

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему «Автоматизація процесу керування швидким охолодженням
виноматеріалу»

Здобувача О.Р. Мельника
(прізвище, ініціали)

IV курсу АТ-21 групи

Керівник доцент В.М. Левінський
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти:

доц. М.Т. Степанов
(посада, прізвище та ініціали)

проф. И.И. Савенко
(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від «___» _____ 20__ р., протокол № ___

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

І.М. Світий
(ПІБ)

Одеса – 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

«23» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Мельник Олександр Романович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Левінський Валерій Михайлович, к.т.н. доцент
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 603-03 від 19.10.23 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи «11» червня 2024 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САК.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світій І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Савенко І.І., проф. кафедри МіЛ		

7. Дата видачі завдання 04 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач Мельник О.Р.

Керівник роботи Левінський В.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 Мельник О.Р.

Прізвище, ініціали

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Мельника Олександра Романовича «Автоматизація процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу» викладена на 213 сторінках, кількість таблиць 36, рисунків – 141, додатків - 3, джерел з переліку посилань - 15.

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

Об'єкт розробки – Автоматизація процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САР, зниження числа аварійних ситуацій, покращення взаємодії з оператором-технологом.

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

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

ЗМІСТ

Назви розділів, підрозділів	Стор.
Перелік умовних позначень, символів, одиниць	14
Вступ	15
1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК	16
1.1 Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів	16
1.1.1 Складання розгорнутої схеми ТП і опис суті процесу	16
1.1.2 Опис конструкції ТА, а також особливості його експлуатації	19
1.1.3 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо і доцільно реалізувати розглянутий ТП	20
1.1.4 Параметризація схеми ТП, фізичні, біологічні та інші параметри середовищ ТП та компонентів ТА, що змінюються в ході процесу	20
1.1.5 Первинний аналіз параметрів ТП та ТА за п.1.1.4, у ході якого їх поділяють на дві групи : а) параметри, значення яких або характер їхньої зміни, регламентовані; б) параметри, зміни значень яких впливають регламентовані параметри	22
1.1.6 Поглиблений аналіз параметрів за п.1.1.5, у ході якого, їх поділяють на три групи: а) „технологічні”; б) „експлуатаційні”; в) „техніко-економічні та екологічні”; Аналіз регламентів ведення ТП і роботи ТА, допустимі відхилення від нормативів, класифікація цих відхилень на „тривалі”, „короткочасні”, і на „гранично-допустимі	22
1.1.7 Поглиблений аналіз параметрів за п.1.1.5, в ході якого їх	24

поділяють на три групи: „сировинні”, „енергетичні” та „механічні”, а потім аналізуючи причини їх змін, виділяють ті, які можливо змінювати цілеспрямовано, наприклад – „вручну” (із цієї групи потім можна буде обрати керуючі впливи на об’єкт керування в САК)

1.1.8 Розробка параметричної схеми ТП, яка на формальному рівні, відображає причинно-наслідкові зв'язки між його вхідними та вихідними параметрами ТП як об'єкта керування	25
1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП	26
1.2.1 Оцінка існуючого рівня реалізації функції регулювання	26
1.2.1.1 Засоби отримання інформації про хід ТП і стан ТА	26
1.2.1.2 Засоби безпосереднього впливу на процес (регулюючі органи на магістралях матеріальних і енергетичних потоків)	26
1.2.1.3 Засоби обробки інформації і формування керуючих дій	27
1.2.1.4 Засоби представлення інформації технологічному персоналу і оператору процесу, а також засоби, через які вказані спеціалісти впливають на процес	27
1.2.2 Оцінення існуючого рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування, які призначені для переведення ТА з поточного технологічного стану до нового (заданого) стану	27
1.2.2.1. Умови, за яких можливий технологічний (тобто відповідно до регламенту) пуск ТА	27
1.2.2.2. Умови, за яких можлива технологічна зупинка ТА	27
1.2.2.3 Умови, за яких необхідний аварійна (екстрена) зупинка ТА	28
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК	28
1.3.1 Конкретизація впливу вхідних сировинних, енергетичних, механічних параметрів ТП на вихідні параметри, які складають техніко-економічний та екологічний регламенти	28

1.3.2	Визначення потенційних джерел економічної ефективності від впровадження поліпшених функцій регулювання та логічного керування	29
1.3.3	Конкретизація кінцевої економічної цілі модернізації системи і визначення, за рахунок яких саме поліпшень функцій регулювання та логічного керування вона може бути досягнута	29
2.	Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	31
2.1.	Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання	31
2.1.1	Конкретизація завдання керування об'єктом і визначення регульованої змінної	31
2.2.	Ідентифікація каналів перетворення об'єкта регулювання	33
2.2.1	Проведення апріорного аналізу статичних властивостей каналів об'єкта й прийняття рішення про допустимість їх лінеаризації, виходячи, зокрема, з оцінки діапазонів зміни їх вхідних змінних; апріорний аналіз і вибір структури моделей динамічних властивостей (статичні, астатичні, стаціонарні, нестационарні) каналів регулювання і неконтрольованих збурень; обґрунтування і вибір методів отримання моделей і їх параметрів	33
2.2.2	Розробка моделі об'єкта заздалегідь обраними методами (аналітичними, експериментальними, комбінованими)	34
2.2.3.	Ідентифікація моделей статичних характеристик каналів об'єкта регулювання	41
2.3	Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання	47
2.3.1	Складня плану пасивного експерименту для збору інформації про координатні збурення; проведення оцінювання імовірнісних характеристик випадкових складових збурень, вибір і	47

параметричну ідентифікацію їх моделей; обґрунтування і вибір структури моделей детермінованих складових збурень, обґрунтування їх параметрів	
2.3.2 Моделі для обліку параметричних невизначеностей моделі об'єкта (параметричних збурень) і шумів вимірювання, задають і (чи) ідентифікують їх параметри	52
2.4. Реалізація моделей на ПЕОМ і обґрунтування їх адекватності об'єкту	56
2.4.1 Розробка структурної схеми імітаційного моделювання окремих каналів перетворення дій і об'єкта керування в цілому; проведення необхідних «машинних» експериментів для отримання статичних і динамічних (перехідних) характеристик моделей; порівняння відповідних характеристик об'єкта і моделі, які отримані при ідентичних умовах, і роблять висновок про їх відповідність (адекватність моделей об'єкту)	56
2.4.2 Метод формування імітаційних моделей випадкових складових вхідних дій на систему, і розрахунок відповідних формуючих фільтрів; розробка структурних схеми моделювання вхідних дій; проведення моделювання, і оцінювання характеристик змодельованих впливів чи їх складових; порівняння відповідних характеристик реального процесу і його моделі, і висновок про їх адекватність	67
2.5 Висновки за розділом	74
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР	75
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом	75
3.1.1 Конкретизація задачі регулювання (стабілізації, програмного регулювання, слідкуючого регулювання); регламентні зони, вимоги до статичної і динамічної точності цих змінних; обґрунтування вибору інтегральних показників якості системи	75

автоматичного регулювання (САР) для перехідних і сталих режимів її роботи	
3.1.2 Обґрунтування вибору базового принципу регулювання (жорсткого, за збуреннями, за відхиленням); розробка базової (найпростішої структури) структурної схеми всієї САР	78
3.1.3 Обґрунтування вибору альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання (нелінійного двопозиційного і лінійного ПД - алгоритму); запис їх рівняння і (чи) передаточні функції, конкретизація переліків налагоджувальних параметрів	79
3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури	82
3.2.1 Розрахунок початкових наближень налагоджувальних параметрів регуляторів (алгоритмів), обґрунтування переліку оптимізованих параметрів	82
3.2.2 Розробка, реалізація і налагодження імітаційної моделі регуляторів і САР в цілому, включаючи моделі ефективності (критерій оптимізації), вхідних дій і шумів; оцінення результатів моделювання САР при початкових наближеннях параметрів регуляторів; проведення машинних експериментів з оптимізації параметрів регуляторів і аналізу його результатів	85
3.2.3 Перевірка САР на грубість; аналіз результатів експериментів; визначення значень і діапазонів зміни прямих показників якості і критерію оптимальності, а за її сталим процесом – оцінки імовірнісних характеристик якості; визначення відповідних отриманих характеристик регламентним зонам; висновок про ступінь відповідності розробленої САР вимогам	88
3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз	101
3.3.1 Аналіз особливості об'єкта регулювання, які знижують динамічну точність САР, і вибір шляхів її підвищення, пов'язані з доданням САР спеціальних властивостей, наприклад,	101

інваріантності, автономності, компенсації запізнення й ін.; розробка структури САР, що забезпечує необхідні властивості, і формуле умови, при яких, для отриманої структури САР, ці властивості будуть реалізовані; виведення додаткових (коригуючих) зв'язків, введених у базову структуру САР; аналіз фізичної реалізованості цих передатних функцій і їх типу, прийняття рішення про збереження чи зміну їх типу і про спрощення

3.3.2 Розробка, реалізація і налагодження імітаційної моделі коригуючих зв'язків і САР в цілому; оцінення результатів моделювання САР при оптимальних для базової САР параметрах регуляторів і початкових наближень параметрів коригуючих зв'язків; проведення машинних експериментів з оптимізації обраних параметрів, і аналіз його результатів 106

3.3.3 Проведення машинних експериментів та перевірки САР на грубість; аналіз результатів експериментів і прийняття рішення про доцільність повторної оптимізації параметрів для несприятливих сполучень параметрів об'єкта; визначення значення і діапазонів зміни прямих показників якості і критерію оптимальності, а за сталими процесами – оцінки імовірнісних характеристик якості; визначення відповідності отриманих характеристик регламентним зонам. Висновок про досягнутий ступінь підвищення якості в САР з підвищеною динамічною точністю в порівнянні з базовою і відповідності отриманих характеристик регламентним зонам 108

3.4 Висновки за розділом 116

4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом 117

4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій 117

4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату: за пуском, технологічною та аварійною зупинками технологічного процесу у вигляді блок-схем	119
4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: пуском, зупинкою та аварійною зупинкою технологічного агрегату у вигляді блок-схем	121
4.4 Висновки	126
5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі	127
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації й обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів	127
5.1.1 Перелік середовищ, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню, тобто характеристики, які впливають на вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА), які безпосередньо взаємодіють з цими середовищами, а саме на вибір датчиків та регулюючих органів	127
5.1.2 Характеристики виробничих приміщень	129
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання	130
5.2.1 Перелік параметрів, які підлягають вимірюванню (контролю, реєстрації, регулюванню)	131
5.2.2 Вибір типів датчиків, з урахуванням властивостей середовищ	131
5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням	135
5.3.1 Вибір типів регулюючих органів	135
5.3.2 Вибір виконавчих механізмів для регулюючих органів	136
5.4. Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі	138

5.4.1 Порівняльний аналіз і попередній вибір різних принципів побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі	138
5.4.2 Вибір варіантів контролерів для реалізації розроблених алгоритмів керування з урахуванням їх можливого розвитку і характеристик їх ПЗО	138
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК	150
6.1 Програмне конфігурування контролера та розробка програмного забезпечення системи керування в середовищі CoDeSys	150
6.2. Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК	153
6.3. Програмна реалізація алгоритмів логічного керування	156
6.4. Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC-сервера	162
6.5. Висновки за розділом	165
7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	166
7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора технолога	166
7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога	167
7.2.1. Шаблон екранів	167
7.2.2. Мнемосхема ділянки	168
7.2.3. Графіки зміни технологічних параметрів	172
7.2.4. Діагностичні повідомлення	174
7.5 Висновок за розділом	177
8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці	178
8.1. Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад	178

документації її технічного забезпечення	
8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи	178
8.2.1 Розробка схеми автоматизації для системи керування ТА, для якого був виконаний комплекс передпроектних досліджень.Складення її опису і попередній перелік обладнання на технічні засоби автоматизації, які відображені на схемі	178
8.3. Розробка принципів електричних схем	179
8.3.1 – Розробка і опис принципів електричних схем контролю, сигналізації, регулювання, логічного керування, включаючи схеми підключень входів-виходів ПЗО ПЛК, і схеми каналів ліній зв'язку між ПЛК, роботом і ПК. Складення переліку обладнання, яке відображено на схемах. При цьому обсяг розроблених матеріалів повинен відповідати обсягу фрагментів проекту, відображених у схемі автоматизації	179
8.4. Розробка схем живлення	181
8.4.1Розробка принципової схеми електричного живлення	181
8.5. Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора	181
8.6. Розробка схем або таблиць з'єднань зовнішніх електричних і трубних проводок та компонування робочого місця оператора-технолога	181
8.7. Охорона праці	182
9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК	188
9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації	188
9.2. Розрахунок показника економічного ефекту від модернізації системи керування	190
9.3 Висновок	197

Висновки	198
Література	200
Додатки	202
Додаток А Документація до схеми автоматизації	202
Додаток Б Документація до принципової електричної схеми	203
Додаток В таблиці з'єднань	206

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ

ОК – об'єкт керування;

САУ – система автоматичного керування;

ОПС – оптимальний параметричний синтез;

ЗНВ – зона незначимих відхилень;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПК – промисловий комп'ютер;

Вступ

Задача автоматизації керування технологічним процесом (ТП) процесу швидкого охолодження виноматеріалу є актуальною, оскільки дозволяє підвищити його ефективність за рахунок удосконалення та розвитку алгоритмів та застосування сучасних технічних засобів в системі автоматичного керування (САК). Удосконалення алгоритмів САК передбачає, як мінімум, поліпшення (оптимізацію) налаштувань регуляторів. Розвиток алгоритмів САК передбачає використання додаткової інформації про хід технологічного процесу, що дає можливість доповнити існуючі алгоритми регулювання і створити нові структури САК, наприклад, які забезпечують автономність контурів регулювання.

Розвиток технічних засобів, насамперед використання промислових контролерів, дозволяє реалізувати додаткові алгоритми регулювання, а також алгоритми пуску та зупинки технологічного обладнання, алгоритми блокування, виникнення можливих аварійних ситуацій. Використання панелей оператора або комп'ютерів дозволяє створити робочі місця оператора-технолога та наладчика САК. А це дає можливість швидшого адаптування до зміни умов проведення ТП.

В цілому удосконалення та розвиток САК потребують значно менших затрат у порівнянні із заміною або модернізацією технологічного обладнання.

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

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

1.1.1 Складання розгорнутої схеми ТП і опис суті процесу

Охолодження вин в результаті свого фізико-хімічного, біологічного та хімічного дії дає різносторонній ефект. Відомо, що зниження температури приміщення, в якому зберігається вино, викликає в ньому осадження виннокислих солей. Фізико-хімічний вплив на вино робить його стійким проти подальшого осадження солей винної кислоти і порушення рівноваги його складу, яке може статися під впливом зниження температури приміщення. Охолодження сприяє також випадання інших солей, дубильних і фарбувальних речовин і коагуляції білкових і пектинових речовин, які, перебуваючи у вині, ускладнюють очистку молодих вин.

Колоїдні пектинові речовини, крім помутніння, утвореного ними при переході у зважений стан у вині, можуть перешкоджати випаданню осадів. Викликаючи коагуляцію білкових і пектинових речовин і виділяючи їх в осад, холод виробляє свого роду обклеювання вин. Коагульований пектин і білки захоплюють за собою зважені в вині найдрібніші частинки різних речовин і найрізноманітніші бактерії, спори цвілі і інші мікроорганізми, які завжди знаходяться у вині. Таким чином, охолодження має і біологічну дію, результатом якого є оздоровлення вина. Практика це підтверджує, так як вина, що піддавалися охолодженню, рідко хворіють.

Вино при низькій температурі абсорбує кисень в кілька разів інтенсивніше, ніж при нормальній температурі, що впливає на якість вина. Помітне поліпшення смаку, яке спостерігається завжди в винах після впливу

на них низьких температур, безсумнівно, підтверджує, що обробка вин холодом прискорює їх дозрівання.

В якості прикладу на Рис. 1.1 наведена технологічна схема приготування червоних столових виноматеріалів.

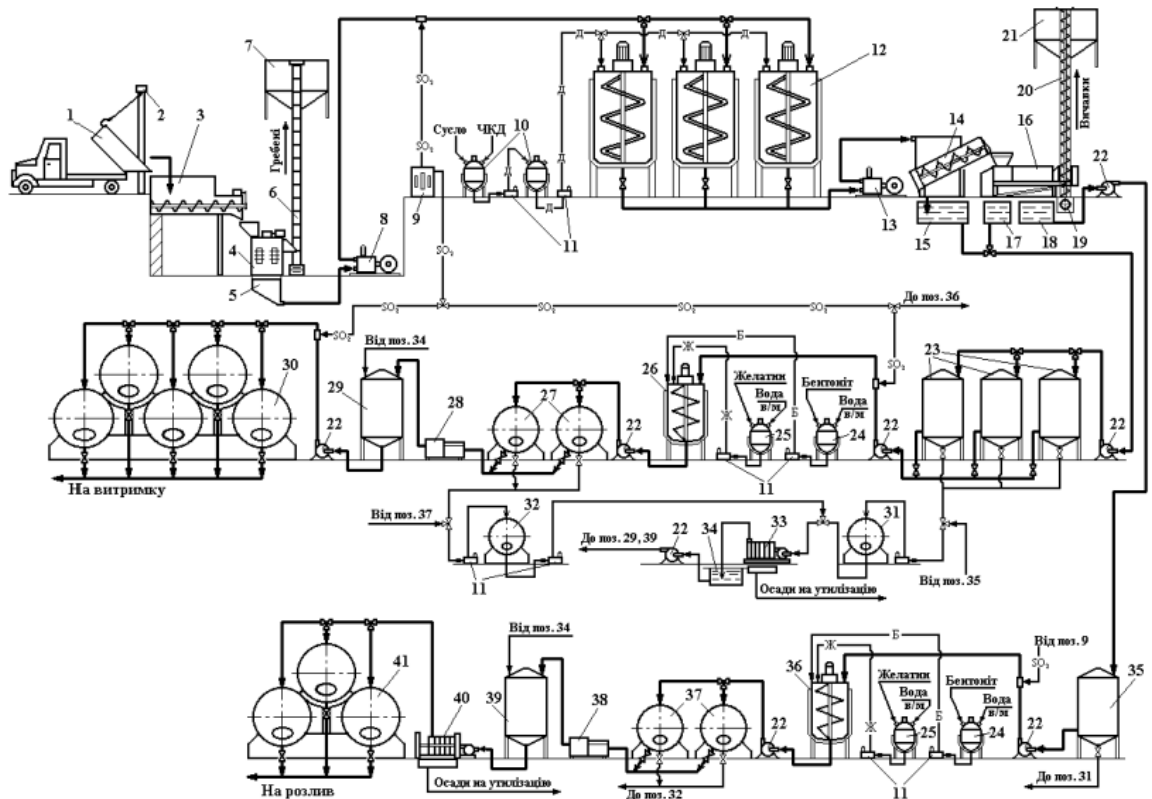


Рис. 1.1 Апаратурно-технологічна схема переробки червоних сортів винограду на столові вина

1 – контейнер; 2 – тельфер; 3 – бункер-живильник; 4 – дробарка Ц ДГ; 5 – збірник м'язги; 6 – транспортер гребнів; 7 – бункер гребнів; 8,13 – насоси м'язги; 9 – дозатор SO₂; 10 – реактори розведення Ч К Д; 11 – поршневі насоси; 12 – реактори-зброджувачі; 13 – бродильні чани; 14 – стікач; 15,17,18 – збірники збродженого сусла; 16 – прес; 19,20 – шнеки вичавки; 21 бункер

вичавки; 22 – відцентровий насос; 23 – резервуари для доброджування; 24,25 – реактори суспензії освітлювачів; 26 – збірник з мішалкою; 27 – відстійники; 28 – охолоджувач; 29 – збірник витримки; 30 – збірники виноматеріалу; 31,32 – збірники осадів; 33 – фільтрпрес; 34 – збірник фільтрату; 34 – збірник пресованих осадів; 35 – збірник пресових фракцій; 36 – реактор-змішувач; 37 – відстійники пресових фракцій; 38 – охолоджувач; 39 – резервуар витримки; 40 – фільтр; 41 – резервуари ординарного вина.

Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення продуктивних і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні (ТУ) (машинах, апаратах, агрегатах). Суть технологічного процесу охолодження виноматеріалу полягає в осадженні надлишку розчинених в ньому виннокислих солей під впливом охолоджувального розсолу. Технологічний процес реалізується в трубчастому теплообміннику. Технологічна схема ділянки процесу наведена на Рис. 1.2

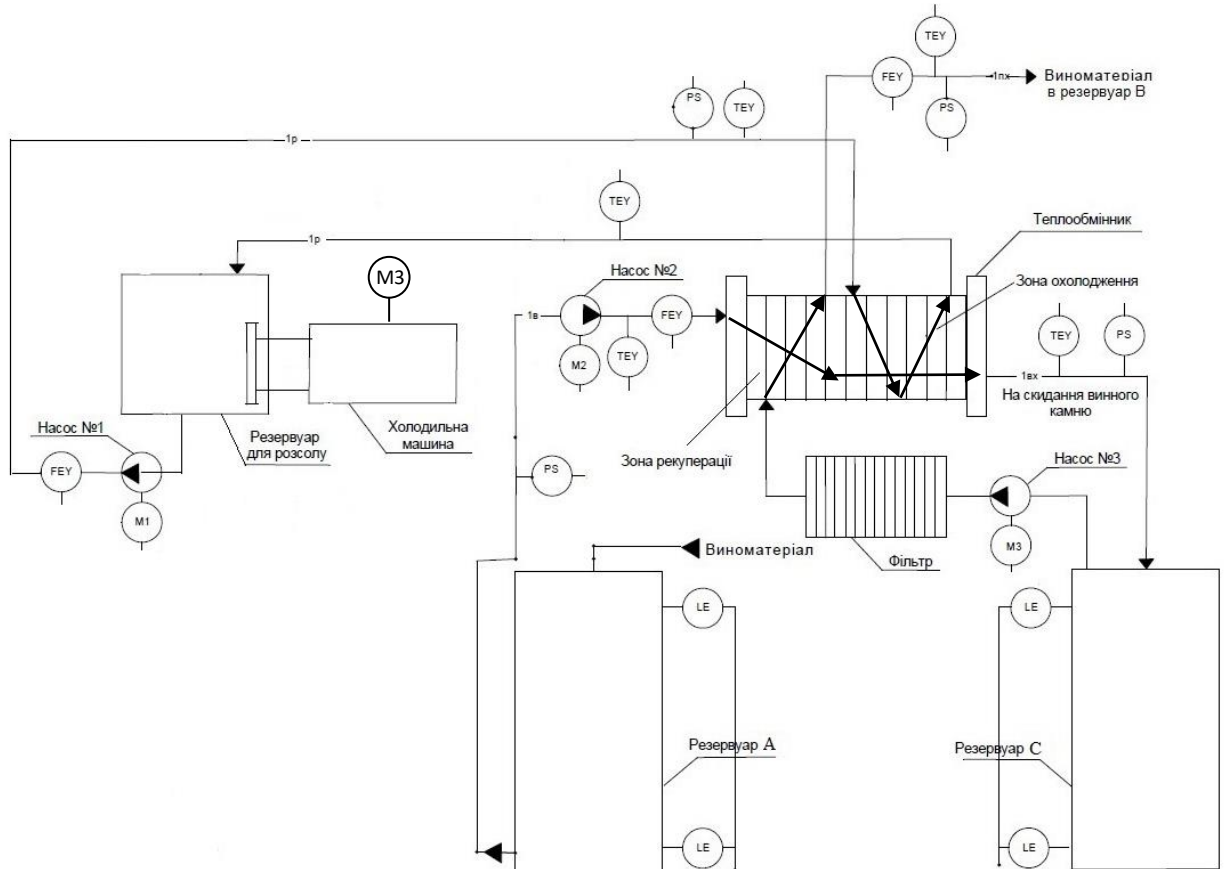


Рис. 1.2 – Технологічна схема ділянки процесу охолодження виноматеріалу

Виноматеріал, оброблений коагулянтном, з резервуару А насосом подається у внутрішню трубу теплообмінника, тут воно зустрічається з профільтованим вином з холодильного резервуару С, яке проходить у зовнішній трубі. Далі вино потрапляє в охолоджувач, в якому у зовнішній трубі проходить охолоджувальний розсіл. Тут вино охолоджується до необхідної температури, після чого надходить в резервуар С, де випадає осад винного каменю. Оброблене холодом вино насосом подається на фільтр, з якого, пройшовши теплообмінник, воно надходить резервуар В. Коли температура вина підвищиться приблизно до 10-12 °С, його перекачують насосом в підвал для подальшого зберігання.

1.1.2 Опис конструкції ТА, а також особливості його експлуатації

Трубчастий теплообмінник ОРЕКС-3-СТ фірми «ОПЕКС» (Рис. 1.3) являє собою многозахідний кожухотрубний теплообмінник.



Рис. 1.3 – Конструкція теплообмінника ОРЕКС-3-СТ фірми «ОПЕКС»
Діапазон робочих температур від -60 до +250°C. Конструктивне виконання,
зварний нерозбірний. Матеріал, нержавіюча сталь. Номінальний тиск, 6-40
бар.

1.1.3 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо і доцільно реалізувати розглянутий ТП

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

- кількість виробленого в одиницю часу продукту не повинно бути менше встановленої межі;
- втрати сировини і продукту не повинні перевищувати нормативних значень;
- питомі витрати енергії не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного обладнання не повинні виходити за гранично-допустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину і природне середовище не повинно перевищувати нормативних значень;
- порушення режимів ведення технологічного процесу і роботи обладнання, що призводять до аварійних ситуацій, повинні бути досить рідкими подіями і повинні бути передбачені заходи для запобігання переростання аварійних ситуацій в аварію.

1.1.4 Параметризація схеми ТП, фізичні, біологічні та інші параметри середовищ ТП та компонентів ТА, що змінюються в ході процесу

Технологічна схема є графічним відображенням руху і перетворення матеріальних та енергетичних потоків. Кожен потік і процес перетворення

його механічних, фізичних, хімічних і біологічних властивостей характеризується набором параметрів, які відображають їх властивості та умови перетворення потоків. Проведемо параметризацію технологічної схеми.

Результати параметризації наведені на Рис. 1.4.

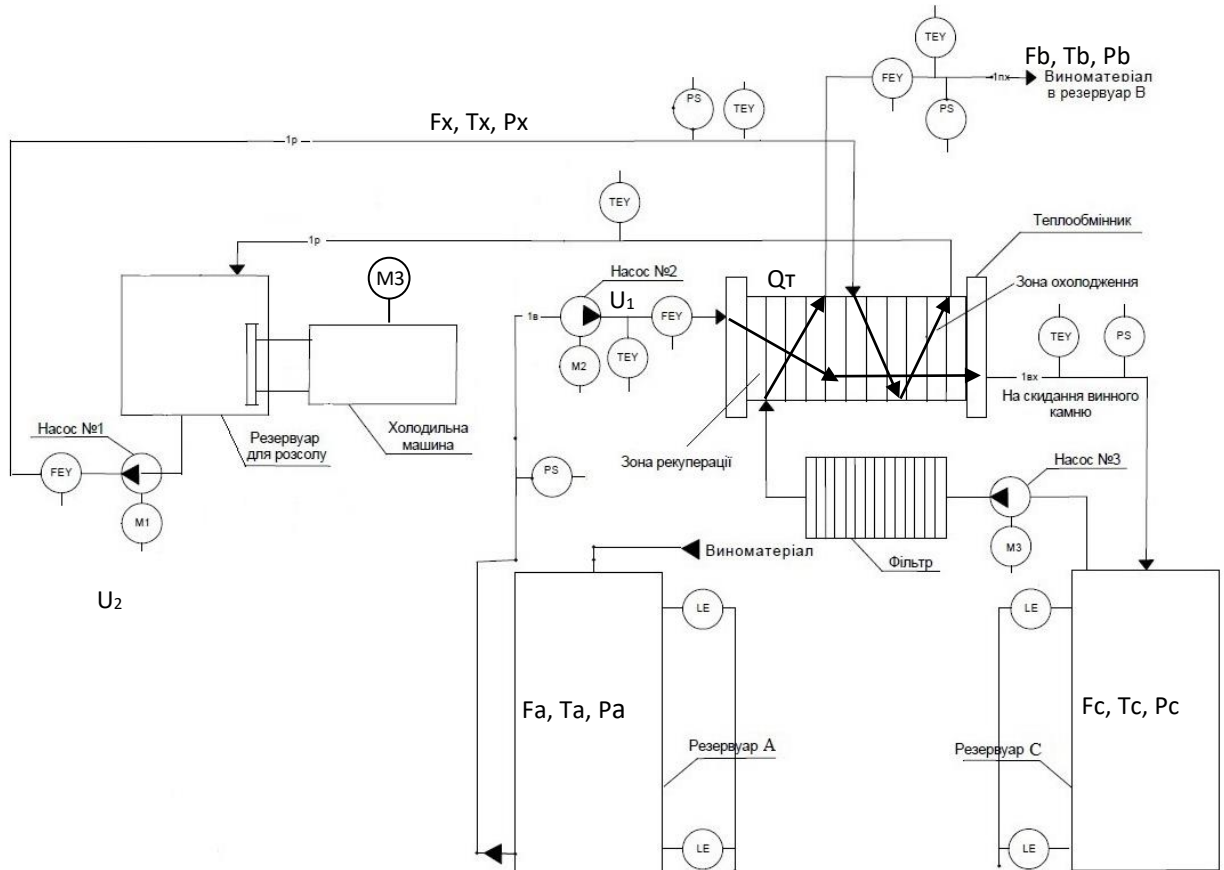


Рис. 1.4 – Параметризована технологічна схема ділянки процесу охолодження виноmaterіалу

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

F_a, T_a, P_a – витрати, температура і тиск виноmaterіалу з резервуару А;

F_b, T_b, P_b – витрати, температура і тиск виноmaterіалу в резервуар В;

F_c, T_c, P_c – витрати, температура і тиск виноmaterіалу з резервуару С;

F_x, T_x, P_x – витрати, температура і тиск холодоагенту;

Q_T – теплопередача теплообмінника;

U, I - параметри двигунів електроприводу (ПЕД) насосів.

1.1.5 Первинний аналіз параметрів ТП та ТА за п.1.1.4, у ході якого їх поділяють на дві групи : а) параметри, значення яких або характер їхньої зміни, регламентовані; б) параметри, зміни значень яких впливають регламентовані параметри

Регламентовані параметри: T_c – температура вина, T_x – температура холодоагенту, F_x / F_b – відносні витрати холодоагенту; I / F_b – відносний струм навантаження ПЕД.

Параметри які впливають на регламентовані параметри: F_a , P_a – витрати і тиск виноматеріалу з резервуару А;

F_b , P_b – витрати і тиск виноматеріалу в резервуар В;

F_c , P_c – витрати і тиск виноматеріалу з резервуару С;

F_x , P_x – витрати і тиск холодоагенту;

Q_t – теплопередача теплообмінника;

1.1.6 Поглиблений аналіз параметрів за п.1.1.5, у ході якого, їх поділяють на три групи: а) „технологічні”; б) „експлуатаційні”; в) „техніко-економічні та екологічні”; Аналіз регламентів ведення ТП і роботи ТА, допустимі відхилення від нормативів, класифікація цих відхилень на „тривалі”, „короткочасні”, і на „гранично-допустимі

Основу нормативів складають три основні регламенти:

Технологічний регламент - визначає умови, при яких в результаті технологічного процесу виходить продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу охолодження вина таким параметром є: T_c – температура вина в охолоджувальному резервуарі С.

Експлуатаційний регламент - визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання.

Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів цього технологічного обладнання. Для технологічного процесу охолодження вина таким параметром є: T_x – температура холодоагенту на вході в теплообмінник.

Техніко-економічний та екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу та його екологічності.

Він являє собою набір номінальних або гранично-допустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести: F_x / F_B – відносні витрати холодоагенту і виноматеріалу; I / F_B – відносний струм навантаження ПЕД.

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

Залежно від наслідків, можна виділити два характерних типи таких порушень:

- а) технологічний процес не припиняється, вихід за допуски ліквідується з плином часу, наприклад, за рахунок управління процесом;
 - б) технологічний процес припиняється повністю або частково, для його поновлення часто необхідна підготовка обладнання до повторного запуску (видалення сировини з машин, чистка робочих органів, їх заміна і т.д.).
- Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято поділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі і короткочасні відхилення.

Тривало допустимі відхилення визначають зону незначущих для даного процесу відхилень (ЗНВ) розглянутого параметра. У середині цієї зони значення параметра можна вважати приблизно рівним нормативному, тому відхилення, що не виходять з ЗНВ, можна не усувати.

Короткочасні допустимі відхилення параметрів перевищують їх ЗНВ та призводять до зниження ефективності процесу, тому вони допустимі лише обмежений час, який задається і входить до регламенту.

Вихід параметрів за зону короткочасно допустимих відхилень свідчить про порушення в технологічному процесі або в експлуатації обладнання, які можуть призвести до аварії.

Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.1.

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№	Найменування параметрів	Познач.	Одиниця виміру	Номинальне значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі	Короткочасні	Час, с
1	Температура вина в охолоджувальному резервуарі	T_c	°C	-5	±0,5	±1,5	150
2	Температура холодоагенту на вході в теплообмінник	T_x	°C	-15	±0,5	±1,5	60

1.1.7 Поглиблений аналіз параметрів за п.1.1.5, в ході якого їх поділяють на три групи: „сировинні”, „енергетичні” та „механічні”, а потім аналізуючи причини їх змін, виділяють ті, які можливо змінювати цілеспрямовано, наприклад – „вручну” (із цієї групи потім можна буде обрати керуючі впливи на об’єкт керування в САК)

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних внаслідок зміни умов, в яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо: F_a – витрати виноматеріалу; T_a – температура виноматеріалу; P_a - тиск виноматеріалу після насосу №2 .

Енергетичні параметри характеризують енергію, яка підводиться до технологічного устаткування ззовні і витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо: F_x , T_x , P_x – витрати, температура і тиск холодоагенту; U , I – напруга і струм живлення двигунів електроприводу.

Механічні параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: Q_t – теплопередача теплообмінника.

1.1.8 Розробка параметричної схеми ТП, яка на формальному рівні, відображає причинно-наслідкові зв'язки між його вхідними та вихідними параметрами ТП як об'єкта керування

Параметризована схема ТП має змістовний характер.

Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу від параметризованої до параметричної схеми ТП.

При цьому ті параметри, які відображають цілі функціонування об'єкта моделювання та додаткові вимоги до нього, тобто ті параметри, які регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта - 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 охолодження виноматеріалу наведена на рис. 1.5.

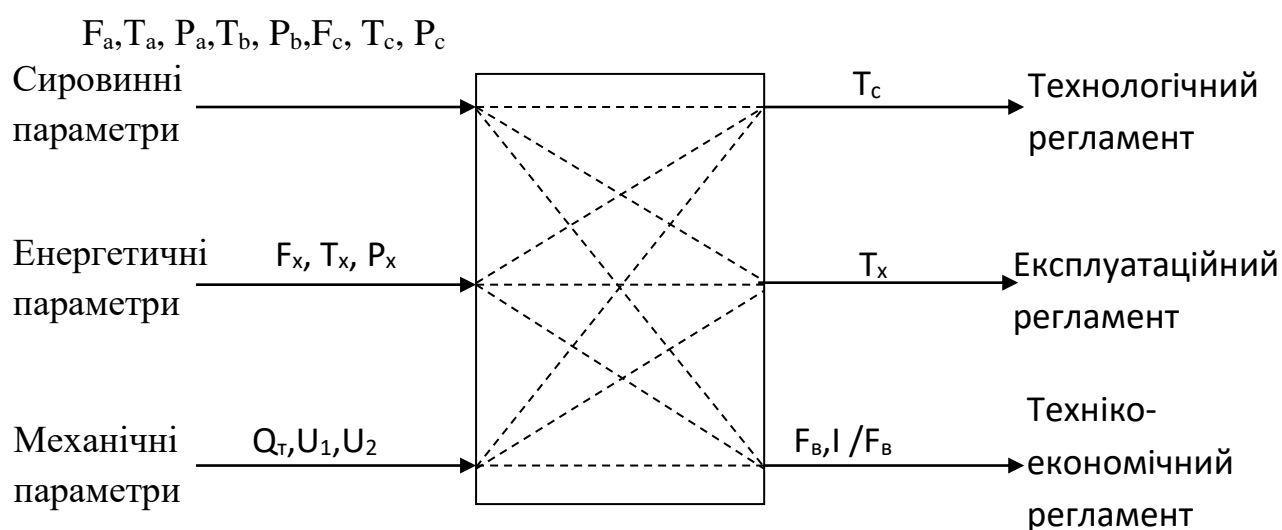


Рис. 1.5 – Параметрична схема процесу охолодження виноматеріалу

1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

1.2.1 Оцінка існуючого рівня реалізації функції регулювання

Пуск та зупинка технологічного процесу обробки виноматеріалу холодом в установці швидкого охолодження, а також керування подачі коагулянта та виноматеріалу виконувалися автоматизовано, тобто за участі людини оператора

1.2.1.1 Засоби отримання інформації про хід ТП і стан ТА

Перелік датчиків які використовувалися до модернізації: датчик температури, датчик рівня, датчик витрат (витратомір).

1.2.1.2 Засоби безпосереднього впливу на процес (регулюючі органи на магістралях матеріальних і енергетичних потоків

Для регулювання подачі виноматеріалу та подачі охолоджувального розсолу використовуються насоси.

1.2.1.3 Засоби обробки інформації і формування керуючих дій

За обробку інформації і формування керуючих дій відповідає контроллер.

1.2.1.4 Засоби представлення інформації технологічному персоналу і оператору процесу, а також засоби, через які вказані спеціалісти впливають на процес

Засобом представлення інформації технологічному персоналу і оператору є панель оператора, контроль швидкості приводних двигунів також відбувається з її допомогою.

1.2.2 Оцінення існуючого рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування, які призначені для переведення ТА з поточного технологічного стану до нового (заданого) стану

1.2.2.1. Умови, за яких можливий технологічний (тобто відповідно до регламенту) пуск ТА

- Якщо встановлений гранично-допустимий заданий рівень в резервуарах досягнуто;
- Якщо вся технічна апаратура (мається на увазі датчики, витратоміри і т. д.) справні і не мають недоліків, і насоси/двигуни готові до пуску;
- Якщо гранично-допустимий рівень тиску в контурах регулювання відповідає нормі;

Технологічний пуск проводиться за допомогою людини оператора (автоматизовано)

1.2.2.2. Умови, за яких можлива технологічна зупинка ТА

- Якщо встановлений гранично-допустимий рівень заданої змінної досягнуто;
- Якщо встановлений гранично-допустимий заданий рівень в резервуарах досягнуто;

- Якщо гранично-допустимий рівень тиску в контурах регулювання не відповідає нормі;

Технологічна зупинка проводиться автоматизовано

1.2.2.3 Умови, за яких необхідний аварійна (екстрена) зупинка ТА

- Якщо гранично-допустимий рівень тиску в контурах регулювання не відповідає нормі;
- Якщо встановлений гранично-допустимий заданий рівень в резервуарах не відповідає нормі;
- Якщо технічна апаратура не відповідає нормі;

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

1.3.1 Конкретизація впливу вхідних сировинних, енергетичних, механічних параметрів ТП на вихідні параметри, які складають техніко-економічний та екологічний регламенти

Звернемося до параметричної схеми процесу охолодження виноматеріалу, для сировинних параметрів характерні якість сировини, погана якість сировини може призвести до погіршення якості кінцевого продукту або збільшення кількості відходів, що вплине на ефективність виробництва та витрати на утилізацію.

Доступність сировини, тому що недостатня або нестабільна постачання сировини може спричинити перерви в виробництві або змушувати шукати альтернативні джерела, що може збільшити витрати, а також її вартість, через зростання цін на сировину збільшується собівартість продукції, це впливає на цінову політику.

Для енергетичних параметрів це енергоефективність, використання ефективних технологій та оптимізація енергетичних процесів може зменшити витрати на електроенергію та паливо, що позитивно позначиться на техніко-економічних показниках, також важливим аспектом є перехід до

використання відновлюваних джерел енергії, це може не лише зменшити викиди в атмосферу, але й знизити залежність від енергоносіїв, це додатковий екологічний бонус.

Для механічних параметрів важливі покращення технічних характеристик машин і обладнання, це збільшує продуктивність та якість продукції, а також зменшує витрати на обслуговування та ремонт, точність та стабільність процесів може бути ключовим для досягнення високої якості продукції і зниження кількості браку, врахування цих параметрів у процесі проектування та управління може допомогти в оптимізації свого виробничого процесу з точки зору як техніко-економічних, так і екологічних аспектів.

1.3.2 Визначення потенційних джерел економічної ефективності від впровадження поліпшених функцій регулювання та логічного керування

Поліпшені функції регулювання можуть дозволити оптимізувати споживання енергії виробничим обладнанням, автоматичні системи виробництва можуть зменшити час на налаштування обладнання та уникнути затримок у виробництві, зменшити кількість браку шляхом оптимізації процесів, це може призвести до економії сировини та зниження витрат на виробництво.

Використання поліпшених функцій регулювання може сприяти зниженню зносу обладнання, а також дозволити виявляти потенційні проблеми на ранніх стадіях, що дозволить проводити планове технічне обслуговування та уникнути аварій, а також може покращити якість кінцевої продукції шляхом уникнення помилок та забезпечення стабільності процесів виробництва.

1.3.3 Конкретизація кінцевої економічної цілі модернізації системи і визначення, за рахунок яких саме поліпшень функцій регулювання та логічного керування вона може бути досягнута

Кінцевою економічною ціллю модернізації системи є поліпшення її ефективності та зменшення кількості браку за рахунок підвищення її динамічної точності.

2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання

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

2.1.1 Конкретизація завдання керування об'єктом і визначення регульованої змінної

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань по номенклатурі і обсягу продукції та отримання при цьому певного економічного ефекту.

Декомпозиція цієї загальної цілі для більш низьких рівнів виробничої ієрархії призводить 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 устаткування.

Звідси завдання управління можна поділити на:

- а) завдання регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту. Отже, змінні, відповідні технологічним та експлуатаційним параметрам, будуть регульованими змінними об'єкта управління;
- б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються завдання оптимізації процесу.

Для процесу охолодження вина в якості регульованих та оптимізованих координат доцільно вибрати температуру вина в охолоджувальному резервуарі T_c та температуру холодоагенту на виході із холодильної машини T_x .

Необхідною умовою вирішення завдань управління є наявність керуючих впливів, які повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК.

Для завдань регулювання, такими керуючими (регулюючими) впливами, насамперед, є дії які цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме - положення регулюючих органів. Кількість регулюючих впливів має дорівнювати кількості регульованих змінних.

Для процесу охолодження вина до управляючих впливів доцільно віднести частоту обертання насосу U_1 , що змінює витрати F_a виноматеріалу з резервуару А, та частоту обертання насосу U_2 , що змінює витрати холодоагенту F_x .

В якості керуючого впливу об'єкта оптимізації виберемо зміну завдання регуляторам температури вина та холодоагенту $T_c^{3Д}$, $T_x^{3Д}$.

Після того, як визначено управляючі дії, всі інші вхідні змінні потрапляють у розряд збурень, тобто таких впливів середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

Збурення за їх наслідками можна підрозділити на:

- а) координатні, що призводять до зміни змінних в моделі, і параметричні, що призводять до зміни змінних і параметрів моделі;
- б) шуми.

Шуми принципово відрізняються від інших збурень тим, що наслідки їх дії компенсувати за рахунок керуючих впливів неможливо через великі інерційності і запізнювання каналу управління.

Контрольовані збурення мають своє джерело і можуть бути виміряні. Природу неконтрольованих збурень визначити важко, вони не вимірюються і їх вплив визначається лише по реакції регульованої змінної.

Всі неконтрольовані координатні збурення формально об'єднують в групи неконтрольованих координатних збурень по числу керуючих впливів.

Їх вважають діючими адитивно або управляючим впливам, або керованим змінним. У деяких випадках зручно детерміновану складову збурення приводити до управління, а стохастичну - до керованої змінної. Параметричні збурення при управлінні ТП, як правило, є неконтрольованими. Вони є істотно більш низькочастотними в порівнянні з координатними. Самими високочастотними збуреннями є шуми.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Розробка схеми проводиться на основі результатів досліджень викладених у цьому підпункті (2.1.1).

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

Структурна схема процесу охолодження виноматеріалу наведена на рис. 2.1.

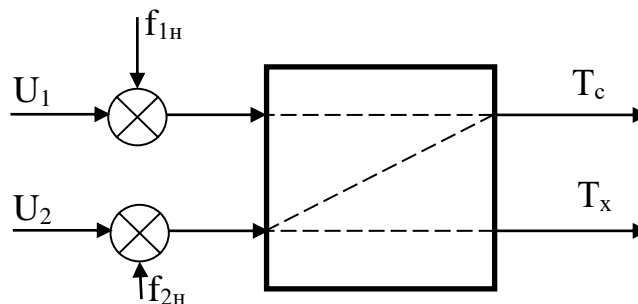


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу охолодження виноматеріалу як об'єкту регулювання.

2.2. Ідентифікація каналів перетворення об'єкта регулювання

2.2.1 Проведення апріорного аналізу статичних властивостей каналів об'єкта й прийняття рішення про допустимість їх лінеаризації, виходячи, зокрема, з оцінки діапазонів зміни їх вхідних змінних; апріорний аналіз і вибір структури моделей динамічних властивостей (статичні, астатичні, стаціонарні, нестаціонарні) каналів регулювання і неконтрольованих збурень; обґрунтування і вибір методів отримання моделей і їх параметрів

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 охолодження виноматеріалу за каналом $U_1 - T_c$ і $U_2 - T_x$ ОК має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим.

Збільшення керуючої дії U_1 призведе до збільшення температури соку T_c .

Збільшення керуючої дії U_2 призведе до збільшення температури температури соку T_c та до збільшення температури холодоагенту T_x .

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

2.2.2 Розробка моделі об'єкта заздалегідь обраними методами (аналітичними, експериментальними, комбінованими)

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхіднізмінні 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, зрозумінь простоти організації цих дій, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії.

План активного експерименту, з визначенням динамічних властивостей каналів.

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б воколицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $u_1 = 60\%$ х. р. о. та $u_2 = 60\%$ х. р. о. будуть відповідати значення регульованих координат $T_c = -5^\circ\text{C}$, $T_x = -15^\circ\text{C}$.

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

3. Змінимо управляючу дію u_1 ступінчастим чином на 10% х. р. о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо змінувихідних змінних до настання нових сталих режимів.

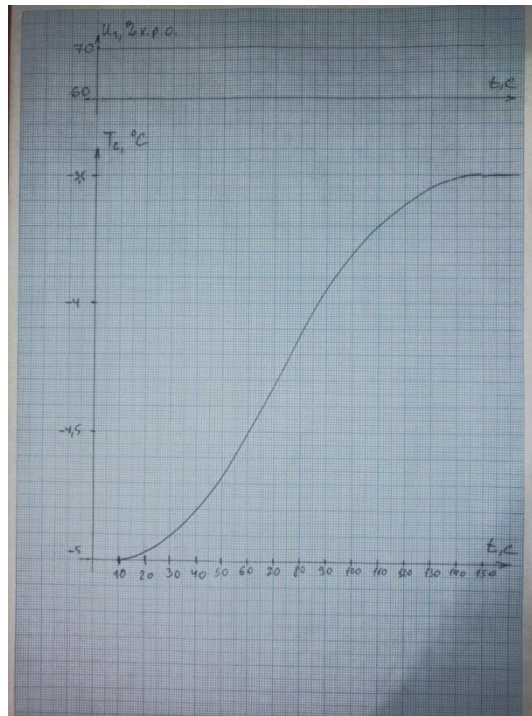
5. Повертаємо u_1 у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів.

6. Змінимо управляючу дію u_2 ступінчастим чином на 10% х. р. о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

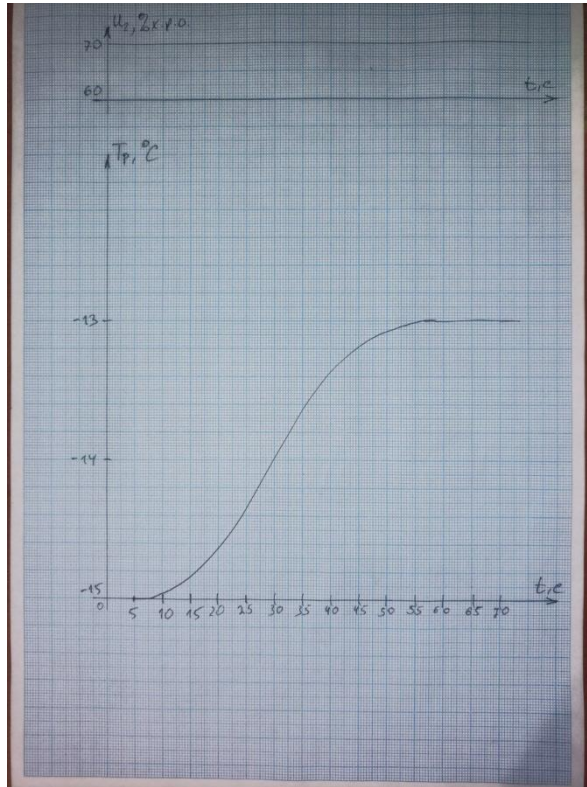
7. Реєструємо змінувихідних змінних до настання нових сталих режимів.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2.

« $U_1 - T_c$ »



« $U_2 - T_x$ »



« $U_2 - T_c$ »

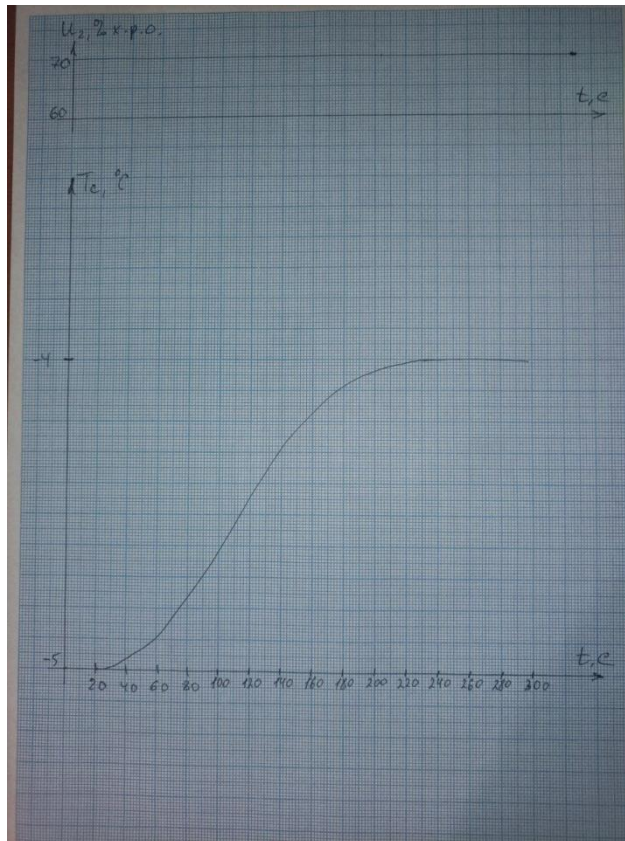


Рис. 2.2 – Результаты активного эксперимента

За результатами активного експерименту (рис. 2.2) можна зробити висновок, що канал управління нашого ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку:

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

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_0), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0).

Для каналу « $U_1 - T_c$ »;

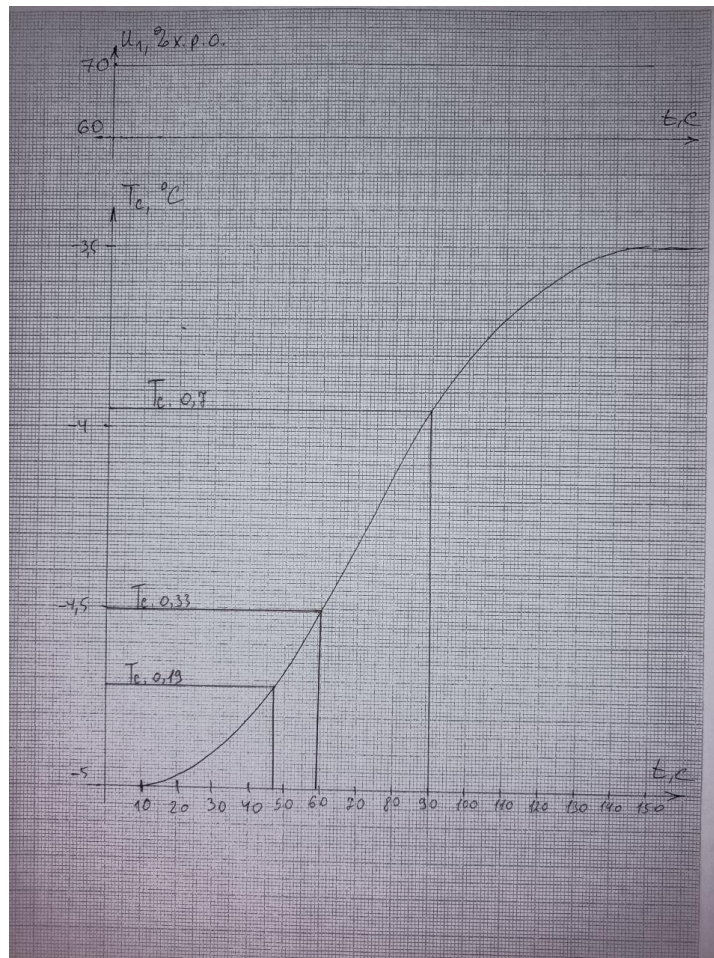


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$k = \Delta T_c / \Delta U_1 = 0,15 \text{ }^\circ\text{C} / \% \text{ х. р. о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

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

$$t_{0,33} = 59,7 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 89,9 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 59,7 - 89,9) / 2 = 44,6 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (89,9 - 44,6) / 1,2 = 37,8 \text{ с}$$

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

$$W_{U_1-T_c}^O(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-44,6p}}{37,8p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 46,6 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 46,6 - 89,9) / 2 = 25 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (89,9 - 25) / 2,4 = 27 \text{ с}$$

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

$$W_{U_1-T_c}^O(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-25p}}{(27p + 1)^2}$$

Для каналу « $U_2 - T_x$ »;

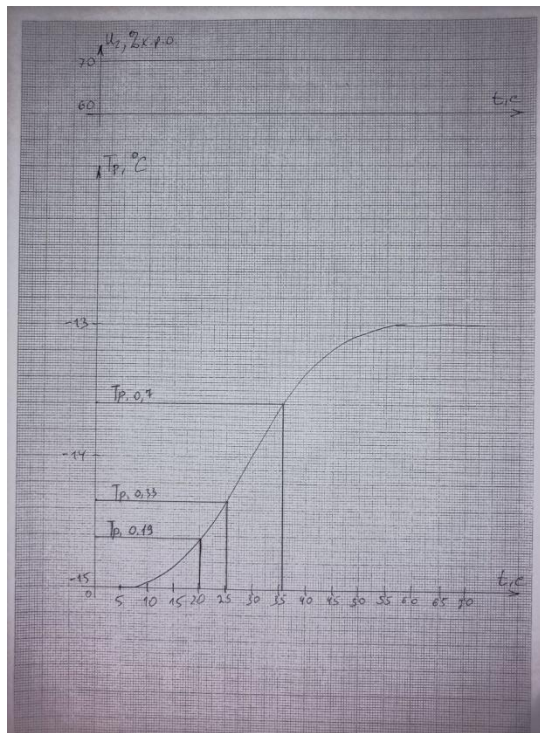


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$k = \Delta T_x / \Delta U_1 = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{ х. р. о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

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

$$t_{0,33} = 25,3 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 35,8 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 25,3 - 35,8) / 2 = 20 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (35,8 - 20) / 1,2 = 13,2 \text{ с}$$

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

$$W_{U_2-T_x}^0(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-20p}}{13,2p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.4), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 20,5 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 20,5 - 35,8) / 2 = 12,8 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (35,8 - 12,8) / 2,4 = 9,6 \text{ с}$$

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

$$W_{U_2-T_c}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-12,8p}}{(9,6p + 1)^2}$$

Для каналу « $U_2 - T_c$ »;

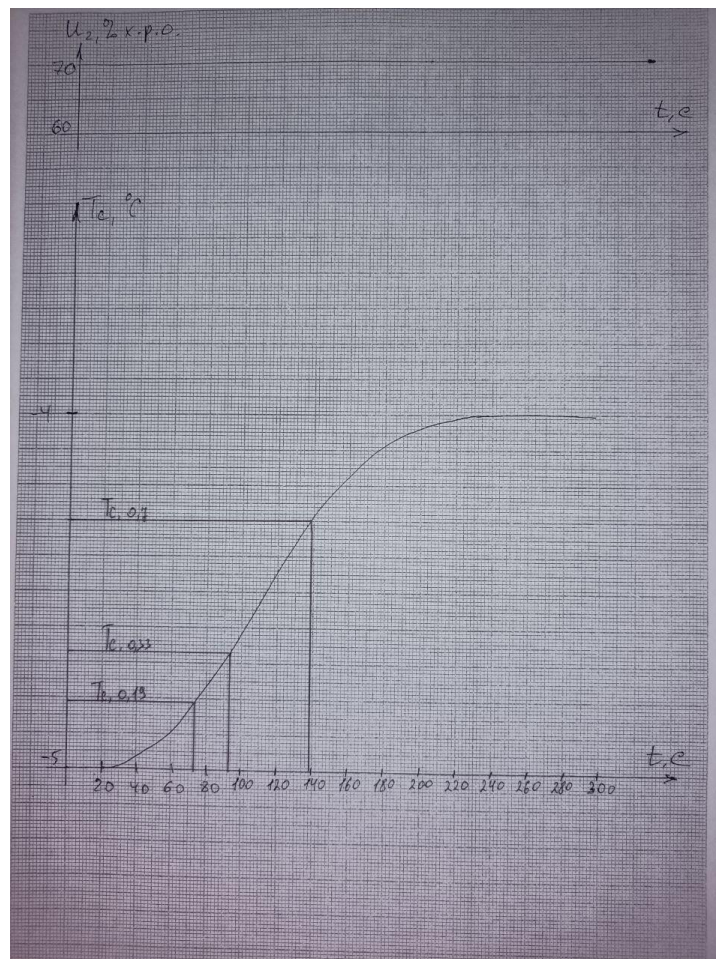


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$k = \Delta T_c / \Delta U_1 = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{ x. p. o.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

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

$$t_{0,33} = 92,8 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 138,1 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 92,8 - 138,1) / 2 = 70,1 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (138,1 - 70,1) / 1,2 = 56,6 \text{ с}$$

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

$$W_{U_2-Tc}^O(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-70,1p}}{56,6p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

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

$$t_{0,19} = 73,7 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 73,7 - 138,1) / 2 = 41,5 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (138,1 - 41,5) / 2,4 = 40,2 \text{ с}$$

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

$$W_{U_2-Tc}^O(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-41,5p}}{(40,2p + 1)^2}$$

2.2.3. Ідентифікація моделей статичних характеристик каналів об'єкта регулювання

Метою цього підрозділу є отримання моделей статички для побудови моделей динаміки в абсолютних величинах. Також метою підрозділу є

отримання моделей статички каналів 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 (змінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після згасання 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 ОК.

