

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: «Автоматизація процесу керування обробки вин теплом»

Здобувач: О.В.Бофанов
4 курс, група Аз-30

Керівник: доцент І.М.Світій

Консультанти:
доцент В.М. Левінський

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

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

В.о. завідувача кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(підпис)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	<u>Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування</u>
	<u>ім. П.М. Платонова</u>
Кафедра	<u>Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
І.М. Світій

«5» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Бофанов Олександр Валерійович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування обробки вин теплом»

2. Керівник кваліфікаційної роботи Світій Іван Миколайович, к.т.н., доцент

Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.

3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.

4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).

5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):

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

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

Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.

Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.

Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.

Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.

Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.

Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.

Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	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	<i>Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС або Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС</i>		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		

7. Дата видачі завдання « 9 » січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач Бофанов О.В.

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 Бофанов О.В.
Прізвище, ініціали
Підпис

Реферат

Кваліфікаційна робота бакалавра Бофанова Олександра Валерійовича на тему «Автоматизація процесу керування обробкою виноматеріалу теплом» містить 162 сторінок, 24 таблиці, 154 рисунки, 2 додатка та 15 джерел у переліку посилань.

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 технологічним процесом теплової обробки виноматеріалу в безперервному потоці з використанням пластинчастого теплообмінника.

Мета роботи — підвищення техніко-економічних та екологічних характеристик процесу теплової обробки виноматеріалу в потоці шляхом збільшення динамічної точності системи автоматичного регулювання температури вина, скорочення кількості нештатних ситуацій, зменшення втрат від браку готової продукції та вдосконалення взаємодії з оператором-технологом.

Методи дослідження — методи теорії автоматичного керування, ідентифікації об'єкта керування та імітаційного моделювання.

Отримані результати — розроблено алгоритми керування, що забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації температури вина; створено алгоритми технологічного пуску, зупинки та відпрацювання нештатних ситуацій; розроблено програмне забезпечення для ПЛК, що реалізує зазначені алгоритми; спроектовано інтерфейси автоматизованого робочого місця оператора-технолога та наладчика САР; підготовлено фрагменти технічної документації системи керування ділянкою теплової обробки виноматеріалу в потоці.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 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 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення.....	19
РОЗДІЛ 2 Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання	24
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання	24
2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання	24
2.3. Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання.....	36
2.4. Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу	41
РОЗДІЛ 3 Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР	49
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом	49
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури	51

3.3 Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз	62
---	----

розДІЛ 4 Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	70
--	----

4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій	70
---	----

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	71
---	----

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	77
--	----

РОЗДІЛ 5 Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі	94
---	----

5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення	94
---	----

5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	95
---	----

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу	97
---	----

5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі	99
---	----

РОЗДІЛ 6 ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, КОНТРОЛЕРА І МЕРЕЖ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ САК 105

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж 105

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування 107

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання 114

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК 118

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування 118

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога. 119

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога. 120

7.4 Тестування системи керування 126

РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ... 130

8.1 Перехід України на європейські стандарти (EN) та міжнародні норми (ISO/IEC) у сфері автоматизації 130

8.2. Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень 131

8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом 135

Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS. 135

8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення 135

8.5. Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК 136

8.6 Охорона праці при монтажі, налагодженні та експлуатації АСКТП ... 136

РОЗДІЛ 9 ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ САК 142

9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації	142
9.2 Розрахунок поточних витрат при роботі базової та модернізованої системи автоматизації.....	144
9.3 Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства	150
ВИСНОВКИ	153
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	155
ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації	157
ДОДАТОК Б Документація до принципових електричних схем.....	158

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ:

САК – система автоматичного керування;
ММ – математична модель;
ВП – випадковий процес;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
ФФ – формуючий фільтр;
СП – стохастичний процес;
ОР – об'єкт регулювання;
СХ – стохастичні характеристики;
ТП – технологічний процес;
ОК – об'єкт керування;
КЗ – коригувальний зв'язок;
СКЗ – спрощений коригувальний зв'язок;
НС – найпростіша структура;
ПДТ – підвищена динамічна точність;
ППЗС – передпускова звукова сигналізація;
ТА – технологічний агрегат;

ВСТУП

Вино являє собою готовий до вживання продукт бродіння виноградного або плодово-ягідного сусла, що характеризується визначеним набором органолептичних показників, зокрема нормованим вмістом етилового спирту та цукру. Природне бродіння сусла відбувається за участі дріжджів, які послідовно перетворюють цукристі речовини на етиловий спирт, а згодом — на оцтову кислоту. З огляду на це, своєчасне технологічне пригнічення життєдіяльності дріжджів є принципово важливим для забезпечення стабільного складу готового продукту впродовж тривалого зберігання, зокрема в пляшковому розливі.

На сьогодні існує кілька підходів до стабілізації виноматеріалу перед розливом. Одним із них є пастеризація вина в безперервному потоці з подальшим гарячим розливом у пляшки та охолодженням укупленої тари. Цей метод застосовується переважно для обробки мікробіологічно нестабільного вина і передбачає нагрівання продукту до температури 43...55°C з наступним фасуванням.

Разом з тим пастеризація є доволі інтенсивним способом теплової обробки виноматеріалу і за недотримання технологічних параметрів здатна негативно позначитись на комплексі органолептичних властивостей продукту. Таким чином, точне відтворення технологічного регламенту є основною умовою отримання вина належної якості, а єдиним надійним інструментом такого відтворення слугує високоефективна система керування — зокрема, система автоматичного регулювання режимних параметрів технологічного процесу.

Саме розробці подібної системи керування й присвячена ця кваліфікаційна робота бакалавра.

РОЗДІЛ 1 ОПИС ДІЛЯНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЙОГО АГРЕГАТИВ 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» — саме ця філософія лежить в основі діяльності компанії SHABO, місія якої полягає в тому, щоб кожен українець міг пишатися вином своєї країни.

Своє існування компанія розпочала у 2003 році, спираючись на багатовікові традиції шабського виноробства. SHABO являє собою повноциклове виробниче підприємство, що охоплює весь ланцюжок — від вирощування винограду до реалізації готової продукції. Сьогодні компанія є визнаним лідером серед українських виробників преміальних вин та брендів, а її продукція здобула понад 500 нагород на авторитетних міжнародних конкурсах. Асортимент представлено в усіх регіонах України, а також у 20 країнах світу, зокрема у США, Великій Британії, Франції, Японії та Китаї.

Виробнича база

Виробничі потужності підприємства розташовані безпосередньо поруч із власними виноградниками, що дозволяє доставляти щойно зібраний виноград на переробку протягом 15–30 хвилин. Технологічне обладнання заводу входить до числа найсучасніших в Європі.

Первинна переробка винограду

Зібраний вручну виноград надходить до переробного комплексу площею близько 1 500 кв. м, де проходить кількості етапне ручне сортування, після чого

автоматизована лінія здійснює делікатне пресування на обладнанні «Bucher XPlus». Сезонна потужність комплексу сягає 20 тисяч тонн сировини.

Преміальні вина КНП

У цьому підрозділі створюються вина Контрольованих найменувань за походженням — категорія, на виробництво якої SHABO є єдиним в Україні підприємством з відповідним правом. Ягоди червоних сортів проходять бродіння на м'яззі в дубових бариках «Taransaud» із системою термоконтролю, тоді як білі сорти спочатку пресуються, а потім зброджуються в аналогічних умовах.

Міцні виноградні напої

Компанія багато років утримує лідерство у сегменті преміальних коньяків та бренді, а з 2013 року також випускає оригінальний продукт — Grape Vodka. Виробничий комплекс площею понад 20 000 кв. м реалізує повний технологічний цикл: від переробки винограду й отримання виноматеріалу до дистиляції спирту, витримки в дубових бариках і фінального бутилювання. Дистиляційне обладнання безперервної дії здатне переробляти до 20 млн літрів виноматеріалу та виробляти близько 3 млн літрів коньячних спиртів на рік. Витримка тривалістю від трьох років і більше здійснюється відповідно до європейських стандартів.

Дім ігристих вин

Традиція виробництва ігристих вин у Шабо бере початок ще з XIX століття, коли їх почали створювати швейцарські переселенці. Для відродження та розвитку цієї традиції було збудовано унікальний для України виробничий комплекс загальною площею близько 3 га. Тут застосовуються два методи шампанізації: класична пляшкова витримка тривалістю від 9 місяців до 13 років та метод Шарма з використанням акратофорів місткістю до 24 тисяч пляшок, що потребує від 3 до 6 місяців.

Витримка та зберігання

Підземне виносховище компанії займає близько 5 000 кв. м на трьох рівнях глибиною до дев'яти метрів. Одночасно тут може зберігатися понад 9,5 млн літрів вина — у дубових бариках та сучасних ємностях з нержавіючої сталі з вбудованою системою температурного контролю. Загальний парк дубових французьких бариків налічує понад 1 050 одиниць, підібраних індивідуально для кожного сорту.

Лабораторний контроль якості

В основі системи якості SHABO — європейська модель безперервного моніторингу на кожному етапі виробництва. Лабораторія технічного та хімічного контролю оснащена обладнанням нового покоління і працює за стандартами України, єврорегламенту та Міжнародної організації винограду й вина.

Розлив продукції

Щорічно підприємство випускає близько 15 млн пляшок понад 240 найменувань продукції. Сім сучасних ліній розливу забезпечують повне збереження смакових і ароматичних властивостей кожного вина.

Хол квеври

Окремою унікальною частиною комплексу є хол квеври, де вино виготовляється за кахетинською технологією, вік якої перевищує 8 000 років. Бродіння та витримка тривалістю 5 місяців відбуваються на м'яззі в автентичних керамічних амфорах об'ємом 1 400 і 2 000 літрів, закопаних у землю. Завдяки цій технології білі вина набувають характерного бурштинового кольору, приємної терпкості та насичуються природними антиоксидантами й вітамінами.

Суть технологічного процесу обробки виноматеріалу теплом зводиться до обробки виноматеріалу теплоносієм (гарячою водою), яка нагрівається гріючою парою, яка конденсується, для гарячого розливання вина в пляшки. Технологічна схема ділянки наведена на рис. 1.1.

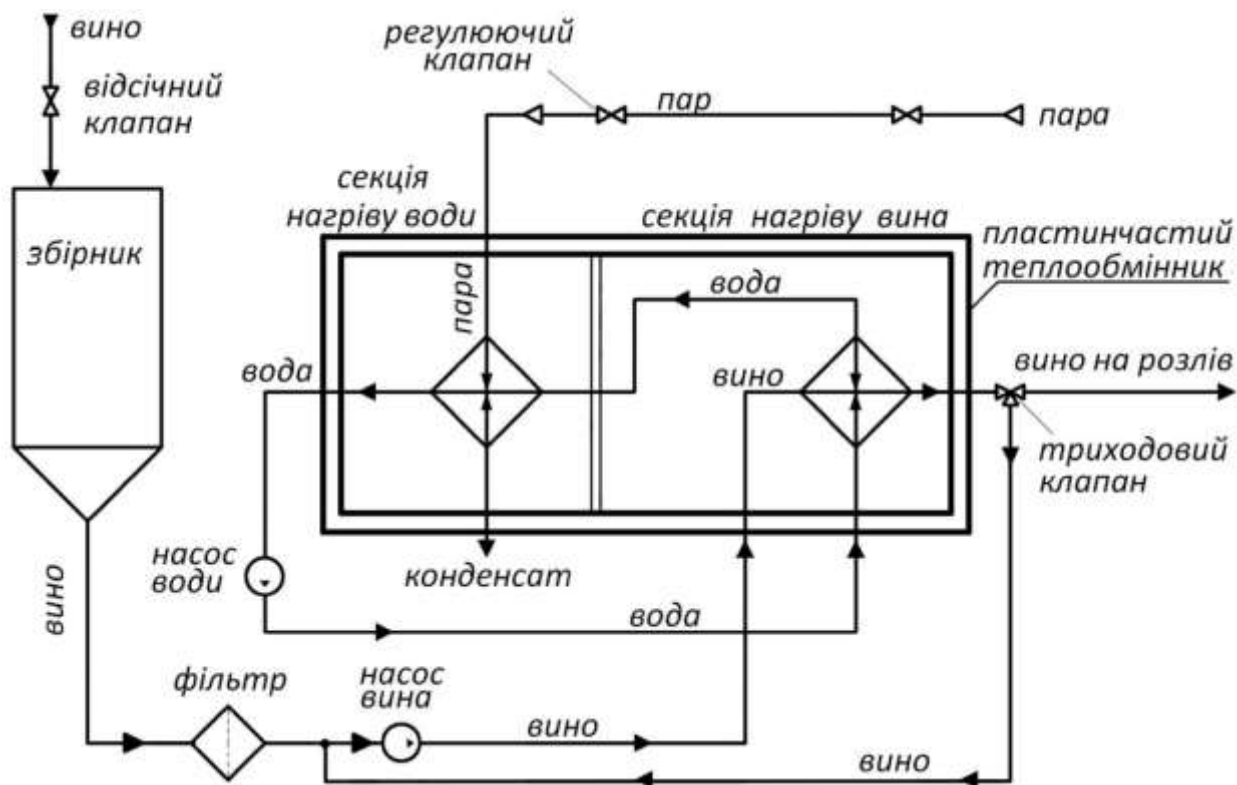


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу обробки виноматеріалу теплом у потоці

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).

1.1.2 Опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації.

У виноробстві широкого поширення набули пластинчасті теплообмінники різноманітних конструкцій. На рис. 1.2 показана схема пластинчастого теплообмінника.

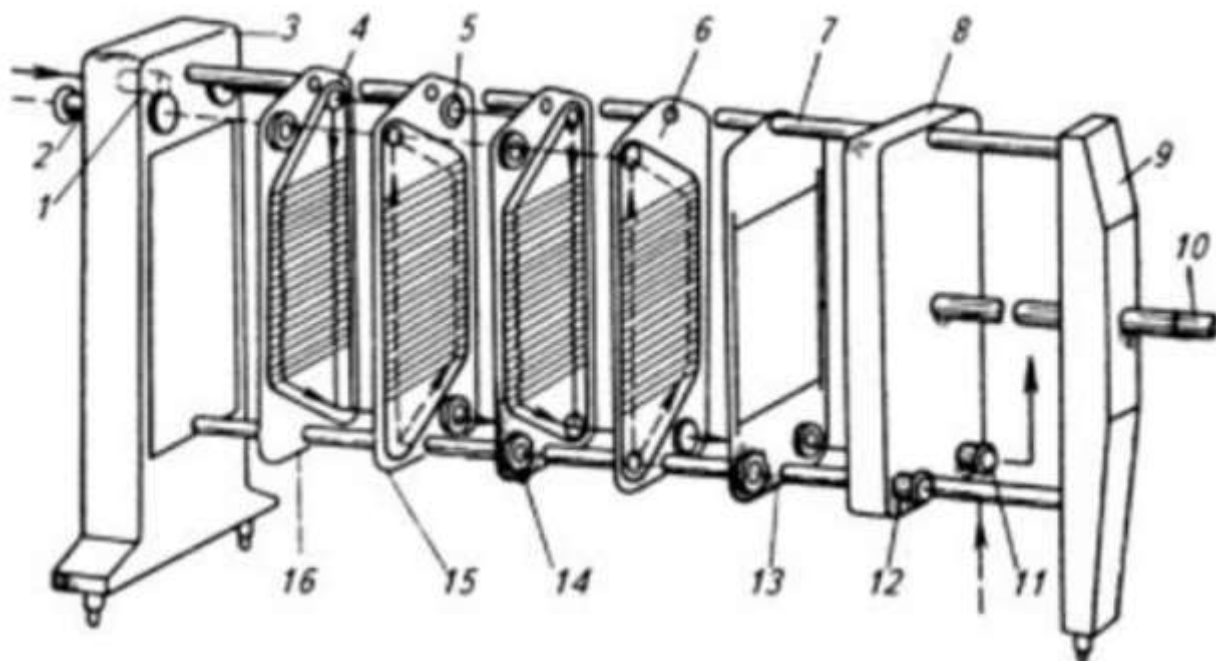


Рисунок 1.2 – Конструкція пластинчастого теплообмінника

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. Малюнок 1. 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 обігріваються 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.

1.1.3 Формулювання умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес.

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 теплоносій;
- повинна бути електроенергія в колах електричного живлення із середньостатистичними параметрами мережі $230\text{В} \pm 10\%$, 50 Гц.

1.1.4 Параметризація схеми технологічного процесу, загальна характеристика параметрів і їх взаємозв'язків.

Технологічний процес обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику є тепловим процесом, пов'язаним з теплообміном між парою, яка конденсується, гарячою водою та виноматеріалом. Проведемо параметризацію

технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.3.

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

P_p – тиск пари в паропроводі, МПа;

F_p – витрати пари, кг/год;

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

F_{vm} – витрати виноматеріалу, кг/год;

T_{vm} – температура виноматеріалу, °С;

F_v – витрати вина, кг/год;

T_v – температура вина, °С;

P_v – тиск продукту в системі, МПа;

P_{gv} – тиск гарячої води, МПа;

T_{gv} – температура гарячої води, °С;

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

F_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;

F_e – витрати електроенергії, кВт · год;

δ – налипання часток продукту на теплопередавальних поверхнях теплообмінника, мм.

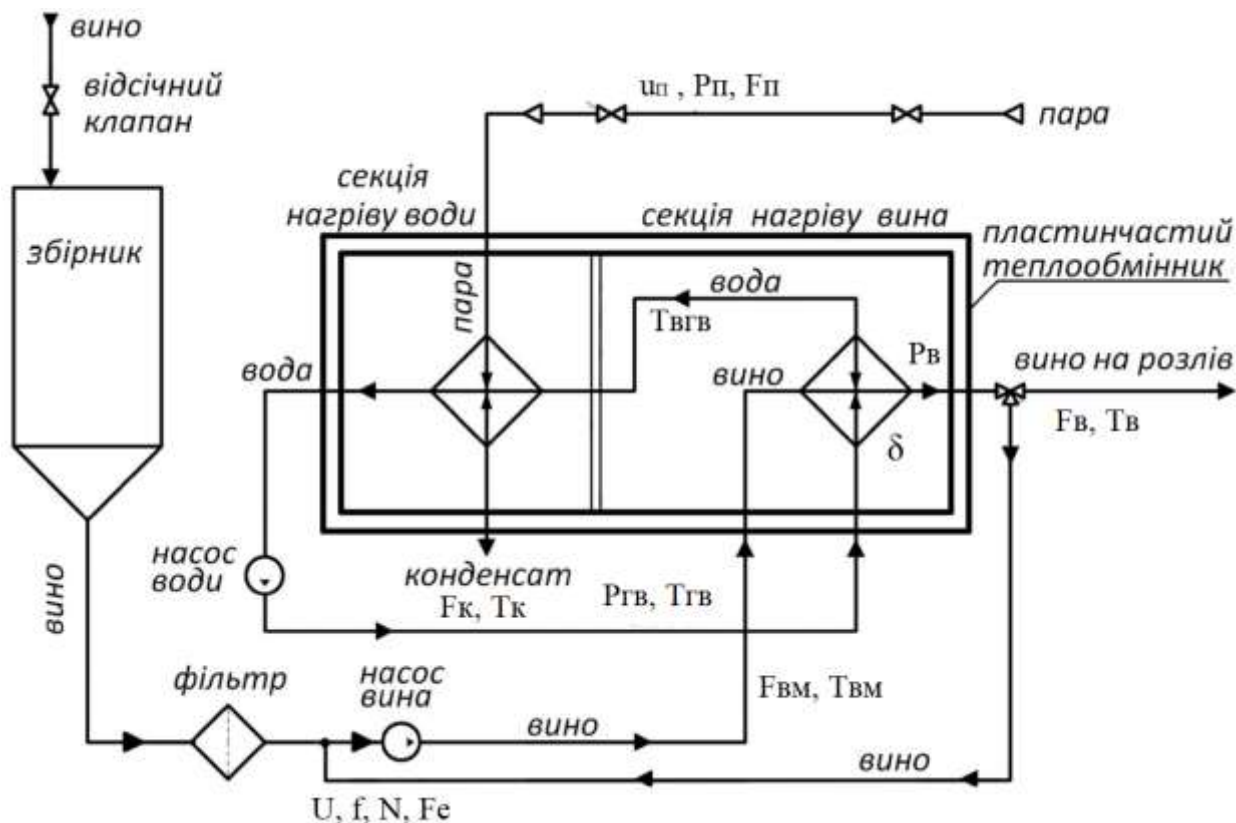


Рис. 1.3 – Параметризована технологічна схема процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику

1.2 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення

1.2.1 Виявлення нормативів ведення технологічного процесу і роботи технологічного агрегату.

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу обробки виноматеріалу теплом такими параметрами є температура вина (T_v), температура гарячої води ($T_{гв}$) та витрати вина (F_v).

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для пластинчастого теплообмінника до цієї групи параметрів віднесемо тиск

виноматеріалу в системі (Рв).

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних та гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести витрати пари (F_p), температуру відпрацьованої гарячої води ($T_{вгв}$), витрати конденсату (F_k), температуру конденсату (T_k) та витрати електроенергії (F_e).

1.2.2 Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.

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 короточасні 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	Одиниця виміру	Номинальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
					Величина	Величина а	Час
1	Температура вина	Тв	°С	50	±0,5	±3	150с

Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.

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_{vm}) та температуру (T_{vm}).

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_p), 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_p) та сумарну потужність електродвигунів установки (N), налипання часток продукту на теплопередавальних поверхнях теплообмінника (δ).

Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.

Параметризована схема ТП має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми ТП. При цьому ті параметри, які відображають мету функціонування об'єкту моделювання та додаткових вимог до нього, тобто регламентовані параметри будуть вихідними, а параметри, що відображають умови функціонування об'єкту - вхідними.

Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами – причинно-наслідковий. У рамках даної схеми ці зв'язки задаються тільки на якісному рівні, згодом деякими зв'язками можна буде знехтувати, деякі представити опосередковано.

Параметрична схема процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику наведена на рис. 1.4.

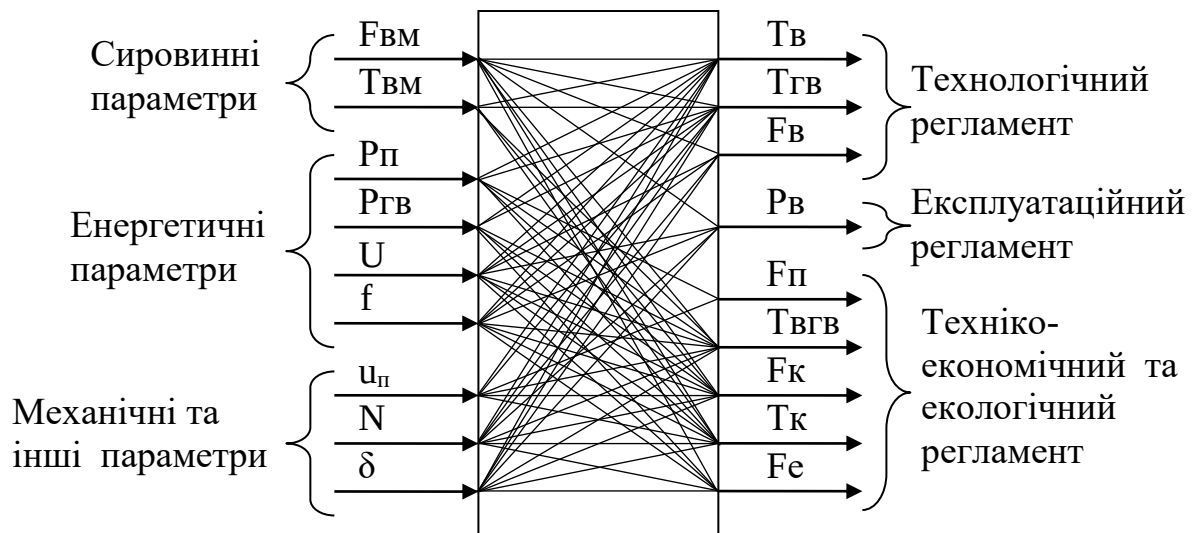


Рис. 1.4 – Параметрична схема процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань щодо номенклатури та обсягу продукції, а також отримання при цьому певного економічного ефекту.

Декомпозиція загальної мети функціонування підприємства для більш низьких рівнів виробничої ієрархії приводить до наступних цілей:

а) на рівні окремого технологічного процесу – координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;

б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання.

Звідси задачу керування можна розділити на:

а) задачу регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту;

б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу.

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'єкту керування.

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність управляючих дій, що повинні бути входними змінними (координатами) ОК. Для задач регулювання, такими управляючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регулювальних органів. Кількість управляючих дій повинно бути рівним кількості регульованих змінних.

Для процесу обробки виноматеріалу теплом до керуючих дій доцільно віднести положення регулюючих органів подачі пари (u_p).

Після того, як визначені управляючі дії, всі інші входні змінні відносять у розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

Для процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику не було виявлено збурень, враховуючи які можна суттєво покращити якість регулювання, тому всі входні 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.

РОЗДІЛ 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

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК.

Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК.

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

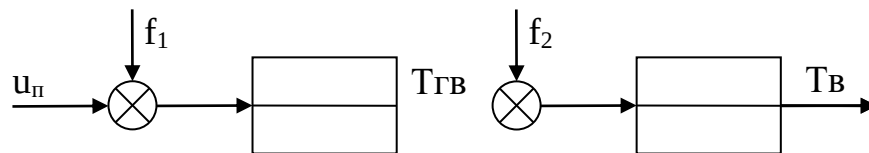


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу обробки виноматеріалу теплом в пластинчастому теплообміннику як об'єкту регулювання

На рисунку:

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

$T_в$ – 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.

Виходячи з фізичної суті теплових процесів, що протікають в ОК, відомо, що відносно у повній мірі математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференціальними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни температур гарячої води та вина як регульованої координати. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

Короткий порівняльний аналіз і вибір доцільних вхідних дій для експериментального дослідження з метою отримання необхідної інформації про властивості каналів об'єкту для випадку, коли вхідні змінні каналів доступні для цілеспрямованої зміни.

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхідні змінні яким доступні для цілеспрямованої зміни. Ними, насамперед, є керуючі дії. При цьому експериментатор може обирати вхідну дію будь-якої форми (ступінчасту, лінійно зростаючу, імпульсну, гармонічну, випадкову). Однак, з розуміння простоти організації цих дій, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії.

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 $u_n = 60 \text{ \%x.p.o.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $T_{гв} = 85^\circ\text{C}$ та $T_v = 50^\circ\text{C}$.

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

3. Змінимо керуючу дію u_n ступінчастим чином на $10\%\text{x.p.o.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

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

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.1.

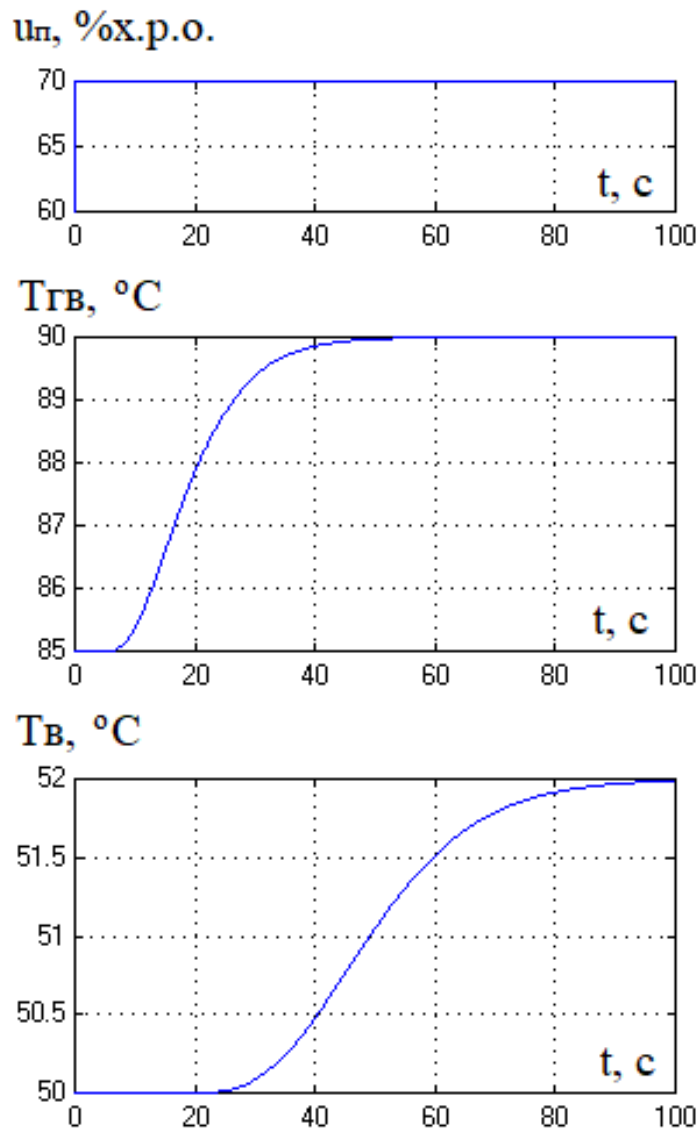


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

За результатами активного експерименту (рис. 2.1) можна зробити висновок, що за всіма канал наш ОК має властивість самовирівнювання, а тому може бути описаний передаточними функціями такого вигляду:

$$W_o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{T_o p + 1}; W_o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{(T_o p + 1)^2} \quad (2.1)$$

2.2.4 Вибір методик і проведення параметричної ідентифікації моделей першого та другого порядків.

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 (τ_0).

Канал « u_{π} – $T_{гв}$ »

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta T_{гв}}{\Delta u_{\pi}} = \frac{90 - 85}{70 - 60} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$$

Для моделі 1-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.2), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

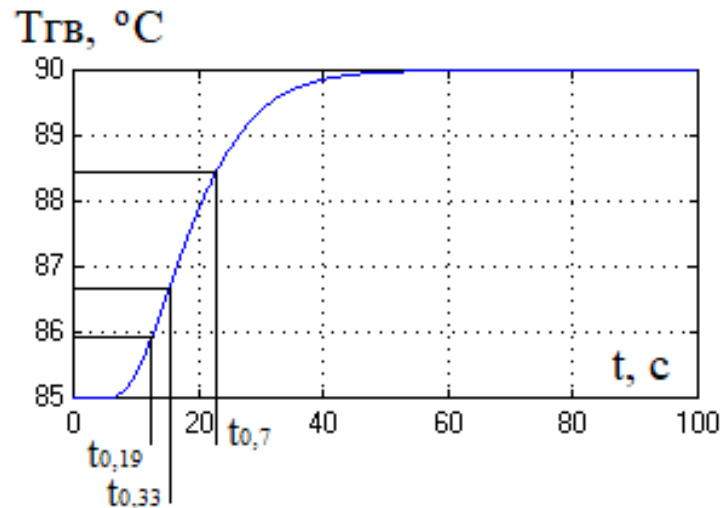


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « u_{π} – $T_{гв}$ »

$$t_{0,33} = 15,6 \text{ с;}$$

$$t_{0,7} = 22,6 \text{ с.}$$

Тоді

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

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

Передаюча 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

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

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

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_{π} – $T_{\text{в}}$ »

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

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

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

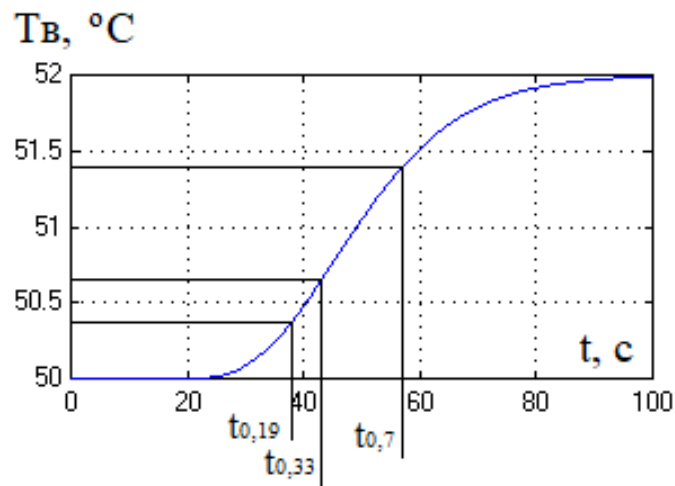


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « u_{π} – $T_{\text{в}}$ »

$$t_{0,33} = 43,2 \text{ c};$$

$$t_{0,7} = 56,8 \text{ c.}$$

Тоді

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

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

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:

$$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-28,3p}}{(11,9p + 1)^2}$$

Канал «ТГВ – Тв»

Визначаємо коефіцієнт передачі:

$$K_{\text{ТГВ-Тв}} = \frac{K_{u_{\text{п-Тв}}}}{K_{u_{\text{п-ТГВ}}}} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4$$

Для визначення τ та T зберемо схему моделювання, наведену на рис. 2.4.

Результати ідентифікації каналу ОК за моделлю 1-го порядку наведено на рис. 2.5,

результати ідентифікації каналу ОК за моделлю 2-го порядку наведено на рис. 2.6.

Модель 1-го порядку

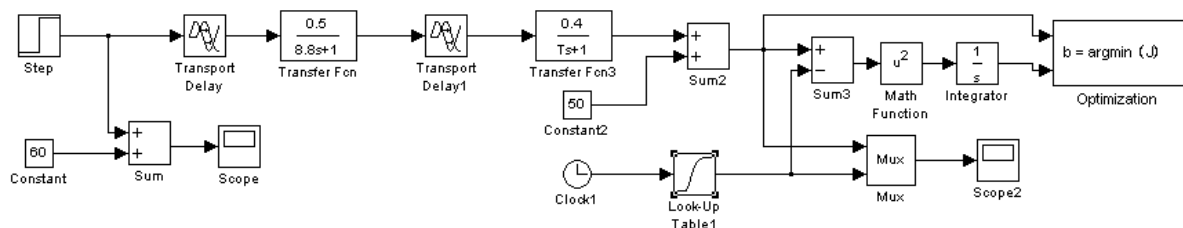
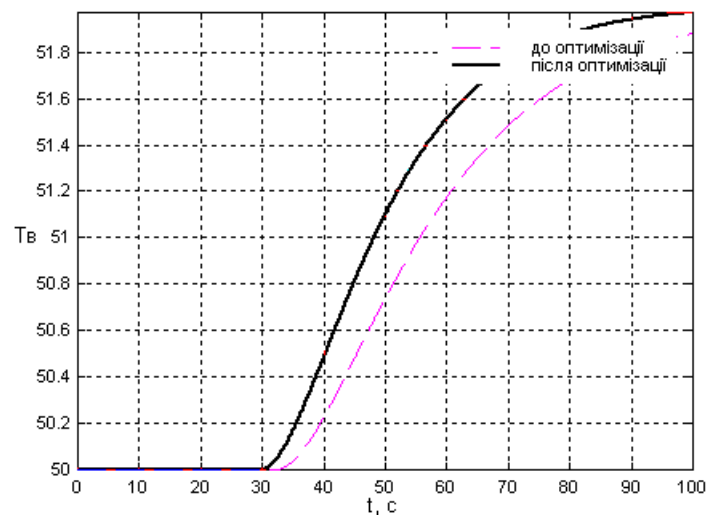
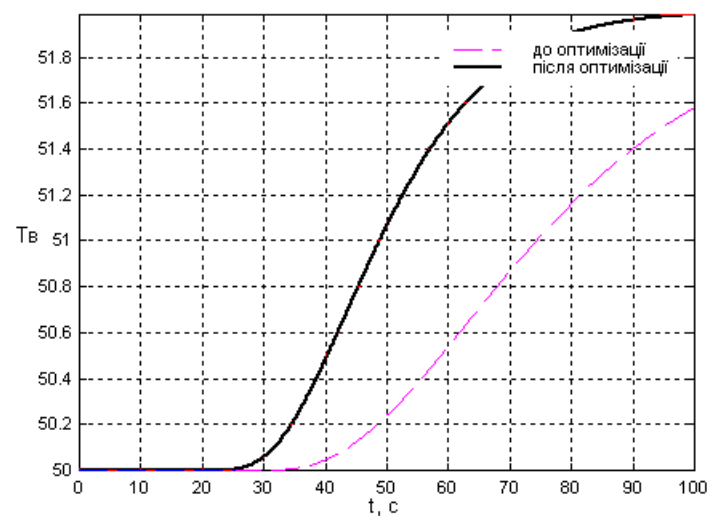


Рис. 2.5 – Схема моделювання для ідентифікації моделі ОК 1-го порядку за каналом «ТГВ–Тв»



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
					оптимізації.
					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
					оптимізації.
					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:

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

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

Вибір і опис доцільного методу експериментальних досліджень властивостей каналів з метою отримання необхідної інформації.

