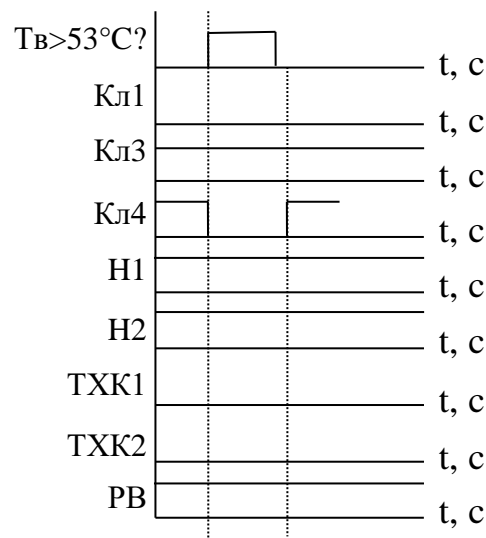


Рис. 4.15 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина, при поновленні температури вина

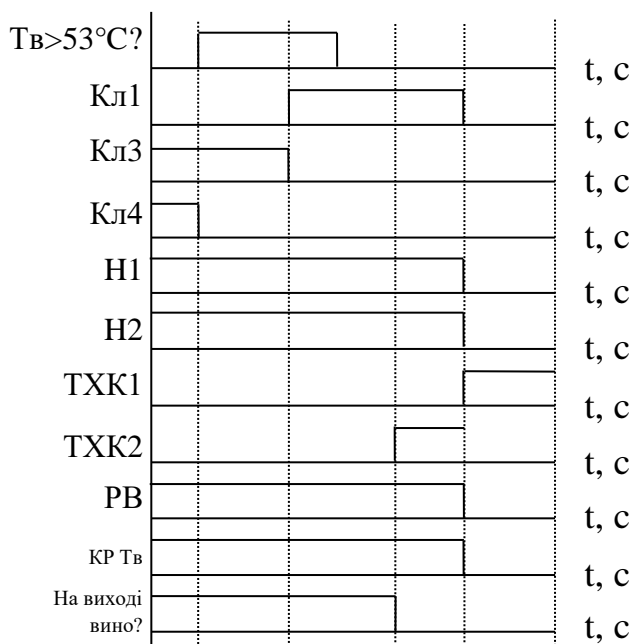


Рис. 4.16 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина, при невдалому поновленні температури вина

У відповідності до регламенту (рис. 4.6) відпрацювання нештатної ситуації для установки, пов'язаної з відсутністю вина у входному збірнику або засміченням фільтра, здійснюється згідно з алгоритмом автоматичного логічного керування, наведеним на рис. 4.17.

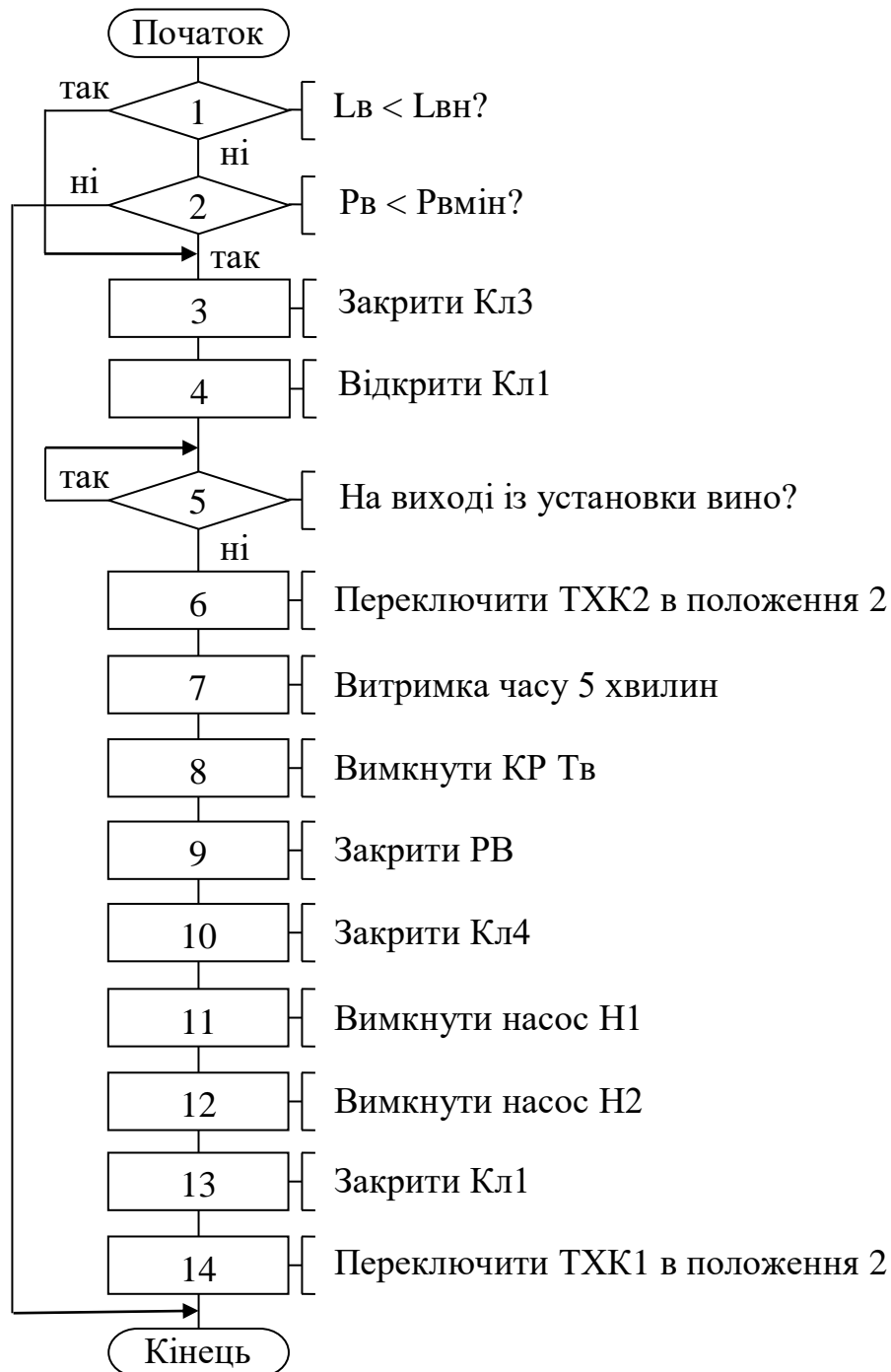


Рис. 4.17 – Блок-схема алгоритму автоматичного керування відпрацювання нештатних ситуацій, пов'язаних з відсутністю вина у вхідному збірнику або при засміченні фільтра

Відпрацювання нештатних ситуацій, пов'язаних з відсутністю вина у вхідному збірнику або при засміченні фільтра розпочинається з перевірки наявності ситуацій, а саме рівню вина у збірнику ( $L_v < L_{vн}$ ) та тиску вина в продуктопроводах ( $P_v < P_{vмін}$ ). При виконанні однієї з умов розпочинається

технологічна зупинка ділянки. Для припинення подачі вина на ділянку треба закрити клапан КлЗ, а для заповнення установки водою треба відкрити клапан 1. Надалі слід проконтролювати на виході установки продукт. Якщо на виході із установки вода, то для недопущення потрапляння води на розлив слід переключити триходовий клапан ТХК2 в положення 2, щоб відпрацьована вода зливалася в дренаж. Для промивання установки водою треба витримати час на промивання 5 хвилин. Так установка, за умови наявності гарячої води в системі обігрівання, буде промиватися гарячою водою, чим ефект від миття продуктопроводів буде підсилюватися. Після промивання установки слід припинити обігрівання установки. Для цього треба вимкнути контур регулювання температури, закрити регулюючий вентиль РВ та відсічний клапан подачі пари Кл1. Потім потрібно вимкнути насос Н1. Надалі треба вимкнути насос Н2, закрити клапан подачі води до продуктопроводів, а самі продуктопроводи перевести в режим рециркуляції. Для цього треба переключити клапан ТХК1 в положення 2.

Циклограма роботи установки в режимі відпрацювання нештатних ситуацій, пов'язаних з відсутністю вина у вхідному збірнику або при засміченні фільтра наведена на рис. 4.18.

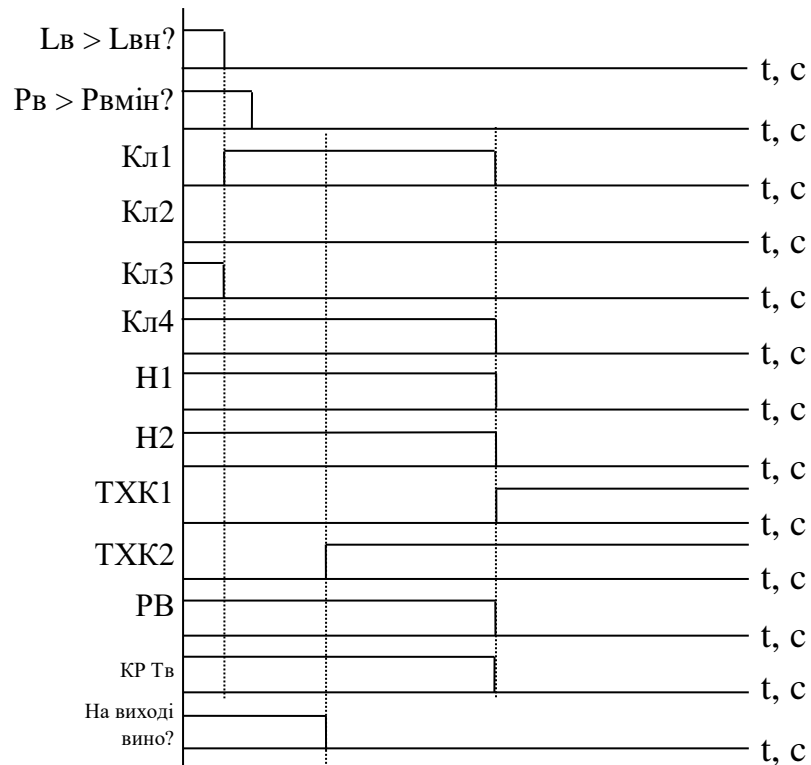


Рис. 4.18 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов’язаної з перегріванням вина, при невдалому поновленні температури вина

#### 4.4 Висновки за розділом

У даному підрозділі було вирішено задачу логічного керування ділянкою технологічного процесу обробки вина теплом перед гарячим розливом. Було сформульовано регламенти технологічного пуску ділянки з включенням попереднього промивання установки, виведенням установки на температурний режим на воді та переведенням установки на продукт. Також було сформульовано регламент технологічної зупинки ділянки, що завершується промиванням установки підігрітою водою та заповненням водою продуктопроводів. Також було сформульовано регламенти відпрацювання чотирьох нештатних ситуацій, а саме, при недогріванні вина, при перегріванні зерна, при відсутності вина в збірнику та при засміченні

фільтра. Для перших двох ситуацій передбачено автоматичне поновлення роботи установки в штатному режимі.

Також було розроблено алгоритми автоматичного логічного керування, що підтримують перераховані вище регламенти. Було розроблено алгоритми автоматичного керування пуском, технологічною зупинкою, та три алгоритми керування відпрацюванням нештатних ситуацій. Нештатні ситуації, пов'язані з відсутністю вина в збірнику та засміченням фільтра були підтримані одним алгоритмом автоматичного керування.

Для можливості подальшого тестування алгоритмів керування було сформовано циклограми процесів.

## **5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні 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**

До переліку середовищ, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню відноситься:

- пара, з якою стикаються чутливий елемент датчика-реле тиску, відсічний та регулюючий клапани. Тиск пари в паропроводі складає 2 бари;

- вино, з яким стикаються чутливий елемент датчика температури, трьох ходовий клапан та чутливі елементи датчиків-реле рівня. Рівень вина в приймальній ємності: мін 0,1 м, мах 1,5 м. Температура вина, яке після нагріву надходить на розлив, повинна бути 50 °С. Матеріал корпусу клапану та захисних чохлах датчиків повинен бути із нержавіючої сталі;

- вода, з якою стикається чутливий елемент датчика температури. Температура води в контурі нагріву складає 85 °С.

Процес нагріву вина здійснюється в установці, яка встановлена у приміщенні цеху, температура повітря в якому змінюється в діапазоні 18...25 °С. Цей процес не є пожежовибухонебезпечним, оскільки в приміщенні не 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 небезпеки 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 установка, слід віднести до жаркого приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Для приміщення, де встановлена установка, слід вибрати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP44.

Оскільки датчики температури води і вина, а також виконавчі механізми подачі пари і вина монтуються безпосередньо на установці, то їх виконання повинно передбачати ступінь захисту не менше IP44.

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 нагріву вина використовуються наступні технічні засоби:

Для виміру температури води та вина застосований термоперетворювач опору ТЕРА з вбудованим нормуючим перетворювачем 4-20 мА ТСП-У, модель 1-3, НСХ Pt100, похибка перетворення 0,5%, монтажна довжина 80 мм, діаметр 6 мм, матеріал н/ж сталь AISI321, робочий діапазон температур 0-150 °С.

Тип*	R <sub>0</sub> , Ом	α=R <sub>100</sub> -R <sub>0</sub> /R <sub>0</sub> *100, °C <sup>-1</sup>	I <sub>зм.</sub> макс, мА	Робочий діапазон, °С
50М	50	0,00428	1	-50...180
100М	100			
Pt100	100	0,00385	1	-196...750
Pt1000	1000		0,3	
50П	50	0,00391	3	-196...600
100П	100			

Рис. 5.1 – Номінальна статична характеристика термоперетворювача опору

Залежність опору провідника від його температури у найпростішому випадку виражається лінійною залежністю:

$$R_T = R_0 + \alpha \cdot \Delta T,$$

де: R<sub>T</sub> — електричний опір при температурі T [Ом];

R<sub>0</sub> — електричний опір при початковій температурі T<sub>0</sub> [Ом];

α — температурний коефіцієнт електричного опору [°C<sup>-1</sup>];

ΔT — зміна температури, що становить T-T<sub>0</sub> [°C].

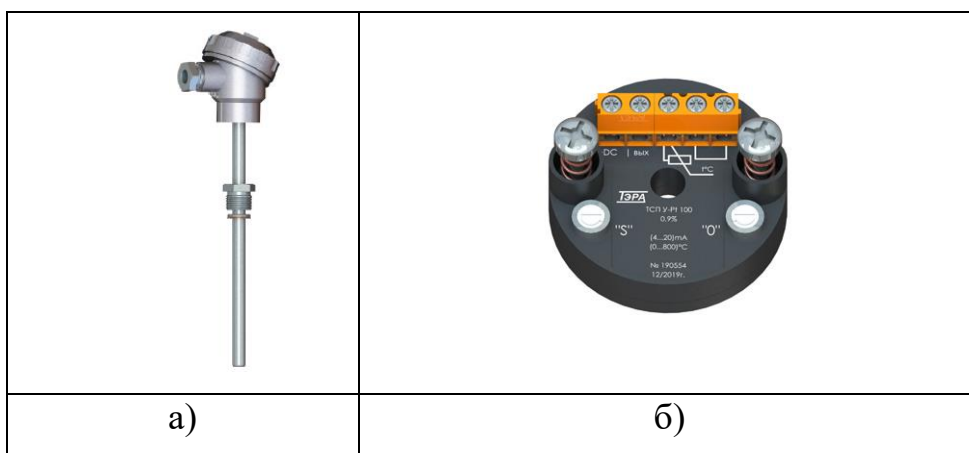


Рис. 5.2 – Датчик температури Тера

а) зовнішній вигляд датчика; б) нормуючий перетворювач

Вбудований нормуючий вимірювальний перетворювач 4-20 мА

Для перетворення опору датчика Pt100 в уніфікований сигнал 4-20 мА вибраний нормуючий пристрій ТСПУ Pt100. Він встановлюється безпосередньо в корпусі датчика температури.

Тип	Вхідний сигнал	Вихідний сигнал	Діапазон перетворення, °С	Клас точності, %
ТСПУ	50П, 100П, Pt100	4-20 мА	0...150, -50...250, -50...650	0,2 або 0,5
ТХАУ	ХА (К)		0...500, 0...850, 0...1300	
ТННУ	НН (N)		0...1300	

Рис.5.3 – Технічні характеристики нормуючого перетворювача ТСПУ

Для контролю тиску пари в паропроводі застосоване реле тиску RT 110L, степінь захисту IP54.

Технічні характеристики:



Рабочий диапазон [бар]	Дифференциал [бар]	Нейтральная зона [бар]	Макс. рабочее давление [бар]	Испытательное давление [бар]	Присоединение	Код для заказа	Тип
-0.8 – 5	0.2	0.2 – 0.9	22	25	G 3/8 A <sup>1)</sup>	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 <sup>1)</sup>	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

Для контролю рівня в приймальній ємності застосовані датчики-реле рівня DLS–27–31, які призначені для зчитування електропровідних рідин, налипаючих та агресивних речовин. Стрижневий електрод із н/ж сталі з повною ізоляція, встановлення збоку або зверху. Максимальна довжина електрода 2м.