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 розуміють як: $y^M = \hat{y} = \Phi(\hat{\bar{x}})$ визначається з використанням статистичних ("усереднюючих") 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 пасивними або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для отримання моделей статички у нашому випадку будемо використовувати активний експеримент.

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 рандомізувати 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 таблиці 2.1-2.3 і на рис. 2.6-2.8.

Для каналу « U_2 - T_x »

Таблиця 2.1

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	U_2 , %х.р.о.	T_x , °С
1	40	-19
2	50	-17

3	60	-15
4	70	-13
5	80	-11

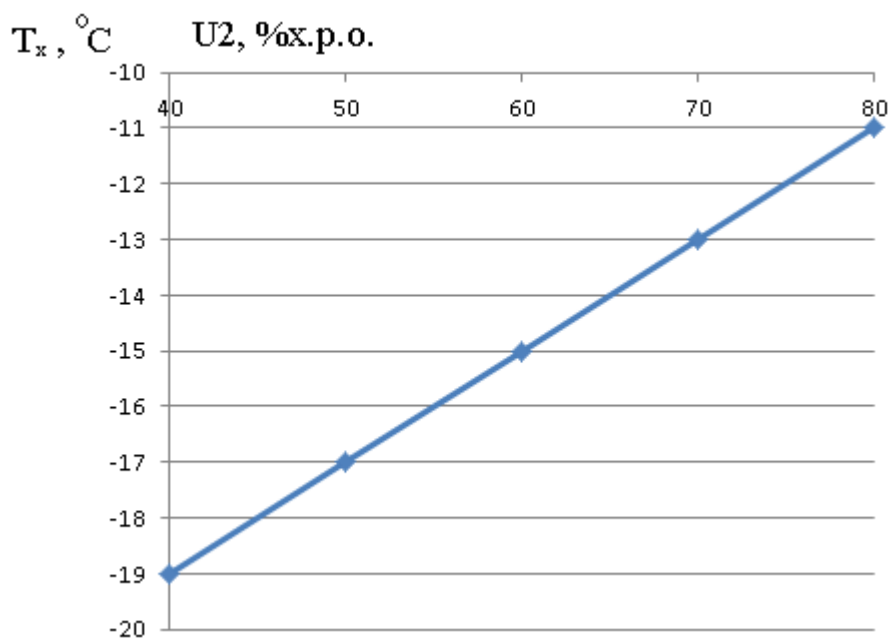


Рис. 2.6 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

Для каналу «U₂- T_c»

Таблиця 2.2

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	U ₂ , % х. р. о.	T _c , °C
1	40	-7
2	50	-6
3	60	-5
4	70	-4
5	80	-3

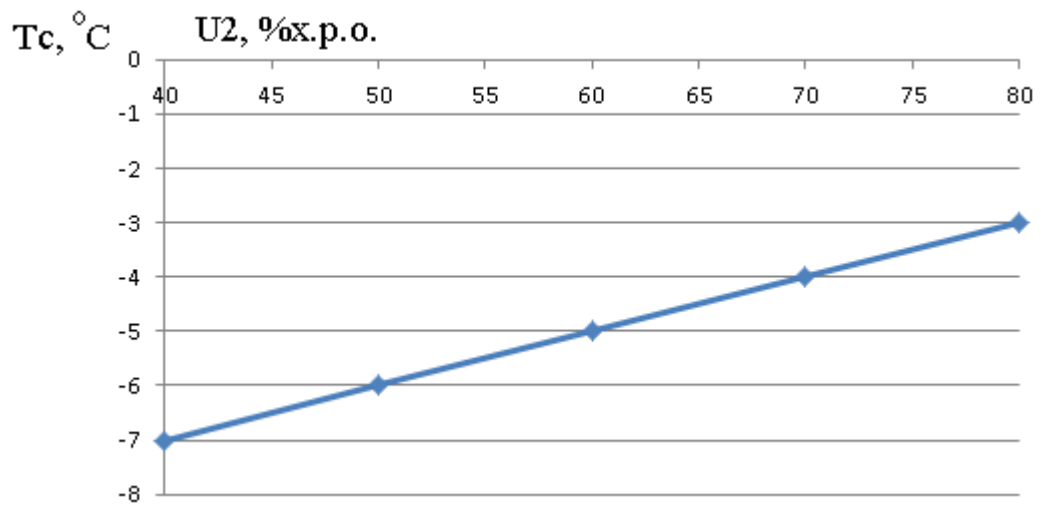


Рис. 2.7 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

Для каналу «U₁- T_c»

Таблиця 2.3

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	U ₁ , % х. р. о.	T _c , °C
1	40	-8
2	50	-6,5
3	60	-5
4	70	-3,5
5	80	-2

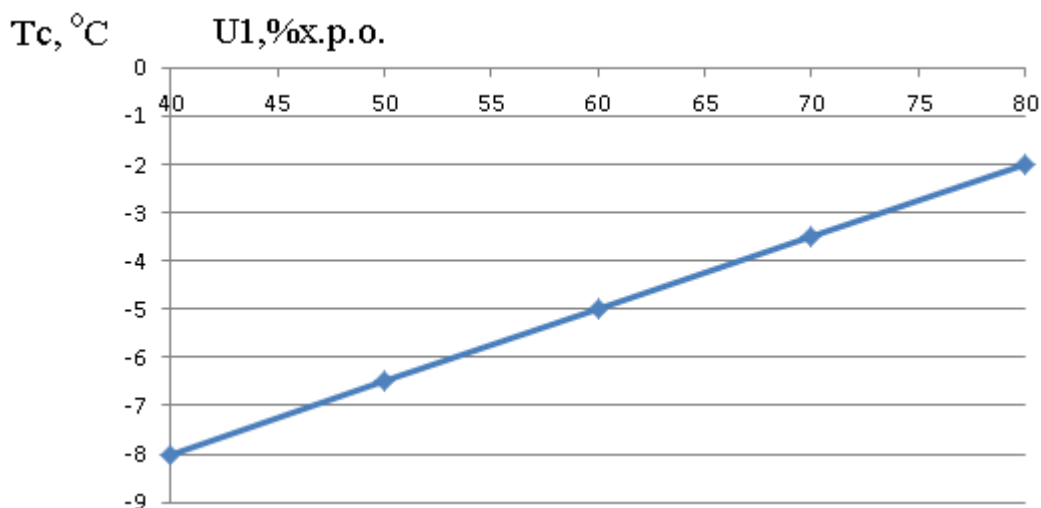


Рис. 2.8 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\bar{x})$. 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 повернень 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 вектору параметрів \bar{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 \bar{x}_i , і вихідної змінної моделі об'єкту y_m , обчисленої при тих же значеннях \bar{x} , тобто

$$\bar{a}^* = \operatorname{argmin} \left\{ I(\bar{a}) = \sum_{i=1}^n (y_i(\bar{x}_i) - y^1(\bar{a}, \bar{x}_i))^2 \right\}$$

Для досліджуваного ОК, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$T_x = a_1 \cdot u_1 + a_0 T_c = b_1 \cdot u_1 + b_2 \cdot u_2 + b_0$$

Параметри a_1, b_1, b_2 , були нами визначені в процесі ідентифікації в підрозділі 2.2.2. При цьому $a_1 = 0,2^\circ\text{C} / \% \text{ х. р. о.}$, $b_1 = 0,15^\circ\text{C} / \% \text{ х. р. о.}$, $b_2 = K_{u_2-T_c} = 0,1^\circ\text{C} / \% \text{ х. р. о.}$

Параметр a_0 можна визначити із залежності:

$$a_0 = T_x - a_1 \cdot u_1 = -15 - 0,2 \cdot 60 = -15 - 12 = -27^\circ\text{C}$$

$$b_0 = T_c - b_1 \cdot u_1 - b_2 \cdot u_2 = -5 - 0,15 \cdot 60 - 0,1 \cdot 60 = -5 - 9 - 6 = -20^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$T_x = 0,2 \cdot u_1 - 27$$

$$T_c = 0,15 \cdot u_1 + 0,1 \cdot u_2 + 10$$

2.3 Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання

2.3.1 Складня плану пасивного експерименту для збору інформації про координатні збурення; проведення оцінювання імовірнісних характеристик випадкових складових збурень, вибір і параметричну ідентифікацію їх моделей; обґрунтування і вибір структури моделей детермінованих складових збурень, обґрунтування їх параметрів

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

збурення прикладені до управляючої дії), або $(10...15) \cdot K_0$ (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

В інженерній практиці стохастичні моделі вхідних дій звичайно представляють у формі випадкового процесу

з декількома адитивними складовими, наприклад

$$f(t) = \tilde{f}^n(t) + \tilde{f}^c(t) + \tilde{f}^ш(t),$$

де $\bar{f}(t)$ – детермінована повільно змінювана складова;

$\tilde{f}^n(t)$ – квазидетермінована складова;

$\tilde{f}^c(t)$ – стохастична центрована складова – центрований випадковий процес;

$\tilde{f}^ш(t)$ – високочастотна стохастична складова – шум.

Варто враховувати, що складові $\bar{f}(t)$, $\tilde{f}^n(t)$, $\tilde{f}^c(t)$ і їх сума є відносно низькочастотними діями, несприятливі наслідки яких САК повинна і може компенсувати. Складова $\tilde{f}^ш(t)$ пов'язана або із шумами у вимірювальних каналах, або з високочастотними збуреннями, наслідки яких, у силу особливостей каналів керування ОК, скомпенсовані бути не можуть. В обох випадках $\tilde{f}^ш(t)$ в САК повинні бути відфільтровані (не «пропущені» на вхід управляючого пристрою). Для вирішення цього завдання і повинні бути отримані властивості $\tilde{f}^ш(t)$.

Початок ідентифікації пов'язаний з тим, що відповідно до обраної моделі $f(t)$ прийнято рішення про віднесення складових реального сигналу до тієї або іншої складової моделі.

Для того, щоб зробити це відносно надійно, необхідно мати апріорну інформацію про властивості об'єкту за каналами керування. Якщо представити їх моделлю першого порядку із запізненням τ_0 , то за співвідношенням середніх періодів T_n цих складових і τ_0 , можна провести поділ сигналу:

якщо для складової $T_n < 4\tau_0$, то її доцільно віднести до $\tilde{f}^ш(t)$;

якщо для складової $40\tau_0 > T_n > 4\tau_0$, то її доцільно віднести до

$$\tilde{f}^c(t) + \tilde{f}^n(t)$$

якщо для складової $T_n > 40\tau_0$, то її доцільно віднести до $\bar{f}(t)$.

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову ($f_{нд}$) доцільно привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові ($f_{нс}$) доцільно привести до регульованої координати (див. Рис. 2.8).

Модель неконтрольованого збурення за аналогією з моделлю контрольованих збурень може бути представлена чотирма складовими, які будуть прикладені до входу каналу неконтрольованих збурень.

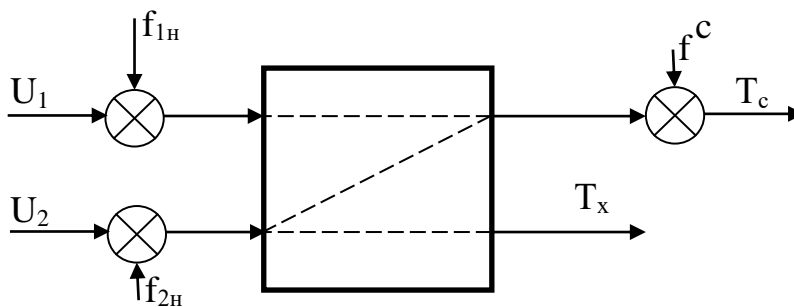


Рис. 2.8 – Структурна схема додавання координатних збурень

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_c ($u = 0\% \text{ х.р.о.}$) $= -14^\circ\text{C}$; $T_c^{\text{здн}} = -5^\circ\text{C}$.
2. Яким є значення і розмірність часу запізнення в каналі управління для досліджуваної регульованої координати? Для досліджуваного ОК $\tau_{u1-Tc} = 44,6$ 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. 2.9.

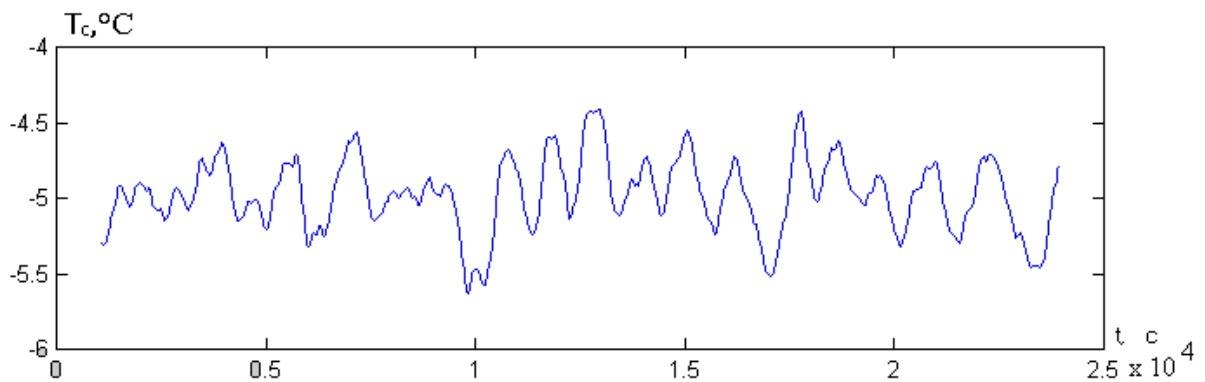
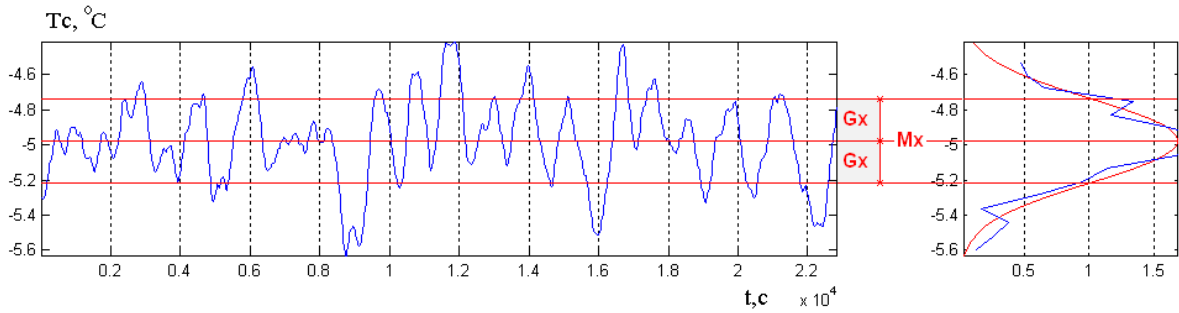


Рис. 2.9– Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

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

Першим етапом ідентифікації моделі контрольованих і 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. 2.10.



Види моделей щільності імовірності

Модель №1 Модель №2 Модель №3

Модель щільності імовірності НОРМАЛЬНОГО (ГАУССІВЬКОГО) випадкового процесу

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

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

Обрати поточний вид моделі p(x)

Характеристики згенерованої реалізації випадкового процесу x(t):

ВИХІДНІ	Інтервал часу генерації ВП	Tr = 22835.2 с
	Крок квантування ВП за часом генерації	Δt = 22.3 с
	Кількість точок згенерованої реалізації ВП	N = 1024
ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ОЦІНЮВАННЯ	Оцінка математичного очікування	Mx = -4.976
	Оцінка дисперсії	Dx = 0.05634
	Оцінка середньоквадратичного відхилення	Gx = 0.2374
	Оцінка середньоквадратичного періоду	Tскп = 1062 с
	Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50)	N _{Tскп} = 21.5

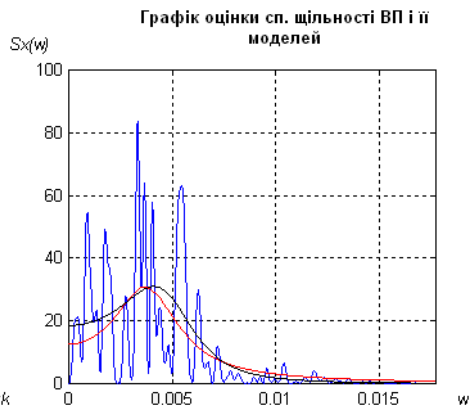
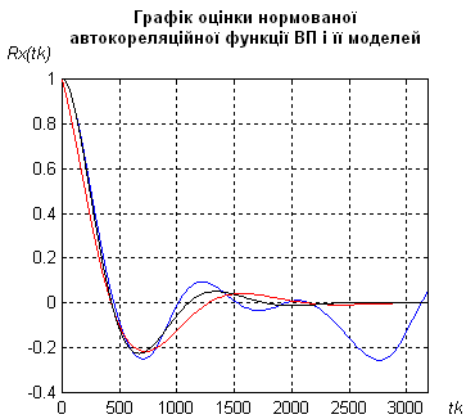


Рис. 2.10 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням.

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

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

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

Модель №6

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

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

2.3.2 Моделі для обліку параметричних невизначеностей моделі об'єкта (параметричних збурень) і шумів вимірювання, задають і (чи) ідентифікують їх параметри

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, удва етапи:

- 1) вибір початкових наближень параметрів $\hat{\alpha}^0, \hat{\beta}^0$;
- 2) пошук значень параметрів, які забезпечують найкраще наближення моделі до її оцінки.

При виборі початкових наближень параметрів можна користуватися рекомендаціями, які викладені в програмі. При параметричній оптимізації

моделі використовується пошукова процедурами, що використовує квадратичний критерій. При цьому вирішується задача

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

Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.11, моделі №6 – на рис. 2.12, а підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.13.

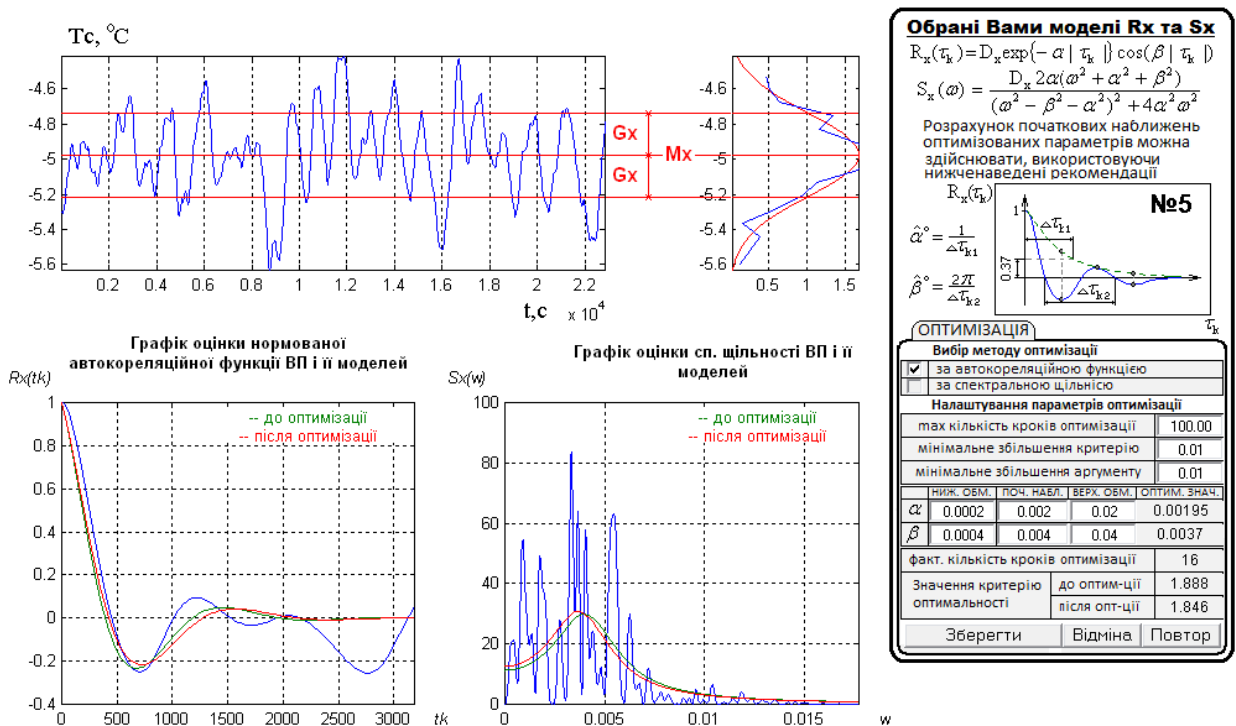


Рис. 2.11 – Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

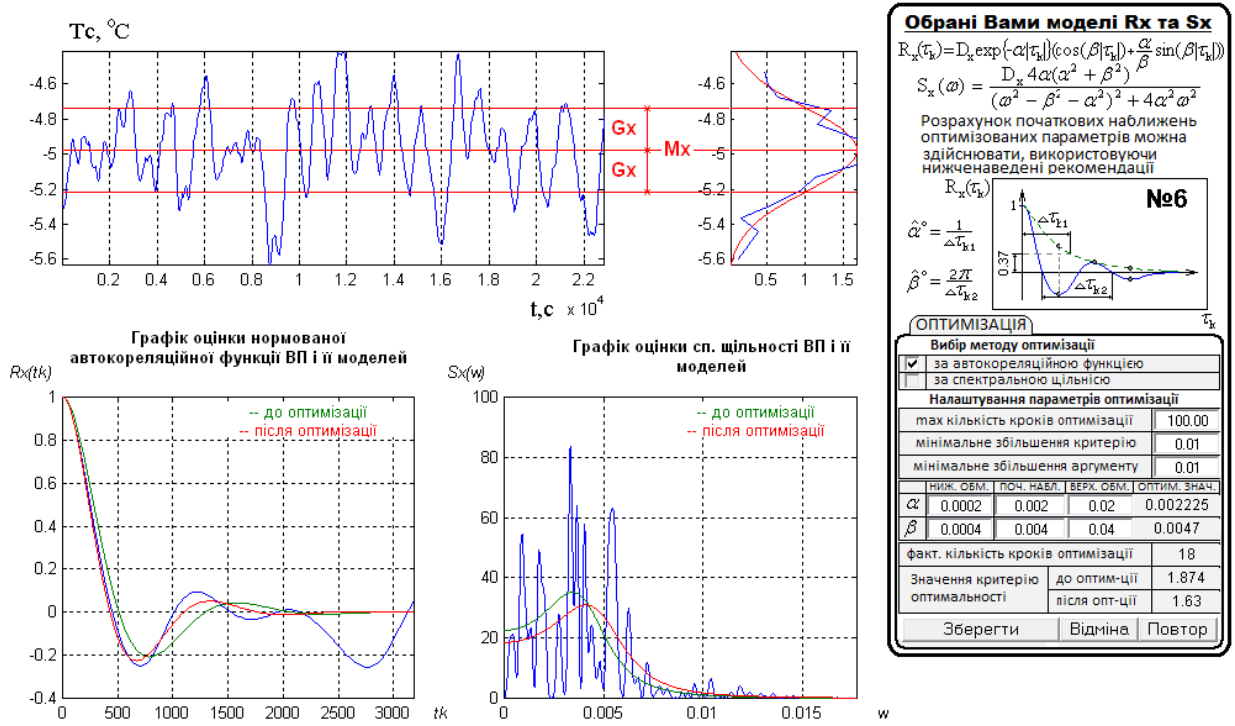


Рис. 2.12 – Результати параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень

Номер моделі	α	β	A	C	γ	Значення критерію оптимізації
<input checked="" type="checkbox"/> 5	0.00195	0.0037	-	-	-	3.4083
<input checked="" type="checkbox"/> 6	0.002225	0.0047	-	-	-	2.6563

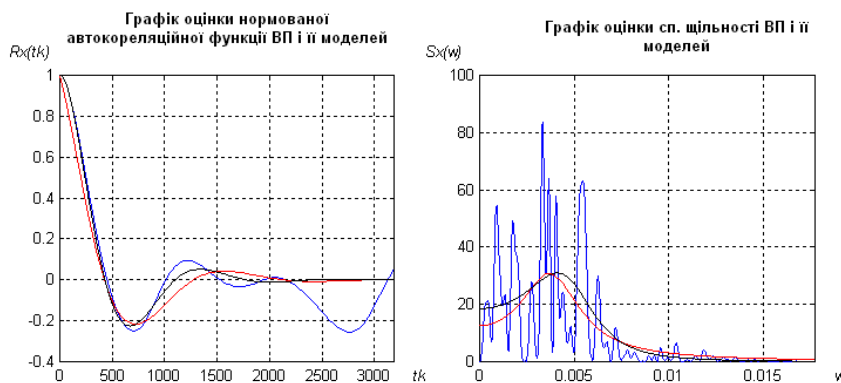


Рис. 2.13 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 2.12), кращою є модель №6, тому що для цієї моделі меншим є середньоквадратичне відхилення моделі від оцінки кореляційної функції.

Процедура ідентифікації детермінованих складових неконтрольованих координатних збурень f .

Перша частина процедури відповідає процедурі ідентифікації контрольованих збурень, тільки замість моделі $\bar{P}_n^m(\bar{a}_{p_n}; t)$ маємо в наявності модель зміни $\bar{T}_{cf}(\bar{a}_{T_c}, t)$. Інакше кажучи, будемо шукати модель змінюваної (регульованої) змінної, котра викликається сукупною дією неконтрольованих збурень (управляюча дія на інтервалі запису $T_c(t)$ не повинна змінюватися).

Надалі слід вирішити питання про точку додавання детермінованої складової неконтрольованих збурень. Для досліджуваного ОК вона адитивно прикладається до управляючої дії u .

Якщо в якості точки додавання неконтрольованого збурення обрано вхід ОК, то модель неконтрольованого збурення може бути отримана за допомогою методу структурних перетворень:

На практиці дуже часто прагнуть використовувати найбільш прості моделі детермінованих складових. У таких умовах в якості моделі $f^M(\bar{a}_f, t)$ приймають модель ступінчастої дії,

$$f^M(a_{f_n}, t) = \begin{cases} a_f = \Delta f, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}, \text{ прикладеного до входу ОУ.}$$

Ступінчасте збурення є одним з найбільш несприятливих з обмежених по величині дій на ОК (з погляду виникаючих у САК динамічних відхилень і тривалості виникаючих перехідних процесів).

Наближена ідентифікація Δf для ступінчастого збурення може бути проведена у такий спосіб:

1. Визначають (приблизно) середнє значення управляючої дії $u(t) = \bar{u}^n(t)$, якому відповідає номінальне значення регульованої координати.

2. Задають значення $\Delta f \approx 0,2u^H(t)$.

ПРИМІТКА: У тому випадку, якщо управляюча дія є двопозиційною, то $\bar{u}^n(t)$ визначають за формулою:

$$\bar{u}^n(t) \approx \frac{\bar{t}_u^{\max}}{\bar{t}_u} \cdot 100\%$$

де \bar{t}_u - середній період перемикання $U(t)$;

\bar{t}_u^{\max} - середній час включення $U^{\max}(t)$.

Для досліджуваного ОК в якості моделі детермінованої складової неконтрольованих збурень приймемо ступінчасту вхідну дію величиною $10\%x.p.o.$

2.4. Реалізація моделей на ПЕОМ і обґрунтування їх адекватності об'єкту

2.4.1 Розробка структурної схеми імітаційного моделювання окремих каналів перетворення дій і об'єкта керування в цілому; проведення необхідних «машинних» експериментів для отримання статичних і динамічних (перехідних) характеристик моделей; порівняння відповідних характеристик об'єкта і моделі, які отримані при ідентичних умовах, і роблять висновок про їх відповідність (адекватність моделей об'єкту)

У цьому підрозділі роботи, в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналів « $u_2 - T_x$ », « $u_1 - T_c$ » і « $u_2 - T_c$ » ОК розробляється схема моделювання як для моделей 1-го, так і для моделей 2-го порядку.

Передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядків ОК приведені на таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Передаточні функції моделей моделей каналів

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
«U ₁ – T _c »	$W_{U_1-T_c}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-44,6p}}{37,8p + 1}$	$W_{U_1-T_c}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-25p}}{(27p + 1)^2}$
«U ₂ – T _x »	$W_{U_2-T_x}^o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-20p}}{13,2p + 1}$	$W_{U_2-T_x}^o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-12,8p}}{(9,6p + 1)^2}$
«U ₂ – T _c »	$W_{U_2-T_c}^o(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-70,1p}}{56,6p + 1}$	$W_{U_2-T_c}^o(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-41,5p}}{(40,2p + 1)^2}$
T _x = 0,2 · u ₁ - 27		T _c = 0,15 · u ₁ + 0,1 · u ₂ + 10

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 зведено в таблиці 2.5, 2.6, 2.7. Схеми моделювання каналів управління ОК наведені на рис. 2.14, 2.16, 2.18. Результати моделювання наведені на рис. 2.15, 2.17, 2.19.

Для каналу «U₁ – T_c»

Таблиця 2.5 – Експериментальні дані

t, c	T _c , °C	t, c	T _c , °C
0	-5	80	-4,13
5	-5	85	-4,04
10	-5	90	-3,95
15	-4,99	95	-3,88
20	-4,97	100	-3,81
25	-4,94	105	-3,75
30	-4,9	110	-3,7
35	-4,86	115	-3,66
40	-4,81	120	-3,62

45	-4,74	125	-3,58
50	-4,68	130	-3,55
55	-4,6	135	-3,53
60	-4,5	140	-3,51
65	-4,42	145	-3,5
70	-4,33	150	-3,5
75	-4,23		

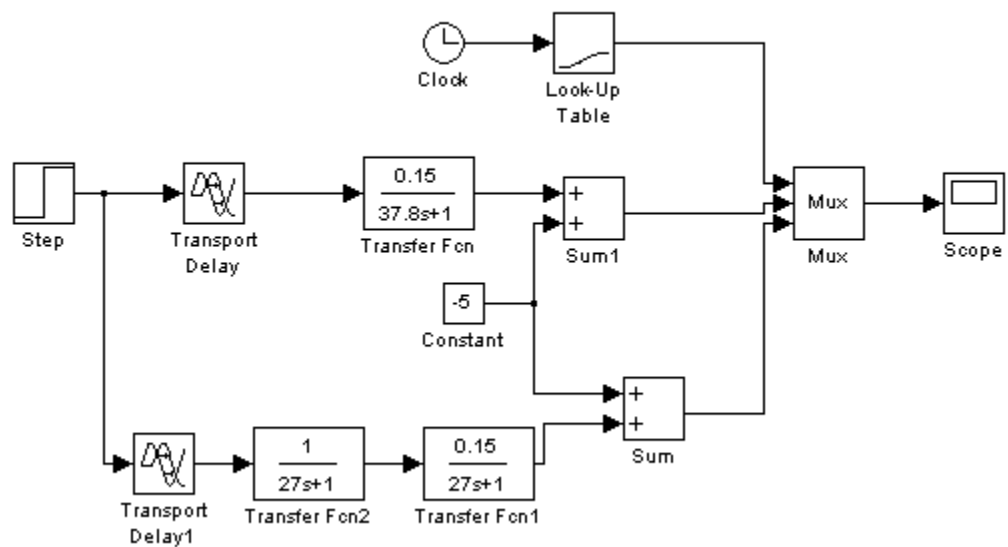


Рис. 2.14 – Схема моделювання за каналом « $U_1 - T_c$ »

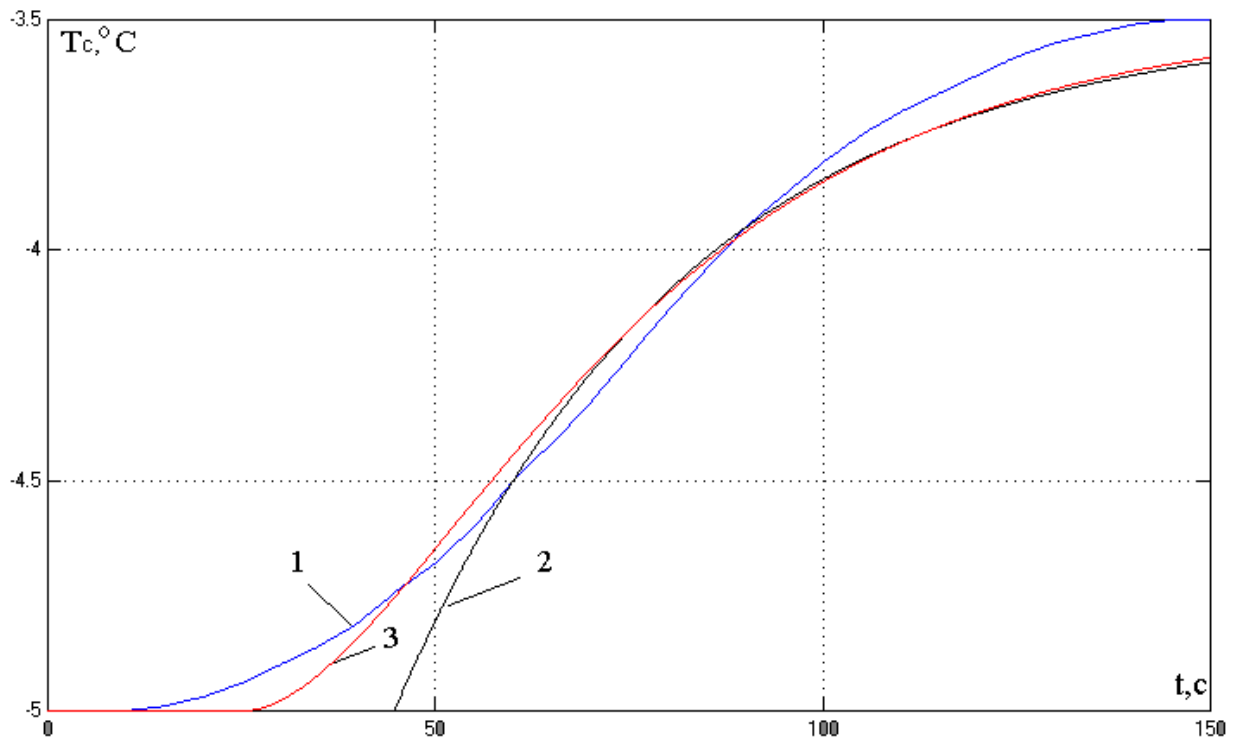


Рис. 2.15 – Результати моделювання ОК по каналу « $U_1 - T_c$ »

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних;

2 – модель 1-го порядку;

3 – модель 2-го порядку.

Для каналу « $U_2 - T_x$ »

Таблиця 2.6 – Експериментальні дані

t, c	$T_x, ^\circ C$	t, c	$T_x, ^\circ C$
0	-15	37,5	-13,5
2,5	-15	40	-13,36
5	-15	42,5	-13,26
7,5	-15	45	-13,18
10	-14,96	47,5	-13,12
12,5	-14,9	50	-13,08
15	-14,84	52,5	-13,04
17,5	-14,74	55	-13,02
20	-14,64	57,5	-13

22,5	-14,5	60	-13
25	-14,36	62,5	-13
27,5	-14,18	65	-13
30	-14	67,5	-13
32,5	-13,82	70	-13
35	-13,64		

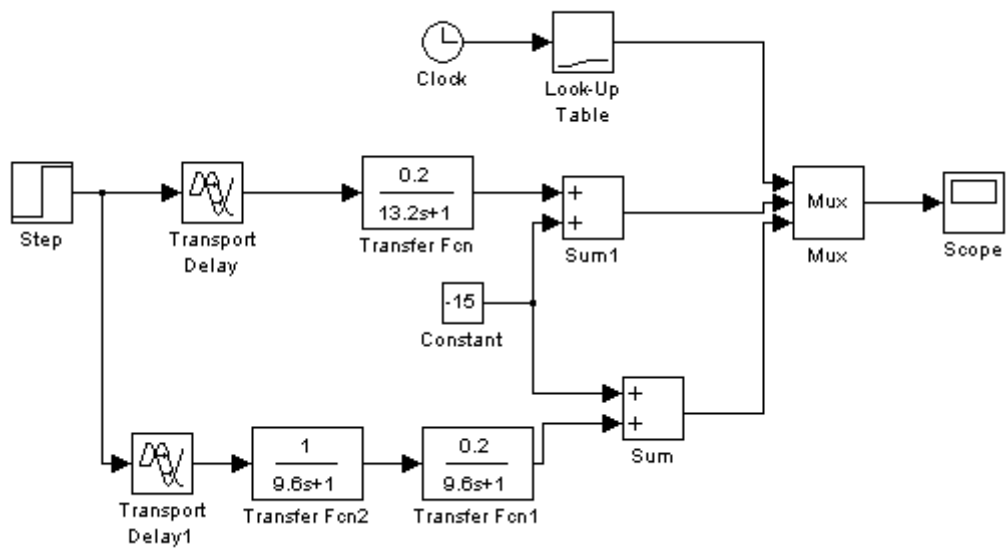


Рис. 2.16 – Схема моделювання за каналом « $U_2 - T_x$ »

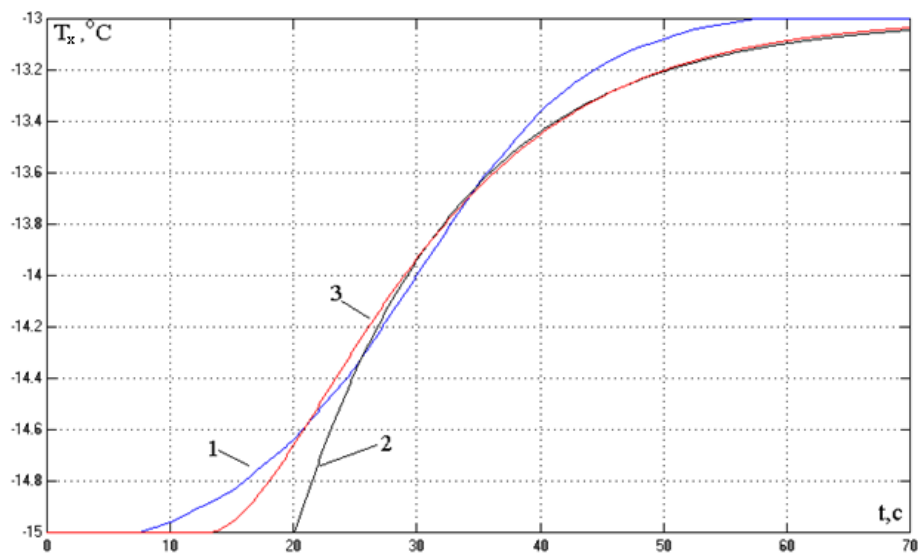


Рис. 2.17 – Результати моделювання ОК по каналу « $U_2 - T_x$ »

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних;

2 – модель 1-го порядку;

3 – модель 2-го порядку.

Для каналу « $U_2 - T_c$ »

Таблиця 2.7 – Експериментальні дані

t, c	T_c , °C	t, c	T_c , °C
0	-5	160	-4,17
10	-5	170	-4,13
20	-5	180	-4,09
30	-4,99	190	-4,06
40	-4,97	200	-4,04
50	-4,93	210	-4,02
60	-4,89	220	-4,01
70	-4,83	230	-4
80	-4,77	240	-4
90	-4,69	250	-4
100	-4,62	260	-4
110	-4,53	270	-4
120	-4,44	280	-4
130	-4,36	290	-4
140	-4,29	300	-4
150	-4,23		

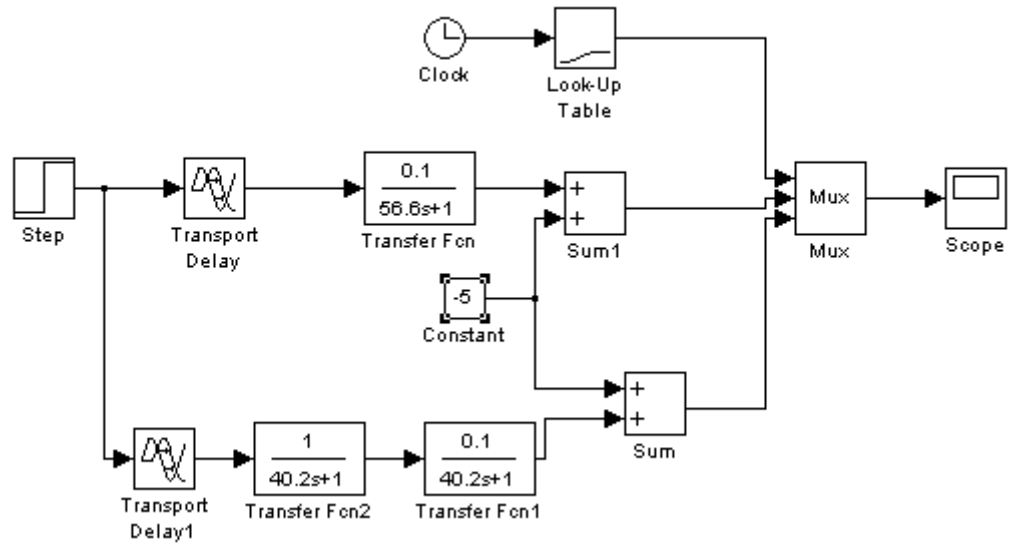


Рис. 2.18 – Схема моделювання за каналом « $U_2 - T_c$ »

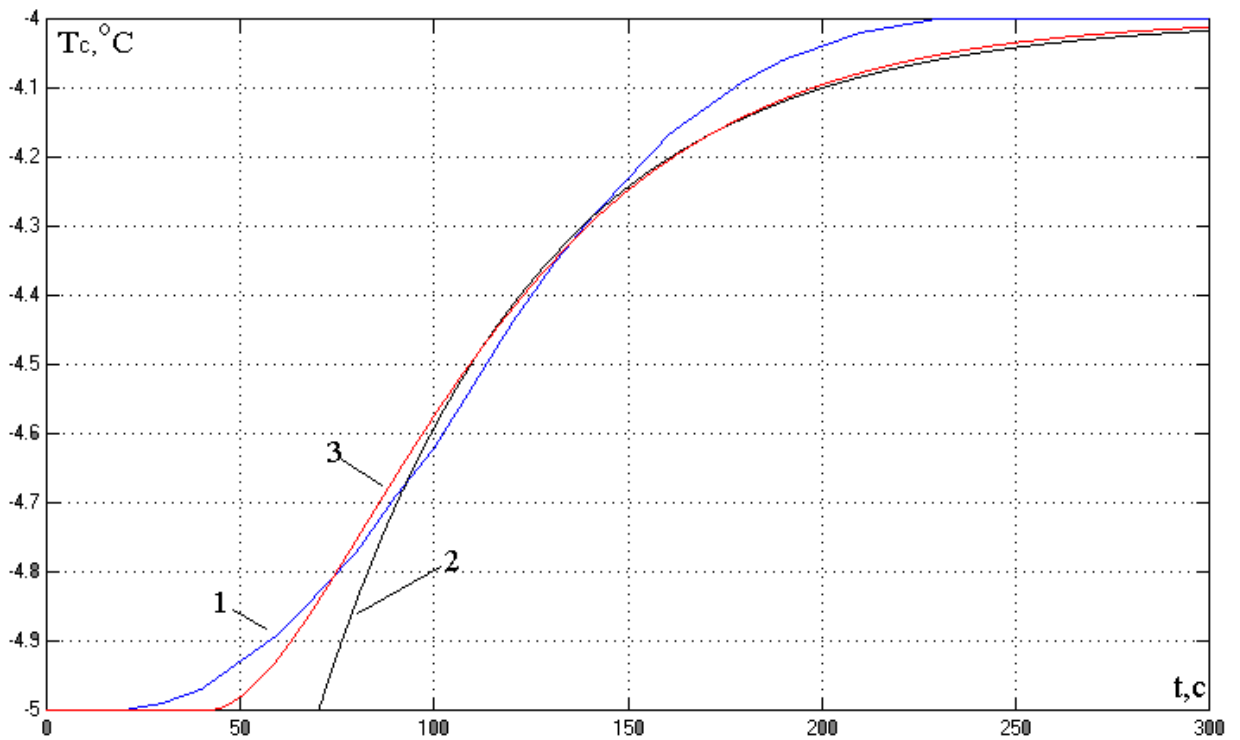


Рис. 2.19 – Результати моделювання ОК по каналу « $U_2 - T_c$ »

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

Як видно з Рис. 2.15, 2.17, 2.19, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані, але модель 2-го порядку точніша.

Моделі статичної характеристики:

$$T_c = 0,15 \cdot u_1 + 0,1 \cdot u_2 + 10$$

$$T_x = 0,2 \cdot u_2 - 27$$

Для виконання цієї роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Результати розрахунків зведені в таблицю 2.8, а також представлені у вигляді графіків на Рис. 2.20.

Таблиця 2.8 Результати розрахунків для визначення статичної характеристики

U1.% х.р.о.	U2.% х.р.о.	T _c , °C	T _x , °C
60	60	-5	-15
70	60	-3,5	-15
80	60	-2	-15
50	60	-6,5	-15
40	60	-8	-15
60	70	-4	-13
60	80	-3	-11
60	50	-6	-17
60	40	-7	-19

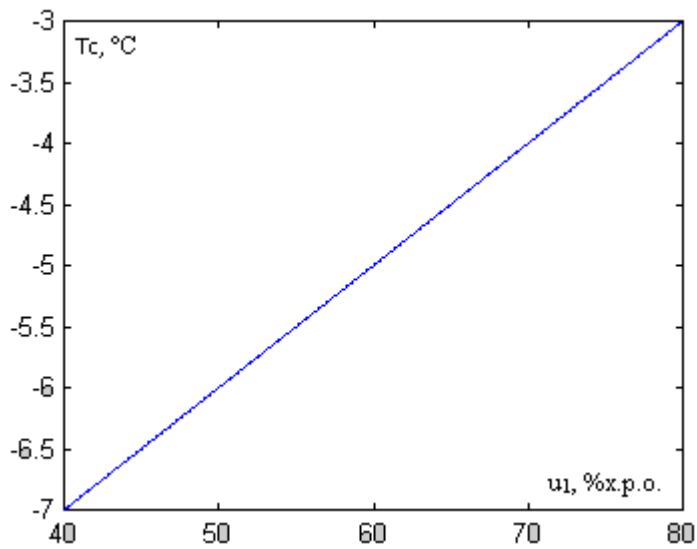
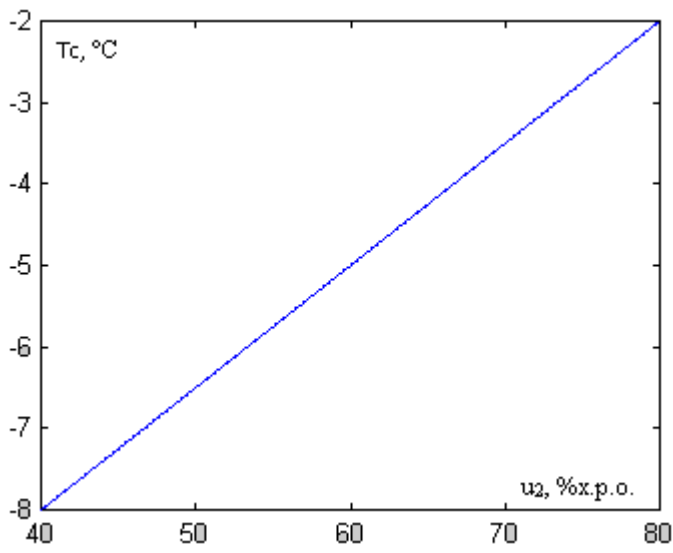
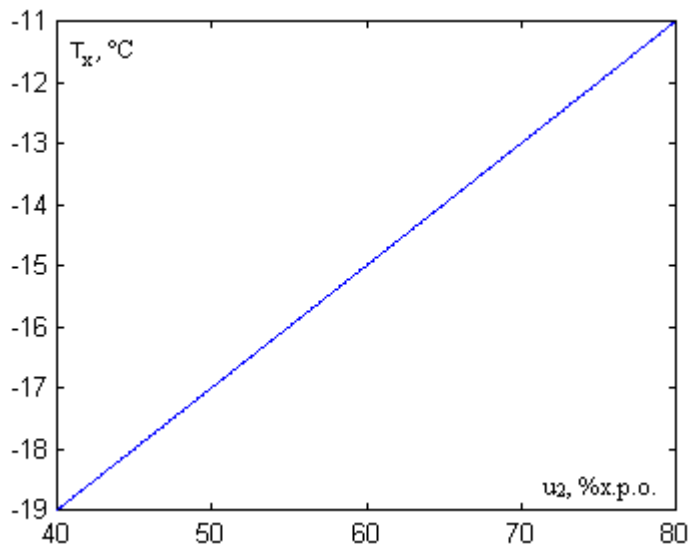


Рис. 2.20 – Результати моделювання статичної характеристики ОК

Як видно із графіків (Рис. 2.20), модель статичної характеристики точно описує експериментальні дані.

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. 2.21, а результати моделювання – на Рис. 2.22.

Як видно з результатів моделювання, модель ОК достатньо точно відображує експериментальні дані. Це означає, що отримана модель ОК є адекватною.