Метою цього підрозділу курсової роботи є отримання моделей статички для побудови моделей динаміки в абсолютних величинах. Також метою підрозділу є отримання моделей статички каналі ОК з суттєво нелінійними властивостями, якщо така задача передбачена індивідуальним завданням.

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (перемінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих перемінних.

Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статички є установлення функціональної залежності виду $y = \Phi(\bar{x})$ на основі експериментальних даних, де $\bar{x} \in \{\bar{u}, \bar{f}\}$ – вхідні змінні ОУ.

Значення y , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання y та $\bar{x}$. У цьому випадку залежність розум $y^M = \hat{y} = \Phi(\hat{\bar{x}})$ визначається з використанням статистичних ("усредняющих") методів, і вона називається регресією, регресійною залежністю або рівнянням регресії.

У теорії експерименту вхідні змінні ОК називають факторами, а регульовані координати – відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають

однофакторним, а функція багатьох змінних – багатофакторним.

Експерименти для отримання математичних моделей статички можуть бути пасивному або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для отримання моделей статички у нашому випадку будемо використовувати активний експеримент.

Планування активного експерименту 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 повторях 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. 2.5...2.6.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	u_{Π} , %х.р.о.	$T_{ГВ}$, °C	$T_{В}$, °C
1	60	85	50
2	70	90	52
3	80	95	54
4	50	80	48
5	40	75	46

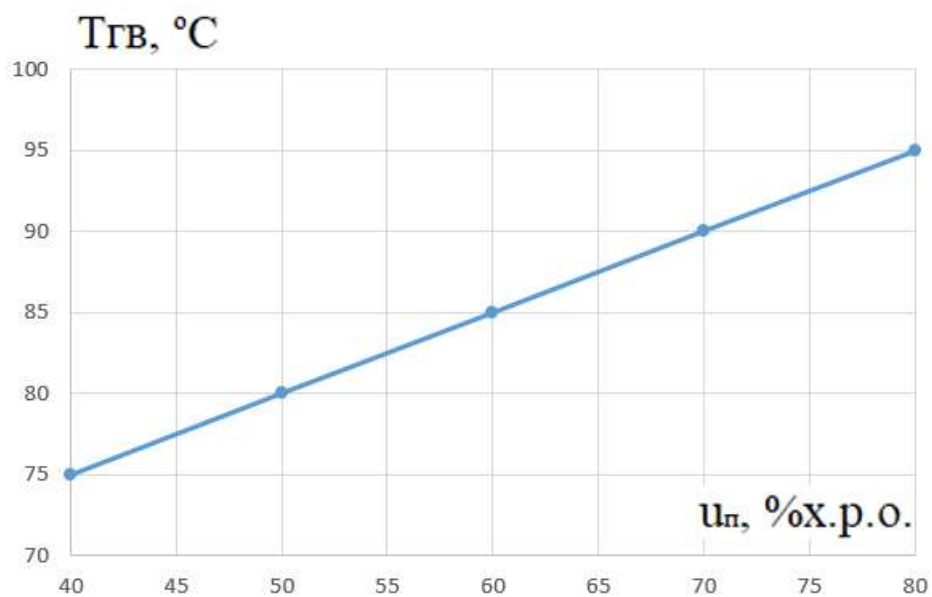


Рис. 2.8 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом « u_{Π} – $T_{ГВ}$ »

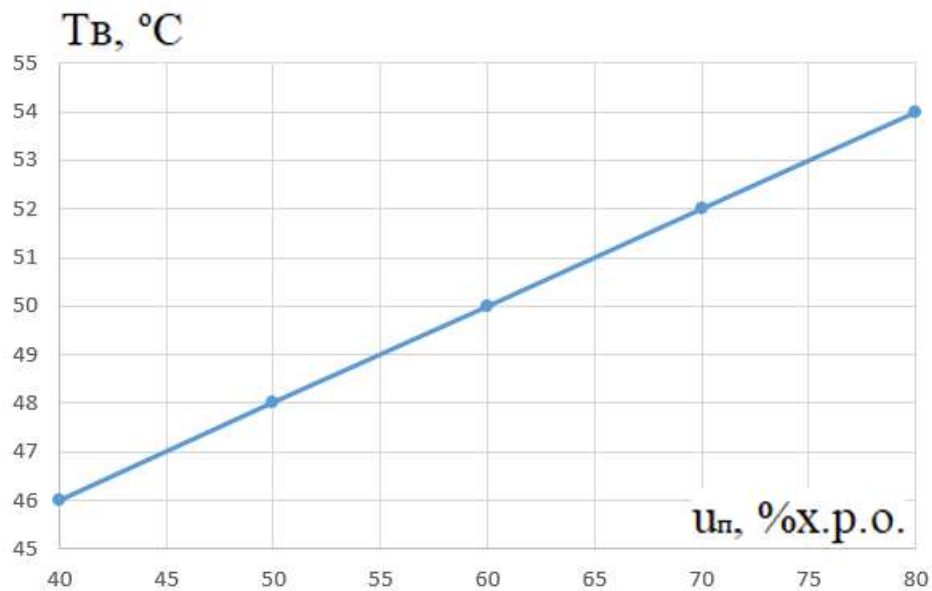


Рис. 2.9 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом « $u_n - T_v$ »

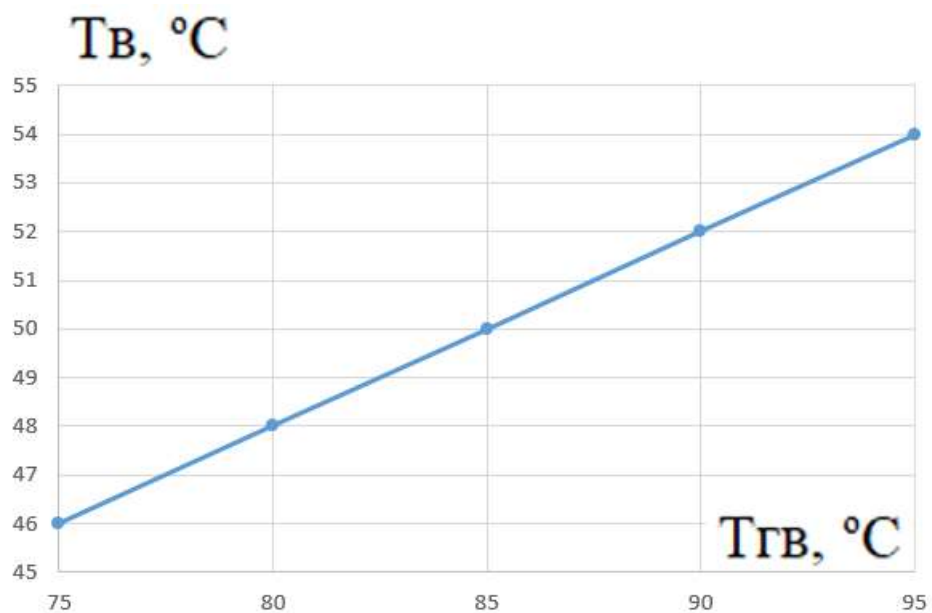


Рис. 2.10 – Статична характеристика ОК за каналом « $T_{gv} - T_v$ »

Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, ітераційний підбір структури моделі з їх параметричною ідентифікацією, порівняльний аналіз моделей різної структури за статистичними критеріями, прийняття рішення з вибору моделі для опису нелінійних властивостей каналів керування.

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\vec{x})$. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом

загального завдання ідентифікації моделей статички. Але, як показує практика, вибрати вид моделі відразу, як правило, не вдається. Причому недоліки вибраної моделі стають очевидними тільки після етапу її параметричної ідентифікації. Усунення недоліків моделі вимагає повернення до процедури структурної ідентифікації. Таких кроків може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер.

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектора параметрів $\vec{a}^*$ вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта y , отриманих у результаті експерименту $y_i, i = \overline{1, n}$ при значеннях вхідних змінних $\vec{x}_i$, і вихідної змінної моделі об'єкту y_m , обчисленої при тих же значеннях $\vec{x}$, тобто

$$\vec{a}^* = \arg \min \left\{ I(\vec{a}) = \sum_{i=1}^n (y_i(\vec{x}_i) - y^M(\vec{a}, \vec{x}_i))^2 \right\} \quad (2.23)$$

Проведемо ідентифікацію моделі статички для ТГВ

Для досліджуваного ОК статична характеристика може бути описана залежністю виду:

$$T_{ГВ} = a_1 \cdot u_{п} + a_0$$

$$a_1 = \Delta T_{ГВ} / \Delta u_{п} = (90 - 85) / (70 - 60) = 5 / 10 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$$

$$a_0 = T_{ГВ} - a_1 \cdot u_{п} = 90 - 0,5 \cdot 70 = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$T_{ГВ} = 0,5 \cdot u_{п} + 55 \text{ — модель 1-го порядку}$$

Проведемо ідентифікацію моделі статички для каналу « $u_{п}$ – $T_{в}$ »

Для досліджуваного ОК статична характеристика може бути описана

залежністю виду:

$$T_B = a_1 \cdot u_{\Pi} + a_0$$

$$a_1 = \Delta T_B / \Delta u_{\Pi} = (52 - 50) / (70 - 60) = 2 / 10 = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$$

$$a_0 = T_B - a_1 \cdot u_{\Pi} = 52 - 0,2 \cdot 70 = 38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$T_B = 0,2 \cdot u_{\Pi} + 17 \text{ — модель 1-го порядку}$$

Проведемо ідентифікацію моделі статички для каналу «ТГВ – Тв»

Як видно з рис. 2.7, статична характеристика досліджуваного каналу ОК може бути описана лінійною залежністю виду:

$$T_B = a_1 \cdot T_{ГВ} + a_0$$

Проведемо параметричну ідентифікацію цієї моделі.

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

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

$$T_B = 0,4 \cdot T_{ГВ} + 16$$

2.3. Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання

Варто підкреслити, що неконтрольовані збурення на об'єкті керування не мають чіткого фізичного визначення — вони є математичною абстракцією, про яку можна судити лише за реакцією системи на їх вплив. Діапазон їх зміни доцільно співвідносити з фізичним діапазоном зміни управляючих дій. Відповідно до положень теорії автоматичного керування, управляюча дія змінюється в межах 0...100 %х.р.о., тоді як діапазон зміни неконтрольованих збурень складає орієнтовно 10...15% від цього діапазону. Залежно від точки прикладання збурень це означає: якщо вони прикладені до управляючої дії — приблизно 10...15 %х.р.о., якщо до регульованої координати — $(10...15) \cdot K_0$.

Математичні моделі неконтрольованих збурень рекомендується подавати у вигляді суми чотирьох складових. При цьому детерміновану складову (f_{НД}) доцільно приводити до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові (f_{НС}) — до регульованої координати.

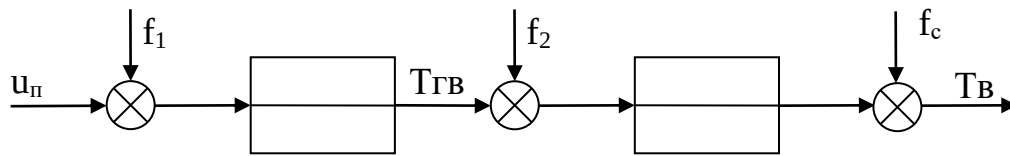


Рис. 2.11 – Структурна схема додання координатних збурень

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 $T_{\text{В}}^{\text{МІН}} = 25^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{В}}^{\text{ЗД}} = 50^{\circ}\text{C}$.

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.

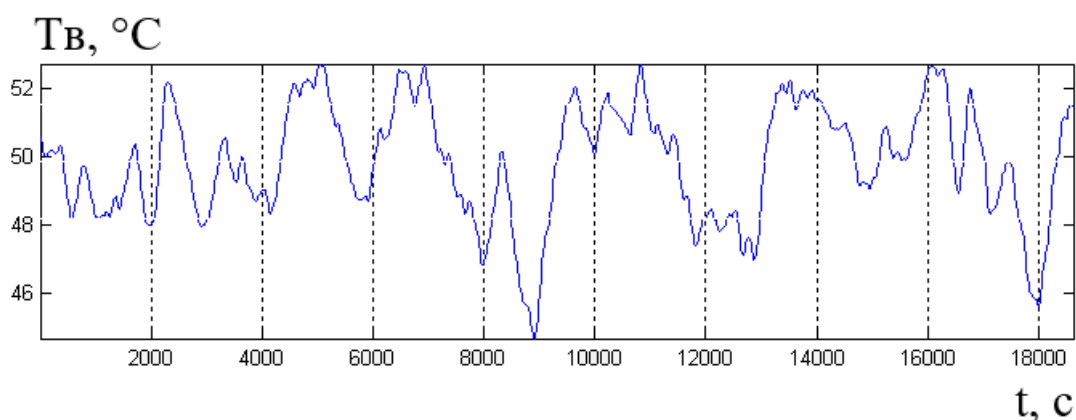
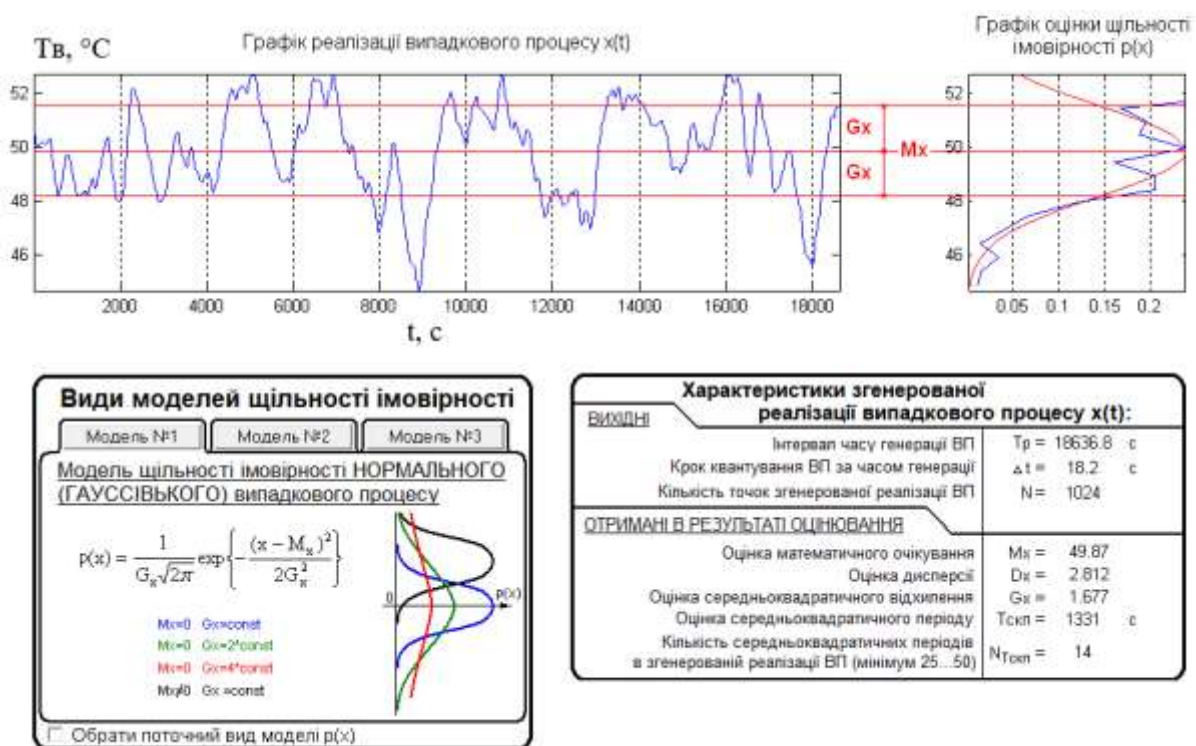


Рис. 2.12 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

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.



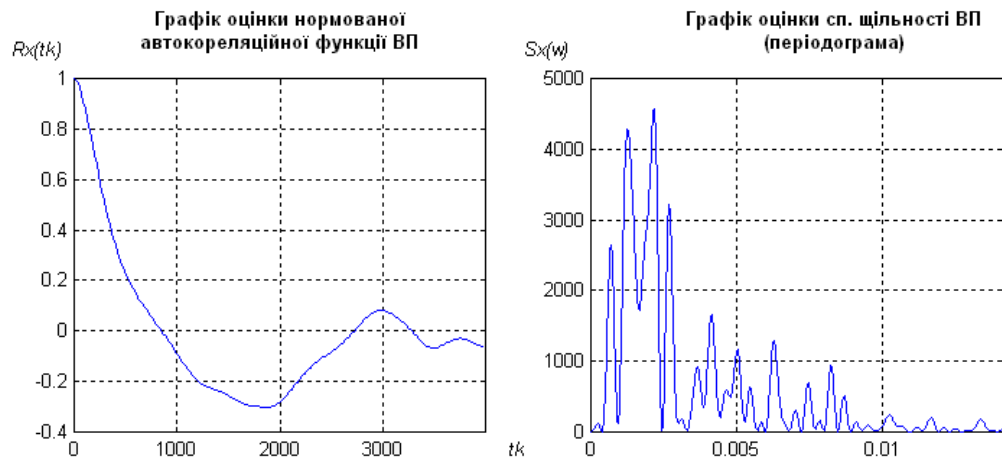


Рис. 2.13 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

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 α і коефіцієнт коливальності β . 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

$$\tilde{a}^* = \arg \min \left[\left(\hat{R}_{\tilde{f}}(\tau_K) - R_{\tilde{f}}^M(\tau_K) \right)^2 \right], \quad \bar{a} = \{\alpha, \beta\}^T.$$

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

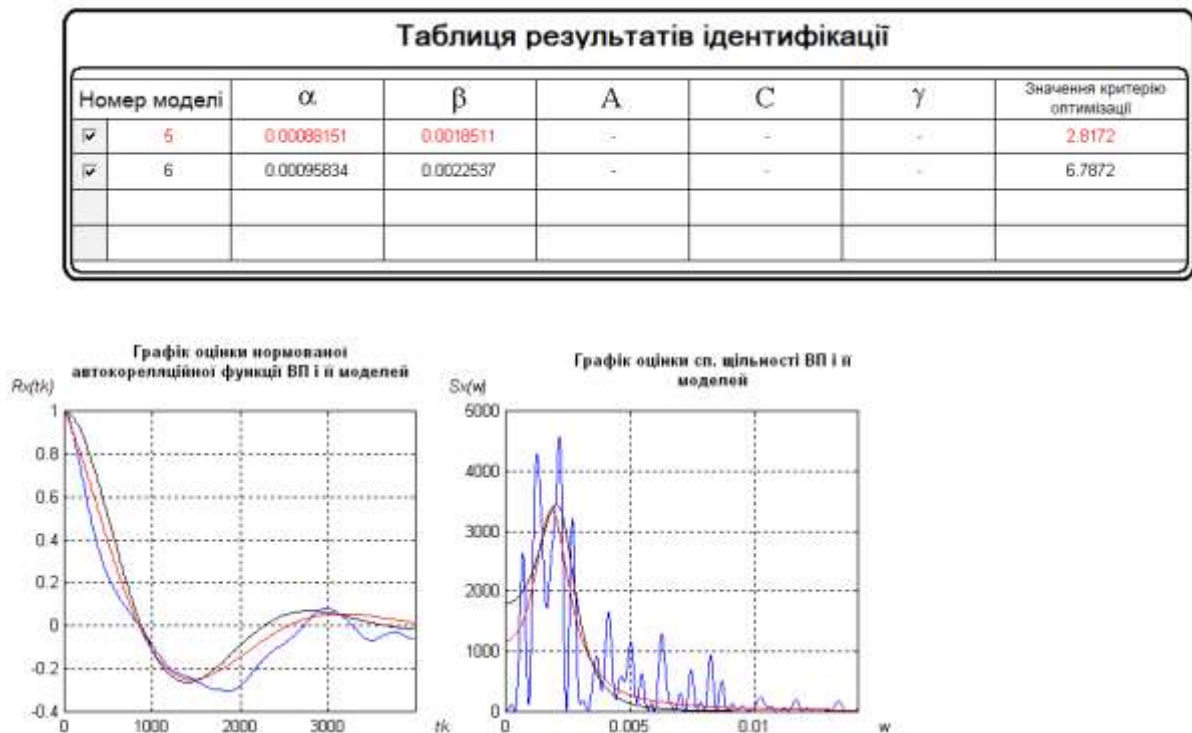


Рис. 2.14 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

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 « $u_{\text{п}} - T_{\text{ГВ}}$ », « $u_{\text{п}} - T_{\text{в}}$ » та « $T_{\text{ГВ}} - T_{\text{в}}$ » ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку. У розділі 2 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
« $u_{\text{п}} - T_{\text{ГВ}}$ »	$W_o(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-12,1p}}{8,8p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-7,5p}}{(6,3p + 1)^2}$
« $u_{\text{п}} - T_{\text{в}}$ »	$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-36,4p}}{17p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-28,3p}}{(11,9p + 1)^2}$
« $T_{\text{ГВ}} - T_{\text{в}}$ »	$W_o(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-17,5p}}{13,4p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-13,8p}}{(8,7p + 1)^2}$

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 2.2, 2.3 відповідно. Схема моделювання для каналів каналів « $u_{\text{п}} - T_{\text{ГВ}}$ », « $u_{\text{п}} - T_{\text{в}}$ » ОК наведені на рис. 2.1, 2.3 відповідно. Результати моделювання для каналів наведені на рис. 2.2, 2.4.

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані за каналом « u_{II} – $T_{ГВ}$ »

t, с	$T_{ГВ}$, °C	t, с	$T_{ГВ}$, °C	t, с	$T_{ГВ}$, °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_{II} – $T_{В}$ »

t, с	$T_{В}$, °C	t, с	$T_{В}$, °C	t, с	$T_{В}$, °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

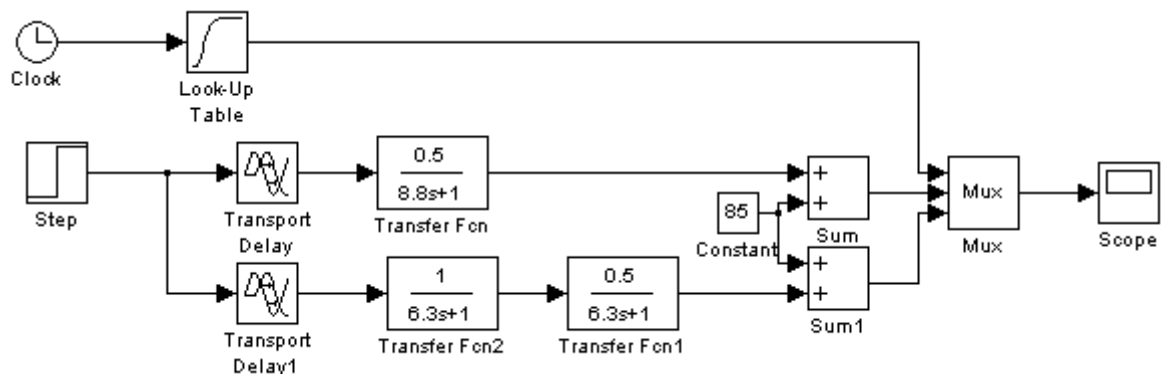


Рис. 2.15 – Схема моделювання ОК за каналом « u_{II} – $T_{ГВ}$ »

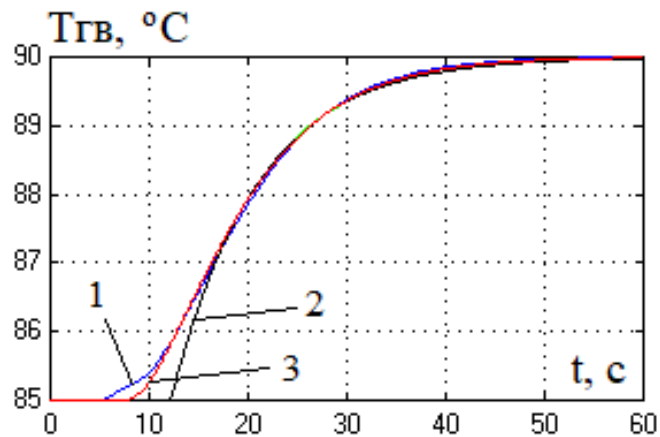


Рис. 2.16 – Результати моделювання ОК по каналу « u_{II} – $T_{ГВ}$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

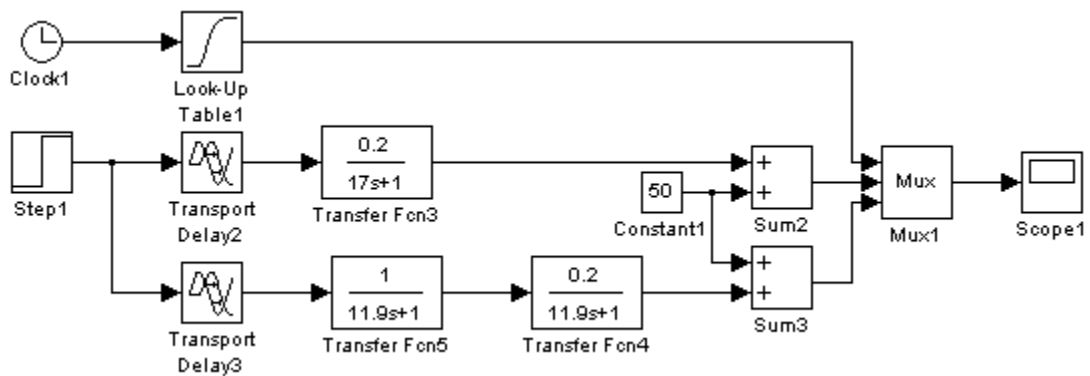


Рис. 2.17 – Схема моделювання ОК за каналом « u_{II} – $T_{В}$ »

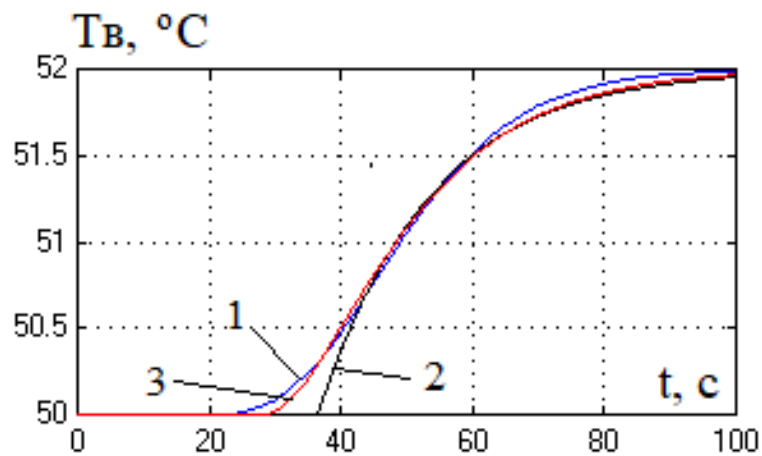


Рис. 2.18 – Результати моделювання ОК по каналу « u_{II} – $T_{В}$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

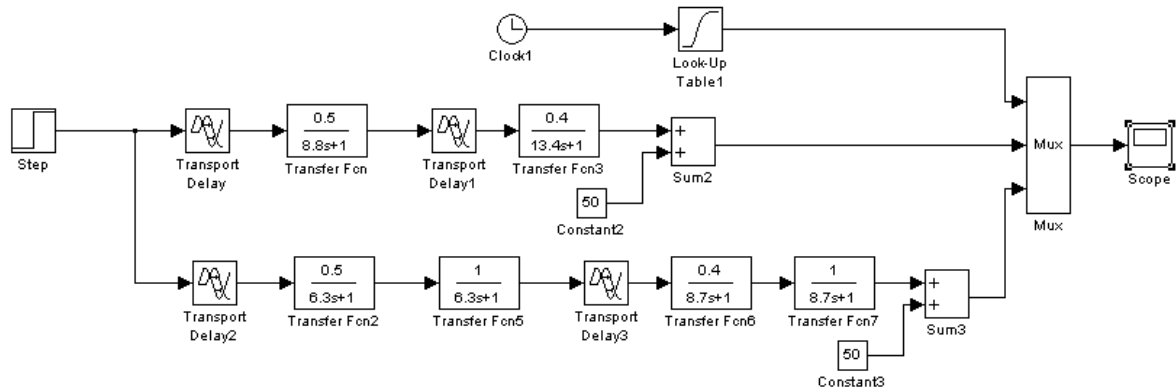


Рис. 2.19 – Схема моделювання ОК за каналом «Тгв – Тв»

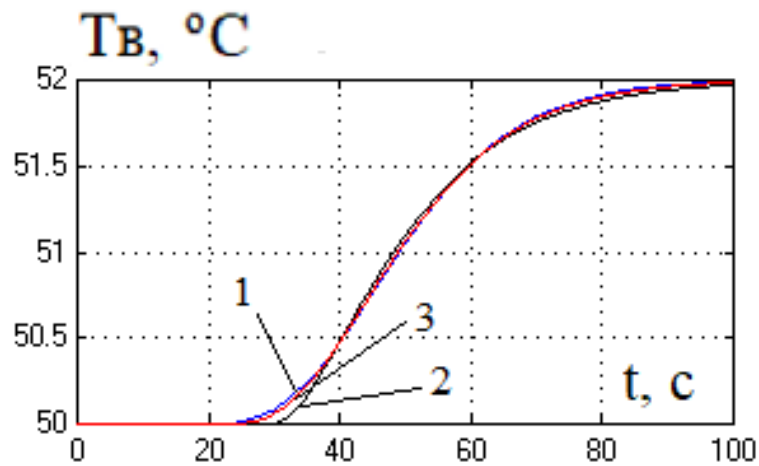


Рис. 2.20 – Результати моделювання ОК по каналу «Тгв – Тв»: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

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

Розробка схем моделювання каналів статички, отримання статичних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними статичними характеристиками.

Модель статичної характеристики за каналом « u_{Π} – Тгв»:

$$T_{гв} = 0,5 \cdot u_{\Pi} + 55$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel.

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

№ експерименту	$u_{\text{п}}$, %х.р.о.	$T_{\text{ГВ}}$, °С	Модель
1	40	75	75
2	50	80	80
3	60	85	85
4	70	90	90
5	80	95	95

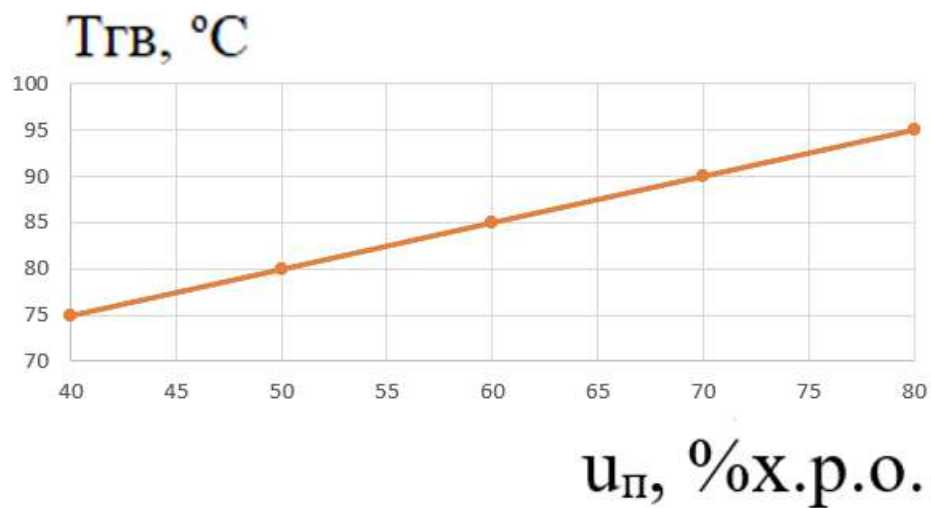


Рис. 2.21 – Результати розрахунків моделей статичних характеристик за каналом
« $u_{\text{п}}$ – $T_{\text{ГВ}}$ »

Модель статичної характеристики за каналом « $u_{\text{п}}$ – $T_{\text{ГВ}}$ »:

$$T_{\text{ГВ}} = 0,2 \cdot u_{\text{п}} + 38$$

Таблиця 2.6 – Результати розрахунків моделей статичних характеристик за каналом « u_{Π} – T_B »

№ експерименту	u_{Π} , %х.р.о.	T_B , °C	Модель
1	40	46	46
2	50	48	48
3	60	50	50
4	70	52	52
5	80	54	54

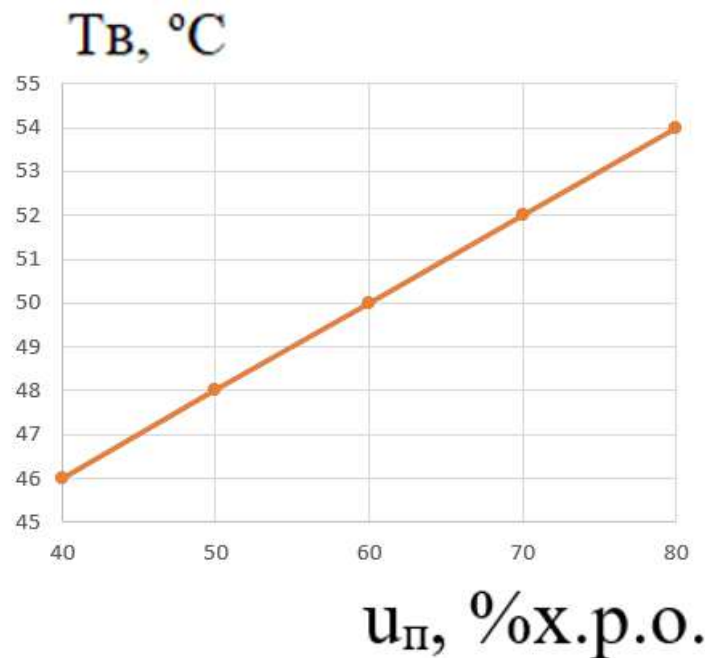


Рис. 2.22 – Результати розрахунків моделей статичних характеристик за каналом « u_{Π} – T_B »

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

$$T_B = 0,4 \cdot T_{ГВ} + 16$$

Таблиця 2.7– Результати розрахунку моделі статичної характеристики за каналом «Т_{ГВ} – Т_В»

№ експерименту	Т _{ГВ} , °С	Т _В , °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

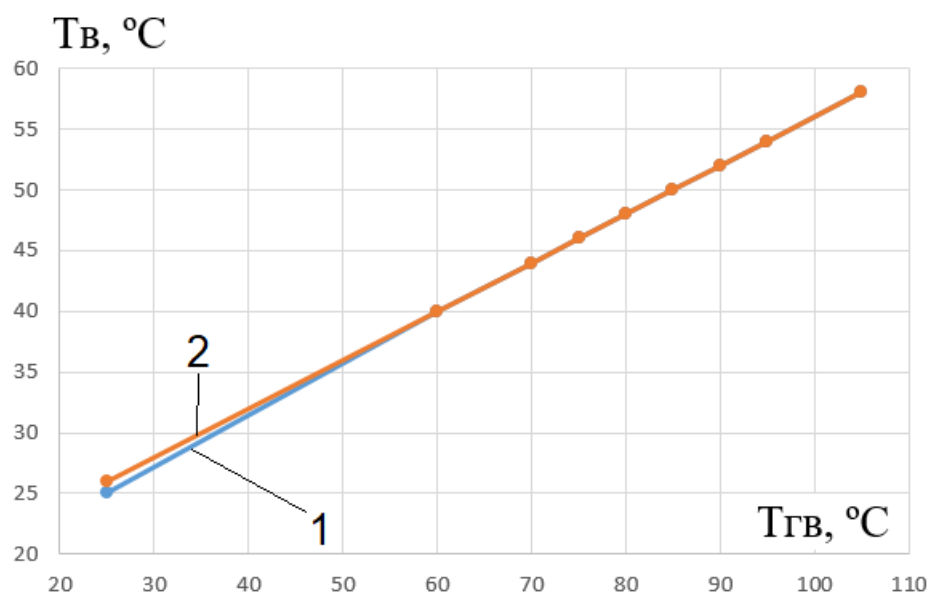


Рис. 2.23 – Результати розрахунку моделі статичної характеристики за каналом «Т_{ГВ} – Т_В»: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки і статички каналів ОК. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК, наведена на рис. 3.10, а результати моделювання – на рис. 3.11.