а)

### Технічні характеристики:

напряжение питания	7 ... 36 В DC
выходы	NPN ; PNP ; NAMUR
диапазон рабочих температур	-20 ... +80°С
средние температуры	-30 ... +200°С
тех. присоединение	резьба M27x2 ; M30x1,5 ; G 3/4" ; TriClamp
класс защиты	IP67

б)

Рис. 5.5 – Датчик-реле рівня DLS–27–31:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

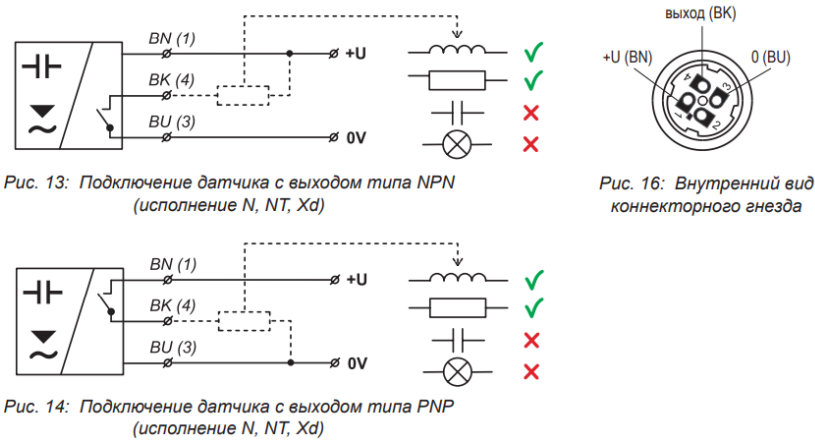


Рис. 5.6 – Схеми підключення датчика-реле рівня DLS–27–31

При вертикальній установці можна скористатися гістерезисом, що настраюється, для простого двопозиційного регулювання висоти рівня між мін. та макс. значенням. Межі рівнів можна змінювати шляхом налаштування чутливості датчика. Різниця між мін. та макс. рівнями налаштовується шляхом зміни гістерезису.

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

Для подачі пари використаний електромагнітний клапан GAMA ZBSF-25SF DN 25 Н.З. 0-16 Bar 220°C 24VDC



Вид клапана <a href="#">i</a>	нормально закрытый
Напряжение	24VDC, 220VAC
Тип присоединения <a href="#">i</a>	фланцевое
Присоединительные размеры; DN Ду	25
Степень защиты <a href="#">i</a>	IP54
Присоединение, дюйм	1"
Минимальное рабочее давление, ΔP	0 бар
Расход; л/мин	114
Материал корпуса	нержавеющая сталь
Температура	- 5 + 220 °C
Способ действия	прямого действия
Максимальное рабочее давление, ΔP	16 бар

Рис. 5.7 – Зовнішній вигляд та основні техн.характеристики клапану GAMA ZBSF-25SF

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



Температура регулируемой среды	-10 °C ... +200 °C
Условное давление	≤ +5 °C с подогревателем штока 2500 кПа при средней температуре 120 °C 2300 кПа при средней температуре 200 °C
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
Δрs	См. табл. типоразмеров
Рабочий ход	См. табл. типоразмеров
Точка запираания	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. 5.8 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 <sup>2</sup>
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. 5.9 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики виконавчого механізму BELIMO NVD24SR

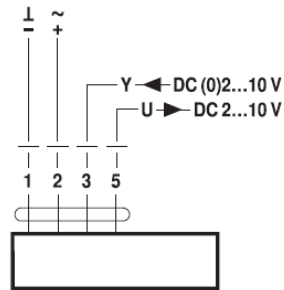


Рис. 5.10 – Схема електричних підключень електроприводу BELIMO NVD24SR

Для подачі та зміни напрямку руху вина застосовані двоходовий клапан Belimo R432 та трьох ходовий клапан Belimo R532 з виконавчими механізмами Belimo NRQ24A.



Температура среды	+6...+100 °С (-10 °С с подогревом штока) 1)
Дифференциальное давление	$\Delta P_{max}$ 1000 кПа (200 кПа для бесшумной работы)
Запирающее давление	$\Delta P_s$ 1400 кПа
Номинальное давление $P_s$	См. таблицу вверху
Характеристика потока	Байпас В—АВ : $\approx 50\%$ от $Kvs$
Уровень утечки	А—АВ: А, герметичен В—АВ: 1% от $Kvs$
Трубное присоединение	Внешняя резьба
Угол поворота	90° ↺
Положение установки	От вертикального до горизонтального (относительно штока)
Тех. обслуживание	Не требуется
Тело клапана	Штампованное, никелированная латунь
Конус клапана и шток	Нержавеющая сталь

Рис. 5.11 – Зовнішній вигляд та основні техн.характеристики клапану R532



Напряжение питания	AC 24 V
Диапазон напряжения питания	AC 19,2...28,8 V
Расчетная мощность	18 ВА
Электрическое подключение	кабель: 1 м, 3 x 0,75 мм <sup>2</sup>
Потребляемая мощность:	12 Вт
Функциональные данные	
Время поворота	9 с
Крутящий момент	8 Нм

Рис. 5.12 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики виконавчого механізму BELIMO NRQ24A

Привід відноситься до лінійки прискорених приводів з часом ходу 9 с. Керується привід стандартним сигналом 0...24 V DC. Напряга живлення – AC/DC 24V. Електропривод легко кріпиться на клапан за допомогою одного гвинта, горизонтально у кожному з чотирьох положень.

Кут повороту налаштовується механічними упорами. Електропривод захищений від перевантаження, не вимагає кінцевих вимикачів і автоматично зупиняється при досягненні кінцевих положень..

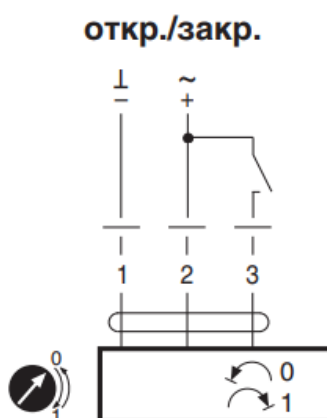


Рис. 5.13 – Схема електричних підключень електроприводу BELIMO NRQ24A

Для електроприводів насосів застосовані: - автомат захисту двигуна 1А, 2-х полюсний, Z-MS-1/2 Eaton/ 400 В., типорозмір S0, пускова перевантажувальна характеристика CLASS 10;

- проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED (RXM4AB2BDPVS) служить для розмноження сигналів та гальванічного розподілу



Рис. 5.14 – Зовнішній вигляд:

- а) автоматичного вимикача Z-MS-1/2 Eaton;
- б) проміжного реле Schneider Electric RXM4AB2BDPVS

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

Попередній вибір принципів побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі. Оскільки установка по підігріву вина розміщується в приміщенні цеху компактно, то відповідно датчики та виконавчі пристрої, які встановлені на неї, також розміщуються на невеликих відстанях одні від інших. Тому шафу з ПЛК та допоміжним устаткування доцільно розташувати в приміщенні цеху неподалік від установки, що скоротить довжини кабелів при підключенні. Виходячи з цих обставин, виберемо централізовану контролерно-комп'ютерну мережу з реалізацією АРМ на панелі оператора, яка може бути встановлена на передній панелі шафи або в окремому приміщенні. Для реалізації розроблених алгоритмів

керування оберемо ПЛК SIMATIC S7-1500 із середовищем програмування TIA Portal.

Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи. Виконавши аналіз системи автоматизації нагріву вина за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні обробляться в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.5 – Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Температура вина	A	I	0...20 мА DC
2	Температура води	A	I	0...20 мА DC
3	Сигнал датчика тиску пари	D	I	24 V DC
4	Сигнал датчика верхнього рівня вина	D	I	24 V DC
5	Сигнал датчика нижнього рівня вина	D	I	24 V DC
6	Сигнал стану авт. вимикача насосу води M1	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
8	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
9	Сигнал стану авт. вимикача насосу вина M2	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
11	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC

Табл. 5.5 (закінчення) – Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид А/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
12	Сигнал керування насосом води М1	D	O	24 V DC
13	Сигнал керування насосом вина М2	D	O	24 V DC
14	Сигнал керування відсічним клапаном подачі пари	D	O	24 V DC
15	Сигнал керування відсічним клапаном подачі вина	D	O	24 V DC
16	Сигнал керування перекидним клапаном подачі вина	D	O	24 V DC
17	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC
18	Сигнал керування виконавчим механізмом подачі пари	A	O	0...10 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 1, DI – 9, DO – 6

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

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

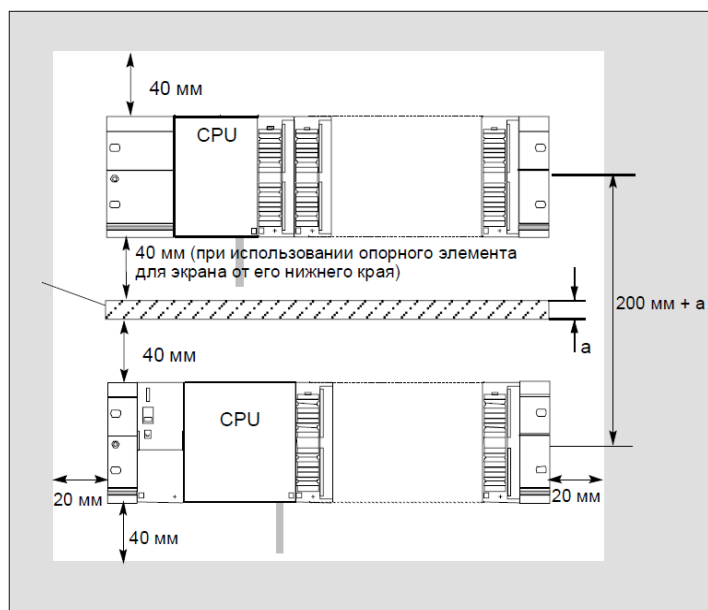


Рис. 5.15 – Зазори при встановленні S7-1500 у шафі

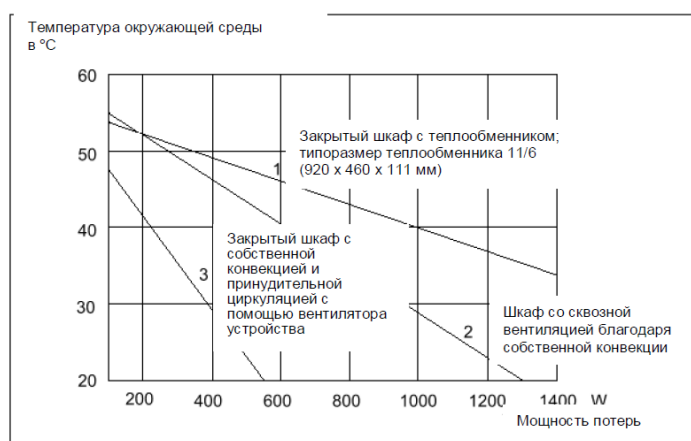


Рис. 5.16 – Діаграма припустимих потужностей розсіювання

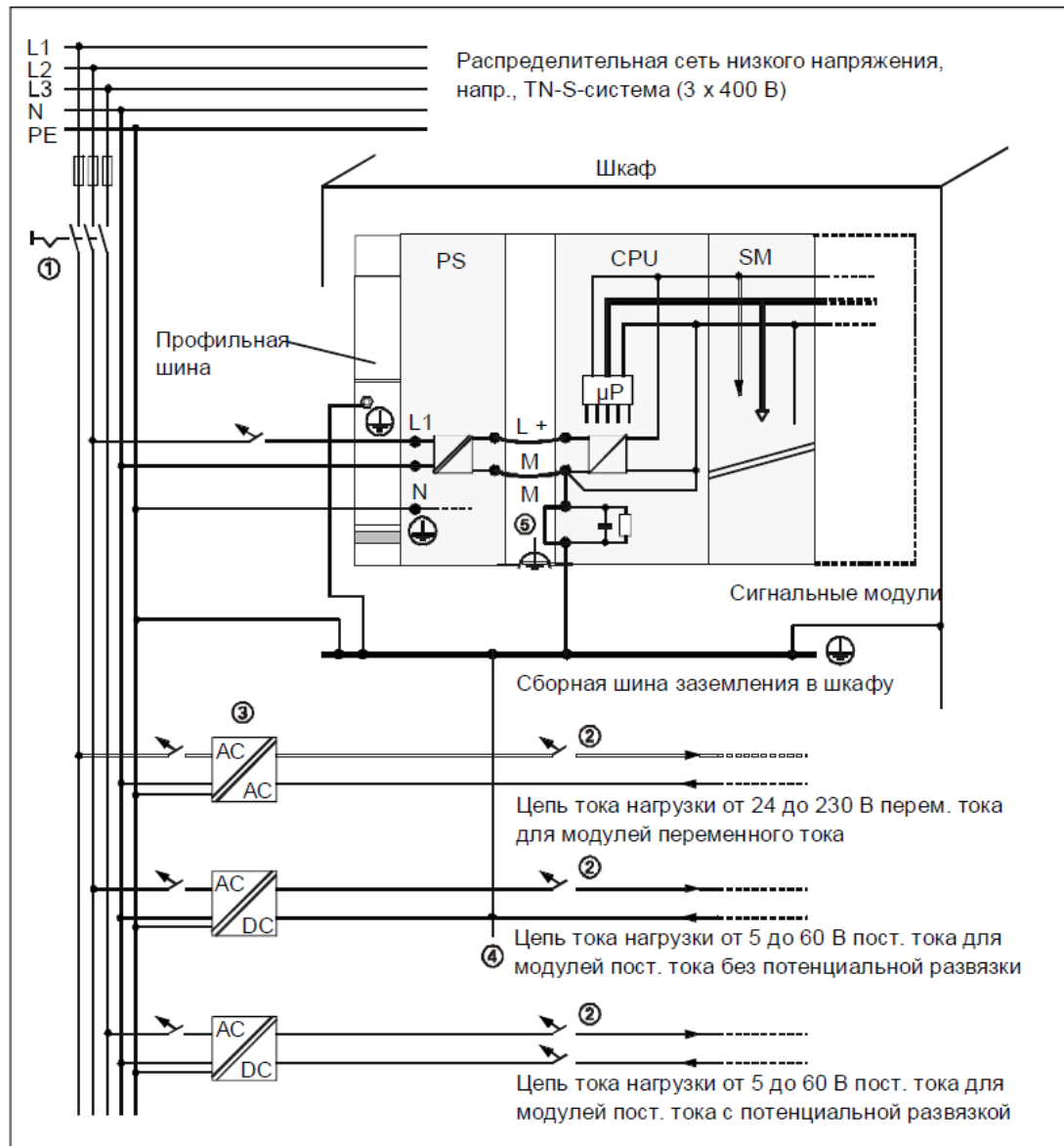
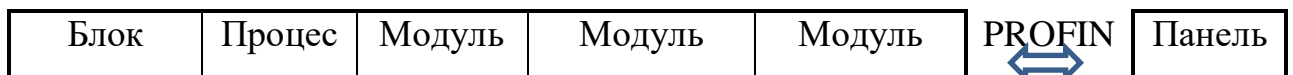


Рис. 5.16 – Схема заземлення в шафі

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд.



живлення	ор	дискретних входів	дискретних виходів	аналогових входів/виходів	ЕТ	операція
PS 60W 24/48/60V DC (6ES7505-0RA00-0AB0)	CPU 1516-3 PN/DP (6ES7516-3AN01-0AB0)	DI 16x24V DC BA 6ES7521-1BH10-0AA0	DQ 16x24VDC/ 0.5A BA 6ES7522-1BH10-0AA0	AI/AO 4xU/I/ 6ES7534-7QE00-0AB0		TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1

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. Це дає можливість застосувати його при подальшій розбудові системи на інші ділянки виробництва.

6ES7516-3AN01-0AB0		Input current	
<b>General information</b>		Current consumption (rated value)	0.85 A
Product type designation	CPU 1516-3 PN/DP	Inrush current, max.	2.4 A; rated value
Hardware function version	FS03	I <sub>t</sub>	0.02 A <sup>2</sup> s
Firmware version	V2.0	<b>Power</b>	
<b>Engineering with</b>		Power consumption from the backplane bus (balanced)	6.7 W
STEP 7 TIA Portal can be configured/integrated as of version	V14	Incoming power to the backplane bus	12 W
<b>Configuration control</b>		<b>Power loss</b>	
Via data record	Yes	Power loss, typ.	7 W
<b>Display</b>		<b>Memory</b>	
Screen diagonal (cm)	6.1 cm	Number of slots for SIMATIC memory card	1
<b>Operator controls</b>		SIMATIC memory card required	Yes
Number of buttons	6	<b>Work memory</b>	
Mode selector	1	Integrated (for program)	1 MB
<b>Supply voltage</b>		Integrated (for data)	5 MB
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		
<b>Power and voltage failure buffering</b>			
Power/voltage failure buffer time	5 ms		

Рис. 5.18 – Технічні дані CPU

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0). Він здатен сприймати до 16 сигналів від датчиків, на виходах яких є сигнали  $-3...+5$  VDC (рівні логічного нуля) або  $+11...30$  VDC (рівні логічної одиниці).