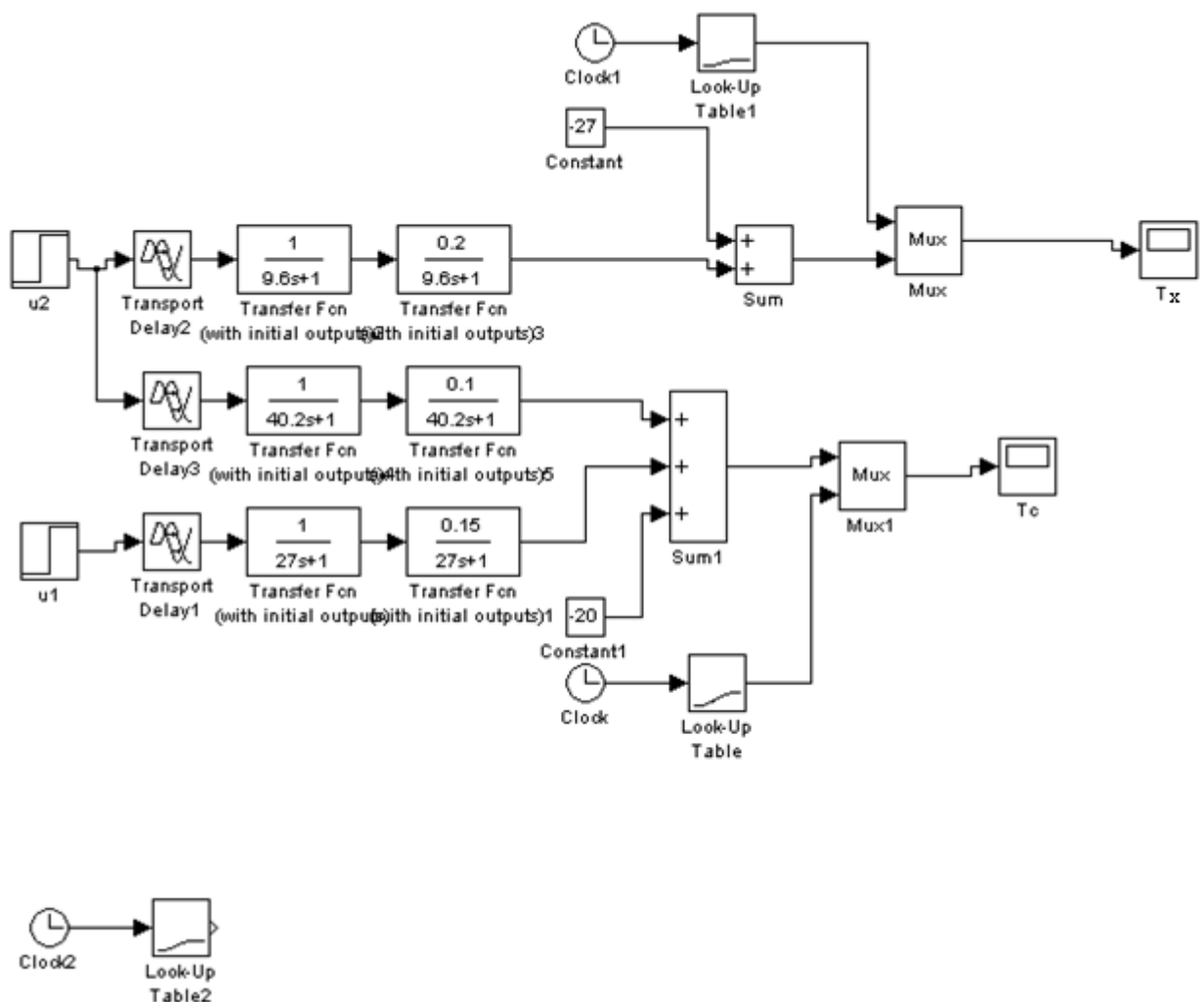
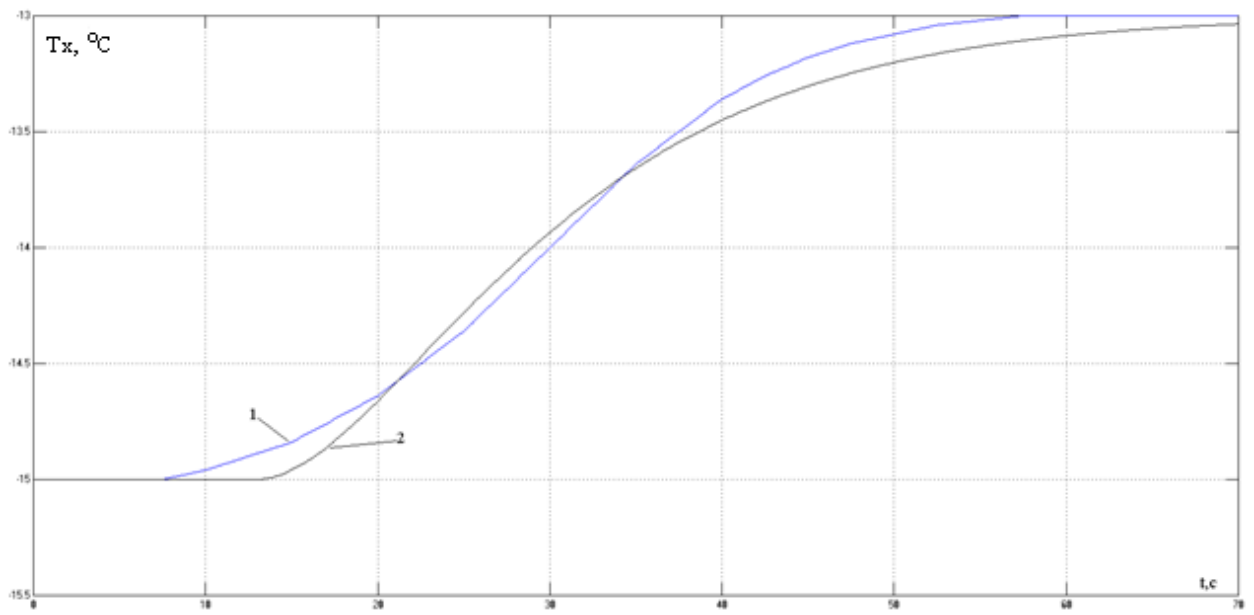
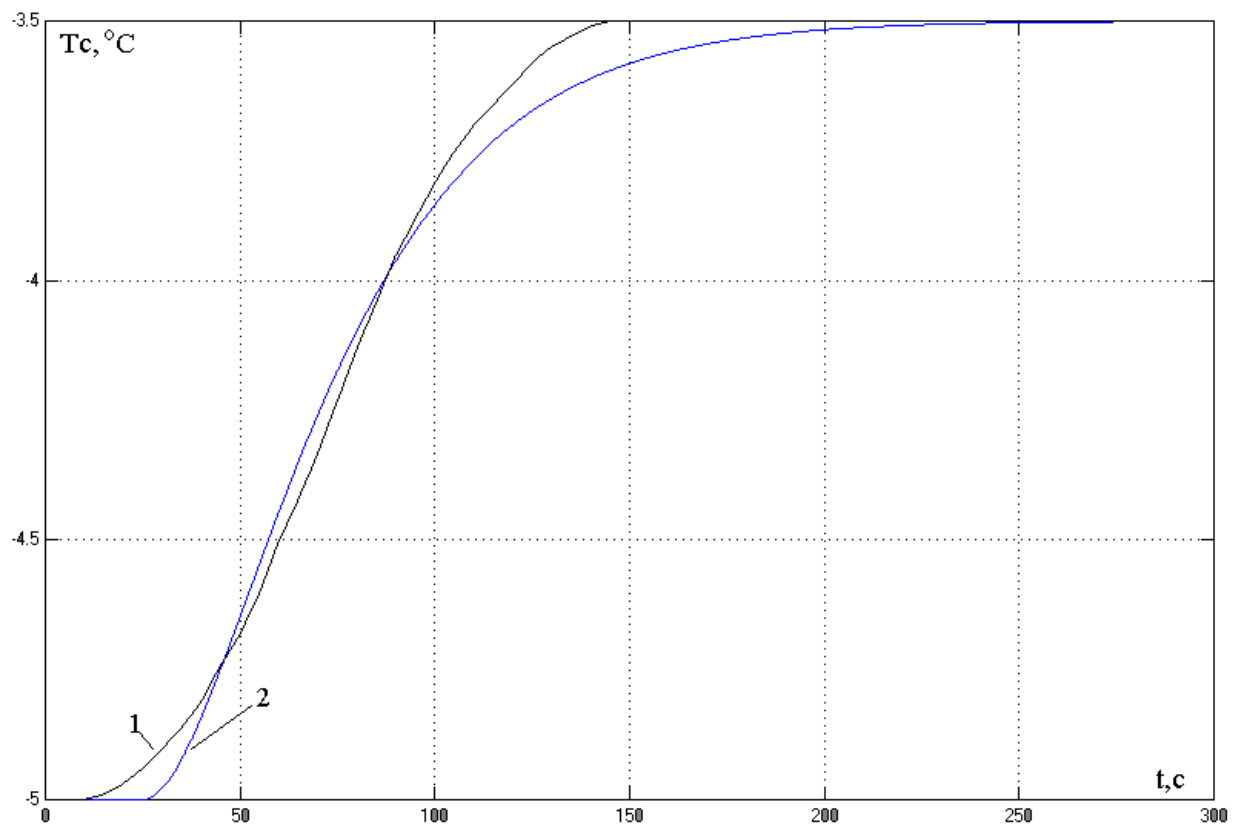


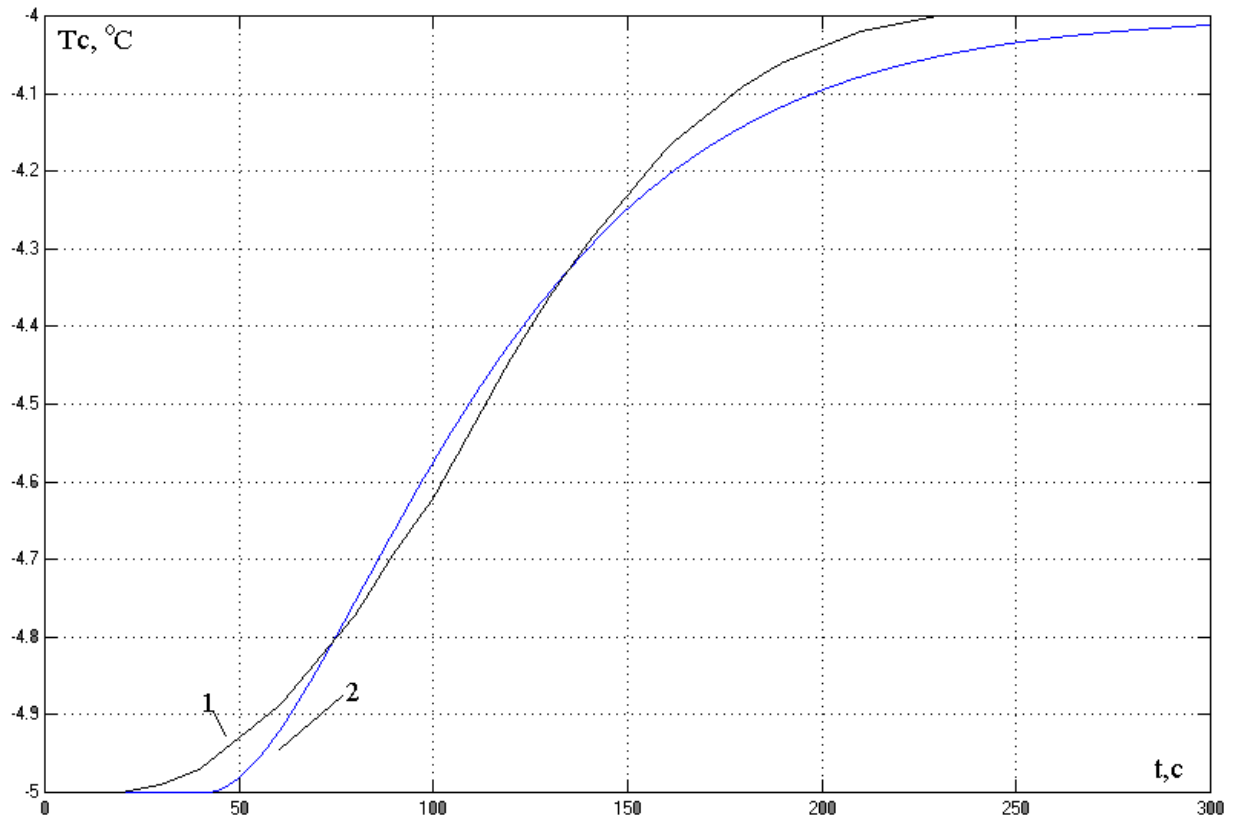
Рис. 2.21 – Схема моделювання повної моделі ОК



Результати моделювання за каналом « $u_2 - T_x$ »



Результати моделювання за каналом « $u_1 - T_c$ »



Результати моделювання за каналом « $u_2 - T_c$ »

Рис. 2.22 – Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб

Як видно з результатів моделювання, модель ОК достатньо точно відображує експериментальні дані. Це означає, що отримана модель ОК є адекватною.

2.4.2 Метод формування імітаційних моделей випадкових складових входних дій на систему, і розрахунок відповідних формуючих фільтрів; розробка структурних схеми моделювання входних дій; проведення моделювання, і оцінювання характеристик змодельованих впливів чи їх складових; порівняння відповідних характеристик реального процесу і його моделі, і висновок про їх адекватність

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

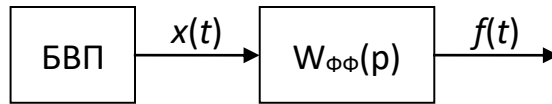


Рис. 2.23 – Структурна схема моделі СП

Для відтворення моделі стохастичного процесу із заданими властивостями спочатку треба визначити передаточну функцію формуючого фільтра $W_{\phi\phi}(p)$. Відомо, що спектральні щільності вхідного $x(t)$ і вихідного $f(t)$ сигналів взаємозалежні

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

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

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

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

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

Для моделі №6

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

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

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

$$\text{Бачимо, що } W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \sqrt{D_f \cdot a \cdot (a^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + a^2 + 2aj\omega} \cdot$$

$$\text{А після заміни } W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \sqrt{D_f \cdot a \cdot (a^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + a^2 + 2aj\omega} = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \sqrt{D_f \cdot a \cdot (a^2 + \beta^2)}}{(a^2 + \beta^2) \cdot \left(\frac{1}{a^2 + \beta^2} p^2 + \frac{2a}{a^2 + \beta^2} p + 1 \right)}$$

Тоді

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

$$\text{де } k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f a}{a^2 + \beta^2}}, T = \frac{1}{\sqrt{a^2 + \beta^2}}, \xi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + \beta^2}}$$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,002225; \beta = 0,0047;$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{0,2374}{2} = 0,1187 \quad \sigma_f = 0,2374$$

$$\Delta t_\Gamma = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot a} = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot 0,002225} = 149,81 \dots 224,7 = 150c$$

Виберемо крок генерації, рівним 150.

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_\Gamma}{3} = 0,1187^2 \cdot \frac{2 \cdot 150}{3} = 1,4$$

$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f a}{a^2 + \beta^2}} = \frac{1}{1,4} \cdot \sqrt{\frac{0,05634 \cdot 0,002225}{0,002225^2 + 0,0047^2}} = 1,5$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{a^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,002225^2 + 0,0047^2}} = \frac{1}{0,005} = 192,3c$$

$$\xi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + \beta^2}} = \frac{0,002225}{\sqrt{0,002225^2 + 0,0047^2}} = \frac{0,002225}{0,005} = 0,43$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{1,5}{192,32p^2 + 2 \cdot 192,3 \cdot 0,43p + 1} = \frac{1,5}{36979,3p^2 + 165,4p + 1}$$

Сигнал неконтрольованих збурень

Повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$\hat{M}_f = -4,976$$

$$\hat{\sigma}_f = 0,2374$$

$$\hat{a}_f = 0,002225$$

$$\hat{\beta}_f = 0,0047$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.24.

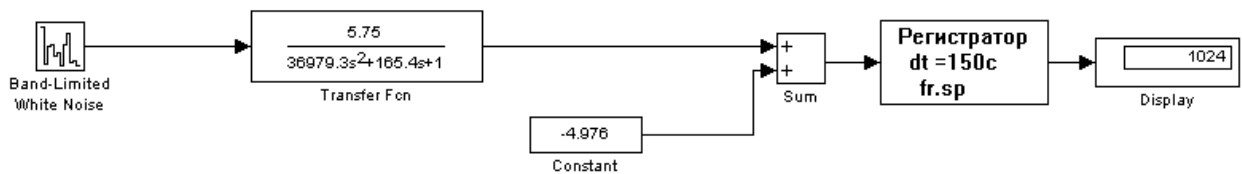


Рис. 2.24 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 1,4;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t_T = 150;$$

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

Результати моделювання наведені на рис. 2.25.

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|-4,976 - (-4,976)|}{-4,976} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

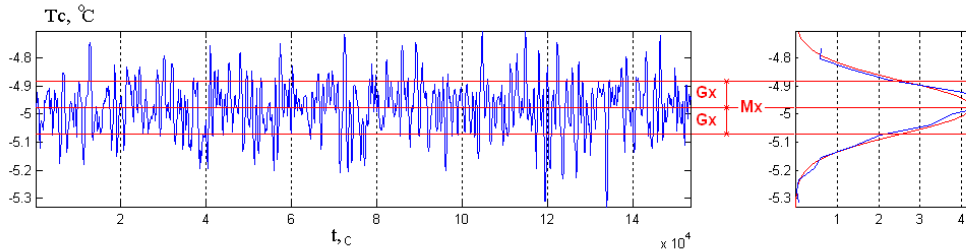
$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,09416 - 0,2374|}{0,09416} \cdot 100\% = 152,1\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta a_f = \frac{|a_f - \hat{a}_f|}{a_f} \cdot 100\% = \frac{|0,002336 - 0,002225|}{0,002336} \cdot 100\% = 4,75\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0047 - 0,0047|}{0,0047} \cdot 100\% = 0\%$$



Види моделей щільності імовірності

Модель №1 Модель №2 Модель №3

Модель щільності імовірності НОРМАЛЬНОГО (ГАУССІВЬКОГО) випадкового процесу

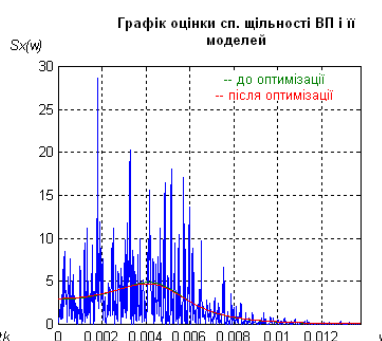
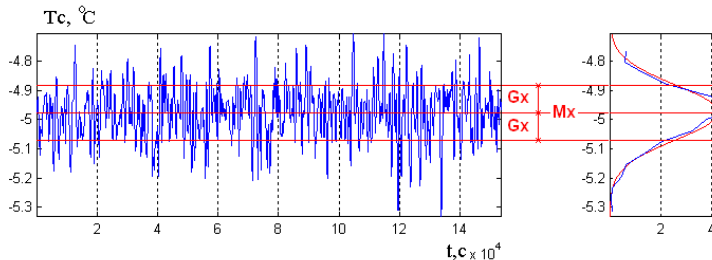
$$p(x) = \frac{1}{G_x \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x - M_x)^2}{2G_x^2}\right\}$$

$M_x=0$ $G_x=\text{const}$
 $M_x=0$ $G_x=2 \cdot \text{const}$
 $M_x=0$ $G_x=4 \cdot \text{const}$
 $M_x \neq 0$ $G_x=\text{const}$

Обрати поточний вид моделі p(x)

Характеристики згенерованої реалізації випадкового процесу x(t):

ВИХІДНІ	Інтервал часу генерації ВП	Tr = 153600 с
	Крок квантування ВП за часом генерації	Δt = 150 с
	Кількість точок згенерованої реалізації ВП	N = 1024
ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ОЦІНЮВАННЯ	Оцінка математичного очікування	Mx = -4.976
	Оцінка дисперсії	Dx = 0.008867
	Оцінка середньоквадратичного відхилення	Gx = 0.09416
	Оцінка середньоквадратичного періоду	Tсрк = 1365 с
	Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50)	NТсрк = 112.5



Обрані Вами моделі Rx та Sx

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

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

Розрахунок початкових наближень оптимізованих параметрів можна здійснювати, використовуючи нижченаведені рекомендації

$R_x(\tau_k)$

$\hat{\alpha}^\circ = \frac{1}{\Delta\tau_{k1}}$

$\hat{\beta}^\circ = \frac{2\pi}{\Delta\tau_{k2}}$

№6

ОПТИМІЗАЦІЯ

Вибір методу оптимізації

за автокореляційною функцією

за спектральною щільністю

Налаштування параметрів оптимізації

max кількість кроків оптимізації	100,00
мінімальне збільшення критерію	0,01
мінімальне збільшення аргументу	0,01

НИЖ. ОБМ.	ПОЧ. НАБЛ.	ВЕРХ. ОБМ.	ОПТИМ. ЗНАЧ.	
α	0.00022	0.00225	0.02225	0.002336
β	0.00047	0.0047	0.047	0.0047

факт. кількість кроків оптимізації 5

Значення критерію оптимальності	до оптимізації	0.3192
	після оптимізації	0.3107

Зберегти Відміна Повтор

Рис. 2.25 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Похибка відтворення σ_f , більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 3,78$; Схема моделювання остаточного формуючого фільтра наведена на рис. 2.26, а результати моделювання наведені на рис. 2.27.

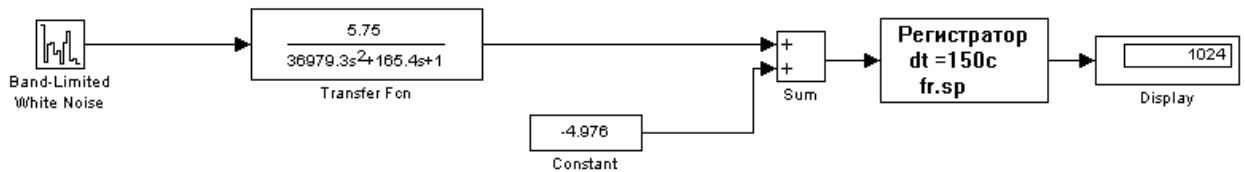
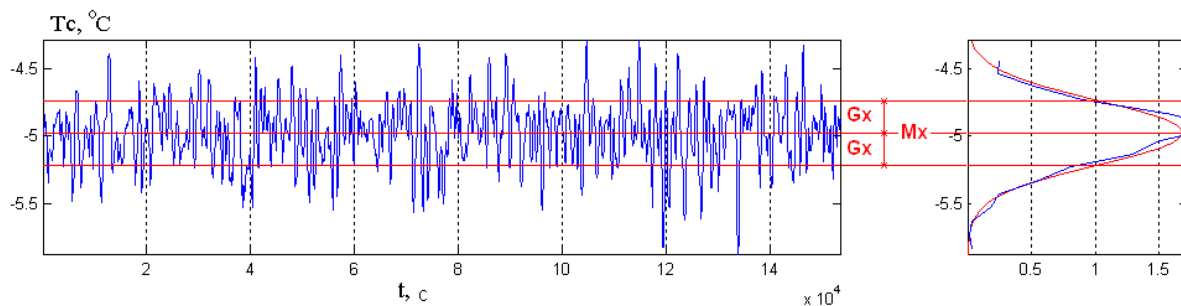


Рис. 2.26 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри



Види моделей щільності імовірності

Модель №1 Модель №2 Модель №3

Модель щільності імовірності НОРМАЛЬНОГО (ГАУССІВЬКОГО) випадкового процесу

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

$M_x=0$ $G_x=\text{const}$
 $M_x=0$ $G_x=2*\text{const}$
 $M_x=0$ $G_x=4*\text{const}$
 $M_x \neq 0$ $G_x=\text{const}$

Обрати поточний вид моделі $p(x)$

Характеристики згенерованої реалізації випадкового процесу $x(t)$:	
ВИХІДНІ	
Інтервал часу генерації ВП	$T_p = 153600$ с
Крок квантування ВП за часом генерації	$\Delta t = 150$ с
Кількість точок згенерованої реалізації ВП	$N = 1024$
ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ОЦІНЮВАННЯ	
Оцінка математичного очікування	$M_x = -4.975$
Оцінка дисперсії	$D_x = 0.05631$
Оцінка середньоквадратичного відхилення	$G_x = 0.2373$
Оцінка середньоквадратичного періоду	$T_{сркп} = 1365$ с
Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50)	$N_{Tсркп} = 112.5$

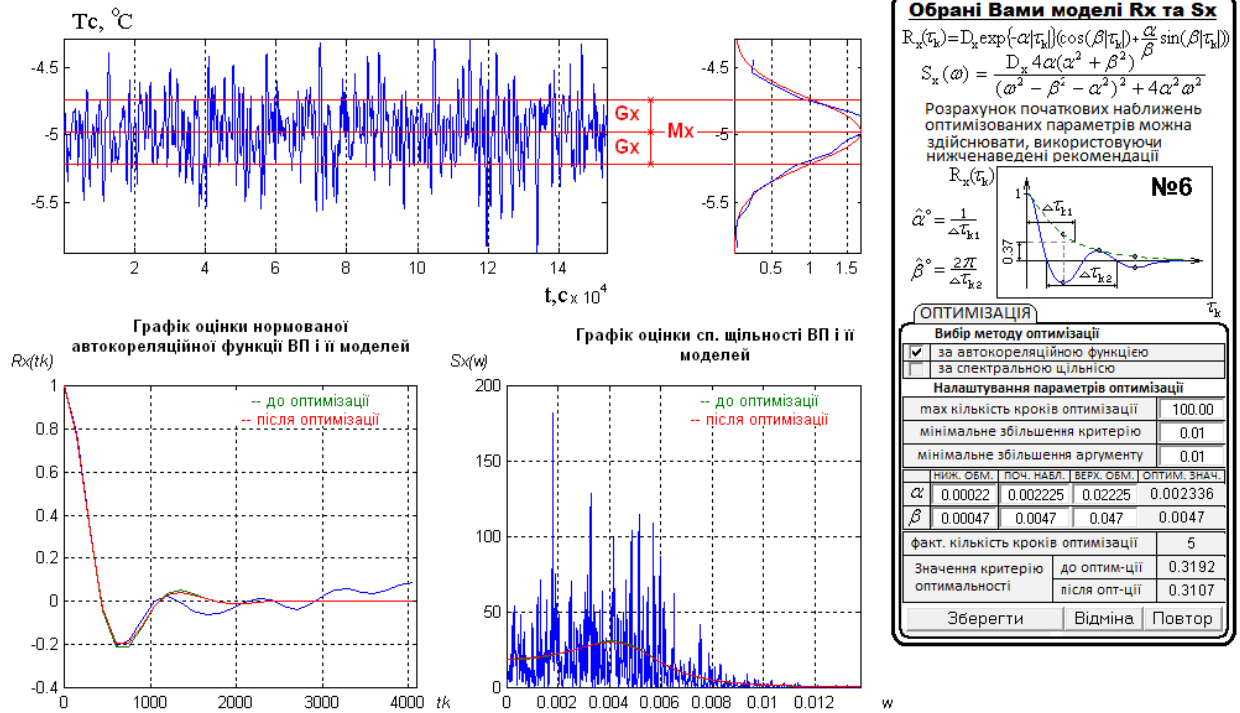


Рис. 2.27 - Результати моделювання неконтрольованих збурювань із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|-4,976 - (-4,976)|}{-4,976} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,2373 - 0,2374|}{0,2373} \cdot 100\% = 0,04\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta a_f = \frac{|a_f - \hat{a}_f|}{a_f} \cdot 100\% = \frac{|0,002336 - 0,002225|}{0,002336} \cdot 100\% = 4,75\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0047 - 0,0047|}{0,0047} \cdot 100\% = 0\%$$

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

2.5 Висновки за розділом

В даному розділі були розроблені моделі статички та динаміки по каналам керування та моделі вхідних дій, проведена перевірка, підтвердила відповідність отриманих моделей до експериментальних даних.

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

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

3.1.1 Конкретизація задачі регулювання (стабілізації, програмного регулювання, слідкуючого регулювання); регламентні зони, вимоги до статичної і динамічної точності цих змінних; обґрунтування вибору інтегральних показників якості системи автоматичного регулювання (САР) для перехідних і сталих режимів її роботи

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 вихідних змінних об'єкту керування (T_c та T_x) на їх заданому значенні ($T_c^{здн}$ та $T_x^{здн}$) - 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.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожну із завдань управління.

Для завдання регулювання автоматизації потрібно, щоб для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю було проведено без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільної реалізації технологічного процесу охолодження виноматеріалу в трубчастому теплообміннику необхідно регулювати температуру виноматеріалу T_c та температуру холодоагенту T_x .

Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його змінних властивостей, заданим.

Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Цю задачу можна вирішити, змінюючи (коригуючи) параметри регуляторів в процесі роботи установки.

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

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

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. табл. 3.1) температура охолодження виноматеріалу T_c та температура холодоагенту T_x має підтримуватися на рівні для T_c -5°C з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 150 секунд, та для T_x -15°C з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 60 секунд. Регламентна зона за цими параметрами наведені на рис. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1- Таблиця регламентів

№	Найменування параметрів	Познач.	Одиниця виміру	Номінальне значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі	Короткочасні	Час, с
1	Температура вина в охолоджувальному резервуарі	T_c	$^{\circ}\text{C}$	-5	$\pm 0,5$	$\pm 1,5$	150

2	Температура холодоагенту на вході в теплообмінник	T_x	°C	-15	$\pm 0,5$	$\pm 1,5$	60
---	---	-------	----	-----	-----------	-----------	----

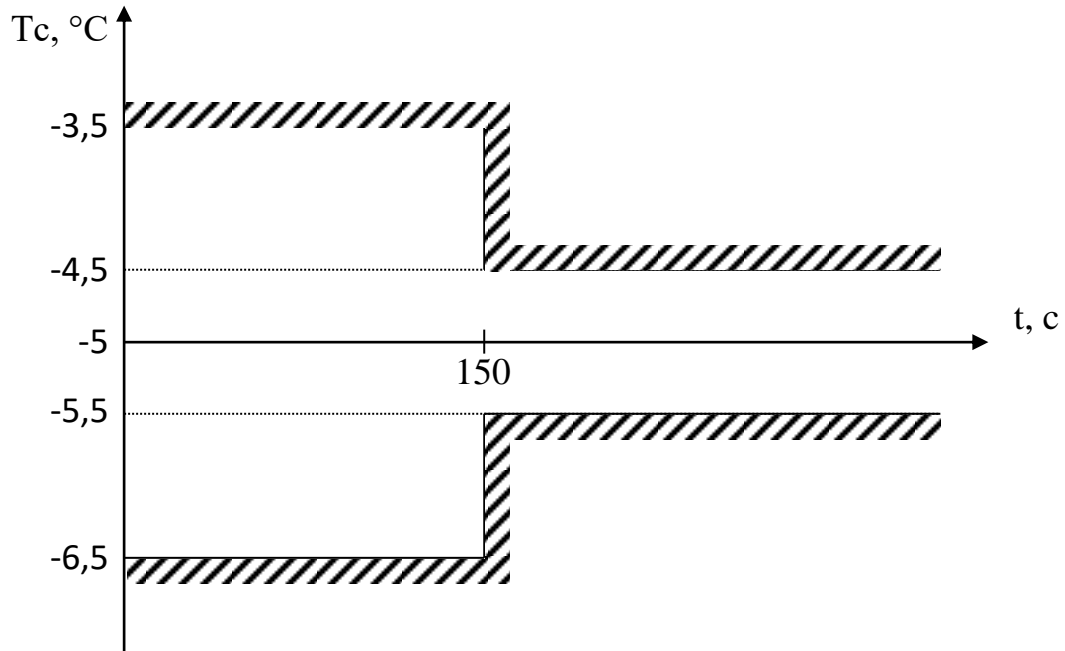


Рис. 3.1 – Регламентна зона для температури охолодження виноматеріалу T_c

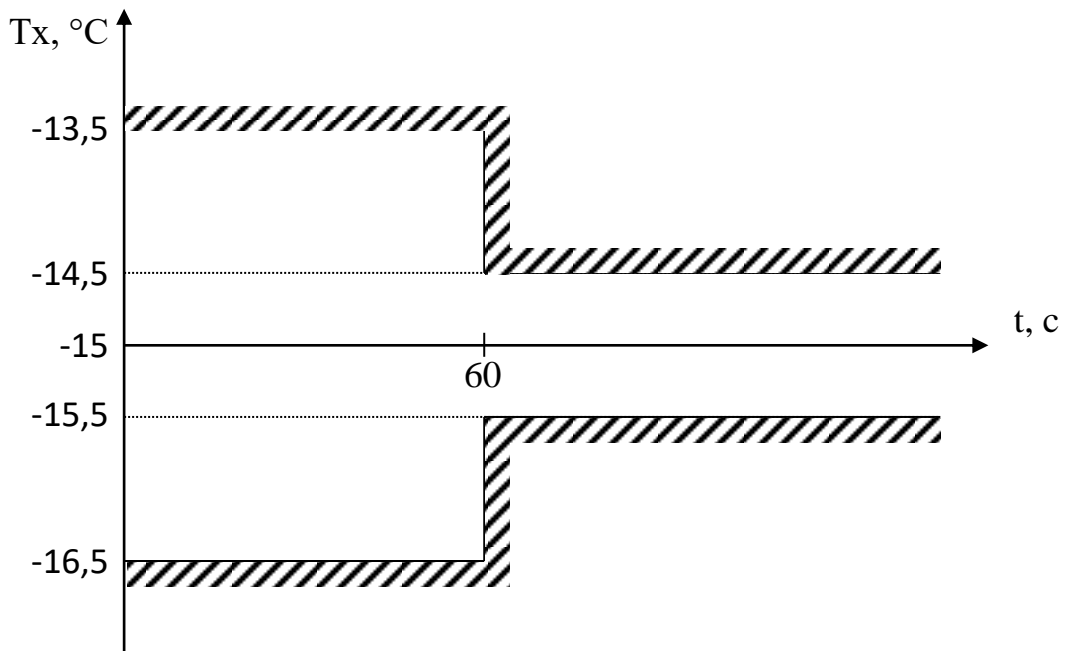


Рис. 3.2 – Регламентна зона для температури холодоагенту T_x

Як видно з регламентів на САР для процесу охолодження виноматеріалу особливо жорсткі вимоги пред'являються до короткочасних відхилень, так як

саме недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний квадратичний критерій. Тому ефективність роботи САР температури і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^{t_M} \left[\frac{(\Delta T_c(t))^2}{1,5} + \frac{(\Delta T_x(t))^2}{1,5} \right] dt$$

де t_M – час моделювання;

$\Delta T_c(t)$ – відхилення температури вина матеріалу від заданого значення.

$\Delta T_x(t)$ – відхилення температури холодоагенту від заданого значення.

3.1.2 Обґрунтування вибору базового принципу регулювання (жорсткого, за збуреннями, за відхиленням); розробка базової (найпростішої структури) структурної схеми всієї САР

Оснoву керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОУ \bar{y}^* , про поточний стан ОУ \bar{y} та про збурення \bar{f} . Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОУ виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкнутого твердого (програмного) керування; принцип розімкнутого керування по збурюванню; принцип замкнутого керування по стані ОУ або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для системи керування процесу охолодження вина матеріалу доступною, крім інформації про бажаний стан ОК ($T_c^{здн}$ та $T_x^{здн}$), є інформація про поточний стан ОК (T_c та T_x). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу (u) достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР температури охолодження базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.3.

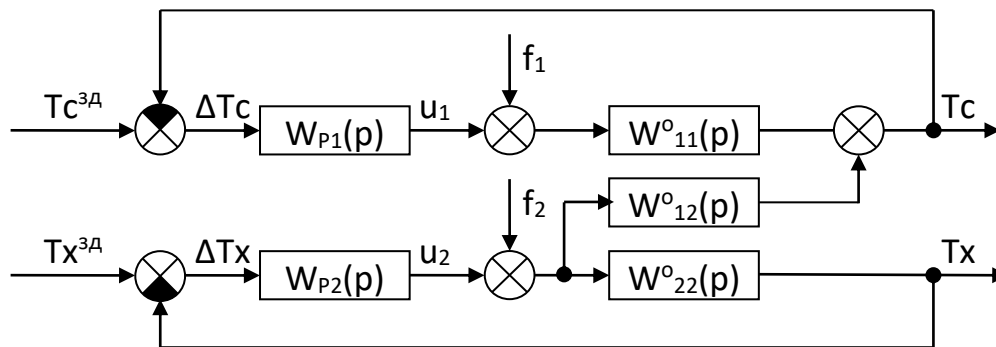


Рис. 3.3 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкненому принципу керування

На рисунку:

U_1 – частота обертання насосу, що змінює витрати виноматеріалу;

U_2 – частота обертання насосу, що змінює витрати холодоагенту;

T_c – температура охолодження виноматеріалу;

T_x – температура холодоагенту;

f_1 та f_2 – вектори неконтрольованих збурень;

$W_{p1}(p)W_{p2}(p)$ – передаточні функції регуляторів температури виноматеріалу та холодоагенту;

$T_c^{зд}$ та $T_x^{зд}$ – задані значення регульованих координат;

ΔT_c та ΔT_x – помилки регулювання.

3.1.3 Обґрунтування вибору альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання (нелінійного двопозиційного і лінійного ПД - алгоритму); запис їх рівняння і (чи) передаточні функції, конкретизація переліків налагоджувальних параметрів

Процес охолодження виноматеріалу в трубчастому теплообміннику за всіма каналами має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^T \Delta y(t) dt \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^T \Delta y(t) dt + T_{уп} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІД-регулятора

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

В результаті виконання роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу охолодження виноматеріалу в трубчастому теплообміннику. Результати ідентифікації зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати ідентифікації каналів перетворення координатних дій ОК

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
«U ₁ – T _c »	$W_{U_1-T_c}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-44,6p}}{37,8p + 1}$	$W_{U_1-T_c}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-25p}}{(27p + 1)^2}$
«U ₂ – T _x »	$W_{U_2-T_x}^o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-20p}}{13,2p + 1}$	$W_{U_2-T_x}^o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-12,8p}}{(9,6p + 1)^2}$
«U ₂ – T _c »	$W_{U_2-T_c}^o(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-70,1p}}{56,6p + 1}$	$W_{U_2-T_c}^o(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-41,5p}}{(40,2p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР с ПІ-регулятором наведена на рис.3.4, а с ПІД-регулятором - на рис. 3.5. Структурна схема моделювання ОК наведена на рис. 3.6.

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

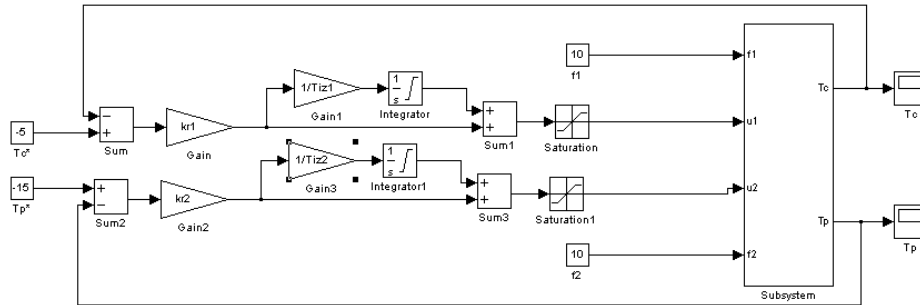


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

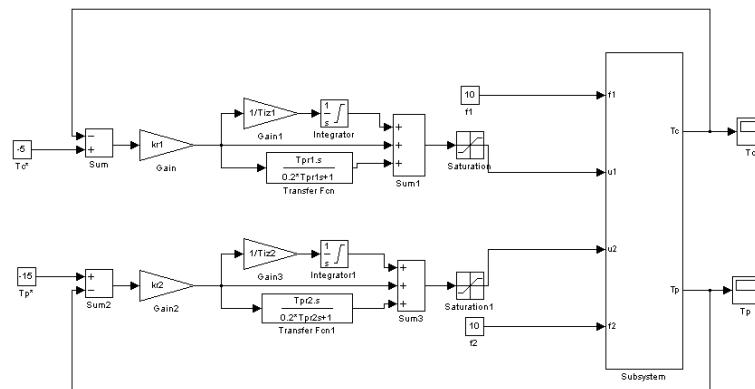


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором

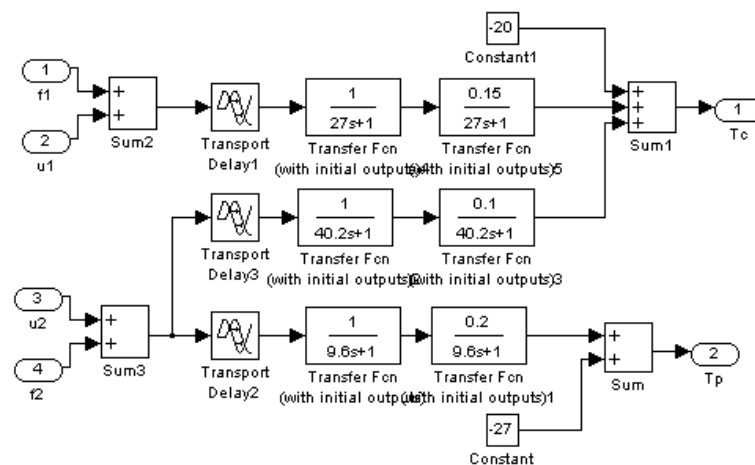


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання ОК

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

3.2.1 Розрахунок початкових наближень налагоджувальних параметрів регуляторів (алгоритмів), обґрунтування переліку оптимізованих параметрів

Передаточні функції моделі 1-го порядку ОК:

Канал ОК	Модель 1-го порядку
«U ₁ – T _c »	$W_{U_1-T_c}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-44,6p}}{37,8p + 1}$
«U ₂ – T _x »	$W_{U_2-T_x}^o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-20p}}{13,2p + 1}$
«U ₂ – T _c »	$W_{U_2-T_c}^o(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-70,1p}}{56,6p + 1}$

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів:

Регулятор W_{P1}(p)

$$K_{P1} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 37,8}{0,15 \cdot 44,6} = 6,2\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 44,6 = 89,2 \text{ с}$$

Регулятор W_{P2}(p)

$$K_{P2} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 13,2}{0,2 \cdot 20} = 3,63\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 20 = 40 \text{ с}$$

Розрахунок налаштувань ПІД-регуляторів:

Регулятор W_{P1}(p)

$$K_{P1} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 37,8}{0,15 \cdot 44,6} = 6,7\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 44,6 = 62,44 \text{ с}$$

$$T_{УПІ} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 44,6 = 44,6 \text{ с}$$

Регулятор W_{P2}(p)

$$K_{P2} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 13,2}{0,2 \cdot 20} = 3,96\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 20 = 28 \text{ с}$$

$$T_{уп2} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 20 = 20 \text{ с}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР температури охолодження вина з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.7. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.8.

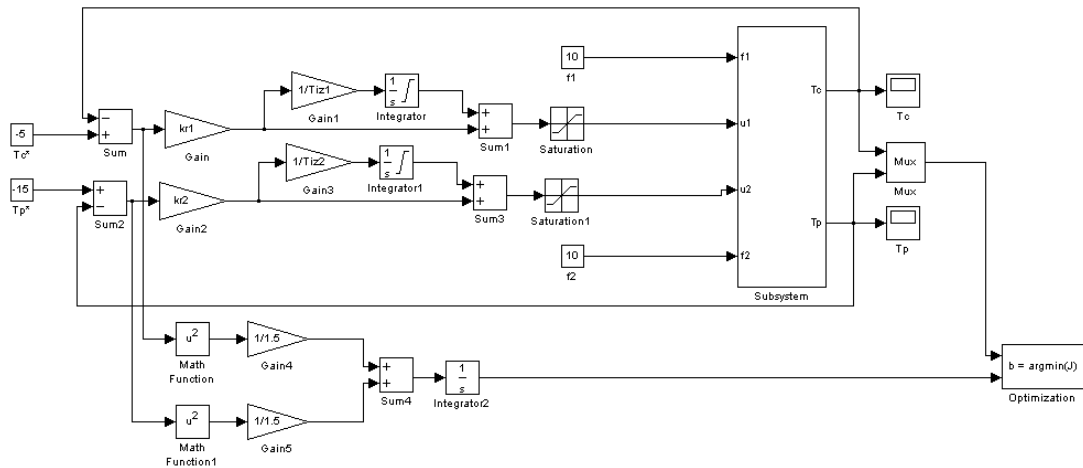
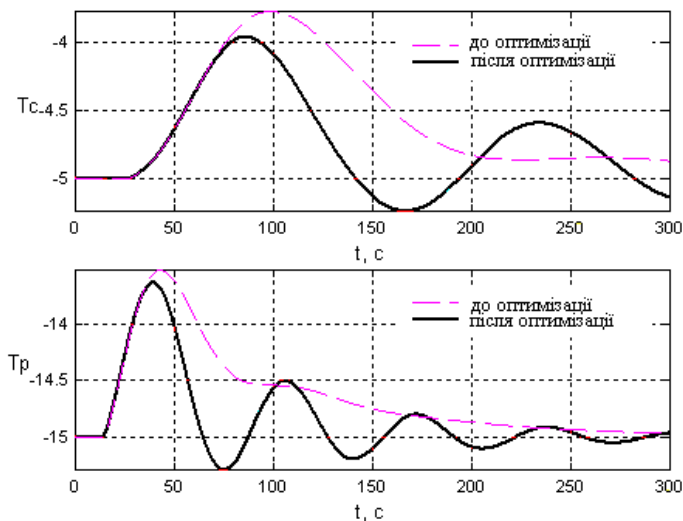


Рис. 3.7 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
kr1	12.3872	0	6.2	70	до - 128.578
Tiz1	102.3067	-600	89.2	900	після - 71.8665
kr2	6.8951	0	3.63	50	оптимізації.
Tiz2	33.2517	-600	40	900	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 215

Рис. 3.8 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральними і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результатів порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_c^{\text{МАКС}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{пш1}}, \text{ c}$	$\Delta T_x^{\text{МАКС}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{пш2}}, \text{ c}$	
до оптимізації	1,24	160,38	1,47	84	128,578
після оптимізації	1,04	118,87	1,36	56,8	71,8665

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

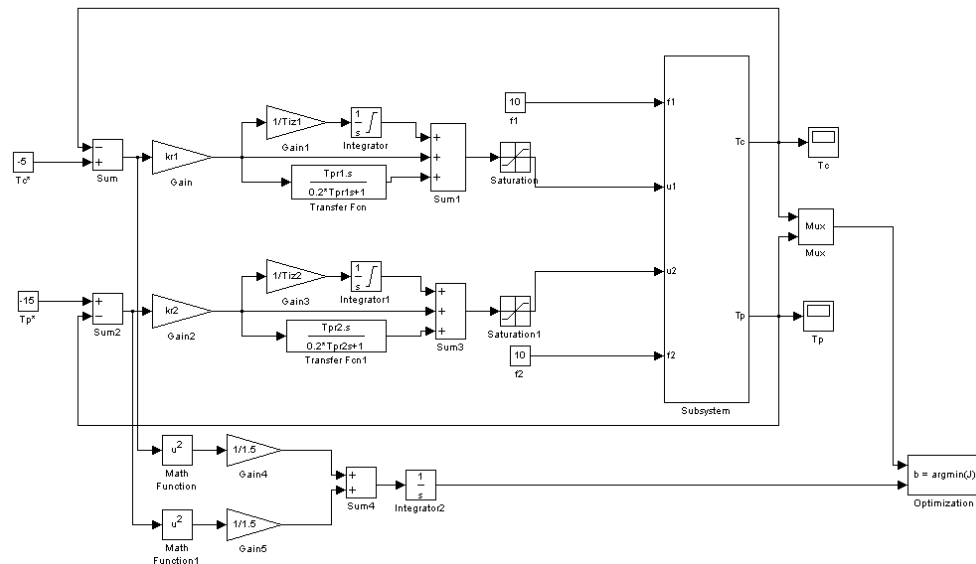
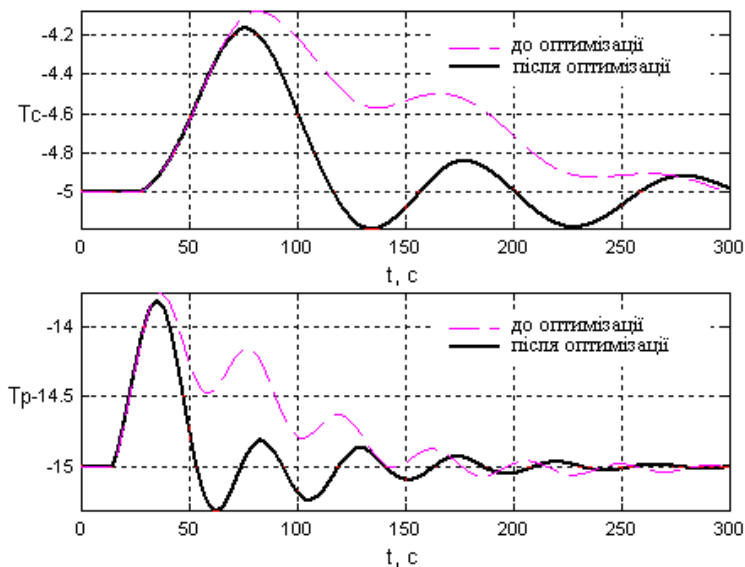


Рис. 3.9 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
kr1	12.7525	0	6.7	70	до - 74.106
Tiz1	44.4842	-600	62.44	900	після - 35.613
Tpr1	22.0118	0	44.6	900	оптимізації.
kr2	7.3953	0	3.96	50	Кількість кроків
Tiz2	16.5809	-600	28	900	процедури оптимізації:
Tpr2	9.0583	0	20	900	максимальна - 1000
					фактична - 456

Рис. 3.10– Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_c^{\text{МАКС}}$, °C	$T_{\text{пп}1}$, с	$\Delta T_x^{\text{МАКС}}$, °C	$T_{\text{пп}2}$, с	
до оптимізації	0,92	169,18	1,24	89,55	74,106
після оптимізації	0,84	96,4	1,19	47,24	35,613

3.2.2 Розробка, реалізація і налагодження імітаційної моделі регуляторів і САР в цілому, включаючи моделі ефективності (критерій оптимізації), вхідних дій і шумів; оцінення результатів моделювання САР при початкових

наближення параметрів регуляторів; проведення машинних експериментів з оптимізації параметрів регуляторів і аналізу його результатів

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемовикористовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.11. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.12, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.13. Результатипорівняння варіантів САР наведені на рис. 3.14і в таблиці 3.5.

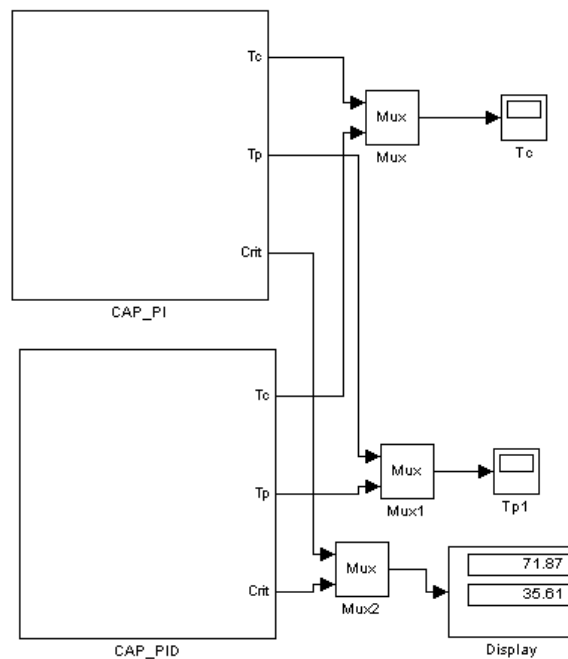


Рис. 3.11 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

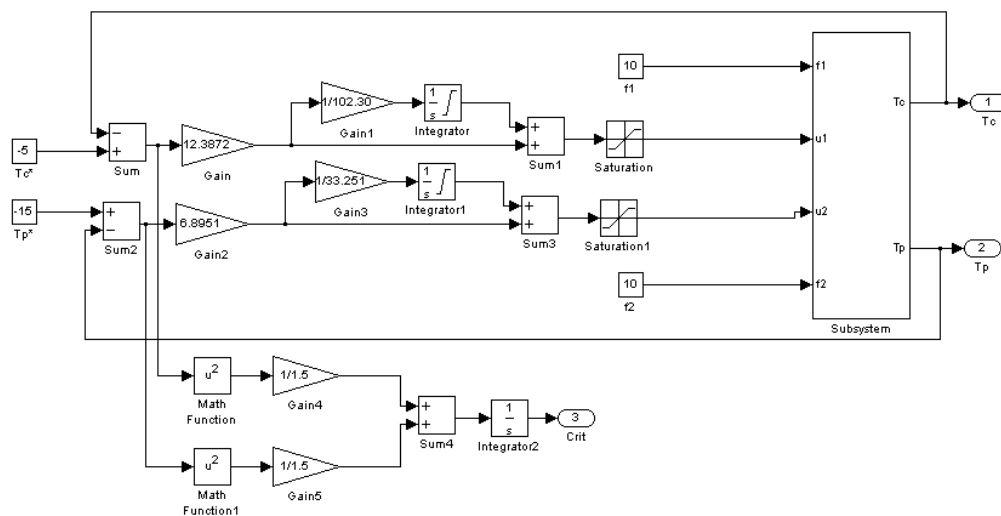


Рис. 3.12 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

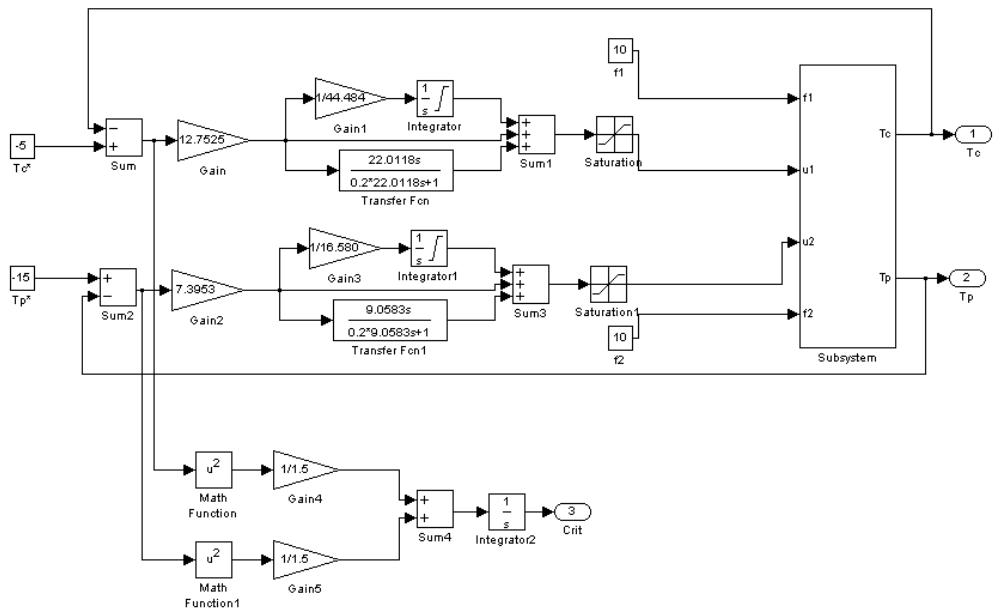


Рис. 3.13 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

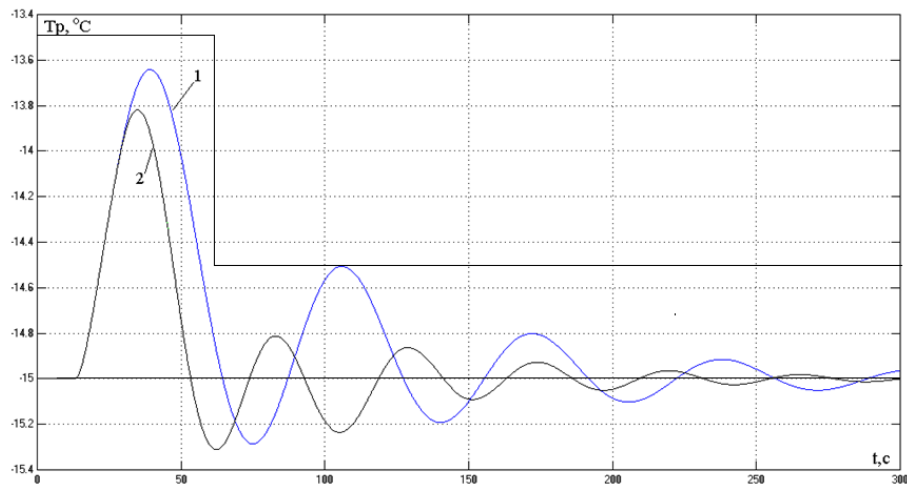
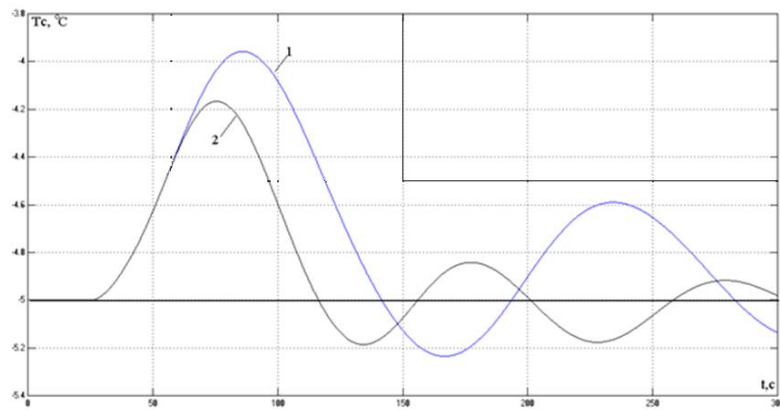


Рис. 3.14 – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Рис. 3.15 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регулятором на грубість

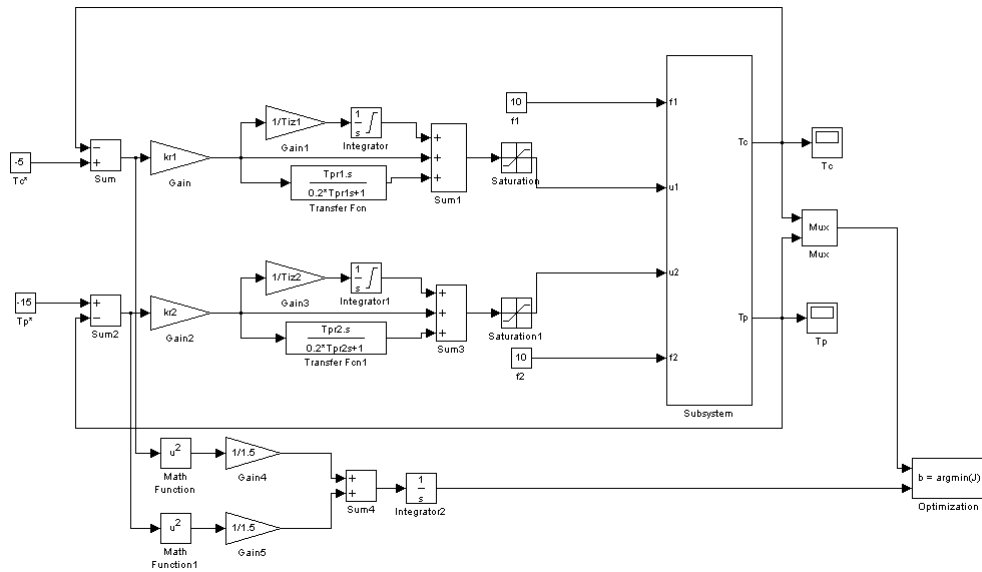


Рис. 3.16 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПД-регулятором на грубість

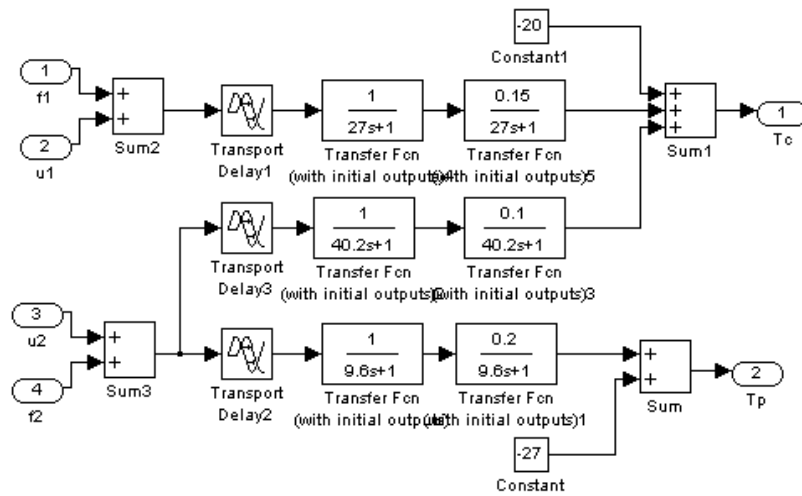


Рис. 3.17 - Структурна схема моделювання ОК для аналізу САР на грубість

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.18, а САР з ПД-регулятором – на рис. 3.19.