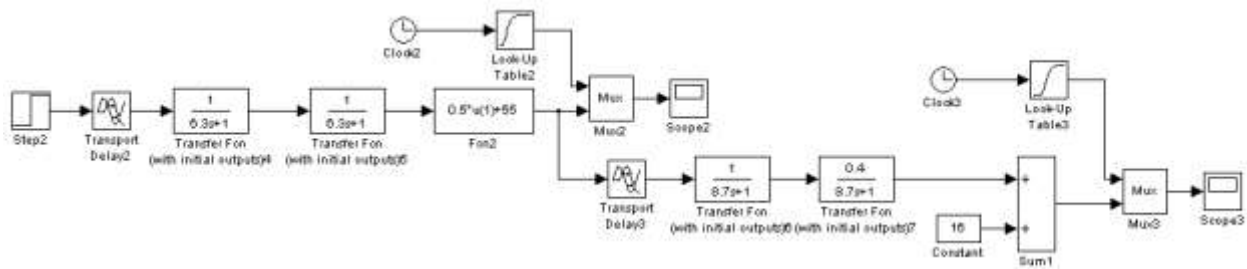


Рис. 2.24 – Схема моделювання повної моделі ОК

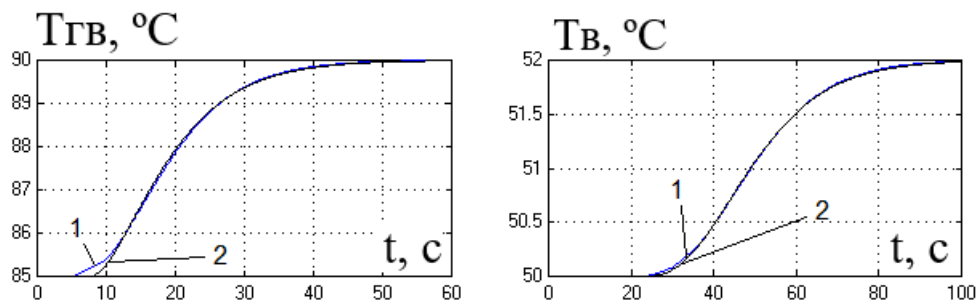


Рис. 2.25 – Результати реалізації повної моделі каналів ОК в середовищі

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.

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.

РОЗДІЛ 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.

Обґрунтування необхідності і доцільності автоматизації кожної з окремих завдань управління.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із завдань управління.

Для завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. 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, заданих. 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.

Формалізація вимог до гранично-припустимих статичних і динамічних відхилень регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних і динамічно сталих процесів і подання їх у формі регламентних зон регульованих змінних.

Відповідно до нормативів ведення технологічного процесу (див. табл. 2.1) температура виноматеріалу T_v має підтримуватися на рівні 50°C з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 2^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 150 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 4.1.

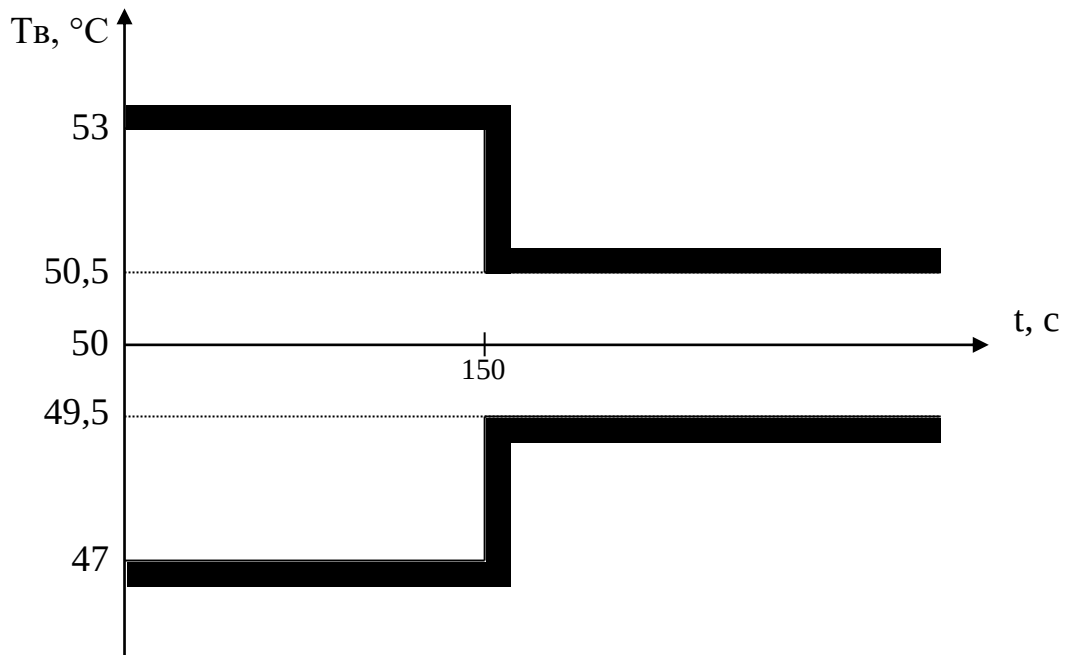


Рис. 3.1 – Регламентні зони для температури виноматеріалу T_v

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Відповідно до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.2), структурна схема САР температури вина технологічного процесу обробки виноматеріалу теплом матиме вигляд, наведений на рис. 5.1.

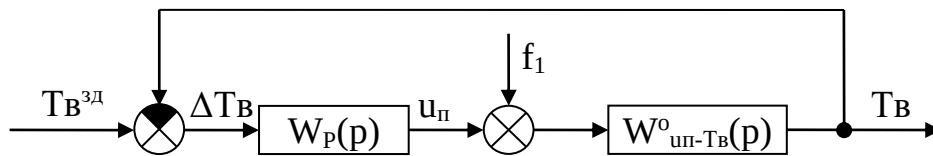


Рис. 3.2 – Структурна схема САР процесу обробки виноматеріалу теплом базової структури

На рисунку:

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

T_v – температура виноматеріалу;

$T_v^{здн}$ – задане значення температури виноматеріалу;

$\Delta\theta_v$ – помилка регулювання температури виноматеріалу;

f_1 – вектор неконтрольованого збурення;

$W_p(p)$ – передаточна функція регулятора температури виноматеріалу.

Вибір альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запис їх рівнянь і передаточних функцій.

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

Рівняння руху ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

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

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ІЗ}p} + T_{уП}p \right)$$

Розробка структурної схеми імітаційного моделювання САР при детермінованих та стохастичних входніх діях.

Схема моделювання САР с ПІ-регуляторами наведена на рис. 3.3, а с ПІД-регуляторами – на рис. 65.3. Схема моделювання ОК наведена на рис. 5.4.

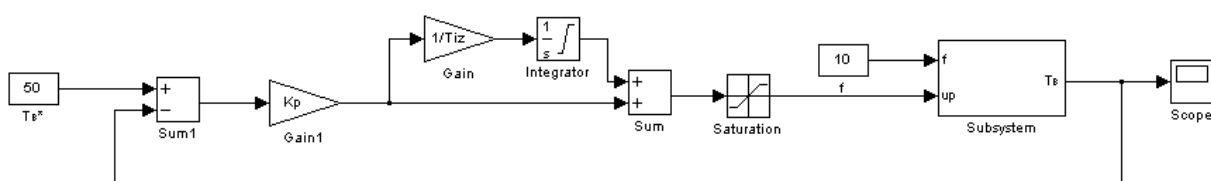


Рис. 3.3 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

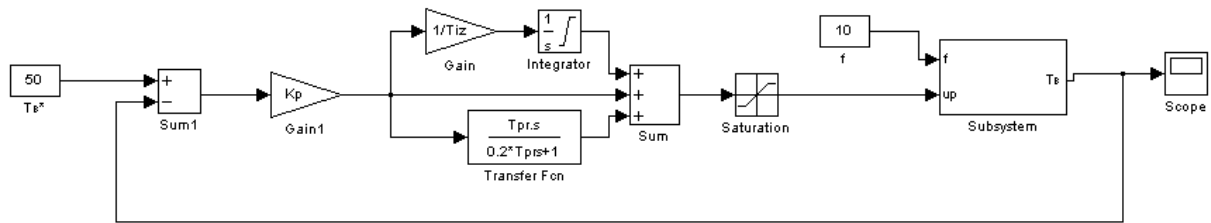


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регуляторами

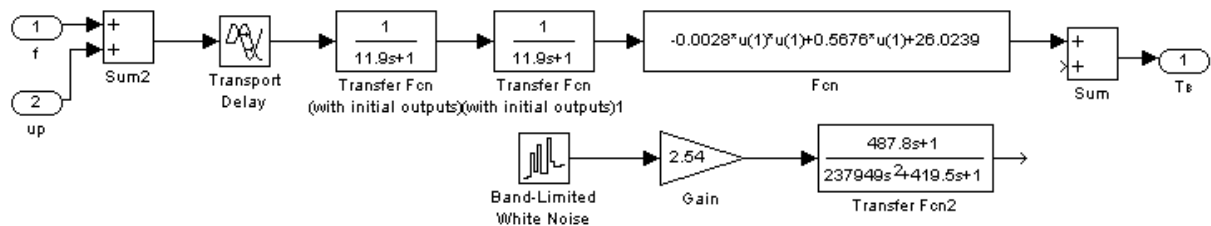


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання ОК

Параметричний синтез САР з різними варіантами типових алгоритмів регулювання і їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних дій

Вибір початкових наближень настроювальних параметрів 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:

$$K_P = 0,8 \cdot T_O / (K_O \cdot \tau_O) = 0,8 \cdot 17 / (0,2 \cdot 36,4) = 1,87 \% \text{х.р.о.} / ^\circ\text{C};$$

$$T_{I3} = 2,5 \cdot \tau_O = 2,5 \cdot 36,4 = 91 \text{ с.}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_P = 1,0 \cdot T_O / (K_O \cdot \tau_O) = 1,0 \cdot 17 / (0,2 \cdot 36,4) = 2,34 \% \text{х.р.о.} / \%;$$

$$T_{I3} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 36,4 = 72,8 \text{ с};$$

$$T_{y\Pi} = 0,5 \cdot \tau_O = 0,5 \cdot 36,4 = 18,2 \text{ с.}$$

Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання для детермінованих (ступінчастих) вхідних діях.

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 5.5. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 5.6.

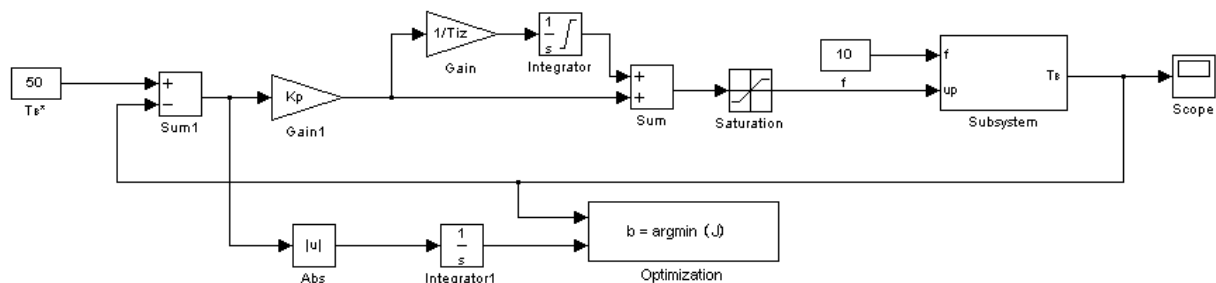
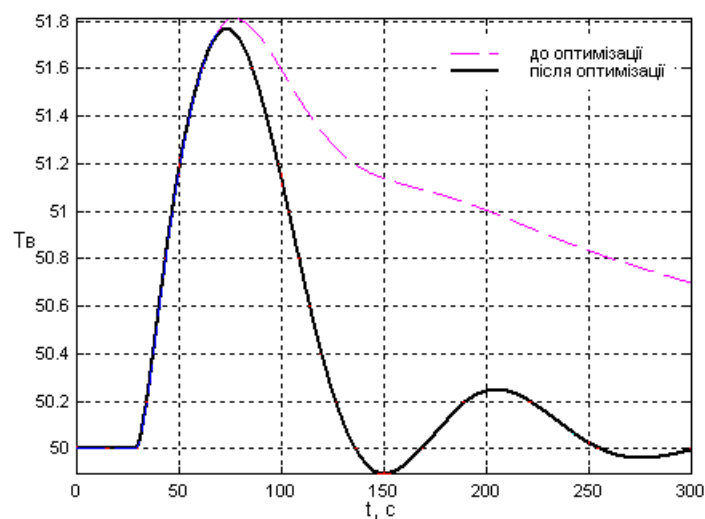


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора



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
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1200
					фактична - 79

Рис. 3.7 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1– Результатів порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_{\text{В}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ПП}}, \text{с}$	
до оптимізації	1,81	392	297,8
після оптимізації	1,77	116,7	123,05

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 7.7. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.8.

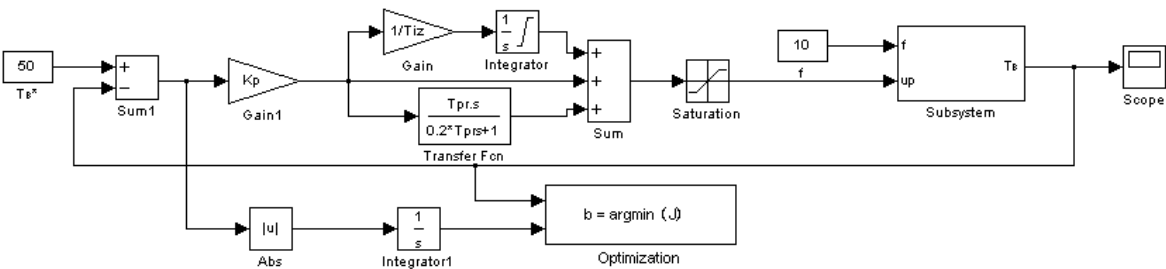
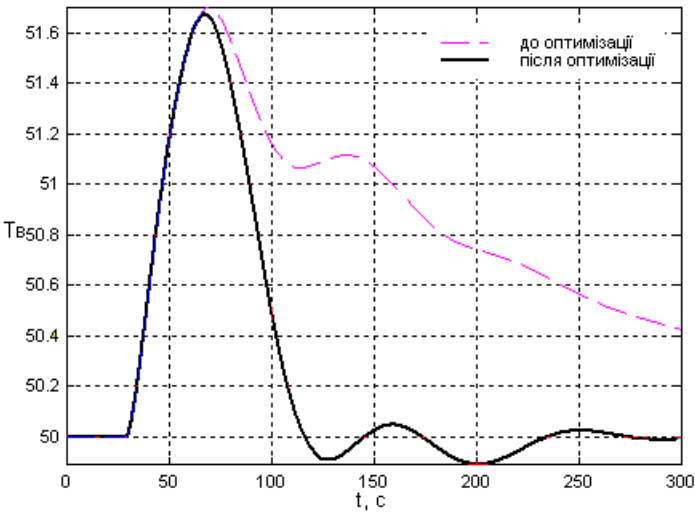


Рис. 3.8 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



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

Рис. 3.9 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

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

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

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_{\text{В}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}}, \text{с}$	
до оптимізації	1,7	270	241,9
після оптимізації	1,67	99,9	87,3

Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.9. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.10 і в таблиці 3.3.

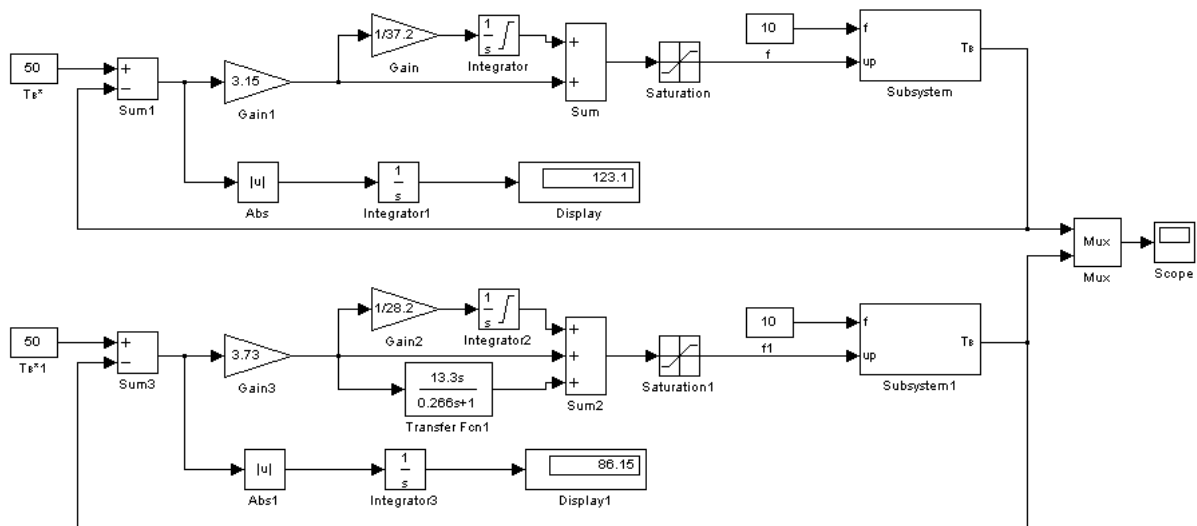


Рис. 3.10 – Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

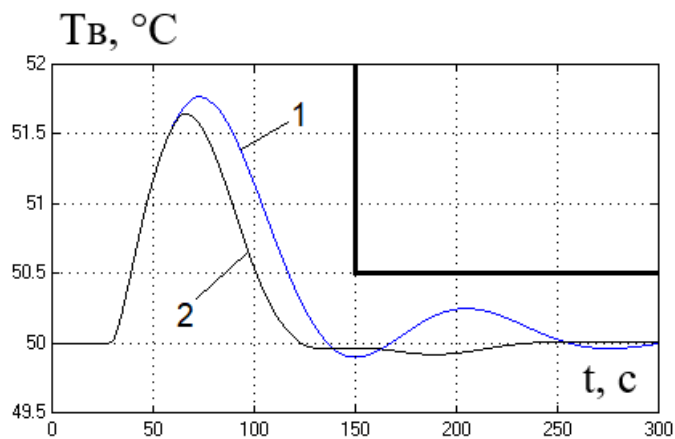


Рис. 3.11 – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.3– Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_{\text{в}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}}, \text{c}$	
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.

Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК

Вибір параметрів ОК, по який доцільно оцінити грубість САР, значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки грубості.

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 $10\% \text{х.р.о.}$ Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором на грубість наведені вище на рис. 3.5 та 3.7.

Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та

показниками, для яких встановлено гранично-припустимі значення.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.11, а САР з ПД-регулятором – на рис. 5.12. Як видно з результатів, САР з ПІ-регуляторами та з ПД-регулятором є грубими.

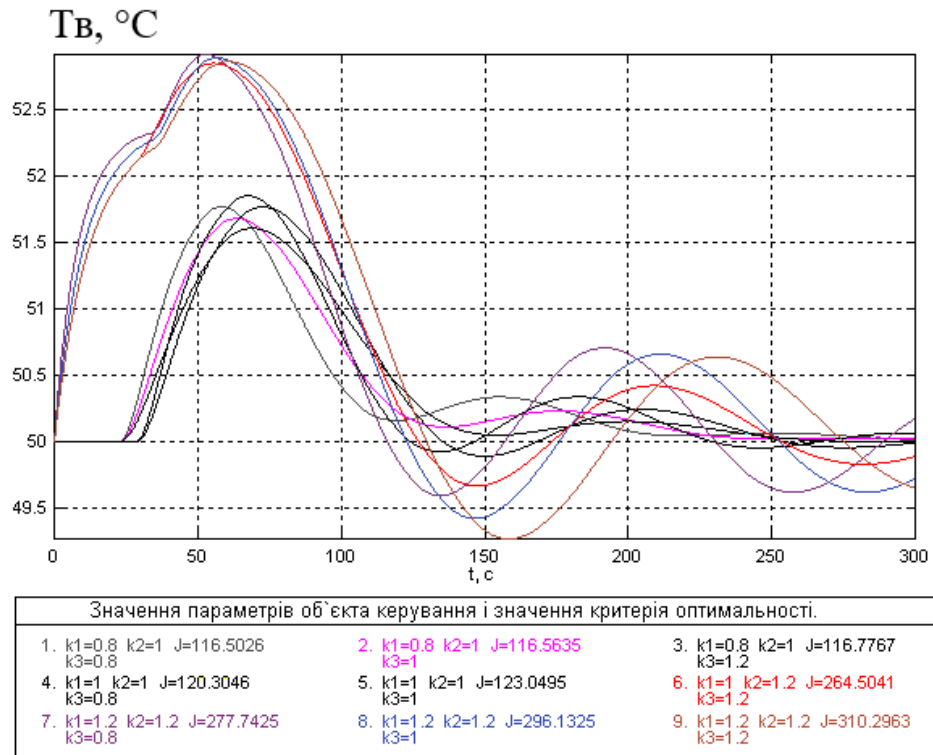


Рис. 3.12 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором

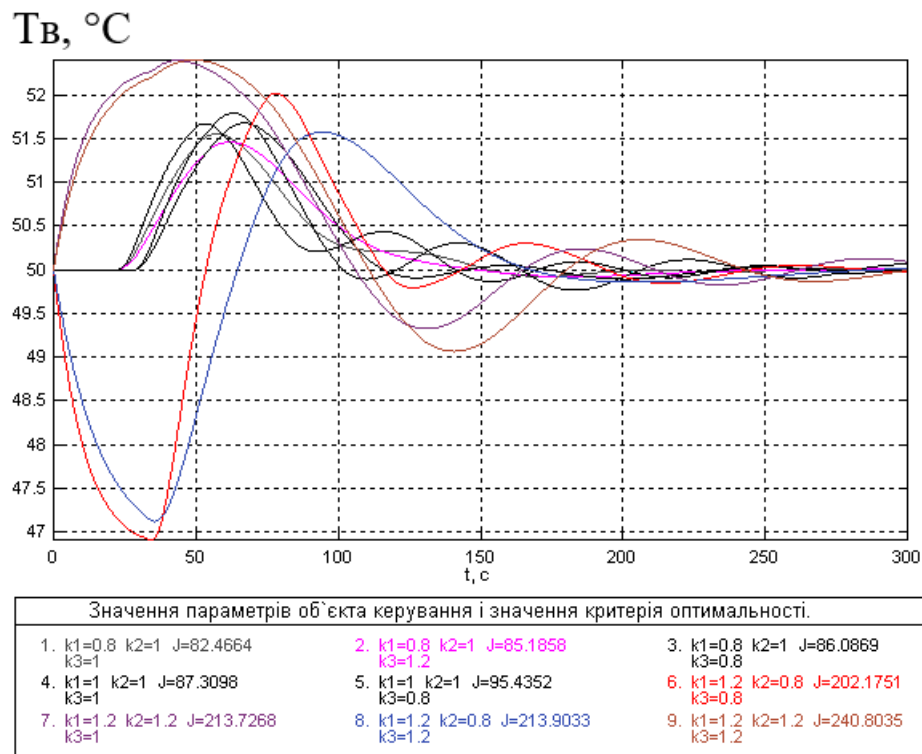


Рис. 3.13 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором

Вибір з розглянутих сполучень параметрів ОР найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для керування.

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. 3.13. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.14 і зведено в таблицю

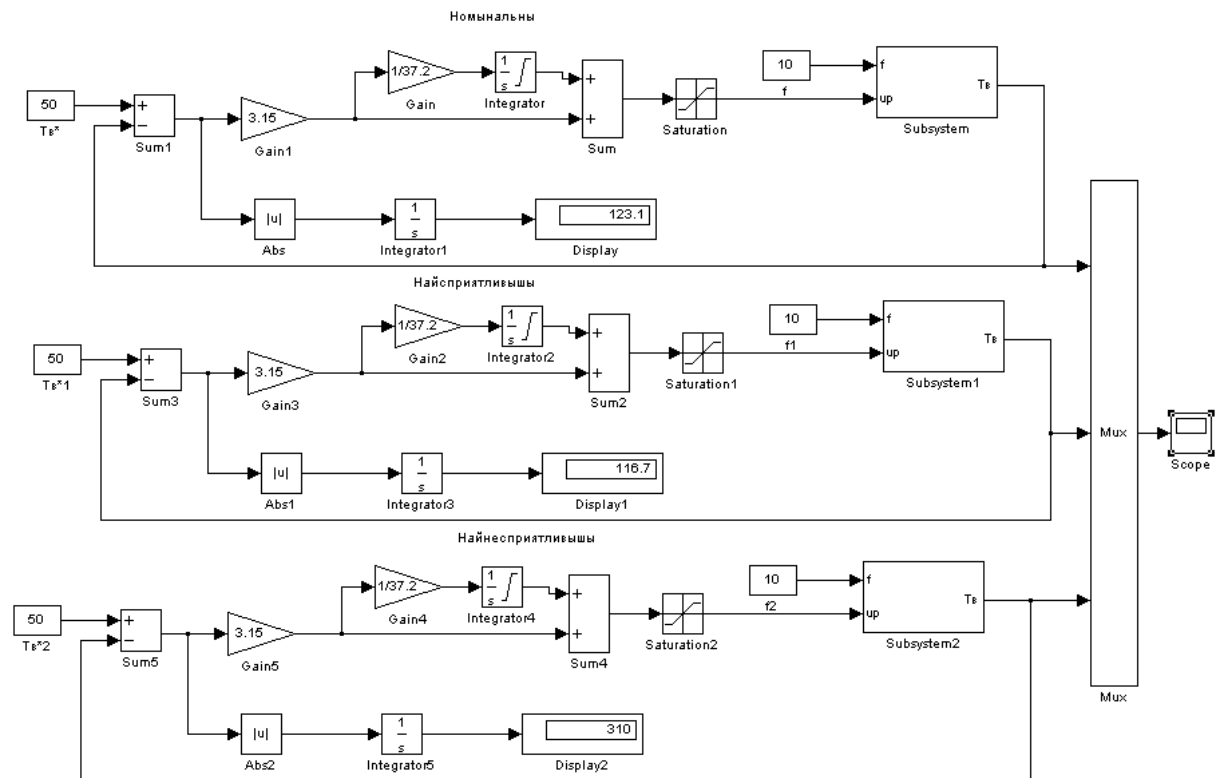


Рис. 3.14 – Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором

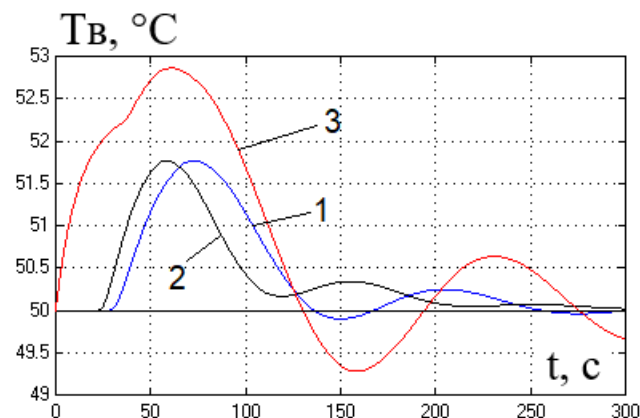


Рис. 3.15 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.4 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_{\text{В}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}}, \text{с}$	
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. 5.15. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 5.16 і зведено в таблицю 5.5.

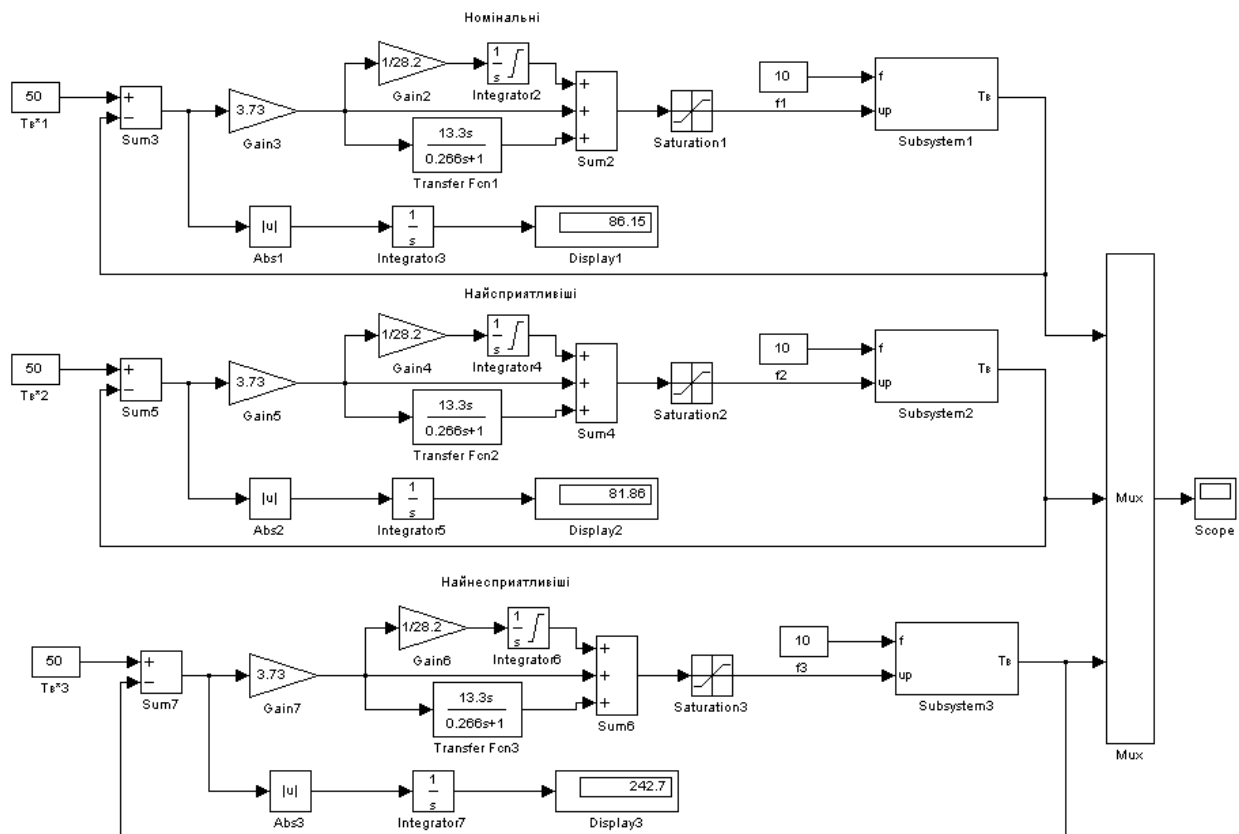


Рис. 3.16 – Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для

порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

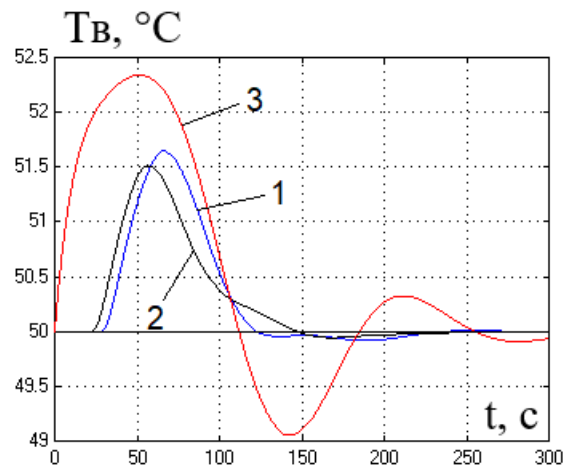


Рис. 3.17 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПД-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.5– Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПД-регулятором

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

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 τ_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.

Розробка структурної схеми САР і формулювання умов, що забезпечують необхідні властивості 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. 3.18.

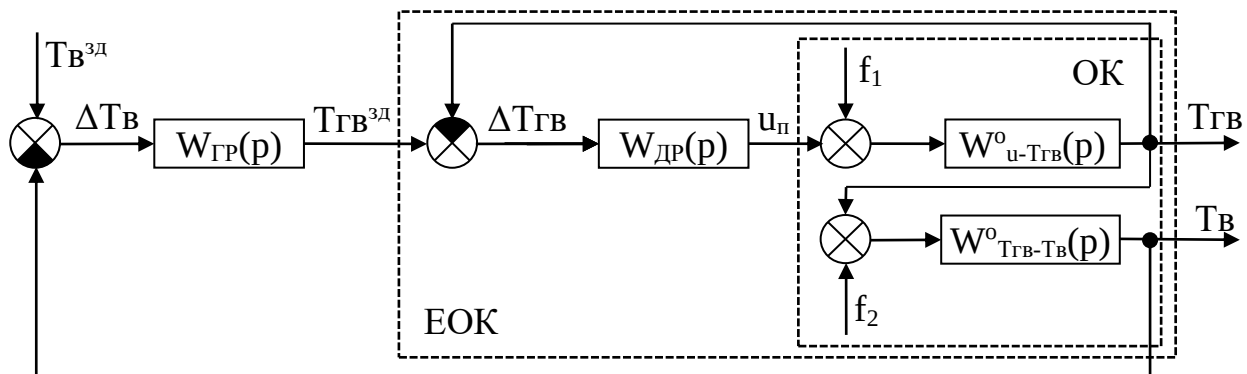


Рис. 3.18 – Структурна схема каскадної САР температури виноматеріалу

На схемі

ОК – об'єкт керування;

ЕОК – еквівалентний об'єкт керування;

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

$W^o_{T_{ГВ}-Тв}(p)$ – передаточна функція ОК за каналом « $T_{ГВ} - Тв$ »;

$W_{ДР}(p)$ – 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_v – температура виноматеріалу, °С;

ΔT_v – помилка регулювання температури виноматеріалу, °С;

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

u_n – 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 та головного регуляторів.

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

$$W_{u_n - T_{ГВ}}^o(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-12,1p}}{8,8p + 1}$$

В якості допоміжного регулятора оберемо ПІ-закон регулювання.