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	$\approx 24$ В
• сигнала низкого уровня	$+5 \dots -30$ В
• сигнала высокого уровня	$+11 \dots +30$ 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

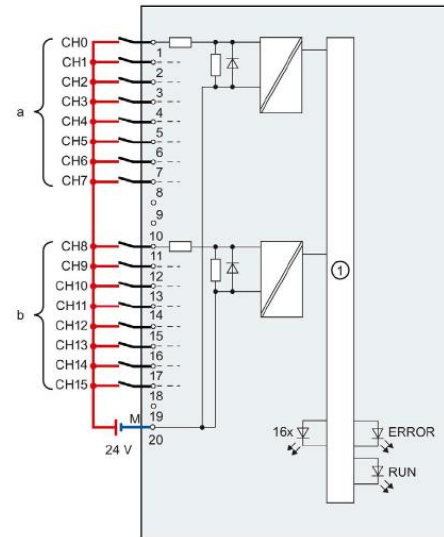


Рис. 5.19 – Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

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

Дискретные выходы	
Количество выходов	16
Количество потенциальных групп выходов	2
Тип ключа выходного каскада	Транзисторный
Настраиваемая реакция на остановку центрального процессора	Нет
Коммутация	Р шины питания нагрузки
Защита выходов от коротких замыканий	Есть, электронная, тактируемая
<ul style="list-style-type: none"> <li>ток срабатывания защиты, типовое значение</li> </ul>	1 А
Ограничение коммутационных перенапряжений до уровня	$U_L$ - 53 В
Использование дискретного входа в качестве нагрузки	Возможно
Коммутационная способность выхода: <ul style="list-style-type: none"> <li>при активной нагрузке, не более</li> <li>при ламповой нагрузке, не более</li> </ul>	0.5 А 5 Вт
Сопротивление нагрузки	48 Ом ... 12 кОм
Выходное напряжение высокого уровня, не менее	$U_L$ - 0.8 В
Ток выхода: <ul style="list-style-type: none"> <li>сигнала высокого уровня, номинальное значение</li> <li>сигнала низкого уровня, не более</li> </ul>	0.5 А 0.5 мА
Время переключения при активной нагрузке, не более:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>от низкого к высокому уровню</li> </ul>	100 мкс

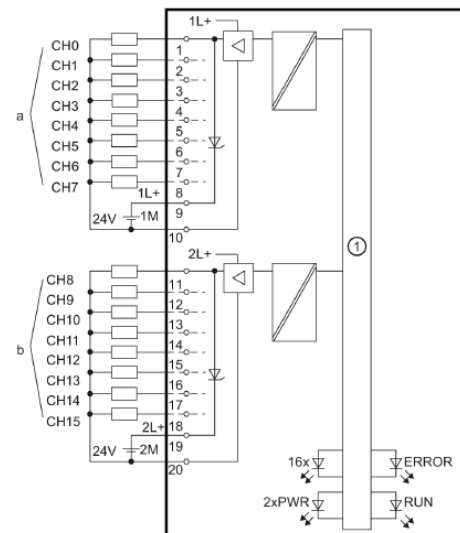


Рис. 5.20 – Технічні характеристики та схема підключень  
DQ 16x24VDC/0.5A BA

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

Аналоговые входы	
Количество аналоговых входов для измерения:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>унифицированных сигналов силы тока</li> <li>унифицированных сигналов напряжения</li> </ul>	4 4
<ul style="list-style-type: none"> <li>сопротивления и температуры с помощью термометров сопротивления</li> <li>температуры с помощью термодпар</li> </ul>	2
Максимальное входное напряжение для каналов измерения унифицированных сигналов напряжения	28.8 В
Максимальное значение входного тока для каналов измерения унифицированных сигналов силы тока	40 мА
Диапазоны измерений/ входные сопротивления каналов:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>унифицированные сигналы напряжения:</li> </ul>	$\pm 50$ мВ/ 100 кОм; $\pm 80$ мВ/ 10 МОм; $\pm 25$ $\pm 1$ В/ 10 МОм; $\pm 2.5$ В/ 100 кОм; $\pm 5$ В/ 100 кОм
<ul style="list-style-type: none"> <li>унифицированные сигналы силы тока</li> </ul>	$\pm 20$ мА/ 25 Ом + 42 Ом для защиты от ITC; 4 ... 20 мА/ 25 Ом + 42 Ом для защиты от ITC;

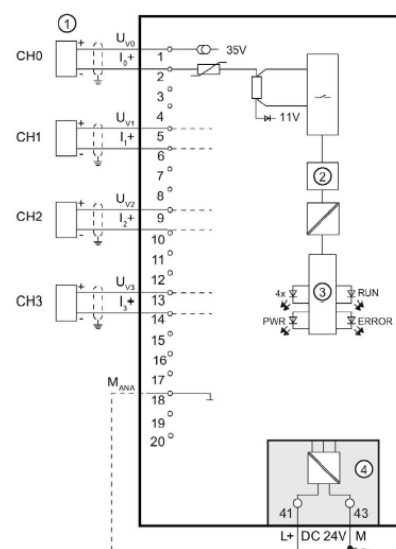


Рис. 5.21 – Технічні характеристики та схема підключень  
датчиків сили струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0

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	$\pm 10$ В; 1 ... 5 В; 0 ... 10 В
• унифицированные сигналы силы тока	$\pm 20$ 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

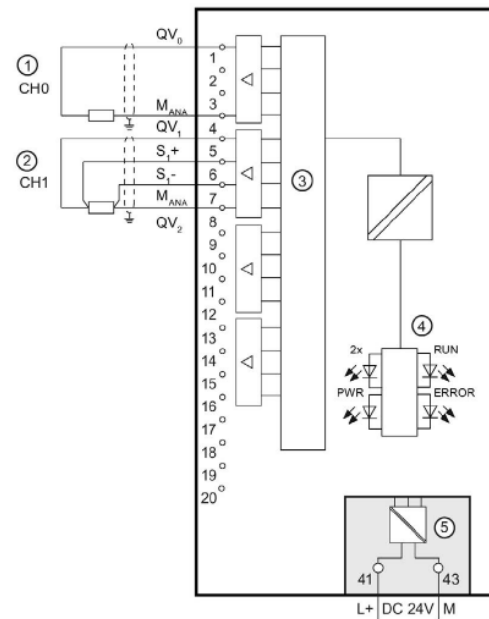


Рис. 5.22 – Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0

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

## 5.5 Висновки за розділом

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

## 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 проект і додаємо до його складу контролер CPU 1516-3 PN / DP та панель оператора TP1900 Comfort, які за своїми технічними характеристиками відповідають поставленій задачі автоматизації.

Конфігурування обраного контролера та панелі оператора проводимо шляхом налаштування мережевих зв'язків між ними, для чого вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMI connection.

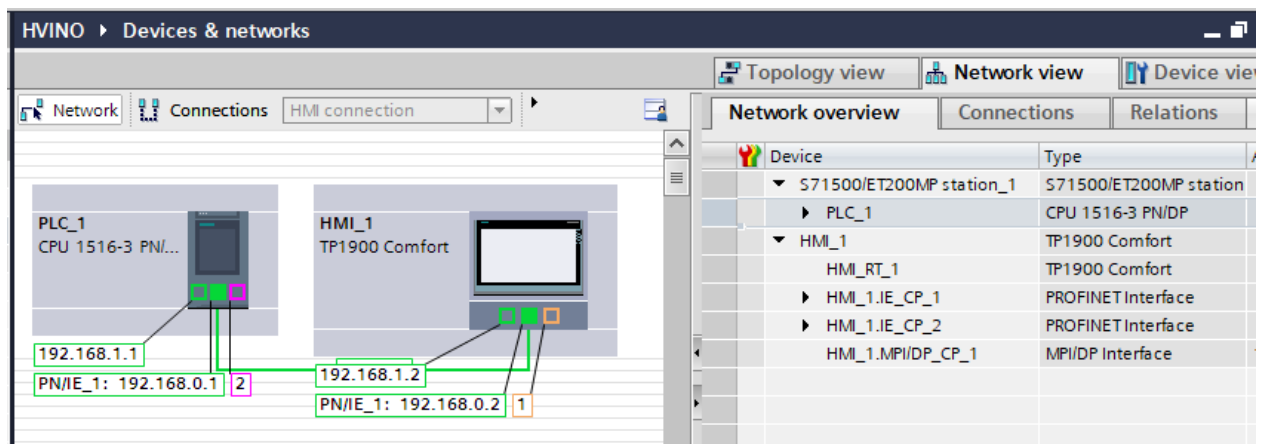


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту

На вкладці Properties контролера (CPU) встановлюємо можливість користуватися байтами системної пам'яті та байтами часової пам'яті (рис. 6.2).

Далі обираємо з каталогу необхідні модулі вводу/виводу, перетягуємо їх за допомогою миші в поле редагування з бібліотеки (рис. 6.3) Присвоюємо імена фізичним входам і виходам і виконуємо конфігурування модулів ПЗО, для чого обираємо тип і діапазони зміни вхідних та вихідних сигналів (рис. 6.4)

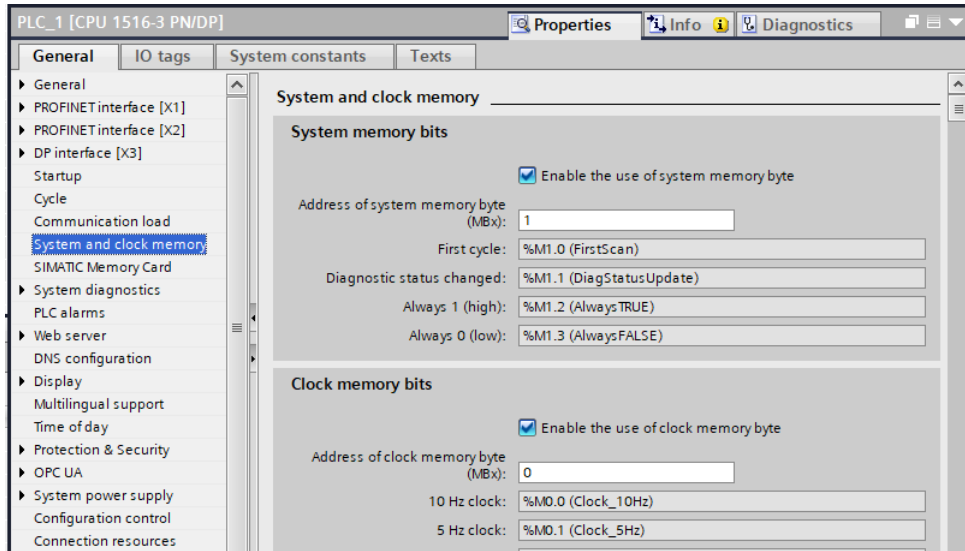


Рис. 6.2 Приклад використання системних областей пам'яті CPU

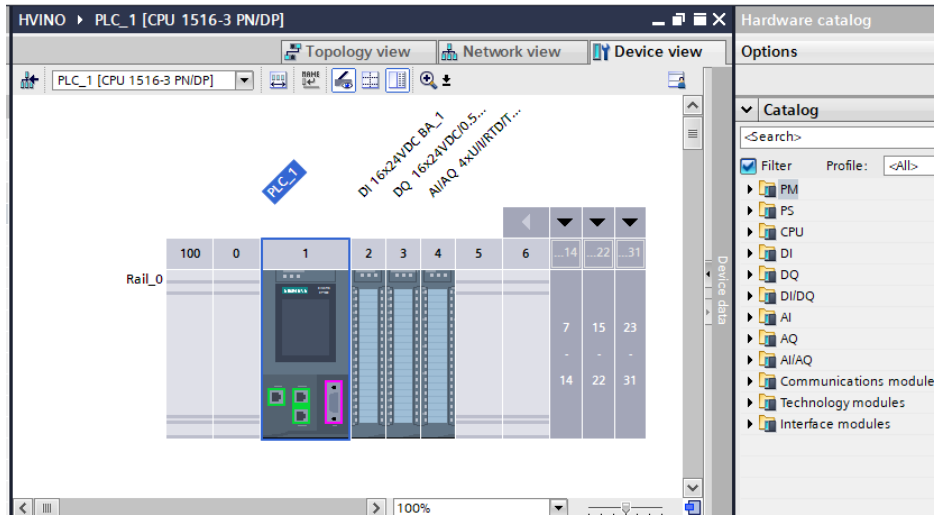


Рис. 6.3 Приклад визначення модулів ПЗО

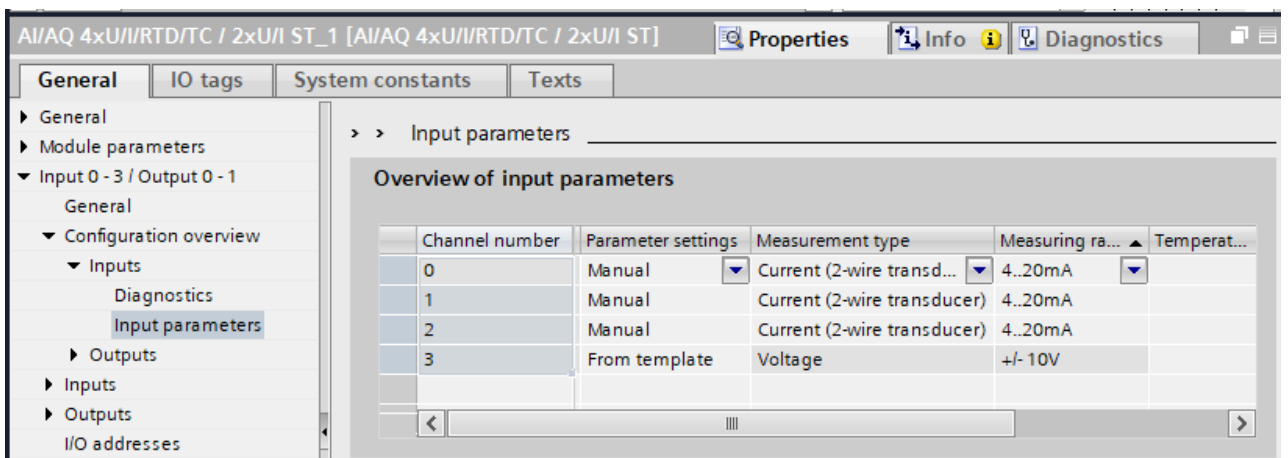


Рис. 6.4 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля

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

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Su...
15	bHomeValveP	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	bWorkValeP	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	bKontM1	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	bKontM2	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	bHomeValveV	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	bWorkValeV	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	bKVRM1	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	bKVRM2	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	bLevelHi	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	bLevelLo	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	bAVM1	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	bAVM2	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рис. 6.5 Приклад вікна таблиці тегів

## 6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

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.

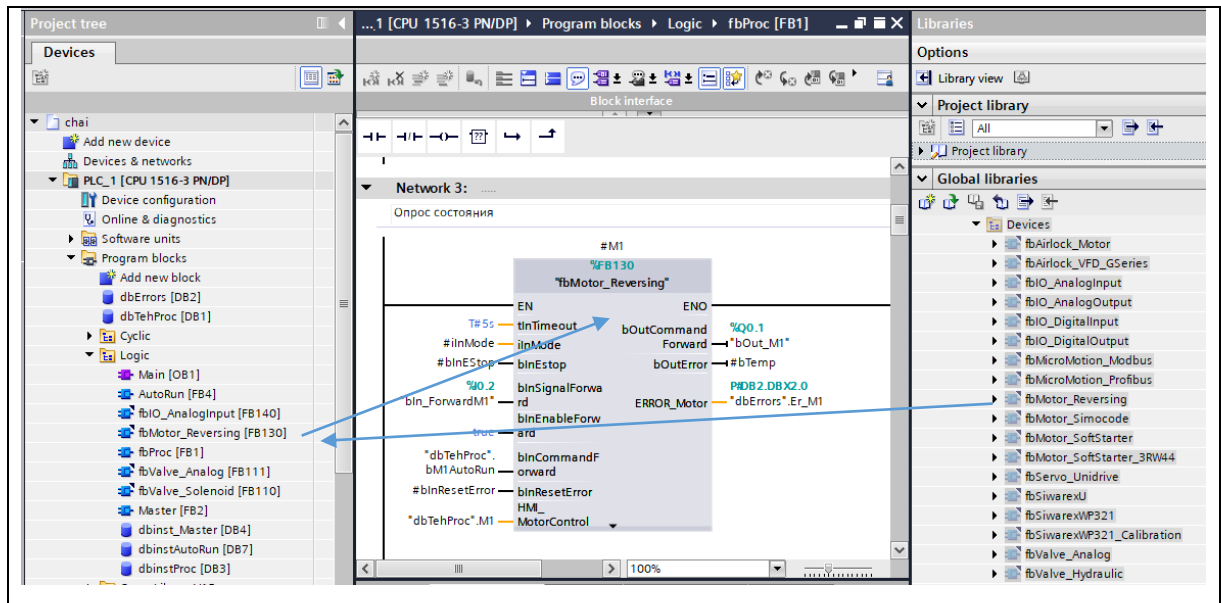


Рис. 6.6 Приклад додавання функціонального блоку FB Motor

Основні функціональні можливості цих блоків:

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

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

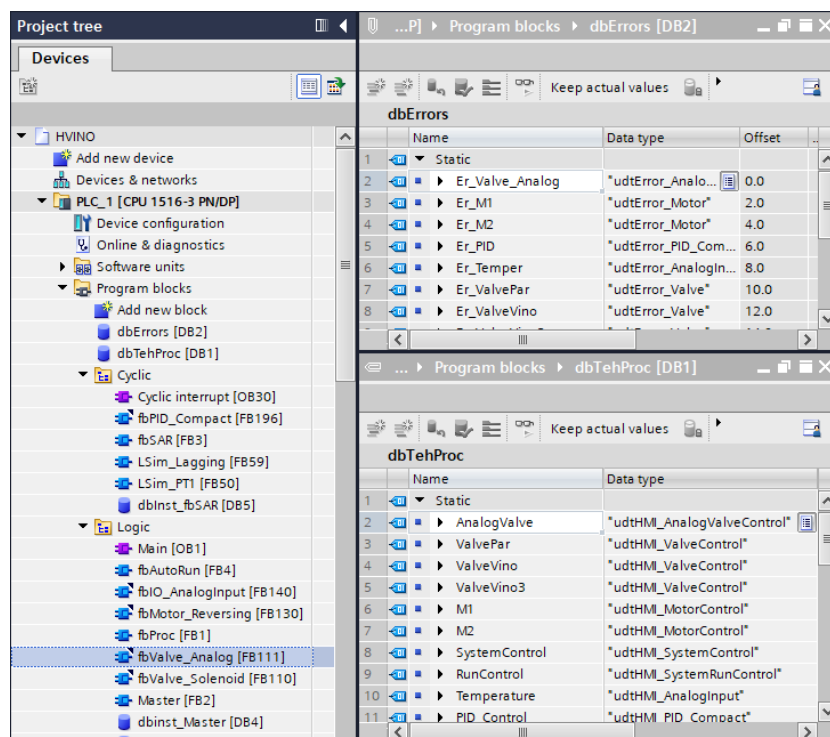


Рис. 6.7 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів насосу води M1 і вина M2, аналогового, а відсічних та триходового (перекидного) 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
1	Input		
2	inMode	Int	0
3	binEStop	Bool	false
4	binResetError	Bool	false
5	binSimulate	Bool	false
6	Output		
7	bOutAuto	Bool	false
8	bOutError	Bool	false
9	InOut		
10	<Add new>		
11	Static		
12	M1	*fbMotor_Reversing*	
13	M2	*fbMotor_Reversing*	
14	AnalogValve	*fbValve_Analog*	
15	Temperature	*fbIO_AnalogInput*	
16	ValvePar	*fbValve_Solenoid*	
17	ValveVino	*fbValve_Solenoid*	
18	ValveVino3	*fbValve_Solenoid*	
19	rOutAnalogValve	Real	0.0
20	rInAnalogValve	Real	0.0
21	iTemper	Int	0
22	wTempRez	Word	16#0
23	wTemper	Word	16#0
24	unipolar	Bool	false
25	fbValve_Solenoid_Inst...	*fbValve_Solenoid*	

Рис. 6.8 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. 6.9).