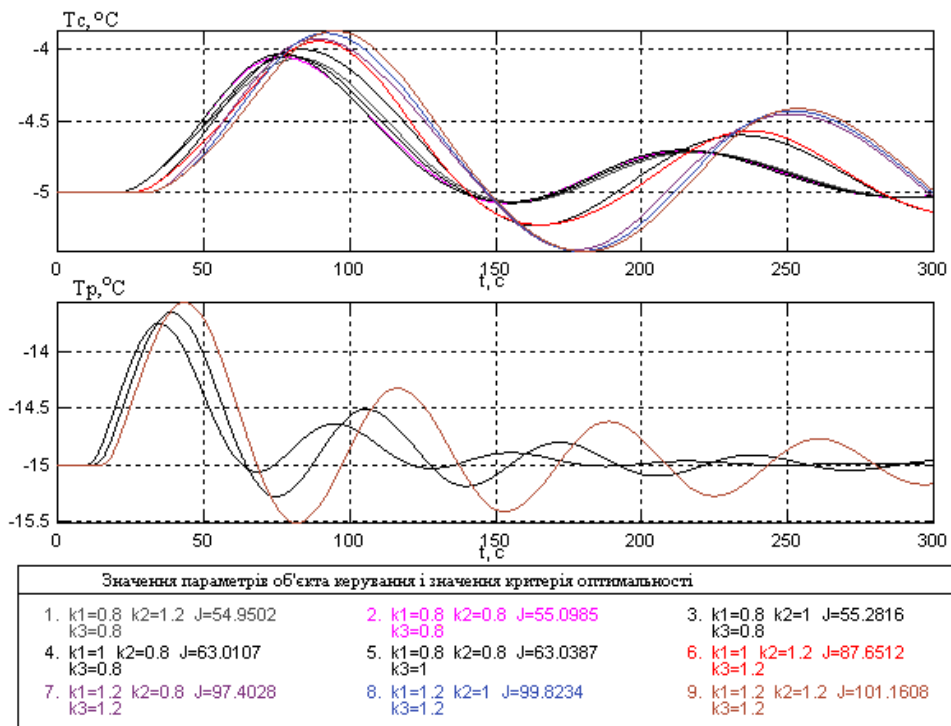


Рис. 3.18 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умовах дії неконтрольованих збурень

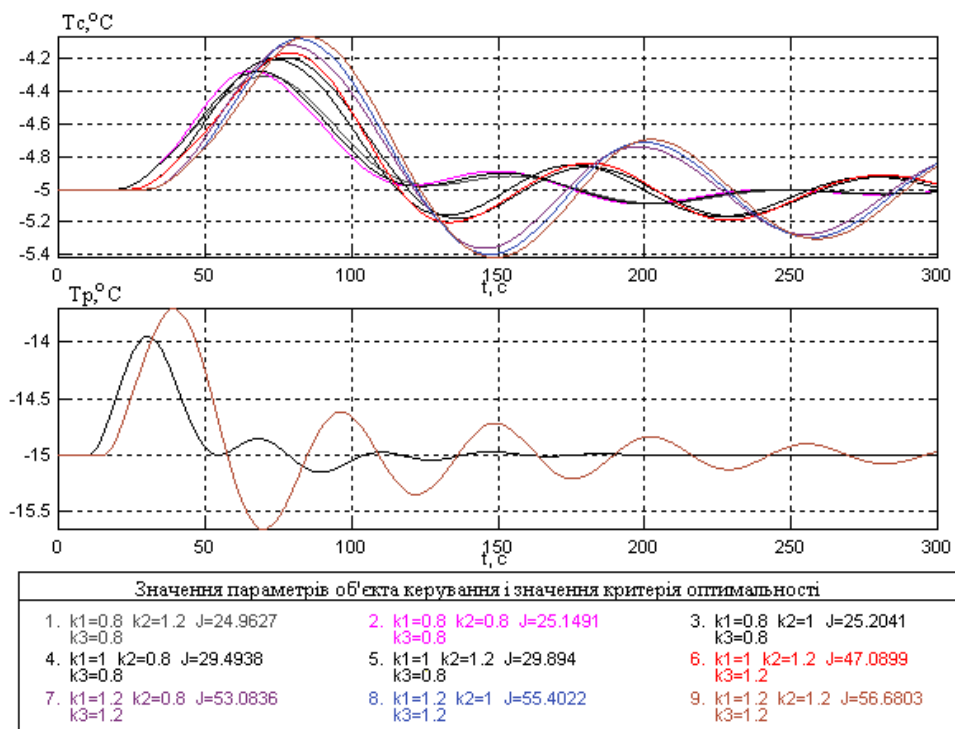


Рис. 3.19 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умовах дії неконтрольованих збурень

Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, «Найсприятливішою» для керування є САР з ПІ-регулятором з часами запізнення в прямих каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень, і в перехресному каналі ОК на 20% більших від номінального. «Найнесприятливішою» для керування є САР з ПІ-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень.

«Найсприятливішою» для керування є САР з ПД-регулятором з часами запізнення в прямих каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень, і в перехресному каналі ОК на 20% більших від номінального. «Найнесприятливішою» для керування є САР з ПД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень.

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. 3.20. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.21 і зведено в таблицю 3.6.

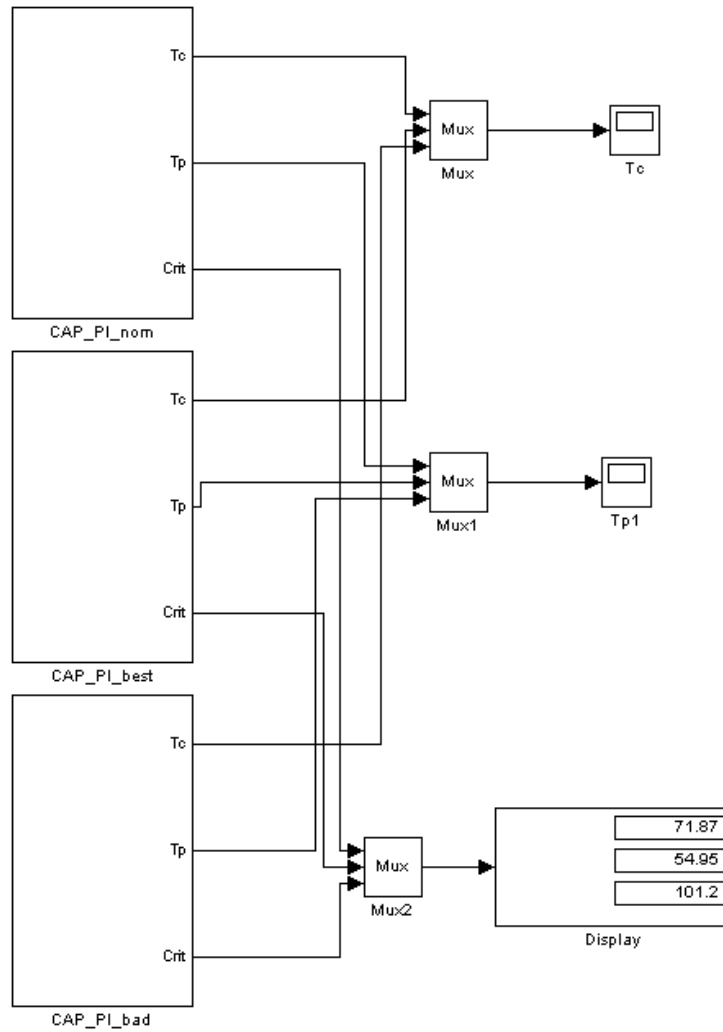
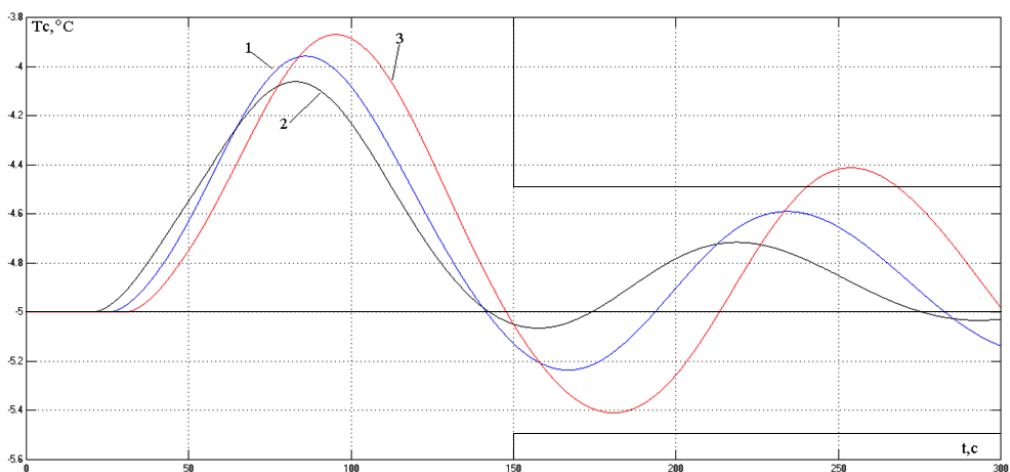


Рис. 3.20 – Схема моделювання САР базової структуриз ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК



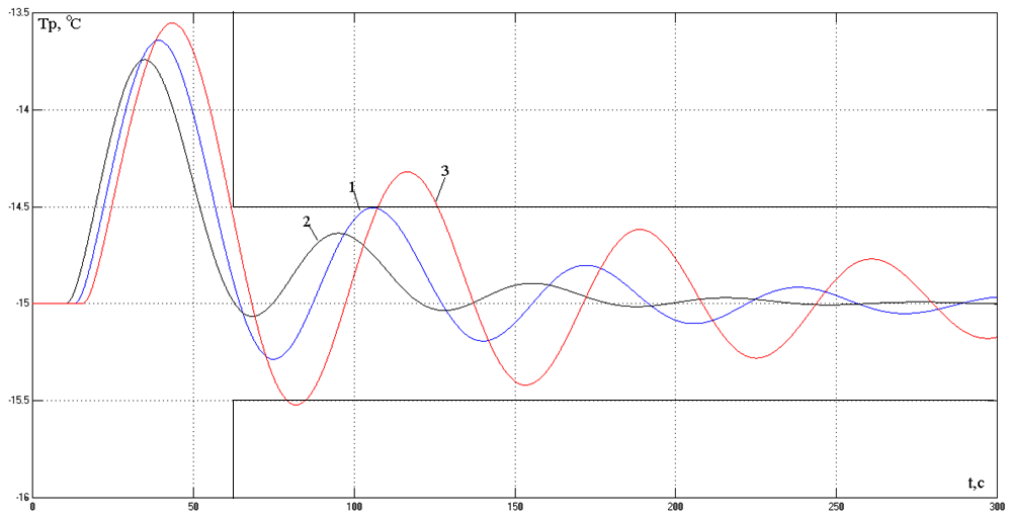


Рис. 3.21 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.6 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором

Варіант САР (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_c^{МАКС}$, °C	$T_{пп1}$, с	$\Delta T_x^{МАКС}$, °C	$T_{пп2}$, с	
номінальні	1,04	118,87	1,36	56,8	71,87
«найсприятливіші»	0,94	112,85	1,26	51,98	54,95
«найнесприятливіші»	1,13	129	1,45	125,96	101,2

Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.22. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.23 і зведено в таблицю 3.7.

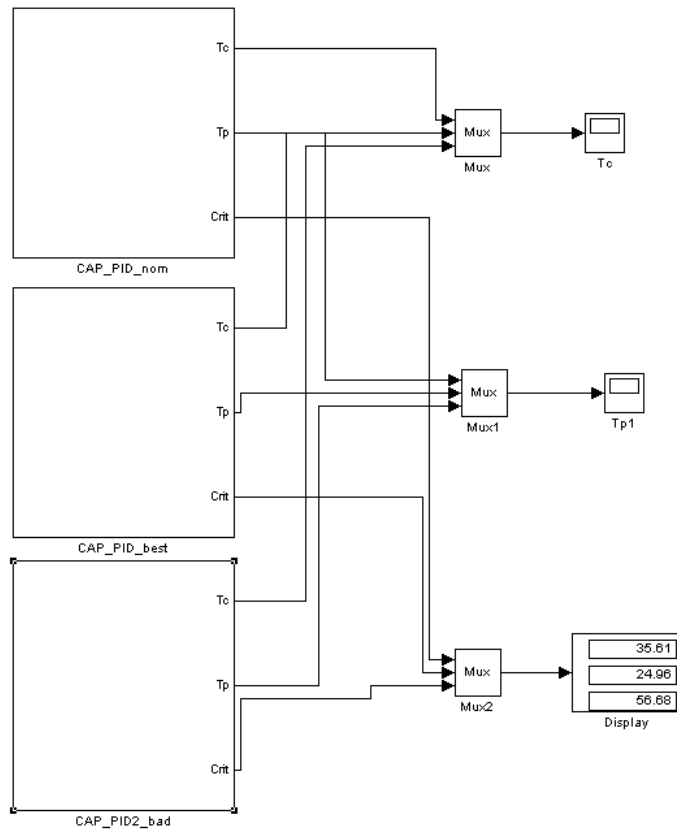
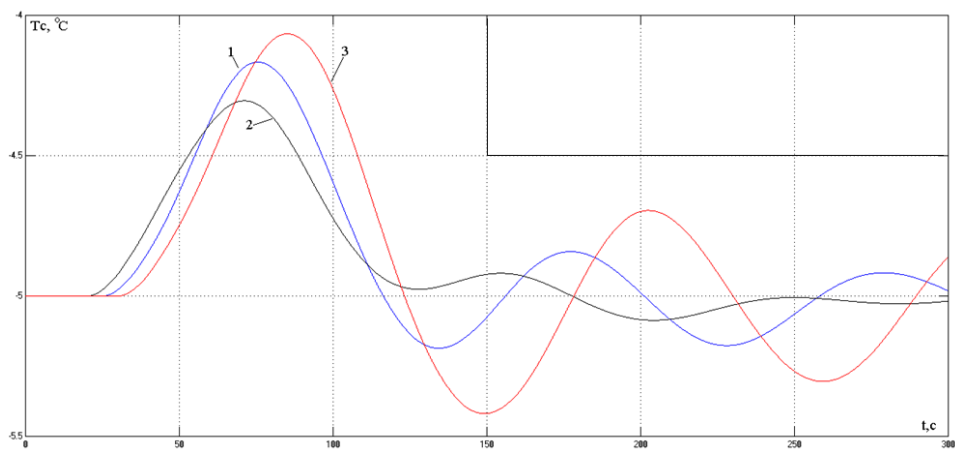


Рис. 3.22 – Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК



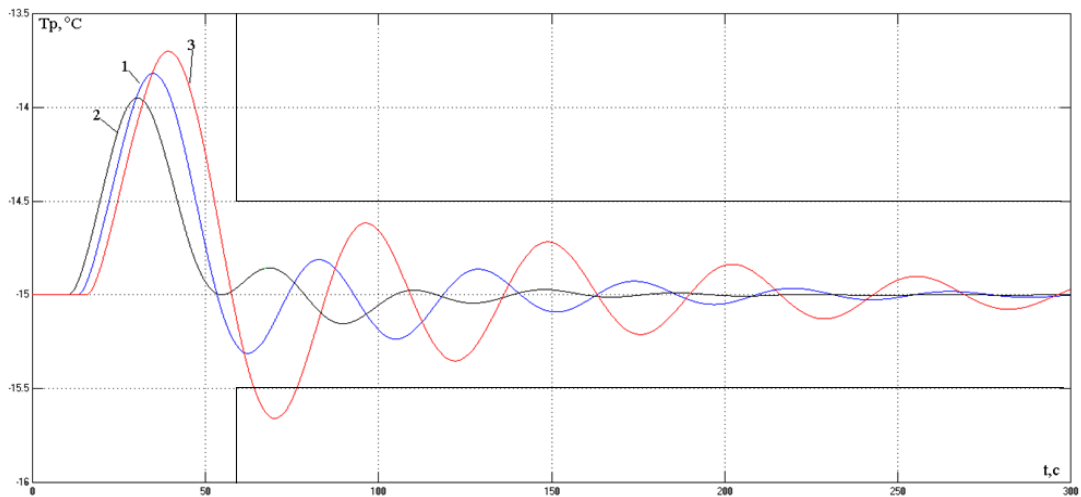


Рис. 3.23 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.7 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором

Варіант САР (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_c^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{c}$	$\Delta T_r^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп2}}, \text{c}$	
номінальні	0,84	96,4	1,19	47,24	35,61
«насприятливіші»	0,7	88,58	1,06	41,89	24,96
«найнесприятливіші»	1	107,96	1,3	52,6	56,68

Для оцінки САР на грубість усталому режимі будемо використовувати схеми моделювання, наведені на рис. 3.24 - 3.25. Результати моделювання САР з ПІ-регулятором наведені на рис. 3.26, а з ПІД-регулятором - на рис. 3.27.

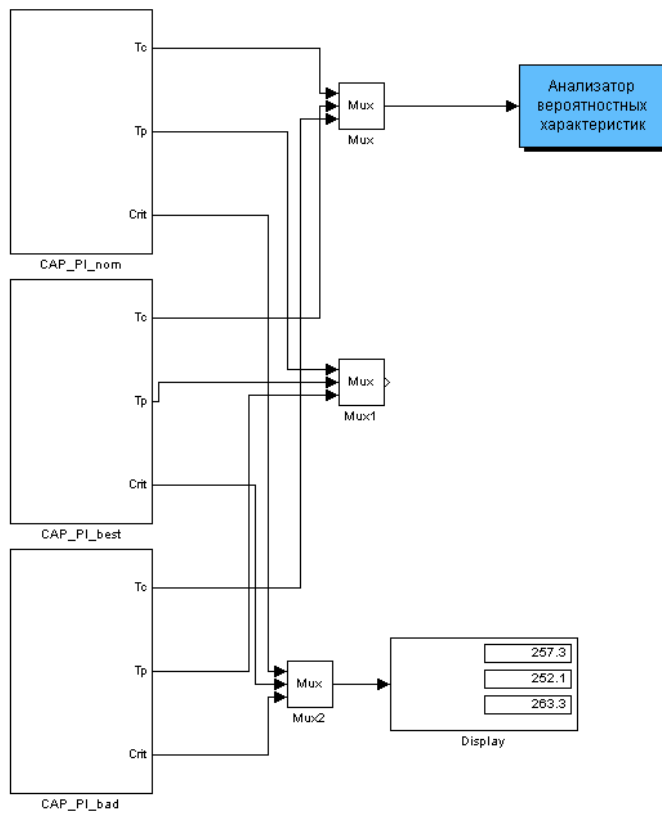
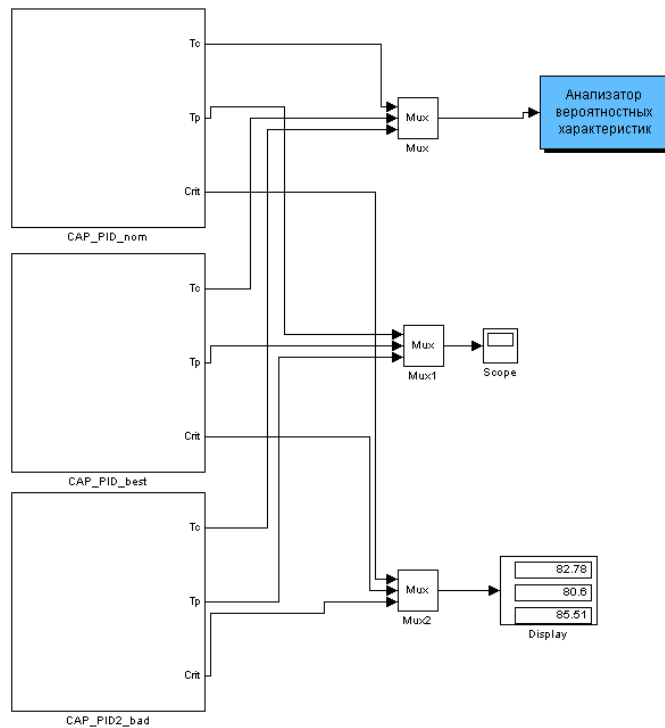


Рис. 3.24 - Структурна схема моделювання CAP з ПІ-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах



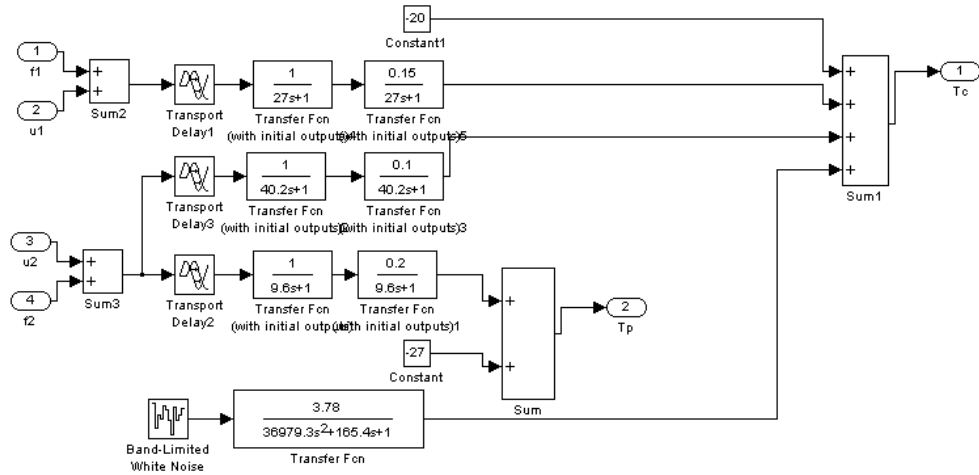
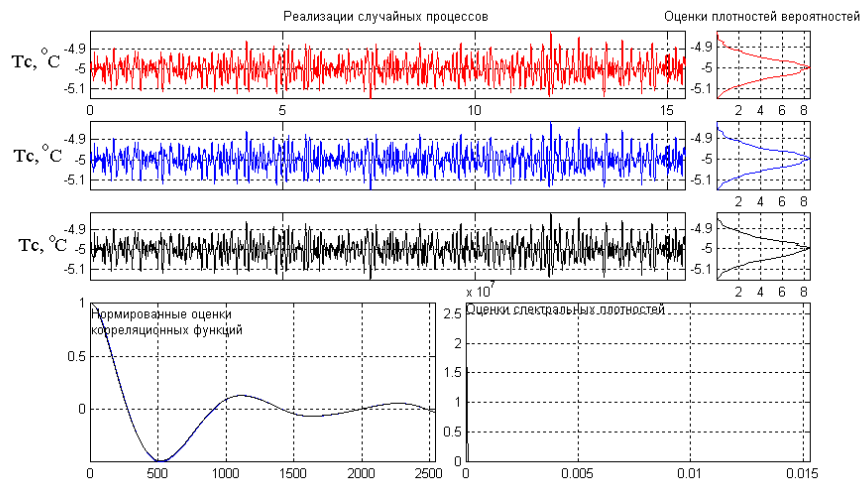


Рис. 3.25 - Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.05	0.049	0.051
Оценка среднеквадратического периода / частоты	829.0 / 0.0076	847.1 / 0.0074	820.2 / 0.0077

Дата проведения эксперимента 11-Нов-2023 7 47

Рис. 3.26 – Результатимоделювання САР з ПІ-регулятором

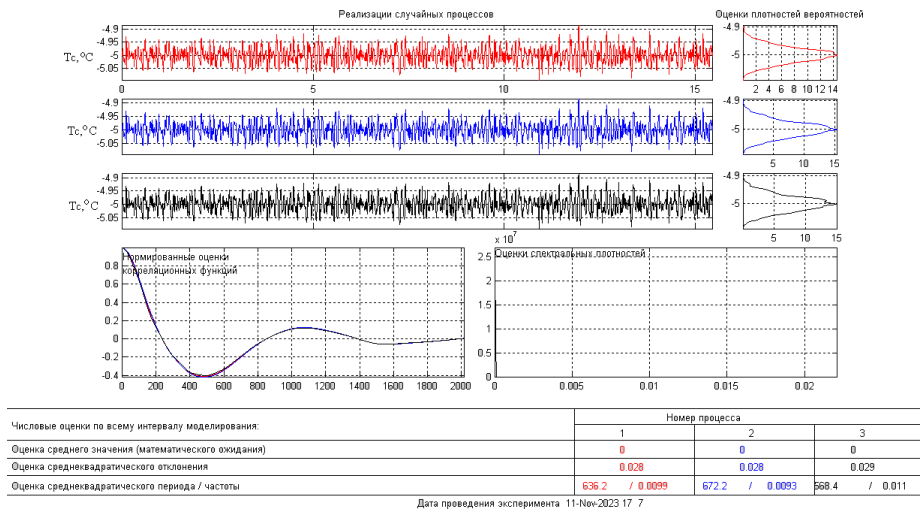


Рис. 3.27 – Результати моделювання САР з ПД-регулятором

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним періодом та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САР на грубість з ПІ-регулятором зведено в таблицю 3.8, а САР з ПД-регулятором - в таблицю 3.9.

Таблиця 3.8 – Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	0	0	0
Середньоквадратичне відхилення	0,05	0,049	0,051
Середньоквадратичний період	829	847,1	820,2
Інтегральний критерій	0,0076	0,0074	0,0077

Таблиця 3.9 – Результати оцінки САР з ПД-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»

Математичне очікування	0	0	0
Середньоквадратичне відхилення	0,028	0,028	0,029
Середньоквадратичний період	636,2	672,2	668,4
Інтегральний критерій	0,0099	0,0093	0,011

САР з ПІ-регулятором не відповідає гранично припустимим вимогам по T_c , T_x за максимальним динамічним відхиленням, а також за часом перехідного процесу.

САР з ПІД-регулятором по T_c та T_x не відповідає гранично припустимим вимогам за максимальним припустимим відхиленням, а також за часом перехідного процесу.

Після проведення процедури оптимізації параметрів Для ПІ-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} збільшився на 99,84 %, час ізодрому T_{I31} збільшився на 14,69%, коефіцієнт передачі K_{P2} збільшився на 89,8%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 16,87%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_c^{МАКС}$ зменшилося на 16,13%, час перехідного процесу за T_c зменшився на 25,88%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_x^{МАКС}$ зменшилося на 7,48%, час перехідного процесу за T_x зменшився на 32,38%, інтегральний показник якості зменшився на 44,1%. Для ПІД-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} збільшився на 90,3 %, час ізодрому T_{I31} зменшився на 28,76%, $T_{х1}$ зменшився на 50,65%, коефіцієнт передачі K_{P2} збільшився на 86,87%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 40,79%, $T_{х2}$ зменшився на 54,7%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_c^{МАКС}$ зменшилося на 8,7%, час перехідного процесу за T_c зменшився на 43,02%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_x^{МАКС}$ зменшилося на 4,03%, час перехідного процесу за T_x зменшився на 47,25%, інтегральний показник якості зменшився на 51,94%.

Оскільки САР з налаштуваннями регуляторів за інженерними методиками дають перехідні процеси, що сходяться, то їх можна використовувати на практиці за умови не занадто жорстких гранично

припустимих вимог. Але такі САР потребують оптимального параметричного синтезу.

В результаті введення до регулятора Д-складової САР за Тх почала відповідати гранично припустимим вимогам. Максимальне динамічне відхилення $\Delta T_c^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 19,23%; час перехідного процесу за Тс зменшився на 18,9%; Максимальне динамічне відхилення $\Delta T_x^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 12,5%; час перехідного процесу за Тх зменшився на 16,83%, інтегральний показник якості зменшився на 50,45%.

САР з ПІ- та ПІД-регуляторами є грубими, тому що в умовах 20%-ї варіації параметрів ОК ці САР дають перехідні процеси, що сходяться.

Для САР з ПІ-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_c^{\text{МАКС}}$ складає 16,81%; за часом перехідного процесу (Тс) 12,52%, за максимальним динамічним відхиленням для $\Delta T_x^{\text{МАКС}}$ складає 13,1%; за часом перехідного процесу (Тх) 58,73%, за критерієм 45,7%.

Для САР з ПІД-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_c^{\text{МАКС}}$ складає 30%; за часом перехідного процесу (Тс) 17,95%, за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_x^{\text{МАКС}}$ складає 18,46%; за часом перехідного процесу (Тх) 20,36%, за критерієм 55,96%.

Оскільки за більшістю показників різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» умовами керування для САР з ПІ-регуляторами є меншою, то САР з ПІ-регуляторами є «грубішою», а САР з ПІД-регуляторами – «чутливішою».

З усього вище сказаного можна зробити висновок, що за більшістю показників якості САР з ПІД-регулятором є кращою, ніж САР з ПІ-регулятором. Тому в подальших дослідженнях в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПІД-регулятор.

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

3.3.1 Аналіз особливості об'єкта регулювання, які знижують динамічну точність САР, і вибір шляхів її підвищення, пов'язані з доданням САР спеціальних властивостей, наприклад, інваріантності, автономності, компенсації запізнення й ін.; розробка структури САР, що забезпечує необхідні властивості, і формує умови, при яких, для отриманої структури САР, ці властивості будуть реалізовані; виведення додаткових (коригуючих) зв'язків, введених у базову структуру САР; аналіз фізичної реалізованості цих передатних функцій і їх типу, прийняття рішення про збереження чи зміну їх типу і про спрощення

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення t_0 / T_0 , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР). У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є шкідливий вплив перехресних зв'язків в об'єкті. Основним шляхом підвищення динамічної точності саме розглянутої САР є побудова САР, автономної до дії неконтрольованого збурення.

В основу підвищення динамічної точності САР буде покладено принцип двоканальний Петрова, суть якого у введенні додаткового каналу впливу " $u_2 - T_c$ " через коригуючий зв'язок. Відповідно до принципу інваріантності Петрова структурна схема САР, раціональна САР підвищеної динамічної точності матиме вигляд, наведений на рис. 3.28.

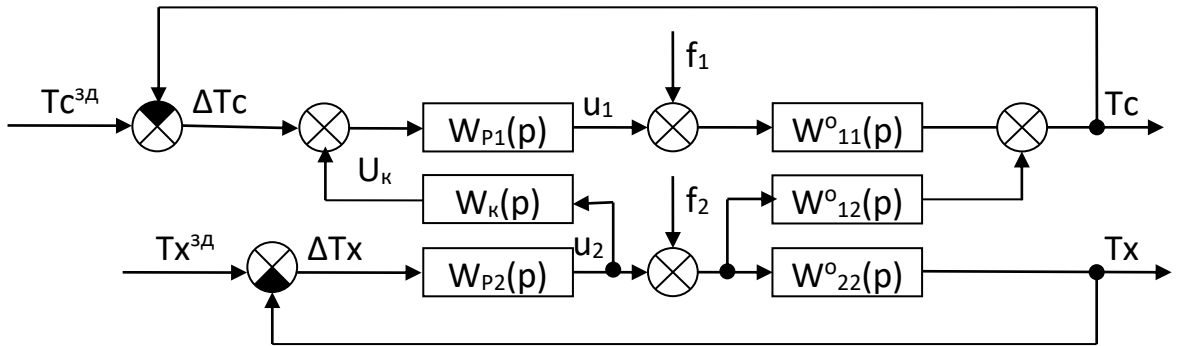


Рис. 3.28 – структурна схема раціональної САР підвищеної динамічної точності

На схемі:

$T_c^{зд}$ та $T_x^{зд}$ – задані значення регульованих координат, °С;

T_c та T_x – поточні значення регульованих координат, °С;

U_k – керуюча дія коригуючого зв'язку, %х.р.о.;

ΔT_c та ΔT_x – помилки регулювання, °С;

u_1 та u_2 – керуючі дії, %х.р.о.;

f_1 та f_2 – неконтрольовані збурення;

$W_{P1}(p)$ та $W_{P2}(p)$ – передаточні функції регуляторів.

Необхідною умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу, а для розглянутої САР така можливість є. Достатньою умовою реалізації САР є фізична реалізація передаточної функції коригуючого зв'язку.

Знайдемо передаточну функцію коригуючого зв'язку $W_K(p)$, що забезпечує автономність контуру регулювання T_c відносно контуру регулювання T_x . В якості вхідного параметра системи регулювання приймемо керуючу дію u_2 .

Запишемо рівняння, яке буде відповідати умові автономності:

$$T' + T'' = T_c = 0$$

$$T' = u_2 \cdot W_{12}^0(p); \quad T'' = u_2 \cdot W_K(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^0(p)$$

Для забезпечення автономності при запису передаточної функції системи за означеним каналом замкненими контурами САР можна знехтувати. З урахуванням цього запишемо передаточну функцію системи регулювання:

$$u_2 \cdot W_{12}^O(p) + u_2 \cdot W_K(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p) = 0$$

Звідси передаточна функція коригуючого зв'язку:

$$W_K(p) = -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p)}$$

Розглянемо випадок, коли канал ОК має як статичні, так і астатичні властивості:

$$W_{12}^O(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-70,1p}}{56,6p+1}; W_{11}^O(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-44,6p}}{37,8p+1};$$

В якості регуляторів розглядатимемо ПІД-регулятор, його передаточна функція матиме вигляд:

$$\begin{aligned} W_{P1}(p) &= 12,75 \cdot \left(1 + \frac{1}{44,48p} + 22p\right) \\ &= 12,75 \cdot \frac{44,48 \cdot 22 \cdot p^2 + 44,48p + 1}{44,48p} = 12,75 \cdot \frac{978,56p^2 + 44,48p + 1}{44,48p} \end{aligned}$$

Проведемо підстановку, отримаємо передаточну функцію коригуючого зв'язку $W_K(p)$:

$$\begin{aligned} W_K(p) &= -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p)} = -\frac{\frac{0,1 \cdot e^{-70,1p}}{56,6p+1}}{12,75 \cdot \frac{978,56p^2 + 44,48p + 1}{44,48p} \cdot \frac{0,15 \cdot e^{-44,6p}}{37,8p+1}} \\ &= -\frac{0,1}{12,75 \cdot 0,15} \cdot \frac{e^{-70,1p}}{e^{-44,6p}} \cdot \frac{44,48p \cdot (37,8p + 1)}{(56,6p + 1) \cdot (978,56p^2 + 44,48p + 1)} \\ &= 0,05 \cdot e^{-70,1p - (-44,6p)} \cdot \frac{44,48p \cdot (37,8p + 1)}{(56,6p + 1) \cdot (978,56p^2 + 44,48p + 1)} \end{aligned}$$

Тепер отримаємо передаточну функцію коригуючого зв'язку $W_K(p)$:

$$W_K(p) = 0,05 \cdot e^{-25,5p} \cdot \frac{44,48p \cdot (37,8p + 1)}{(56,6p + 1) \cdot (978,56p^2 + 44,48p + 1)}$$

Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.29, а її перехідна характеристика – на рис. 3.30.

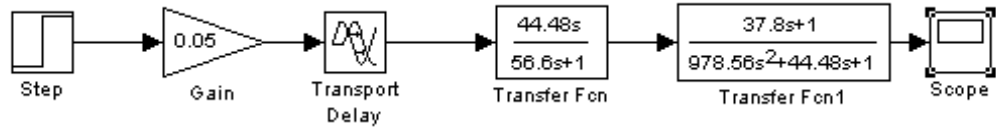


Рис. 3.29 – Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку

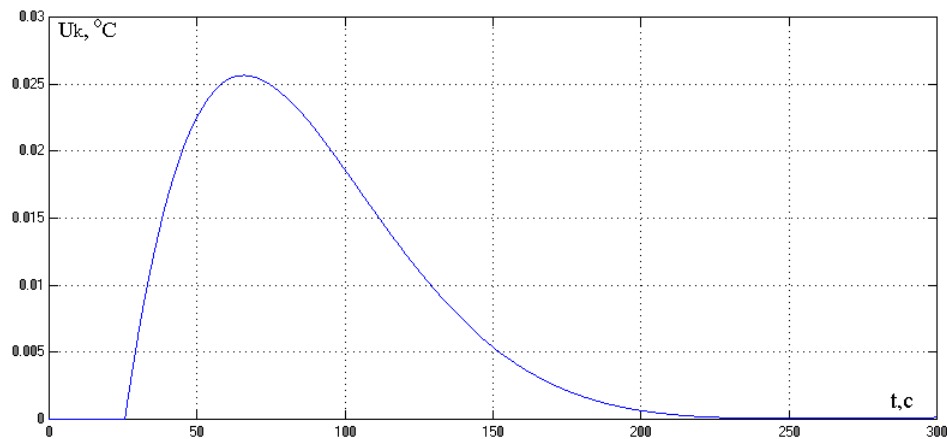


Рис. 3.30 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Отримана передаточна функція коригуючого зв'язку представлена занадто складною передаточною функцією, тому її доцільно спростити при збереженні її диференціюючих властивостей. Спрощена передаточна функція коригуючого зв'язку матиме вигляд:

$$W_K(p) = 0,05 \cdot e^{-25,5p} \cdot \frac{44,48p \cdot (37,8p + 1)}{(56,6p + 1) \cdot (978,56p^2 + 44,48p + 1)}$$

$$W_K(p) = K_K \cdot e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{(T_{K2}p + 1)^2} = K_K \cdot e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{T_{K2}p + 1} \cdot \frac{1}{T_{K2}p + 1}$$

В якості початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку прийемо такі значення параметрів: $K_K = 0,05$; $T_{K1} = 25,5$; $T_{K2} = 44,48$. Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку скористаємося схемою моделювання, наведеної на рис. 3.31. Результати

розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.32, а результати моделювання – на рис. 3.33.

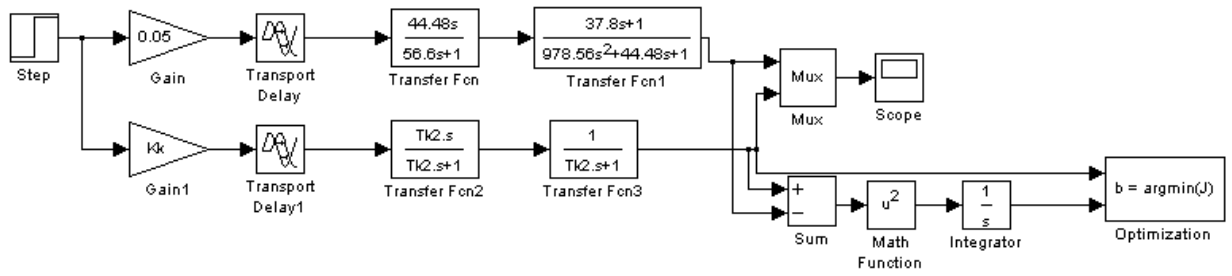
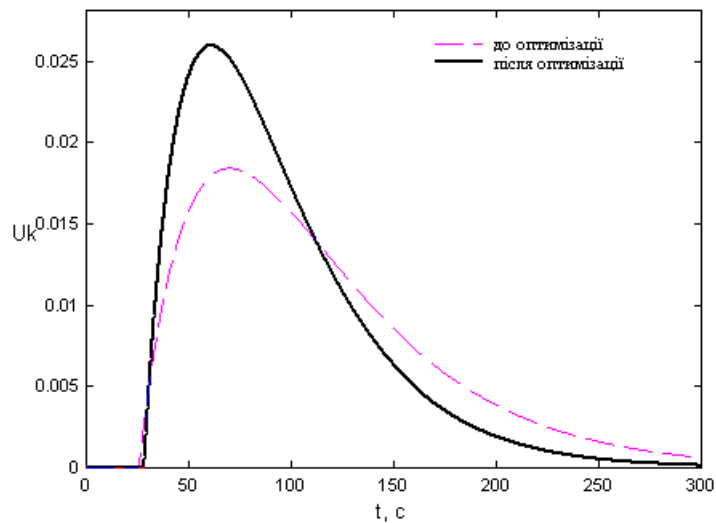


Рис. 3.31 – Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	0.070515	0	0.05	10	до - 0.0035168
Tk1	28.1729	0	25.5	30	після - 0.00028329
Tk2	32.6628	1	44.48	200	оптимізації.
					Кількість кроків
					процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 93

Рис. 3.32 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку

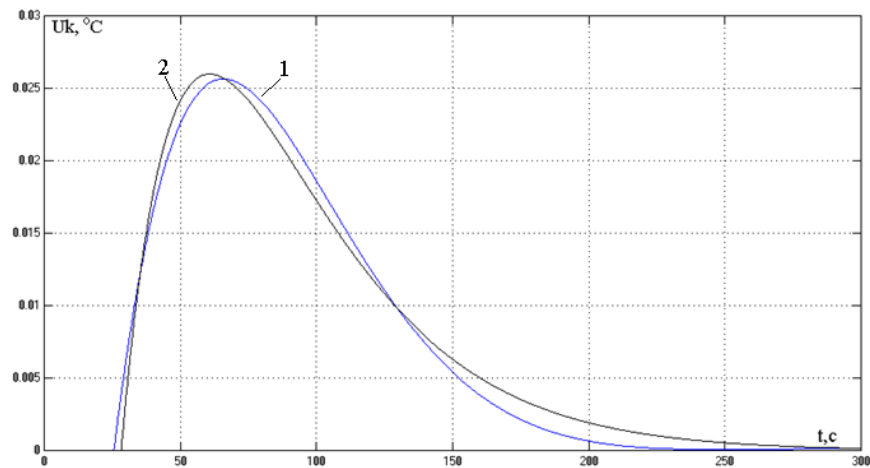


Рис. 3.33 – Перехідні характеристики розрахункового 2, та спрощеного 1 коригуючого зв'язку.

3.3.2 Розробка, реалізація і налагодження імітаційної моделі коригуючих зв'язків і САР в цілому; оцінення результатів моделювання САР при оптимальних для базової САР параметрах регуляторів і початкових наближень параметрів коригуючих зв'язків; проведення машинних експериментів з оптимізації обраних параметрів, і аналіз його результатів

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку приведена на рис. 3.34, а результати оптимізації - на рис. 3.35.

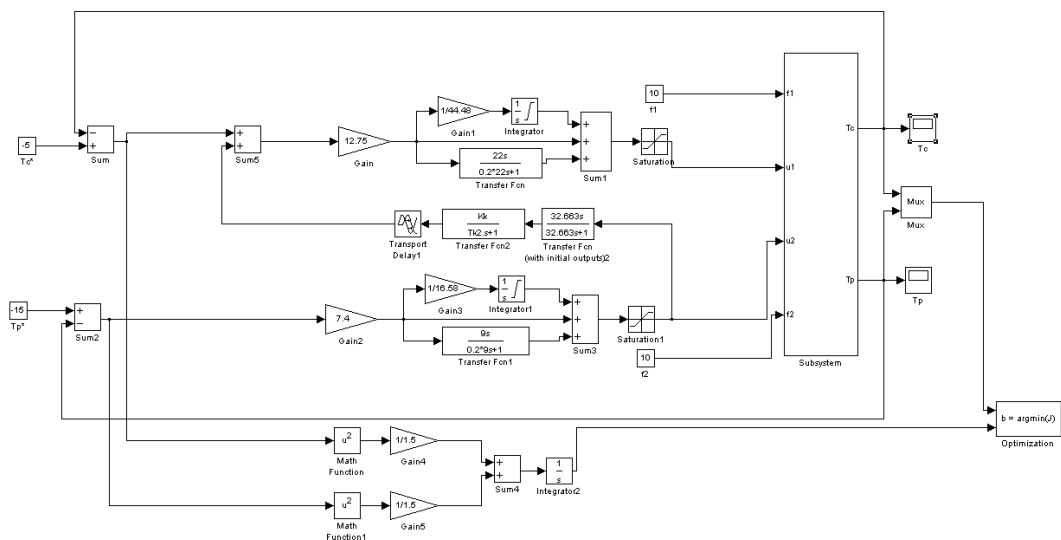
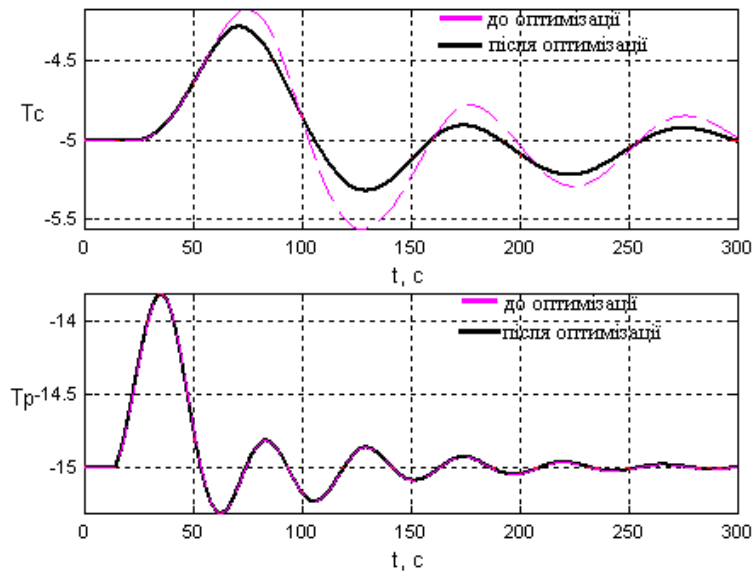


Рис. 3.34 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	0.044032	0	0.0705154	10	до - 40.3779
Tk1	4.2012	-200	28.1729	30	після - 31.5029
Tk2	48.7733	1	32.6628	200	оптимізації
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 38

Рис. 3.35 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку

3.3.3 Проведення машинних експериментів та перевірки САР на грубість; аналіз результатів експериментів і прийняття рішення про доцільність повторної оптимізації параметрів для несприятливих сполучень параметрів об'єкта; визначення значення і діапазонів зміни прямих показників якості і критерію оптимальності, а за сталими процесами – оцінки імовірнісних характеристик якості; визначення відповідності отриманих характеристик регламентним зонам. Висновок про досягнутий ступінь підвищення якості в САР з підвищеною динамічною точністю в порівнянні з базовою і відповідності отриманих характеристик регламентним зонам

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

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведено на рис. 3.36. Як видно з результатів

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

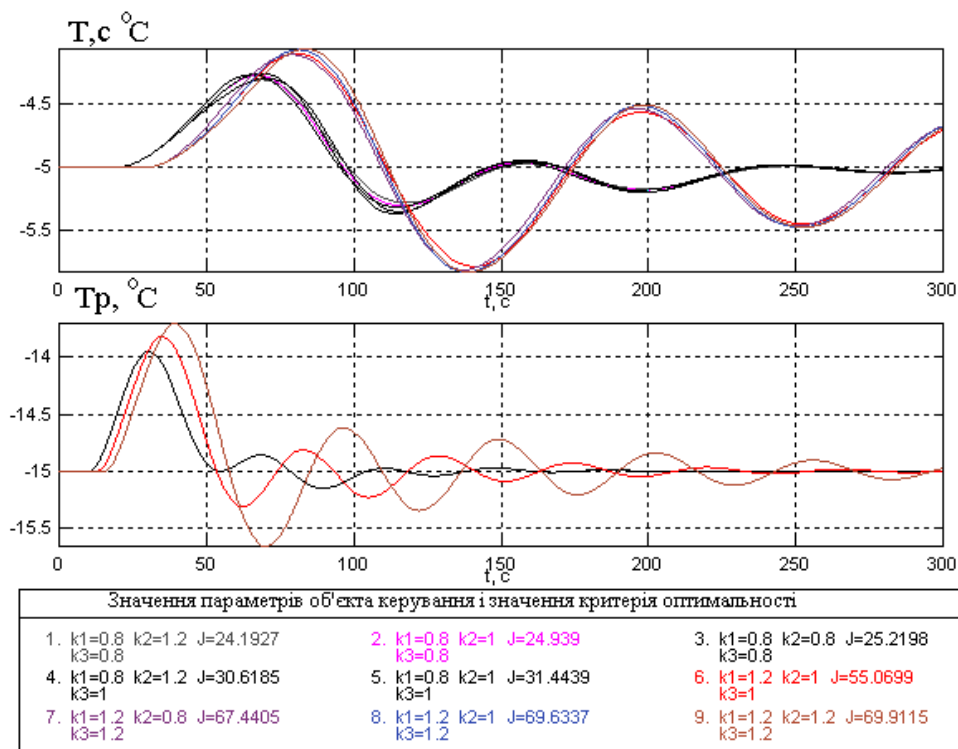


Рис. 3.36 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, найбільш «найсприятливішою» для керування є САР підвищеної динамічної точності з ПД-регуляторами з часами запізнення в прямих каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень, і в перехресному каналі ОК на 20% більших від номінального. «Найнесприятливішою» для керування є САР підвищеної динамічної точності з ПД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК, "сприятливими" і "несприятливими" для керування наведена на рис. 3.37. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.38 і зведені в таблицю 3.10.

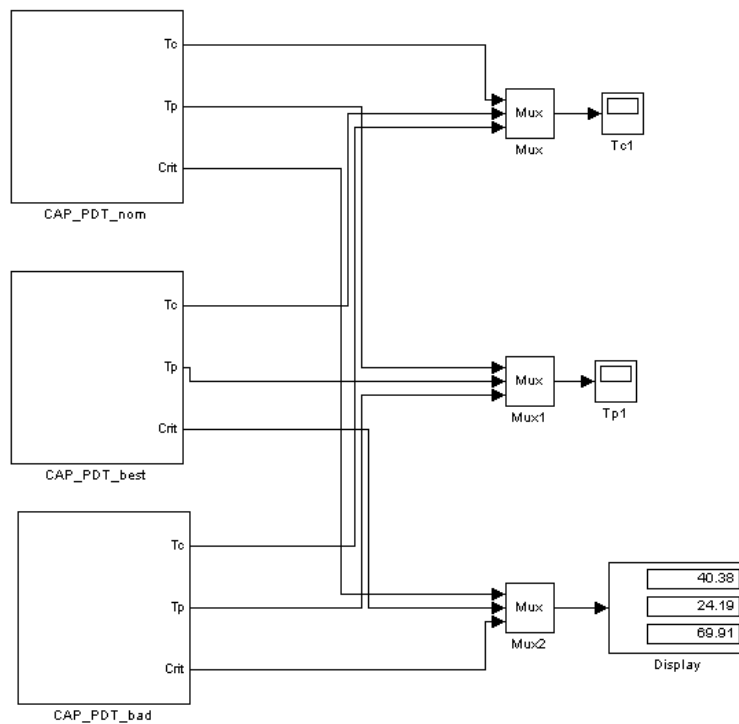


Рис. 3.37 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК.

Таблиця 3.10 – Результати порівняння варіантів САР підвищеної динамічної точності.

Варіант САР (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_c^{\text{МАКС}}$, °C	$T_{\text{ПП1}}$, с	$\Delta T_x^{\text{МАКС}}$, °C	$T_{\text{ПП2}}$, с	
номінальні	0,9	91	1,19	47,26	40,38
«найсприятливіші »	0,69	82	1,06	41,92	24,19
«найнесприятливі ші»	0,93	101	1,3	52,6	69,91

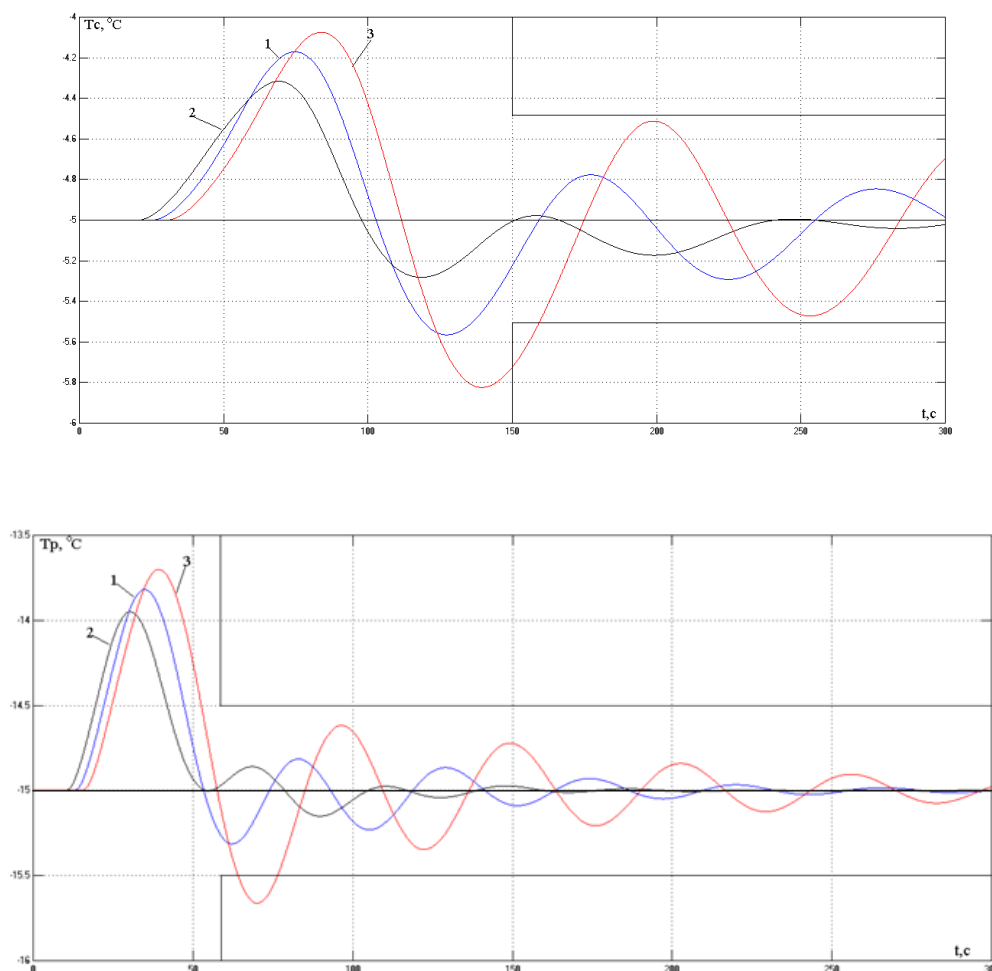


Рис. 3.38 – Перехідні характеристики САР підвищеної динамічної точності при 1- номінальних параметрах ОК, 2- при параметрах ОК, «найсприятливіших» та 3- «найнесприятливіших» для керування.

Як видно з результатів аналізу САР на grubість, САР підвищеної динамічної точності є grubою, тому що при будь-яких поєднаннях параметрів ОУ дає перехідні процеси, що сходяться і які, до того ж, не виходять за рамки зони незначних відхилень.

Для оцінки САР на grubість в сталому режимі будемо використовувати схему моделювання, наведену на рис. 3.39. Результати моделювання наведені на рис. 3.40 і в таблиці 3.11.