Передаточна функція ПІ-регулятора:

$$W_{ДР}(p) = K_{ДР} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ІЗДР}p} \right)$$

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

ПІ-регулятор:

$$K_{ДР} = \frac{0,8 \cdot T_o}{K_n \cdot \tau_n} = \frac{0,8 \cdot 8,8}{0,5 \cdot 12,1} = 1,16 \text{ \%х.р.о./}^\circ\text{C}$$

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

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

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

Для ІІІ-регулятора

$$K_{\text{ТГВ}^{\text{зд}}-\text{ТГВ}}^{\text{С}} = 1$$

$$K_{\text{ЕОК}} = K_{\text{ТГВ}^{\text{зд}}-\text{ТГВ}}^{\text{С}} \cdot K_{\text{ТГВ}-\text{ТВ}}^{\text{О}} = 1 \cdot 0,4 = 0,4$$

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

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

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

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

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

Передаточна функція ЕОК матиме вигляд:

$$W_{\text{ЕОК}}(p) = \frac{K_{\text{ЕОК}} \cdot e^{-\tau_{\text{ЕОК}} p}}{T_{\text{ЕОК}} p + 1} = \frac{0,4 \cdot e^{-29,6 p}}{17,8 p + 1}$$

Параметри головного регулятора:

$$K_{\text{ГР}} = \frac{1,0 \cdot T_{\text{ЕОК}}}{K_{\text{БРК}} \cdot \tau_{\text{ЕОК}}} = \frac{1,0 \cdot 17,8}{0,4 \cdot 29,6} = 1,5 \text{ \%х.р.о./}^{\circ}\text{С}$$

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

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

Розробка структурної схеми імітаційного моделювання та параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності.

Схема моделювання каскадної САР, якщо допоміжний регулятор ІІ, матиме вигляд, наведений на рис. 6.2. Результати оптимізації налаштувань ІІ- та ПІД-регуляторів – на рис. 6.3.

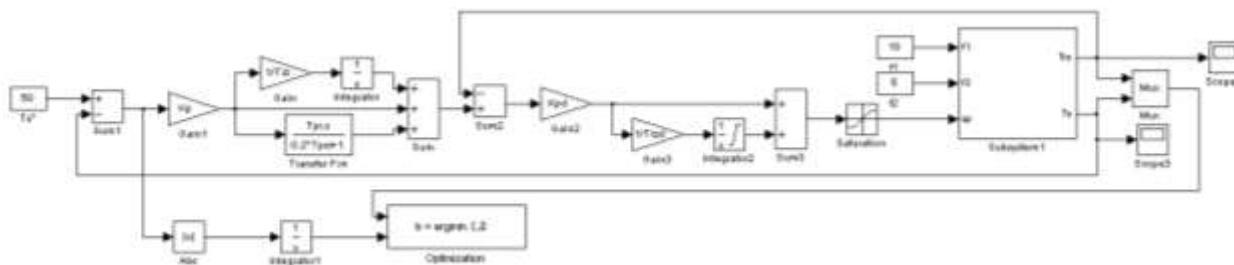
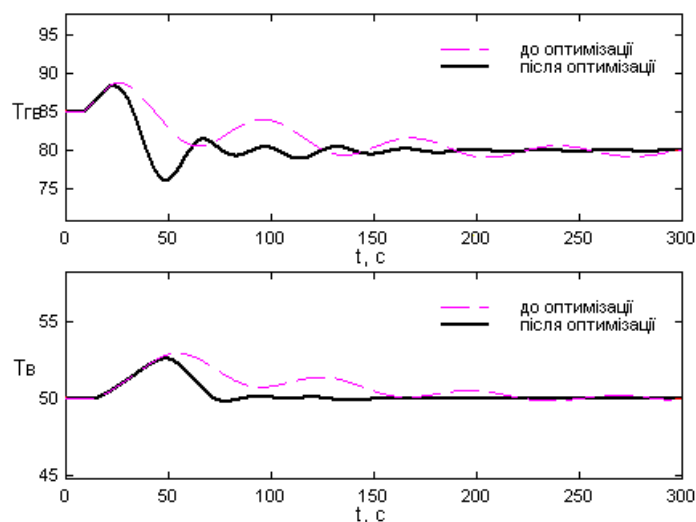


Рис. 3.19 – Схема моделювання каскадної САР



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kp	1.6937	0	1.5	10	до - 219.9918
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. 3.20 – Результати оптимізації регуляторів каскадної САР

Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкту регулювання

Вибір параметрів ОУ, по який доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки грубості.

САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме, часів запізнення в каналах $ОК \pm 20\%$.

Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведені на рис. 6.4. Як видно з результатів оцінки

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

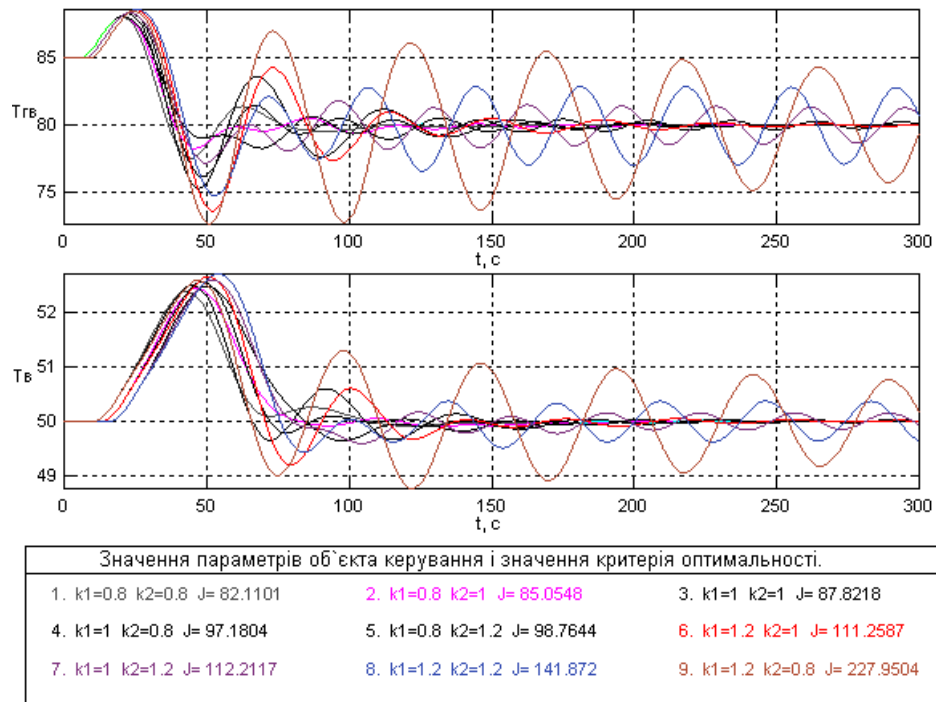


Рис. 3.21 – Результати перевірки каскадної САР на грубість

Порівняльний аналіз САР базової структури та підвищеної динамічної точності

Для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.2. Результати порівняння наведені на рис. 3.22 і в таблиці

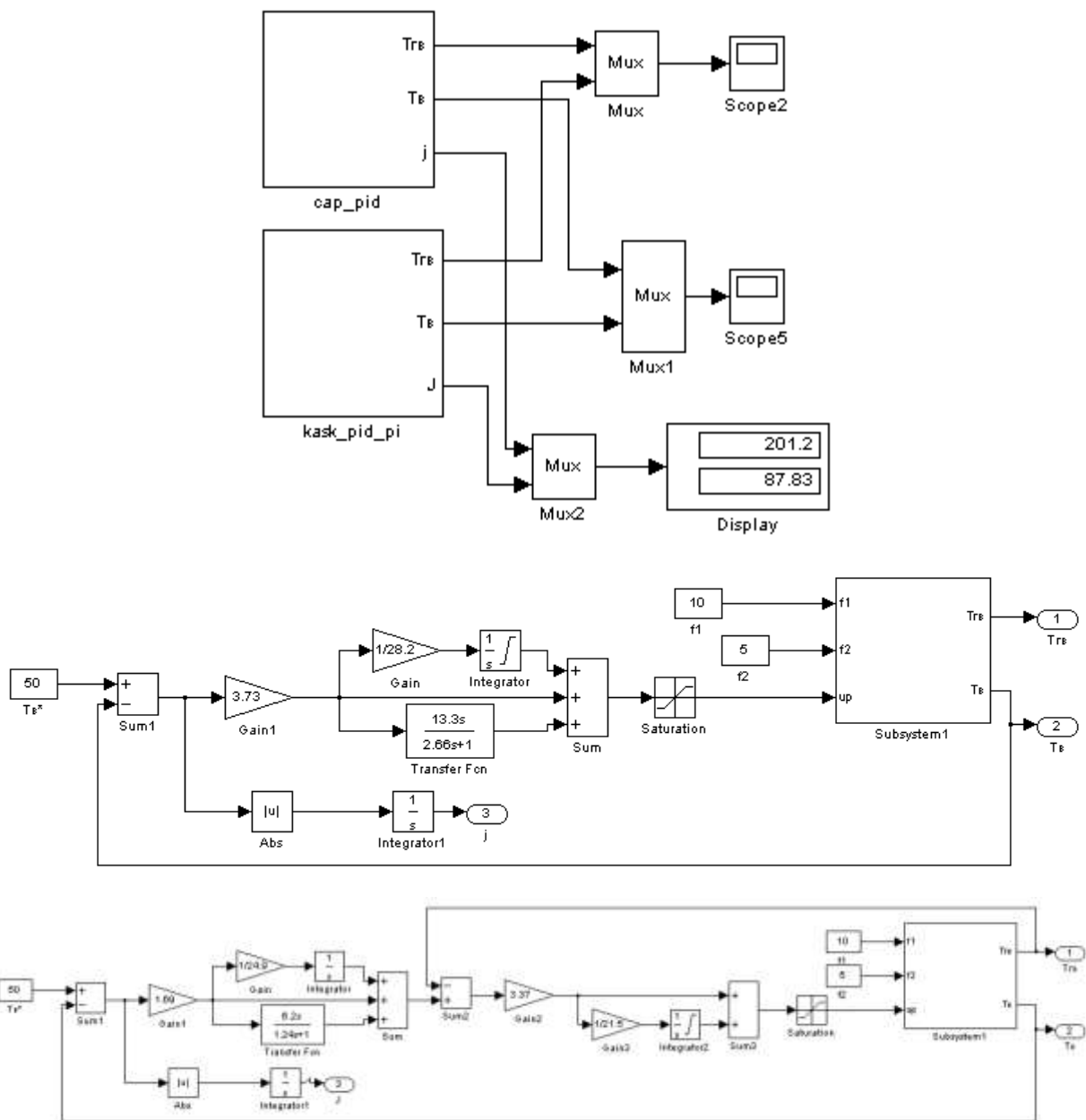


Рис. 3.22 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи САР базової структури і САР каскадної структури

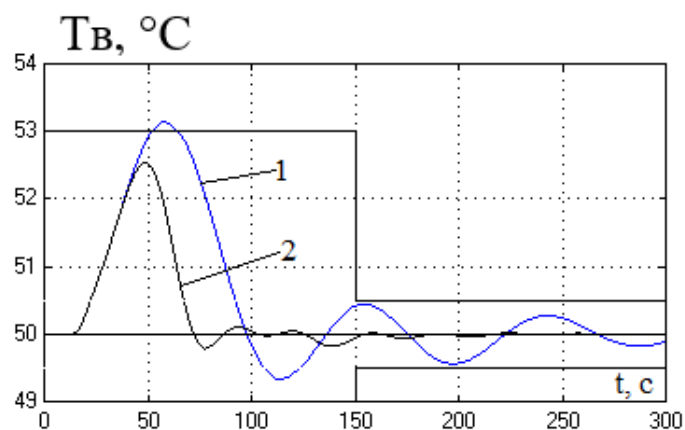


Рис. 3.23 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури (1) і САР каскадної структури (2)

Таблиця 3.5 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

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

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.

РОЗДІЛ 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 введенням в експлуатацію теплообмінник перевіряється на герметичність, після чого промивається содовим розчином протягом 10...15 хвилин, ополіскується водою та стерилізується шляхом пропускання гарячої води температурою 85°C упродовж 30 хвилин. Подача вина здійснюється безпосередньо в розігрітий апарат, що дозволяє скоротити час виходу на робочий режим. З метою запобігання пригорянню нагрівання обов'язково припиняється за відсутності продукту в апараті.

Технологічна зупинка ініціюється припиненням подачі вина до установки. Залишки продукту витісняються з системи водою, після чого установка промивається гарячою водою протягом 5 хвилин.

До переліку нештатних ситуацій належать: недогрівання або перегрівання вина, відсутність тиску продукту в трубопровідній системі, а також відсутність вина у вхідному збірнику.

У разі недогрівання продукт автоматично направляється на рециркуляцію. Якщо відновлення температури не відбувається протягом 150 секунд, система ініціює зупинку установки.

У разі перегрівання подача пари до установки відсікається. Аналогічно, якщо температура не нормалізується впродовж 150 секунд, виконується аварійна зупинка.

За відсутності вина у вхідному збірнику автоматично виконується технологічна зупинка ділянки.

За відсутності тиску вина в системі продуктопроводів подача пари негайно перекривається.

Технологічна схема ділянки теплової обробки вина, що відображає всі функції логічного керування, наведена на рис. 4.1.

Наявна схема автоматизації реалізує функції логічного керування в автоматичному режимі лише частково: автоматично забезпечується лише перенаправлення недопастеризованого продукту на рециркуляцію, тоді як решта функцій логічного керування виконуються в дистанційному режимі.

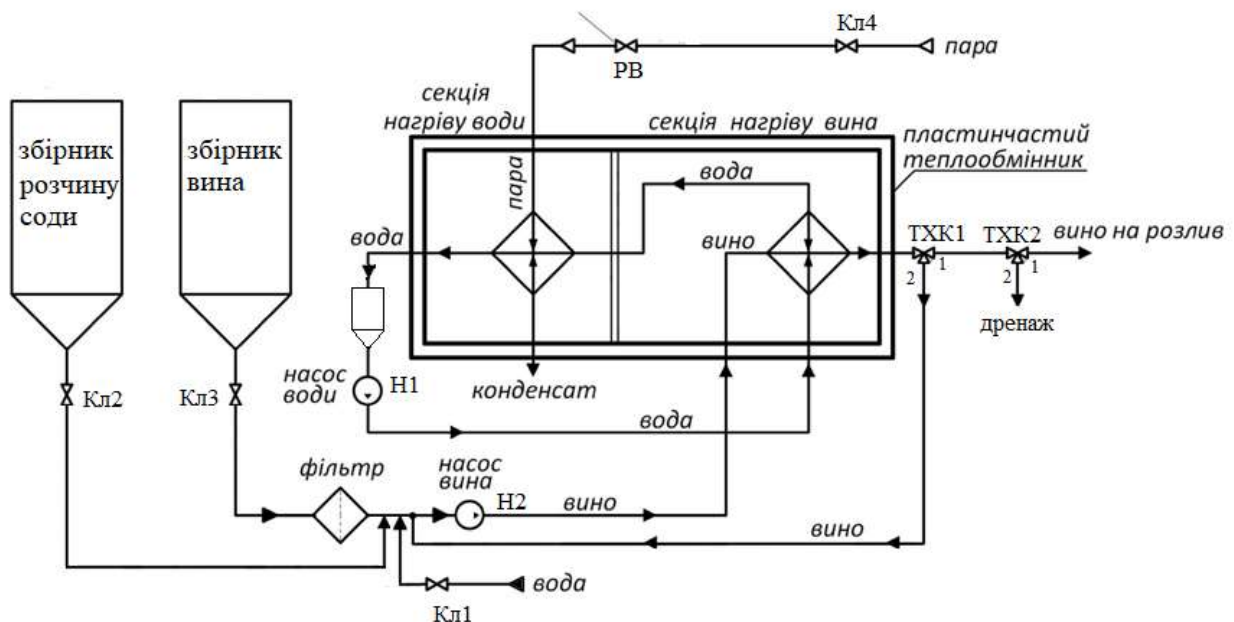


Рис. 4.1 – Технологічна схема ділянки обробки вина теплом для можливості реалізації функцій логічного керування

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

Технологічний пуск ділянки виконується у визначеній послідовності. Спочатку перевіряються всі необхідні передпускові умови та подається звуковий попереджувальний сигнал. Після цього продуктопроводи установки заповнюються водою, яка відводиться у дренаж, — таким чином здійснюється перевірка системи на герметичність.

На наступному етапі установка заповнюється миючим розчином і в режимі рециркуляції промивається протягом 10 хвилин. Після завершення промивання миючий розчин зливається в дренаж, система ополіскується чистою водою впродовж 5 хвилин, а потім проводиться стерилізація гарячою водою тривалістю 30 хвилин. При цьому ополіскування виконується зі зливом води в дренаж, тоді як стерилізація — у режимі рециркуляції.

Для забезпечення стерилізації в системі обігрівання організовується примусова циркуляція води, а до секції підігріву подається гріюча пара. Після завершення стерилізаційного циклу гаряча вода зливається в дренаж, і установка заповнюється технологічним продуктом.

Блок-схема регламенту функціонування установки в режимі технологічного 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.

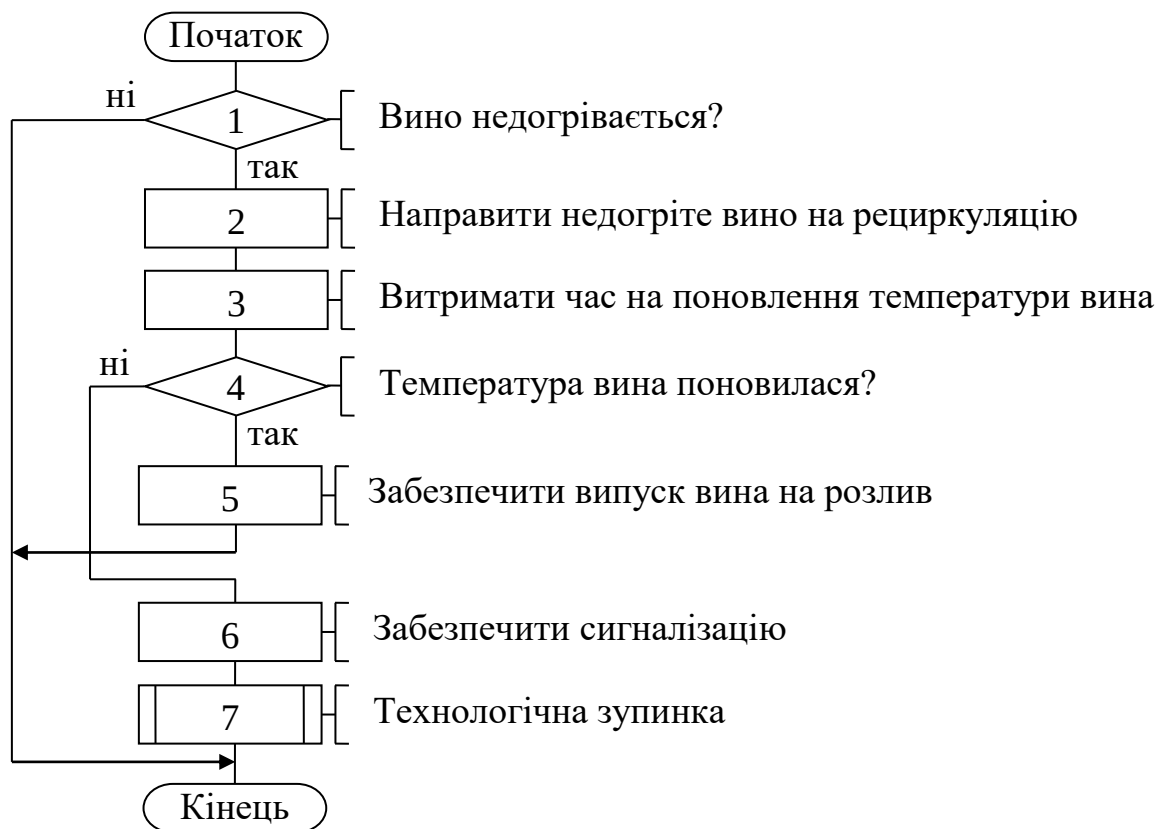


Рис. 4.4 – Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина,

У разі перегрівання вина подача пари до установки автоматично перекривається. Якщо впродовж 150 секунд температура продукту знижується до регламентованого значення, подача пари відновлюється і установка продовжує роботу в штатному режимі. У випадку, коли температура не нормалізується в межах відведеного часу, система ініціює зупинку установки. Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина, наведена на рис. 4.5.

За умови відсутності вина у вхідному збірнику або у разі засмічення фільтра автоматично виконується 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.

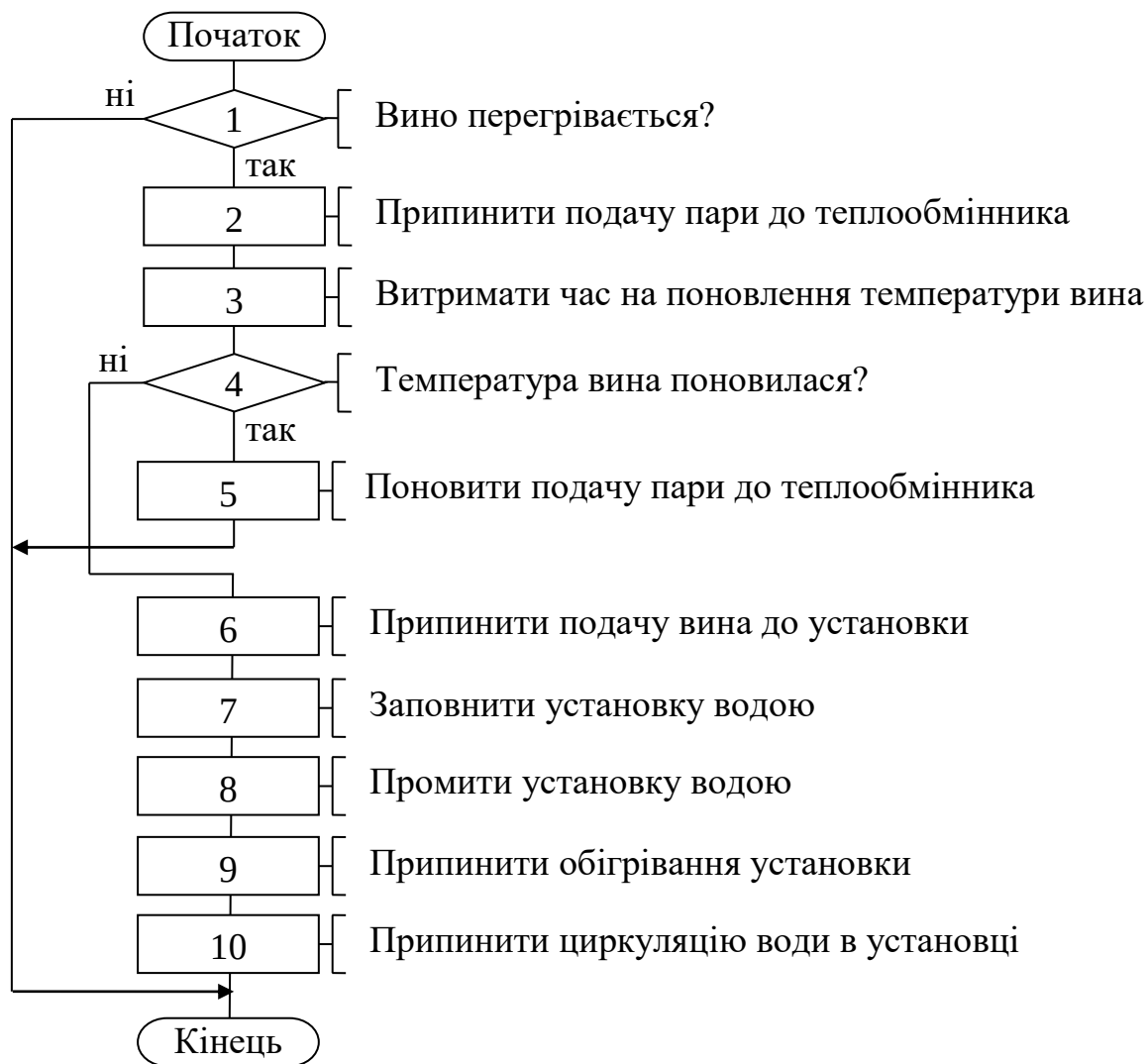


Рис. 4.5 – Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина,

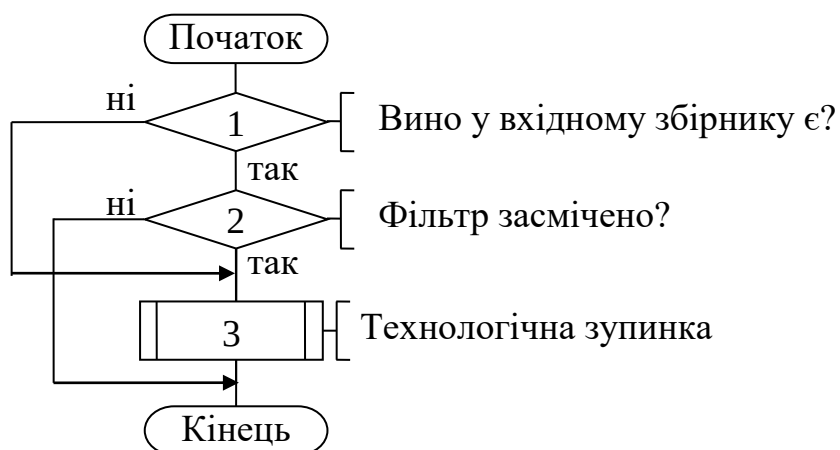


Рис. 4.6 – Блок-схема регламенту функціонування установки при відпрацюванні нештатної ситуації, пов'язаної з відсутністю вина у входному збірнику або засміченні фільтра

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

Відповідно до регламенту (рис. 4.2), введення установки в експлуатацію виконується згідно з алгоритмом автоматичного логічного керування, наведеним на рис. 4.7.

Передпускова перевірка охоплює п'ять обов'язкових умов: достатній рівень вина у збірнику ($L_v > PP?$), рівень води у збірнику системи обігріву ($L_{гв} > PP?$), рівень миючого розчину у відповідному збірнику ($L_{рс} > PP?$), наявність необхідного тиску пари в паропроводі ($P_p > P_{pmin}?$) та тиску води у водопроводі ($P_v > P_{vmin}?$). Невиконання хоча б однієї з перелічених умов призводить до завершення алгоритму без продовження пуску. За умови виконання всіх вимог подається передпусковий звуковий сигнал тривалістю 30 секунд.

Для заповнення продуктопроводів установки водою спочатку організовується рециркуляція шляхом переведення триходового клапана ТХК1 у положення 2. Після цього відкривається клапан подачі води КЛ1 та вмикається насос Н2. Перевірка герметичності системи здійснюється контролем робочого тиску в продуктопроводі ($P_{впр} > P_{вроб}?$).

Для промивання установки миючим засобом подача води припиняється закриттям клапана КЛ1, натомість відкривається клапан подачі миючого засобу КЛ2. Відведення розчину в дренаж забезпечується переведенням клапана ТХК1 у положення 1 та ТХК2 — у положення 2. Промивання виконується з витримкою часу 10 хвилин.

Для подальшого ополіскування системи клапан КЛ2 закривається, знову відкривається клапан подачі води КЛ1, після чого витримується пауза тривалістю 5 хвилин. Завершальним кроком підготовчого циклу є запуск насоса Н1 для організації примусової циркуляції гарячої води в системі обігріву.

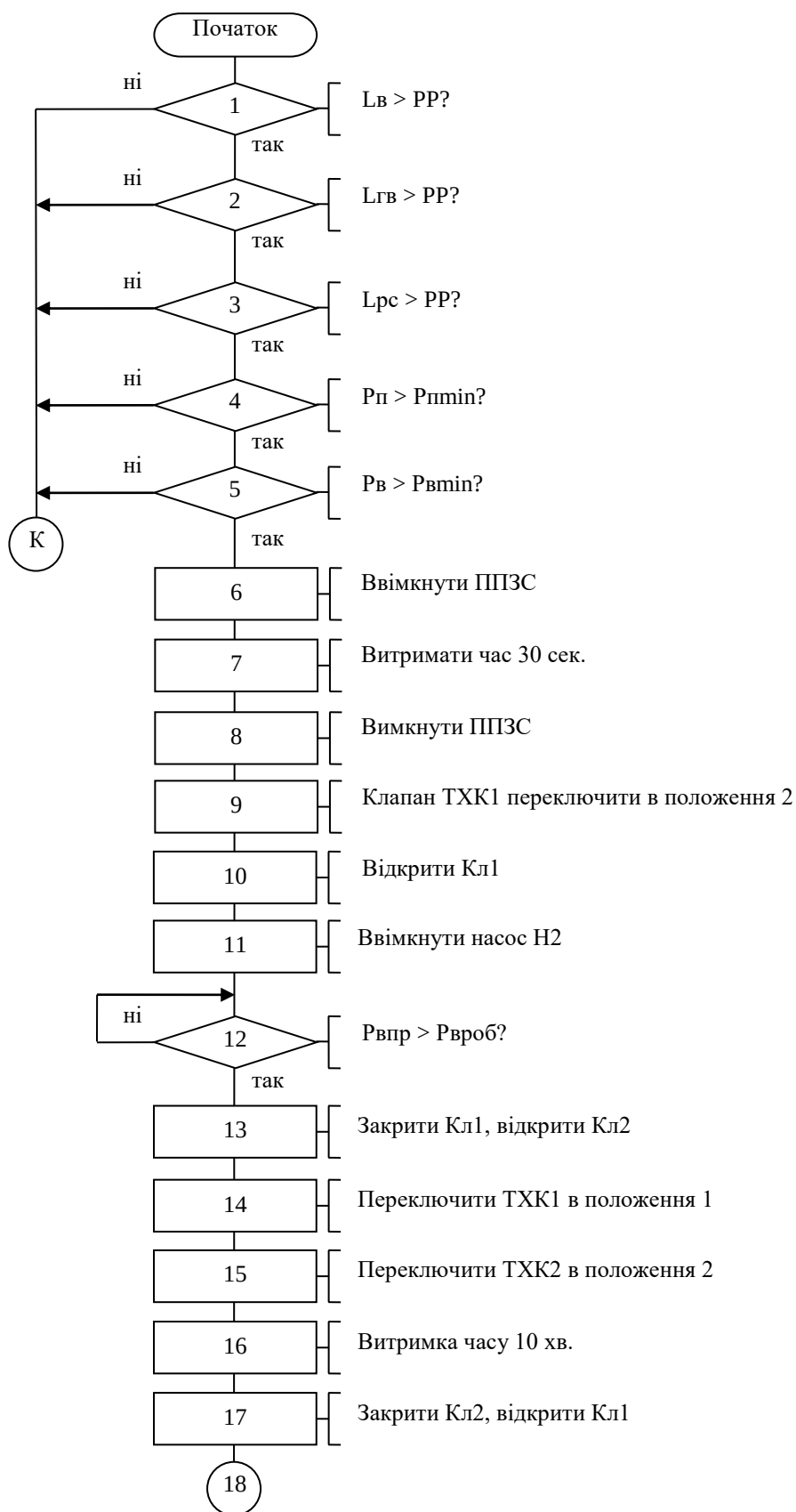


Рис. 4.7 – Блок-схема алгоритму автоматичного логічного керування установкою обробки вина теплом в режимі автоматичного пуску



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

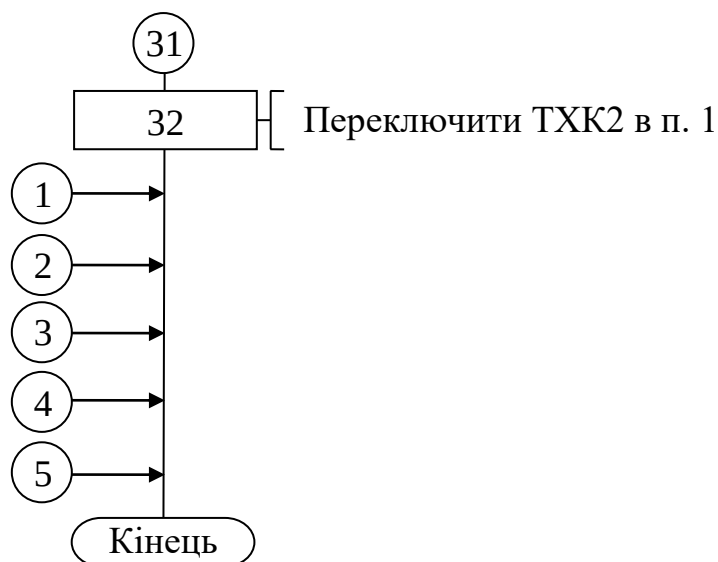


Рис. 4.7 (закінчення) – Блок-схема алгоритму автоматичного логічного керування установкою обробки вина теплом в режимі автоматичного пуску

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 $49,5^{\circ}\text{C}$ ($T_v > 49,5^{\circ}\text{C}$?) 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.

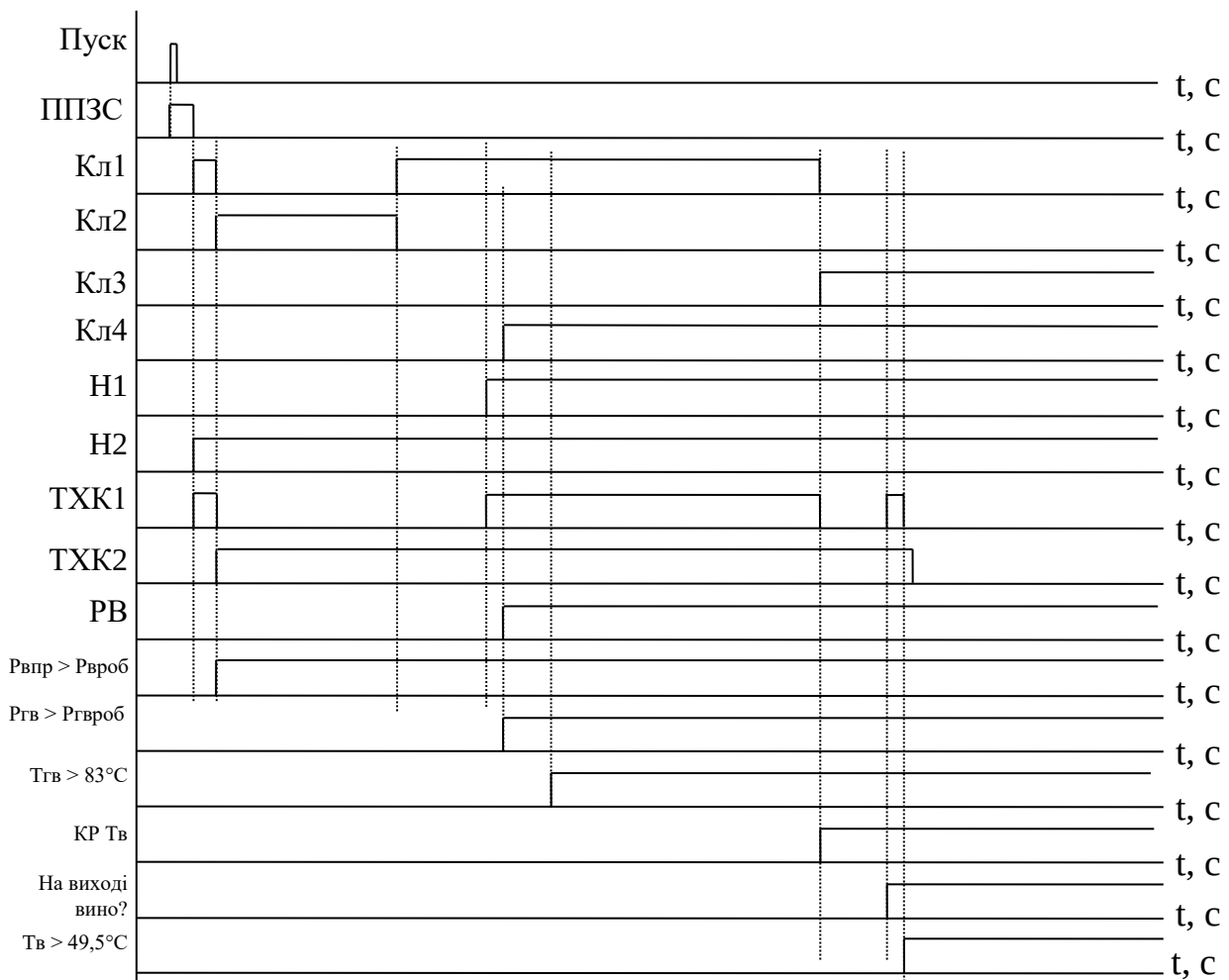


Рис. 4.8 – Циклограма процесу автоматичного пуску ділянки в роботу

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.