Аналогічно здійснюється опит стану відсічних (рис. 6.10) та аналогових клапанів (рис. 6.11). Для цього викликаються екземпляри бібліотечних функціональних блоків fbValve\_Solenoid, fbValve\_Analog, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

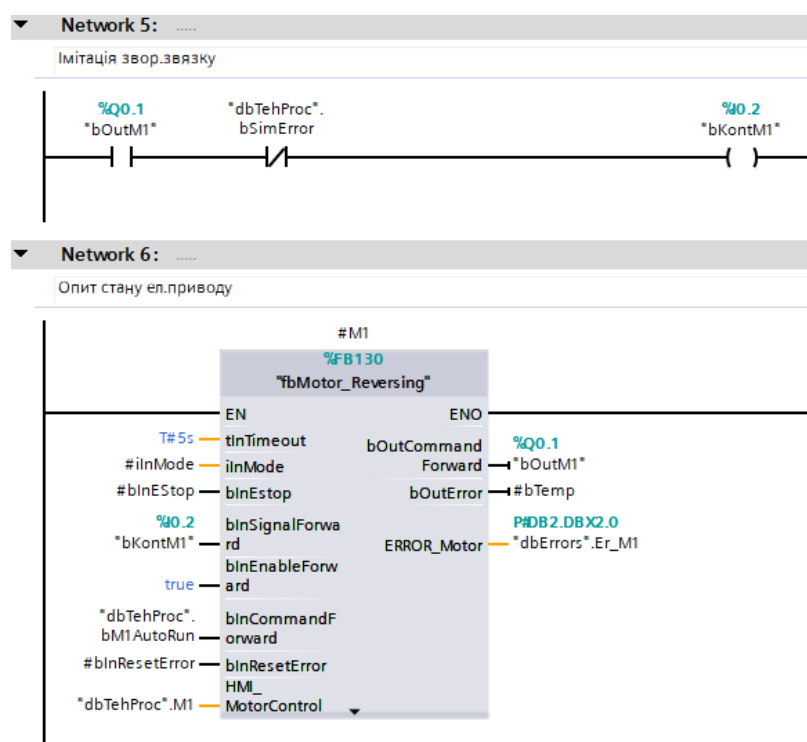


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

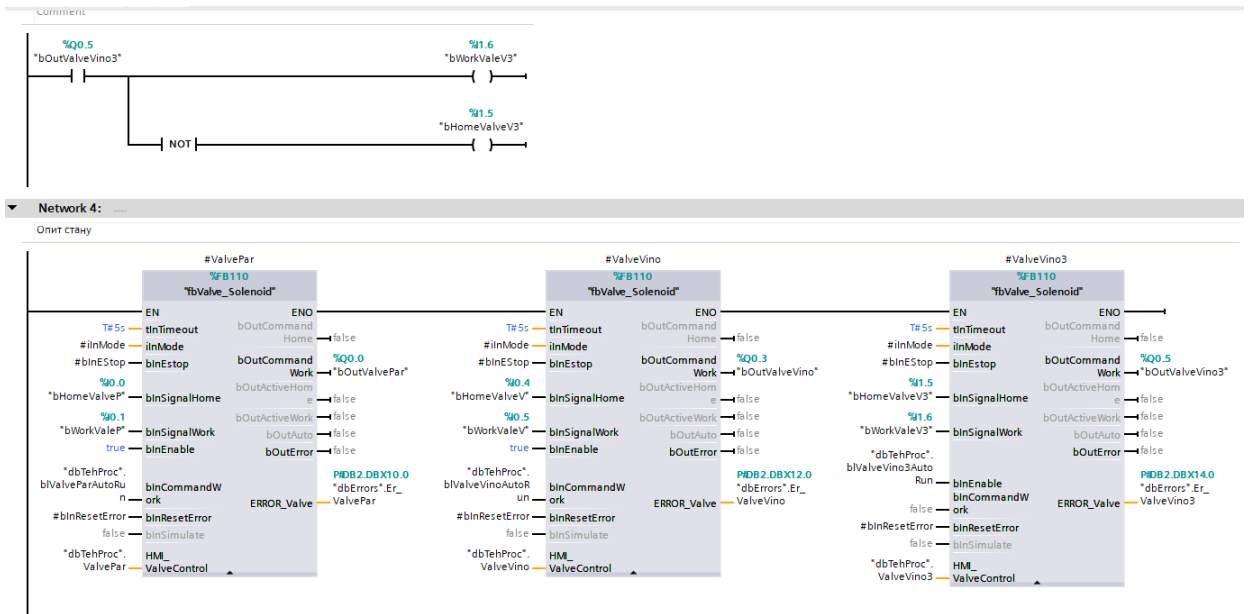


Рис. 6.10 Фрагмент підпрограми fbProc

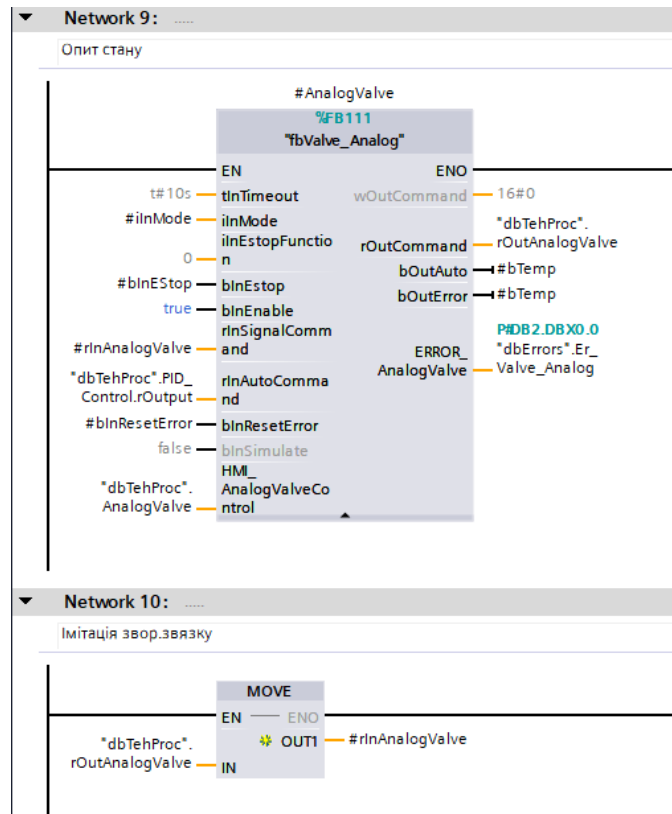


Рис. 6.11 Фрагмент підпрограми fbProc

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

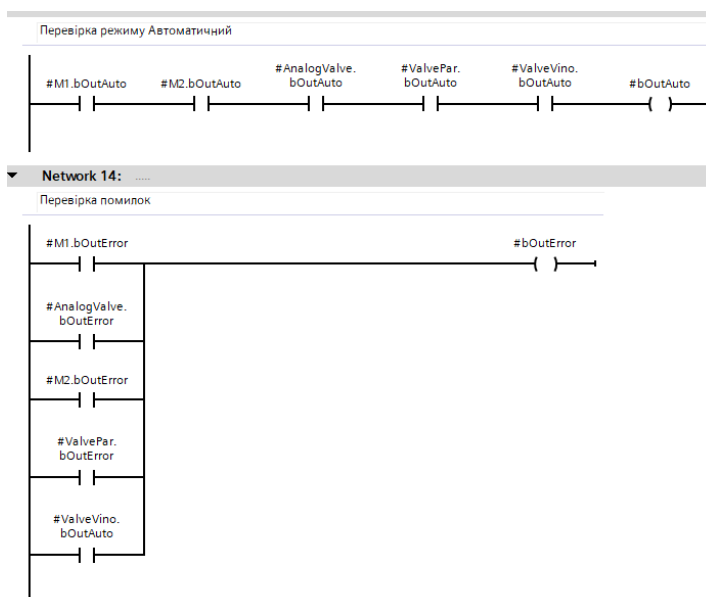


Рис. 6.12 Фрагмент підпрограми fbProc

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

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

HVINO > PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP] > Program blocks > Logic			
fbAutoRun			
	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	bInEnableStart	Bool	false
3	bInNotError	Bool	false
4	Output		
5	bOutAutoRunning	Bool	false
6	InOut		
7	<Add new>		
8	Static		
9	bAutoRun	Bool	false
10	bAutoStop	Bool	false
11	bZvuk	Bool	false
12	bM1	Bool	false
13	bSP	Bool	false
14	bM2	Bool	false
15	bSV	Bool	false
16	bSV3	Bool	false
17	Timer1	IEC_TIMER	
18	Timer2	IEC_TIMER	
19	Timer3	IEC_TIMER	
20	Timer4	IEC_TIMER	
21	Timer5	IEC_TIMER	
22	Timer6	IEC_TIMER	

Рис. 6.13 Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun

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

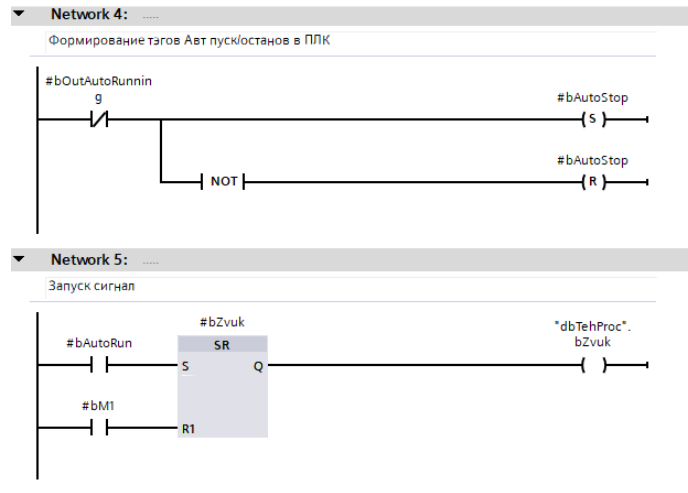


Рис. 6.14 Фрагмент підпрограми fbAutoRun

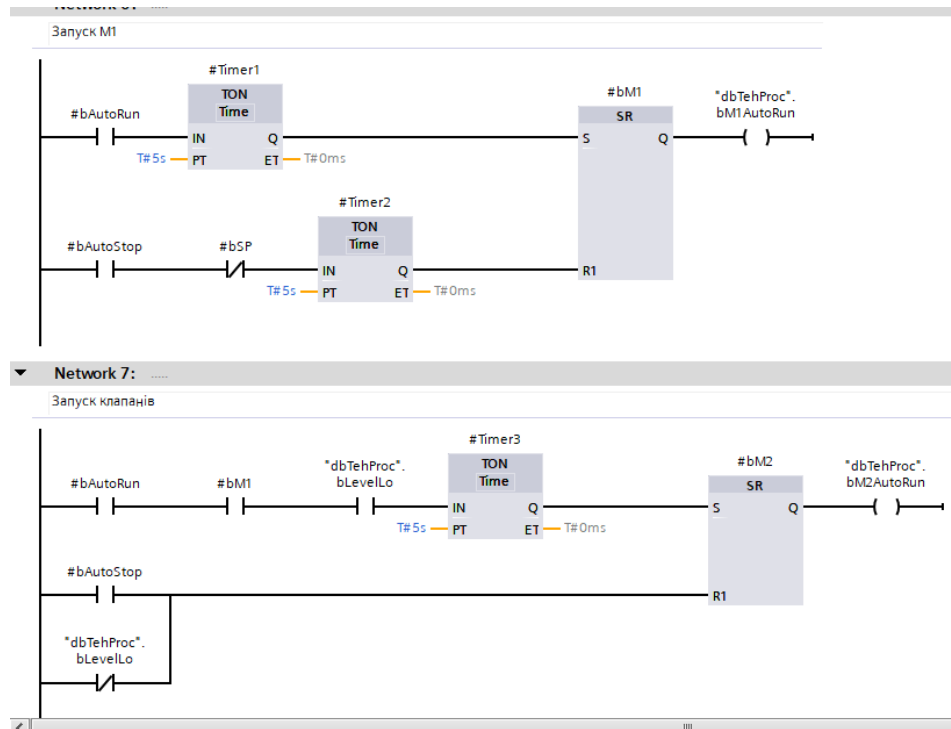


Рис. 6.15 Фрагмент підпрограми fbAutoRun

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

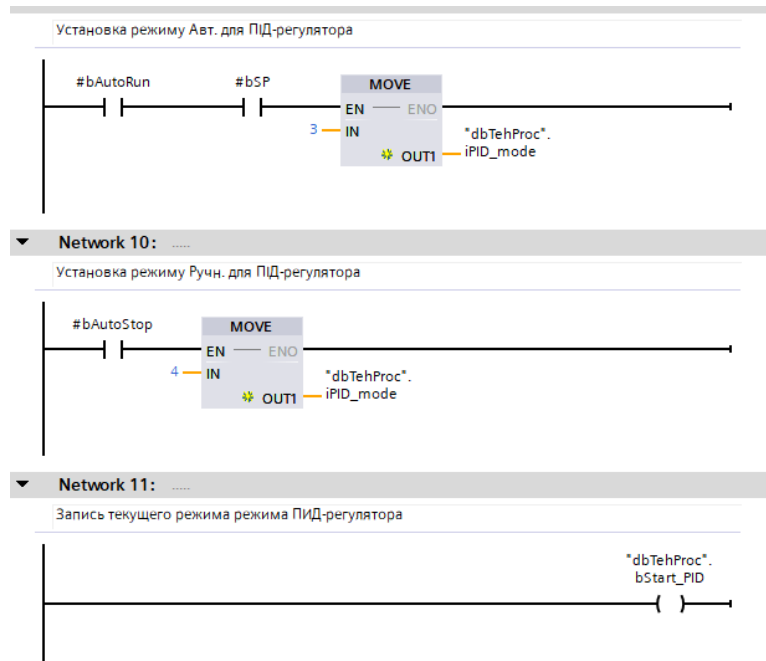


Рис. 6.16 Фрагмент підпрограми AutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в підпрограмі Master (рис. 6.17), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі Main (OB1).



Рис. 6.17 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.