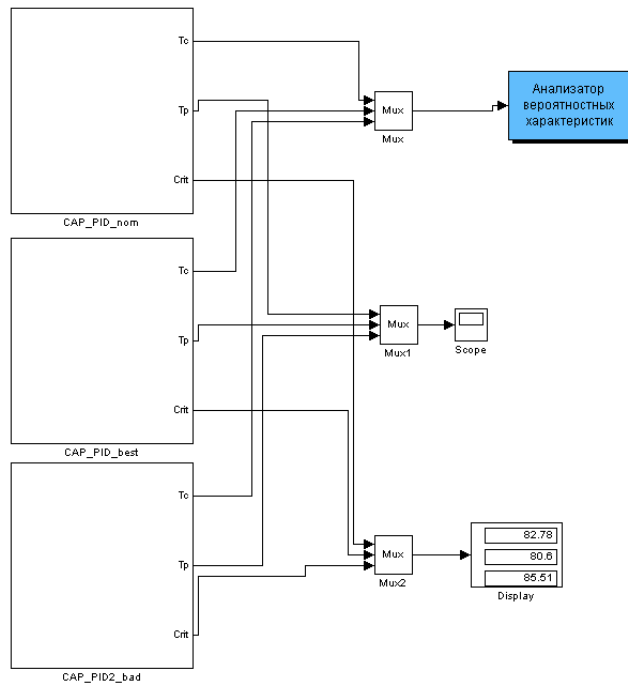


Рис. 3.39 – Схема моделювання CAP підвищеної динамічної точності для оцінки на грубість в сталих режимах

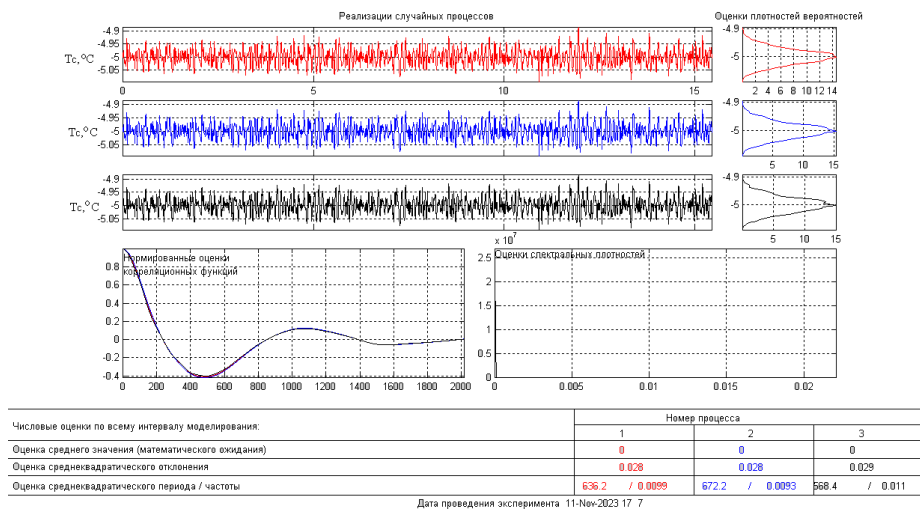


Рис. 3.40 - Результати оцінки CAP підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах.

Таблиця 3.11 – Результати оцінки CAP підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	0	0	0
Середньоквадратичне відхилення	0,05	0,049	0,051

Середньоквадратичний період	829	847,1	820,2
Інтегральний критерій	0,0076	0,0074	0,0077

Для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.41. Результати порівняння наведені на рис. 3.42 і в таблиці 3.12.

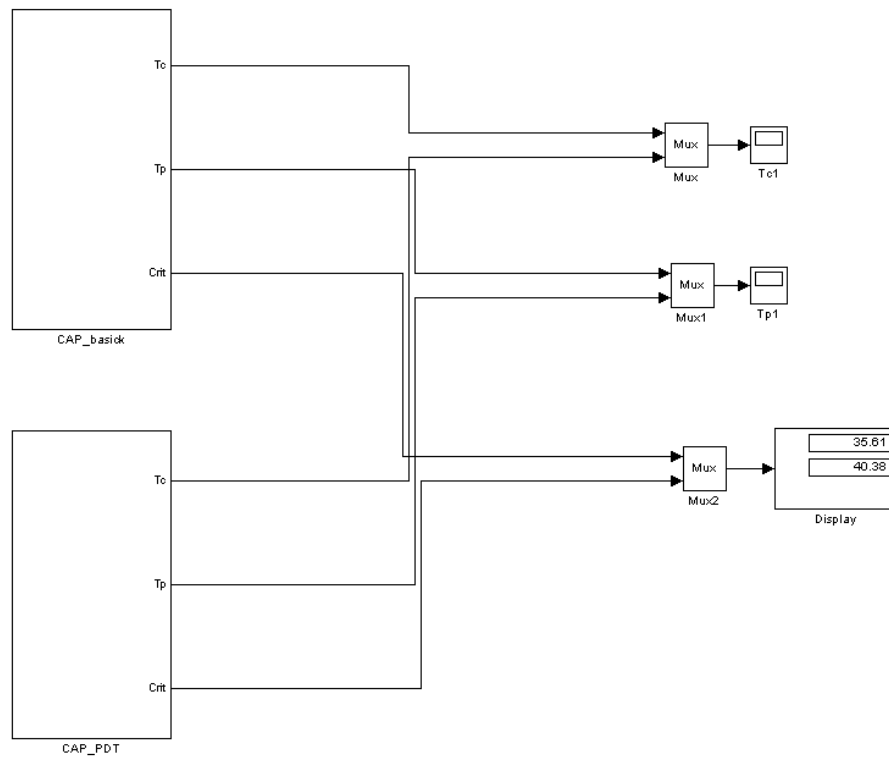
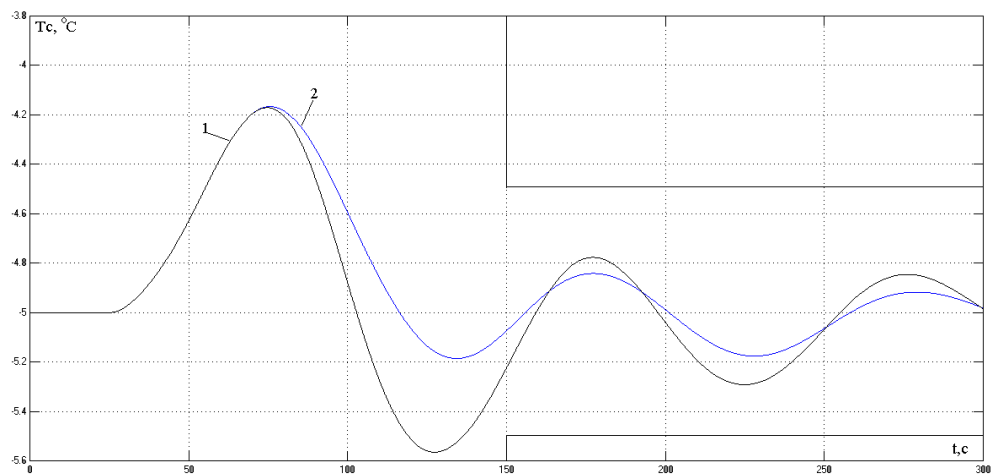


Рис. 3.41 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності.



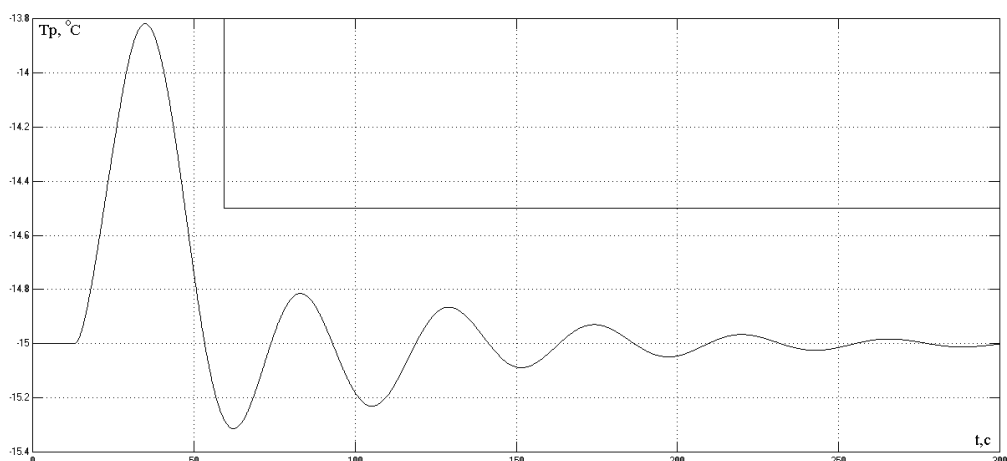


Рис. 3.42 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури (1) і САР підвищеної динамічної точності (2).

Таблиця 3.12 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності.

Варіант САР (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_c^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пп1}}$, с	$\Delta T_p^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пп2}}$, с	
базова	0,84	96,4	1,19	47,26	35,61
Підвищеної динамічної точності	0,83	91	1,19	47,26	40,38

Для порівняння якості роботи в сталих режимах САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.43. Результати порівняння наведені на рис. 3.44 і в таблиці 3.13.

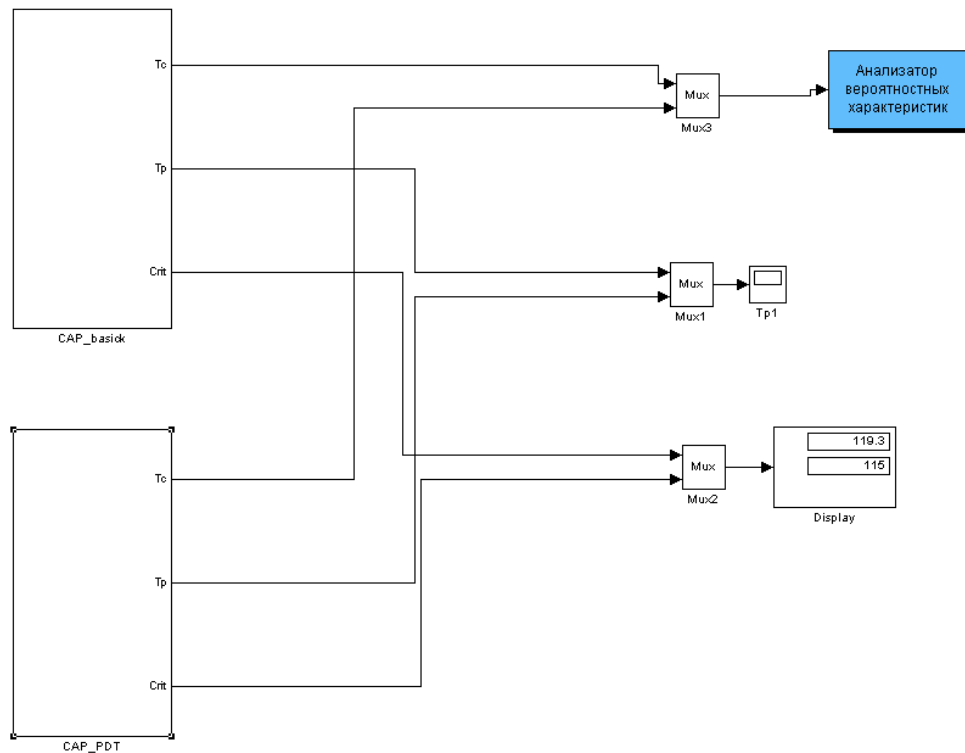
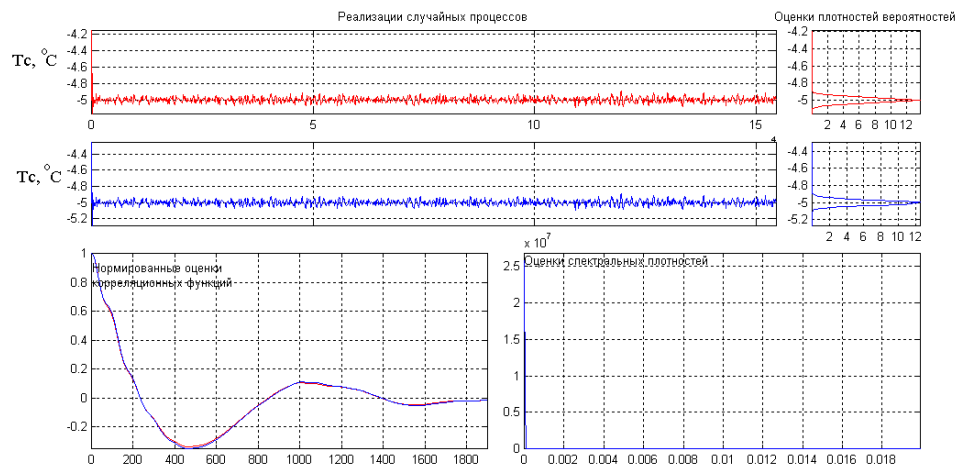


Рис. 3.43 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи в сталих режимах CAP базової структури і CAP підвищеної динамічної точності.



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса	
	1	2
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.031	0.031
Оценка среднеквадратического периода / частоты	633.6 / 0.0099	631.0 / 0.01

Рис. 3.44 – Результати порівняння якості роботи в сталих режимах CAP базової структури і CAP підвищеної динамічної точності.

Таблиця 3.13 – Результати порівняння якості роботи в сталих режимах CAP базової структури і CAP підвищеної динамічної точності.

Показники якості	Варіант САР	
	Базової структури	Підвищеної динамічної точності
Математичне очікування	0	0
Середньоквадратичне відхилення	0,031	0,031
Середньоквадратичний період	633,6	631
Частота	0,0099	0,01
Інтегральний критерій	119,3	115

САР підвищеної динамічної точності задовольняє гранично припустимим вимогам.

САР підвищеної динамічної точності з ПД-регуляторами є грубою. Для САР підвищеної динамічної точності з ПД-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_c^{\text{МАКС}}$ складає 25,8%; за часом перехідного процесу (T_c) 18,81%, за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_x^{\text{МАКС}}$ складає 18,46%; за часом перехідного процесу (T_x) 20,3%, за критерієм 65,4%. За більшістю показників відносна різниця показників якості перехідних процесів при "найсприятливіших" і "найнесприятливіших" для керування параметрах ОК для САР з ПД-регулятором більша ніж для автономної САР, а різниця між базовою та підвищеної динамічної точності керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_c^{\text{МАКС}}$ складає 1,2%; за часом перехідного процесу (T_c) 5,93%, за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_x^{\text{МАКС}}$ складає 0%; за часом перехідного процесу (T_x) 0%, за критерієм 11,81%. Це може означати, що САР з автономної структури "грубіша", тобто менш чутлива до варіації параметрів ОК.

3.4 Висновки за розділом

Оскільки для САР підвищення динамічної точності дає суттєве покращення показників якості регулювання у порівнянні з САР базової структури, тому САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно.

4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом

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

В якості об'єкта модернізації системи автоматизації обрана ділянка установка швидкого охолодження «Kristalstop», апаратурно-технологічна схема котрого наведена на Рис.4.1.

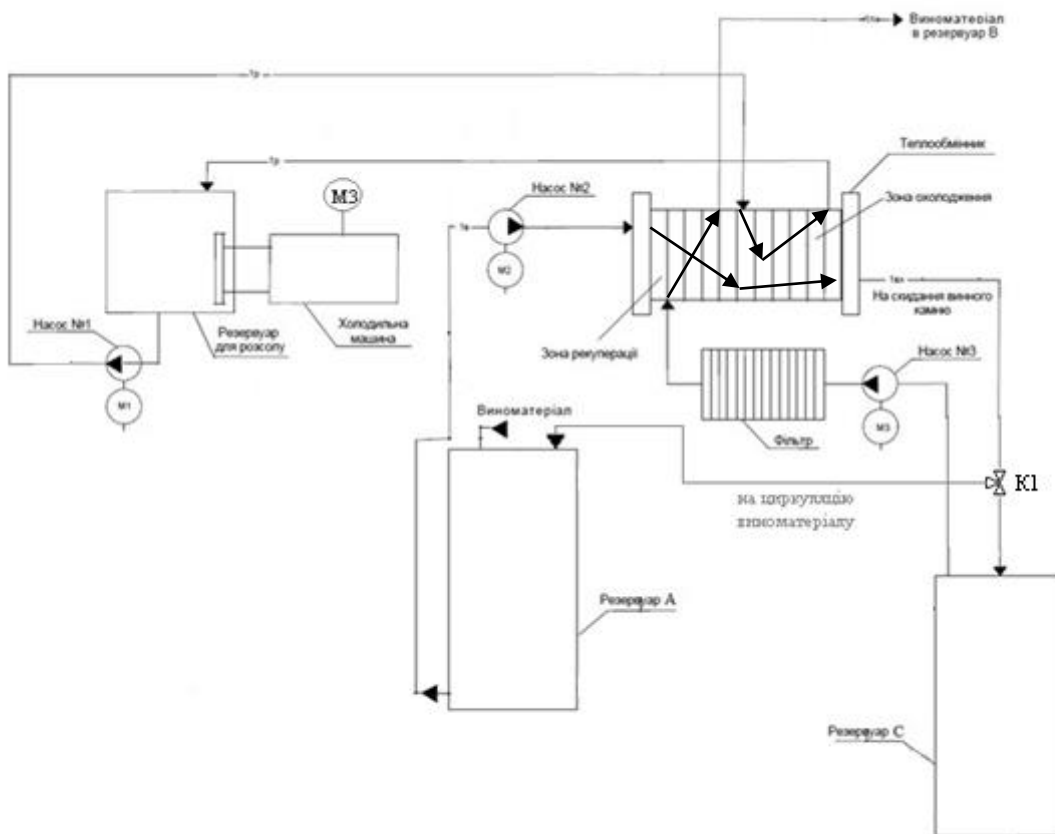


Рис. 4.1 –Апаратурно-технологічна схема процесу охолодження вина

Функції пуску та зупинки даної ділянки виконувались в ручну оператором технологом, але завдяки модернізації системи логічног керування, тепер ці процеси будуть автоматизовані. Нове програмне забезпечення дозволить системі автоматично визначати необхідні моменти для пуску та зупинки обладнання згідно з передбачуваними умовами виробництва. Це не лише збільшить ефективність роботи, але й зменшить ризик помилок за людським фактором, та підвищить загальну безпеку процесу.

Перед початком технологічного процесу необхідно перевірити передпускові умови, наявність вина матеріалу та холодоагенту в резервуарах, тиск в трубопроводі. За наявністю вказаних умов необхідно сповістити персонал про наступний пуск, включивши на деякий узгоджений час звукову передпускову сигналізацію. Після припинення дії сигналізації необхідно забезпечити циркуляцію холодоагенту по трубопроводі. Далі, необхідно здійснити циркуляцію вина матеріалу по ділянці охолодження. За створеними вірними умовами циркуляції холодоагенту та вина матеріалу через теплообмінник (ділянки охолодження), необхідно вивести систему на режим за потрібною температурою для вина матеріалу, після процесу охолодження і досягнення необхідної температури для вина матеріалу воно подається до резервуару де випадає осад винного каменю, потім проходить фільтрацію і потрапляє до іншого резервуару на зберігання.

Для зупинки системи необхідно спочатку припинити подачу вина через фільтрацію до резервуару для зберігання, потім припинити подачу вина матеріалу до резервуару де випадає осад винного каменю, і припинити подачу вина матеріалу до ділянки охолодження, а також припинити циркуляцію холодоагенту в трубопроводі системи.

Для аварійної зупинки наведемо декілька прикладів тому що, умови або алгоритм при яких здійснюється ця зупинка можуть бути різними. Наприклад температура вина матеріалу знизилась нижче норми що призвело до

замерзання виноматеріалу в трубопроводі, для цієї аварійної зупинки нам потрібно, припинити подачу виноматеріалу до ділянки охолодження шляхом зупинки всіх насосів, потім зупинка насосів які подають холодоагент до ділянки охолодження, або інший приклад, несправність холодильної машини, холодоагент не підтримує задану температуру, тоді потрібно припинити подачу цього холодоагенту до ділянки охолодження шляхом зупинки насосу який його постачає, а далі зупинка насосів які подають виноматеріал до ділянки охолодження.

4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату: запуском, технологічною та аварійною зупинками технологічного процесу у вигляді блок-схем

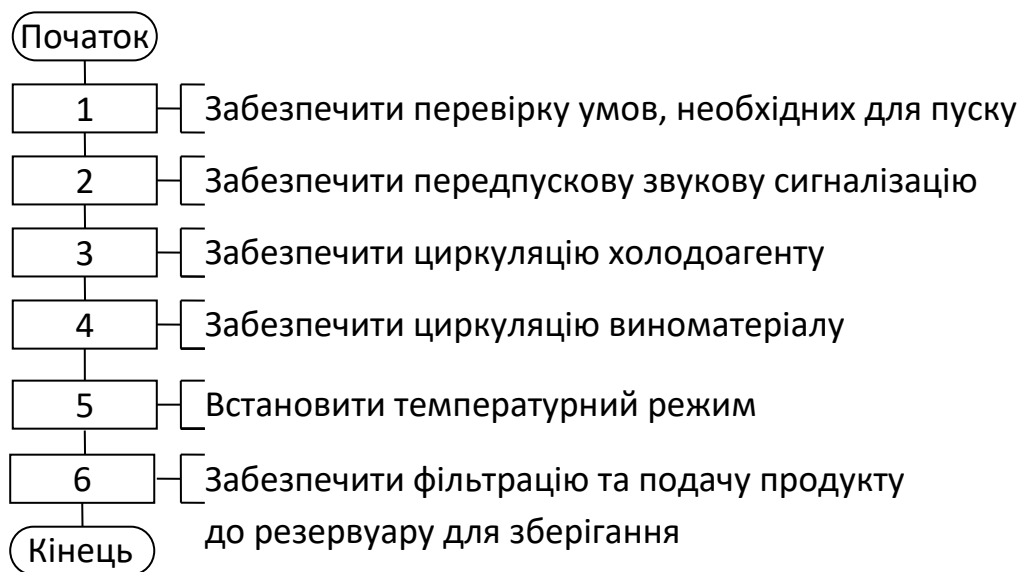


Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту процесу пуску охолодження вина.

Для процесу пуску системи, нам потрібно спочатку перевірити умови які необхідні для виконання цього пуску, далі ми повинні забезпечити звукову сигналізацію для сповіщення персоналу про початок виконання пуску.

Далі ми повинні забезпечити циркуляцію холодоагенту в трубопроводі, і циркуляцію виноматеріалу, після забезпечення циркуляції, чекаємо доки

виноматеріал не досягне свого температурного режиму (заданного значення температури), після досягнення виноматеріалом необхідної температури, проводимо його фільтрацію і подачу до резервуару для зберігання.

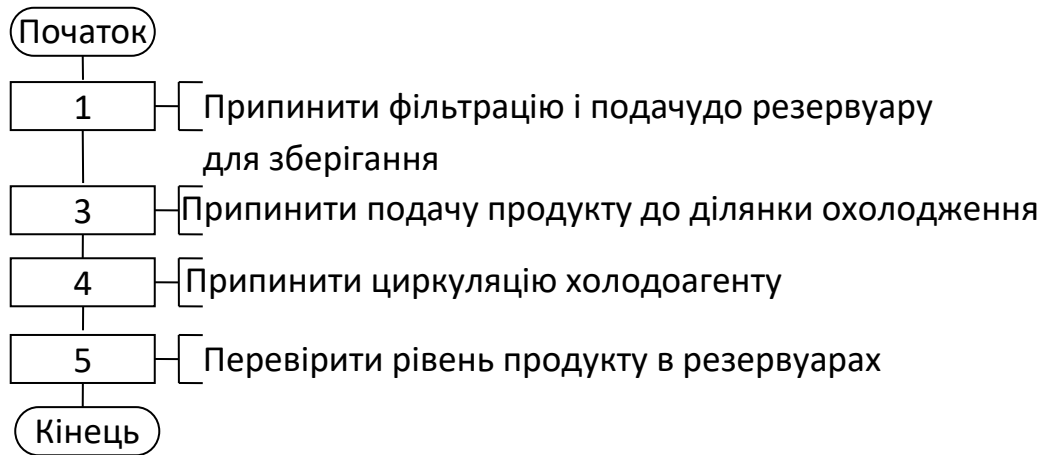


Рис. 4.3. – Блок-схема регламенту штатної зупинки процесу охолодження вина

Для штатної зупинки системи охолодження необхідно спочатку припинити подачу виноматеріалу до резервуару для зберігання і фільтрацію, далі ми припиняємо подачу виноматеріалу до ділянки охолодження, потім припиняємо циркуляцію холодоагенту, після чого перевіряємо рівень виноматеріалу в резервуарах А,С.

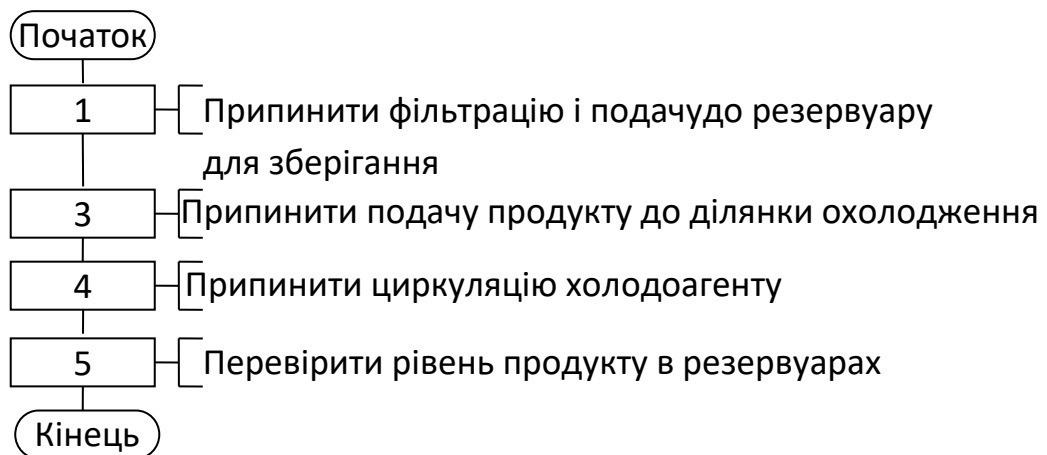


Рис. 4.4 – Блок-схема регламенту аварійної зупинки процесу охолодження вина при зниженні температури нижче норми

Зниження температури нижче норми, для зупинки необхідно спочатку припинити подачу виноматеріалу до резервуару для зберігання і припинити фільтрацію, а також подачу виноматеріалу до ділянки охолодження, далі припинити циркуляцію холодоагенту, після чого перевірити рівень виноматеріалу в резервуарах А,С.

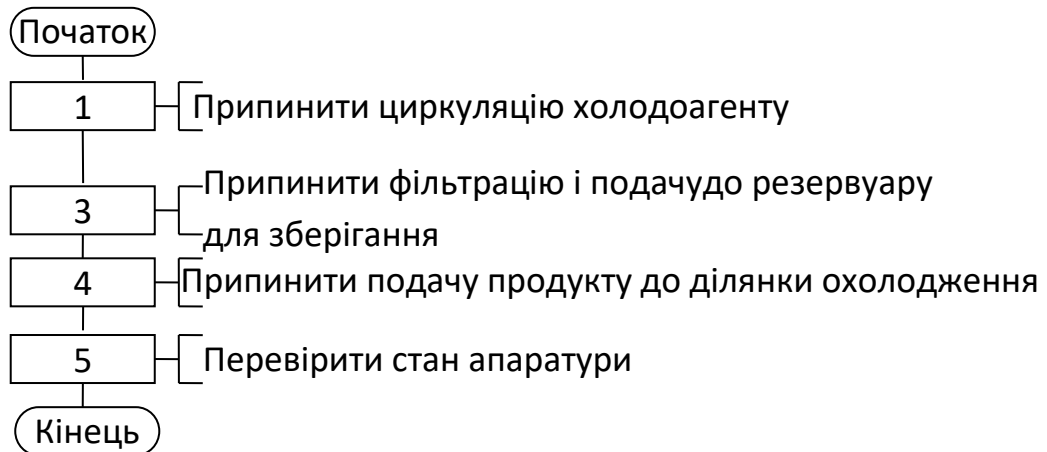


Рис. 4.5 – Блок-схема регламенту аварійної зупинки процесу охолодження вина при несправності холодильної машини

Несправність холодильної машини, для зупинки необхідно спочатку припинити фільтрацію холодоагенту, далі припинити подачу до резервуару для зберігання і припинити фільтрацію, а також подачу виноматеріалу до ділянки охолодження, і виявити причини несправності.

4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: пуском, зупинкою та аварійною зупинкою технологічного агрегату у вигляді блок-схем

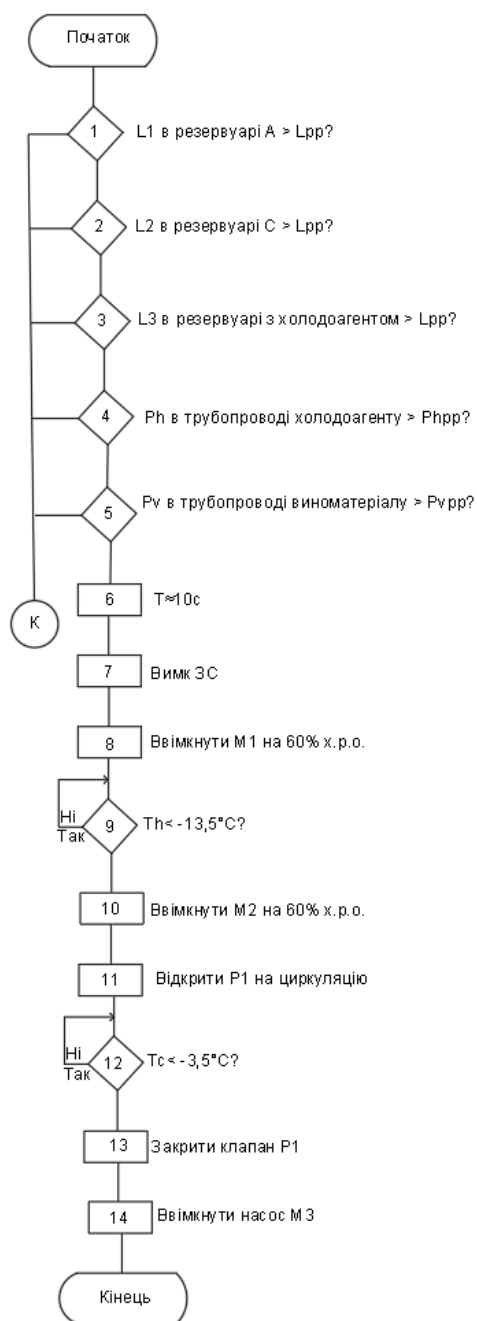


Рис. 4.6– Блок-схема алгоритму керування за пуском системи охолодження виноматеріалу

Перевірку умов, необхідних для пуску виконують за допомогою послідовної перевірки сигналів від датчиків рівня L1,L2,L3 (де L1- робочий рівень в резервуарі з холодоагентом, L2- робочий рівень в резервуарі А, L3- робочий рівень в резервуарі С), реле тиску P_h, P_v (P_h - тиск в трубопроводі по якому проходить холодоагент, а P_v – тиск в трубопроводі по якому протікає виноматеріал).Наявність сигналів свідчить про наявність необхідних умов.

За наявності вказаних умов розпочинається процедура пуску, а за відсутність будь-якої з умов процедура припиняється.

Потім необхідно сповістити персонал про початок ведення технологічного процесу. Для цього використовується звукова сигналізація, що включається на деякий час (у прикладі на 10 с, однак, у виробничих умовах цей час визначається інструкцією з експлуатації). Після виключення сигналізації необхідно перевірити рівень та наявність виноматеріалу та холодоагенту в резервуарах, а також тиск в трубопроводах де буде проходити холодоагент і виноматеріал.

Далі, ми повинні забезпечити циркуляцію холодоагенту в контурі, для цього ми вмикаємо насос М1 на 60 %. Після того, як ми забезпечили циркуляцію холодоагенту, потрібно подати виноматеріал до контуру. Для цього необхідно спочатку перевірити чи досягнуто необхідної температури холодоагенту ($T_x < -13,5^{\circ}\text{C}$, контролюється датчиком температури), потім ввімкнути насос М2 на 60%, і відкрити клапан Р1 для забезпечення циркуляції виноматеріалу, далі перевіряємо температуру виноматеріалу ($T_c < -3,5^{\circ}\text{C}$, контролюється датчиком температури). Після того, як виноматеріал досяг потрібної температури, виноматеріал потрапляє в резервуар С де буде випадати осад винного каменю, для цього повертаємо клапан Р1, циркуляція виноматеріалу припиняється, і воно потрапляє до резервуару С для скидання осаду винного каменю, наступний етап фільтрація і перекачка виноматеріалу до резервуару для зберігання, для цього вмикаємо насос М3.

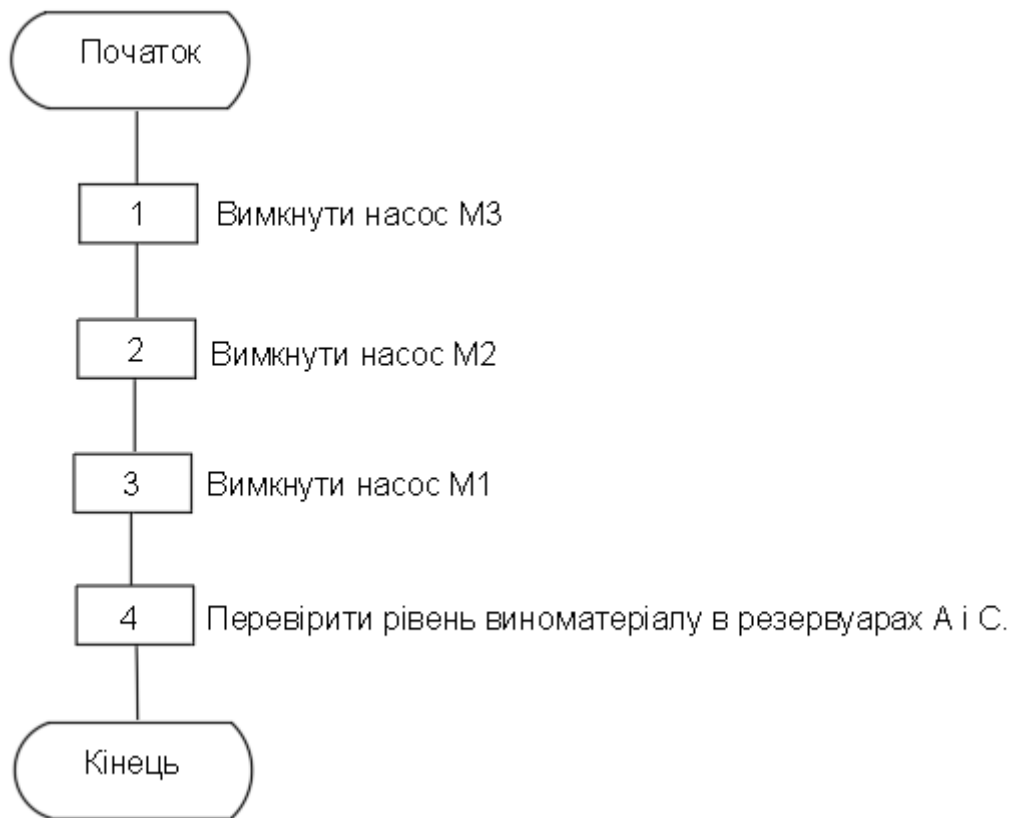


Рис.4.7-Блок-схема алгоритму керування за зупинкою процесу охолодження виноматеріалу.

Для штатної зупинки системи охолодження необхідно спочатку припинити подачу до резервуару для зберігання і припинити фільтрацію, а також подачу виноматеріалу до резервуару С вимкнувши насоси М3 і насос М2, далі припинити подачу охолоджувального розсолу, вимкнути насос М1, після чого перевірити рівень виноматеріалу в резервуарах А,С.

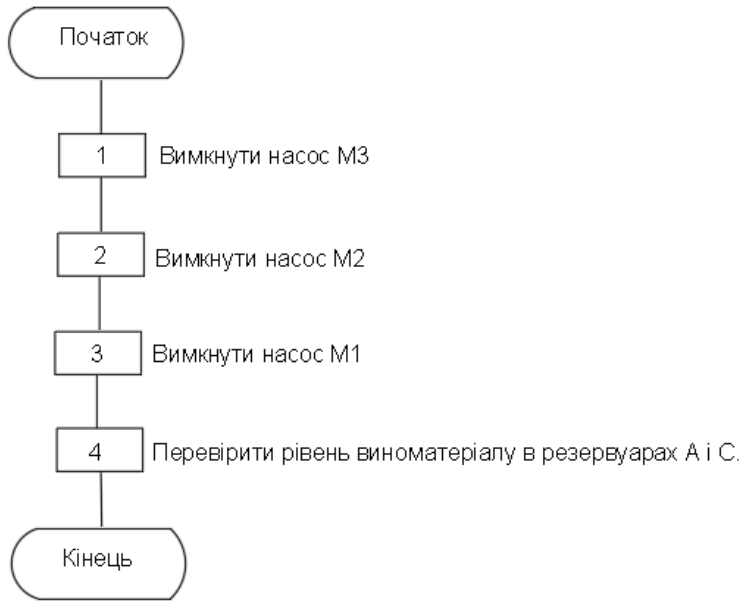


Рис. 4.8 - Блок-схема алгоритму керування за аварійною зупинкою процесу охолодження виноматеріалу при зниженні температури.

Зниження температури нижче норми, для зупинки необхідно спочатку припинити подачу до резервуару для зберігання і припинити фільтрацію, а також подачу виноматеріалу до резервуару С вимкнувши насоси М3 і насос М2, далі припинити подачу охолоджувального розсолу, вимкнути насос М1, після чого перевірити рівень виноматеріалу в резервуарах А,С.

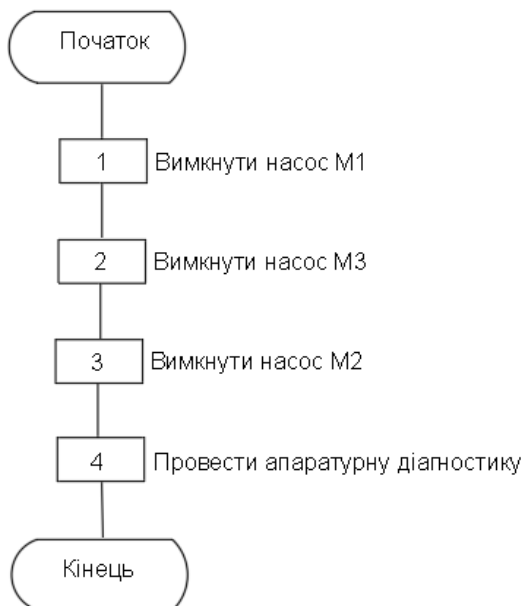


Рис. 4.9 - Блок-схема алгоритму керування за аварійною зупинкою процесу охолодження виноматеріалу при несправності холодильної машини.

Несправність холодильної машини, для зупинки необхідно спочатку припинити фільтрацію холодоагенту вимкнувши насос М1, далі припинити подачу до резервуару для зберігання і припинити фільтрацію, а також подачу виноматеріалу до резервуару С вимкнувши насоси М3 і насос М2, виявити причини несправності.

4.4 Висновки

В результаті, для даного технологічного агрегату були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи швидкого охолодження вина в штатному та аварійному режимах. Можемо сказати про те, що алгоритми керування, які були розроблені, достатньо точно співпадають з реальними технологічними процесами.

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

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

5.1.1 Перелік середовищ, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню, тобто характеристики, які впливають на вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА), які безпосередньо взаємодіють з цими середовищами, а саме на вибір датчиків та регулюючих органів

В установці швидкого охолодження виноматеріалу ми маємо справу з декількома середовищами, а саме з холодоагентом, а також з виноматеріалом.

Охолодження вина полягає в осадженні надлишку розчинених в ньому виннокислих солей. Для отримання повного уявлення про режим охолодження вин при їх обробці холодом необхідно враховувати ряд обставин, які виявлені в результаті досліджень і які мають практичне значення.

При обробці холодом необхідно мати на увазі температуру найбільшої щільності вина. Складені таблиці температур замерзання вин в залежності від їх концентрації спирту, цукристості та екстракності.

Концентрація екстракту в г/100 мл	Концентрація спирту в %							
	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-2,8	-3,2	-3,6	-4,0	-4,4	-4,9	-5,4	-5,9
2	-3,0	-3,4	-3,9	-4,4	-4,8	-5,3	-5,8	-6,3

3	-3,0	-3,7	-4,2	-4,7	-5,2	-5,7	-6,3	-6,8
4	-3,6	-4,0	-4,5	-5,1	-5,6	-6,2	-6,7	-7,2
5	-2,9	-4,4	-4,9	-5,4	-6,0	-6,6	-7,1	-7,7
6	-4,2	-4,7	-5,3	-5,8	-6,4	-7,0	-7,5	-8,1

Ґрунтуючись на викладених вище даних, можна сформулювати певні вимоги, яким повинна відповідати обробка вина холодом:

- 1) швидке та інтенсивне охолодження вина;
- 2) охолодження його до температури, близької до точки замерзання столових вин, в середньому $-4...-5$ °C ;
- 3) недопущення замерзання вина;
- 4) однакова і постійна температура вина в різних зонах ємності;
- 5) витримка вина після охолодження при необхідній температурі в спокійному стані не менше 2 днів для молодих вин;
- 6) фільтрування вина при тій же температурі, при якій вино охолоджувалося.

Виноматеріал має в собі кислотні здібності що може спричинити корозію, тому технічні засоби які будуть контактувати з середовищем повинні буди з нержавіючої сталі, діапазони температур для виноматеріалу і розсолу беремо з таблиці регламентів наведені на таблиці 5.2

Таблиця 5.2- Таблиця регламентів

№	Найменування параметрів	Познач.	Одиниця виміру	Номінальне значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі	Короткочасні	Час, с
1	Температура вина в охолоджувальному резервуарі	T_c	°C	-5	±0,5	±1,5	150
2	Температура холодоагенту на вході в теплообмінник	T_x	°C	-15	±0,5	±1,5	60

5.1.2 Характеристики виробничих приміщень

Оскільки ми маємо справу з холодоагентом (етиленгліколь) який відноситься до горючої суміші, ми повинні подбати про те, щоб клас захисту технічних засобів автоматизації відповідав всім стандартам для пожежонебезпечних приміщень.

У пожежонебезпечних зонах будь-якого класу можуть застосовуватися електричні машини напругою до 10 кВ за умови, що їхня оболонка має ступінь захисту спираючись на ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» не менший ніж зазначений в таблиці 5.3.

Пожежонебезпечна зона класу П-I — простір у приміщенні, у якому знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху більше +61° С.

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

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

Пожежонебезпечна зона класу П-III — простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахнення понад +61° С або тверді горючі речовини.

У приміщеннях з виробництвом (і складів) категорії В згідно з ОНТП-24 електрообладнання повинно відповідати вимогам даного розділу і зараховуватися до електрообладнання в пожежонебезпечних зонах відповідного класу.

Таблиця 5.3. Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класу			
	П-I	П-II	П-IIIa	П-III
Установки стаціонарні, які іскрять або мають частини, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44

Установки стаціонарні, які не іскрять і не мають частин, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Установки на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять або не іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44

У пожежонебезпечних зонах можуть застосовуватися електричні апарати, прилади, шафи та набори затискачів, які мають ступінь захисту оболонки за ГОСТ 14254 не менше зазначеного в таблиці 5.4.

Таблиця 5.3. Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів у залежності від класу пожежонебезпечної зони

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

Апарати і прилади, які встановлюються в шафах, можуть мати менший ступінь захисту оболонки ніж зазначено в таблиці 5.2 (у тому числі IP00) за умови, що шафи мають ступінь захисту оболонки не нижче ніж зазначено в таблиці 5.3 для даної пожежонебезпечної зони.

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

5.2.1 Перелік параметрів, які підлягають вимірюванню (контролю, реєстрації, регулюванню)

Основний параметр який нам потрібно контролювати і від якого залежить якість продукту це температура виноматеріалу (а також температура холодоагенту), також слід враховувати такі параметри як тиск в контурах регулювання, витрати виноматеріалу та холодоагенту і контроль рівню в резервуарах де вони зберігаються.

5.2.2 Вибір типів датчиків, з урахуванням властивостей середовищ

Для виміру температури вина, і температури холодоагенту застосовано датчик температури MBT 5252 фірми Dandoss (ТОП гр.100pt), діапазон -50-200 °С, кл. т. А, ступінь захисту IP 65, матеріал – нержавіюча сталь (рис. 5.1).



а)

Макс. температура окружающей среды Без преобразователя	90°C
С преобразователем	85°C
Макс. давление среды	50 бар
Класс защиты корпуса	IP 65
Материал защитной гильзы	Нержавеющая сталь
Материал наружной части	Нержавеющая сталь
Резьбовое соединение	Нержавеющая сталь
Соединительный узел	Никелированная латунь
Корпус головки	Алюминий
Длина погружной части	50 ... 500 мм
Длина наружной части	50 мм
Погрешность измерения температуры, °C	EN60751 класс В: $\pm(0,3 + 0,005 \cdot t)$ 1/3 EN60751 класс В: $\pm(0,3 + 0,005 \cdot t)$ 1/6 EN60751 класс В: $\pm(0,3 + 0,005 \cdot t)$

б)

Рис 5.1 – Датчик температуры MBT 5252 а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Схема підключення датчику температури показана на рис. 5.2.

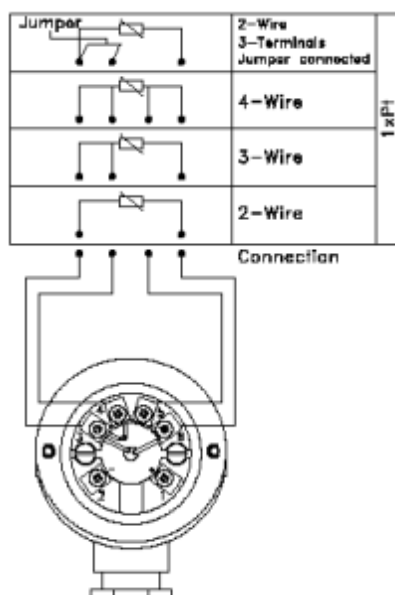


Рис. 5.2 – Схема підключення датчику температури MBT 5252

Для контролю рівня вина в охолоджувальному резервуарі використовується дворівневий поплавковий датчик рівня ПДУ – 2.2Н, зовнішній вигляд показано на рис. 5.3, технічні характеристики на рис. 5.4.



Рис. 5.3 – Зовнішній вигляд датчику рівня ПДУ – 2.2Н

Наименование параметра	Значение				
	ПДУ-1.2	ПДУ-2.2	ПДУ-3.2	ПДУ-2Н.2	ПДУ-3Н.2
Электрические параметры					
Количество сигнализируемых уровней	2				
Максимальная коммутируемая мощность, Вт	10		30	10	30
Максимальный коммутируемый ток, А	0,5		2	0,5	2
Максимальное коммутируемое напряжение, В	180		230	180	230
Количество срабатываний при напряжении коммутации постоянного тока 24 В и токе 0,25 А	1x10 ⁶				
Конструктивные параметры					
Расположение оси крепежного отверстия датчика в резервуаре	Горизонтальное		Вертикальное	Вертикальное (наружный монтаж)	
Максимальная длина штока до нижнего уровня, мм	2500		3000	2500	3000
Нормальное состояние контактов датчика:					
для ПДУ-Х.Х, ПДУ-ХН.Х	Нормально-разомкнутое				
для ПДУ-Х.Х.К, ПДУ-ХН.Х.К	Нормально-замкнутое				
Плотность измеряемой среды, г/см ³	0,8		0,65	0,8	0,65
Температура контролируемой среды, °С	-40...+105				-20...+105
Давление контролируемой среды, МПа	не более 1 МПа (для исполнений ПДУ-1.Х, ПДУ-2.Х, ПДУ-2Н.Х, ПДУ-3Н.Х с типом присоединения CLAMP), не более 2 МПа (для исполнений ПДУ-3.Х, ПДУ-3Н.Х с типом присоединения G2)				
Материал рабочей части датчика	Сталь 12Х18Н10Т и AISI 316L (нержавеющая)				
Степень защиты	IP68 для погружной (рабочей) части датчика IP65 для внешней части датчика (от плоскости присоединения к процессу)				

Рис. 5.4 – Технічні характеристики датчику рівня ПДУ – 2.2Н

Схема підключення датчику рівня ПДУ – 2.2Н показана на рис. 5.5.



Рис. 5.5 – Схема підключення датчику рівня ПДУ – 2.2Н

Для вирівнювання кількості виноматеріалу та холодоагенту, що проходить в трубопроводі використовується витратомір фірми Endress+Hauser Proline Promag 53Н, зовнішній вигляд показано на рис. 5.6, технічні характеристики на рис. 5.7.



Рис. 5.6 – Зовнішній вигляд витратоміру фірми Endress+Hauser Proline Promag 53H


Основні	
Виробник 	Endress+Hauser
Користувацькі характеристики	
Дисплей/Налаштування	4-рядковий дисплей з підсвічуванням Сенсорне управління
Комунікація	HART PROFIBUS PA Profibus DP FOUNDATION Fieldbus
Вихідні сигнали	4...20 mA Імпульсно-частотний(активний/пасивний) Релейний Сигнал стану
Діаметр	DN 2...100
Діапазон робочого тиску	PN16 40...
Робоча температура	-20...+150°C
Похибка вимірювання	±0.2%
Діапазон вимірювання	0...282 м ³ /год

Рис. 5.7 – Технічні характеристики витратоміру фірми Endress+Hauser Proline Promag 53H

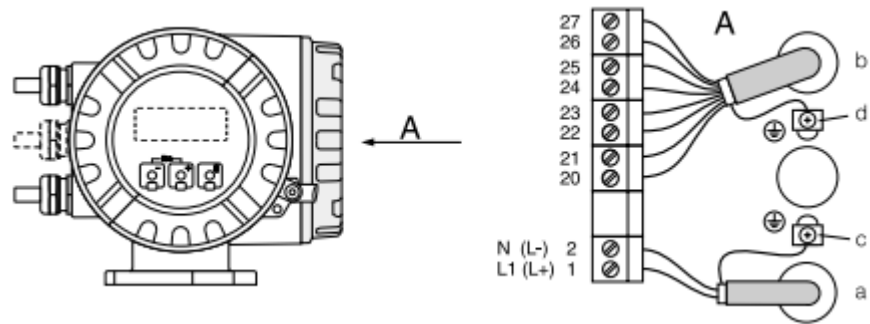


Рис. 5.8 – Схема підключення витратоміру фірми Endress+Hauser Proline Promag 53H

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

5.3.1 Вибір типів регулюючих органів

Регулюючий орган для виноматеріалу повинен бути з нержавіючої сталі, а також потрібно враховувати потужність і пропускну здатність, тому для регулювання подачі вина в охолоджувальний резервуар та подачі холодоагенту на вході в теплообмінник використовується відцентрований насос модель SPERONI (рис. 5.9)



Рис. 5.9 – Зовнішній вигляд насосу SPERONI

Основні атрибути	
Виробник	SPERONI
Країна виробник	Італія
Тип насосу	Відцентровий
Максимальний напір	30.7 м
Пропускна здатність	30 куб.м/год
Напруга мережі	380~400 В
Потужність	2.2 кВт
Встановлення насоса	Горизонтальна
Максимальна температура робочої рідини	90 град.
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь
Матеріал робочого колеса	Нержавіюча сталь
Вага	23 кг

Рис. 5.10 – Технічні характеристики насосу SPERONI

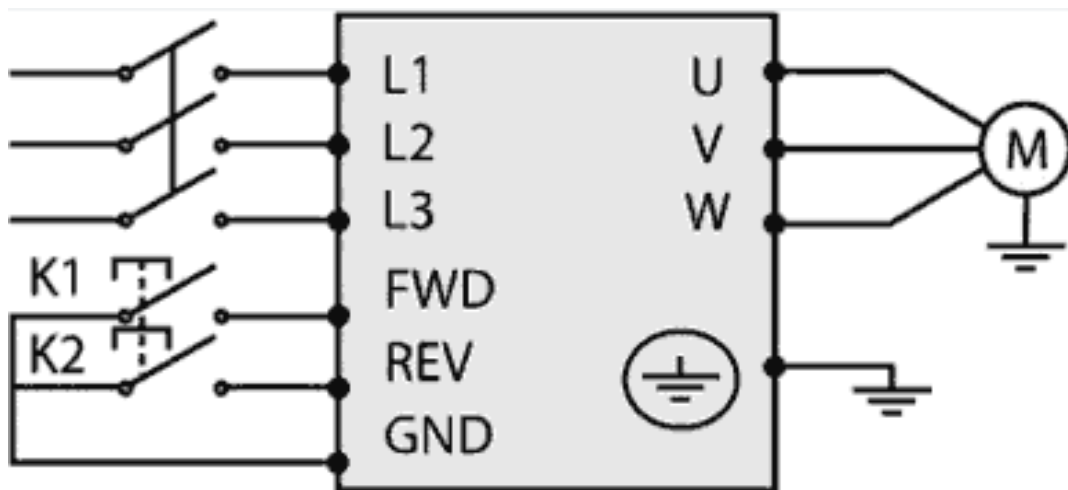


Рис. 5.11 Схема керування напрямком обертання асинхронного електродвигуна за допомогою частотного перетворювача Danfoss FC-051P4K0

5.3.2 Вибірвиконавчих механізмів для регулюючих органів

Формування керуючої дії виконується за рахунок частотного перетворювача як для виноматеріалу так і для холодоагенту тому, для прямого пуску електропривода потужністю 2,2 кВт використано частотний перетворювач фірми Danfoss FC-051P4K0 (рис. 5.12)



Характеристики

Производитель	Danfoss
Артикул	132F0026
Мощность	4,0 кВт
Подключение	3Ф х 380В
Выходная мощность на валу л.с.	5 л.с.
Диапазон напряжений	3 × 380 – 480 В ± 10%
Сила тока	9 А (380-440В), 8,2 А (440-480В)
Максимальный входной ток	14,4 А (380-440В), 12,4 А (440-480В)
Расчетные потери мощности (лучший/типичный)	98,5 / 133,5 Вт
КПД (лучший/типичный вариант)	98,0 % / 97,3%
Типовой код	FC-051P4K0E20 N3ВХХХХХХХ
Применение	Промышленное оборудование

а)

б)

Рис. 5.12 – Частотный перетворювач Danfoss FC-051P4K0 : а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Схема підключення контактора показана на рис. 5.13.

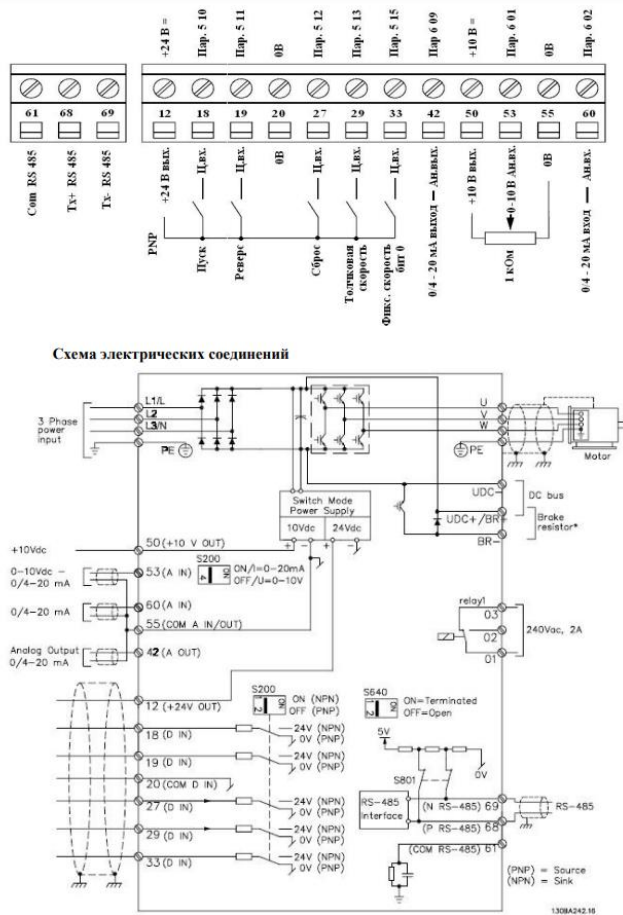


Рис. 5.13 – схема підключення Частотного перетворювача Danfoss FC-051P4K0

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

5.4.1 Порівняльний аналіз і попередній вибір різних принципів побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі

В нашому випадку найкращим варіантом буде обрати розподілену структуру контролерно-комп'ютерної мережі, вона має більшу надійність ніж наприклад централізована структура, завдяки розподіленню функцій керування та введення/виведення, система може бути менш вразливою до відмов окремих компонентів, має більшу гнучкість, різні компоненти можуть бути оновлені або модифіковані незалежно один від одного без значного впливу на інші частини системи.