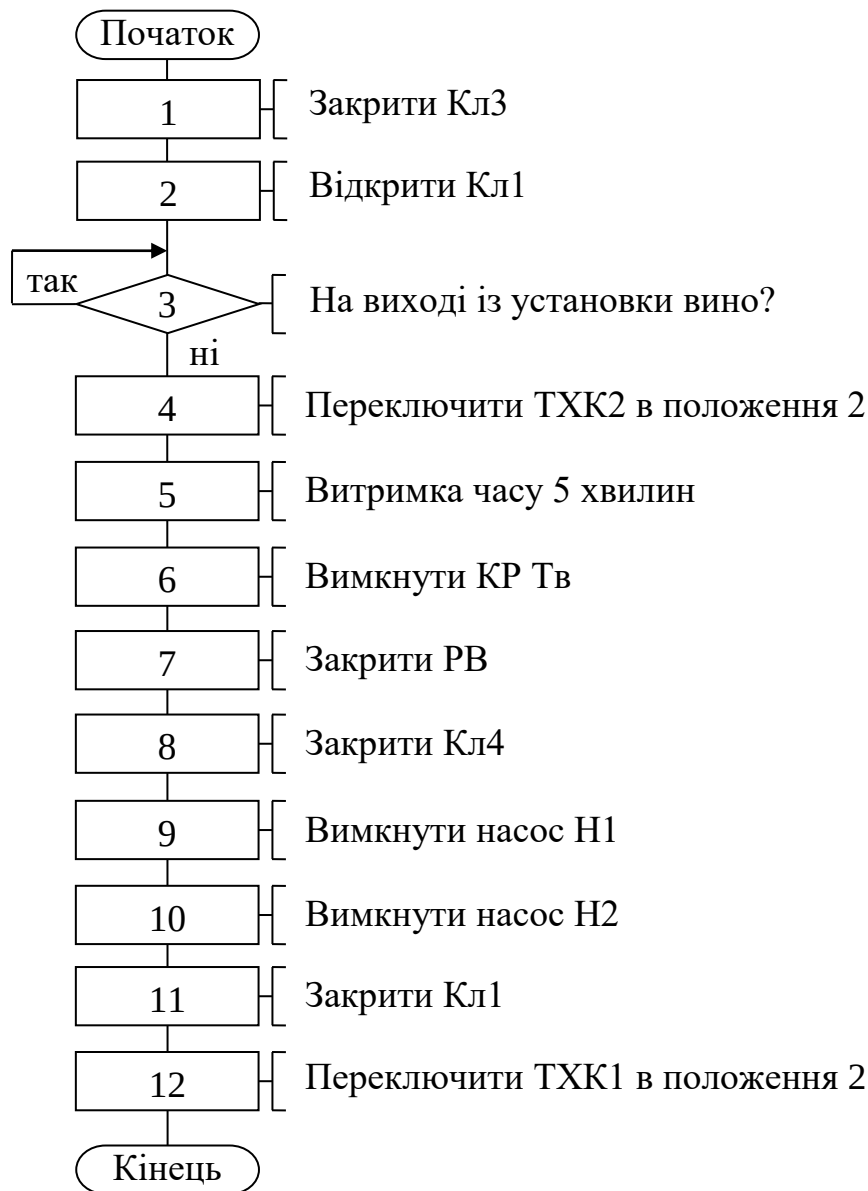


Рис. 4.9 – Блок-схема алгоритму автоматичного логічного керування установкою обробки вина теплом в режимі технологічної зупинки

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.

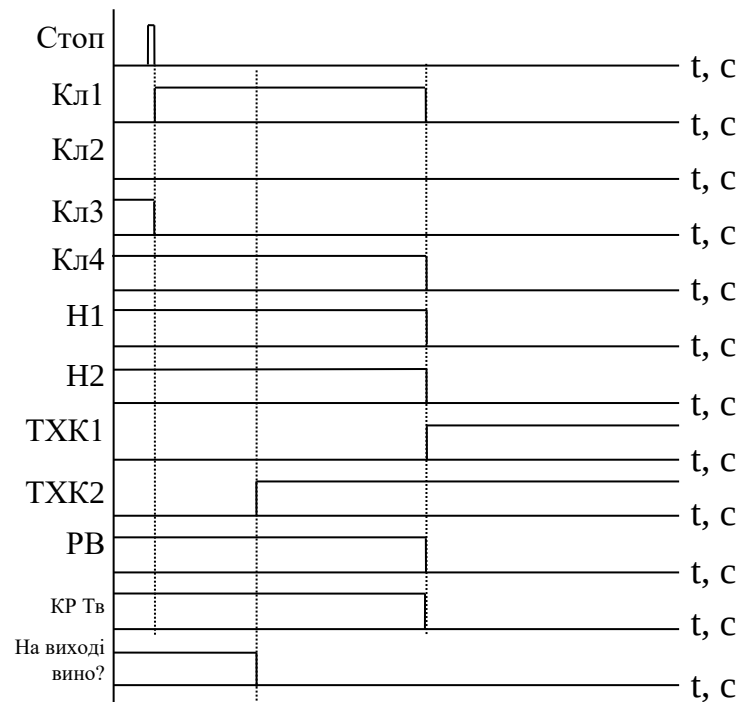


Рис. 4.10 – Циклограма процесу автоматичної технологічної зупинки

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°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°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.

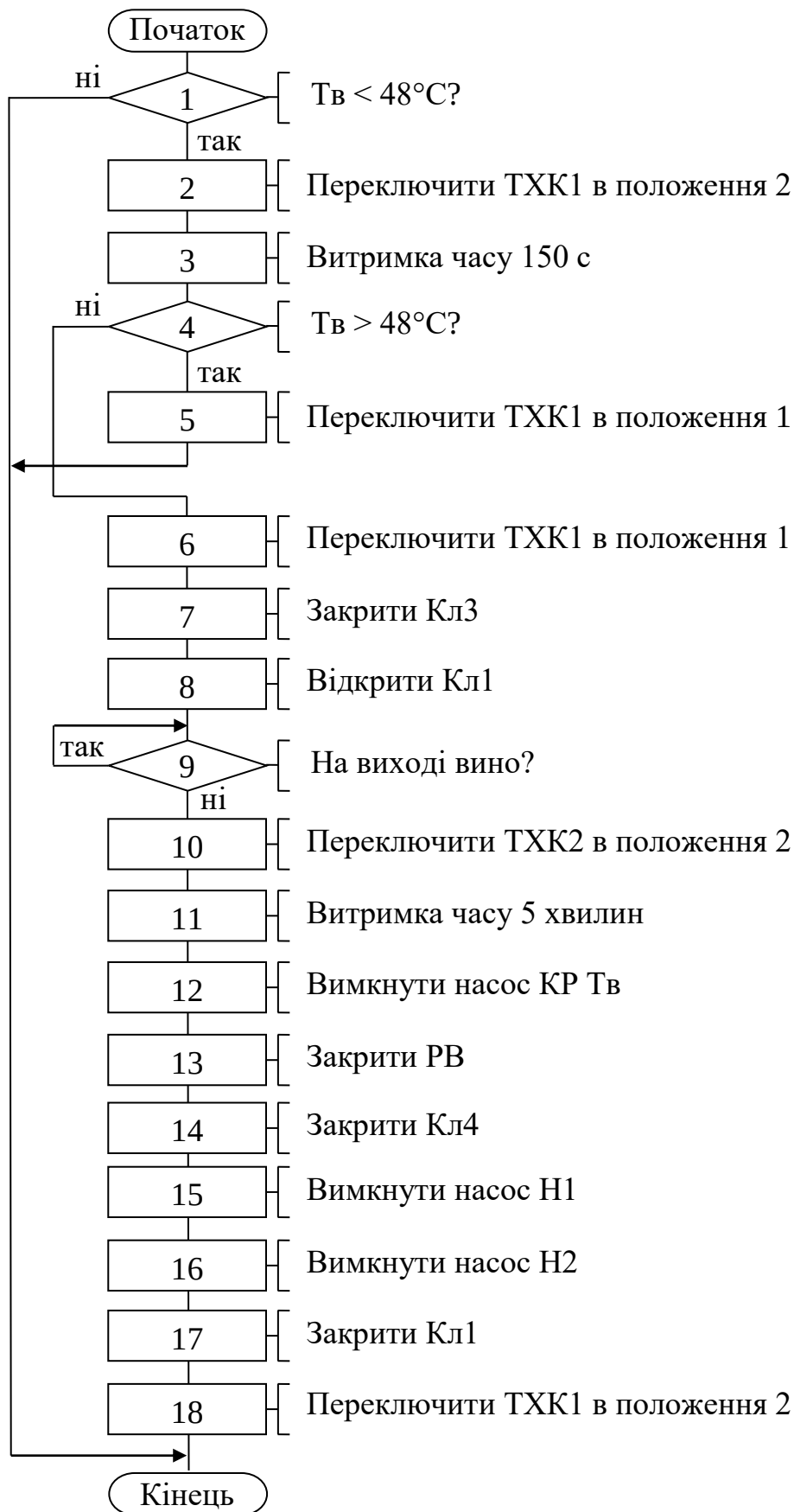


Рис. 4.11 – Блок-схема алгоритму автоматичного керування відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина

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 КЛЗ, 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.

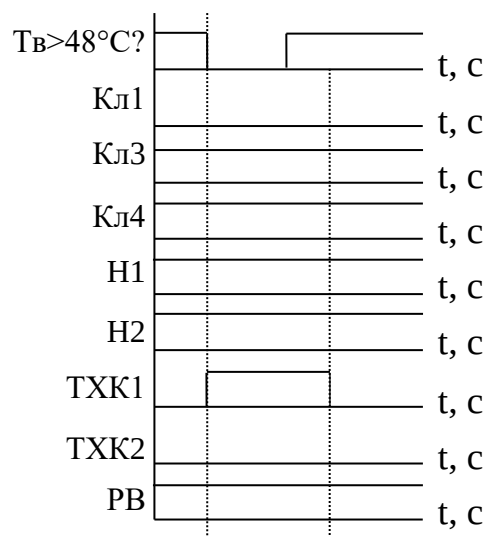


Рис. 4.12 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина, при поновленні температури вина

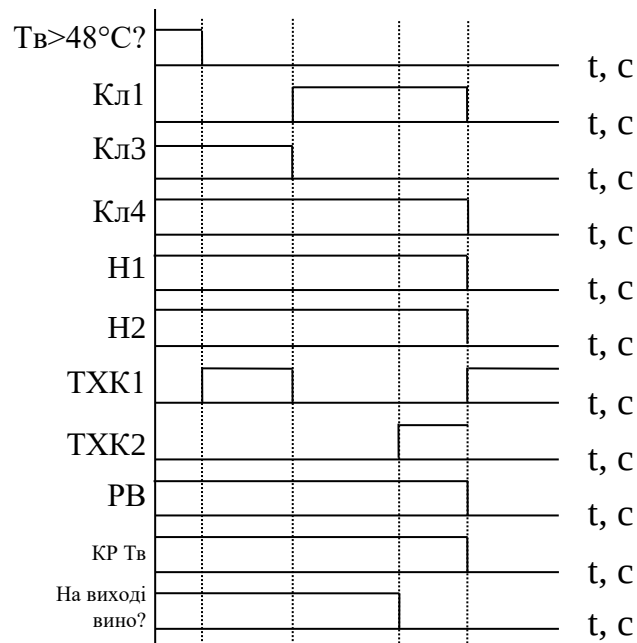


Рис. 4.13 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина, при невдалому поновленні температури вина

Відповідно до регламенту (рис. 4.5), відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина, виконується згідно з алгоритмом автоматичного логічного керування, наведеним на рис. 4.14.

Факт перегрівання фіксується у момент, коли температура вина перевищує порогове значення 53°C . При виявленні цієї нештатної ситуації подача пари до теплообмінника негайно перекривається шляхом закриття клапана Кл4. Після цього відраховується витримка часу тривалістю 150 секунд, протягом якої очікується зниження температури вина нижче встановленого порогу.

Якщо впродовж зазначеного часу температура вина опускається нижче 53°C , подача пари до теплообмінника відновлюється — відкривається клапан Кл4. Нештатна ситуація вважається відпрацьованою, і установка повертається до штатного режиму роботи.

У разі, якщо після закінчення 150 секунд температура не нормалізувалась, розпочинається процедура зупинки ділянки. подача вина до установки припиняється закриттям клапана Кл3, після чого відкривається клапан подачі води Кл1. Вода, що надходить до системи, витісняє залишки вина з продуктопроводів.

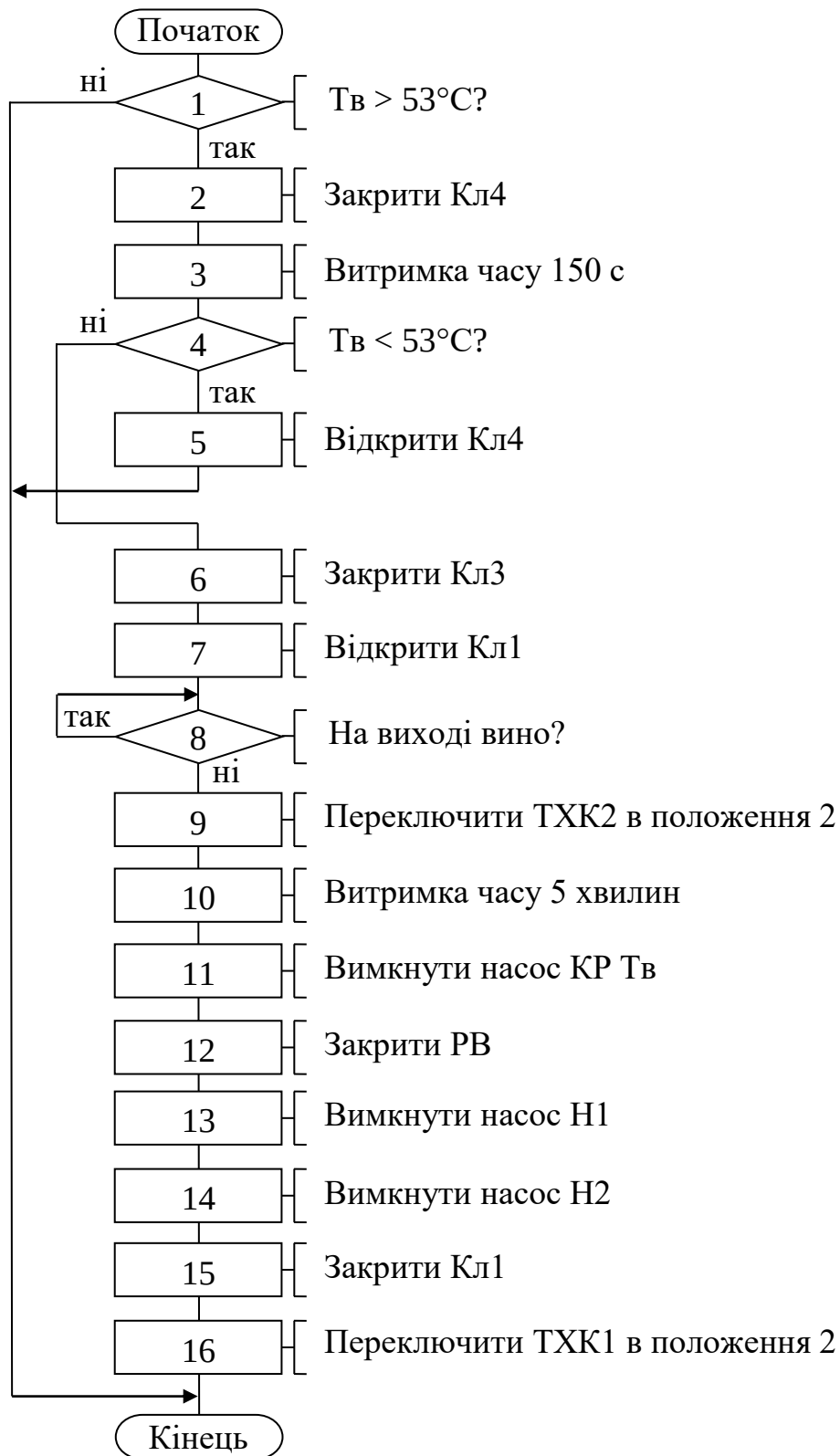


Рис. 4.14 – Блок-схема алгоритму автоматичного керування відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина

З метою запобігання потраплянню води на лінію розливу триходовий клапан ТХК2 переводиться у положення 2, що забезпечує відведення води до дренажу. Після цього виконується промивання установки водою тривалістю 5 хвилин з відповідною витримкою часу.

На наступному етапі відключається система обігріву: деактивується контур регулювання температури та зупиняється насос Н1. Для завершення циркуляції води в продуктопроводах відключається насос Н2, закривається клапан подачі води Кл1, а продуктопроводи переводяться в режим рециркуляції шляхом переключення триходового клапана ТХК1 у положення 2.

Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з недогріванням вина, у разі успішного відновлення температури наведена на рис. 4.15, а у разі невдалого відновлення — на рис. 4.16.

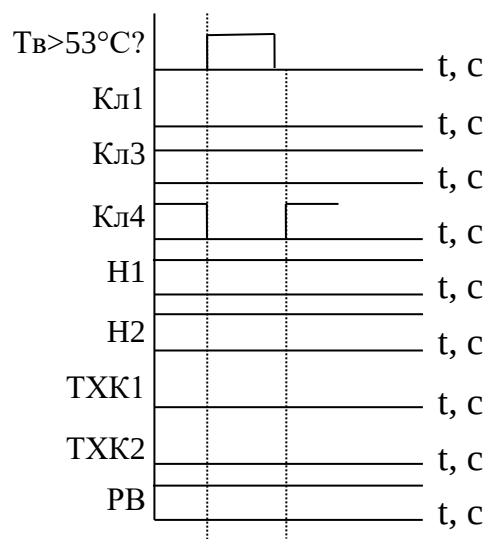


Рис. 4.15 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина, при поновленні температури вина

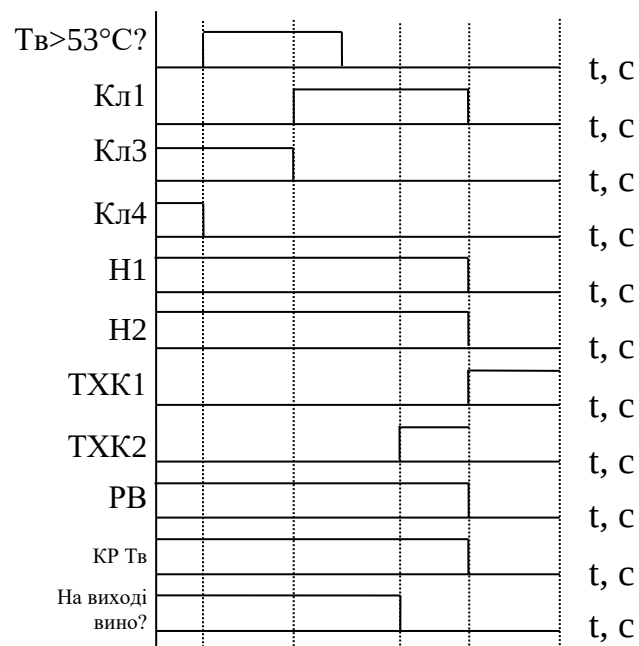


Рис. 4.16 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов'язаної з перегріванням вина, при невдалому поновленні температури вина

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

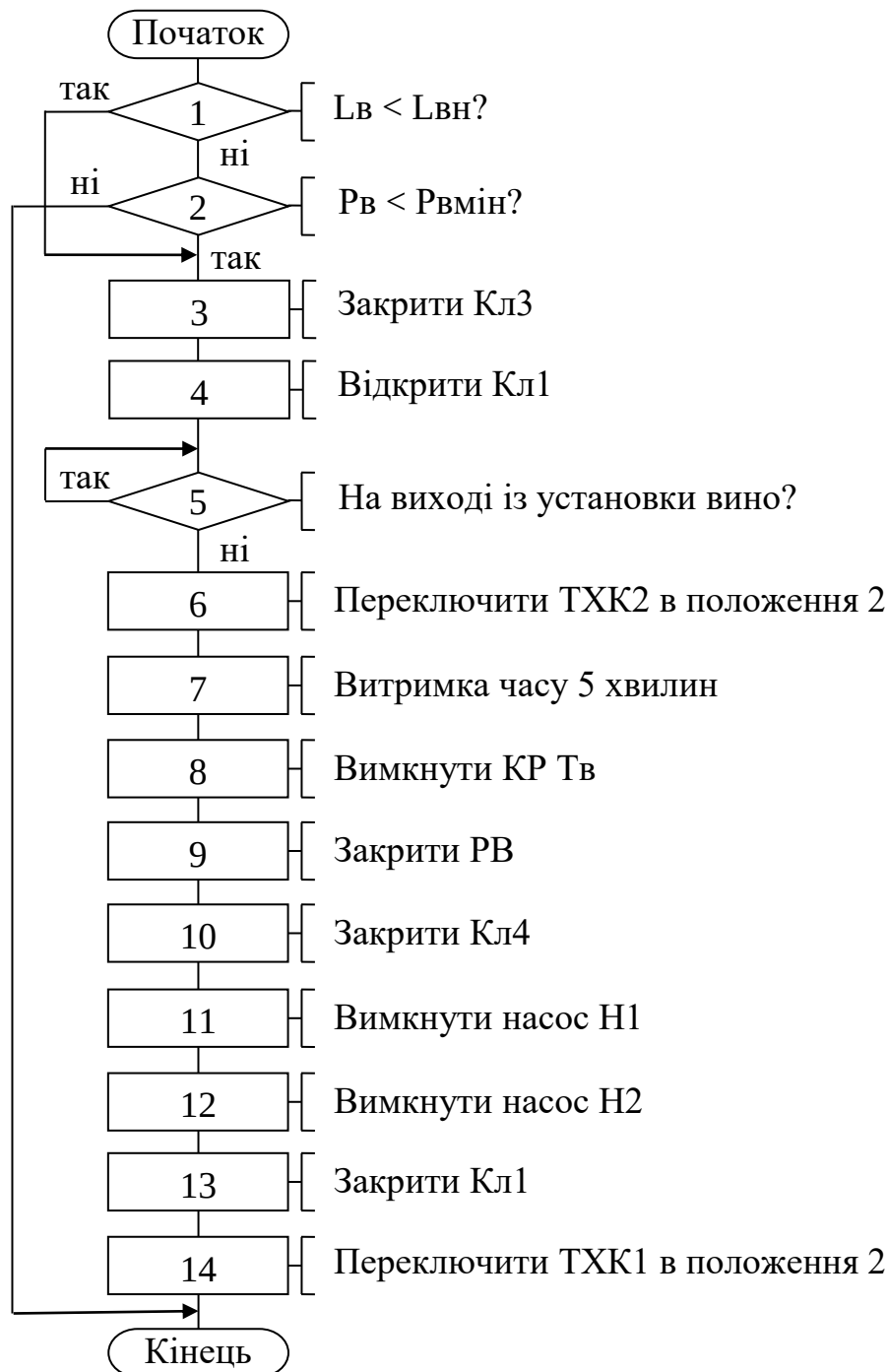


Рис. 4.17 – Блок-схема алгоритму автоматичного керування відпрацювання нештатних ситуацій, пов'язаних з відсутністю вина у вхідному збірнику або при засміченні фільтра

Відпрацювання нештатних ситуацій, пов'язаних із відсутністю вина у вхідному збірнику або засміченням фільтра, розпочинається з діагностики двох контрольних параметрів: рівня вина у збірнику ($L_v < L_{vn}$) та тиску вина в продуктопроводах ($P_v < P_{v\min}$). Виконання хоча б однієї з цих умов є підставою для ініціювання технологічної зупинки ділянки.

Подача вина припиняється закриттям клапана Кл3, після чого для заповнення установки відкривається клапан Кл1 подачі води. Далі здійснюється контроль продукту на виході установки. Якщо на виході зафіксована вода, триходовий клапан ТХК2 переводиться у положення 2 для відведення відпрацьованої води до дренажу та запобігання її потраплянню на лінію розливу. Промивання установки виконується протягом 5 хвилин. За наявності гарячої води в системі обігріву промивання здійснюється гарячою водою, що додатково підвищує ефективність очищення продуктопроводів.

Після завершення промивання відключається система обігріву: деактивується контур регулювання температури, закриваються регулюючий вентиль РВ та відсічний клапан подачі пари Кл1, після чого зупиняється насос Н1. На завершення відключається насос Н2, закривається клапан подачі води до продуктопроводів, а самі продуктопроводи переводяться в режим рециркуляції шляхом переключення клапана ТХК1 у положення 2.

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

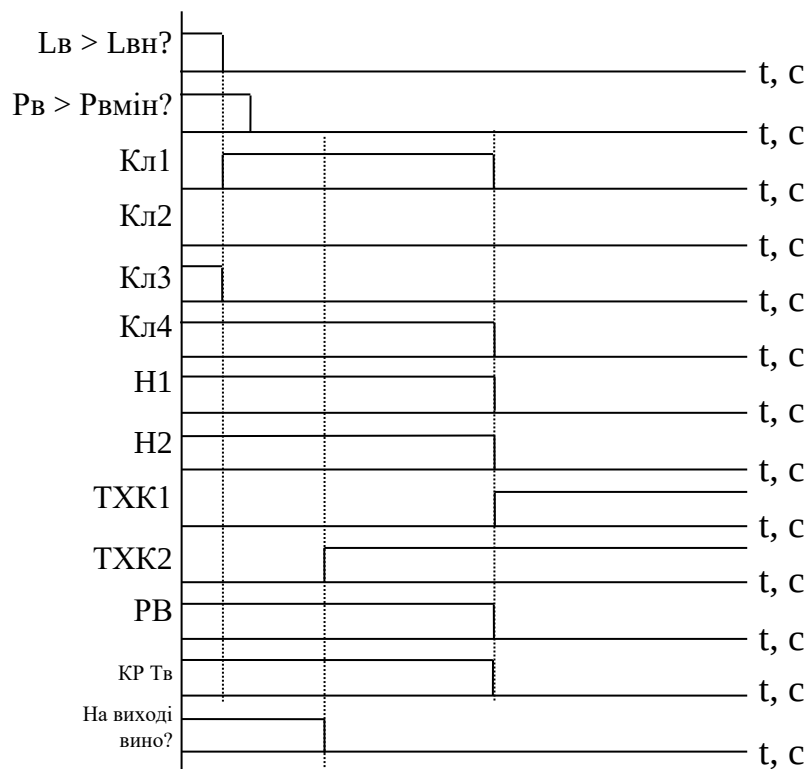


Рис. 4.18 – Циклограма процесу відпрацювання нештатної ситуації, пов’язаної з перегріванням вина, при невдалому поновленні температури вина

4.4 Висновки за розділом

У даному підрозділі вирішено задачу логічного керування ділянкою технологічного процесу теплової обробки вина перед гарячим розливом. Сформульовано регламент технологічного пуску ділянки, що передбачає попереднє промивання установки, виведення її на заданий температурний режим у водяному контурі та подальше переведення на продукт. Розроблено також регламент технологічної зупинки, що завершується промиванням установки підігрітою водою та заповненням продуктопроводів водою.

Окремо сформульовано регламенти відпрацювання чотирьох нештатних ситуацій: недогрівання вина, перегрівання вина, відсутності вина у збірнику та засмічення фільтра. Для двох перших ситуацій передбачено можливість автоматичного повернення установки до штатного режиму роботи після усунення відхилення.

На основі розроблених регламентів створено відповідні алгоритми автоматичного логічного керування: алгоритм керування пуском, алгоритм технологічної зупинки та три алгоритми відпрацювання нештатних ситуацій. Нештатні ситуації, пов'язані з відсутністю вина у збірнику та засміченням фільтра, об'єднано в рамках одного алгоритму керування.

Для забезпечення можливості подальшого тестування та верифікації розроблених алгоритмів сформовано циклограми відповідних технологічних процесів.

РОЗДІЛ 5 Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процеси та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі

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

5.1.1 Характеристики виробничих приміщень, де розташовуються технологічне обладнання та технічні засоби автоматизації: обладнання для підігріву вина знаходяться опалювальному приміщенні цеху. Цю ділянку можна віднести до пожежо- та вибухобезпечної, оскільки відсутні чинники, які можуть викликати вибух або пожежу.

Датчики, регулюючі органи та виконавчі механізми системи керування розміщуються безпосередньо на обладнанні і трубопроводах, по яким подається вино та гріюча пара. Інше технічне обладнання системи керування та АРМ оператора-технолога доцільно розмістити в окремому приміщенні з температурою 18 - 25 °С та вологістю 60 - 80%.

Визначимо класифікацію приміщення, де розміщується обладнання для підігріву вина. У відповідності з «Правилами улаштування електроустановок» це приміщення можна віднести до категорії «вологе приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %».

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

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

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

1) вологості або струмопровідного пилу;

2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);

3) високої температури;

4) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщене обладнання для підігріву вина, слід віднести до приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом, оскільки наявні пункти 2 і 4.

5.1.2 Датчики САР контактують з наступними речовинами:

- виноматеріал з температурою 20...30 °С та з температурою 48-50°С;
- пара з температурою 110 °С;
- вода з температурою 85 °С.

Регулюючі клапани контактують з наступними речовинами:

- пара з температурою 110 °С;
- вино з температурою 48...50 °С.

Виконавчі механізми, які встановлені на клапанах, контактують з наступними речовинами:

- з матеріалами клапанів та навколишнім повітрям цеху з температурою 25...30 °С.

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

5.2.1 Для виміру температури вина та гарячої води на виході з теплообмінників застосований датчик температури Omnigrad T TST487 - термоперетворювач опору (Pt100) фірми Е+Н з вбудованим нормуючим перетворювачем іТЕМР ТМТ181 - аналоговий вихід 4-20 мА, живлення 24В DC, ступінь захисту IP 68.



а)

Технічні характеристики:

Матеріал захисної трубки/термогільзи 1.4404 (316L)

Приєднання до процесу Внутрішнє різьблення: G1/2"

Форма наконечника датчика Пряма

робочий діапазон РТ 100:

-50 °С ...300 °С

Макс. робочий тиск (статичний) при 20 °С: 20 бар

Похибка Клас А за IEC 60751

Час відгуку $t_{50} = 4$ с

$t_{90} = 8$ с

Вбудований нормуючий перетворювач ТМТ181

(4 ... 20 мА, HART, PROFIBUS PA, FOUNDATION FIELDBUS)

б)

Рис.- 5.1. Датчик температури Omnigrad T TST487:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики



а)

Технічні характеристики:
вихідний сигнал 4..20 мА;
напруга живлення 3..35 V DC

б)

Рис.5.2.- Вбудований перетворювач температури (4/20 мА) iTEMP TMT181:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.2. Для виміру рівня виноматеріалу резервуарі використовується датчик рівня EASYTREK SP 500 фірми Nivelko, діапазон 0-100 % (рис. 5.3).

Схема підключення датчику рівня показана на рис.5.3.

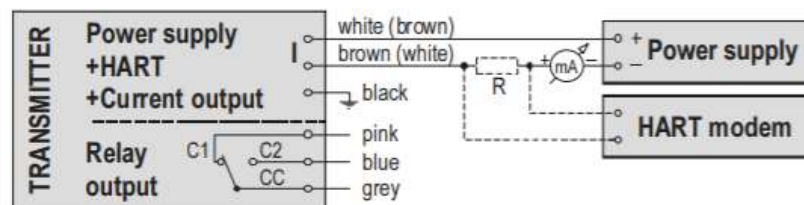


Рис. 5.3 – Схема підключення датчику рівня EASYTREK SP 500



а)

Type	EasyTREK	
	SP-500	SP-300
System		2-wire
Accuracy ¹⁾	± 0.1% of measured distance +0.025% of range/ or ± 0.05% of range, whichever is greater	± 0.2% of measured distance +0.05% of range/
Resolution	Depends on distance: < 2 m (6.5 ft): 1 mm (0.04 in); 2 - 5 m (6.5 - 16.5 ft): 2 mm (0.08 in)	
Output		
Analogous		
Relay ²⁾	SPDT, 30 V DC, 1 A DC	
Display	-	
Signal Communication	HART ³⁾	
Ambient temperature	-30 °C ... +60 °C (-22 °F ... +176 °F)	
Process temperature	FF, PVDI transducers: -30 °C ... +95 °C (-22 °F ... +194 °F)	
Pressure (absolute)	0.05 - 6.3 MPa (0.3 - 3 bar; 7.25 - 43.5 psi)	
Power supply	11 - 36 V DC	12 - 36 V DC / 48 - 720 mW

б)

Рис. 5.4 – Датчик рівня EASYTREK SP 500 а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.3 Для виміру тиску вина в трубопроводі перед насосом застосоване реле тиску RT 200L.



а)

Технічні характеристики:
Діапазон тиску: 0.2 – 6 бар
Диференціал: 0.25 бар
Настроювана нейтральна зона: 0.25 - 0.7 бар
Приєднання: G 3/8"
Клас захисту: IP66

б)

Рис.- 5.4. Реле тиску RT 200L:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.5 Для виміру тиску пари застосоване реле тиску 611GE у вибухобезпечному виконанні



а)

Технічні характеристики:
• NEMA: 4, 13
• Стійко до впливу погодних умов
• Для моделі 611GE, 611VE:
- вибухозахищене, сертифіковане
U.L. та CSA - дивись примітку
- NEMA: 4, 7, 9, 13.
Діапазон температур довкілля:
-34 °C - +71 °C (-30 °F - +160 °F)
струм комутації 11 А

б)

Рис.- 5.5. Реле тиску 611GE:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

5.3.1. Для зміни витрат пари використаємо регулюючий клапан Belimo H614S



Температура середовища:	+5 °C... +150°C
Умовний тиск Ps	1600 кПа (PN 16)
Характеристика потоку	Ділянка A-AB: рівнопропорційна
Амплітуда змін регульованого середовища Sv	DN15 Sv>50 DN20...50 Sv>100
Величина протікання	Ділянка A-AB: макс. 0.05 % від kvs.
Трубне під'єднання	Фланці ISO 7005-2 (PN 16)
Допустимий перепад тиску. Δрmax	DN 15...25 Δрmax = 1000 кПа DN 32...150 Δрmax = Δрs

Рис. 5.6 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану Belimo H614S

В якості виконавчого механізму використаний Belimo NV24A-SZ-TPS



Технічні дані	
Електричні параметри	LV24A-SZ-TPC NV24A-SZ-TPC 5V24A-SZ-TPC
Напруга живлення	AC/DC 24 В
Частота напруги живлення	50/60 Гц
Діапазон напруги живлення	AC 19,2...28,8 В / DC 21,6...28,8 В
Споживана потужність під час руху	1 Вт 1,5 Вт 2 Вт
Споживана потужність при утриманні	0,5 Вт 0,5 Вт 1,5 Вт
Розрахункова потужність	2 BA 3 BA 3,5 BA
Функціональні дані	
Електричне підключення	Клемна колодка 4 мм ² і кабель 1 м, 3x0,75
Керування	
Керуваний сигнал Y	0...10 В DC, вхідний опір 100 кОм
Робочий діапазон	0,5...10 В DC (для серії -SZ), 2...10 В DC
Напруга зворотного зв'язку U	2...10 В DC, макс. 1 мА
Точність позионування	±5%
Зусилля	500 Н 1000 Н 1500 Н
Ручне керування	Шестигранним ключем при натисненні кнопки
Хід штоку	15 мм 20 мм 20 мм
Час ходу штоку	
-стандартні приводи	150 с / 15 мм 150 с / 20 мм 150 с / 20 мм
-пришвиджені приводи (LVC...NVC...SVC...EVC...)	35 с / 20 мм 35 с / 20 мм 35 с / 20 мм
Рівень шуму	45 дБ (А) 45 дБ (А) 35 дБ (А)

Рис. 5.8 Технічні характеристики ВМ Belimo NV24A-SZ-TPS

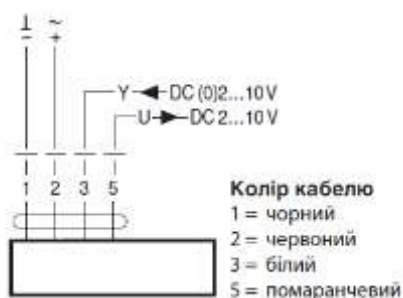


Рис. 5.9 Схема підключень ВМ Belimo NV24A-SZ-TPS

5.3.2. Для переривання потоків вина використані електромагнітні клапани СЕМЕ 8617, сигнал керування 0-220 V AC.