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

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типового регулятора fbPID\_Compact та типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim\_Lagging і FB LSim\_PT1), що формують модель ОК. Інтерфейс підпрограми САР представлений на рис. 6.18, 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	ApZveno	*LSim_PT1*	
12	ApZveno_1	*LSim_PT1*	
13	uDelayCycles	UInt	28
14	Temp		
15	bTemp	Bool	
16	iTemp	Int	
17	diTemp	DInt	
18	dwTemp	DWord	
19	rTemp	Real	

Рис. 6.18 Інтерфейс функціонального блоку fbSAR

Перша строчка підпрограми fbSAR містить виклик функціонального блоку ПІД-регулятора fbPID\_Compact, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

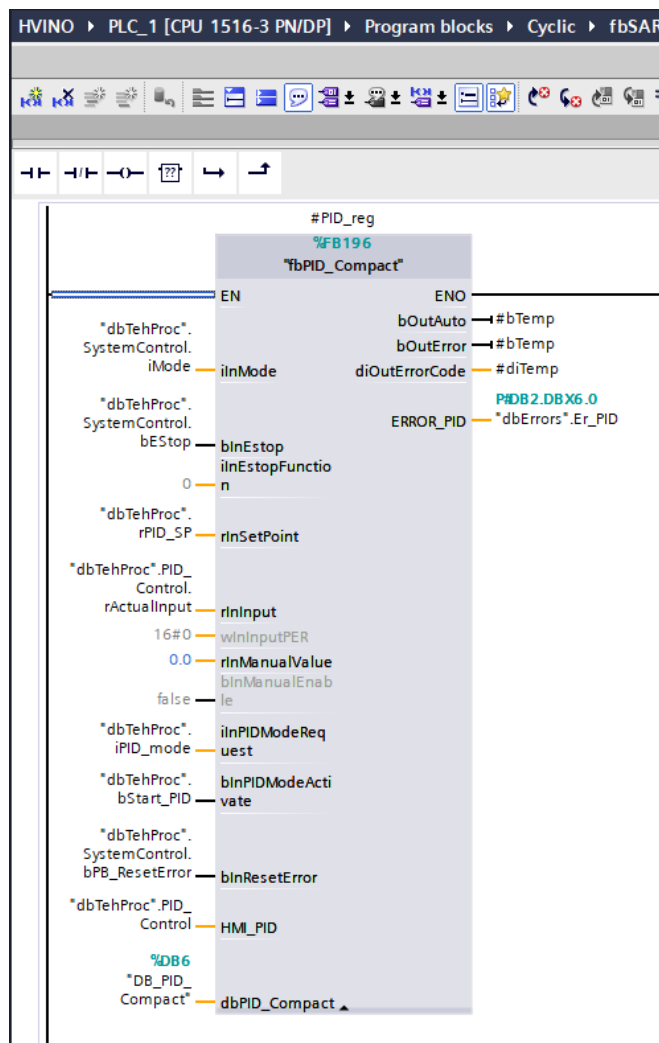


Рис. 6.19 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR,  
що реалізує ПІД-регулятор

Налаштування параметрів ПІД-регуляторів проводимо через їх блоки даних, що знаходяться в розділі Technology objects в дереві каталогу проекту.

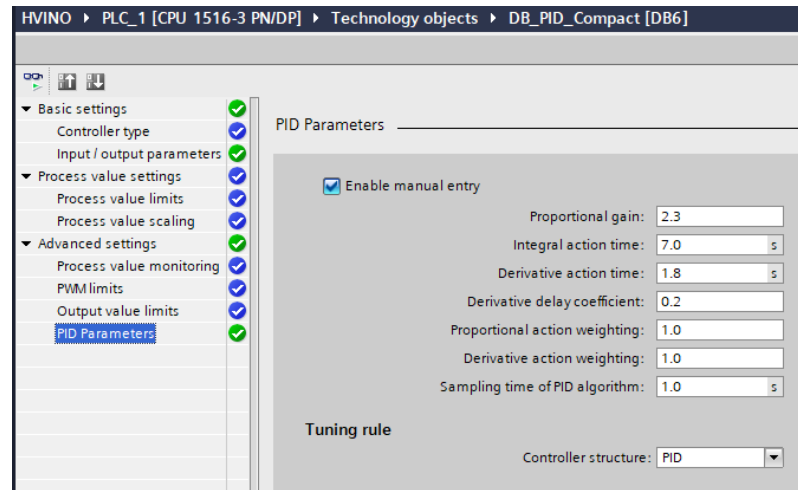


Рис. 6.20 Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора

Вихідні сигнали ПІД-регуляторів підключаються до входів функціональних блоків аналогових клапанів (див. рис. 6.11).

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim\_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim\_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.21). Параметри моделі відповідають значенням, розрахованим в розділі 3.

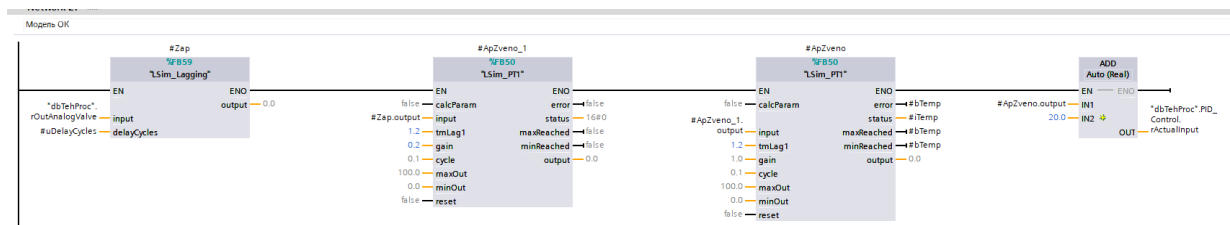


Рис. 6.21 Фрагмент функціонального блоку fbSAR,  
що реалізує модель ОК

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM. На рисунку 6.22 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.



Рис. 6.22 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 наладчика САК

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

Для організації зв'язку між контролером та панеллю оператора вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET.

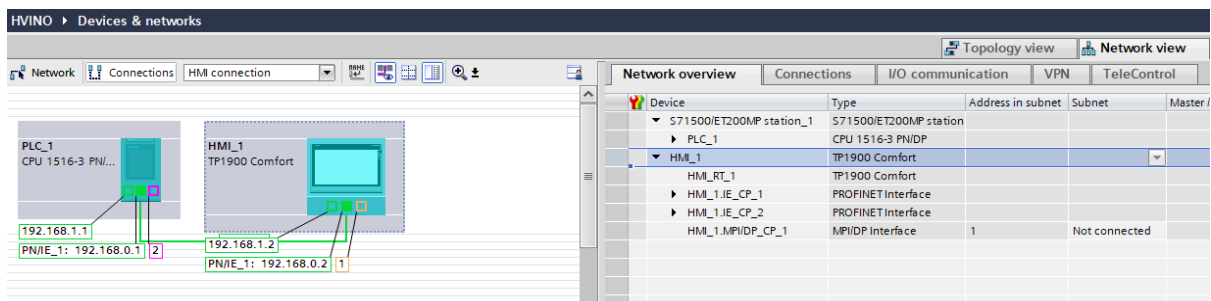


Рис. 7.1 – Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі.

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

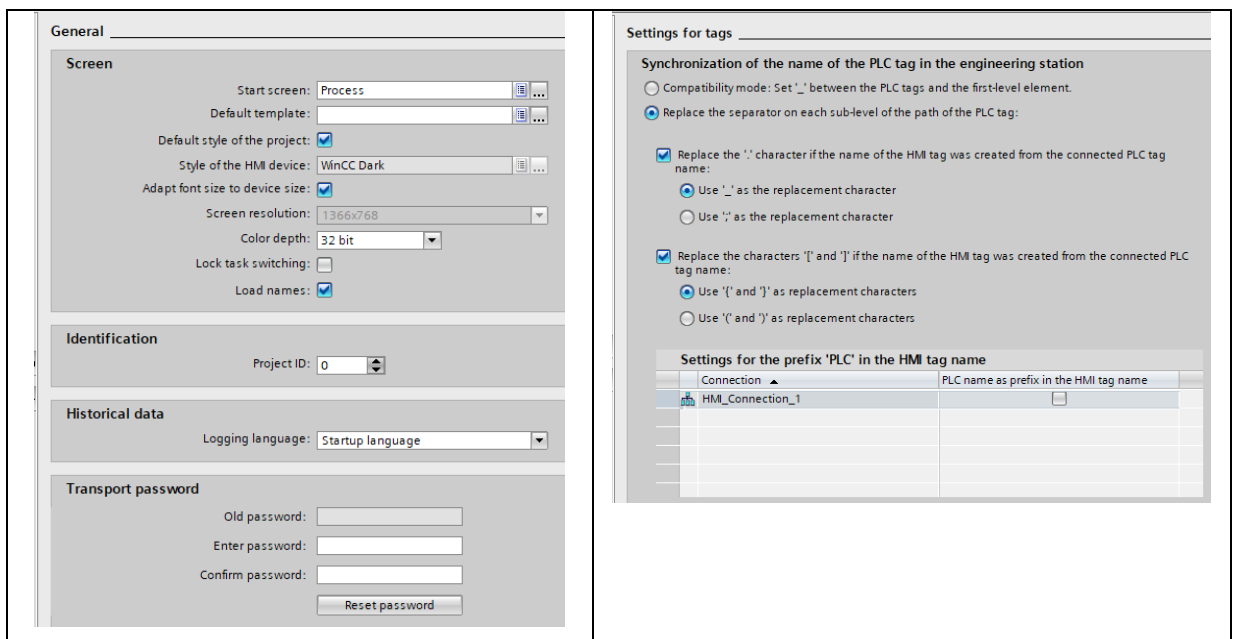


Рис. 7.2 – Конфігурування TP 1900 Comfort.

Щоб пов'язати між собою теги ПЛС та НМІ для САК теплової обробки вина, створюємо таблицю НМІ-тегів Defaut tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛС dbTechProc.

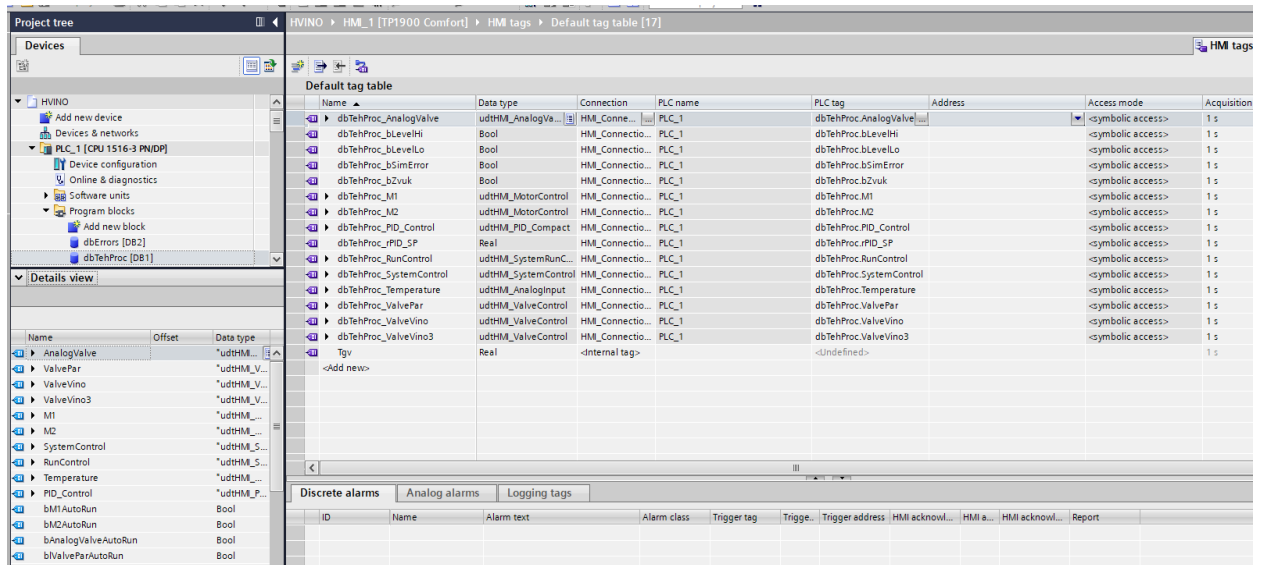


Рис. 7.3 – Приклад створення таблиці НМІ-тегів при реалізації САК процесом теплової обробки вина

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 обробки виноматеріалу теплом у потоці:

екран схеми установки для управління технологічним процесом;

екран для спостереження за регульованими змінними (температура вина та гарячої води);

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

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

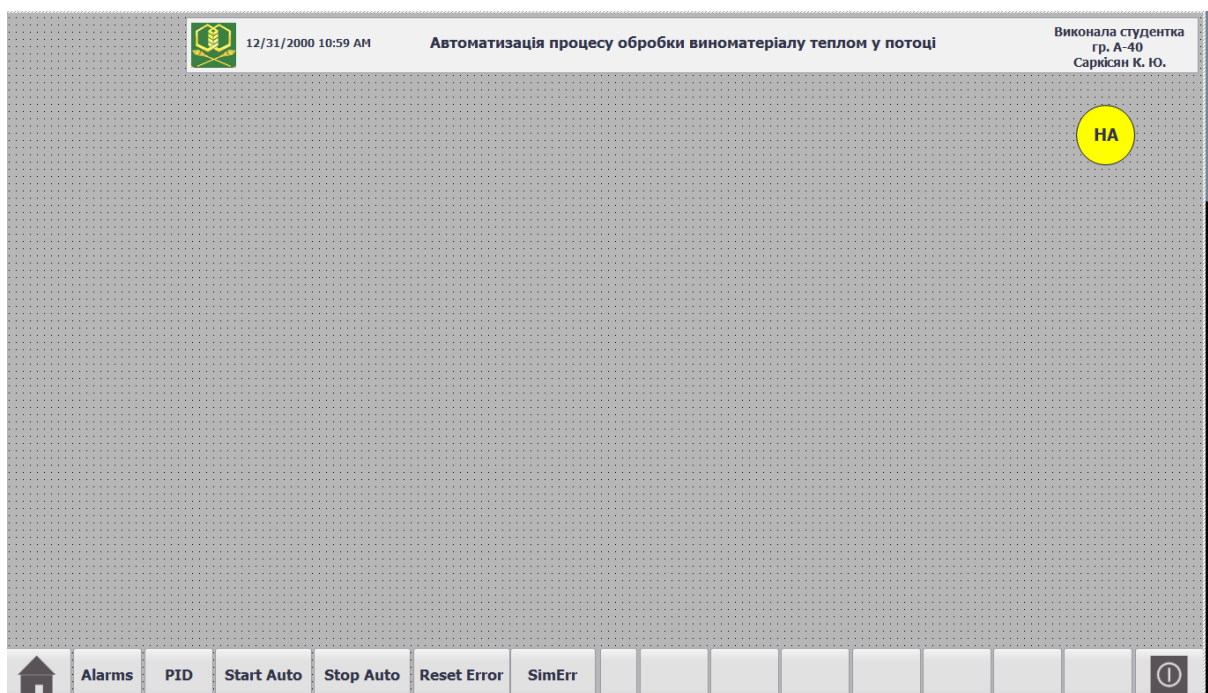


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів.

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

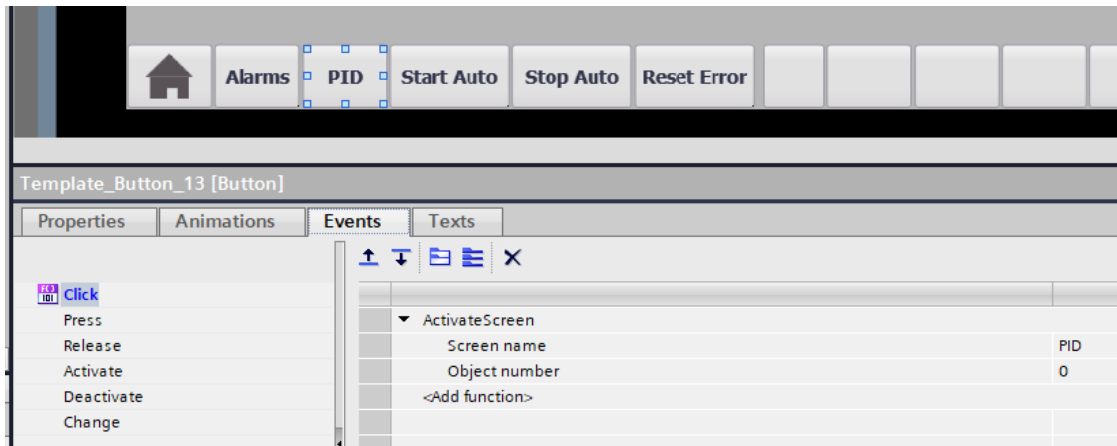


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу.