Але вона має і свої недоліки такі як складність в керуванні через розподілення між кількома пристроями, управління системою може бути складнішим, а також складності в налаштуванні, але це все покриває її надійність.

5.4.2 Вибір варіантів контролерів для реалізації розроблених алгоритмів керування з урахуванням їх можливого розвитку і характеристик їх ПЗО

Список параметрів технологічного процесу зроблений у вигляді таблиці наведений у (таблиця 5.5)

таблиця 5.5 список параметрів технологічного процесу

	Найменування параметру	Умовне позначення	Вид сигналу A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролеру	Позначення на схемі
1	Керуючий вплив сигнал управління насосом подачі розсолу	U2	A	O	(4-20mA)	AO1

2	Сигнал управління двигуном М1	M1	D	O	«відкритий колектор»	DO1
3	Сигнал датчика контролю рівня розсолу	L_r	D	I	24 V DC	D I1
4	Сигнал управління двигуном М4	M4	D	O	«відкритий колектор»	DO2
5	Сигнал датчика контролю тиску розсолу	P_r	D	I	24 V DC	D I2
6	Температура розсолу	T_r	A	I	(4-20мА)	A I1
7	Керуючий вплив сигнал управління насосом подачі вина	U1	A	O	(4-20мА)	AO2
8	Сигнал управління двигуном М3	M3	D	O	«відкритий колектор»	DO3
10	Сигнал датчика контролю тиску виноматеріалу	P_v	D	I	24 V DC	D I4
11	Температура виноматеріалу	T_v	A	I	(4-20мА)	A I2
13	Сигнал управління двигуном М2	M2	D	O	«відкритий колектор»	DO4
14	Положення клапана Р1	K1	D	O	(4-20мА)	DO5
15	Сигнал датчика контролю рівня виноматеріалу в резервуарі А	L_vA	D	I	24 V DC	D I4
16	Сигнал датчика контролю рівня виноматеріалу в резервуарі С	L_vC	D	I	24 V DC	D I5

Кількість каналів вводу\виводу: AI – 2 , AO – 2, DI – 5, DO – 5

Враховуючи обраний контролер та модулі ПЗО до нього, схема технічної структури прийме наступний вигляд. (рис. 5.14).

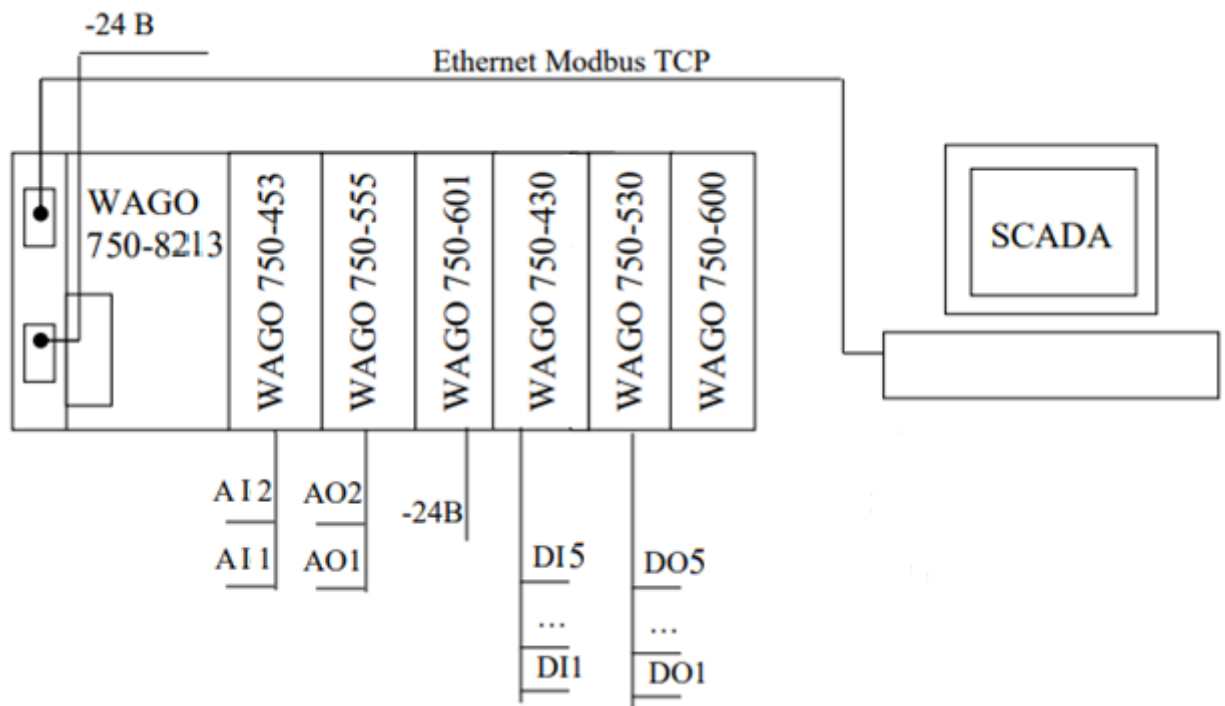


Рис. 5.14 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи управління процесом охолодження виноматеріалу в установці швидкого охолодження.

Обраний контролер Wago 750-8213 PFC200 (рис. 5.15) зовнішній вигляд (рис. 5.16) технічні характеристики (рис. 5.17) схема підключення

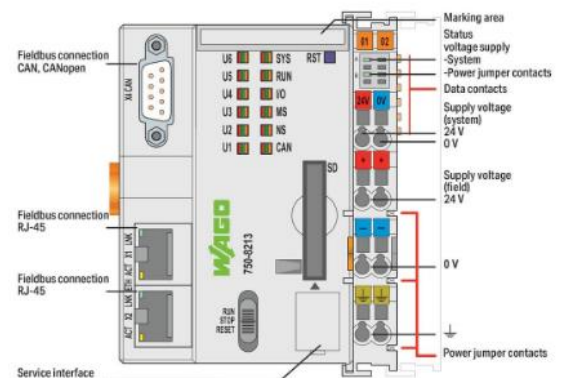


Рис. 5.15 – Контролер Wago 750-8213 PFC200 зовнішній вигляд

Технічні дані



спілкування	CANopen Modbus TCP master/slave Modbus (UDP), WagoAppPlcModbus Library ETHERNET EtherNet/IP™ Adapter (slave) EtherNet/IP™ Scanner EtherCAT® Master OPC UA Server/Client OPC UA Pub/Sub (можна встановити пізніше) MQTT BACnet/IP, потрібна додаткова ліцензія Протоколи телеконтролю, потрібна додаткова ліцензія
Протоколи ETHERNET	DHCP DNS NTP FTP FTPS SNMP HTTP HTTPS SSH
Протоколи телеконтролю	IEC 60870 (додаткова ліцензія як підлеглий або головний) IEC 61850 (додаткова ліцензія як клієнт або сервер) DNP3 (додаткова ліцензія як підлеглий або головний)
Візуалізація	Веб-Bізу
Операційна система	Linux у реальному часі (з патчем RT-Preempt)
ЦП	Cortex A8; 1 ГГц
ЦП	Cortex A8; 1 ГГц
Мови програмування згідно IEC 61131-3	Список інструкцій (IL) Сходова діаграма (LD) Функціональна блок-схема (FBD) Безперервна функціональна схема (CFC) Структурований текст (ST) Послідовна функціональна схема (SFC)
Середовище програмування	CODESYS V3.5, версія мікропрограми 23 або вище ef COCKPIT (на базі CODESYS V3) до версії мікропрограми 22 WAGO-I/O-PRO V2.3 (на основі CODESYS V2.3), до версії мікропрограми 22
Параметри конфігурації	CODESYS V3 ef COCKPIT WAGO-I/O-CHECK Веб-керування ef Бібліотека <i>RUNTIME</i> Бібліотека CODESYS
Швидкість передачі даних (зв'язок/польова шина 1)	10/100 Мбіт/с
Швидкість передачі даних	ETHERNET: 10/100 Мбіт/с
Середовище передачі (зв'язок/польова шина)	ETHERNET: вита пара S-UTP; 100 Ом; кішка 5; Максимальна довжина кабелю 100 м
Основна пам'ять (RAM)	512 Мб
Внутрішня пам'ять (флеш)	4096 Мб
Енергонезалежна апаратна пам'ять	128 кбайт
Програмна пам'ять	CODESYS V2: 16 Мб; CODESYS V3: 32 Мб

Програмна пам'ять	CODESYS V2: 16 МБ; CODESYS V3: 32 МБ
Пам'ять даних	CODESYS V2: 64 МБ; CODESYS V3: 128 МБ
Енергонезалежна пам'ять програмного забезпечення	128 кбайт
Енергонезалежна пам'ять програмного забезпечення	128 кбайт
Тип карти пам'яті	SD і SDHC до 32 ГБ (всі гарантовані властивості дійсні тільки з картою пам'яті WAGO 758-879/000-001)
Слот для карти пам'яті	Механізм Push-push; Кришка (закривається)
Кількість модулів на вузол (макс.)	250
Кількість модулів без розширення шини (макс.)	64
Вхідний і вихідний образ процесу (внутрішній) макс.	1000 слів/1000 слів
Вхідний і вихідний образ процесу (Modbus®) макс.	CODESYS V2: 1000 слів/1000 слів; CODESYS V3: 32000 слів/32000 слів
Вхідний і вихідний образ процесу (CAN) макс.	2000 слів/2000 слів
Індикатори	Світлодіод (SYS, RUN, I/O, CAN, U1 ... U6) червоний/зелений/помаранчевий: стан системи, програма, внутрішня шини даних, CANopen, статус програмується користувачем (можна використовувати через бібліотеку CODESYS); Світлодіод (A, B) зелений: стан живлення системи, польове живлення
Напруга живлення (система)	24 В постійного струму (-25 ... +30 %); через роз'єм (з'єднання CAGE CLAMP®)
Вхідний струм (тип.) при номінальному навантаженні (24 В)	550 мА
Загальний струм (живлення системи)	1700 мА

Рис. 5.16- технічні характеристики контролера Wago 750-8213 PFC200

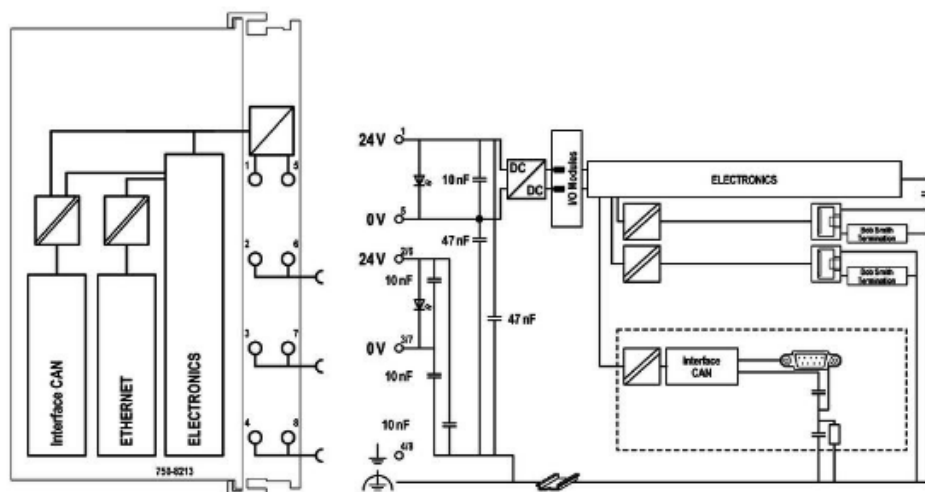
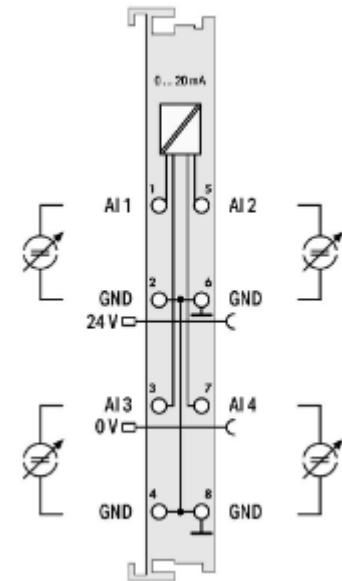
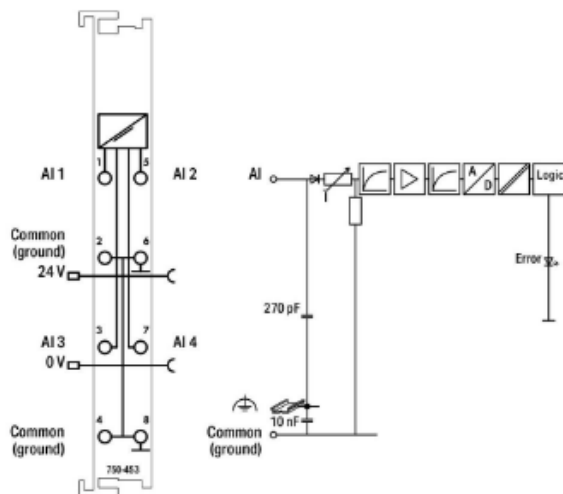
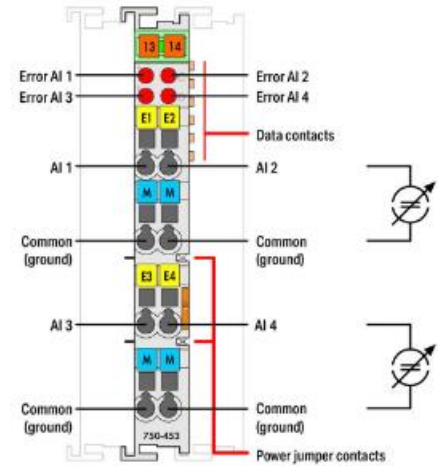


Рис. 5.17-схема підключення

Для введення аналогових сигналів у контролер будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового введення WAGO 750-453, і 4-канальний модуль аналогового виводу WAGO 750-555 для виведення аналогових

сигналів, для вводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного вводу WAGO 750-430, а для виводу дискретних сигналів використаємо 8-канальний модуль дискретного виводу WAGO 750-530, зовнішній вигляд, схеми підключення та технічні параметри наведені на рис. 5.18, рис. 5.19, рис. 5.20, рис. 5.21.

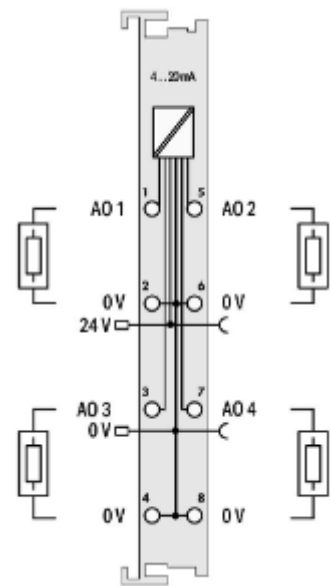
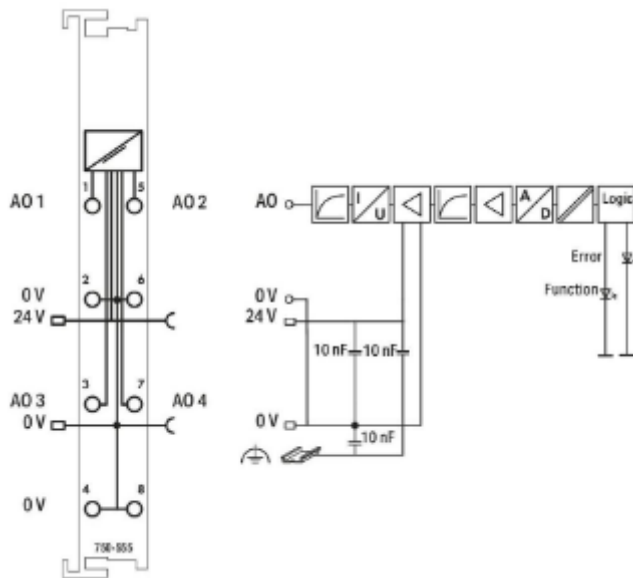
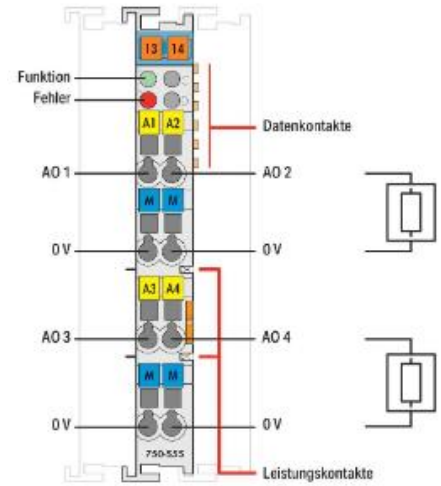


Технічні дані



Кількість аналогових входів	4
Загальна кількість каналів (модуль)	4
Тип сигналу	поточний
Тип сигналу (поточний)	0 ... 20 mADC
Підключення датчика	4 x (2-провідний)
Вхідна напруга (макс.)	32 В
Характеристики сигналу	Односторонні
Роздільна здатність [біт]	12 біт
Вхідний опір (макс.)	100 Ом
Ширина даних	4 x 16-бітних даних; 4 x 8-розрядний контроль/статус (опціонально)
Час перетворення (тип.)	10 мс
Похибка вимірювання (еталонна температура)	25 °C
Похибка вимірювання, відхилення (макс.) від верхнього значення діапазону	0,1 %
Температурна похибка (макс.) верхнього значення діапазону	0,01 %/K
Напруга живлення (система)	5 В постійного струму; через дані контактів
Споживаний струм (системне живлення 5 В)	65 мА
Напруга живлення (поле)	24 В постійного струму (-25 ... +30 %); через контакти-перемички живлення (живлення через ножовий контакт; передача (тільки з боку поля напруги живлення) через пружинний контакт)
Ізоляція	500 В система/поле
Індикатори	Світлодіод (AD) червоний; Помилка AI 1 ... AI 4
Кількість вхідних контактів перемички живлення	2
Кількість контактів перемички вихідного живлення	2
Пропускна здатність по струму (контакти перемички живлення)	10 А

Рис. 5.18 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-453, його характеристики та схема підключення.

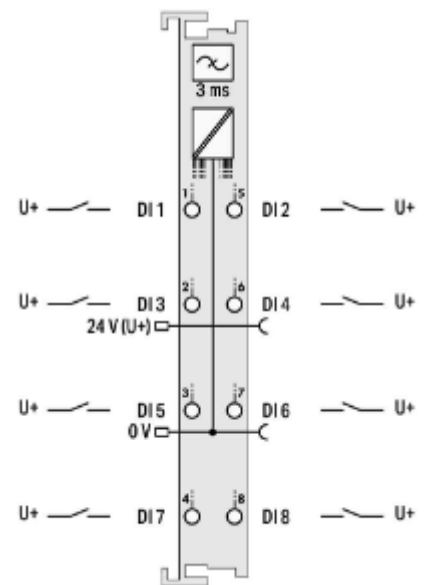
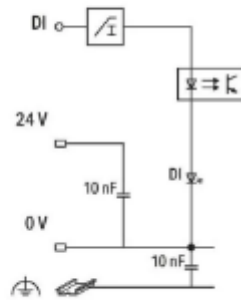
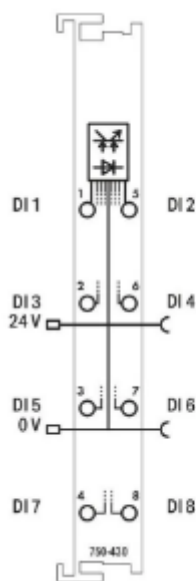
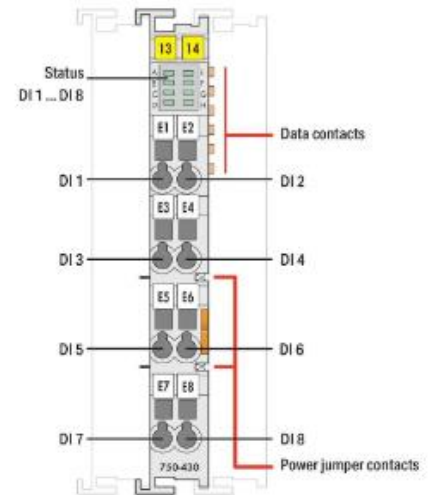


Технічні дані



Кількість аналогових виходів	4
Загальна кількість каналів (модуль)	4
Тип сигналу	поточний
Тип сигналу (поточний)	4 ... 20 мАД
Підключення приводу	4 x (2-провідний)
Роздільна здатність [біт]	12 біт
Ширина даних	4 x 16-бітних даних; 4 x 8-розрядний контроль/статус (опціонально)
Опір навантаження	Або 0 ... 300 Ω або 300 ... 600 Ω (однаковий опір для всіх імпедансів навантаження)
Час перетворення (тип)	10 мс
Похибка вимірювання (еталонна температура)	25 °С
Похибка вимірювання, відхилення (макс.) від верхнього значення діапазону	0,1 %
Температурна похибка (макс.) верхнього значення діапазону	0,01 %/К
Вихідна помилка, контрольна температура	
Помилка виведення, відхилення (макс.) верхнього значення діапазону	0,1 %
Температурна похибка (макс.) значення вихідного діапазону	0,01 %/К
Час відновлення (тип)	100 мс
Напруга живлення (система)	5 В постійного струму; через дані контактів
Споживаний струм (системне живлення 5 В)	60 мА
Напруга живлення (поле)	24 В постійного струму (-25 ... +30 %); через контакти-перемички живлення (живлення через ножовий контакт; передача (тільки з боку поля напруги живлення) через пружинний контакт)
Ізоляція	500 В система/поле
Індикатори	Світлодіод (А) зелений: функція; Світлодіод (В) червоний: Помилка
Кількість вхідних контактів перемички живлення	2
Кількість контактів перемички вихідного живлення	2

Рис. 5.19 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-555, його характеристики та схема підключення.

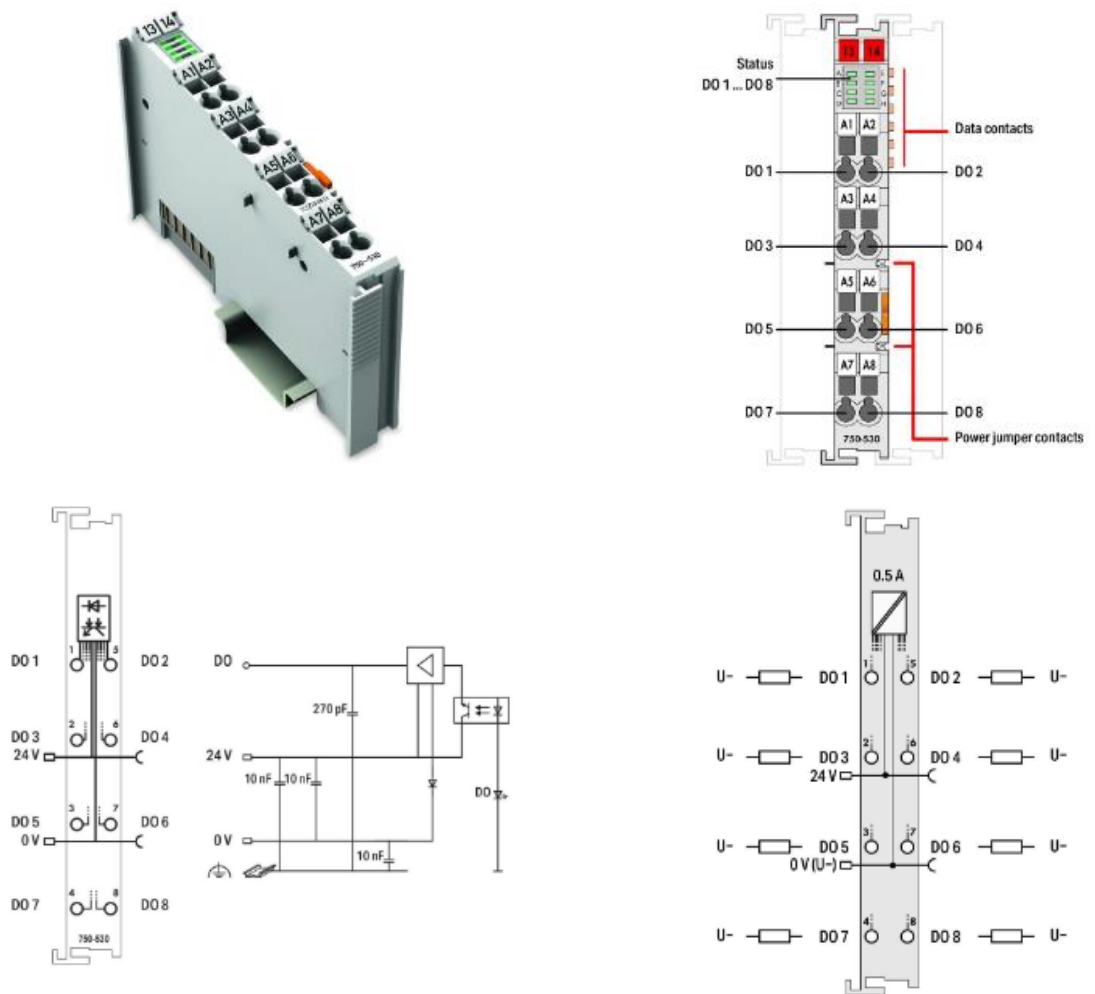


Технічні дані

Кількість цифрових входів	8
Загальна кількість каналів (модуль)	8
Тип сигналу	цифровий
Тип сигналу (напруга)	24 В постійного струму
Підключення датчика	8 x (1-провідний)
Вхідна характеристика	перемикання високої сторони
Вхідний фільтр (цифровий)	3 мс
Вхідний струм на канал для сигналу (1) тип.	2,8 мА
Діапазон напруги для сигналу (0)	-3 ... +5 В постійного струму
Діапазон напруги для сигналу (1)	15 ... 30 В постійного струму
Ширина вхідних даних (внутрішня) макс.	8 біт
Напруга живлення (система)	5 В постійного струму; через дані контактів
Споживаний струм (системне живлення 5 В)	17 мА

Напруга живлення (поле)	24 В постійного струму (-25 ... +30 %); через контакти-перемички живлення (живлення через ножовий контакт; передача (тільки з боку поля напруги живлення) через пружинний контакт)
Ізоляція	500 В система/поле
Індикатори	Світлодіод (AD) зелений: стан DI 1, DI 3, DI 5, DI 7; Світлодіод (EH) зелений: стан DI 2, DI 4, DI 6, DI 8
Кількість вхідних контактів перемички живлення	2
Кількість контактів перемички вихідного живлення	2
Пропускна здатність по струму (контакти перемички живлення)	10 А

Рис. 5.20 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-430, його характеристики та схема підключення.



Технічні дані



Кількість цифрових виходів	8
Загальна кількість каналів (модуль)	8
Тип сигналу	цифровий
Тип сигналу (напруга)	24 В постійного струму
Підключення приводу	8 x (1-провідний)
Вихідна характеристика	перемикання високої сторони
Вихідний струм на канал	0,5 А
Вихідний струм	захищений від короткого замикання
Частота перемикання (макс.)	2 кГц
Тип навантаження	Резистивне, індуктивне, лампове навантаження
Розсіювання енергії відключення індуктивного навантаження (макс.)	0,9 Дж
Ширина вихідних даних (внутрішня) макс.	8 біт
Напруга живлення (система)	5 В постійного струму; через дані контактів
Споживаний струм (системне живлення 5 В)	25 мА
Напруга живлення (поле)	24 В постійного струму (-25 ... +30 %); через контакти-перемички живлення (живлення через ножовий контакт; передача (тільки з боку поля напруги живлення) через пружинний контакт)
Струм споживання, польове живлення (модуль без зовнішнього навантаження)	15 мА
Ізоляція	500 В система/поле
Індикатори	Світлодіод (АН) зелений; стан DO 1 ... DO 8
Кількість вхідних контактів перемички живлення	2
Кількість контактів перемички вихідного живлення	2
Пропускна здатність по струму (контакти перемички живлення)	10 А

Рис. 5.21 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-530, його характеристики та схема підключення.

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

6.1 Програмне конфігурування контролера та розробка програмного забезпечення системи керування в середовищі CoDeSys

Першим етапом проведено програмне конфігурування контролера та його модулів ПЗО у середовищі CoDeSys.

На рис. 6.1 – 6.2 розкрита процедура конфігурування CPU контролера та його модулів ПЗО.

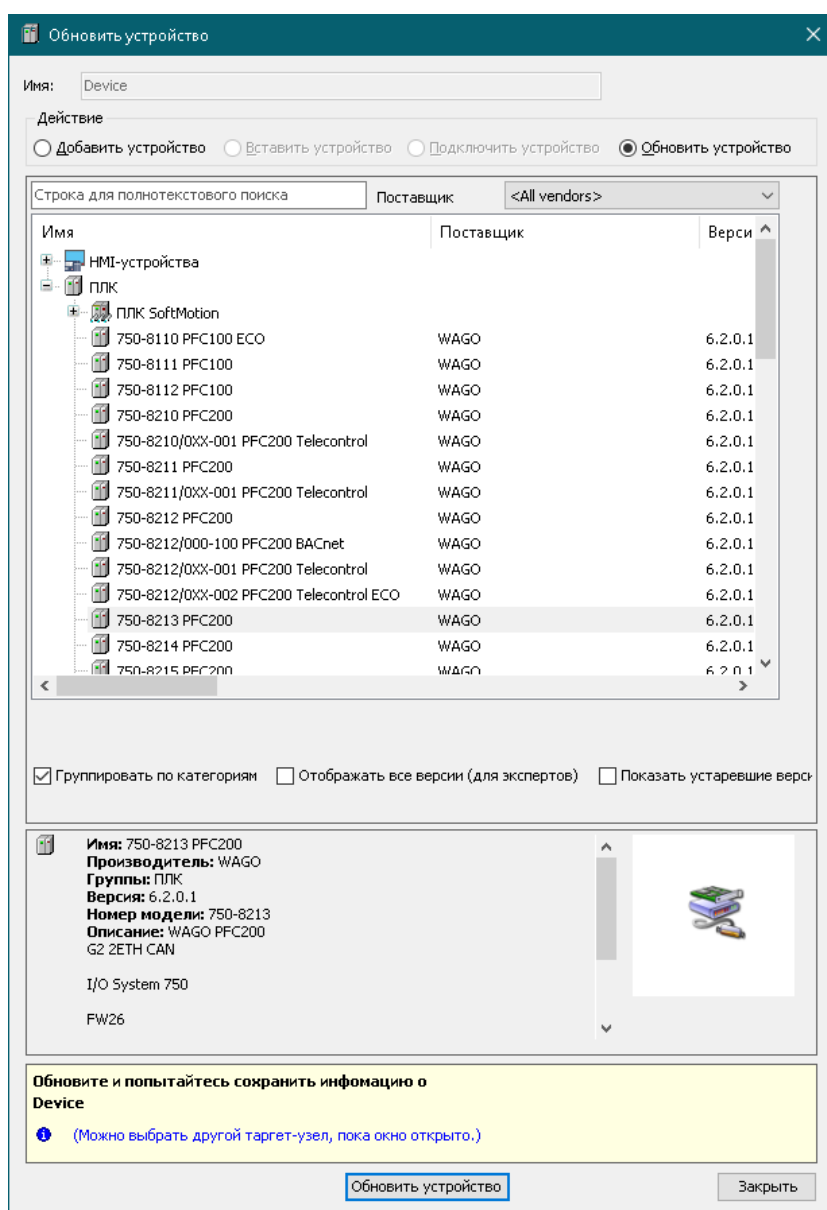


Рис.6.1 – Вікно вибору контролера у середовищі CoDeSys.

Добавить устройство

Имя:

Действие: Добавить устройство Вставить устройство Подключить устройство Обновить устройство

Строка для полнотекстового поиска Поставщик: <All vendors>

Имя	Поставщик	Версия	Описание:
750-1491#08	WAGO	2.0.0.23	2AI Resistor Bridge (Strain Gauge)
750-1491#08	WAGO	2.0.0.23	2AI Resistor Bridge (Strain Gauge)
750-1491#16	WAGO	2.0.0.23	2AI Resistor Bridge (Strain Gauge)
750-450#08	WAGO	2.0.0.9	4AI RTD/ adj. (8 Bytes) 0750-04
750-451#16	WAGO	2.0.0.10	8AI RTD/ adj. (16 Bytes) 0750-0
750-451/025-000#16	WAGO	2.0.0.10	8AI RTD/ adj. T (16 Bytes) 0750
750-452#04	WAGO	2.0.0.9	2AI 0-20mA Diff (4 Bytes) 0750-C
750-452/000-001#04	WAGO	2.0.0.9	2 AI 0-20mA Diff RC (4 Bytes) 07
750-452/000-002#04	WAGO	2.0.0.9	2 AI 0-20mA Diff SS (4 Bytes) C
750-452/000-200#04	WAGO	2.0.0.9	2 AI 0-20mA Diff (4 Bytes) 075
750-452/002-000#04	WAGO	2.0.0.9	2 AI 0-20mA Diff (4 Bytes) 0750-
750-452/006-000#04	WAGO	2.0.0.9	2AI 0-20mA Diff (4 Bytes) 0750-C
750-453#08	WAGO	2.0.0.9	4AI 0-20mA SE (8 Bytes) 0750-0
750-453/040-000#08	WAGO	2.0.0.9	4AI 0-20mA SE XTR (8 Bytes) 07
750-453/200-000#08	WAGO	2.0.0.9	4AI 0-20mA SE (8 Bytes) 0750-0
750-454#04	WAGO	2.0.0.9	2AI 4-20mA Diff (4 Bytes) 0750-C
750-454/000-001#04	WAGO	2.0.0.9	2AI 4-20mA Diff RC (4 Bytes) 07

Группировать по категориям Отображать все версии (для экспертов) Показать устаревшие веро

Имя: 750-453#08
 Производитель: WAGO
 Группа:
 Версия: 2.0.0.9
 Номер модели: 750-453
 Описание: 4AI 0-20mA SE (8 Bytes) 0750-0453

Добавить выбранное устройство как последнего потомка Kbus
 (Можно выбрать другой таргет-узел, пока окно открыто.)

Добавить устройство Закрыть

Добавить устройство

Имя:

Действие: Добавить устройство Вставить устройство Подключить устройство Обновить устройство

Строка для полнотекстового поиска Поставщик: <All vendors>

Имя	Поставщик	Версия	Описание:
750-552/006-000#04	WAGO	2.0.0.9	2AO 0-20mA (4 Bytes) 0750-055
750-552/025-000#04	WAGO	2.0.0.9	2AO 0-20mA T (4 Bytes) 0750-0E
750-553#08	WAGO	2.0.0.9	4AO 0-20mA (8 Bytes) 0750-055
750-554#04	WAGO	2.0.0.9	2AO 4-20mA (4 Bytes) 0750-055
750-554/000-002#04	WAGO	2.0.0.9	2 AO 4-20mA (4 Bytes) 0750-05E
750-554/000-200#04	WAGO	2.0.0.9	2AO 4-20mA SS (4 Bytes) 0750-C
750-554/002-000#04	WAGO	2.0.0.9	2 AO 4-20mA (4 Bytes) 0750-05E
750-554/006-000#04	WAGO	2.0.0.9	2AO 4-20mA (4 Bytes) 0750-055
750-554/025-000#04	WAGO	2.0.0.9	2AO 4-20mA T (4 Bytes) 0750-0E
750-555#08	WAGO	2.0.0.12	4AO 4-20mA (8 Bytes) 0750-055
750-556#04	WAGO	2.0.0.9	2AO ±10 VDC (4 Bytes) 0750-05E
750-556/000-200#04	WAGO	2.0.0.9	2AO ±10 VDC SS (4 Bytes) 0750-
750-556/002-000#04	WAGO	2.0.0.9	2 AO ±10V (4 Bytes) 0750-055E/
750-556/006-000#04	WAGO	2.0.0.9	2AO ±10 VDC (4 Bytes) 0750-05E
750-557#08	WAGO	2.0.0.9	4AO ±10 VDC (8 Bytes) 0750-05E
750-557/040-000#08	WAGO	2.0.0.9	4AO ±10 VDC XTR (8 Bytes) 075
750-558#08	WAGO	2.0.0.13	4AO 0-10 VDC (8 Bytes) 0750-05E

Группировать по категориям Отображать все версии (для экспертов) Показать устаревшие веро

Имя: 750-555#08
 Производитель: WAGO
 Группа:
 Версия: 2.0.0.12
 Номер модели: 750-555
 Описание: 4AO 4-20mA (8 Bytes) 0750-0555

Добавить выбранное устройство как последнего потомка Kbus
 (Можно выбрать другой таргет-узел, пока окно открыто.)

Добавить устройство Закрыть

Добавить устройство

Имя:

Действие: Добавить устройство Вставить устройство Подключить устройство Обновить устройство

Строка для полнотекстового поиска Поставщик: <All vendors>

Имя	Поставщик	Версия	Описание:
750-412/000-001	WAGO	2.0.0.11	2DI 48 VDC 3ms NC 0750-0412/0
750-414	WAGO	2.0.0.11	4DI 5 VDC 0.2ms 0750-0414
750-415	WAGO	2.0.0.11	4DI 24 VAC/VDC 20ms 0750-0415
750-416	WAGO	2.0.0.11	2DI 120/230 VAC 0750-0416
750-419	WAGO	2.0.0.12	2DI 24 VDC 3ms Diagn 0750-0419
750-421	WAGO	2.0.0.12	2DI 24 VDC 3ms Diagn 0750-042
750-422	WAGO	2.0.0.11	4DI 24 VDC Pulse Extension 0750
750-423	WAGO	2.0.0.11	4DI 24 VAC/VDC 50ms 0750-042
750-424	WAGO	2.0.0.12	2DI Intruder Detection 0750-042
750-425	WAGO	2.0.0.12	2DI NAMUR 0750-0425
750-427	WAGO	2.0.0.11	2DI 110 VDC 0750-0427
750-427/040-000	WAGO	2.0.0.11	2DI 110 VDC 3ms XTR 0750-0427
750-428	WAGO	2.0.0.11	4DI 42 VAC/VDC 20ms 0750-0428
750-429/040-001	WAGO	2.0.0.11	2DI 60 VDC 3ms XTR 0750-0429/
750-430	WAGO	2.0.0.14	8DI 24 VDC 3ms 0750-0430
750-430/025-000	WAGO	2.0.0.12	8DI 24 VDC 3ms T 0750-0430/00
750-430/040-000	WAGO	2.0.0.14	8DI 24 VDC 3ms XTR 0750-0430/

Группировать по категориям Отображать все версии (для экспертов) Показать устаревшие веро

Имя: 750-430
 Производитель: WAGO
 Группа:
 Версия: 2.0.0.14
 Номер модели: 750-430
 Описание: 8DI 24 VDC 3ms 0750-0430

Добавить выбранное устройство как последнего потомка Kbus
 (Можно выбрать другой таргет-узел, пока окно открыто.)

Добавить устройство Закрыть

Добавить устройство

Имя:

Действие: Добавить устройство Вставить устройство Подключить устройство Обновить устройство

Строка для полнотекстового поиска Поставщик: <All vendors>

Имя	Поставщик	Версия	Описание:
750-516	WAGO	2.0.0.11	4DO 24 VDC 0.5A LSS 0750-051E
750-517	WAGO	2.0.0.11	2RO AC 250 V 1A Pot-free Relay2
750-517/040-000	WAGO	2.0.0.11	2RO 230 VAC 1A Relay2CO XTR i
750-519	WAGO	2.0.0.11	4DO 5 VDC 20mA 0750-0519
750-520	WAGO	2.0.0.11	2 DO Relais, 230V AC, 2a, Diode
750-527	WAGO	2.0.0.1	4DO 30V AC/DC 2.0A SSR 0750-0
750-528	WAGO	2.0.0.1	4DO 30V AC/DC 2.0A SSR/ Isolatr
750-530	WAGO	2.0.0.15	8DO 24 VDC 0.5A 0750-0530
750-530/006-000	WAGO	2.0.0.11	8DO 24 VDC 0.5A 0750-0530/00
750-530/025-000	WAGO	2.0.0.11	8DO 24 VDC 0.5A T 0750-0530/0
750-531	WAGO	2.0.0.11	4DO 24 VDC 0.5A 2-wire 0750-0E
750-534	WAGO	2.0.0.11	8DO 12 VDC 1A 0750-0534
750-535	WAGO	2.0.0.11	2DO 24 VDC Ex i 0750-0535
750-535/040-000	WAGO	2.0.0.11	2DO 24 VDC Ex i XTR 0750-0535/
750-536	WAGO	2.0.0.11	8DO 24 VDC 0.5A LSS 0750-053E
750-538	WAGO	2.0.0.11	2RO Relay2CO Ex i 0750-0538
750-540	WAGO	2.0.0.11	4DO 230 VAC 0.5A SSR 0750-0

Группировать по категориям Отображать все версии (для экспертов) Показать устаревшие веро

Имя: 750-530
 Производитель: WAGO
 Группа:
 Версия: 2.0.0.15
 Номер модели: 750-530
 Описание: 8DO 24 VDC 0.5A 0750-0530

Добавить выбранное устройство как последнего потомка Kbus
 (Можно выбрать другой таргет-узел, пока окно открыто.)

Добавить устройство Закрыть

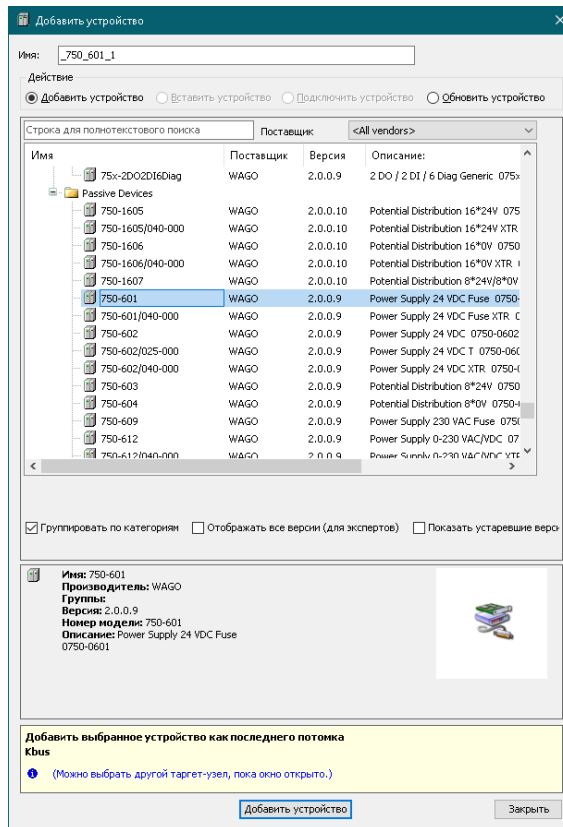
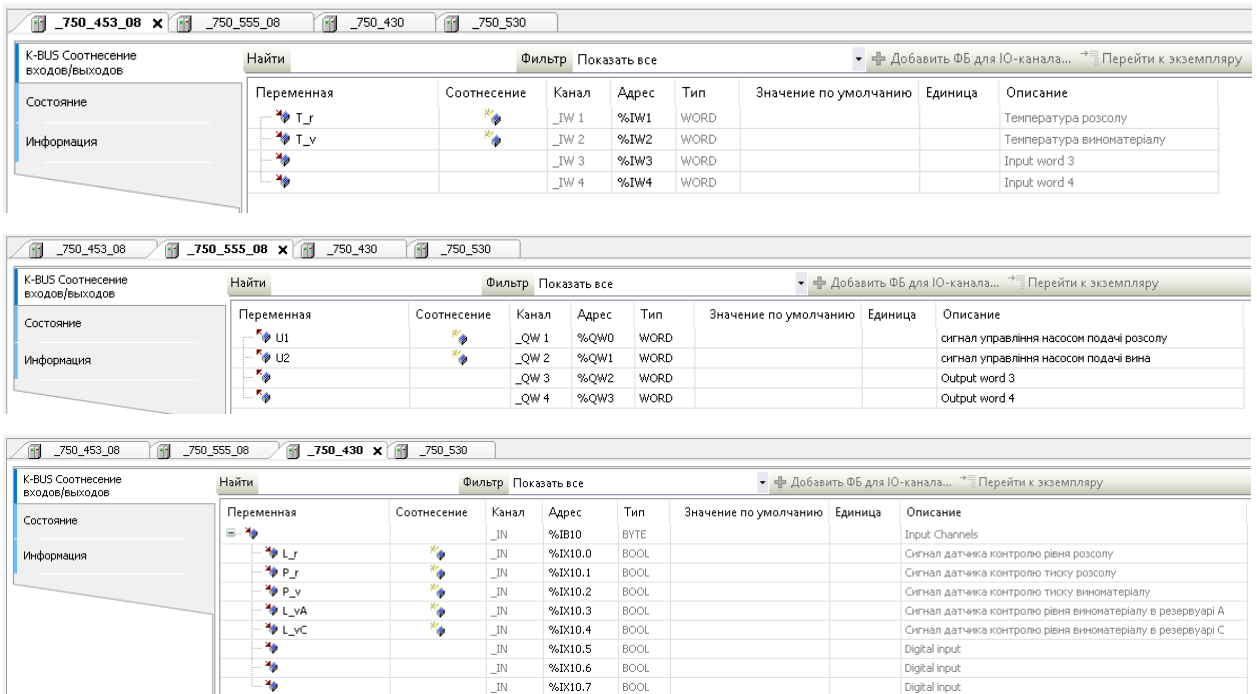


Рис. 6.2 – Фрагменты вікон конфігурування модулів ПЗО WAGO.



Переменная	Соотнесение	Канал	Адрес	Тип	Значение по умолчанию	Единица	Описание
M1		_OUT	%Q8.0	BOOL			Сигнал управления двигуном M1
M4		_OUT	%Q8.1	BOOL			Сигнал управления двигуном M4
M3		_OUT	%Q8.2	BOOL			Сигнал управления двигуном M3
M2		_OUT	%Q8.3	BOOL			Сигнал управления двигуном M2
K1		_OUT	%Q8.4	BOOL			Положения клапана K1
		_OUT	%Q8.5	BOOL			Digital output
		_OUT	%Q8.6	BOOL			Digital output
		_OUT	%Q8.7	BOOL			Digital output

Рис. 6.3 – Фрагменты вікон конфігурування модулю ПЗО у CodeSys .

Після завершення конфігурації переходимо до програмної реалізації алгоритмів керування.

6.2. Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК

Модель САР розраховується у програмному модулі POU_100ms, який обчислюється кожно 0.1 секунди. Час обчислення задається при конфігуруванні контролера у розділі «Конфігурація задач» (рис.6.4).

Имя группы	Core	Приоритет
IEC-Tasks	Фиксированное крепление	
Task100ms		1
Task50ms		1
TrendRecordingTask		31

Рис. 6.4– Загальний вигляд вікна проекту при конфігуруванні задач.

На рис. 6.5представлений фрагмент програми, який реалізує модель об'єкта керування та алгоритми регулювання.

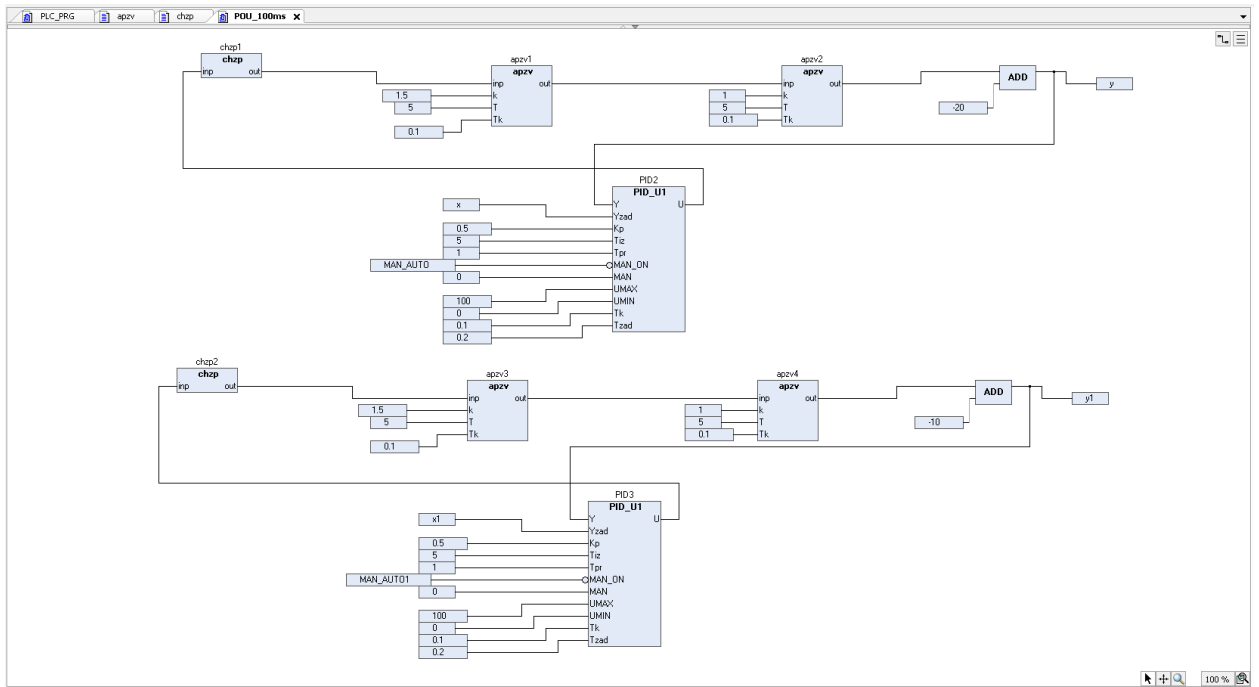


Рис. 6.5 – фрагмент програми, який реалізує модель об'єкта керування та алгоритми регулювання.

Для реалізації моделі об'єкта керування використовувались спеціально розроблені функціональні блоки динамічних ланок: ланки запізнення та статичної аперіодичної інерційної ланки першого порядку. На рис. 6.6 та 6.7 представлені фрагменти програм реалізації цих ланок мовою ST.

```

1  FUNCTION_BLOCK apzv
2  VAR_INPUT
3      inp: REAL; (* *)
4      k: REAL;
5      T: REAL;
6      Tk: REAL;
7  END_VAR
8  VAR_OUTPUT
9      out: REAL;
10 END_VAR
11 VAR
12 END_VAR

1  out:= (Tk*k*inp + T*out)/(T + Tk);

```

Рис. 6.6 – Фрагмент програми, яка реалізує статичну аперіодичну інерційну ланку першого порядку.

```

PLC_PRG | chzp x | POU_100ms
1 | FUNCTION_BLOCK chzp
2 | VAR_INPUT
3 |     inp: REAL;
4 | END_VAR
5 | VAR_OUTPUT
6 |     out: REAL;
7 | END_VAR
8 | VAR
9 |     data: ARRAY[1..20] OF REAL :=[ 20(0)];
10 |     i: INT:=1;
11 | END_VAR

1 | out:=data[i];
2 | data[i]:=inp;
3 | i:=i+1;
4 | IF i > 20 THEN
5 |     i:=1;
6 | END_IF;

```

Рис. 6.7 – Фрагмент програми, яка реалізує ланку запізнення.

Для реалізації алгоритмів регулювання використовувались спеціально розроблений функціональний блок ПД – регулятору з інерційним задатчиком та переключенням режиму РУЧ/АВТ. Цей блок розроблений мовою ST . На рис. 6.8 представлена внутрішня структура регулятора.

```

PLC_PRG  POU_100ms  PID_U1 x
1  FUNCTION BLOCK PID_U1
2  VAR_INPUT
3      Y: REAL; (*регулируемая переменная*)
4      Yzad: REAL; (*заданное значение*)
5      Kp: REAL; (*коэфф. передачи*)
6      Tiz: REAL; (*время издроста*)
7      Tpr: REAL; (*время предварения*)
8      MAN_ON: BOOL; (*ручной режим Вкл.\Выкл.*)
9      MAN: REAL; (*Управл. возд. в ручном режиме*)
10     UMAX: REAL; (*максимал. знач. управл. возд.*)
11     UMIN: REAL; (*минимал. знач. управл. возд.*)
12     Tk: REAL; (*шаг квантования*)
13     Tzad: REAL;
14 END_VAR
15 VAR_OUTPUT

1  (*Ручной режим управления*)
2  IF MAN_ON = TRUE THEN
3      U:=MAN;
4      Ui:= U;
5      Yzadd:= Y;
6      Ud:=0;
7      Up_1:=0;
8  ELSE
9      (**ПИД- алгоритм управления **)
10     (*Расчет инерционного задатчика*)
11     Yzadd:= (Tk*Yzad + Tzad*Yzadd)/(Tk+Tzad);
12     (*Расчет ошибки регулирования*)
13     DY:= Yzadd - Y;
14     (*Расчет П-составляющей*)
15     Up:= Kp*DY;
16     (*Расчет И-составляющей*)
17     Ui:= (Tk/Tiz)*Up + Ui;
18     (*Реализация ограничения И-составляющей*)
19     IF Ui > UMAX THEN
20         Ui:= UMAX;
21     ELSIF Ui < UMIN THEN
22         Ui:= UMIN;
23     END_IF;
24     (*Расчет Д-составляющей*)
25     Ud:= (Tpr*(Up-Up_1)+0.2*Tpr*Ud)/(Tk+0.2*Tpr);
26     Up_1:=Up; (*Переопределение промежуточной переменной для расчета Д-сост.*)
27     (** Расчет управляющего воздействия **)
28     U:= Up + Ui + Ud;
29 END_IF;
30     (*Реализация ограничения управляющего воздействия*)
31     IF U > UMAX THEN
32         U:= 100;
33     ELSIF U < UMIN THEN
34         U:= 0;
35     END_IF;

```

Рис. 6.8 – Код программы ПИД - регулятора.

6.3. Програмна реалізація алгоритмів логічного керування

Програмна реалізація алгоритмів логічного керування виконана в програмному модулі PLC_PRG який обчислюється з кроком 0.05с. Фрагмент

програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки наведено на рис. 6.9 та 6.10.