Технічні характеристики:



Дія
сервокерування
Виконання нормально закритий
Пропускна здатність K_v 2,2 м³/год
Мінімальний диференціал тиску 0,3 бар
Максимальний диференціал тиску 10 бар;
живлення 230 V AC
ступінь захисту IP 54;

Рис. 5.10 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану CEME 8617

5.3.3. Для переривання потоку пари використаний електромагнітний клапан SV-SH-ES-22NC-50, сигнал керування 0-220 V AC.



Технічні характеристики високотемпературних клапанів SV-SH

Конструкція	Дволінійний двопозиційний нормально закритий клапан з одностороннім пілотним ел. управлінням		
Матеріали	Нержавіюча сталь, Teflon		
Приєднання	Різьбове	G2"	
	Фланцеве	F25, F32, F40, F50	
Кріплення	Вертикальне		
Діапазон робочих температур	від 0 до 250° C		
Напруга живлення	AC 220В, AC 110В (потужність 33ВА), DC 24В (потужність 24W)		
Допустима зміна напруги живлення	±10%		
Робоче середовище	Повітря, вода, пар та інші речовини, сумісні з матеріалами клапану		

Рис. 5.11 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану SV-SH-ES-22NC-50

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

5.4.1 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи.

На основі аналізу системи автоматизації нагріву вина за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.1 Список параметрів на входах та виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Температура вина на виході з	A	I	4...20 мА DC

	теплообмінника			
2	Температура гріючої води після теплообмінника	A	I	4...20 mA DC
3	Сигнал стану авт.вимикача M1	D	I	24 V DC
4	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
5	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
6	Сигнал стану авт.вимикача M2	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
8	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
9	Сигнал верхнього рівня вина в ємності	D	I	24 V DC
10	Сигнал нижнього рівня вина в ємності	D	I	24 V DC
11	Сигнал тиску пари	D	I	24 V DC
12	Сигнал тиску вина перед насосом	D	I	24 V DC
13	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
14	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
15	Сигнал керування відсічним клапаном пари	D	O	24 V DC
16	Сигнал керування відсічним клапаном вина	D	O	24 V DC
17	Сигнал керування триходовим клапаном	D	O	24 V DC
18	Сигнал керування регулюючим клапаном пари	A	O	4...20 mA DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 1, DI – 10, DO – 5

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

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

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

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи

автоматичного керування приймає наступний вигляд (рис. 5.12).

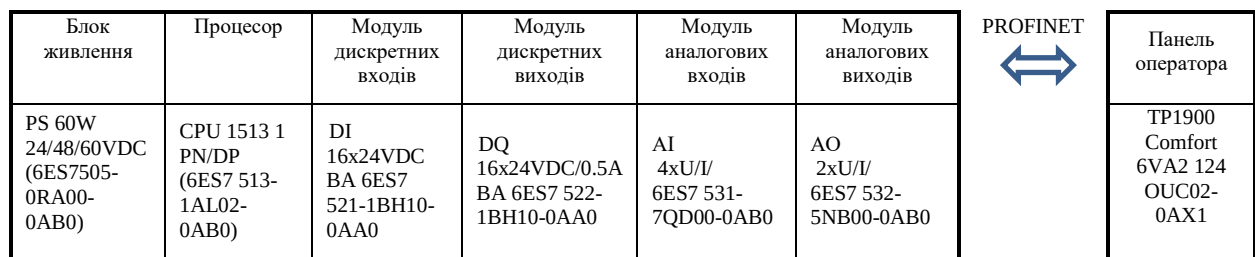


Рис. 5.9 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

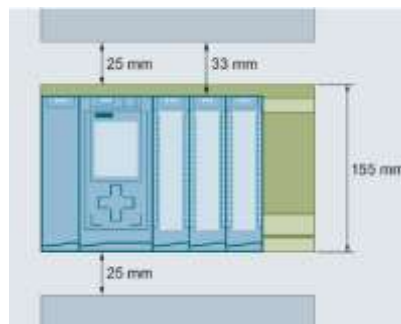


Рис. 5.12 Рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі

Центральний процесор CPU 1513 1 PN без вбудованих каналів вводу-виводу, орієнтований на рішення стандартних завдань автоматичного керування. Дозволяє використовувати в системі локального вводу-виводу весь спектр сигнальних, технологічних та комунікаційних модулів S7-1500.

Article number	6ES7513-1AL02-0AB0
General information	
Product type designation	CPU 1513-1 PN
HW functional status	FS01
Firmware version	V2.5
Engineering with	
• STEP 7 TIA Portal configurable/integrated as of version	V15
Configuration control	
via dataset	Yes
Display	
Screen diagonal [cm]	3.45 cm
Control elements	
Number of keys	8
Mode buttons	2
Supply voltage	
Type of supply voltage	24 V DC
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Mains buffering	
• Mains/voltage failure stored energy time	5 ms
• Repeat rate, min.	1/s
Input current	
Current consumption (rated value)	0.7 A
Current consumption, max.	0.95 A
Inrush current, max.	1.9 A; Rated value
Pi	0.02 A²·s
Power	
Infused power to the backplane bus	10 W
Power consumption from the backplane bus (balanced)	5.5 W
Power loss	
Power loss, typ.	5.7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes

Work memory	
• integrated (for program)	300 kbyte
• integrated (for data)	1.5 Mbyte
Load memory	
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 Gbyte
Backup	
• maintenance-free	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	40 ns
for word operations, typ.	48 ns
for fixed point arithmetic, typ.	64 ns
for floating point arithmetic, typ.	208 ns
CPU blocks	
Number of elements (total)	2 000; Blocks (OB, FB, FC, DB) and UC/Ts
DB	
• Number range	1 ... 60 999, subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 59 999, and number range of DBs created via SFC 98: 60 000 ... 60 999
• Size, max.	1.5 Mbyte; For non-optimized block accesses, the max. size of the DB is 64 KB
FB	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
FC	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
OB	
• Size, max.	300 kbyte
• Number of free cycle OBs	100
• Number of time alarm OBs	20
• Number of delay alarm OBs	20
• Number of cyclic interrupt OBs	20; With minimum OB 3x cycle of 500 µs
• Number of process alarm OBs	50
• Number of DPV1 alarm OBs	5
• Number of asynchronous mode OBs	1
• Number of technology synchronous alarm OBs	2
• Number of startup OBs	100

Рис. 5.13 Технічні дані CPU 1513 1 PN

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

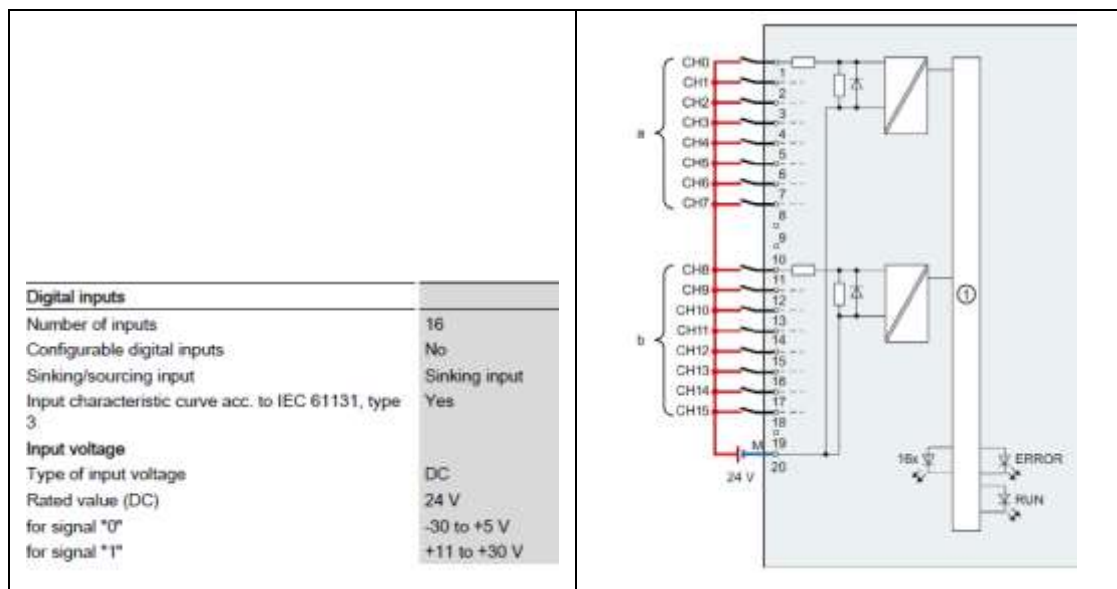


Рис. 5.14 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

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

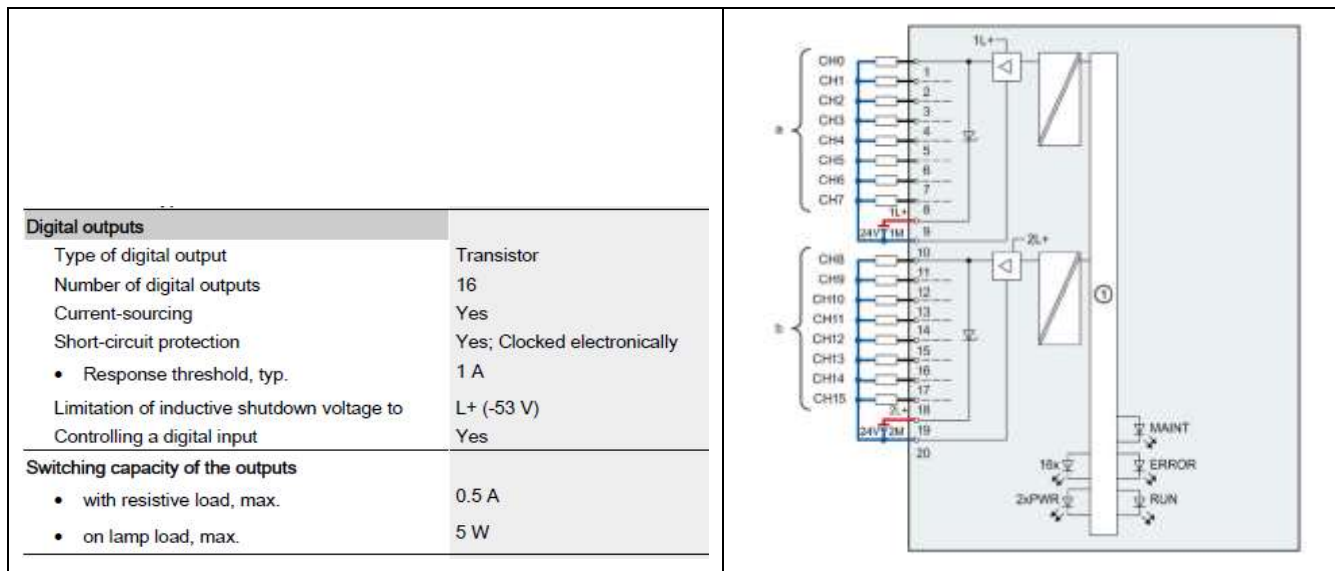


Рис. 5.15 Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

Для вводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0).

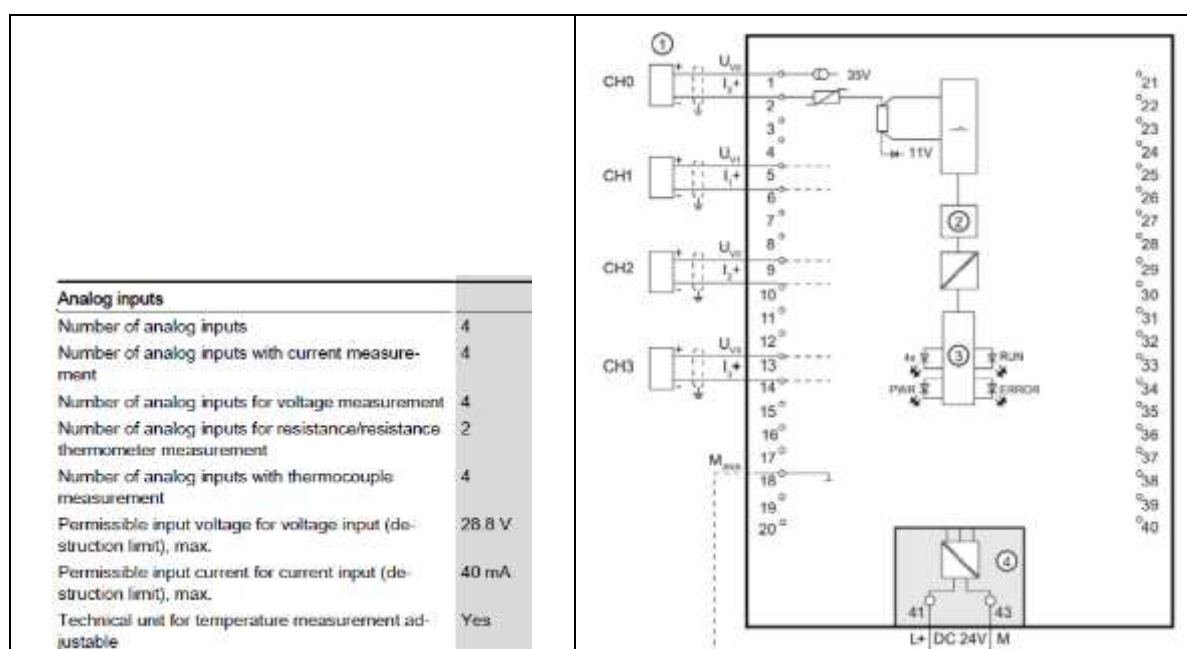


Рис. 5.16 Технічні характеристики та схема підключень

датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

Для виводу аналогових сигналів обраний модуль АО 2xU/I/6ES7 532-5NB00-0AB0

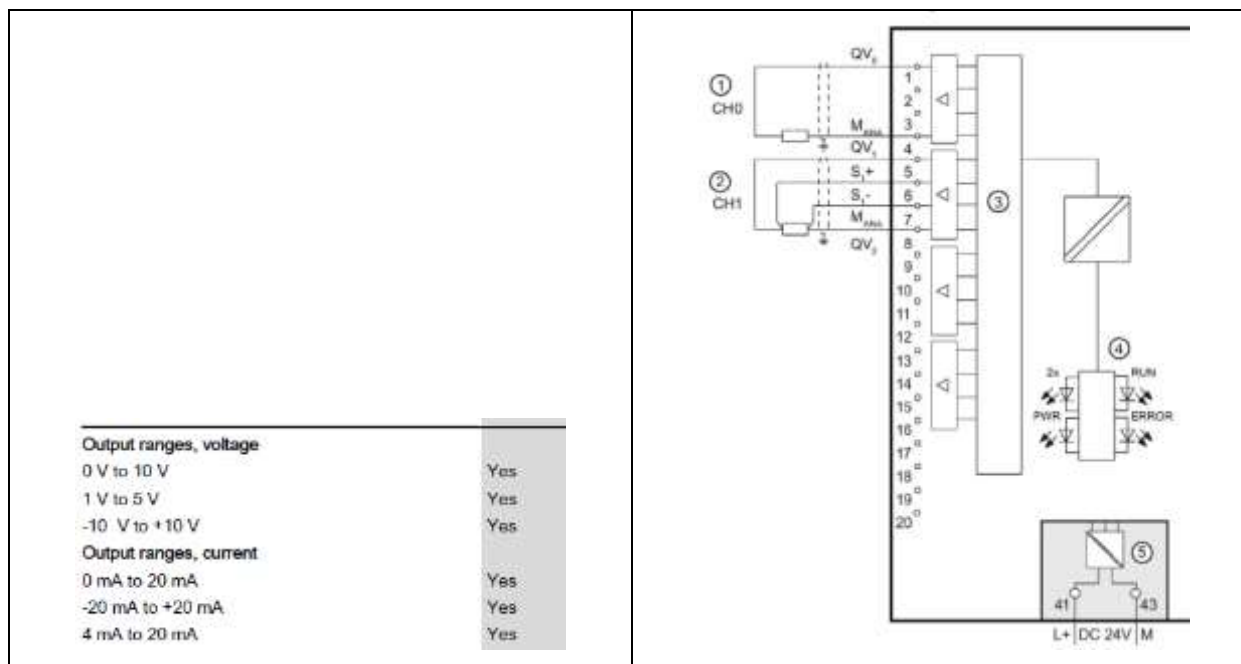


Рис. 5.17 Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7 532-5NB00-0AB0

Висновки за розділом

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

РОЗДІЛ 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 для системи керування процесом обробки виноматеріалу теплом 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 мережеских зв'язків між ними, для чого вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMI connection.

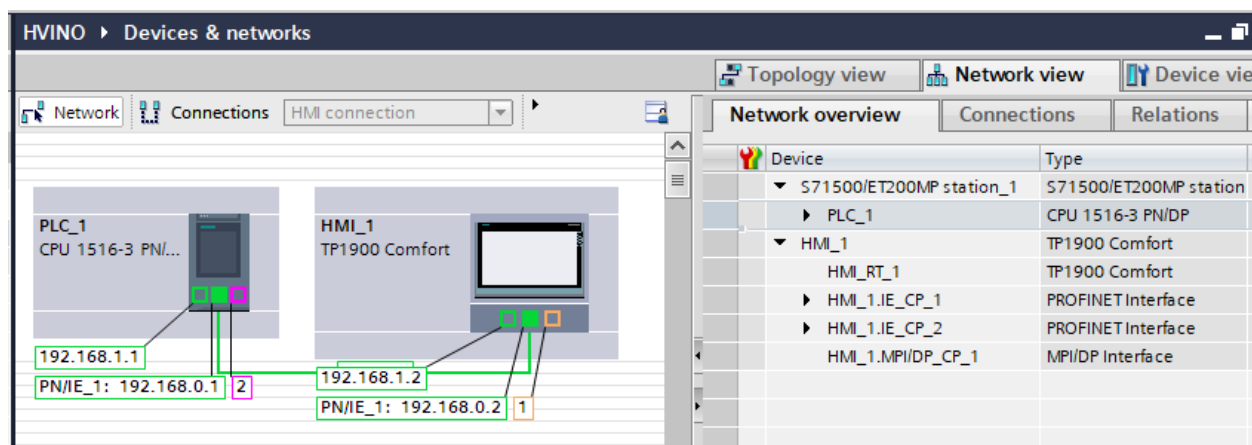


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту

На вкладці Properties контролера (CPU) встановлюємо можливість користуватися байтами системної пам'яті та байтами часової пам'яті (рис. 6.2). Це важливо для виконання алгоритмів керування.

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. 6.6 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 HMI програмами.

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

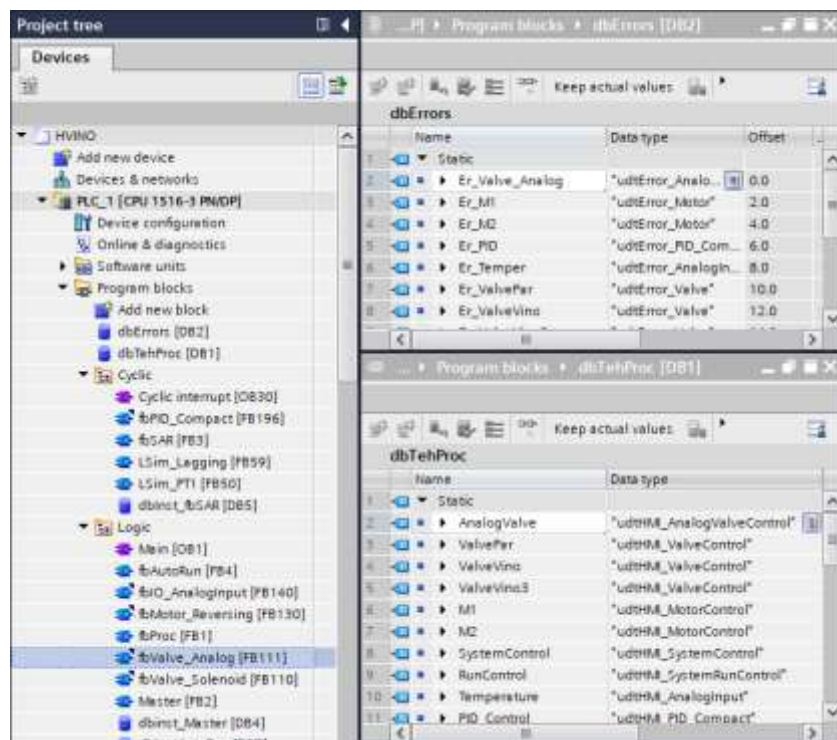


Рис. 6.7 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

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.

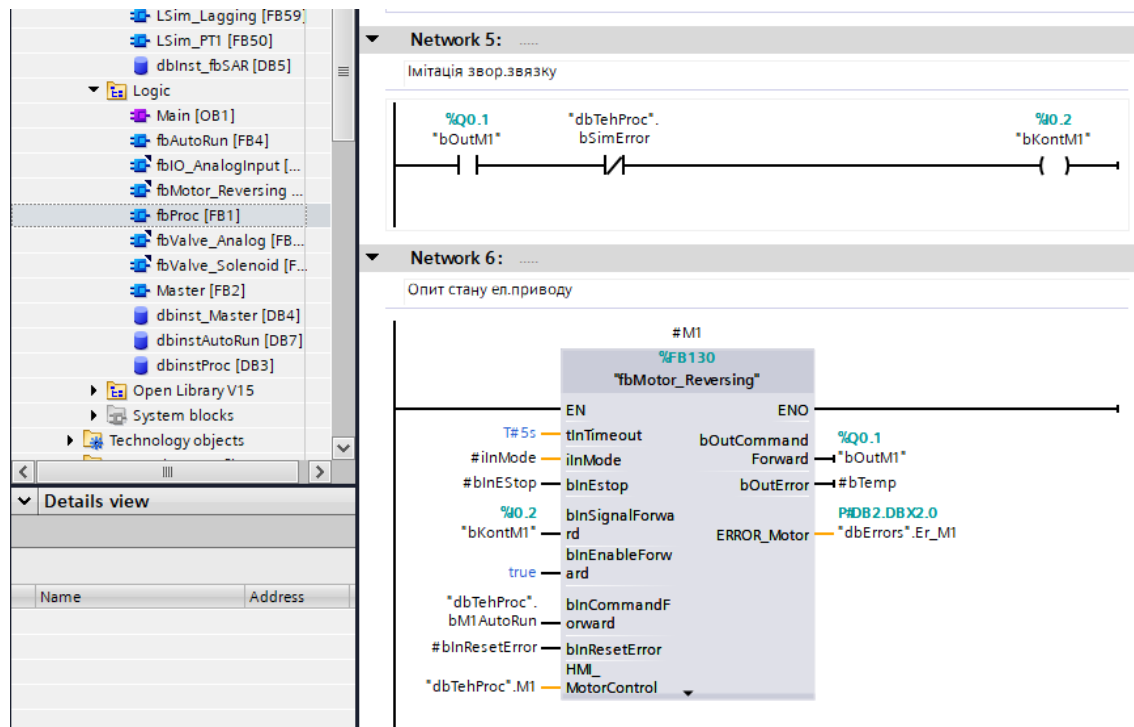


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

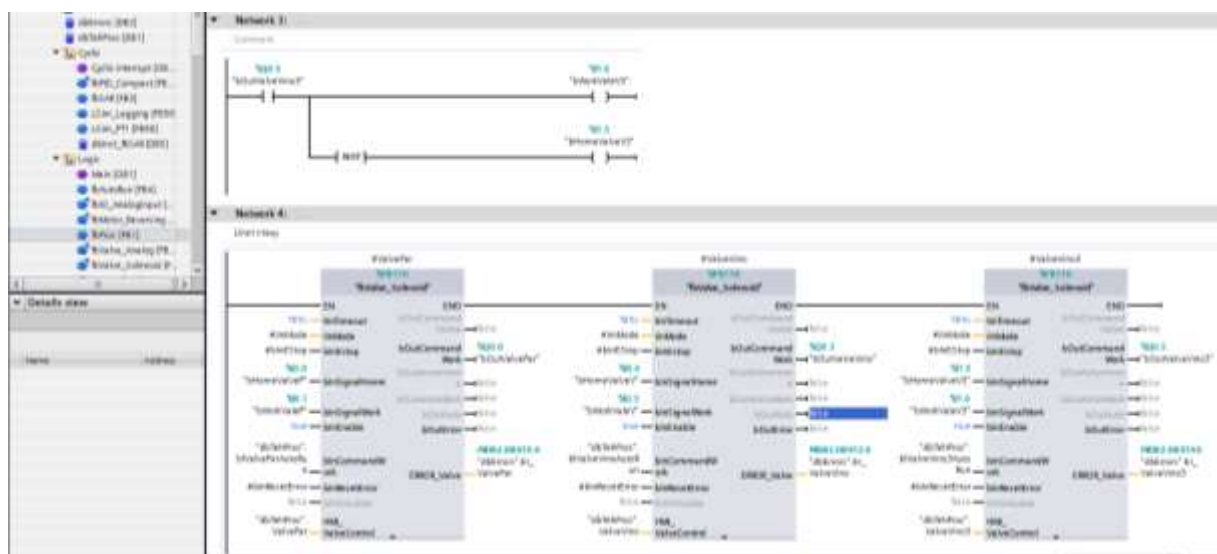


Рис. 6.10 Фрагмент підпрограми fbProc

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.

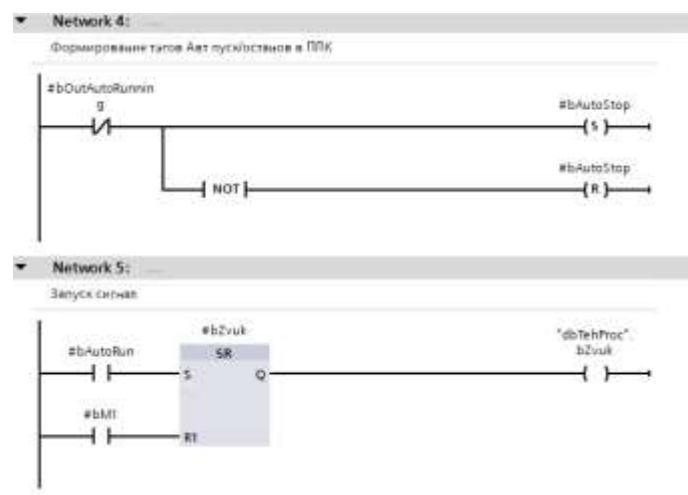


Рис. 6.14 Фрагмент підпрограми fbAutoRun

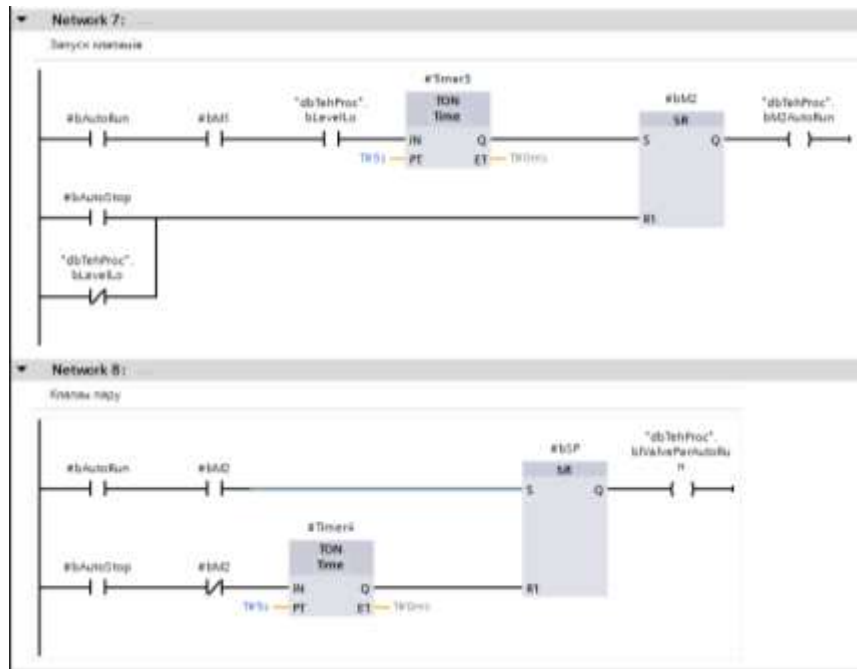


Рис. 6.15 Фрагмент підпрограми fbAutoRun

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

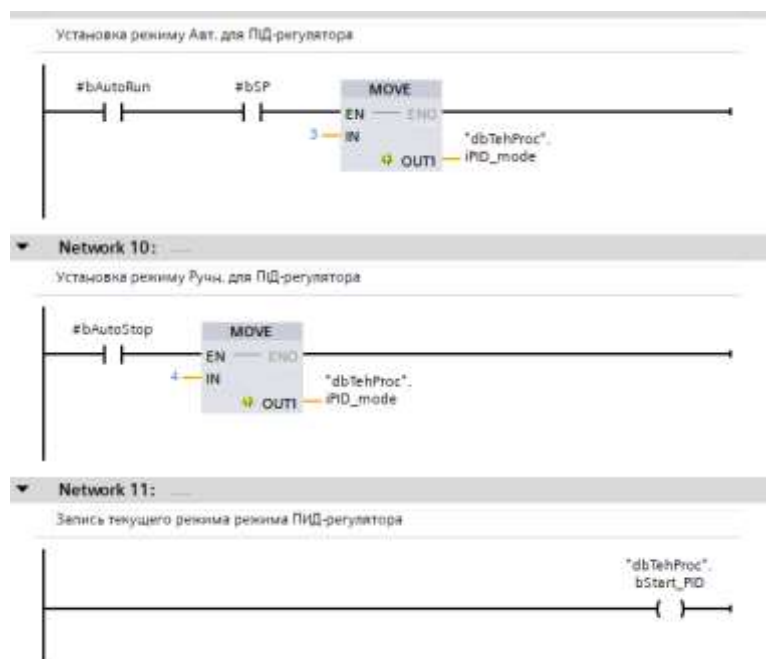


Рис. 6.16 Фрагмент підпрограми AutoRun

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 CAP реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожному 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 CAP 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 CAP 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. Zep	"LSim_Lagging"	
11. ApZvens	"LSim_PTI"	
12. ApZvens_1	"LSim_PTI"	
13. uDelayCycles	UInt	28
14. Temp		
15. bTemp	Bool	
16. iTemp	Int	
17. dTemp	Dint	
18. dwTemp	DWord	
19. rTemp	Real	

Рис. 6.18 Інтерфейс функціонального блоку fbSAR

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

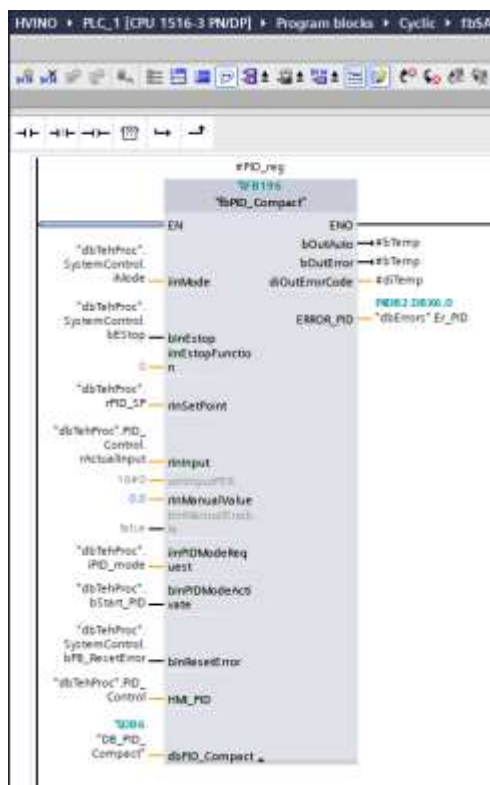


Рис. 6.19 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR,
що реалізує ПД-регулятор

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

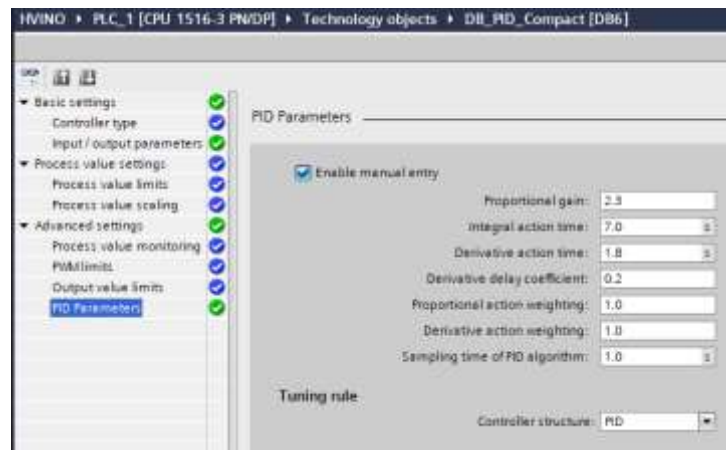


Рис. 6.20 Приклад налаштування параметрів ПД-регулятора

Вихідні сигнали ПД-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.

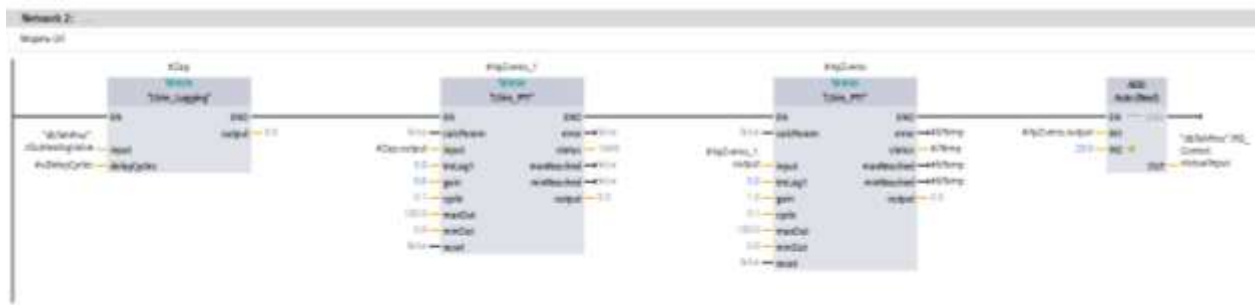


Рис. 6.21 Фрагмент функціонального блоку fbSAR,
що реалізує модель ОК

Тестування проекту і налаштування програмних модулів 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 правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500 та їх конфігурування в середовищі TIA Portal.

Отримано практичний досвід розробки програм логічного керування та регулювання для контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal.