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

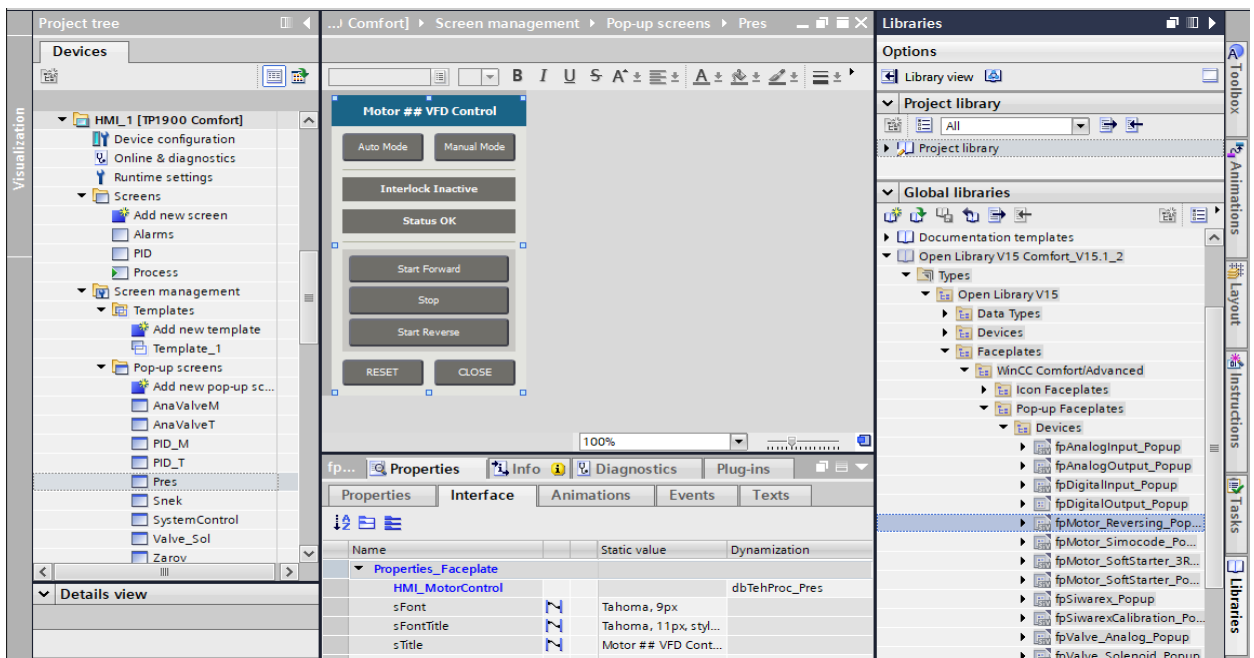


Рис. 7.6 – Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням установки з теплової обробки вина

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

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

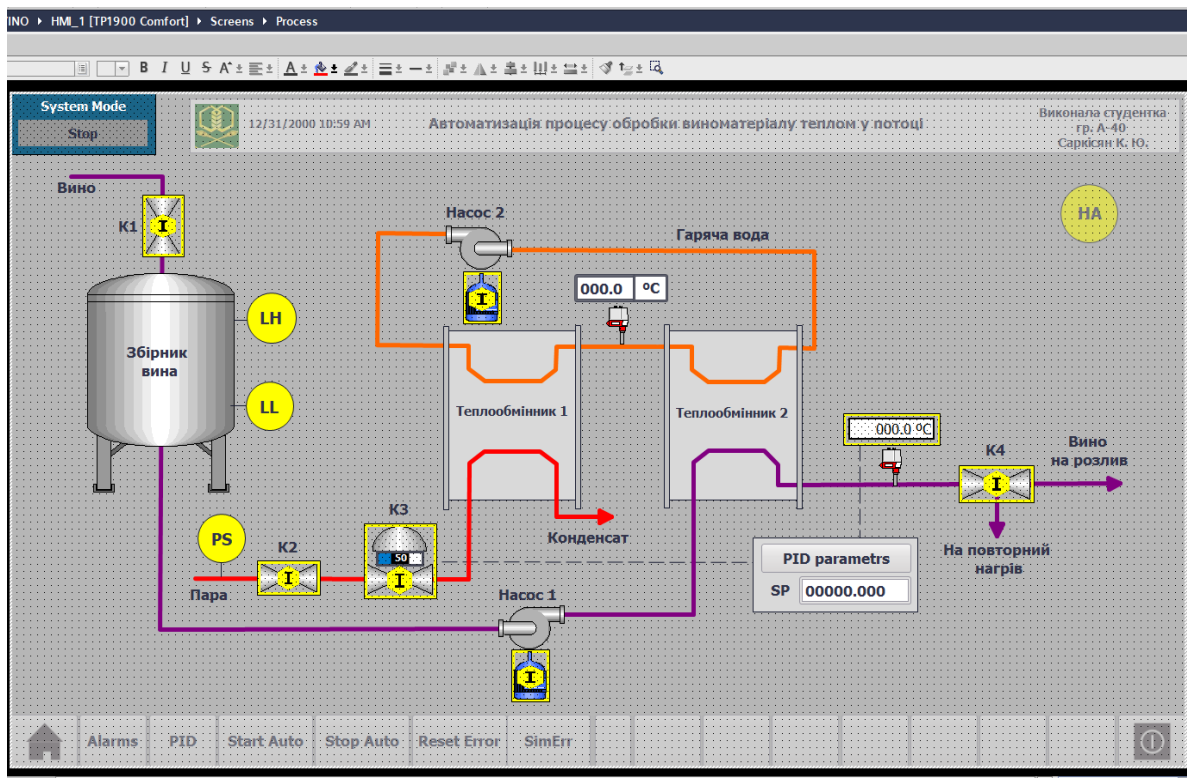


Рис. 7.7 – Екран схеми установки теплової обробки вина.

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

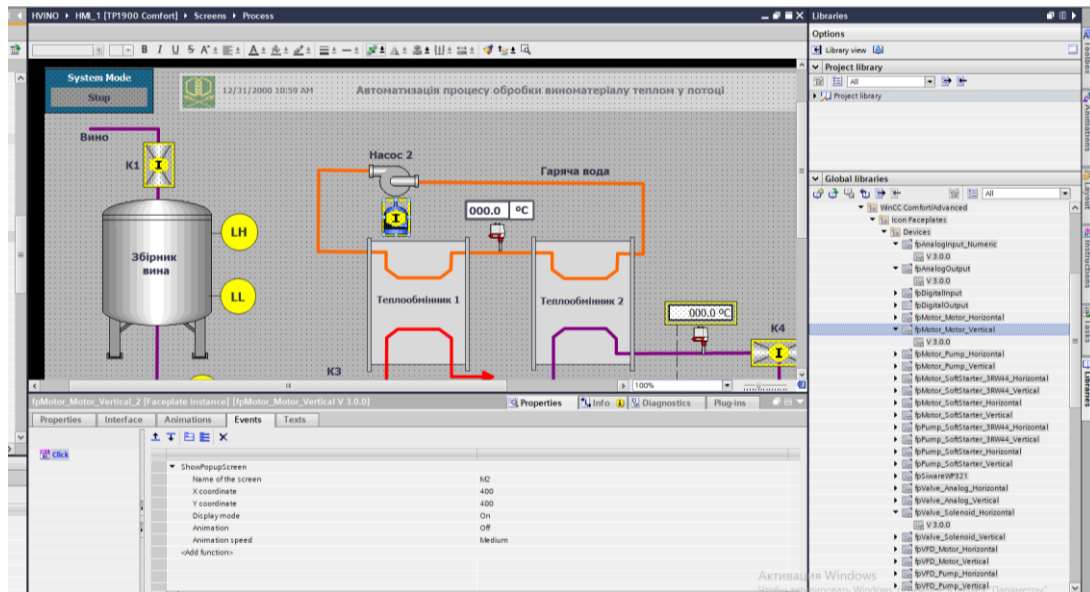


Рис. 7.8 – Приклад налаштування піктограми електроприводу.

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 ПІД-регуляторів в проекті передбачений екран PID (рис. 7.9).

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

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

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

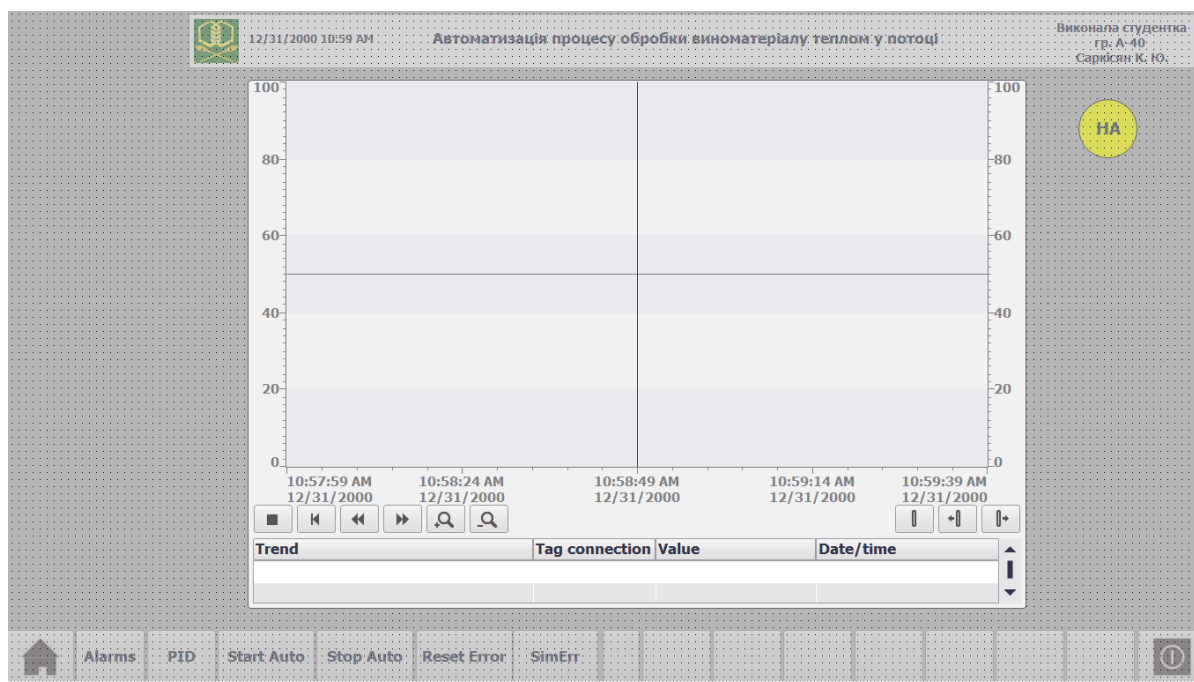


Рис. 7.9 – Екран графіків

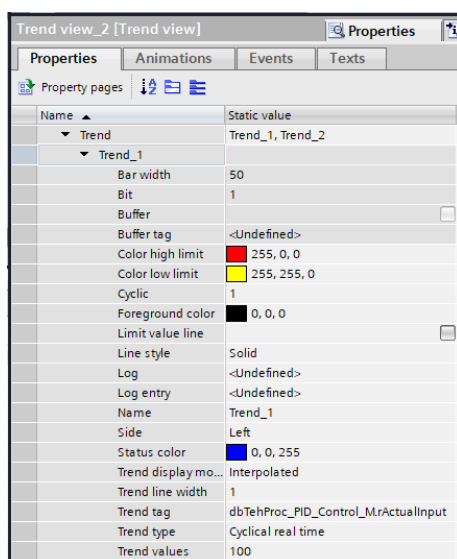


Рис. 7.10 – Вікно налаштування елементу Trend

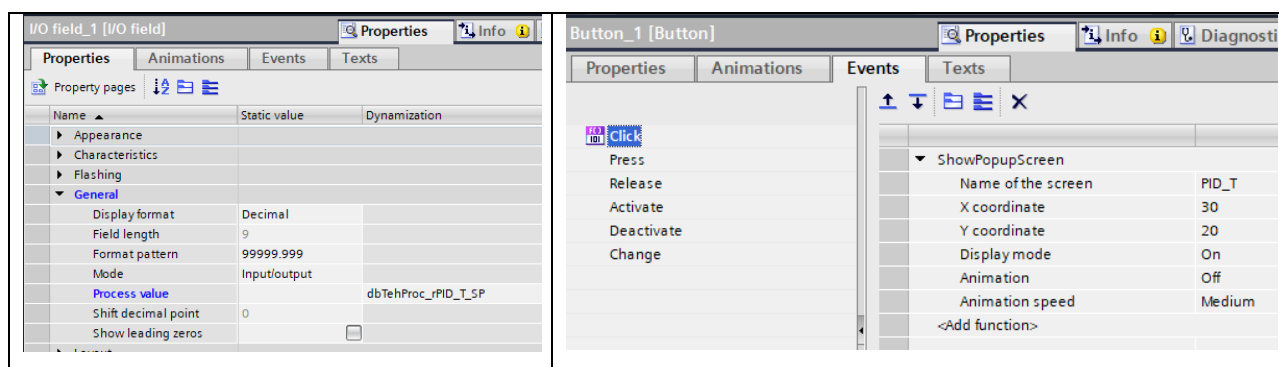


Рис. 7.11 – Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу теплової обробки вина і виникнення подій (Alarm) з обладнанням установки в проєкті 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 НМІ.

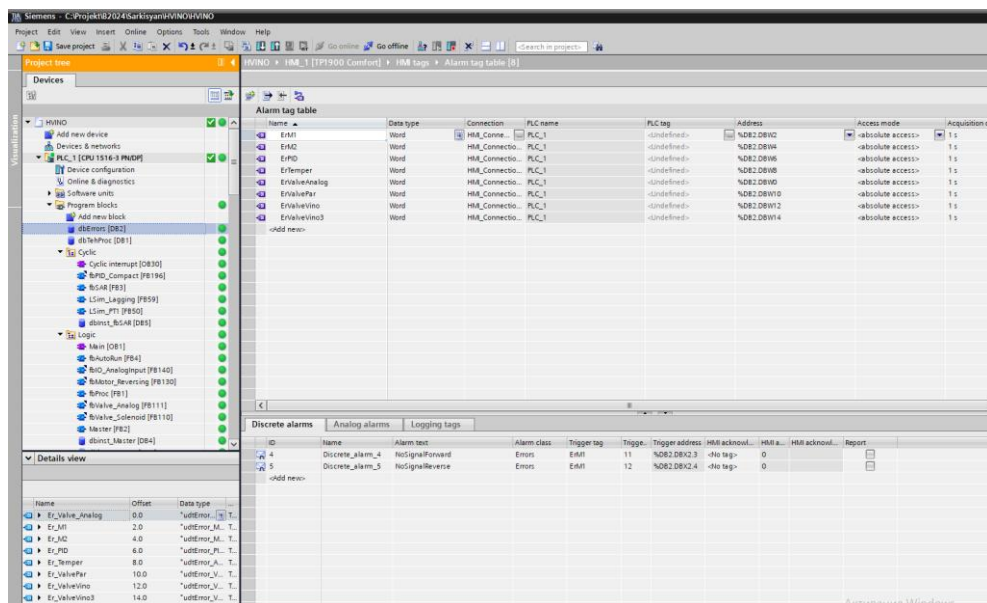


Рис. 7.12 – Приклад прив'язки тегів dbErrors з НМІ-тегами для обладнання установки з теплової обробки вина.

Кожний біт НМІ-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.12). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text). Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms (див. рис. 7.13).

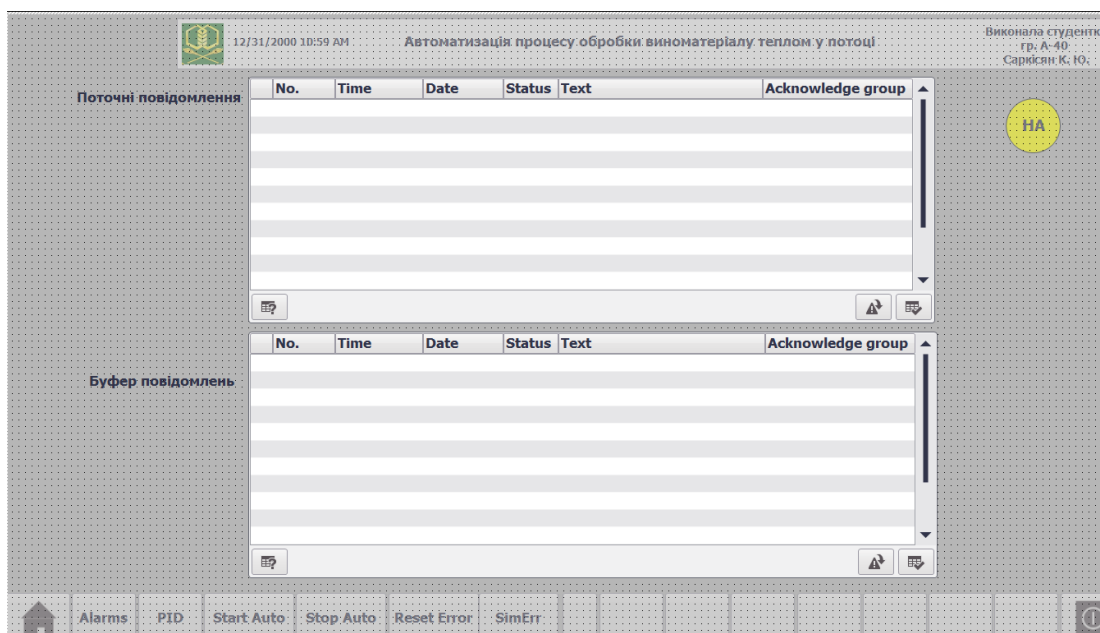


Рис. 7.13 – Екран Alarms повідомлень про несправності

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. Приклад налаштування наведено нижче.

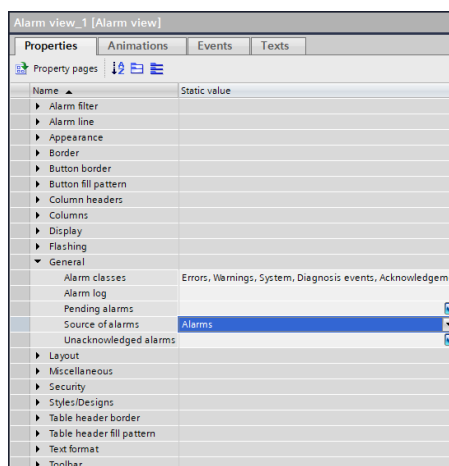


Рис. 7.14 – Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

## 7.4 Тестування системи керування

Тестування роботи САК теплової обробки вина 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 Win CC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюмо проект HMI.