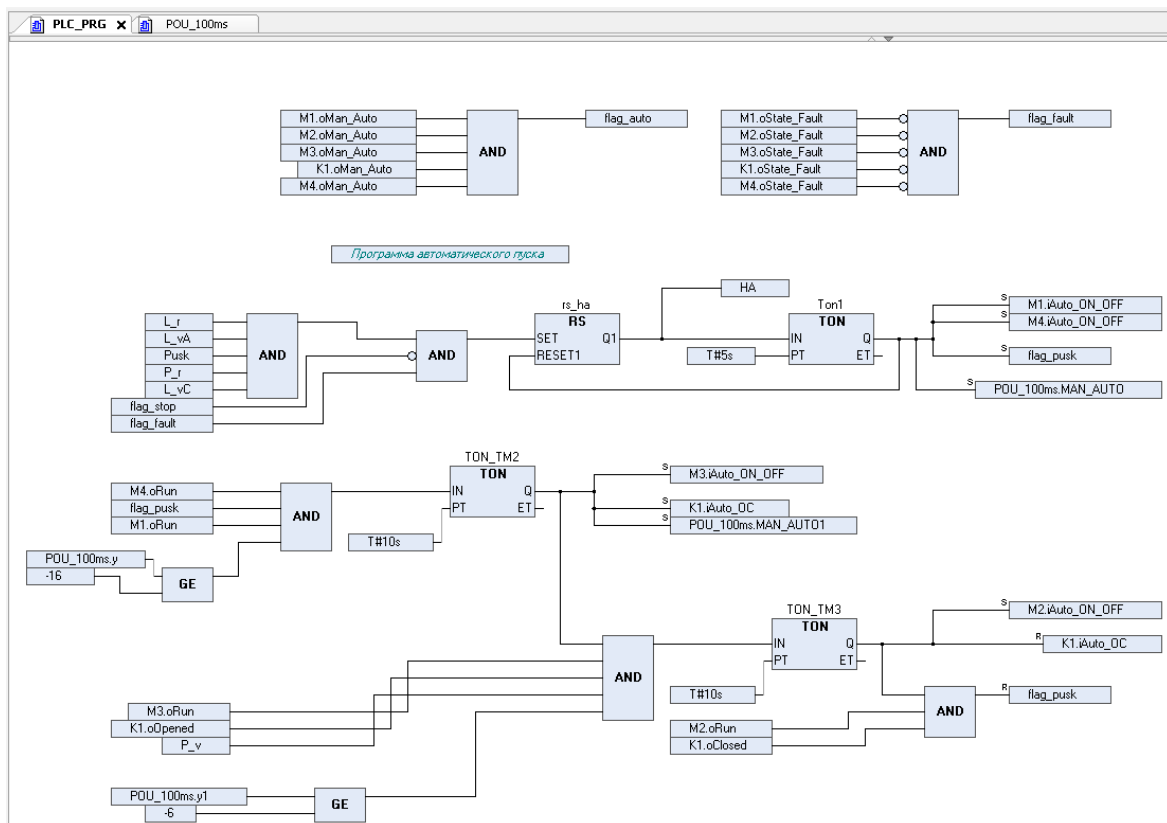


Рис. 6.9 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску.

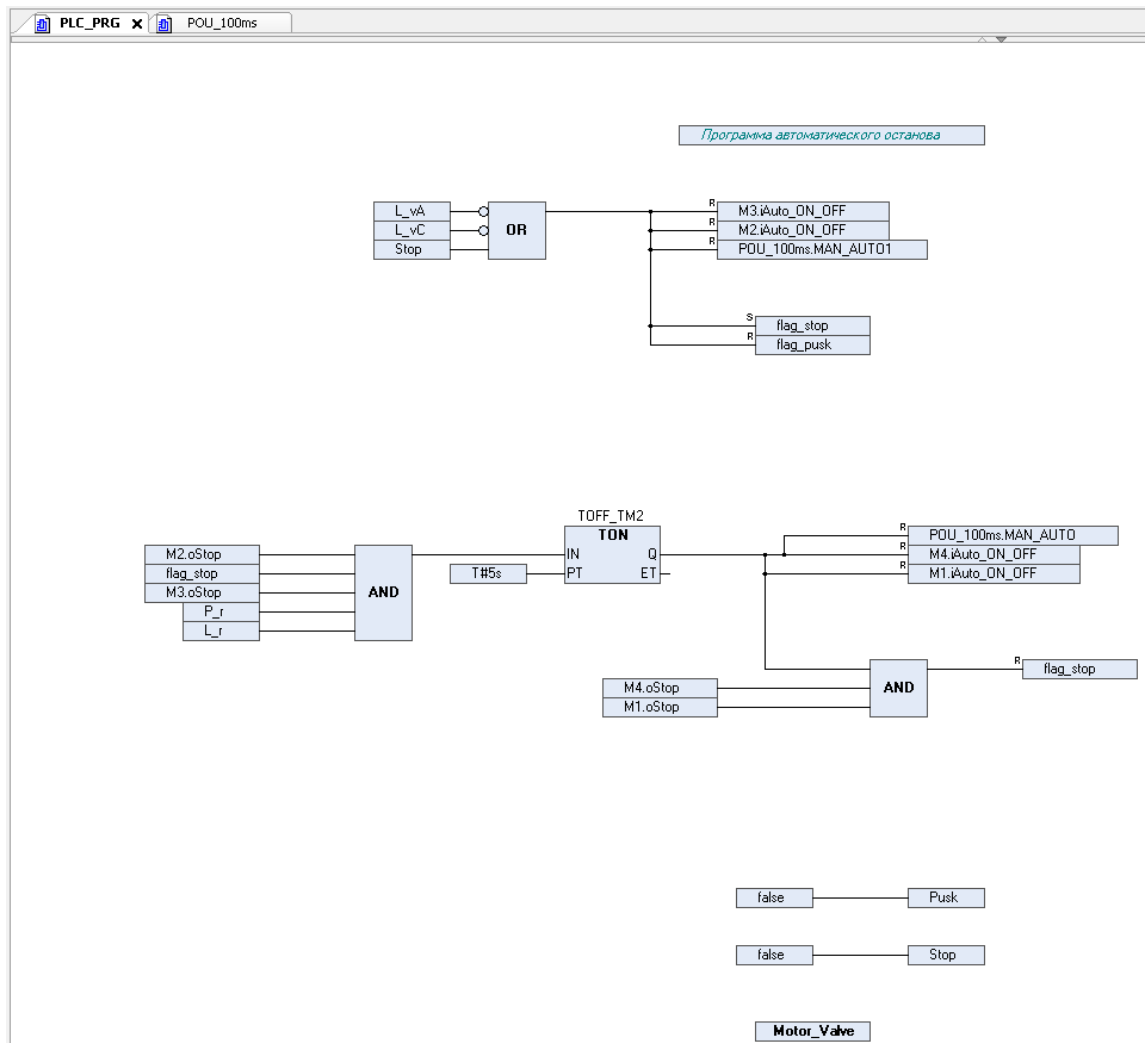


Рис. 6.10 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичної зупинки.

Програма логічного керування формує сигнали для підпрограм керування двигунами, клапанами та контурами регулювання. Розрахунок підпрограм керування двигунами та клапанами виконується у програмному модулі Motor_Valve. (рис. 6.11)

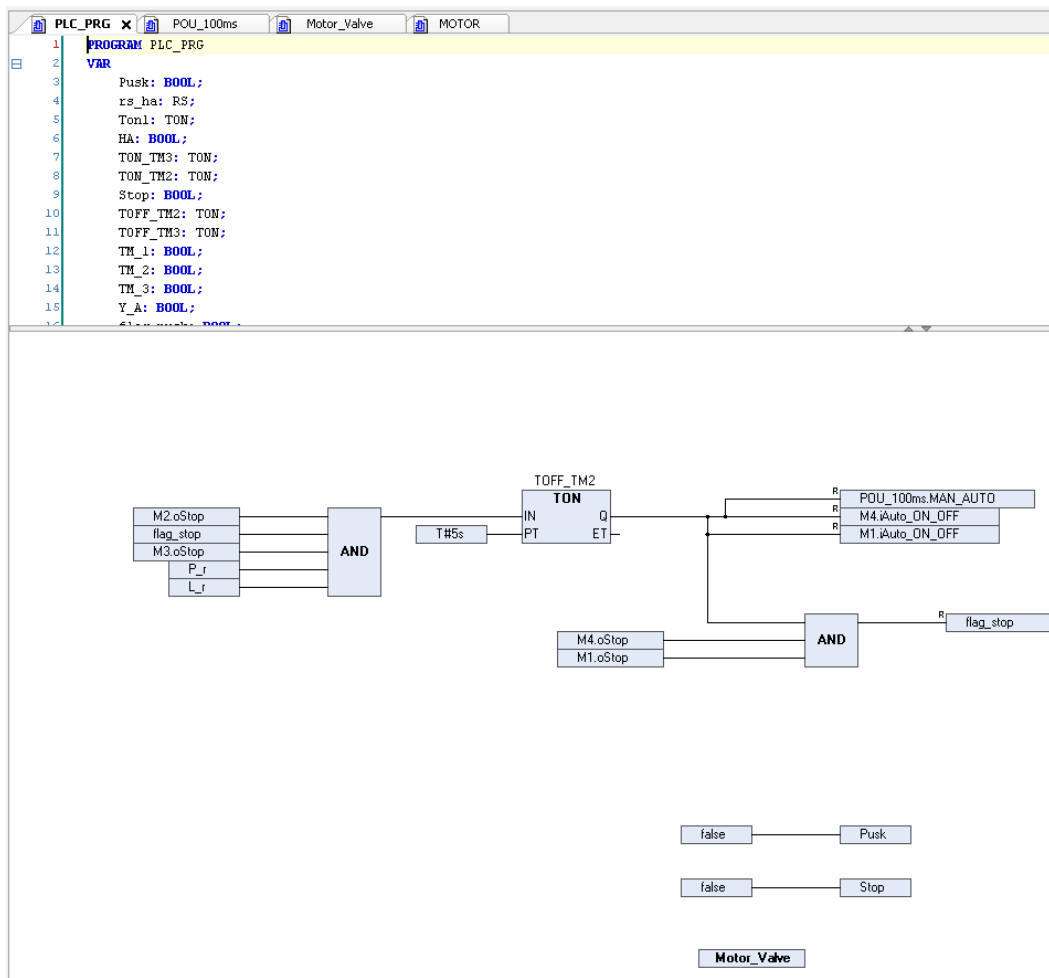


Рис. 6.11 – Фрагмент програми PLC_PRG з викликом модуля Motor_Valve.

Внутрішня структура програмного модуля Motor_Valve наведена на рис. 6.12.

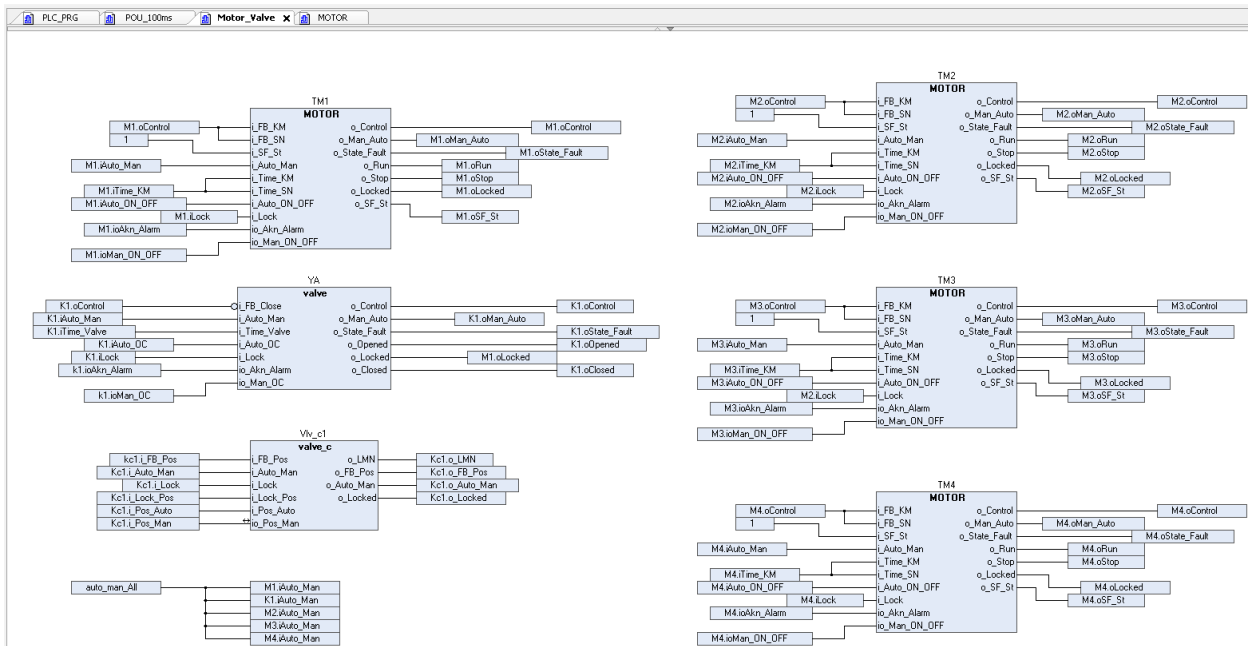


Рис. 6.12 – Фрагмент внутрішньої структури програмного модуля Motor_Valve

Декілька входів та виходів функціональних блоків управління двигунами та клапанами з'єднуються з входами та виходами контролера для управління та аналізу стану двигуна. Внутрішня структура функціонального блоку керування двигуном на рис. 6.13.

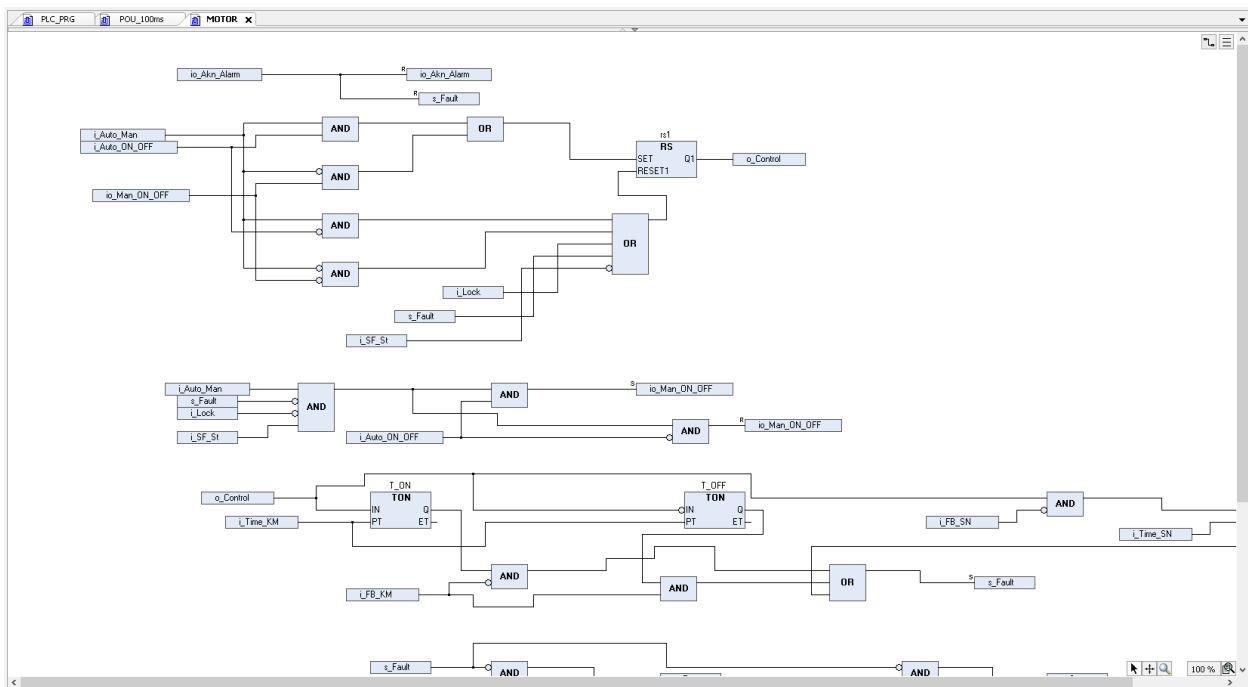


Рис. 6.13 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном.

Результати тестування програми при виконанні алгоритмів пуску та зупинки підтвердили правильність реалізації. Фрагмент програми та графічний інтерфейс при тестуванні алгоритму пуску наведено на рис. 6.14 та 6.15.

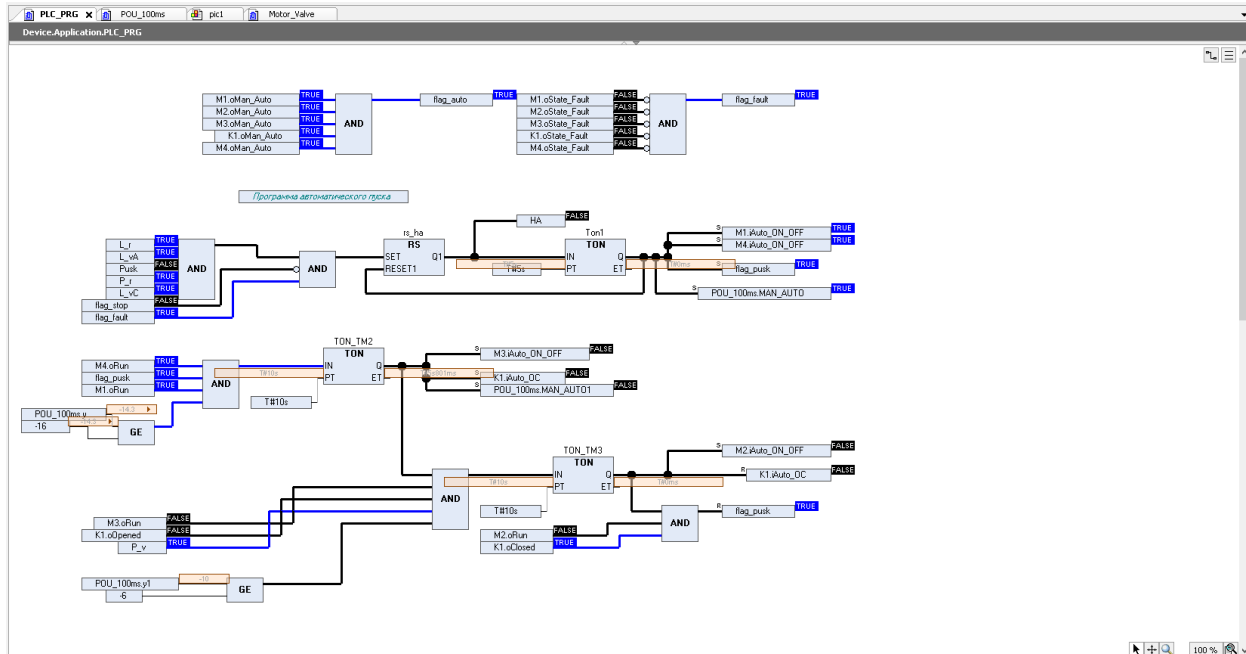


Рис. 6.14 – Фрагмент програми (в режимі тестування) що реалізує алгоритм пуску.

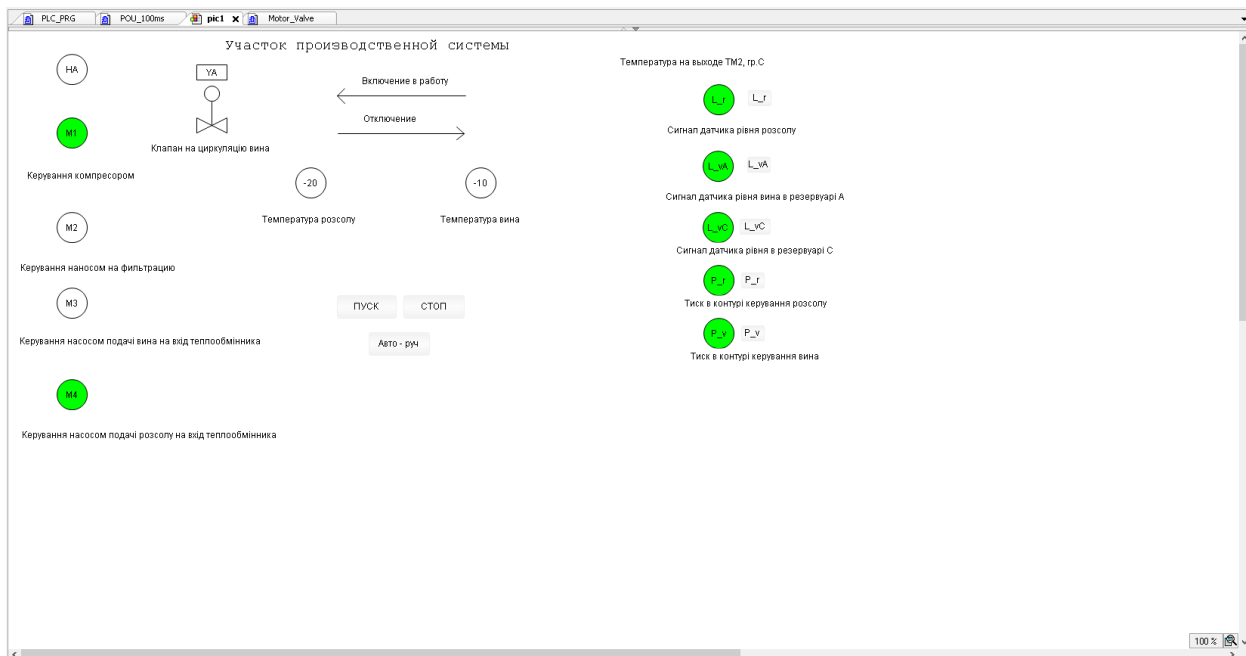


Рис. 6.15 – Фрагмент графічного інтерфейсу оператора.

Результати тестування програми у режимі емуляції контролера, що реалізує управління пуском та зупинкою процесу охолодження виноматеріалу в установці швидкого охолодження підтверджують коректність реалізації програми моделі САР та програми логічного керування.

6.4. Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC-сервера

Взаємодія автоматизованого робочого місця (АРМ) та мережі контролерів з допомогою OPC - сервер розглянемо на прикладі реалізації зв'язку засобами пакету CoDeSys 3.5, в якому розробляється ПО контролера. Як приклад розглянемо реалізацію зв'язку тільки для контурів регулювання. В наявності контролера WAGO 750-8213 не має, тому для тестування в якості цільової платформи оберемо 3S CoDeSys SP PLCWinNT V 2.4. та відзначимо необхідність завантаження символічного файлу

Проводимо конфігурацію OPC – серверу у пакеті CoDeSys 3.5, для обміну даними зі SCADAсистемою. Для цього вказуємо які змінні потрібно включити в мережевий обмін даними (рис. 6.16) та налаштовуємо параметри мережевого зв'язку (рис. 6.17). В мережевий обмін включаємо регульовані змінні та їхні задані значення.

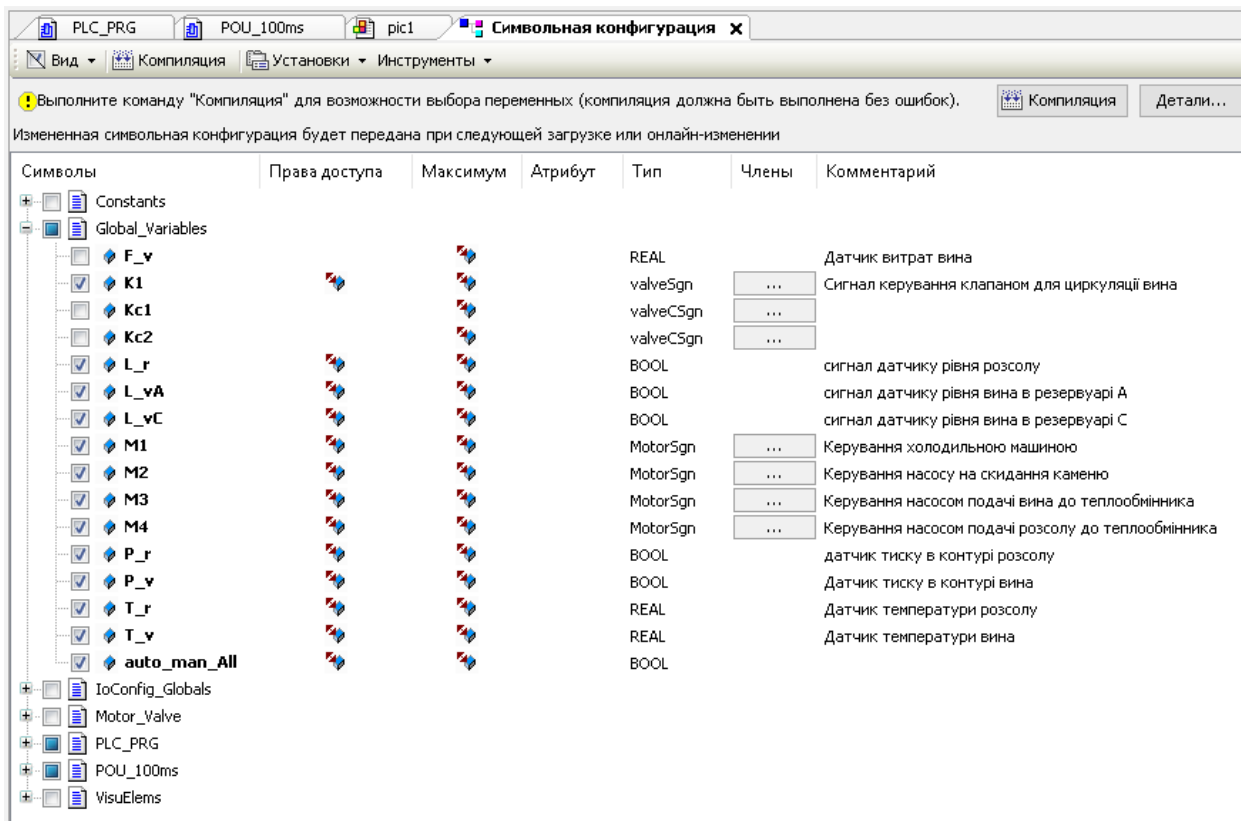


Рис. 6.16 – Фрагмент налаштування символічного файлу для обміну даними з використанням OPC - сервера.

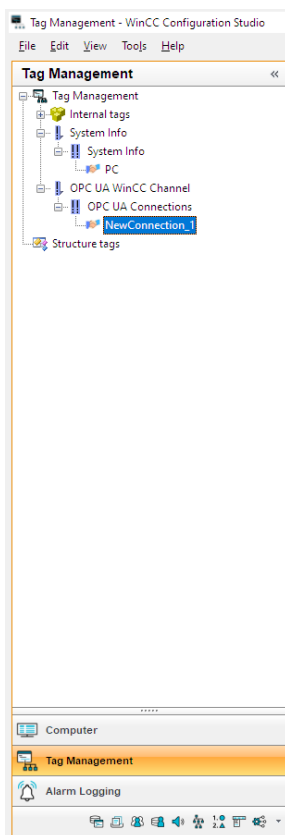


Рис. 6.17 – Вікно налаштування параметрів мережевого зв'язку для OPC - сервера.

Після конфігурації обрані змінні будуть доступні OPC - клієнтам.
Зокрема SCADA-системам.

У середовищі SCADA-системи WinCC реалізуємо вікно трендів для відображення зміни поточних та заданих значень регульованих змінних. Проводимо підключення до OPC сервера CoDeSys 3.5 в середовищі WinCC та формування нових тегів.

На рис. 6.18 та 6.19 представлені вікна налаштування мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys та створення тегів пов'язаних з OPC сервером в SCADA системі WinCC.

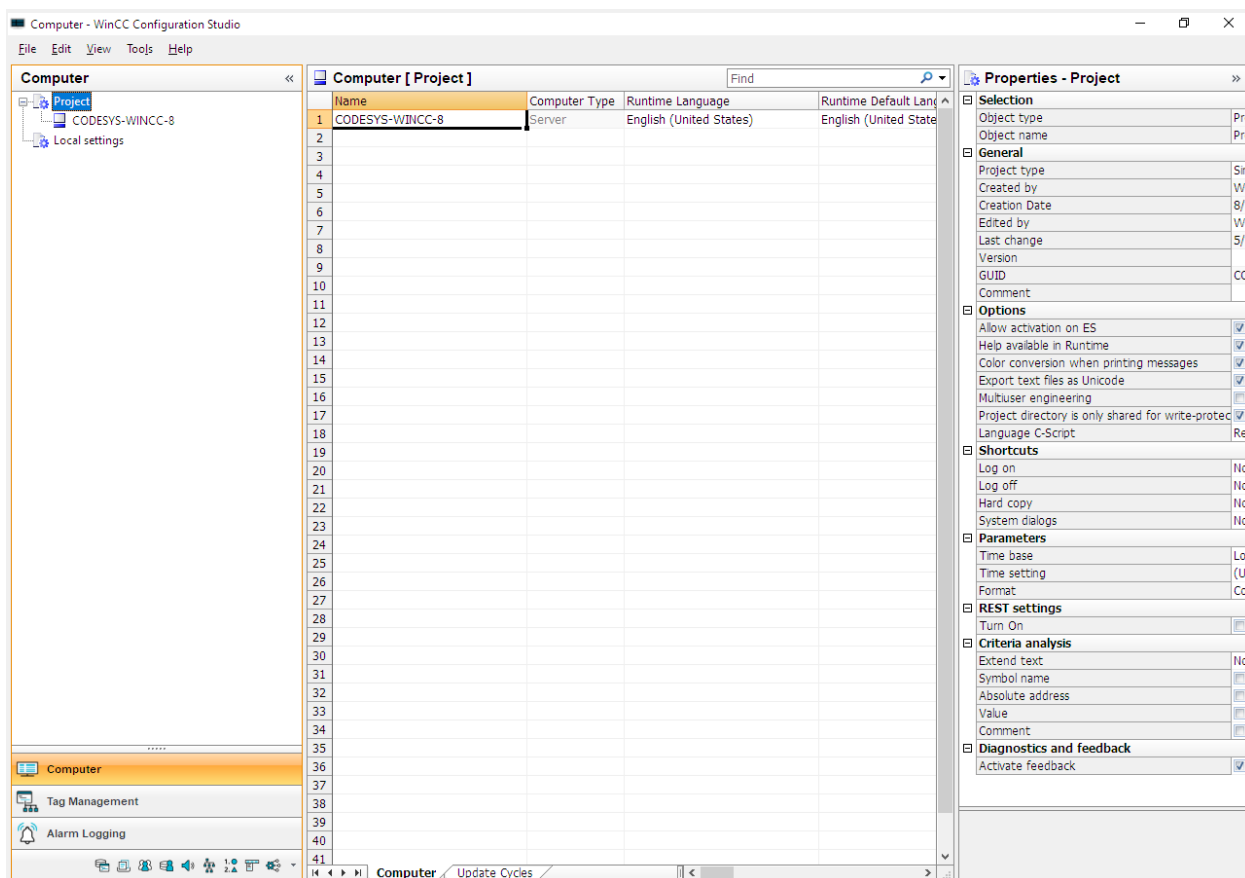


Рис. 6.18 – Вікно створення мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys в SCADA системі WinCC.

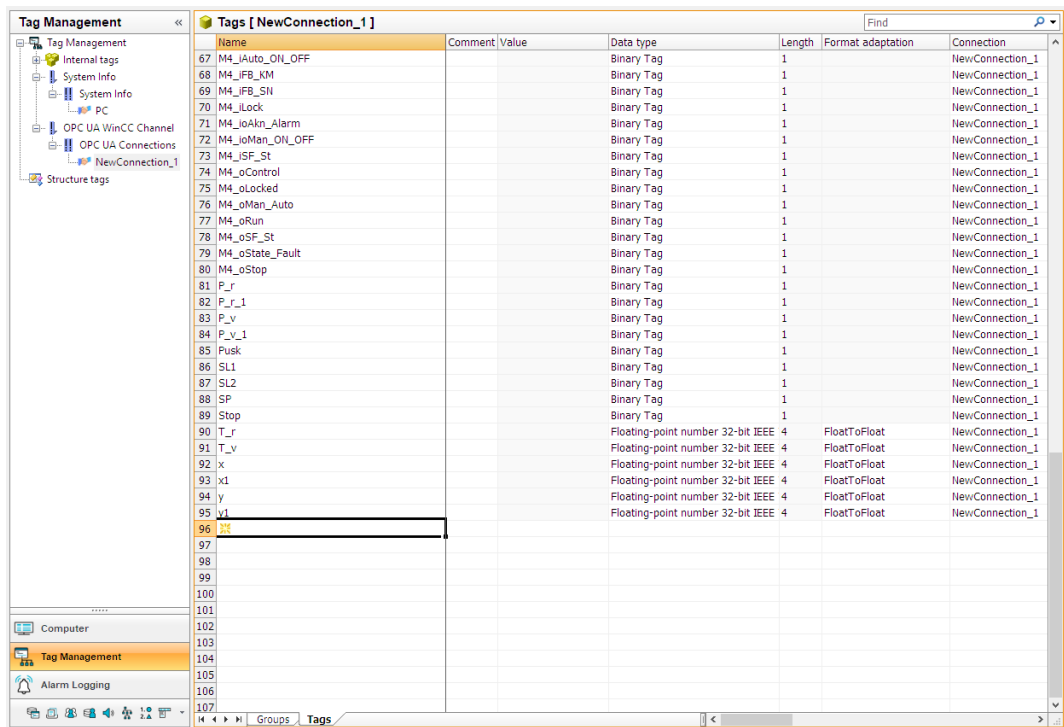


Рис. 6.19 – Вікно створення тегів пов'язаних з OPC сервером CoDeSys в SCADA системі WinCC.

Результати тестування мережевого обміну даними між SCADA системою WinCC і програмою контролера створеної в пакеті CoDeSys з допомогою OPC сервера CoDeSys підтвердили обмін даними.

6.5. Висновки за розділом

В даному розділі була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування процесом охолодження виноматеріалу в установці швидкого охолодження, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу, в середовищі CoDeSys розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання, проведена їх перевірка, яка засвідчила роботоспроможність програм та їх відповідність алгоритмам керування.

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

7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ операторатехнолога

Робоче місце оператора-технолога процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують виконання його професійних обов'язків.

З урахуванням цього АРМ оператора-технолога має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

1. Контролювати значення технологічних параметрів процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу і задавати режими роботи обладнання.
2. Контролювати стан обладнання процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу (ввімкнений, вимкнений, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів обладнання.
3. Керувати запуском і зупинкою обладнання в ручному та автоматичному режимах управління.
4. Керувати окремим обладнанням в ручному режимі.
5. Контролювати виникнення порушень в роботі обладнання і оперативно реагувати на них.

Виходячи із викладеного раніше, в проекті, для реалізації АРМ оператора-технолога передбачені наступні екрани:

- 1) Мнемосхема ділянки. Основний екран із зображенням мнемосхеми процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу дозволяє контролювати хід процесу, керувати обладнанням, міняти режими роботи обладнання та контролювати виникнення порушень в роботі.
- 2) Графіки. Екран, призначений для відображення графіку зміни температури холодоагенту та температури виноматеріалу.

3) Технічні повідомлення, Буфер повідомлень. Архів повідомлень. Екрани, призначені для відображення діагностичних повідомлень різних класів.

4) Умовні позначення. Екран допомоги для нових недосвідчених користувачів.

7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога

7.2.1. Шаблон екранів

Шаблон екранів створюється в окремому підрозділі графічного редактора екранів SCADA-системи WinCCFlexible. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону (рис.7.1) будуть присутні на всіх екранах що входять в проект.

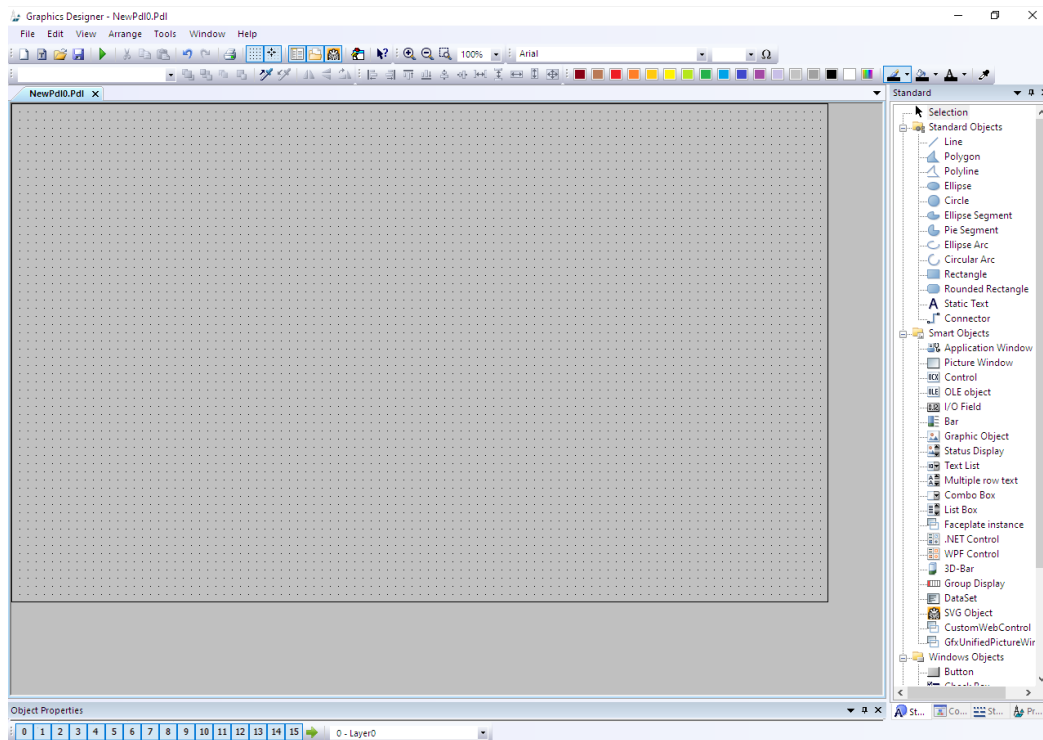


Рис.7.1 – Загальний вигляд шаблону вікон.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикання екранів АРМ. Заголовок екрану створений з використанням типових елементів графічного редактора системи WinCC. Він включає логотипи академії та розробника проекту, загальна назва технологічного процесу, елементи відображення поточної дати і часу, елемент відображення поточної активної помилки, а також текстове поле виведення назви поточного активного вікна.

Висновок назви вікна здійснюється за допомогою виклику підпрограми (рис.7.2).

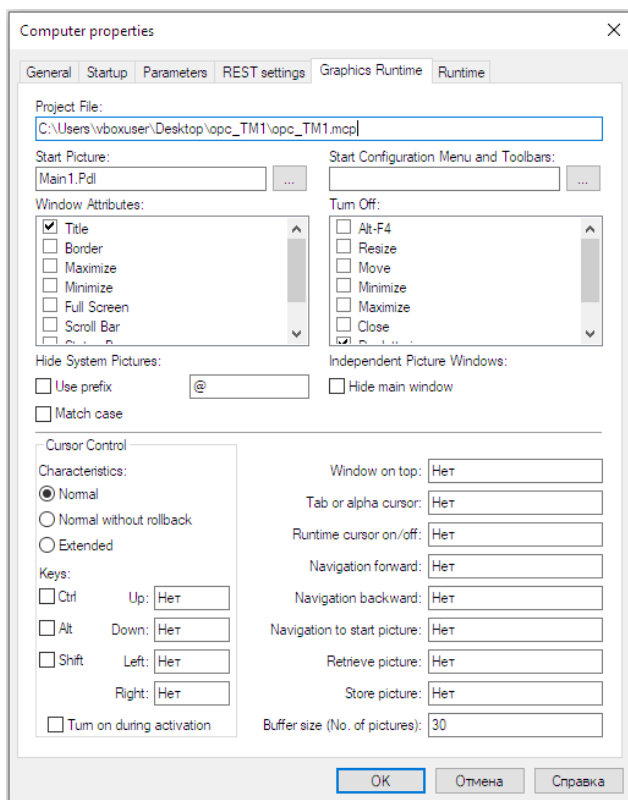


Рис.7.2 – Вихідний код підпрограми відображення назви активного вікна

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції. У заголовку екрану також відображається ім'я поточного активного користувача.

7.2.2. Мнемосхема ділянки

Основне вікно «Мнемосхема ділянки» (рис. 7.3) містить схематичне зображення установки охолодження з елементами відображення і управління. Зображення агрегатів установки охолодження створено в графічному редакторі SCADA - системи WinCC з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на мнемосхемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати

стан обладнання і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням.

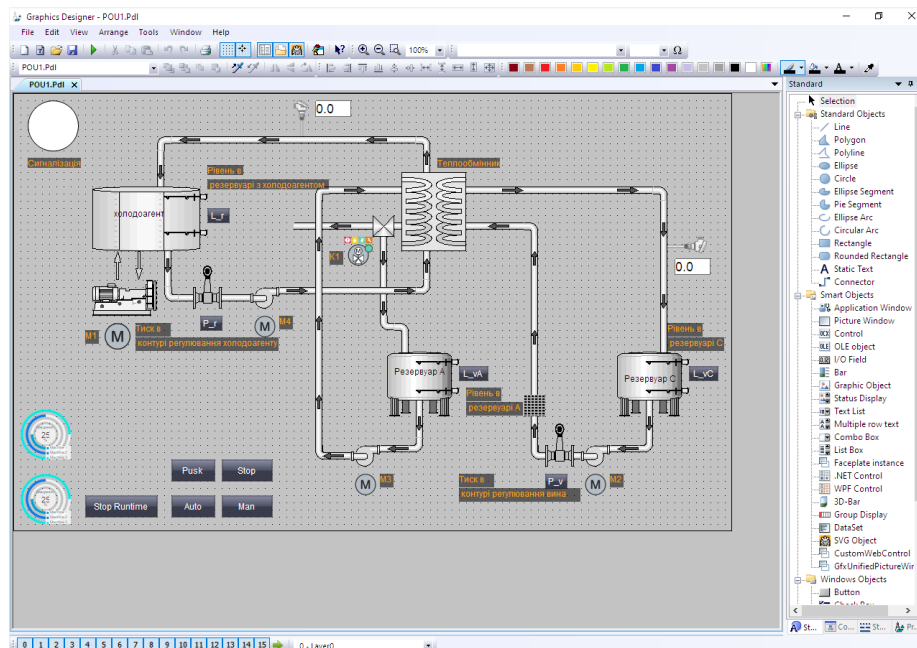


Рис. 7.3 – Загальний вигляд вікна «Мнемосхема ділянки».

Відображення поточних значень і введення заданих значень технологічних параметрів виконується з використанням елементів «SVGObject», які пов'язують з відповідними тегамі. Відображення дискретних сигналів з датчиків виконується за допомогою елементів «Circle» за рахунок зміни їх кольору. Також зміною кольору елементів мнемосхеми установки охолодження або зміна кольору трєб вказують напрямок потоку складових, холодоагента та виноматеріалу, відображається включення двигунів і відкриття клапанів.

Контроль стану двигунів і клапанів реалізований з використанням спеціально розроблених в редакторі «Faceplate» екранних форм (рис. 7.4).



Рис. 7.4 – Екранні форми для контролю стану двигунів та виконавчих пристроїв.

Екранні форми підключаються до відповідних тегів у контролері і відображають стан і режим роботи обладнання.

Керувати двигунами і клапанами оператор може з використанням спеціальних екранних форм керування (рис. 7.5).

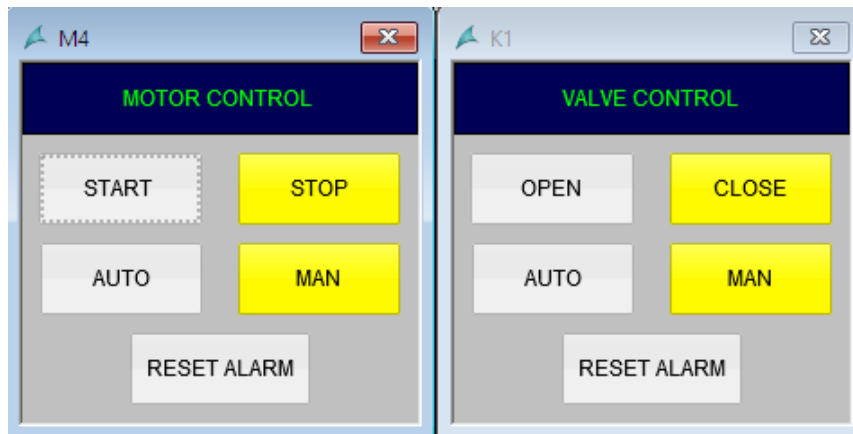


Рис. 7.5 – Екранні форми для керування двигунами і клапанами.

Екранні форми управління також прив'язуються до тегів контролера і дозволяють оператору міняти режим роботи (АВТ / РУЧ) клапана або двигуна, управляти їх станом, підтвердити помилки при їх виникненні. На рис. 7.6 представлений приклад прив'язки тегів до екранної форми управління двигуном. Створені екранні форми згруповані в спеціальній бібліотеці і можуть використовуватися при створенні інших проектів.

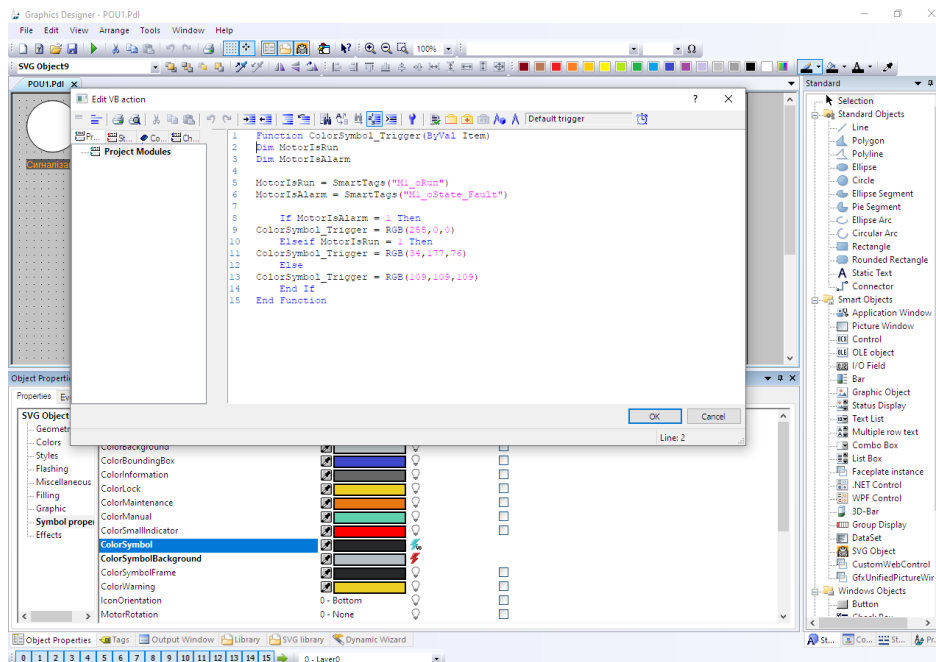


Рис. 7.6 – Фрагмент вікна прив'язки тегів до екранної форми управління двигуном.

На рис. 7.7 представлений екран «Мнемосхема ділянки» при працюючому в автоматичному режимі, без порушень режиму роботи і справному обладнанні. А на рис. 7.8 представлений цей же екран, але з відкритими екранними формами управління клапанами і двигунами. Екранні форми управління викликаються натисканням лівої кнопки миші на відповідній екранній формі контролю стану двигуна або клапана.

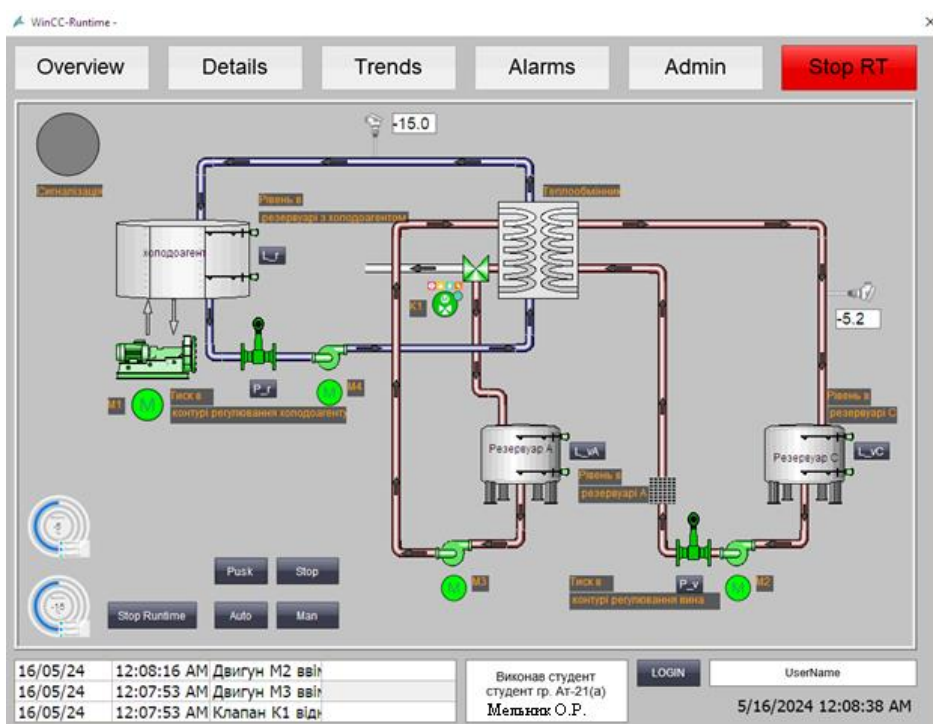


Рис. 7.7 – Загальний вигляд екрану «Мнемосхема ділянки» при нормальній роботі.

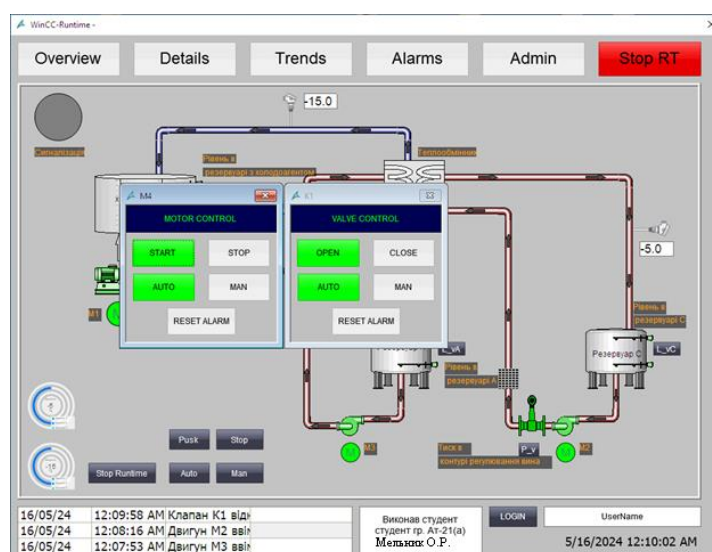


Рис. 7.8 – Загальний вигляд екрану «Мнемосхема ділянки» при відкритих екранних формах управління двигунами і клапанами.

7.2.3. Графіки зміни технологічних параметрів

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проекті передбачено вікна побудови графіків зміни температура холодоагента та виноматеріалу. Для побудови графіків використовується елемент «Trend View» із стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCC. На малюнку 7.9 представлений вікно реєстрації температури холодоагента та виноматеріалу, а на малюнку 7.10 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегів контролера.

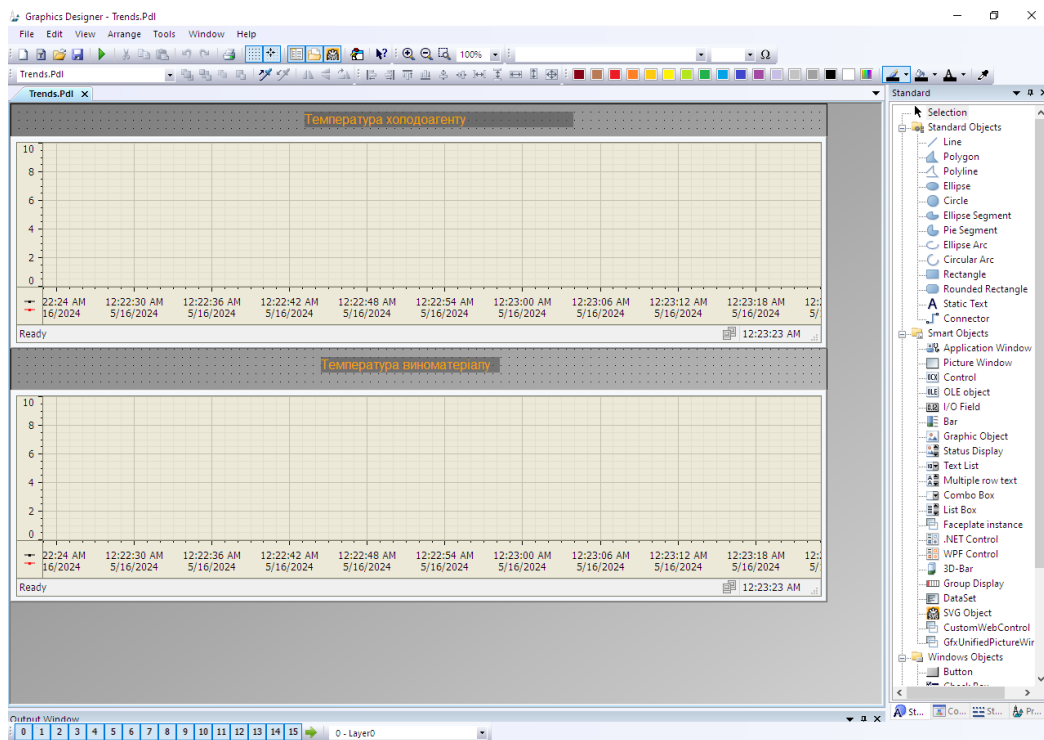


Рис.7.9 – Екрани реєстрації температури холодоагента та виноматеріалу.

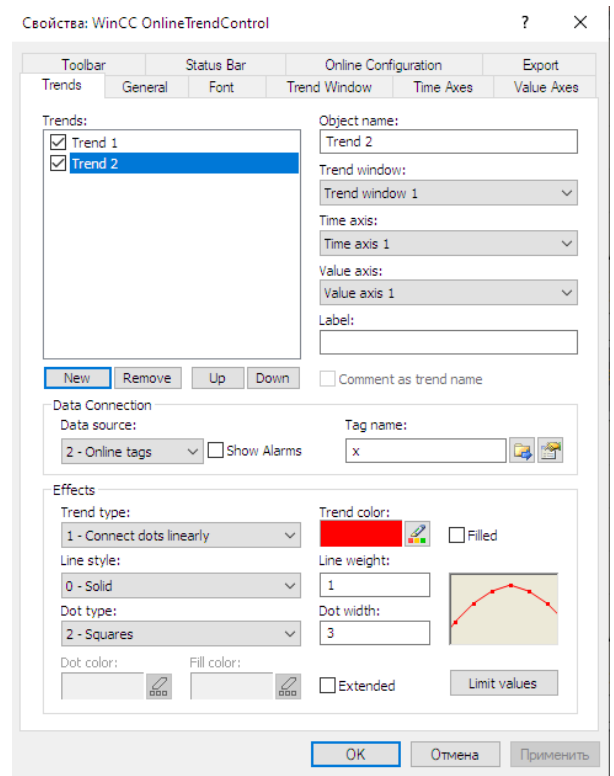
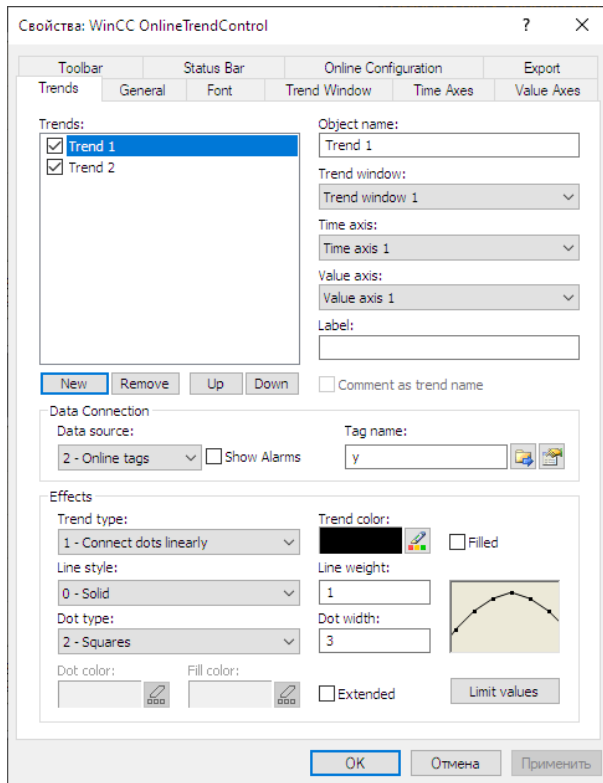


Рис.7.10 – Приклад налаштування елемента «Trend View».

На рис. 7.11 представлені графіки зміни температури холодоагента та виноматеріалу у установці охолодження під час пуску установки у роботу.



Рис. 7.11 – Графіки зміни температури.