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

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

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

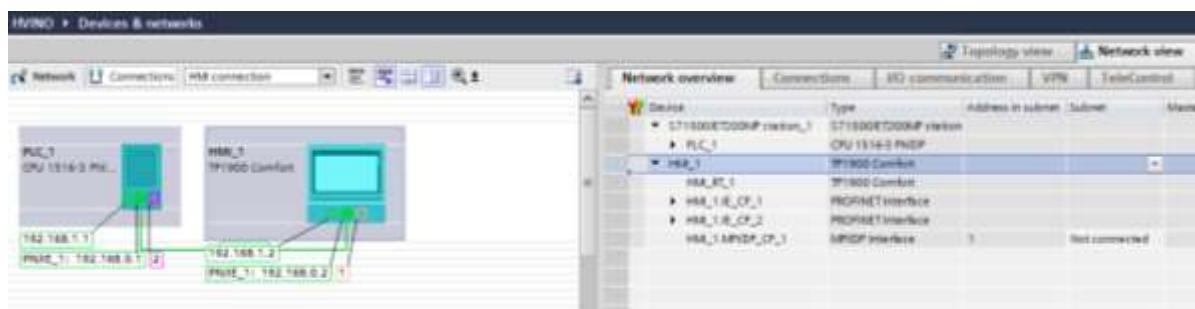


Рис. 7.1 – Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі.

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

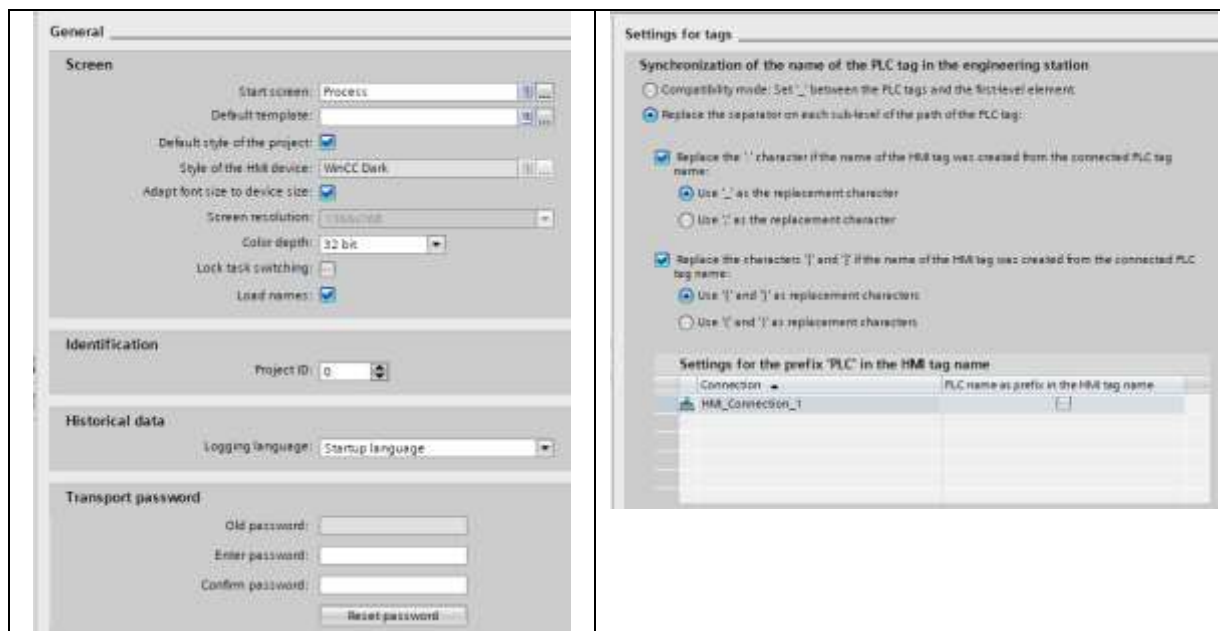


Рис. 7.2 – Конфігурування TP 1900 Comfort.

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

The screenshot shows the IFTTT app's "Project New" screen. On the left, a sidebar lists various devices connected to the account, including "Add new device", "Devices & networks", "Raspberry Pi 3 (UK) (16GB RAM)", "Device configuration", "Online & diagnostics", "Software tools", "Program scripts", "Add new script", "Scripts (20)", and "Scripts (8)". The main area displays a "Default tag table" with columns for Name, Data type, Connection, PID name, PID tag, Address, Access mode, and Response. Below this table are tabs for "Discrete alarms", "Analog alarms", and "Logging logs".

В подальшому завдяки цьому взаємозв'язку зміни в змінних ПЛС будуть відображатися в елементах НМІ.

Структура екранів АРМ оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування процесом обробки виноматеріалу теплом у потоці:

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

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

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

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.

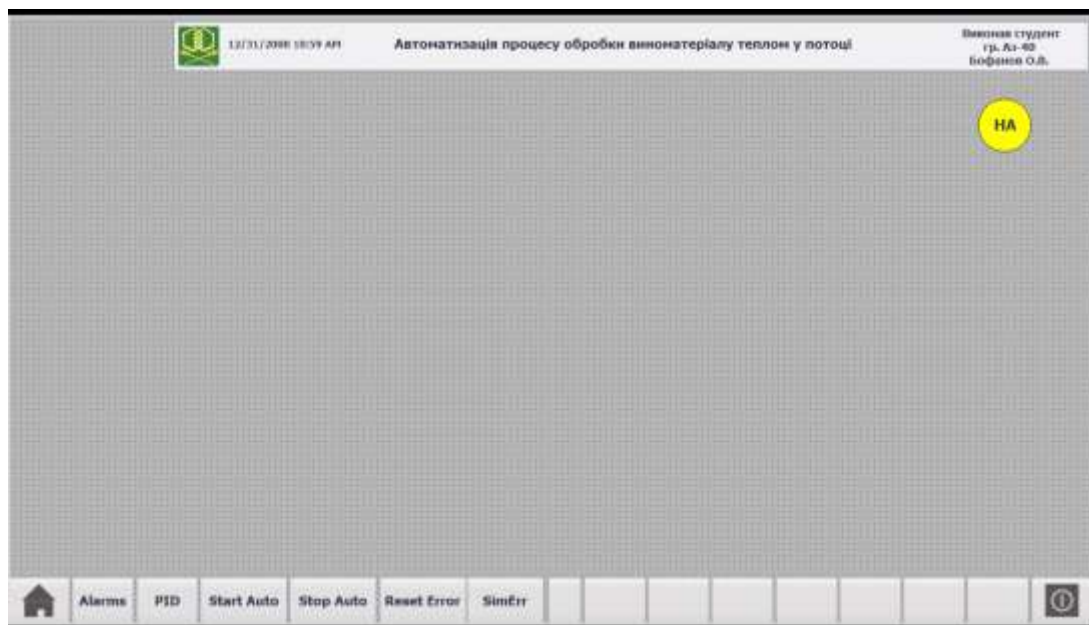


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів.

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

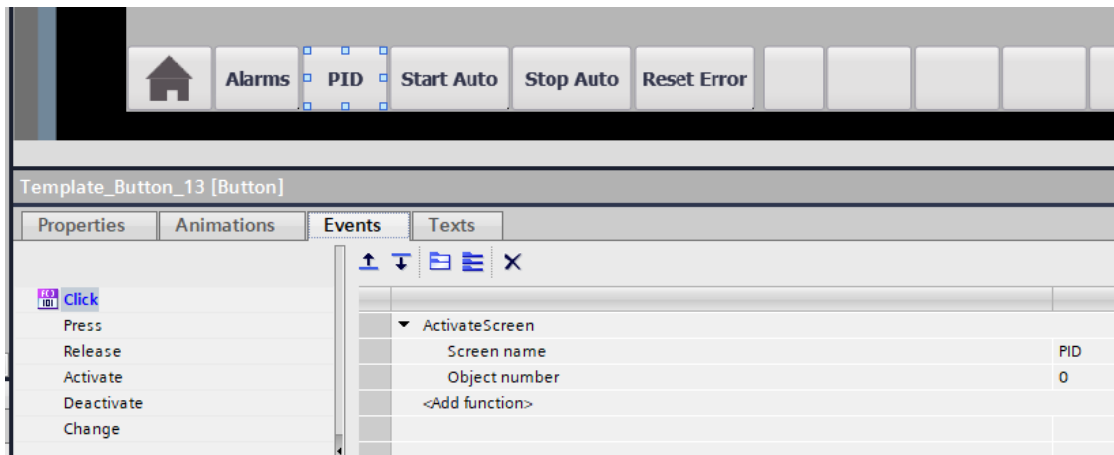


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу.

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

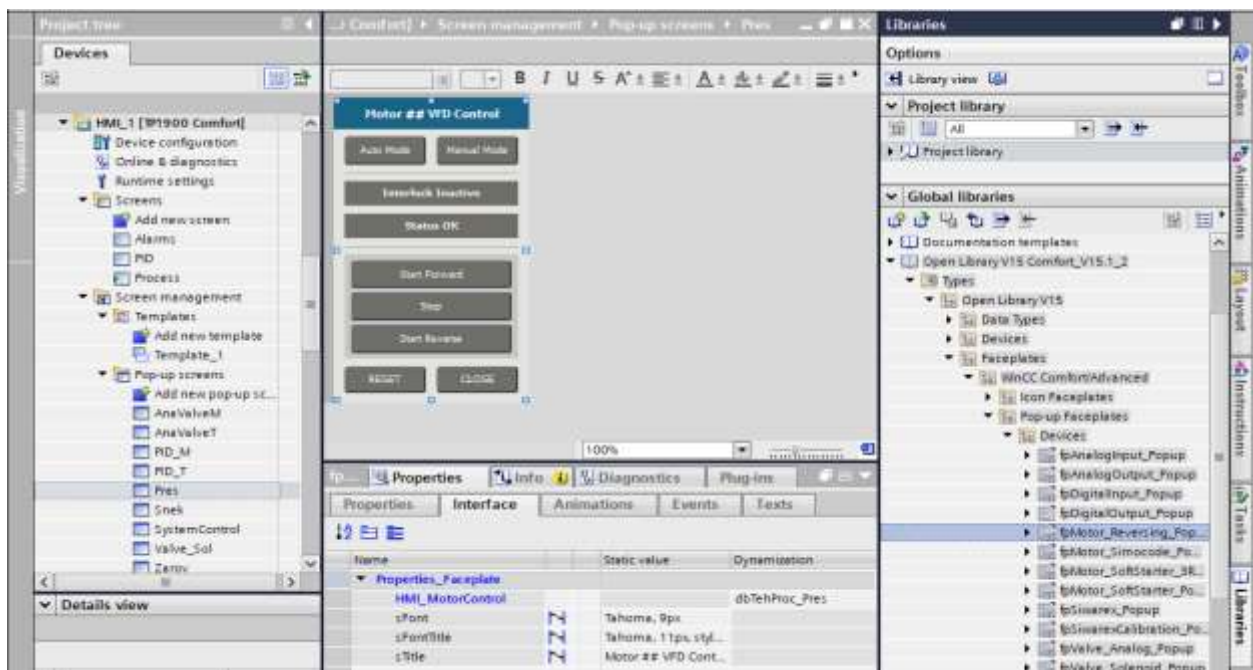


Рис. 7.6 – Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням установки з теплової обробки вина.

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.

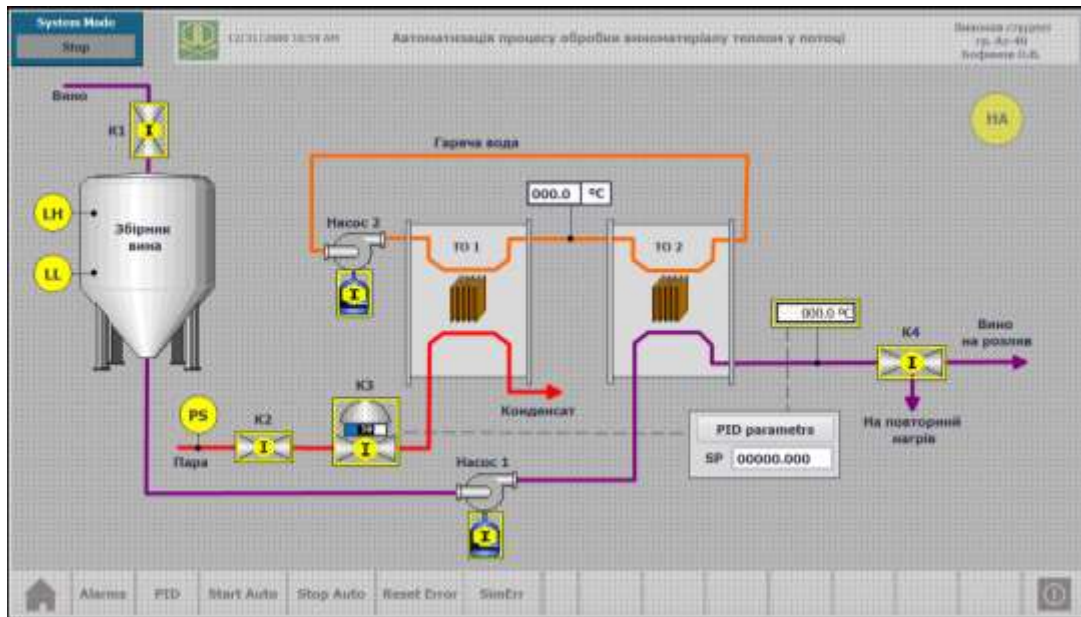


Рис. 7.7 – Екран схеми установки теплової обробки вина.

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

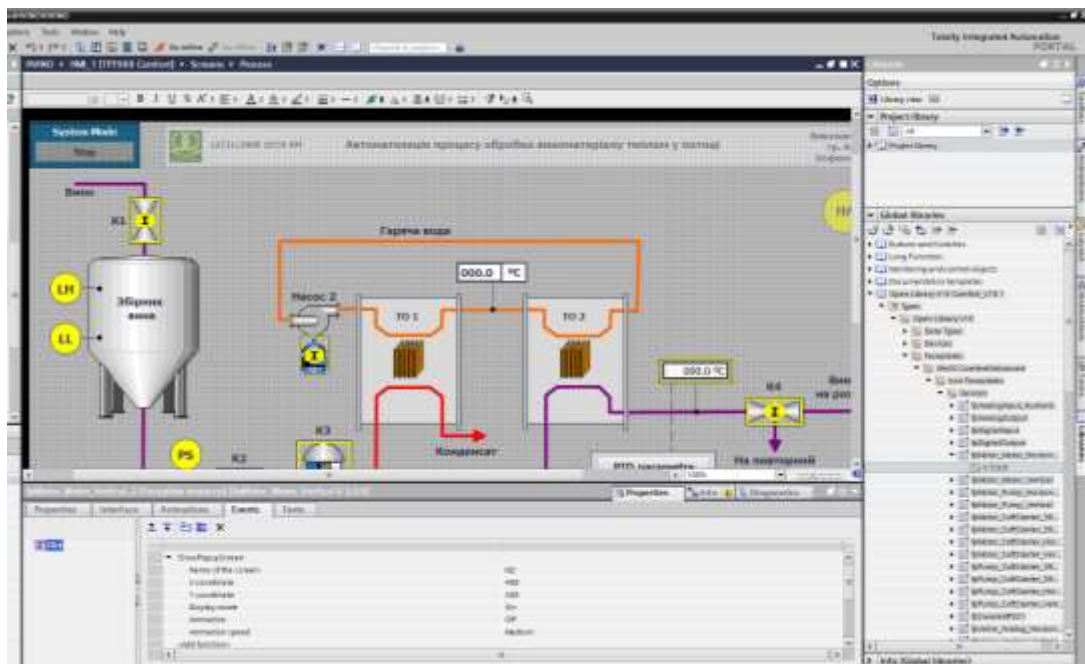


Рис. 7.8 – Приклад налаштування піктограми електроприводу.

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

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

Для побудови графіків зміни 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.

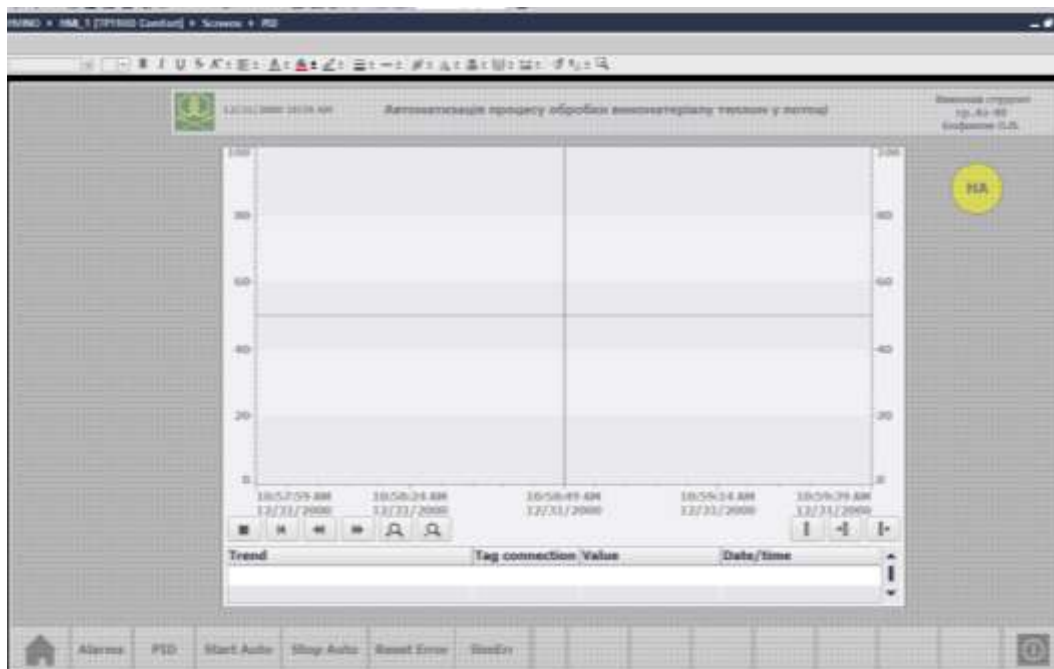


Рис. 7.9 – Екран графіків.

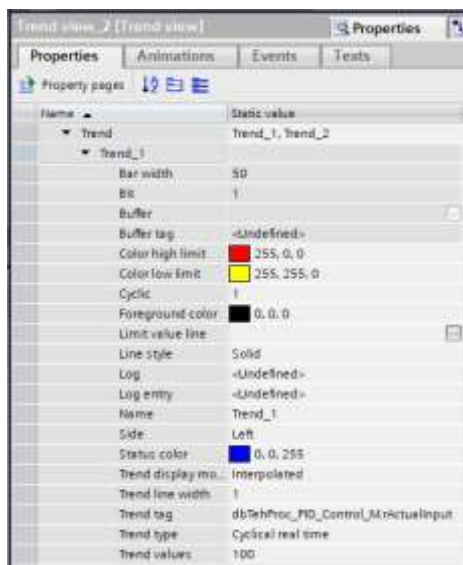


Рис. 7.10 – Вікно налаштування елементу Trend.



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 проекті

створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення ОС ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

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

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

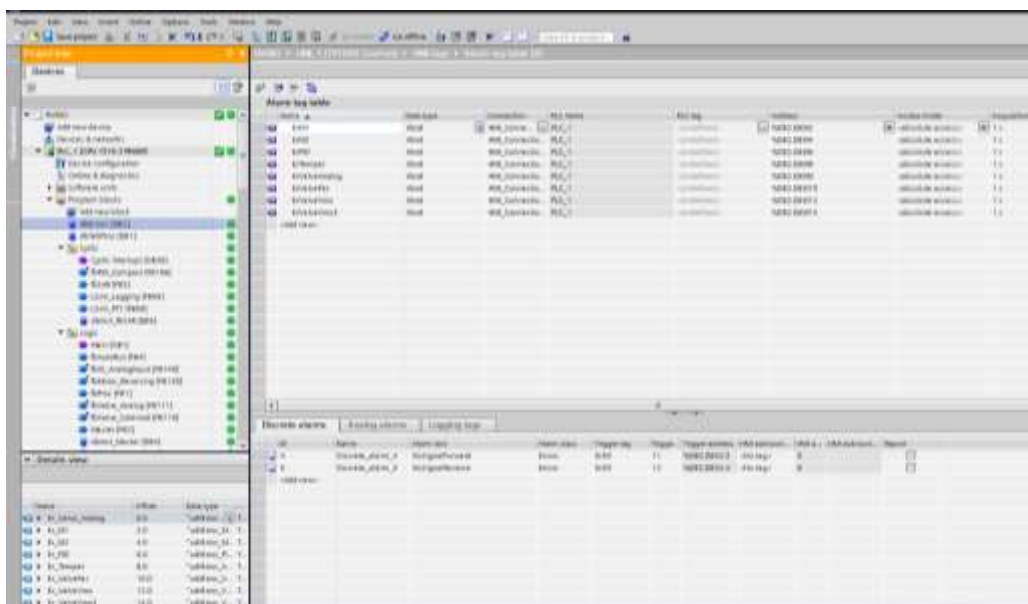


Рис. 7.12 – Приклад прив'язки тегів dbErrors з НМІ-тегами для обладнання установки з теплової обробки вина.

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).

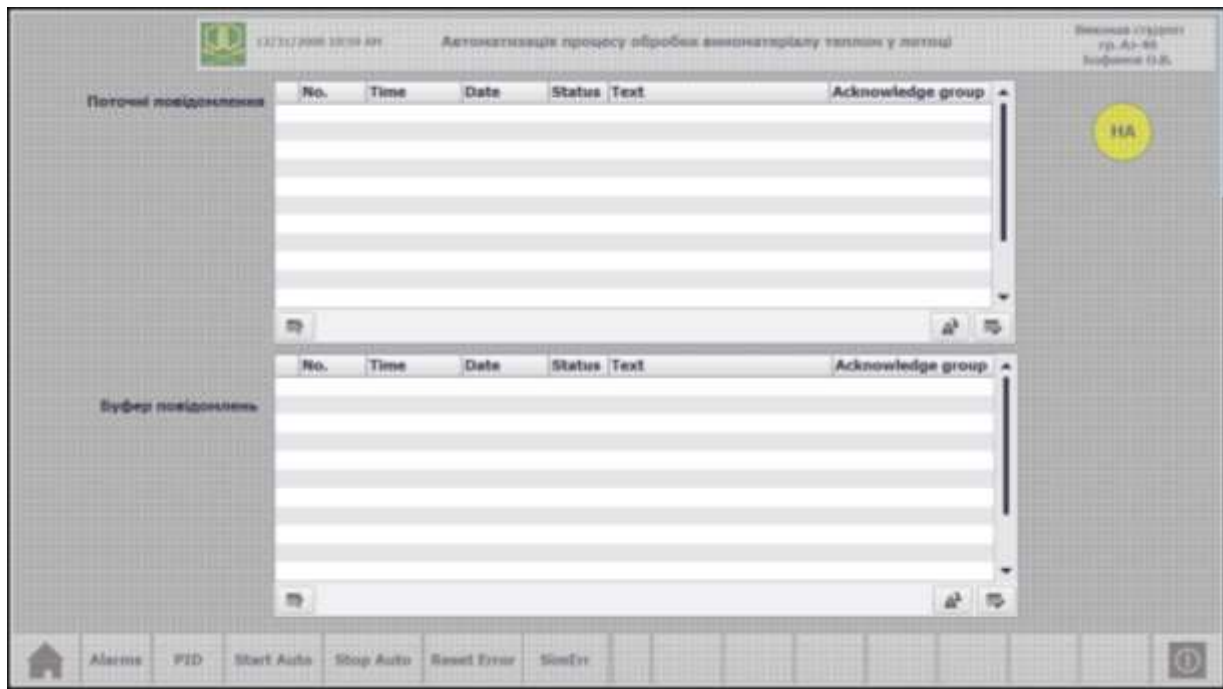


Рис. 7.13 – Екран Alarms повідомлень про несправності

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.

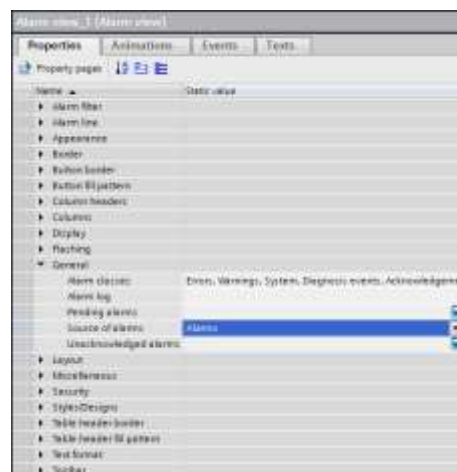


Рис. 7.14 – Налаштування властивостей елемента Alarm View

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 завантажуюємо 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.

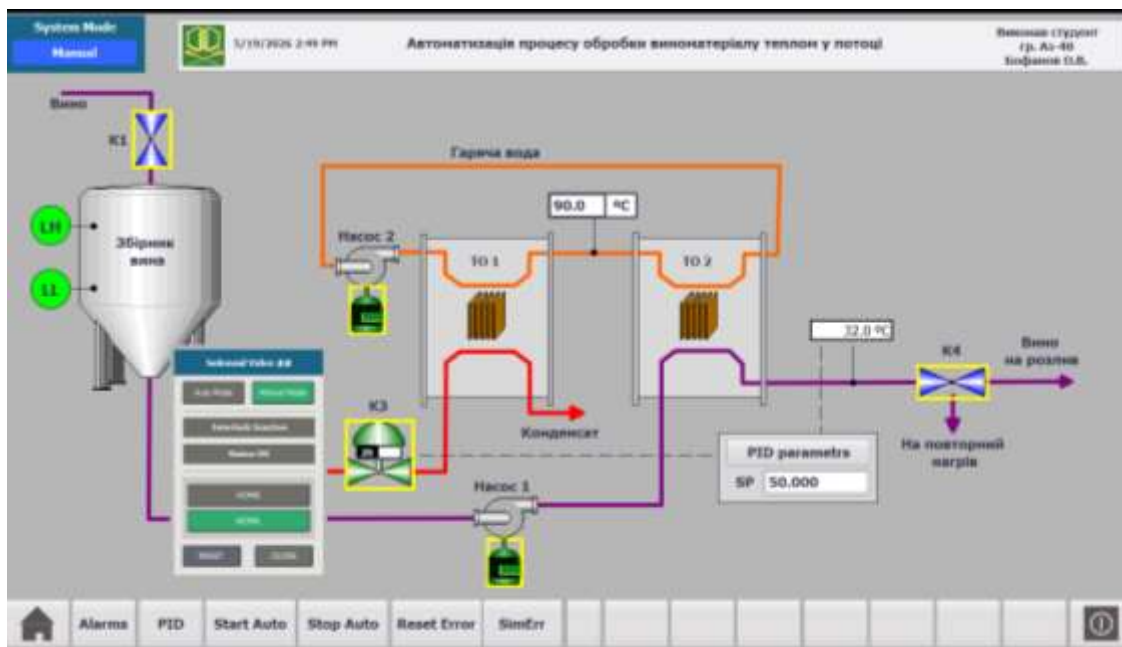


Рис. 7.16 – Схема установки теплової обробки вина в ручному режимі.

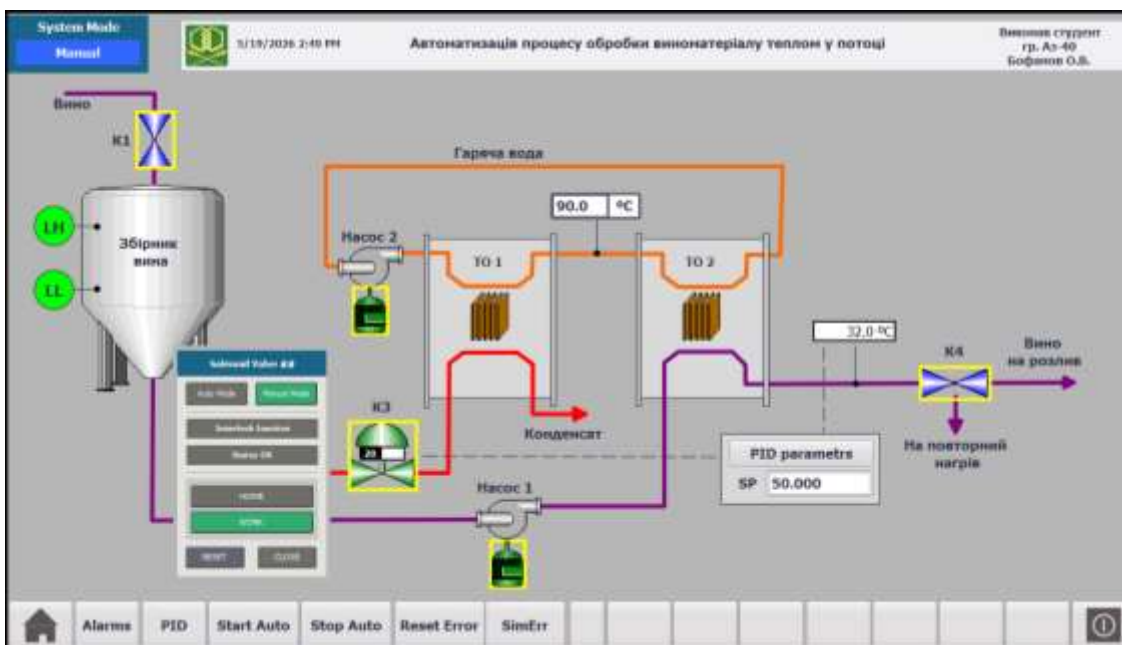


Рис. 7.17 – Схема установки теплової обробки вина в автоматичному режимі.

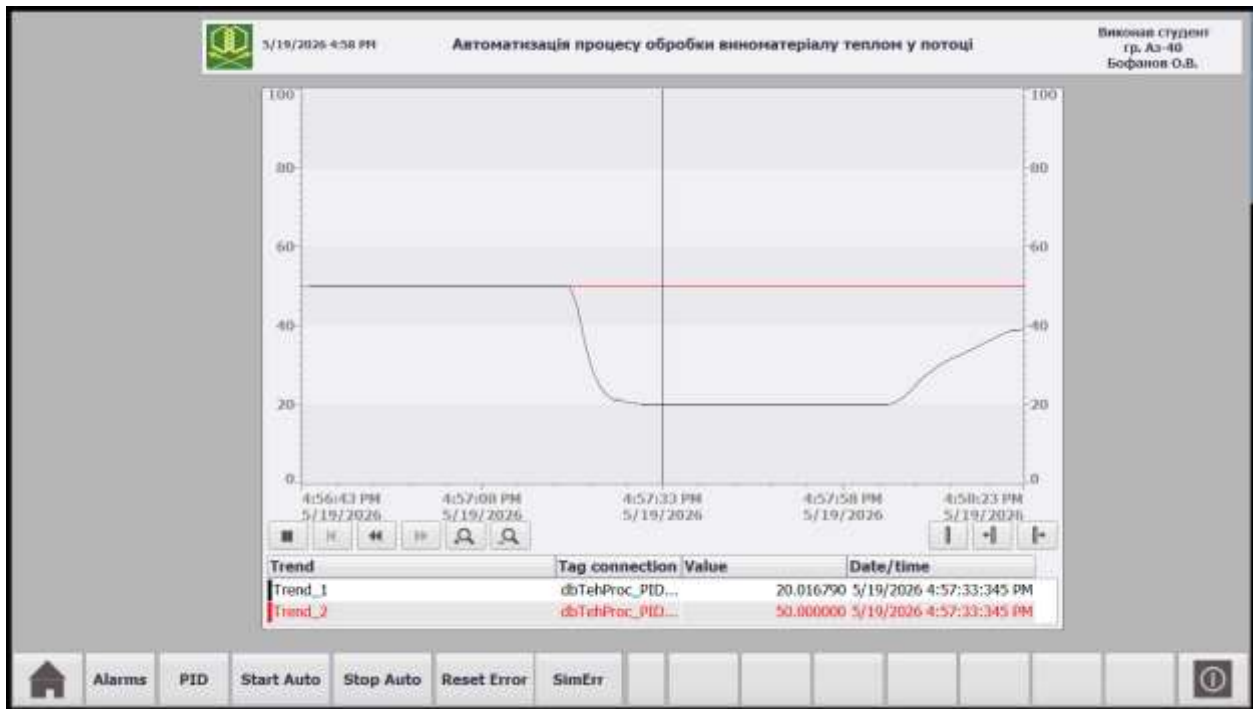


Рис. 7.18 – Екран PID з відображенням температури вина в тестовому режимі.

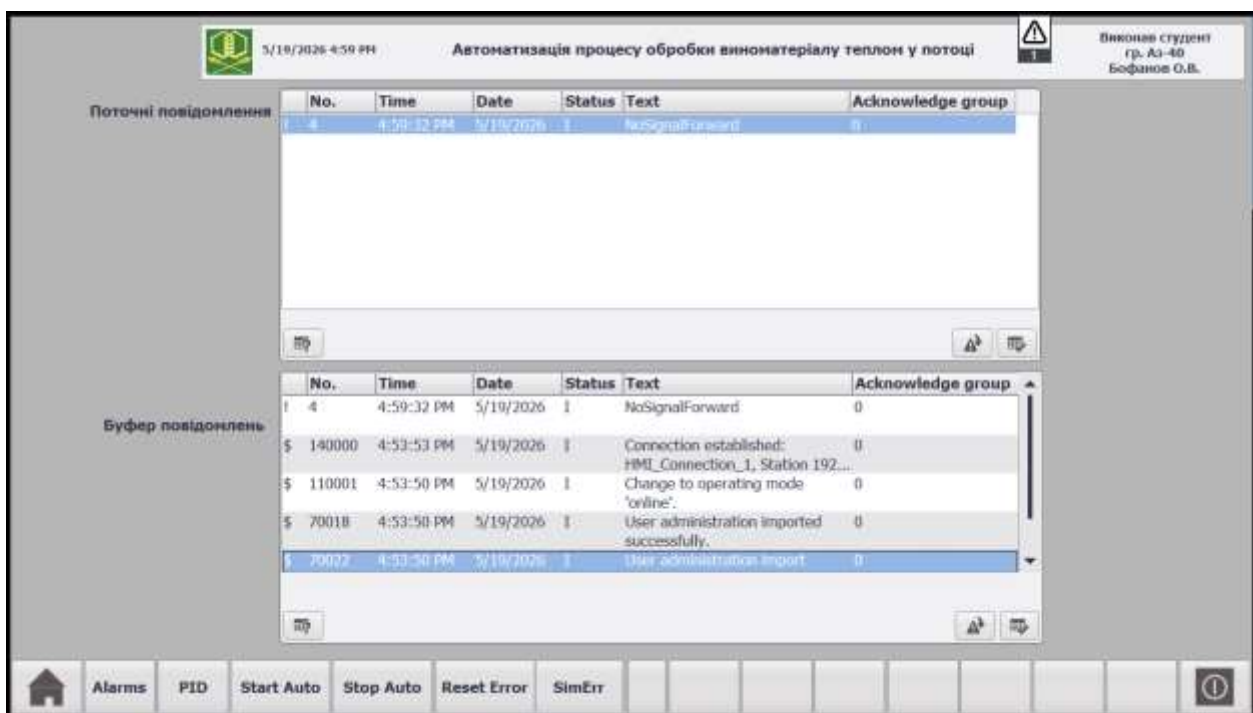


Рис. 7.19 – ЕкранAlarms в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (насосу вина) установки з теплової обробки вина.