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

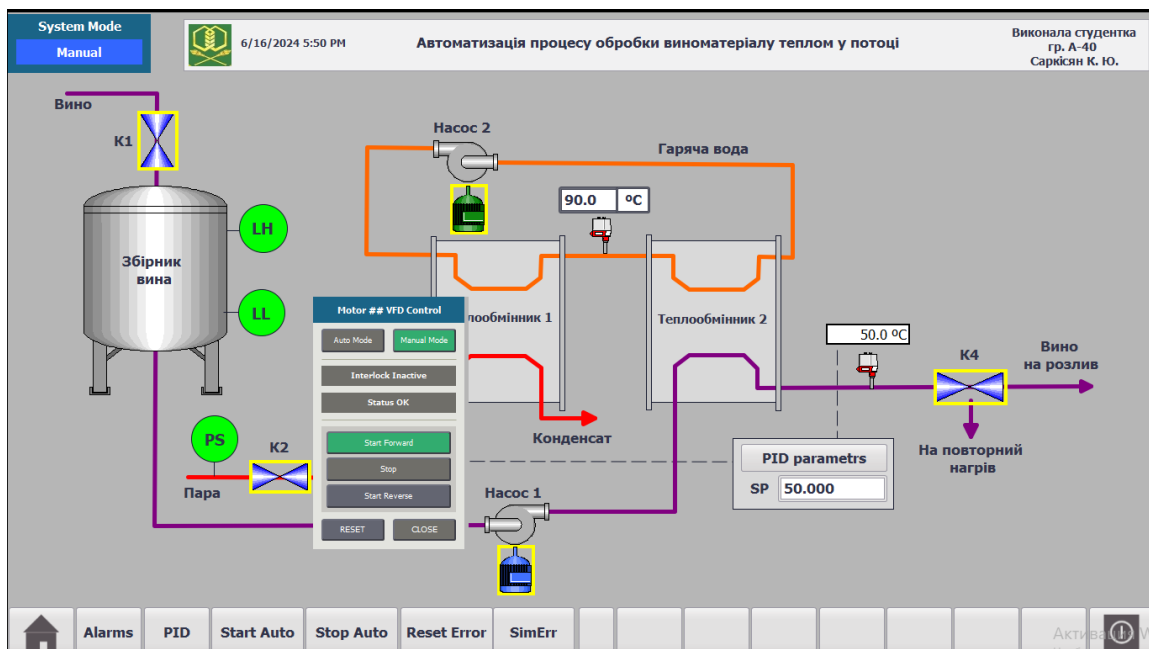


Рис. 7.16 – Схема установки теплової обробки вина в ручному режимі

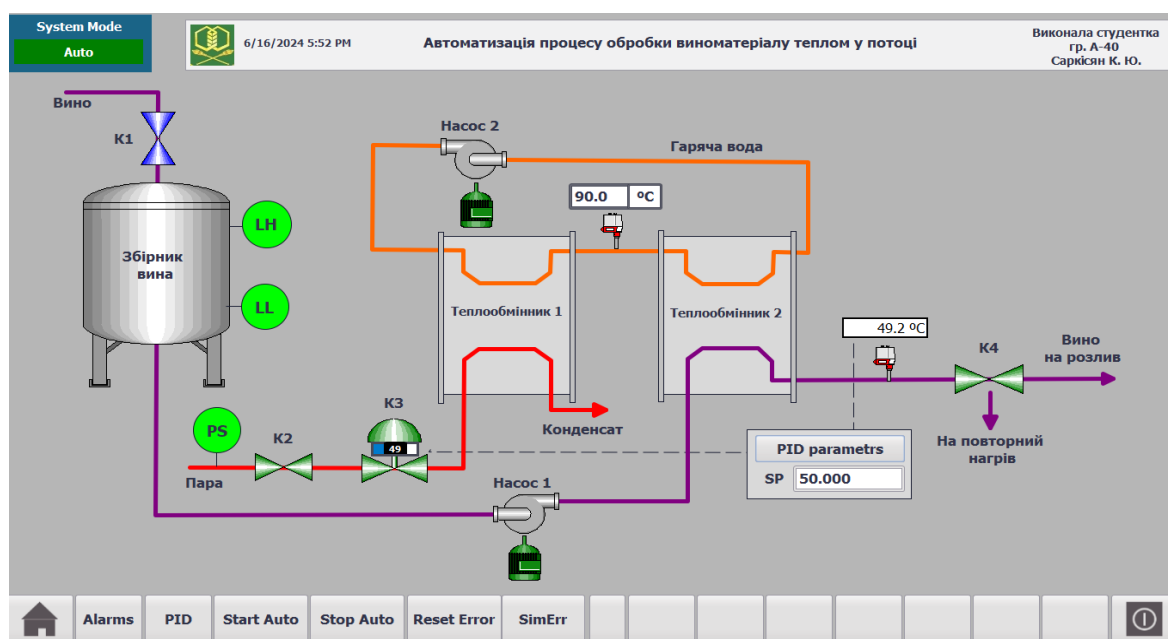


Рис. 7.17 – Схема установки теплової обробки вина в автоматичному режимі

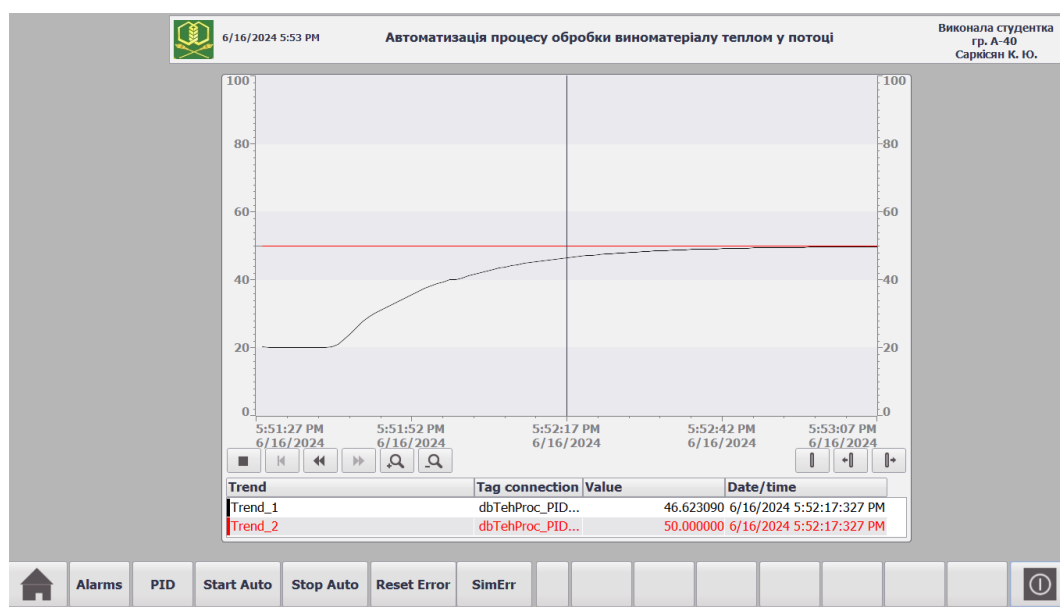


Рис. 7.18 – Екран PID з відображенням температури вина в тестовому режимі

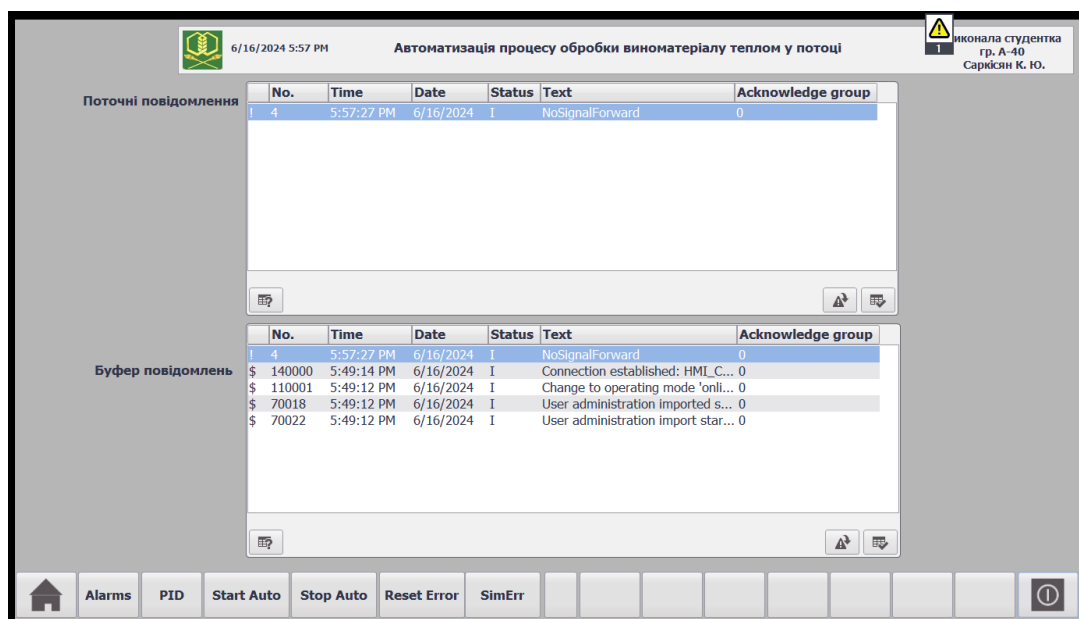


Рис. 7.19 – Екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (насосу вина) установки з теплової обробки вина

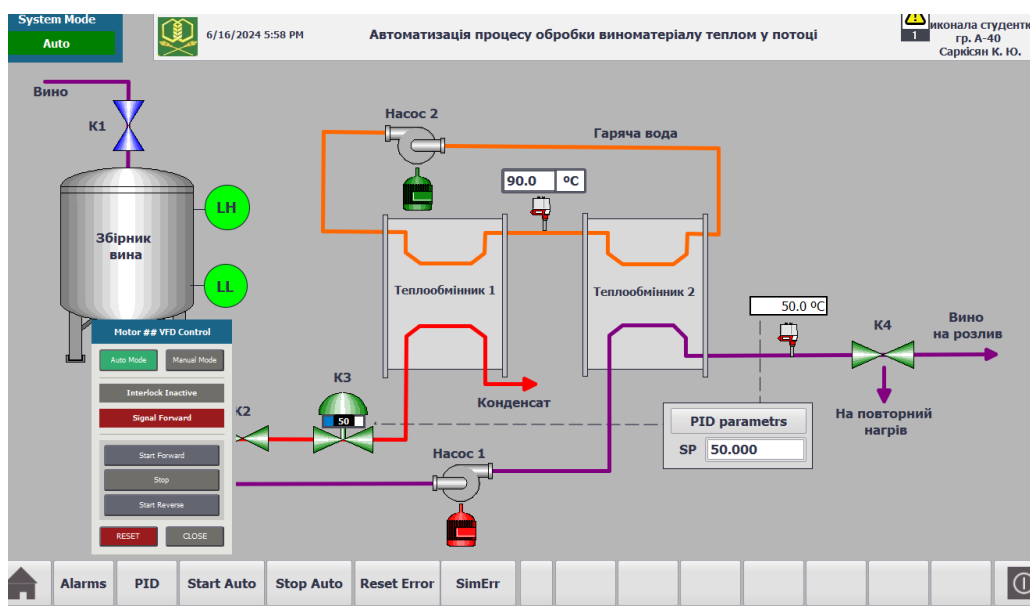


Рис. 7.20 – Головний екран в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (насосу вина) установки з теплової обробки вина

## **7.5 Висновки до розділу**

У цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом теплової обробки вина. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу (температурі вина) 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 САК та заходів з охорони праці**

### **8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення**

Основними параметром процесу нагріву вина, на який накладено регламентні обмеження, є температура вина на виході з установки. Підтримання температури цієї температури забезпечується за рахунок зміни витрат пари, який надходить в теплообмінник і нагріває воду, а вода у другому теплообміннику нагріває вино.

Основу інтелектуального ядра системи керування складає контролер Simatic S7-1500 та панель оператора TP 1900 Comfort.

Датчики та виконавчі механізми обирались з урахуванням степені захисту від проникнення пилу і вологи.

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, що встановлена 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 регульованої змінної, 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 установкою 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...20mA), вихідний аналоговий сигнал напруги 0...10 V DC надходить на виконавчий механізм.

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

- 1...2 – керування та контроль стану електроприводів;
- 3 – регулювання температури вина на виході з установки за рахунок зміни положення виконавчого механізму подачі пари;
- 4 – контроль температури води;
- 5 – керування триходовим клапаном подачі вина;
- 6 – керування відсічним клапаном подачі пари;
- 7 – контроль тиску пари в магістралі;
- 8 – контроль верхнього рівня вина в ємності;
- 9 – контроль нижнього рівня вина в ємності;
- 10 – керування відсічним клапаном подачі вина;
- 11 – керування звуковою сигналізацією.

Реалізована функція інтерфейсного зв'язку ПЛК панеллю оператора.

У контурі 3 реалізована система регулювання температури вина на виході з установки. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем 3а пропорційний температурі сигнал струму 4...20 mA 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 V DC подається на виконавчий механізм подачі газу 3б.

У контурі 4 реалізований контроль температури води. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем 4а пропорційний температурі сигнал струму 4...20 mA DC подається на вхід модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I AI (SM 334).

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

### 8.3 Розробка принципів схем

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 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. До його входів по кабелях W5, 6, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами M1, M2, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування.

До цього ж модуля надходять дискретні сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан датчика тиску пари в магістралі (кабель W18), а також стан датчиків-реле рівня вина в ємності по кабелях W16,W17.

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 V DC, які по кабелям W5, 6, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1, M2. Також до виходу модуля дискретних виходів підключаються проміжні реле K1, K2, K3 та дзвоник НР, який формує звуковий сигнал. Контакти проміжних реле вмикають живлення 24 V DC для відсічного клапану пари ба по кабелю W20 та виконавчих механізмів триходового 5а та відсічного 10а клапанів вина по кабелях W21, W22.

Модуль аналогових входів/виходів AI 4xU/I AQ 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 вина 3а та датчик температури води 4а.

Аналогові виходи модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I за допомогою кабелю W12, що підключаються до клем SA-X1, передає сигнал керування на виконавчий механізм подачі пари 3б.

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
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 <sup>-2</sup> /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 <sup>-2</sup> /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи
7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми

8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
----	-------------------------------------	---	---

Таблиця 8.1 (продовження) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	10 Вт/м <sup>2</sup>	Біохімічні зміни в організмі
11.	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/см <sup>3</sup> ; n-: 3000-5000 одиниць/см <sup>3</sup>	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м <sup>3</sup> ; оксид азоту – 5 мг/м <sup>3</sup> ; бензол – 15/5 мг/м <sup>3</sup> ; ксилол – 50 мг/м <sup>3</sup> ; толуол – 50 мг/м <sup>3</sup> ; оксид вуглецю – 20 мг/м <sup>3</sup> .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром

Таблиця 8.1 (закінчення) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
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 м<sup>2</sup>, об'єм - 25,0 м<sup>3</sup>; норматив: площа – 6,0 м<sup>2</sup>, об'єм - 20,0 м<sup>3</sup>.
- 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, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторський пункт	Теплий	Легка 1а	23-25	40-60	0,1
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.

## **8.5 Висновки за розділом**

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

Розроблений набір включає основні документи технічного забезпечення для системи автоматизації керування процесом нагріву вина. 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 обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК

### 9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

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

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

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

Вартість устаткування за оптовими цінами  $C_{опт}$  ;

Витрати на тару й упакування –  $C_T$ ;

Заготівельно-складські видатки –  $C_{з-з}$ ;

Витрати на монтаж устаткування –  $C_M$ ;

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

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

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

$$IS_{перв}^б = C_{опт}^б + C_{опт}^б * C_M + (C_{опт}^б * C_T) / 100 + (C_{опт}^б * C_{тр}) / 100 + \{ [C_{опт}^б + (C_{опт}^б * C_T) / 100 + (C_{опт}^б * C_{тр}) / 100] * C_{з-з} / 100 \} \quad (9.1)$$

де:  $IC_{перв}^6$  – первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки, тис. грн.

$Ц_{опт}^6$  – оптова ціна базової техніки,

Нормативи наведені в таблиці 9.1

$IC_{перв}^6 = 54000 + 54000 * 0,1 + (54000 * 0,25)/100 + (54000 * 5,0)/100 + [54000 + (54000 * 0,25) / 100 + (54000 * 5,0) / 100] * 0,012 = 62,9$  тис грн.