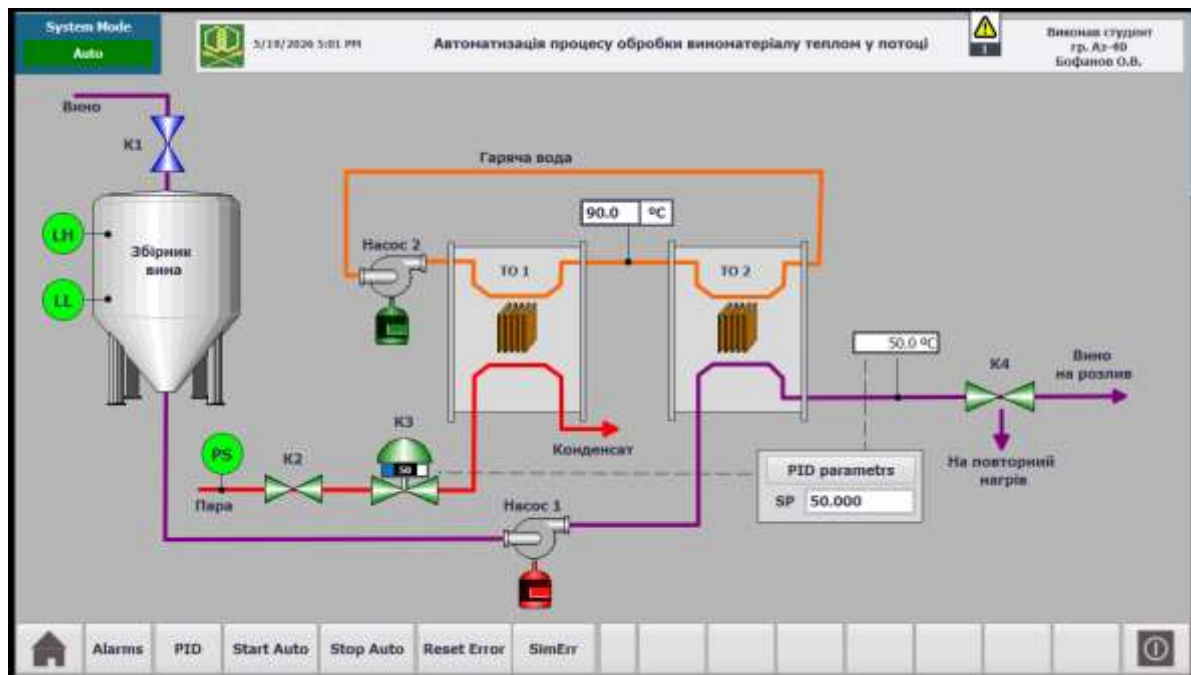


Рис. 7.20 – Головний екран в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (насосу вина) установки з теплової обробки вина.

Висновок: 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.

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

8.1 Перехід України на європейські стандарти (EN) та міжнародні норми (ISO/IEC) у сфері автоматизації

— це не просто формальність, а необхідна умова для інтеграції вітчизняних підприємств, особливо в харчовій та зернопереробній галузях, до глобального ринку. До 2028 року агросектор України має повністю синхронізувати виробничі правила з вимогами ЄС.

Нижче наведено ключові групи стандартів, які зараз впроваджуються в Україні:

8.1.1. Проектування та графічні позначення

Для створення схем автоматизації (P&ID) замість застарілих радянських ГОСТів використовуються стандарти, що забезпечують «універсальну мову» інженерів.

ДСТУ ISO 14617 (зокрема ISO 14617-1:2025):** Визначає правила побудови графічних символів для діаграм. Це база для роботи в сучасних САПР, таких як EPLAN або AutoCAD Electrical.

ДСТУ EN 62424: Стандарт для представлення проектів автоматизації за допомогою діаграм P&ID та обміну даними між інструментами P&ID та PCE (Process Control Engineering).

8.1.2. Керування рецептурними процесами (Batch Control)

Для харчової та зернопереробної промисловості, де виробництво часто йде партіями (змішування компонентів комбікорму, варіння суслу, дозування інгредієнтів), критично важливим є стандарт ISA-88 (міжнародний аналог — IEC 61512).

Рівень обладнання: Розподіл на установки (Units), агрегати (Equipment Modules) та компоненти (Control Modules).

Процесна логіка: Використання термінів «рецепт», «операція» та «фаза». Це дозволяє швидко змінювати асортимент продукції без переписування коду контролера.

8.1.3. Вертикальна інтеграція (Enterprise-Control System Integration)

Для ефективного керування елеватором або харчовим заводом дані з нижнього рівня (датчики/контролери) мають безперешкодно потрапляти в систему управління підприємством (ERP).

ISA-95 (IEC 62264): Цей стандарт визначає інтерфейс між виробничими операціями (MES-системи) та бізнес-плануванням. Він дозволяє автоматизувати звітність про витрати сировини, енергоресурсів та вихід готової продукції.

8.1.4. Безпека харчової продукції та простежуваність

Автоматизація в цих галузях тісно пов'язана з гігієнічними вимогами та контролем якості.

ISO 22000: Система менеджменту безпеки харчових продуктів. Автоматика має забезпечувати контроль критичних точок (НАССР) — наприклад, температуру сушіння зерна або пастеризації молока.

Простежуваність (Traceability): Стандарти вимагають, щоб автоматизована система могла «відстежити» шлях кожної партії сировини від прийомки до готового виробу.

8.1.5. Основні переваги переходу:

1. Сумісність: Можливість інтегрувати обладнання різних виробників в одну мережу.
2. Експорт: Продукція, виготовлена на сертифікованих за стандартами ЄС лініях, легше проходить сертифікацію для продажу в Європі.
3. Масштабованість: Модульний підхід за ISA-88/95 дозволяє легше модернізувати окремі ділянки цеху.

8.2. Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень

Для реалізації системи автоматичного керування (САК) ділянкою нагріву вина запропонована технічна структура, яка представлена на рис. 8.1.

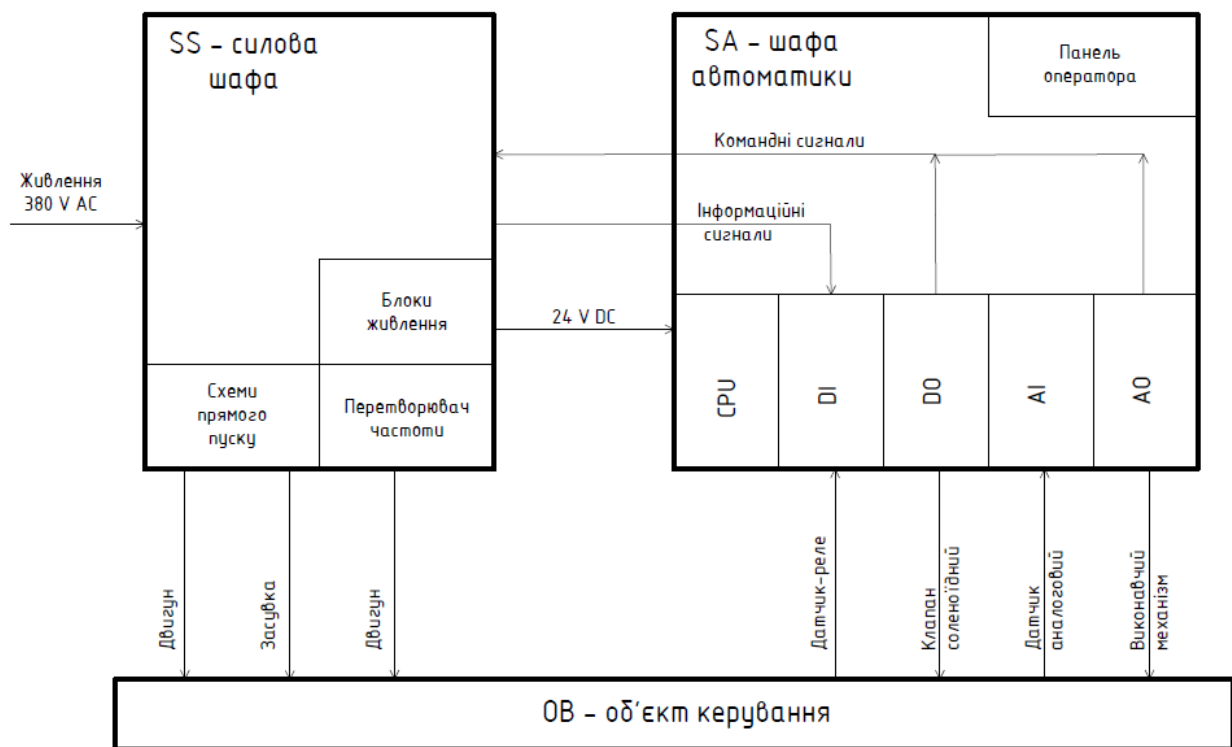


Рис. 8.1 Структура САК

В силовій шафі розміщені технічні засоби для керування електроприводами та блоки живлення. В шафі автоматики розміщені технічні засоби інтелектуальної частини САК. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора, що покращує завадостійкість системи керування.

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

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему (ПЕС) керуванням електроприводу;
- 3 – ПЕС живлення;
- 4 – схему мережевих зв'язків;
- 2 – ПЕС підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – ПЕС підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – ПЕС підключення до блоку аналогових входів ПЛК;

5 – ПЕС підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів;
- дану пояснювальну записку до проекту.

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи оператора встановлюють ПЛК та елементи живлення до нього, а на фасадній двері – панель оператора.

Центральний процесор CPU 1513, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на DIN-рейку 35 мм в шафі оператора. Вони використовуються для отримання інформації з датчиків безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми для підтримки регламентних значень регульованих змінних, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по мережам PROFINET;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу – модуль AI 4xU/I (6A7 1531-7KF00-7AB0) та модуль AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0);
- опитування стану дискретних входів - модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та вивід із дискретних виходів сигналів керування - модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

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

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ ISO 14617-6:2018 «Графічні умовні позначки для схем. Частина 6. Функції вимірювання та керування». Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК сумісно з панеллю оператора. Всі використані датчики вхідних сигналів обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20mA DC), вихідні аналогові сигнали напруги (0...10 V DC) і сприймаються виконавчими механізмами.

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

- 1 – 2 керування та контроль стану електроприводів M1, M2;
- 3, 11 – контроль і регулювання температури води і вина;
- 4 – 6 – керування та контроль стану соленоїдних клапанів TV4, TV5-LV6;
- 7 – 8 – контроль рівня вина;
- 9 - 10 - контроль тиску пари і тиску вина перед насосом.

У контурах 1 – 2 та 4 - 6 керування приводами передбачені функції місцевого керування, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у силовій шафі, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

У контурі 3 реалізована система контролю та регулювання температури вина перед розливом. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем TУ/3 пропорційний температурі сигнал струму 4...20 mA DC подається на регулятор ТС/3, який формує керуючий вплив у вигляді 0...10 V DC, що подається виконавчий механізм клапану TCV3. Регулятор програмно реалізований в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної НІС/3, які реалізовані в панелі оператора. Побудова каскадної САР можлива завдяки вимірюванню температури гріючої води в контурі 11 датчиком TУ/11.

В контурах 7, 8 сигнал від датчиків-реле рівня LS/7, LS/8 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації LIS7, LIS8 на панелі оператора.

Аналогічно сигнал від датчиків-реле тиску PS/9, PS/10 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації PIS/9, PIS/10 на панелі оператора

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

8.3. Розробка принципової електричної схеми керування електроприводом

Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS.

Дана ПЕС забезпечує місцеве і дистанційне керування. Живлення електропривода M1 здійснюється від мережі типу TN через автомат захисту електродвигуна Q1, клеми контактора Q3, кабель W15 та вимикач OB-Q1.

Місьцеве керування електроживленням котушки контактора Q3 здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q2, кнопки Стоп S1 та кнопки Пуск S3. Перемикання в дистанційний режим здійснює перемикач S2. Керуючий сигнал від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) контролера формує проміжне реле K5, яке своїм контактом здійснює електроживлення котушки Q3.

Стани Q3, S2, K4 у вигляді сигналів 24 V DC подаються до дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0).

8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення

Дана схема забезпечує живлення модулів ПЛК і панелі оператора.

Всі її компоненти розміщуються в силовій шафі SS. Живлення здійснюється від фази L1 через автоматичний вимикач Q4 та блок безперебійного живлення UPS. До його виходів через автоматичні вимикачі Q6, Q7 підключені два джерела живлення G1, G2 220 V AC/ 24 V DC, які забезпечують напругу живлення для модулів ПЛК і панелі оператора. Вихідні ланки G1, G2 захищені від режиму «короткого замикання» запобіжниками F2, F3.

Освітлення в шафі забезпечує лампа H2, яка отримує живлення від фази L1 через кнопку S7. В шафі передбачена розетка REC1, яка отримує живлення від фази L1 через диференційний вимикач Q5.

8.5. Розробка принципів електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W 2, 3, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування. По кабелям W6, W7, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле тиску PS/9, PS10, а по кабелям W4, W5, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле рівня LS/7, LS/8.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W8, 9, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1, M2. Також до виходу модуля дискретних виходів по кабелям W12, 13, 14, що підключаються до клем SA-X1, підключаються проміжні реле K1, K2, K3, для керування соленоїдами клапанів LV/6, TV/4, TV/5.

Модуль аналогових входів AI 4xU/I (6AG 1531-7KF00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики температури з уніфікованим виходом 4...20 mA DC TY13, TY11.

Модуль аналогових виходів AO 2xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналоговий вихід цього модуля формує сигнал 0...10 V DC, які за допомогою кабелю W1, що підключаються до клем SA-X1, передає сигнал керування на виконавчий механізм TCV3.

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

8.6 Охорона праці при монтажі, налагодженні та експлуатації АСКТП

8.6.1 Загальні положення

Безпека праці при створенні та експлуатації систем автоматизації технологічних процесів повинна відповідати вимогам:

- Закону України «Про охорону праці»;
- НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- НПАОП 0.00-1.32-01 «Правила техніки безпеки під час експлуатації електроустановок»;
- ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання будівель і споруд»;
- ДСТУ EN 60204-1:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин»;
- ПУЕ (Правила улаштування електроустановок).

Цей розділ поширюється на:

- шафи керування (ПЛК, частотні перетворювачі, пристрої захисту);
- польове обладнання (датчики, виконавчі механізми, регулювальні клапани);
- кабельні мережі та кросові з'єднання;
- операторські станції та серверне обладнання;
- системи живлення (щити, ДБЖ).

8.6.2 Вимоги до розміщення обладнання АСКТП

Доступність та обслуговування

- Шафи керування повинні встановлюватися в приміщеннях з вільною доступністю для кваліфікованого персоналу (ширина проходу – не менше 0,8 м, перед щитами – не менше 1,0 м).

- Обладнання масою понад 30 кг слід монтувати на несучих конструкціях із передбаченням такелажних пристроїв.

- Для обладнання, що виділяє тепло (частотні перетворювачі, блоки живлення), необхідно забезпечити природну або примусову вентиляцію згідно з паспортними даними.

Захист від зовнішніх впливів

- Ступінь захисту оболонки шаф — не нижче ****IP54**** (для чистих приміщень) або ****IP65**** (для зон з пилом/вологою).

- Польове обладнання обирається зі ступенем захисту відповідно до класу зони за ПУЕ (IP54, IP65, IP67).

- У зонах з підвищеною вологістю або хімічною активністю додатково передбачається герметизація кабельних вводів та встановлення корозійностійких матеріалів (AISI 304/316L).

Пожежна безпека

- Шафи керування повинні розташовуватися на відстані не менше **1,0 м** від горючих матеріалів.

- Кабельні траси (лоточні, коробні системи) виконуються з негорючих матеріалів (метал).

- Для категорійних приміщень за вибухопожежною небезпекою застосовуються кабелі з оболонкою, що не поширює горіння (нг-LS, нг-HF).

8.6.3 Вимоги до електрообладнання та засобів захисту

Живлення та заземлення

- Всі металеві частини шаф, пультів, каркасів обладнання повинні бути надійно заземлені (головна заземлювальна шина).

- Електроживлення систем автоматизації виконується згідно з вимогами ПУЕ через роздільні автомати захисту.

- Для зниження завад в ланцюгах сигналізації та керування передбачається роздільне заземлення (силове / сигнальне).

Захист від аварійних режимів

- Електродвигуни та перетворювачі частоти повинні мати захист від короткого замикання, перевантаження (теплове реле, електронний захист), втрати фази.

- Інтегровані системи захисту АСКТП (ПАЗ) повинні дублювати автоматичне вимкнення при перевищенні критичних параметрів (температура обмоток, струм, вібрація).

Розрив усіх фаз

- Комунікаційні апарати (автомати, контактори) повинні забезпечувати одночасне відключення всіх провідників, що перебувають під напругою, у ланцюгах живлення двигунів.

Попереджувальна сигналізація

- При автоматичному або дистанційному пуску механізмів обов'язково передбачається звукова та світлова передпускова сигналізація (час попередження — не менше 5 с).

Аварійне відключення

- Біля кожного механізму (або в зоні видимості) встановлюється апарат аварійного відключення (червоний грибоподібний вимикач) з фіксацією положення.

- Після спрацювання аварійного вимикача дистанційний та автоматичний пуск блокується до примусового повернення кнопки у вихідний стан.

Блокування мимовільного пуску

- Після тимчасового зникнення напруги — повторний пуск двигунів системи керування може виконуватися лише після ручного підтвердження оператором (за винятком критичних механізмів безперервного циклу, де самозапуск обґрунтований технологічним регламентом).

8.6.4 Особливості для частотно-регульованих приводів

- Кабелі між перетворювачем частоти та двигуном повинні мати екран (або броню), який заземлюється з обох кінців для зниження електромагнітних перешкод.

- Виробник перетворювача частоти повинен забезпечувати фільтри придушення радіоперешкод (згідно з EN 61000-6-3/4).

- Довжина силових кабелів обмежується технічними вимогами ПЧ (зазвичай $\leq 100\text{--}200$ м), або застосовуються вихідні дроселі.

- Потужні частотні перетворювачі (понад 30 кВт) слід розміщувати в окремих шафах з вентиляцією.

8.6.5 Вимоги до устаткування у вибухо- та пожежонебезпечних зонах

Вибухонебезпечні зони (класи В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг за ПУЕ)

- Електрообладнання (двигуни, датчики, світильники, розподільні коробки) повинно мати відповідний рівень вибухозахисту ($E_{x\ d}$, $E_{x\ e}$, $E_{x\ i}$, $E_{x\ t}$ тощо) згідно з ДСТУ EN 60079.

- Забороняється розміщувати в вибухонебезпечній зоні апарати з іскрящими

контактами (реле, контактори) без оболонки Ex d або Ex p.

- Максимальна температура нагріву поверхні двигуна/обладнання не повинна перевищувати температуру самозаймання газопарового середовища (T1...T6).

- Кабельні вводи повинні мати вибухозахист (Ex d або Ex e).

Пожежонебезпечні зони (класи П-I, П-II, П-IIa)

- Ступінь захисту оболонки — не нижче **IP44** (для зон П-II, П-IIa — IP54).

- Контактні кільця двигуна та інші іскрячі вузли слід розташовувати на відстані не менше 1 метра від горючих речовин або відокремлювати екраном з негорючого матеріалу.

- Для вентиляції двигунів у пожежонебезпечних зонах забороняється використовувати повітря, що містить горючі пари, гази або пил.

8.6.6 Вимоги до засобів автоматики

- Контролери (ПЛК) повинні встановлюватися в закритих металевих шафах із доступом лише для уповноваженого персоналу.

- Кнопкові пости (пульти) з підлоги повинні мати корпус із ізоляційного матеріалу або надійно заземлюватися.

- Для реверсивних пусків передбачається механічне та електричне блокування контакторів (унеможливлення одночасного вмикання).

- Якщо механізм має кілька постів керування — повинно бути блокування (наприклад, ключ-селектор), що забороняє одночасне керування з різних постів.

- Для всіх кнопок аварійної зупинки передбачається фіксація положення та введення додаткового контакту в ПЛК для архівації факту аварійної зупинки.

8.6.7 Маркування та інструктаж

На корпусах апаратів керування (в тому числі на симуляторах та мнемосхемах SCADA) повинні бути чіткі знаки включено/вимкнено. Якщо положення рукоятки не визначає стан апарата однозначно, передбачається світлова індикація.

Усі працівники, які обслуговують, налагоджують або виконують ремонт

систем автоматизації, повинні проходити:

- первинний та періодичний інструктаж з охорони праці;
- перевірку знань правил електробезпеки (група допуску не нижче III до 1000 В);
- ознайомлення з проєктною документацією та схемами.

Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу нагріву вина. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

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

РОЗДІЛ 9 ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ 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 поточкових 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 $\text{Ц}_{\text{опт}}$;

Витрати на тару й упакування – $\text{Ц}_\text{т}$;

Заготівельно-складські видатки – $\text{Ц}_\text{з-з}$;

Витрати на монтаж устаткування – $\text{Ц}_\text{м}$;

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

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

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

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

де: $\text{IS}^\text{перв}^\text{б}$ – первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки, тис. грн.

$\text{Ц}_{\text{опт}}^\text{б}$ – оптова ціна базової техніки,

Нормативи наведені в таблиці 9.1

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

При проведенні модернізації одиниці діючої техніки капітальні вкладення

розраховують укрупнено за формулою:

$$IC_{\text{мод}} = IC^{\text{б}}_{\text{перв}} * N_{\text{мод}} \quad (9.2)$$

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

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

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

Таблиця 9.1 – Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень

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

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

Показники	Позначення	Од. вимір.	Величина
Норматив витрат на демонтаж від $Ц_{\text{опті}}$		%	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:

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

де: H_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:

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

де: H_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 ^б	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.

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

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

Поб – годинна продуктивність обладнання (паспорт обладнання)

Фг- річний фонд часу роботи обладнання, год

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

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

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 теплосмість 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.

$$Q_1 = G_1 c_1 (t_{\text{кк}} - t_{\text{п}}) = 450 * 0,481 * (75 - 25) = 10823 \text{ (кДж)} \quad (9.6)$$

2. Витрати тепла на нагрів води за годину

$$Q_2 = G_2 c_2 (t_{\text{кк}} - t_{\text{п}}) = 50 * 4,186 * (75 - 18) = 11930,1 \text{ (кДж)} \quad (9.7)$$

3. Втрати тепла в зовнішнє середовище приймемо 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:

$$Q_{\text{зміни}} = 1Q_1 + 8 (Q_2 + Q_3) = 10823 + 8 (11930,1 + 2386,0) = 125351,8 \text{ (кДж)} \quad (9.8)$$

Витрати пара за зміну:

$$В_{\text{п зміни}} = Q_{\text{зміни}} / (i - i_{\text{к}}) = 125351 / 2627 - 502 = 59,0 \text{ кг} \quad (9.9)$$

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

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

При такому режимі річні витрати пару складуть:

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

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

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

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 ($t_{\text{к}}$) приймаємо на 25-30°C вище від кінцевої температури холодного теплоносія

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

$$В_{\text{п}} = В_{\text{пз}} * Т_{\text{зм}} * \Phi_{\text{р}} * С_{\text{в}} \quad (9.10)$$

$$В_{\text{п}}^6 = 26,5 \text{ тис.грн}$$

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

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.

$$Bp = IC \text{ перв}^{H(6)} * H_p, \quad (9.11)$$

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

$$Bp^H = 69,2 * 0,1 = 6,9 \text{ тис. грн.}$$

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

Витрати пов'язані з амортизацією обладнання розраховуються за формулою :

$$B_a = IC \text{ перв}^{H(6)} * H_p. \quad (9.12)$$

$$B_a^6 = 62,9 * 0,24 = 15,1 \text{ тис. грн.}$$

$$B_a^H = 69,2 * 0,24 = 16,6 \text{ тис. грн.}$$

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

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

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

Таблиця 9.4 – Зміна річних поточних витрат, тис грн

№ п/п	Статті з витрат	Позн.	Величина, тис. грн.		Відхилення. + - збільшен - 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 з витрат	Позн.	Величина, тис. грн.		Відхилення. + - збільшен - зменшен
			До модер.	Після модер.	
2	Витрати на поточний капітальний ремонт	Зр	6,3	6,9	0,6
3	Витрати пов'язані з	За	15,1	16,6	1,5

	амортизацією				
5	Всього поточних витрат	3	47,9	42,1	5,8

9.3 Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства

Розрахунок обсягу виробництва продукції здійснюємо за формулою:

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

де: Р – 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:

$$C^н = C^б - \Delta З \quad (9.16)$$

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

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

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

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

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

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.

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

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

де: $\Pi_{п}$ – 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	Позначення	Обладнання		Зміна статей витрат (+)- зростання. (-) зниження
			Базове	Модернізація	
	Прибуток від реалізації, тис. грн.	Т П	12 15 0,0	121 50,0	-

Таблиця 9.5 (закінчення) – Показники виробничої діяльності підприємства

\п	Показник	П оз на - че н ня	Обладнання		Зміна статей витрат (+)- зростанн я. (-) зниження
			Баз ове	Мод ерни зова не	
2	Повна собівартість продукції тис. грн.	С	98 78, 1	9872, 3	5,8
3	Прибуток, тис. грн.	П	22 71, 9	227 7,7	5,8

9.4 Висновки до розділу

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

ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи встановлено, що ефективність технологічного процесу теплової обробки вина безпосередньо визначається точністю підтримання ключового режимного параметра — температури виноматеріалу.

Досліджуваний об'єкт керування за всіма каналами проявляє статичні властивості та найбільш адекватно описується математичними моделями другого порядку. Ідентифікація моделей каналів, доступних для цілеспрямованого впливу, виконувалась методом активного експерименту із застосуванням 10%-го ступінчастого збурення на вході каналу. Для параметричної ідентифікації моделей каналу управління використовувався метод двох характерних точок, адаптований для моделей першого та другого порядку.

Відтворення та верифікація отриманих моделей здійснювались у середовищі імітаційного моделювання MATLAB.

На основі розроблених моделей послідовно виконано синтез САР: спочатку базової одноконтурної структури, а потім каскадної. Початкові параметри регулятора визначались за спрощеними розрахунковими методиками, після чого проводився аналіз якості замкненої системи. За результатами аналізу здійснено оптимізацію параметрів регулятора за допомогою програми Optimizator, що забезпечує пошук раціональних комбінацій налаштувань у заданому діапазоні за інтегральним модульним критерієм оптимальності. Порівняльна оцінка підтвердила покращення як прямих, так і інтегральних показників якості регулювання.

Окремо виконано синтез САР підвищеної динамічної точності на базі розробленої структури. Розраховано та оптимізовано параметри головного й допоміжного регуляторів. Проведено перевірку робастності системи за умови варіації параметрів об'єкта керування в діапазоні $\pm 20\%$ від номінальних значень

— система підтвердила стійкість і прийнятні показники якості в усьому зазначеному діапазоні відхилень.

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.

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 Мб1а,1997 (ГОСТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.
11. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мб1а,1997 (ГОСТ 21.408-93, МНТКС). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
12. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мб1а,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.

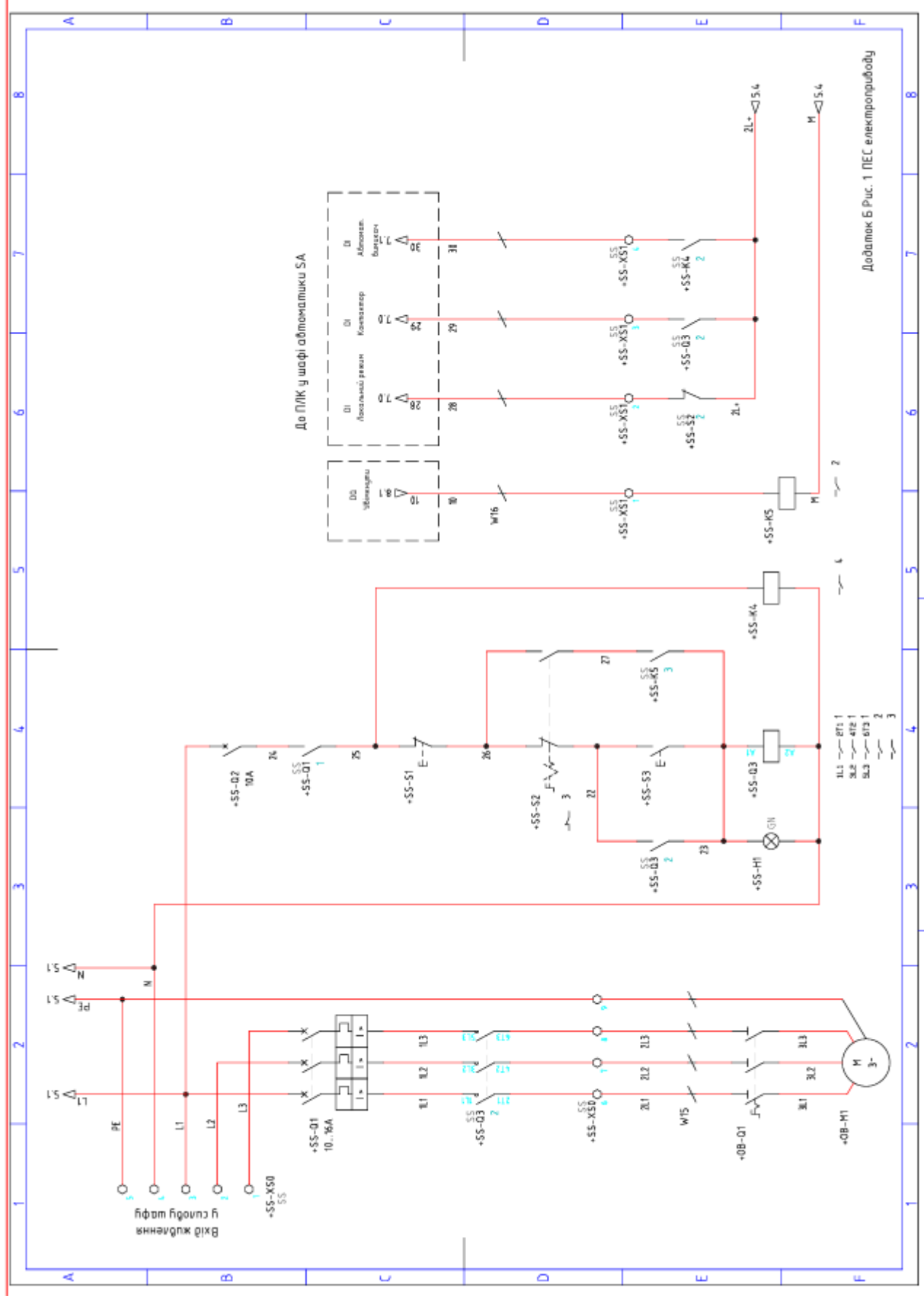
ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації
Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

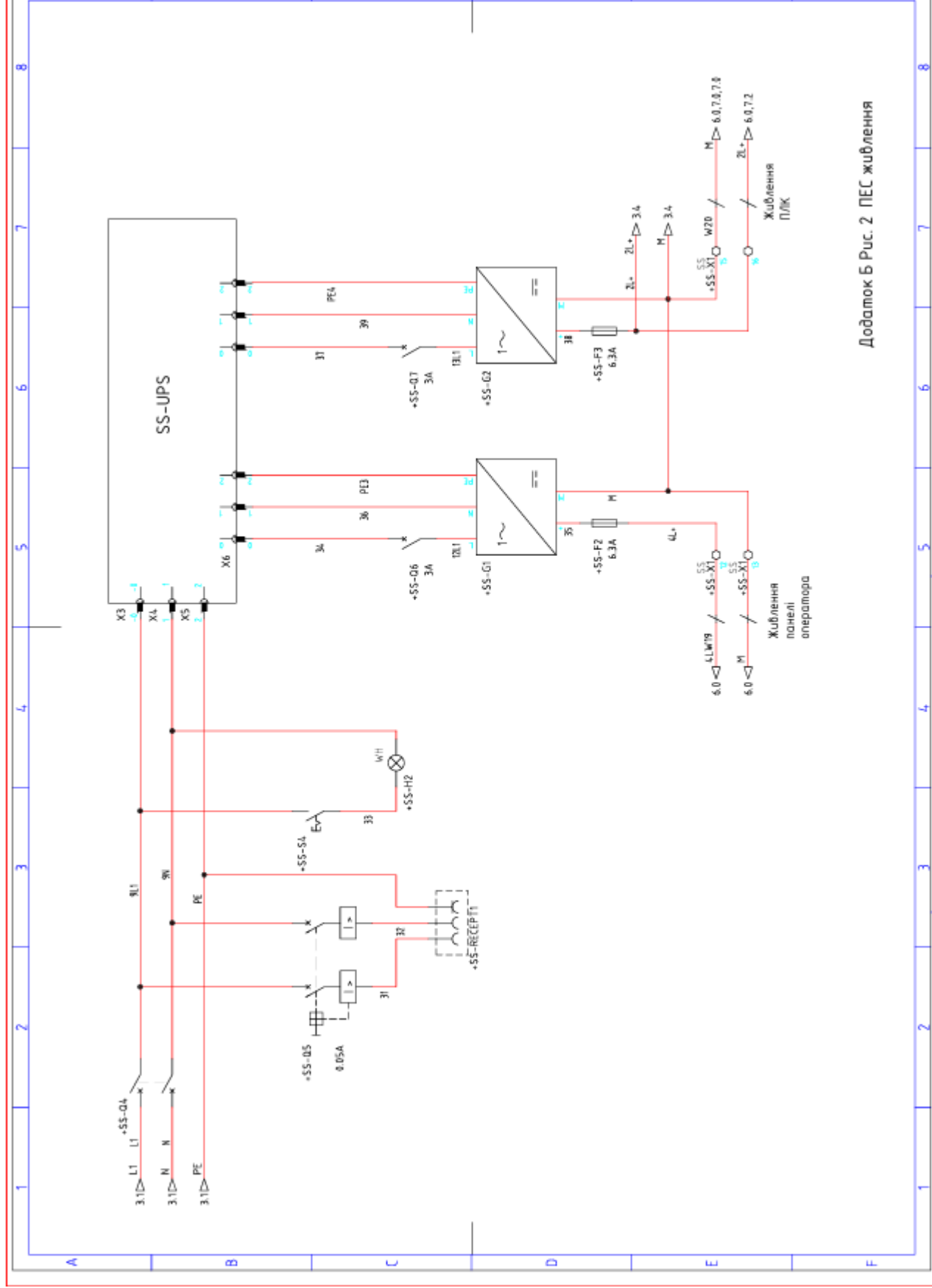
Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
TY/3	Датчик температури Omnigrad T TST487	1	
PS/10	Реле тиску пари 611GE	1	
PS/9	Реле тиску вина RT 200L	1	
LS/7 LS/8	Реле рівня вина EASYTREK SP 500 фірми Nivelko	2	
TCV/3	Регулюючий клапан Belimo H614S, виконавчий механізм Belimo NV24A-SZ-TPS	1	
LV6	Електромагнітний клапан CEME 8617	1	
TV5	Електромагнітний клапан SV-SH-ES-22NC-50	1	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
TC/3 KS/1... KS/6	Центральний процесор CPU 1513 1 PN	1	
HIS/1... HIS/6	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
HS/1... HS/6	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	6	
	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	6	

ДОДАТОК Б Документація до принципів електричних схем
Таблиця Б1 – Попередній перелік обладнання до принципової електричної
схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	Електропривід		
Q1	Автомат захисту двигуна Schneider Electric GV3P65	1	
KM1	Контактор Schneider Electric LC1E65M5	1	
K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
S4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	
S3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	
S2	Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, 1 червона, без фіксації, 1H3 Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	
H1	Індикатор світловий, метал, 24V AC / DC, Білий Siemens: 3SU1132-0AD60-3AA0	1	
	Схема живлення		
Q4	Автоматичний вимикач Siemens: 5SL6210-6	1	
USB	Smart-UPS LogicPower-1000 PRO	1	
G1, G2	PS 60W 24/48/60VDC (6ES7505-0RA00-0AB0)	2	
Q5	MITSUBISHI CP-S-2P-0.05A	1	
F2, F3	TELEMECANIQUE ABE7FU630	2	
	<u>DI</u>		
PLC1	DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)	1	
F1	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
PS/9	Реле тиску вина RT 200L	1	
PS/10	Реле тиску пари 611GE	1	

LS/7, LS/8	Реле рівня вина EASYTREK SP 500 фірми Nivelko	2	
	<u>DO</u>		
PLC2	модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)	1	
K1, K2 K3	Реле проміжне Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24B DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	3	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
	<u>AI</u>		
PLC3	Модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00- 0AB0)	1	
TY/3	Датчик температури Omnigrad T TST487	1	
	<u>AO</u>		
PLC4	Модуль AO 2xU/I/6ES7 (532-5NB00- 0AB0)	1	
TCV3	Виконавчий механізм Belimo NV24A-SZ-TPS	1	





Додаток Б Рис. 2 ПЕС житлення