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

$$IC_{мод} = IC_{перв}^6 * N_{мод} \quad (9.2)$$

де:  $N_{мод}$  – норматив витрат на модернізацію експлуатованого технологічного обладнання. Приймаємо в границях 5-20 % от  $IC_{перв}$ .

$$IC_{мод} = 62,9 \text{ тис грн.} * 0,1 = 6,3 \text{ тис грн.}$$

$$IC_{мод}^H = 62,9 \text{ тис грн} * 1,1 = 69,2 \text{ тис.}, \text{ грн}$$

Таблиця 9.1 – Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень

Показники	Позначення	Од. вимір.	Величина
Укрупнений норматив витрат на модернізацію	$N_{мод}$	%	10-20
Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи	$Ц_{м}$	-	0,1
Норматив відрахувань на тару й упаковання $Ц_{опт}^6$	$Ц_{т}$	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від $Ц_{опт}^6$	$Ц_{тр}$	%	5,0
Норматив відрахувань на заготовительно-складські видатки	$Ц_{з-з}$	%	1,2
Середня ціна 1т лома	$Ц_{л}$	Грн/т	200,0

Таблиця 9.1 (закінчення) – Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень

Показники	Позначення	Од. вимір.	Величина
Норматив витрат на демонтаж від Цопті		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від ІС пер)			
При списанні на лом	-	%	4
При використанні на запчастині	-	%	6
При продажі іншим організаціям	-	%	7

## 9.2 Розрахунок поточних витрат при роботі базової та модернізованої системи автоматизації

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

Таблиця 9.2 – Нормативні дані і показники

№ п/п	Показники	Од. вим.	Величина
1	Річний фонд часу роботи обладнання	змін	250
2	Місячний фонд часу робітника	год	168
3	Тривалість роботи в зміну	год	8
4	Мінімальний розмір тарифної ставки робітника, який виконує не кваліфіковану роботу	грн	8000

Таблиця 9.2 (закінчення) – Нормативні дані і показники

№ п/п	Показники	Од. вим.	Величина
5	Годинна тарифна ставка робітника принятої на підприємстві	грн/год	
	1		48,00
	2		52,32
	3		57,60
	4		64,80
	5		74,40
	6		86,40
6	Вартість 1 Квт/год роботи обладнання.	грн/год	6,15
7	Вартість 1 куба води + каналізація	грн./куб	13,87 + 12,52
8	Рентабельність виробництва виду продукції	%	25
9	Оптова ціна продукції	тис.грн./т	135,0
10	Податок на прибуток (стандартна ставка)	%	18
11	Норматив річних амортизацій (прям. метод)	%	20
12	Податок на доходи фізичних осіб, військовий збір	%	18,0 + 1,5
13	Єдиний соціальний внесок (нарахування)	%	22,0
14	Норматив відрахувань на поточний і капітальний ремонт	%	10

Розрахунки виконуються з підрозділом витрат на наступні основні статті:

Сировина і матеріали;

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

Паливо та енергія на технологічні цілі;

Основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників;

Відрахування у єдиний соціальний внесок;

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування;

Загальновиробничі витрати;

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантам.

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

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

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

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

не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Витрати пов'язані з амортизацією устаткування розраховують по формулі:

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

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

Таблиця 9.3 – Показники виробничої системи

№ п/п	Показник	Познач	Од.вим.	Базова система	Модернізована система
1	Продуктивність	Пг	л/год	50	50
2	Опт. ціна обладнання	Цопт <sup>б</sup>	Тис.грн	62,9,0	Розрахунок
3	Річний фонд робочого часу обладнання	Фг	Змін	250	250

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

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

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

Де:  $OB^{б(н)}$  – обсяги виробництва продукції до та після проведення модернізації системи автоматизації.

Поб – годинна продуктивність обладнання ( паспорт обладнання)

Фг- річний фонд часу роботи обладнання, год

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

$$OB^{б(н)} = 50 \text{ л/год} * 8 * 250 * 0,9 = 90000 \text{ л} = 90,0 \text{ (т)}$$

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантами.

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

Витрати по статті «Сировина, основні та допоміжні матеріали» змінюються пропорційно зміні продуктивності обладнання.

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

*Розрахунок витрати пари:*

У Метричній системі одиниць, питома теплоємність води становить близько 4,186 Дж/(г·°C) або 1 кал/(г·°C). Це означає, що для підігріву або охолодження одного грама води на один градус Цельсія потрібно приблизно 4,186 Дж енергії.

1. Витрати тепла на нагрів підігрівача та автомата-наповнювача пляшок.

Витрати враховуються один раз за зміну, т.я. розігрів обладнання здійснюється на початку зміни.

$$Q_1 = G_1 c_1 (t_{кк} - t_{п}) = 450 * 0,481 * (75 - 25) = 10823 \text{ (кДж)} \quad (9,6)$$

2. Витрати тепла на нагрів води за годину

$$Q_2 = G_2 c_2 (t_{кк} - t_{п}) = 50 * 4,186 * (75 - 18) = 11930,1 \text{ (кДж)} \quad (9,7)$$

3. Втрати тепла в зовнішнє середовище прийmemo рівне 20% від витрат тепла на нагрів води за годину . тобто:

$$Q_3 = 11930,1 * 0,2 = 2386,0 \text{ (кДж)}$$

Загальні витрати тепла за зміну:

$$Q_{зміни} = 1Q_1 + 8 (Q_2 + Q_3) = 10823 + 8 (11930,1 + 2386,0) = 125351,8 \text{ (кДж)} \quad (9,8)$$

Витрати пара за зміну:

$$V_{п зміни} = Q_{зміни} / (i - i_{к}) = 125351 / 2627 - 502 = 59,0 \text{ кг} \quad (9,9)$$

При  $p = 0,4$  МПа та  $x = 0,95$  питома ентальпія пари  $i = 2627$  кДж/кг; питома ентальпія конденсату  $i_{кон} = 502$  кДж/кг;

Враховуючи, що виноробне підприємство здійснює розлив вина по замовленню торгівлі, прийmemo кількість змін по розливу вина рівних 250.

При такому режимі річні витрати пару складуть:

$$V_{пр} = 59,0 * 250 = 14750 \text{ кг.}$$

При співвідношенні 1тонн пари = 2 гкал, маємо витрати теплоенергії

$$Q_{заг} = 14,75 * 0,54 = 8 \text{ гкал.}$$

При середньозваженому тарифі на теплову енергію в Одеській області в 2024 році: 1 гкал = 3309,74 грн, маємо загальні витрати на використану пару:

$$8 * 3309,74 = 26478 \text{ грн} = (26,5 \text{ тис грн})$$

Температуру конденсації гріючої водяної пари ( $t_k$ ) приймаємо на 25-30°C вище від кінцевої температури холодного теплоносія

$$t_{\text{кон}} = t_{\text{кін}} + 25-30^\circ\text{C}.$$

$$V_{\text{п}} = V_{\text{пз}} * T_{\text{зм}} * \Phi_{\text{р}} * C_{\text{в}} \quad (9.10)$$

$$V_{\text{п}}^{\text{б}} = 26,5 \text{ тис.грн}$$

$$V_{\text{п}}^{\text{н}} = 26,5 * 0,7 = 18,6 \text{ тис.грн.}$$

Витрати на поточний і капітальний ремонт обладнання встановлені на рівні 10% від його балансової вартості на початок звітного періоду і обраховуються за формулою 9.6.

$$V_{\text{р}} = \text{ІС перв}^{\text{н(б)}} * \text{Нр}, \quad (9.11)$$

$$V_{\text{р}}^{\text{б}} = 62,9 * 0,1 = 6,3 \text{ тис. грн.}$$

$$V_{\text{р}}^{\text{н}} = 69,2 * 0,1 = 6,9 \text{ тис. грн.}$$

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

Витрати пов'язані з амортизацією обладнання розраховуються за формулою :

$$V_{\text{а}} = \text{ІС перв}^{\text{н(б)}} * \text{Нр}. \quad (9.12)$$

$$V_{\text{а}}^{\text{б}} = 62,9 * 0,24 = 15,1 \text{ тис. грн.}$$

$$V_{\text{а}}^{\text{н}} = 69,2 * 0,24 = 16,6 \text{ тис.грн.}$$

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

Витрати, пов'язані з утриманням базової і нової техніки, включаються в статті «Витрати на утримання і експлуатацію обладнання».

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

Таблиця 9.4 – Зміна річних поточних витрат, тис грн

№ п/п	Статті звитрат	Позн.	Величина, тис. грн.		Відхилення. + -збільше - зменшен
			До модер.	Після модер.	
1	Витрати на пару	Зп	26,5	18,6	- 7,9

Таблиця 9.4 (закінчення) – Зміна річних поточних витрат, тис грн

№ п/п	Статті звитрат	Позн.	Величина, тис. грн.		Відхилення. + -збільше - зменшен
			До модер.	Після модер.	
2	Витрати на поточний капітальний ремонт	Зр	6,3	6,9	0,6
3	Витрати пов'язані з амортизацією	За	15,1	16,6	1,5
5	Всього поточних витрат	З	47,9	42,1	5,8

### 9.3 Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства

Розрахунок обсягу виробництва продукції здійснюємо за формулою:

$$OB^{(н)} = Поб * Фр * К завант \quad (9.13)$$

$$OB^{(н)} = 50 * 8 * 250 * 0,9 = 90,0 \text{ т}$$

де: Поб – фактична змінна продуктивність обладнання

Фр – річний фонд часу роботи обладнання, год

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

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

$$ТП^{(н)} = OB^{(н)} * Цпр \quad (9.14)$$

где:  $OB^{(н)}$  – обсяги випуску продукції до (б) и опісля (н) модернізації обладнання, (в натуральних одиницях);

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

$$ТП^{(б)} = 90 * 135 = 12150,0 \text{ тис. грн.}$$

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

$$C^б = ТП^б * 100 / 100 + P \quad (9.15)$$

де: P – рентабельність виробленої продукції (табл. 5.2.)

$$C^б = 12150 * 100 / 123 = 9878,1 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виробленої продукції після модернізації техніки розраховуємо за формулою:

$$C^н = C^б - \Delta Z \quad (9.16)$$

$$C^н = 9878,1 - 5,8 = 9872,3 \text{ тис. грн} \quad (9.17)$$

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

$$\Pi^{(б)} = ТП^{(б)} - C^{(б)} \quad (9.18)$$

$$\Pi^б = 12150 - 9878,1 = 2271,9 \text{ (тис. грн)}$$

$$\Pi^н = 12150 - 9872,3 = 2277,7 \text{ (тис. грн)}$$

Приріст прибутку складе:

$$\Delta \Pi = \Pi^н - \Pi^б \quad (9.20)$$

$$\Delta \Pi = 2277,7 - 2271,9 = 5,8 \text{ тис. грн.}$$

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

$$\Delta \text{ЧП} = \Delta \Pi (1 - \text{Нп}) \quad (9.21)$$

$$\Delta \text{ЧП} = 5,8 * 0,82 = 4,8 \text{ (тис. грн).}$$

де: Нп – податок на прибуток (для виробничих підприємств на Україні рівняється 18%), у відносних одиницях – 0,18

Розраховані показники зводимо в табл. 9.5.

Таблиця 9.5 – Показники виробничої діяльності підприємства

№ п\п	Показник	Позна- чення	Обладнання		Зміна статей витрат (+)-зростання. (-) зниження
			Базове	Модерни зоване	
1	Прибуток від реалізації, тис. грн.	ТП	12150,0	12150,0	-

Таблиця 9.5 (закінчення) – Показники виробничої діяльності підприємства

№ п\п	Показник	Позна- чення	Обладнання		Зміна статей витрат (+)-зростання. (-) зниження
			Базове	Модерни зоване	
2	Повна собівартість продукції тис. грн.	С	9878,1	9872,3	5,8
3	Прибуток, тис. грн.	П	2271,9	2277,7	5,8

#### 9.4 Висновки до розділу

Пропонована зміна конструкції системи управління є доцільна, так як прибуток є позитивний.

## Висновки

У ході виконання курсової роботи було виявлено, що якісна реалізація технологічного процесу обробки вина теплом залежить від точності підтримки режимного параметра: температур виноматеріалу.

За усіма каналах об'єкт має статичні властивості і найбільш точно може бути описаний моделями 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 управління застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку. Ідентифікація моделі каналу контрольованого збурення ОК, проводилася статистичними методами. Статистичними методами була отримана модель стохастичної складової неконтрольованих збурень.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в середовищі моделювання MATLAB. Відтворення моделей стохастичної складової контрольованого та неконтрольованих збурень здійснено методом формуючого фільтра.

Далі ця модель була використана для синтезу САР спочатку базової структури потім каскадної структури. Були розраховані початкові параметри регулятора за спрощеними методиками і проведено аналіз такої САР (базової структури). Після аналізу було здійснено оптимізацію параметрів регулятора за допомогою програми Optimizator, який розраховував «найкращі» поєднання параметрів в заданому діапазоні по заданому інтегральному модульному критерію оптимальності (мінімум критерію). Після цієї процедури було зроблено висновок про покращення прямих та інтегральних показників якості.

Було проведено синтез САР підвищеної динамічної точності (на основі розробленої САР базової структури). Розраховано та оптимізовано параметри

головного та допоміжного регулятора. Проведено всі можливі перевірки на грубість САР з урахування можливості зміни параметрів ОК, та зроблено висновок про грубість в варіаціях параметрів ОК на  $\pm 20\%$  відхилених від номінальних.

Було вирішено задачу логічного керування ділянкою технологічного процесу обробки вина теплом перед гарячим розливом. Було сформульовано регламенти технологічного пуску ділянки з включенням попереднього промивання установки, виведенням установки на температурний режим на воді та переведенням установки на продукт. Також було сформульовано регламент технологічної зупинки ділянки, що завершується промиванням установки підігрітою водою та заповненням водою продуктопроводів. Також було сформульовано регламенти відпрацювання чотирьох нештатних ситуацій, а саме, при недогріванні вина, при перегріванні зерна, при відсутності вина в збірнику та при засміченні фільтра. Для перших двох ситуацій передбачено автоматичне поновлення роботи установки в штатному режимі.

Також було розроблено алгоритми автоматичного логічного керування, що підтримують перераховані вище регламенти. Було розроблено алгоритми автоматичного керування пуском, технологічною зупинкою, та три алгоритми керування відпрацюванням нештатних ситуацій. Нештатні ситуації, пов'язані з відсутністю вина в збірнику та засміченням фільтра були підтримані одним алгоритмом автоматичного керування.

Для можливості подальшого тестування алгоритмів керування було сформовано циклограми процесів.

Проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування процесом підігріву вина в установці. Класи точності, ступінь захисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі

оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

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.

Розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом теплової обробки вина. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу (температурі вина) та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

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

Був розроблений набір технічної документації для системи автоматизації керування процесом нагріву вина на основі контролера Siemens SIMATIC S7-1500.

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

Були опрацьовані основні аспекти з охорони праці під час експлуатації системи автоматичного керування процесом. Оцінено економічну доцільність впровадження запропонованих рішень.

## Перелік використаних джерел

1. <https://shabo.ua> – офіційний веб-сайт компанії SHABO.
2. Ковалевський К.А., Сльозко Г.Ф., Ксенжук Н.І., Мамай О.І., Шанін О.Д. К 56 Технологія вина і обладнання виноробних підприємств. Курсове проектування: навчальний посібник. – Херсон: ХНТУ, 2009. – 368 с.
3. Валуйко, Герман Георгієвич. Технологія вина [Текст] : підручник / Г. Г. Валуйко, В. А. Домарецький, В. О. Загоруйко ; Нац. ун-т харч. технологій. — Київ : ЦУЛ, 2021. — 592 с.
4. <https://www.alfalaval.ua/> - офіційний сайт Альфа Лаваль Україна.
5. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання / За ред. В.А. Хобіна - Одеса: ОНТУ, 2024 р. – 47 с.
6. Хобін В.А. - Конспект лекцій з курсу «Ідентифікації та моделюванню технологічних об'єктів» - Одеса 2016. - 96 с.
7. Хобін В.А. - Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» частина 1 - Одеса 2020. - 110 с.
8. Хобін В.А. - Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» частина 2 - Одеса 2014. - 73 с.
9. SIMATIC HMI. WinCC flexible 2005. Руководство пользователя 6AV6691-1AB01-0AB0. Редакция 06. - Siemens AG, 2005. – 394 с.
10. ДСТУ Б А.2.4-4-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.
11. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.408-93, МНТКС). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
12. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мбіа,1996 (ГОСТ 21.110-93, МНТКС). Правила виконання специфікацій устаткування, виробів і матеріалів.

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

14. Конспект лекцій з курсу “Проектування систем автоматизації (Ч.1)” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання/ Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – 86 с.

15. SIEMENS. SIMATIC. Компоненти для комплексної автоматизації. Каталог ST 70. 2010 г. Частина 1.

## ДОДАТКИ

## 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>		
3а, 4а	Датчик температури ТЕРА (Pt100), діапазон 0 -150 °С з нормуючим перетворювачем Pt100 (0/150), діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА, Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт	2	
3б	Регулюючий клапан клапан Belimo H7025X10-S2 з електроприводом Belimo NVD24SR, сигнал керування 0...10 VDC, час повного ходу 90 с	1	
5а	Триходовий клапан Belimo R532 з електроприводом Belimo NRQ24A, сигнал керування 0-20 VDC, час повного ходу 9 с	1	
6а	Відсічний клапан GAMA ZBSF-25SF DN 25 Н.З. 0-16 Bar 220°C з електромагнітним приводом 24VDC	1	
7а	Реле тиску RT 110L, степінь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X	1	
8а, 9а	Датчики-реле рівня DLS-27-31, тип PNP	2	
10а	Відсічний клапан Belimo R432 з електроприводом Belimo NRQ24A, сигнал керування 0-20 VDC, час повного ходу 9 с	1	
	<u>Прилади у шафі оператора</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 V DC	1	

## ДОДАТОК Б Документація до принципової електричної схеми

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>DI</u>		
	Модуль дискретного вводу DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	
7a	Реле тиску RT 110L, степінь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X	1	
8a, 9a	Датчики-реле рівня DLS-27-31, тип PNP	2	
	<u>DO</u>		
	Модуль дискретного виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
6a	Відсічний клапан GAMA ZBSF-25SF DN 25 Н.З. 0-16 Bar 220°C з електромагнітним приводом 24VDC	1	
5a, 10a	Електропривод Belimo NRQ24A, сигнал керування 0-20 VDC, час повного ходу 9 с	2	
HA	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	
K1, K2, K3	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 BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	
3a, 4a	Датчик температури TERA (Pt100), діапазон 0 -150 °C з нормуючим перетворювачем Pt100 (0/150), діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 mA, Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт	1	
3б	Електропривод Belimo NVD24SR, сигнал керування 0..10 VDC, час повного ходу 90 с	1	