7.2.4. Діагностичні повідомлення

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і події виникають з обладнанням процесу нанесення оболонки в проекті створена система повідомлень з використанням відповідного редактора SCADA - системи WinCCFlexible. Система повідомлень включає повідомлення обумовлені користувачем і системні повідомлення. Повідомлення, обумовлені користувачем, розділені на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечних робочих станах заносяться в архів. Фрагменти списків дискретних і аналогових повідомлень, класів повідомлень представлені на малюнках 7.12 - 7.13.

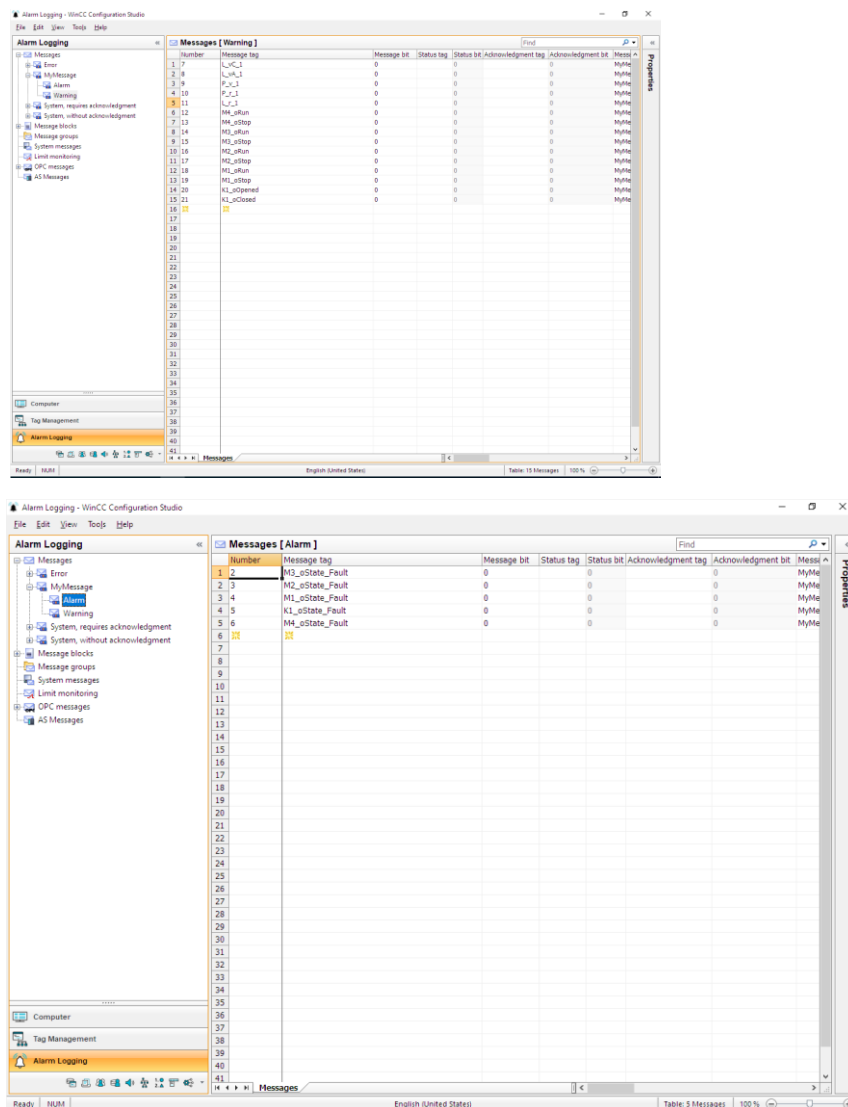


Рис.7.12 – Фрагменти вікон редактора дискретних повідомлень.

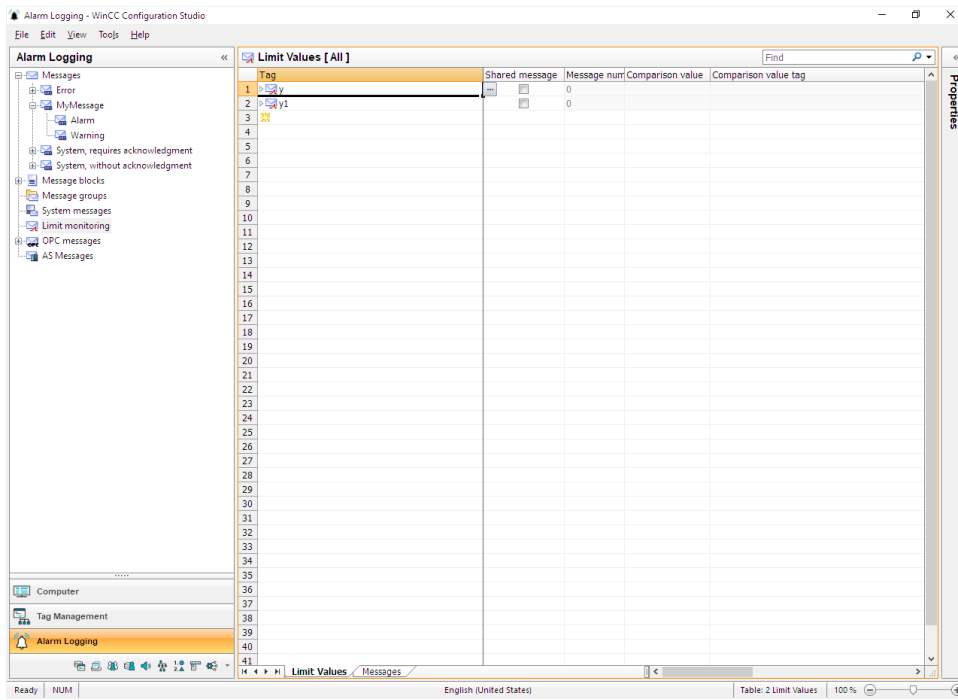


Рис.7.13 – Фрагмент вікна редактора аналогових повідомлень.

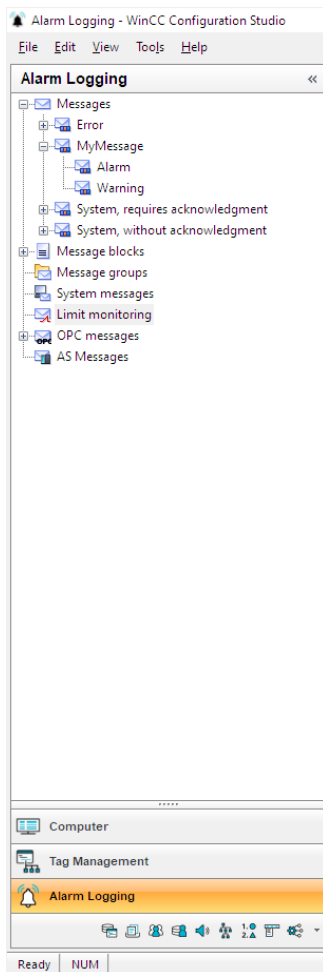


Рис. 7.14 – Загальний вигляд вікна класів повідомлень.

Відображення повідомлень на екрані виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень. При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів. На малюнку 7.15 представлений приклад екрану з елементами «Alarm View» налаштованими на виведення поточних активних робочих повідомлень.

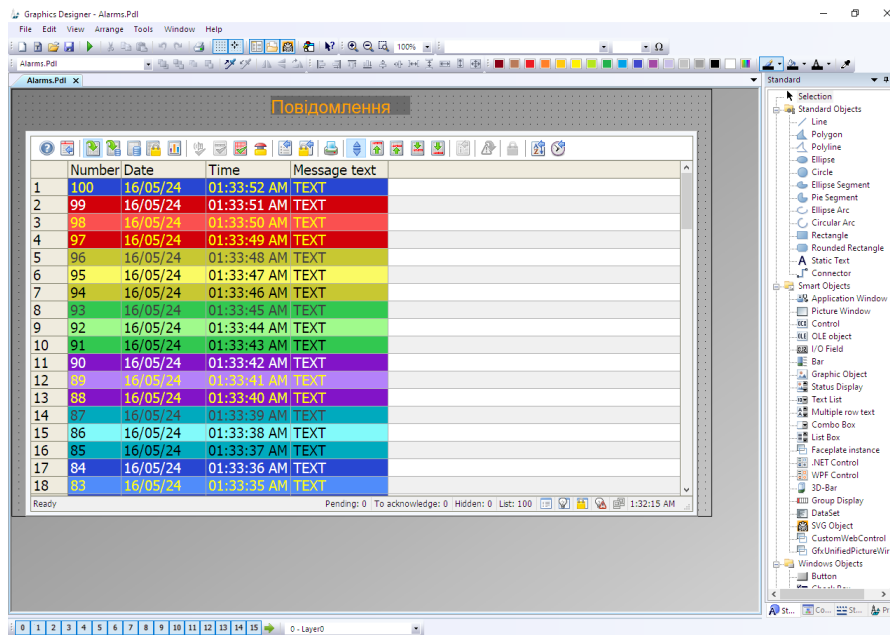


Рис.7.15 – Загальний вигляд екрану виведення поточних активних діагностичних повідомлень.

На рис 7.16 представлений екран, що демонструє роботу системи повідомлень, що визначаються користувачем.

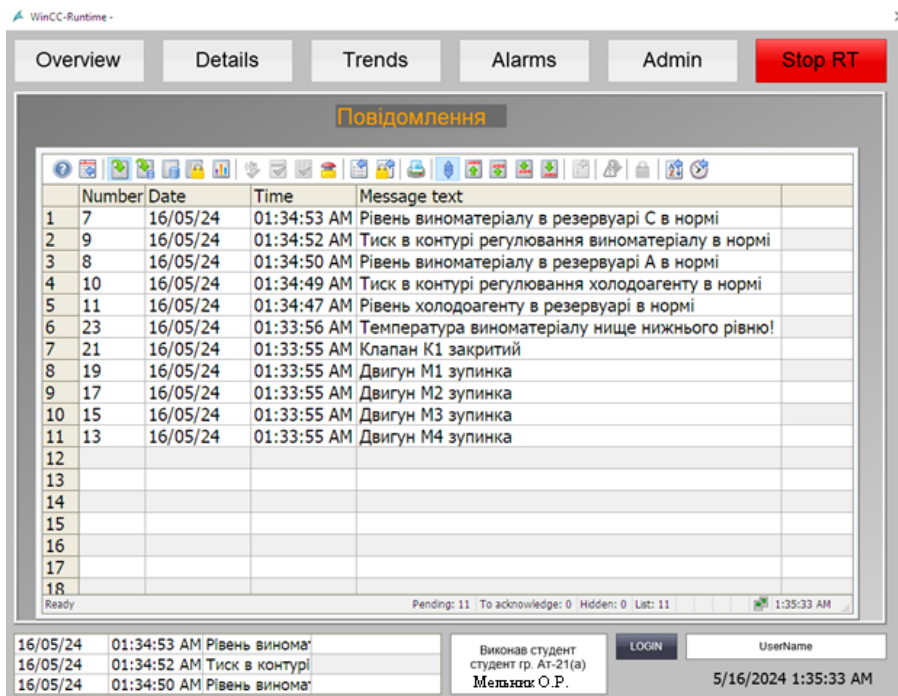


Рис.7.16 – Загальний вигляд екрану з поточними повідомленнями.

7.5 Висновок за розділом

При виконанні розділу в середовищі SCADA - системи WinCC розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми.

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

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

Остаточні рішення для побудови САК, схема автоматизації централізована, апаратурна система керування двигунами і частотними перетворювачами знаходиться в шафі силовій, а система керування автоматизацією знаходиться в шафі автоматики, система розроблена на базі контролеру WAGO.

Перелік документів які були розроблені в розділі:

- 1- Функціональна схема автоматизації;
- 2- Принципова електрична схема живлення;
- 3- Принципова електрична схема частотного перетворення;
- 4- Принципова електрична схема аналогових входів/виходів;
- 5- Принципова електрична схема дискретних входів;
- 6- Принципова електрична схема дискретних виходів;

8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи

8.2.1 Розробка схеми автоматизації для системи керування ТА, для якого був виконаний комплекс передпроектних досліджень.Складення її опису і попередній перелік обладнання на технічні засоби автоматизації, які відображені на схемі

Схема автоматизація виконана відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 «Система проектної документації для будівництва», були розроблені контури керування температурою виноматеріалу і температури холодоагенту.

Перелік контурів на функціональній схемі:

- Двигун холодильної установки та насоса №3
- Контур регулювання температурою виноматеріалу
- Контур регулювання температурою холодоагенту

- Управління та контроль відсічних клапанів
- Максимальний та мінімальний рівень виноматеріалу
- Контроль витрати виноматеріалу
- Контроль тиску виноматеріалу та холодоагенту

Розглянемо для прикладу роботу контуру холодоагенту, значення температури холодоагенту надходить від датчику температури ба до аналогового входу контролера зі струмом 4..20мА, далі з контролера надходить сигнал до частотного перетворювача 5б який приводить в роботу привід М4, і до персонального комп'ютеру оператора який виконує функції R- реєстрація, А - сигналізація, Н - ручне керування.

Перелік приладів та засобів наведені в додатку А (табл. А1), схема автоматизації наведена в додатку А на рис. Д1.1.

8.3. Розробка принципів електричних схем

8.3.1 – Розробка і опис принципів електричних схем контролю, сигналізації, регулювання, логічного керування, включаючи схеми підключень входів-виходів ПЗО ПЛК, і схеми каналів ліній зв'язку між ПЛК, роботом і ПК. Складення переліку обладнання, яке відображено на схемах.

При цьому обсяг розроблених матеріалів повинен відповідати обсягу фрагментів проекту, відображених у схемі автоматизації

Принципові електричні схеми були виконані відповідно до ДСТУ:

ДСТУ 2.701 ЕСКД. Схеми. Види й типи. Загальні вимоги до виконання.

ДСТУ 2.702 ЕСКД. Правила виконання електричних схем.

ДСТУ 2.709 ЕСКД. Система маркування ланцюгів в електричних схемах.

ДСТУ 2.710 ЕСКД. Умовні позначення, буквені та цифрові, які вжиті на електричних схемах.

Перелік обладнання, яке відображено в схемах наведено в додатку Б (табл. Б.1).

На принциповій електричній схемі частотного перетворення яка наведена в додатку Б(рис. Д1.2) зображено лінії L1, L2, L3 які відповідають за фазну напругу, N-нейтраль, PE- захисне заземлення.

Контактори та реле SS-K4, SS-K5, SS-K6, SS-K7 які відповідають за режим в якому знаходиться перетворювач при їх замиканні.

Перемикачі та кнопки керування OB-S5, SS-S6, S7, які використовуються для старту або зупинки перетворювача частоти.

На принциповій електричній аналогових входів/виходів яка наведена в додатку Б(рис. Д1.6) зображено підключення датчиків температури виноматеріалу та холодоагенту і датчиків їх витрат до модуля аналогових входів фірми WAGO 750-453, а також частоту обертів виноматеріалу та холодоагенту до модуля аналогових виходів фірми WAGO 750-555. Датчики передають аналогові вхідні сигнали 4...20 mA, які використовує ПЛК для виміру температури виноматеріалу та холодоагенту а від ПЛК виходять вже вихідні аналогові сигнали 0...10V для контролю швидкості частотних перетворювачів.

На принциповій електричній дискретних входів яка наведена в додатку Б(рис. Д1.4) зображено підключення датчиків рівня, датчиків реле тиску а також компоненти для роботи електроприводів до модулю ПЗО фірми WAGO750-430.

На принциповій електричній дискретних виходів яка наведена в додатку Б(рис. Д1.5) зображено підключення дискретних сигналів керування клапаном, електроприводами, частотними перетворювачами, та звуковою сигналізацією до модулю ПЗО фірми WAGO750-430, для забезпечення виконання команд ПЛК на відкриття клапану або запуск електроприводу.

8.4. Розробка схем живлення

8.4.1 Розробка принципової схеми електричного живлення

На принциповій електричній схемі живлення яка наведена в додатку Б(рис. Д1.3) зображено важливі компоненти для забезпечення стабільної роботи системи та створення надійної електричної мережі.

Основні компоненти:

Лінії живлення L1-фазна напруга, N-нейтраль, PE-заземлення, забезпечення подачі електроенергії.

Автоматичні вимикачі SA-Q1, SA-Q2, SA-Q3, SA-Q4, важливі елементи які відповідають за захист системи від коротких замикань та перевантажень.

Силові роз'єми SA-REC1, для забезпечення підключень зовнішніх пристроїв до живлення, трансформатор SA-T1, перетворювач напруги.

Блоки живлення SA-G1, SA-G2, вхідна напруга 24В, вхідний струм 10А, один блок живить панель оператора, другий використовується для живлення силової та автоматичної шаф.

8.5. Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора

Розробка таблиць з'єднань у щиті оператора включає документування всіх з'єднань між ПЗО та технічними засобами.

Формування таблиць з'єднань у щиті оператора виконується автоматично за допомогою функцій AutocadElectrical, таблиця наведена в додатку В таб. Д1.1.

8.6. Розробка схем або таблиць з'єднань зовнішніх електричних і трубних провідок та компонування робочого місця оператора-технолога

При розробці таблиць з'єднань зовнішніх електричних провідок потрібно враховувати характеристики середовища, температурні умови, механічні навантаження а також дотримуватися всіх стандартів для надійності установки, та безпеки, це все впливає на термоізоляцію кабелю, його вологостійкість, кількість його жил.

Формування таблиць з'єднань зовнішніх електричних проводок виконується автоматично за допомогою функцій Autocad Electrical, таблиця наведена в додатку В таб. Д1.2.

8.7. Охорона праці

Прийняття в експлуатацію вперше змонтованої або реконструйованої холодильної установки повинно проводитись у відповідності з ДБН А 3.1.3-94, СНиП 3.05.05-84 та Правилами будови і безпечної експлуатації аміачних холоди-льних установок, Правилам будови і безпечної експлуатації фреонових холодильних установок.

На кожному підприємстві наказом керівника повинна бути призначена особа, відповідальна за справний стан, правильну і безпечну експлуатацію холодильних машин і установок.

Технічне опосвідчення апаратів (посудин) холодильних установок повинно проводитись у відповідності з вимогами Правил будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, особою, яка здійснює на підприємстві нагляд за посудинами, у присутності особи, відповідальної за справний стан і без-печну експлуатацію холодильних машин і установок. Зовнішній і внутрішній огляд повинен проводитись не рідше одного разу в 2 роки, гідравлічне (пневматичне) випробування на міцність - не рідше одного разу в 8 років.

На підприємстві повинні бути розроблені і затверджені наказом керівника інструкції з:

- будови і безпечної експлуатації холодильних установок;
- експлуатації холодильної системи (охолодних пристроїв);
- обслуговування контрольно-вимірювальних приладів і автоматики;
- охорони праці (включаючи надання долікарняної допомоги);

а також:

- річні та місячні графіки проведення планово-попереджувального ремонту;
- схеми аміачних, водяних та інших трубопроводів;

- показчики розміщення засобів індивідуального захисту;
- номери телефонів швидкої допомоги, пожежної команди, диспетчера електромережі, міліції, начальника компресорного цеху (домашній телефон);
- номери телефонів і адрес організації, яка обслуговує автоматизовану холодильну установку.

Ці документи повинні знаходитися у машинному відділенні холодильної ус-тановки і бути доведені до відома кожного машиніста (під розпис).

У компресорному цеху повинен бути добовий журнал встановленої форми.

Журнал повинен бути пронумерований, прошнурований, стверджений печаткою підприємства, з датою і підписом начальника цеху.

Начальник компресорного цеху зобов'язаний щоденно контролювати ведення змінного журналу, записувати в нього розпорядження обслуговуючому персоналу та розписуватись.

На щиту регулюючої станції біля кожного регулюючого вентиля повинен бути напис із зазначенням, який апарат або яке охолоджуване приміщення обслуговує регулюючий вентиль.

У місцях, де ам'ячні арматура і трубопроводи можуть бути пошкоджені транспортними засобами або вантажами, обов'язкове влаштування металевих захисних огорожень.

На компресорах і насосах, що працюють в автоматичному режимі, повинні бути на видному місці вивішені таблички: **ОБЕРЕЖНО. ПУСКАЄТЬСЯ АВТОМАТИЧНО!**

Після ремонту і профілактики холодильного устаткування, а також після вимушеної зупинки компресора чергова зміна може проводити пуск його тільки після письмового дозволу начальника цеху (або особи, яка його заміняє), який повинен особисто пересвідчитися, що пуск компресора можливий та безпечний.

Вхід стороннім особам у приміщення машинного (апаратного) і конденсаторного відділень забороняється. На видних місцях повинні бути вивішені плакати: **ВХІД ЗАБОРОНЕНО!**

Компресорна установка повинна бути виключена у випадках, визначених правил, а також у разі витікання аміаку із системи і появленні стуку в циліндрі компресора.

Для виявлення місць витікання аміаку дозволяється користуватись тільки хіміч-ними і іншими спеціальними індикаторами. Застосування для цього вогневих засобів (з відкритим полум'ям, тліючим матеріалом) забороняється. Концентрація аміаку в повітрі робочої зони виробничих приміщень припускається не більше 0, 02 мг/л.

Витікання аміаку через сальники компресора повинно бути усунено негайно у разі його виявлення.

Відкривати компресори, демонтувати апарати, трубопроводи і арматуру дозволяється тільки після видалення з них аміаку.

Виконання цих робіт без протигаза з фільтруючою коробкою марки КД і гумових рукавичок забороняється.

Необхідно систематично усувати лід, що створюється взимку на зрошувальних конденсаторах, градирнях, драбинах, площадках для їх обслуговування.

Біля входу в охолоджувані приміщення (коридор) повинна бути вивішена інструкція з охорони праці під час проведення робіт у камерах холодильника.

Камери зберігання з температурою нижче 0°С повинні бути обладнані сигналізацією “людина в камері”. Кнопки керування сигналізацією монтуються в камерах на висоті 0,5 м. Перевірка роботи сигналізації має проводитися щоденно.

Будова, утримання і експлуатація швидкоморозильних установок повинні відповідати вимогам Правил будови і безпечної експлуатації аміачних холодильних установок.

Вхідні двері в камери зберігання заморожених продуктів повинні мати з внутрішньої сторони дублююче керування зовнішнім запірним пристосуванням.

Машиніст холодильних установок і слюсар-ремонтник під час ремонту холодильного устаткування в камерах повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям і протигазом.

Засоби індивідуального захисту і надання долікарняної (першої) допомоги потерпілим повинні розміщатися в доступних і позначених місцях машинних відділень, а їх схоронність і справність повинні регулярно перевірятися відповідальною особою.

До обслуговування електроустановок допускаються особи, які знають їх схеми, посадові і експлуатаційні інструкції, особливості технологічного устаткування і пройшли відповідне навчання і перевірку знань.

Перевірка знань персоналу, який обслуговує електроустановки, повинна проводитись комісією того підприємства, на якому він працює.

Кожному працівнику, який пройшов перевірку знань, видається посвідчення встановленої форми з наданням групи (II-V) по електробезпеці.

Періодична перевірка знань персоналу повинна проводитись у такі терміни:

один раз в рік - для електротехнічного персоналу, що безпосередньо обслуговує діючі електроустановки або який проводить у них налагоджувальні, елек-тромонтажні, ремонтні роботи чи профілактичні випробовування, а також для персоналу, який оформляє розпорядження і організує ці роботи;

один раз в три роки - для інженерно-технічних працівників електротехнічного персоналу, який не відноситься до попередньої групи, а також інженерів з охорони праці, які допущені до інспектування електроустановок.

Після кожного випадку порушень вимог безпеки повинна проводитись позачергова перевірка знань.

На підприємстві визначається перелік професій неелектротехнічного персоналу, що пов'язаний з роботою, під час виконання якої може виникнути небезпека ураження електричним струмом. Цей персонал повинен проходити щорічну перевірку знань безпечних методів роботи на обслуговуванні

установці з наданням групи I по електробезпеці і оформленням в спеціальному журналі.

Перевірку знань проводить відповідальний за електрогосподарство підприємства, дільниці, або, за його письмовим наказом, особа з групою по електробезпеці не нижче III.

Виконання робіт в електроустановках за нарядом-допуском повинно проводитись у порядку, передбаченому у ПБЕЕС.

На всі роботи, які виконуються із зняттям напруги, видається один наряд. Заміна плавких запобіжників під напругою і установа некаліброваних вставок без маркування величини номінального струму не дозволяється. Установлення і зняття запобіжників проводиться за знятої напруги.

Під напругою, але без навантаження, дозволяється знімати і установа запобіжники на приєднаннях, у схемі яких відсутні комутаційні апарати.

Під напругою і під навантаженням дозволяється знімати і установа запобіжники пробочного типу в електроустановках напругою до 1000 В .

Під час установа і зняття запобіжників під напругою необхідно користуватися засобами електрозахисту (ізолюючими кліщами, діелектричними рукави-чками, захисними окулярами).

Для підготовки робочого місця під час робіт із зняттям напруги повинні бути виконані в зазначеному порядку такі технічні заходи:

- проведені необхідні відключення і вжиті заходи, які перешкоджають подачі напруги до місця роботи;

- на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури вивішені заборонні плакати;

- перевірена відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які повинно бути накладено заземлення для захисту людей від ураження електричним струмом;

- накладено заземлення;

вивішені застережні плакати і приписи;
огорожені, за необхідності, робочі місця і струмопровідні частини,
залишені під напругою.

Перевірка відсутності напруги на відключеній для виконання робіт частині електроустановки повинна проводитися покажчиком напруги заводського виготовлення.

Під час ремонту, а також обслуговування електроустановок і електрообладнання застосування металевих драбин не дозволяється. Робота з використанням приставних драбин повинна проводитись двома працівниками, один з яких знаходиться внизу.

Обслуговування освітлювальних пристроїв, розташованих на стелі, з візка мостового крана слід виконувати не менше ніж двома особами, одна з яких повинна мати групу з електробезпеки не нижче III, друга - знаходитися поблизу працюючого і слідкувати за дотриманням ним необхідних заходів безпеки.

Якщо в результаті дотику із струмопровідними частинами або виникненні електричного розряду механізм чи вантажопідіймальна машина опиняться під напругою, дотикатися до них і спускатися з них на землю або підійматися на них до зняття напруги забороняється.

У разі загорання механізму або вантажопідіймальної машини водій повинен, не доторкаючись до них руками, сплигнути на землю на обидві ноги зразу і стрибками на одній нозі або дрібною ногою розміром у стопу віддалитися на відстань не меншу ніж 8 м.

9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

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

Капітальні інвестиції здійснюються в наступних основних формах: реконструкція, технічне переозброєння, модернізація виробництва, окремих 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 встаткування, у т.ч.:

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

Витрати на тару й упакування – $Ц_{т}$;

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

Витрати на монтаж устаткування – $Ц_{м}$;

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

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

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

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

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

$Ц_{опт}^б$ – оптова ціна базової техніки, грн.

$$I_{\text{спер}}^6 = 89877 + 89877 * 0,1 + (89877 * 0,25)/100 + (89877 * 5,0)/100 +$$

$$+(89877 + (89877 * 0,25) / 100 + (89877 * 5,0) / 100) * 0,012 = 104,7 \text{ тис}$$
 грн.

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

$$I_{\text{С мод}} = I_{\text{С}^6 \text{ перв}} * N_{\text{мод}} \quad (9.2)$$

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

$$I_{\text{С мод}} = 104,7 \text{ тис грн.} * 0,1 = 10,47 \text{ тис грн.}$$

$$I_{\text{С мод}}^{\text{н}} = 104,7 \text{ тис грн} * 1,1 = 115,17 \text{ тис. грн}$$

Нормативи розрахунків наведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1

Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень.

Показники	Позначення	Од.вимір.	Величи на
Укрупнений норматив витрат на модернізацію	$N_{\text{мод}}$	%	10-20
Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи	Цм	-	0,1
Норматив відрахувань на тару й упаковання Цопті	Цт	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від Цопті	Цтр	%	5,0
Норматив відрахувань на заготовительно-складські видатки	Цз-З	%	1,2
Середня ціна 1т лома	Цл	грн/т	5000,0
Норматив витрат на демонтаж від Цопті		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від $I_{\text{С пер}}$)			
При списанні на лом	-	%	4
При використанні на запчастині	-	%	6
При продажі іншим організаціям	-	%	7

9.2. Розрахунок показника економічного ефекту від модернізації системи керування

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

Таблиця 9.2

Нормативні дані і показники.

№ п/	Показники	Од. вим.	Величина
1	2	3	4
1	Річний фонд часу роботи обладнання	змін	32
2	Місячний фонд часу робітника	год	176
3	Тривалість роботи в зміну	год	8
4	Мінімальний розмір тарифної ставки робітника, який виконує некваліфіковану роботу	грн	8000
5	Годинна тарифна ставка робітника прийнятої 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	5,60
7	Рентабельність виробництва винних виробів	%	7,2
8	Оптова ціна виноматеріалу	т	54000
9	Податок на прибуток	%	19
10	Норматив річних амортизаційних відрахувань (прям. метод)	%	20
11	Податок на доходи фізичних осіб, військовий збір	%	18,0 + 1,5
12	Єдиний соціальний внесок (нарахування)	%	22,0
13	Норматив відрахувань на поточний і капітальний ремонт	%	10

Розрахунки конуються 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 витративизначаються за базовим і новому варіантам зберігання.

Розрахунок виконують тільки за змінними 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 звітнього періоду:

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

де: N_p – норматив витрат у ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1) не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Витрати пов'язані з амортизацією устаткування розраховують по формулі:

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

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

Таблиця 9.3

Продуктивність

Техніко-економічні показники обладнання

№ п/п	Показник	Познач	Од.вим.	Базова маши	Нова машина
-------	----------	--------	---------	-------------	-------------

1	Продуктивність	Пч	т/год	25	25,05
2	Маса обладнання	М	кг	54200	54200
3	Габаритні розміри				
	довжина	Д	мм	2200	2200
	ширина	Ш	мм	2100	2100
	висота	В	мм	900	900
4	Мінімальна маса порції продукту	V _н	кг	1000	1000
5	Тривалість циклу	Чд	сек	2220	2220
6	Установлена потужність	Рэ	Квт /год	20	20
8	Витрати електроенергії	Qенерг	Квт/год	8	7,5
9	Опт. ціна обладнання	Цопт ^б	тс грн	89,8	Розрахунок
10	Річний фонд робочого часу обладнання	Фг	Змін	32	32

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

Після розрахунків статей, що змінюються, витрат при експлуатації (використанні) базової й нової техніки складається зведена таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 9.4)

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

Де: Поб – годинна продуктивність обладнання (з технічного паспорту обладнання)

Фр – річний фонд часу роботи обладнання, година

Кзав – коефіцієнт завантаження обладнання, приймаємо рівним 0,85.

$$OB^{б} = 24250 \text{ кг/год} * 8 * 32 * 0,85 = 5276,8 \text{ т}$$

$$OB^{н} = 24423,7 \text{ кг/год} * 8 * 32 * 0,85 = 5314,5 \text{ т}$$

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новим варіантам зберігання.

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

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

При використанні нової техніки та зменшення браку виробництва продукції вартість сировини і матеріалів розраховують за формулою:

$$V_c = C_c^{H(6)} * OВ^{(H)}, \quad (9.6)$$

$$V_c^6 = 108000 * 5276,8 = 56989,4 \text{ тис.грн.}$$

$$V_c^H = 108000 * 5314,5 = 57396,6 \text{ тис.грн.}$$

де: $C_c^{H(6)}$ – відповідна ціна сировини і матеріалів при експлуатації нової базової техніки.

$OВ^{(H)}$ – обсяг виробництва продукції при використанні базової модернізованої техніки в натуральному вимірі.

Витрати електроенергії:

$$Z_B = C_B * Q_B * \Phi_{\Gamma} \quad (9.7)$$

$$Z_B^6 = 5,6 * 8 * 32 * 20 * 0,9 = 25804,8 \text{ тис.грн.}$$

$$Z_B^H = 5,6 * 8 * 32 * 20 * 0,91 = 26091,5 \text{ тис.грн.}$$

Витрати на поточний і капітальний ремонт обладнання встановлені на рівні 10% від його балансової вартості на початок звітного періоду і обчислюються за формулою 6,8.

$$Z_p = IC_{\text{перв}}^{H(6)} * H_p, \quad (9.8)$$

$$Z_p^6 = 104,7 * 0,1 = 10,47 \text{ тис.грн.}$$

$$Z_p^H = 115,17 * 0,1 = 11,52 \text{ тис.грн.}$$

де: H_p – норматив витрат в ремонтний фонд, у відсотках до одиниць (0,1)

Витрати пов'язані з амортизацією обладнання розраховуються за формулою:

$$Z_a = IC_{\text{перв}}^{H(6)} * H_p. \quad (9.9)$$

$$Z_a^6 = 104,7 * 0,24 = 25,1 \text{ тис.грн.}$$

$$Za^H = 115,17 * 0,24 = 27,64 \text{ тис.грн.}$$

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

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

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

Таблиця 9.4

Зміна річних поточних витрат

№ п/п	Статті з витрат	Позн	Величина, тис грн		Відхилення. + - збільше - зменшен
			До модер.	Після модер.	
2	Витрати на електроенергію	Зв	25804,8	26091,5	-286,7
2	Витрати на поточний капітальний ремонт	Зр	10,47	11,52	-1,05
3	Витрати пов'язані з амортизацією	За	25,1	27,64	-2,54
4	Кіл-сть. обладнання	Аі			
	Всього поточних витрат	З	37,0	37,0	0
			25840,4	26167,6	-327,2

$$\Delta TP = TP^H - TP^6 = 57396,6 - 56989,4 = 348,8 \text{ тис грн}$$

Повна собівартість виробленої продукції C^6 до модернізації обладнання, тис. грн.

$$C^6 = TP^6 * 100 / 100 + P \quad (9.10)$$

де: P – рентабельність виробленої продукції (табл. 9.2.)

$$C^6 = 56989,4 * 100 / 107,2 = 53161,7 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виробленої продукції після модернізації техніки розраховуємо за формулою:

$$C^H = C^B + \Delta TP * 100 / 107,2 + \Delta Z \quad (9.11)$$

$$C^H = 53161,7 + 348,8 * 100 / 107,2 - 327,2 = 53159,8 \text{ тис.грн.}$$

де: ΔZ – зміна поточних витрат від модернізації обладнання, тис. грн. (табл. 9.4)

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

$$П^{(H)} = TP^{(H)} - C^{(H)} \quad (9.12)$$

$$П^B = 56989,4 - 53161,7 = 3827,7 \text{ тис.грн}$$

$$П^H = 57396,6 - 53159,8 = 4236,8 \text{ тис.грн.}$$

Приріст прибутку складе:

$$\Delta П = П^H - П^B \quad (9.13)$$

$$\Delta П = 4236,8 - 3827,7 = 409,1 \text{ тис.грн.}$$

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

$$\Delta ЧП = \Delta П (1 - Нп) \quad (9.14)$$

$$\Delta ЧП = 409,1 * 0,81 = 331,4 \text{ (тис.грн).}$$

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

Розраховані показники зводимо в табл. 9.5.

Таблиця 9.5

Показники виробничої діяльності підприємства.

№ п\п	Показник	Позначення	Обладнання		Зміна статей витрат (+)-зростання. (-)-зниження
			Базове	Модернізоване	
1	2	3	4	5	6
1	Дохід від реалізації, тис.грн.	ТП	56989,4	57396,6	407,2
2	Повна собівартість продукції тис.грн.	С	53161,7	53159,8	-1,9
3	Прибуток, тис.грн.	П	3827,7	4236,8	409,1

4	Чистий прибуток, тис.грн.	ЧП	3100,4	3431,8	331,4
5	ЧПД при коефіцієнт дисконтування (20%)	Кд	0,8333	0,8333	08333
6	Чистий дисконтований прибуток	ЧПД	2583,5	2859,7	276,2

Одним з основних показників економічної оцінки інвестиційних проектів є показник чистого приведеного доходу (ЧПД).

Розрахунок чистого приведеного доходу здійснюється за формулою 9.15.

$$\text{ЧПД} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{ДП}_i}{(1+d)^i} - \text{ІС} \quad (9.15)$$

де

ІС – стартові інвестиції;

ДП_i – Сума чистих грошових надходжень, дисконтованих протягом n-років;

Якщо ЧПД > 0, то це означає, що в результаті реалізації проекту прибутковість підприємства підвищується і проект можна вважати прийнятним.

$$\text{ЧПД} = 2859,7 - 89,8 = 2769,9 \text{ (тис. грн.)}$$

Один з найбільш використовуваних показників привабливості інвестиційного проекту є строк окупності інвестицій. Під строком окупності інвестицій СОІ у модернізацію техніки розуміють тривалість часу (періоду), протягом якого сума фінансових підсумків, дисконтованих на початок експлуатації нової техніки (або вкладення інвестицій) стане рівній сумі інвестицій. Розраховується за формулою 9.16:

$$\text{СОІ} = \frac{\text{ІС}}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{\text{ДП}_i}{(1+d)^i} \right)_{\text{ср}}} \quad (9.16)$$

де: $-\sum_{i=1}^n \frac{\text{ДП}_i}{(1+d)^i}$ ср – середня сумачистого грошового потоку за період часу

прийнятий у розрахунках (місяць, квартал, рік) $2769,9/5 = 553,98$ (тис. грн.)

$$\text{COI} = 89,8 / 553,98 < 1 \text{ року.}$$

9.3 Висновок

Пропонована зміна конструкції установки процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу, із застосуванням теоретичних розробок дійсного дослідження є доцільна, тому що строк окупності інвестицій становить менш одного року, а чистий дохід більше нуля.

Висновки

В кваліфікаційній роботі бакалавра за темою «Автоматизація процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу» був проведений опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів. Процес виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК, проведення параметризації схеми ділянки ТП, виявлені фізичні, біологічні та інші параметри середовищ ТП, що змінюються в ході процесу, розроблена параметрична схема ТП оцінено існуючий рівень реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування, обрано кінцеві економічні цілі яких можна досягти за допомогою модернізації системи.

Були розроблені моделі статички та динаміки по каналам керування та моделі вхідних дій, проведена перевірка, підтвердила відповідність отриманих моделей експериментальним даним, а також розроблена САР базової структури з ПП та ППД – регуляторами, при проведенні їх порівнянь САР базової структури з ППД регулятором виявилася кращою.

Була розроблена САР підвищеної динамічної точності для покращення динамічної точності, при порівнянні САР базової структури з ППД-регулятором та САР ППД виявилася, що оскільки для САР підвищення динамічної точності дає суттєве покращення показників якості регулювання у порівнянні з САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно.

Також у КРБ було розроблено алгоритми логікопрограмного керування технологічним процесом, які в подальшому використовувалися для розробки технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом швидкого охолодження виноматеріалу, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу, в середовищі CoDeSys розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання, проведена їх перевірка, яка засвідчила роботоспроможність програм та їх відповідність алгоритмам керування, до цього був зроблений вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізацію керуючих

впливів а також в середовищі SCADA - системи WinCC розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми.

Крім цього був розроблений комплект проектної документації, а також враховані заходи охорони праці, а також був зроблений економічний підрахунок який показав, що пропонується зміна конструкції установки процесу керування швидким охолодженням виноматеріалу, із застосуванням теоретичних розробок дійсного дослідження є доцільна, тому що строк окупності інвестицій становить менш одного року, а чистий дохід більше нуля.

Література

1. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.

https://science.kname.edu.ua/images/dok/derzhstandart_3008_2015.pdf

2. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" [Електронний ресурс] : для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса : ОНАХТ, 2016. — Електрон. текст. дан.: 96 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.157312>

3. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.

4. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб./ В. Г. Муратов. — Вид. 2-ге, допов. — Київ : Освіта України, 2016. — 364 с.

<https://elc.library.onaft.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТcnv.BibRecord.155904>

4. Савицький, В. К. Технічні засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб. /В.К. Савицький, Р.М. Федоришин; Нац. ун-т "Львівська політехніка".— Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2018. - 292 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentSearchResult?jsessionid=6CD40B15F14DD9265BF7FD9A559C892C>

5. Левінський В. М. Конспект курсу лекцій з курсу "Технічні засоби автоматизації". Розділ "Виконавчі пристрої" [Електронний ресурс] : для студентів спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехн. систем. — Одеса : ОНАХТ, 2018. — Електрон. текст. дані: 150 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.162866>

6. Левінський В. М. Основи створення проектів автоматизації в середовищі TIA Portal [Електронний ресурс] : електрон. навч. посіб. для підгот. студентів спец. "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — Електрон. текст. дані: 177 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.166190>

7. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці : конспект лекцій [Електронний ресурс] / О. О. Фесенко, В. М. Лисюк, С. М. Неменуца, З. М. Сахарова ; Каф. безпеки життєдіяльності. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — Електрон. текст. дані: 149 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ.1739079>

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

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

<http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/11-dstu-b-a.2.4-16-2008.pdf>

10. <https://stream-energy.com.ua/ua/p1056237112-nasos-dlya-rassola.html>

11. <https://ugov.ua/ru/catalog/detail/rt-rele-tysku-dlia-zahalnoho-zastosuvannia/>

12. <https://ugov.ua/ru/catalog/detail/mbt-5252-datchyky-temperatury/>

13. <https://panoramavent.com/avtomatika/chastotnye-preobrazovateli/chastotnik-danfoss/vlt-micro-drive-fc-51/preobrazovatel-chastoti-danfoss-fc-051p4k0-132f0026-dvigatel-4-kvt-9a-3x380v/>

14. <https://owen.ua/ru/datchiki/pdu-dvuhurovnevye-poplavkovye-datchiki/shemy-podkljuchenija>

15. <https://trigla.net.ua/ua/p14798948-elektromagnitnyj-rashodomer-promag.html>

Додатки

Додаток А Документація до схеми автоматизації

Таблиця А1 Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Позиційне позначення	Найменування	Кількість	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
4а,6а	Датчик температури МВТ 5252 фірми Dandoss (ТОП гр.100pt), діапазон -50-200 °С, кл. т. А, ступінь захисту IP 65	2	
3б,5б	частотний перетворювач фірми DanfossFC-051P4K0	2	
10а,11а,12а,13а,14а,15а	датчик рівня ПДУ – 2.2Н	6	
16а,17а	витратомір фірми Endress+Hauser Proline Promag 53Н	2	
18а,19а	реле тиску типу RT 1 фірми Danfoss	2	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
ПЛК	контролер Wago 750-8213 PFC200	1	
	модуль аналогового введення WAGO 750-453	1	AI4
	модуль аналогового виводу WAGO 750-555	1	AO4
	модуль дискретного вводу WAGO 750-430	1	DI8
	модуль дискретного виводу WAGO 750-530	1	DO8
ПО	Панель оператора Simatic KP400 Comfort	1	

Додаток Б Документація до принципової електричної схеми

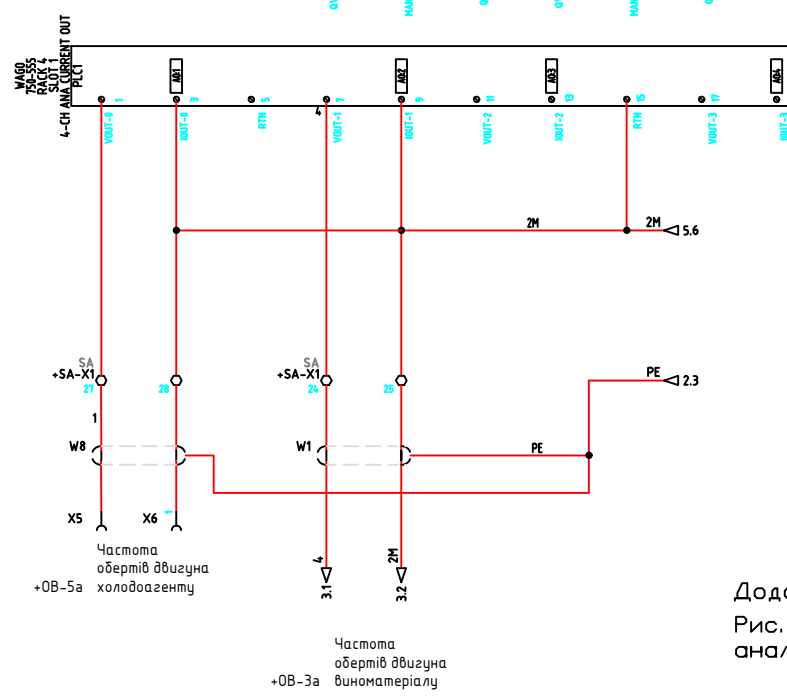
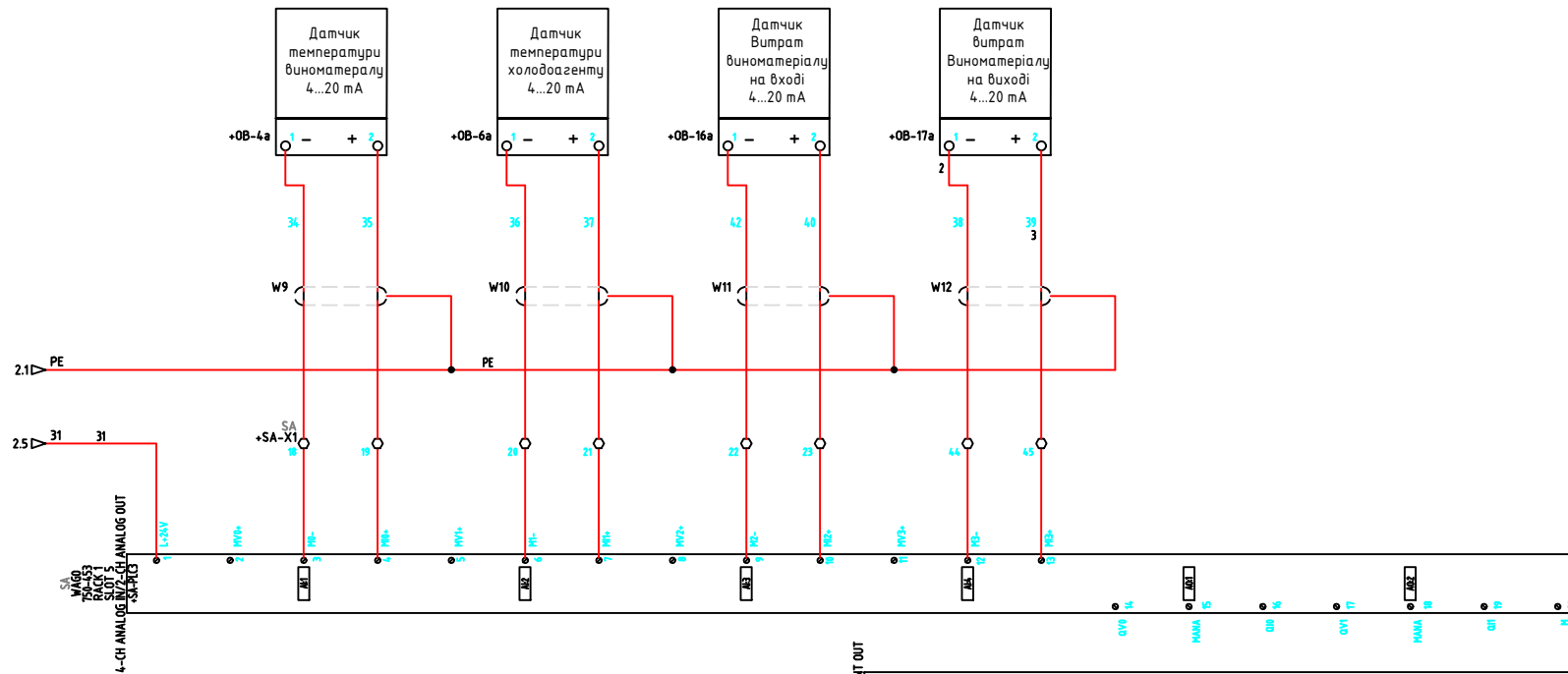
Таблиця Б1 Попередній перелік обладнання до принципових електричних схем

Позиційне позначення	Найменування	Кількість	Прим.
контроль та керування електроприводом з перетворювачем частоти			
	<u>Прилади за місцем</u>		
S5	Аварійна грибовидна червона кнопка з фіксацією, LAY5-BT42, 1НЗ	1	
	<u>Прилади у силовому щиті</u>		
F4	Плавкий швидкодіючий запобіжник з тримачем Ferraz A214107	1	
KM2	Контактор Siemens 3RT2018-1AP01 AC-3 7,5 KW/400 V, AC 230 V, 50 ГЦ, для комутації електродвигунів, 3-полюсний, AC-3, потужність двигуна 7,5кВт/400В	1	
Q4	Автоматичний вимикач 1P, 16А, х-ка. "B" EZ9 Schneider Electric	1	
36	частотний перетворювач фірми DanfossFC-051P4K0 з панеллю оператора Simatic KP400 Comfort	1	
S7	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	

S6	Кнопка ABLFS-22 неон d22 мм червона 240В 1з+1р, ІЕК	1	
K5, K6, K7	Проміжне реле Schneider Electric Zelio 4CO, 230В, АС, 6А, LED	3	
K4	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED	1	
F5	ЗАПОБІЖНИК FUSE-50F 5X20 2А	1	
перелік обладнання до принципової електричної схеми живлення			
Q1	Двополюсний модульний автоматичний вимикач Siemens 5SL6 з вимикаючою здатністю 6.0 кА, робоча напруга 400 В АС, номінальний струм 20.0 А, крива спарацювання тип С	1	
T1	Трансформатор ОСМ-1 0,16 220 В/220 В	1	
Q2	Дифавтомат 1Р+N, 25А, С, 30mA, 6кА, А, AD975J	1	
Q3, Q4	Автоматичний вимикач Siemens 1- полюсний, 16А, тип В, 6кА	2	
G1,G2	Блок живлення; Pro 2; 3-фазний; вихідна напруга 24 В постійного струму; Вихідний струм 10 А;	2	
REC1	Розетка модульна 2Р+Е 16А, Schneider Electric	1	
F2, F3	ЗАПОБІЖНИК FUSE-50F 5X20 2А	2	

перелік обладнання до принципів електричних схем підключення до модулів ПЛК			
	<u>DI</u>		
	модуль дискретного вводу WAGO 750-430	1	
	<u>DO</u>		
	модуль дискретного виводу WAGO 750-530	1	
F2	ЗАПОБІЖНИК FUSE-50F 5X20 2A	1	
HA	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	
K1	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED	1	
	<u>AI/AO</u>		
	модуль аналогового введення WAGO 750-453	1	
	модуль аналогового виводу WAGO 750-555	1	
4а,6а	Датчик температури МВТ 5252 фірми Dandoss (ТОП гр.100pt), діапазон - 50-200 °С, кл. т. А, ступінь захисту IP 65	2	
16а,17а	витратомір фірми Endress+Hauser Proline Promag 53H	2	
3б	частотний перетворювач фірми DanfossFC-051P4K0	1	

Додаток В таблиці з'єднань



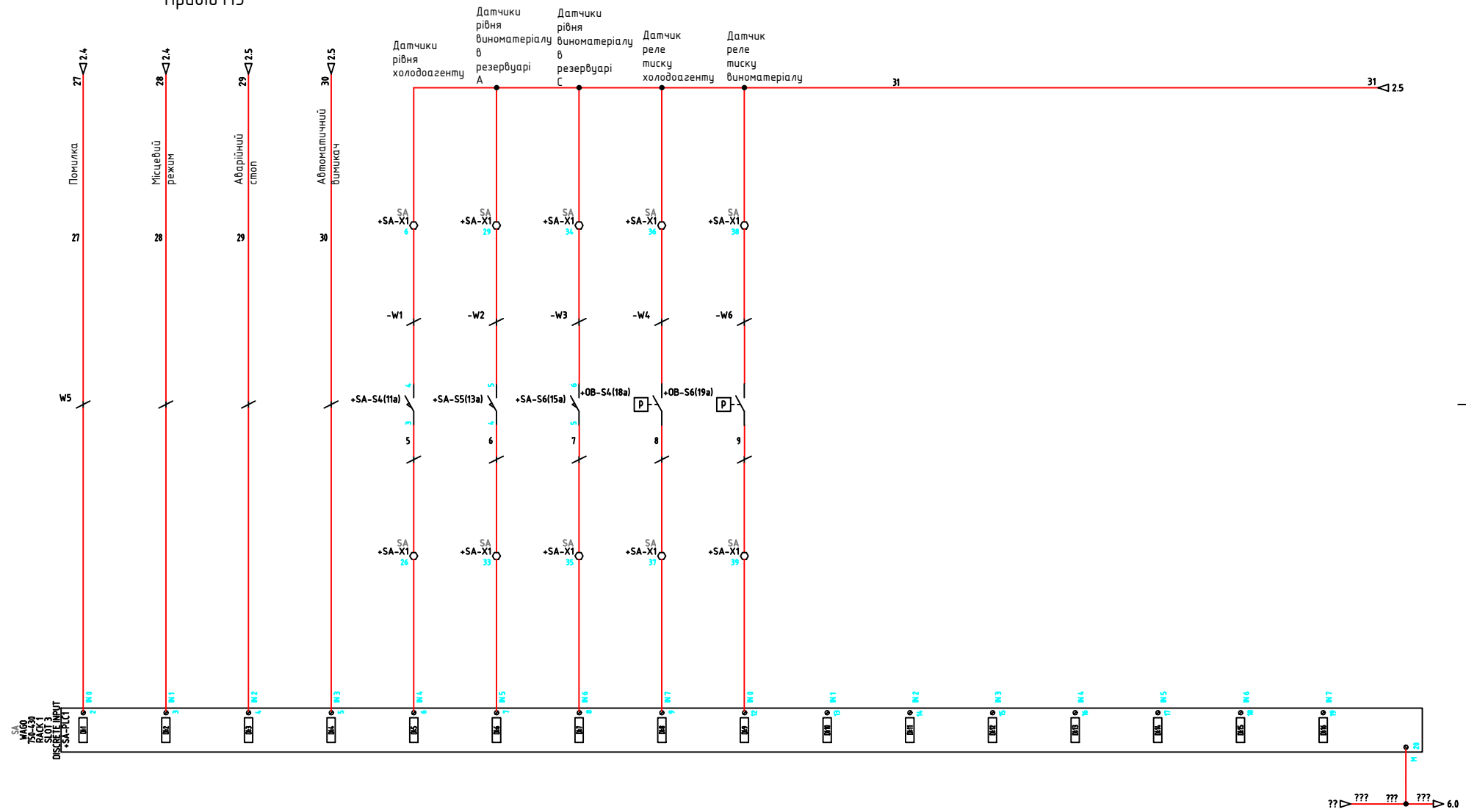
Додаток Б
Рис. Д1.6 ПЕС вводу/виводу аналогових сигналів

НОМЕР ПРОВІДКА	СМР:PIN1	СМР:PIN2	ПСЛОУИ1	SEC1
???	PLC1:20	X1:28	RED_1.0mm ²	
???	X1:28	X1:25	RED_1.0mm ²	
???	X1:25	X0:5	RED_1.0mm ²	
???	X0:5	X1:32	RED_1.0mm ²	
???	X1:32	B1/S4:10	RED_1.0mm ²	
2	X1:44	PLC3:12	RED_1.0mm ²	
3	X1:45	PLC3:13	RED_1.0mm ²	
4L1	Q2	REC1	RED_1.0mm ²	
4N	Q2	REC1	RED_1.0mm ²	
5	S4(11a):3	X1:26	RED_1.0mm ²	
5	X1:26	PLC1:6	RED_1.0mm ²	
6	S5(13a):4	X1:33	RED_1.0mm ²	
6	X1:33	PLC1:7	RED_1.0mm ²	
7	S6(15a):5	X1:35	RED_1.0mm ²	
7	X1:35	PLC1:8	RED_1.0mm ²	
8	X1:37	PLC1:9	RED_1.0mm ²	
9	X1:39	PLC1:12	RED_1.0mm ²	
11	F2	B1/S4:1	RED_1.0mm ²	
13	B1/S4:3	X1:40	RED_1.0mm ²	
13	X1:40	X1:43	RED_1.0mm ²	
14	B1/S4:4	X1:41	RED_1.0mm ²	
15	B1/S4:5	X1:42	RED_1.0mm ²	
16	B1/S4:6	X1:43	RED_1.0mm ²	
17	B1/S4:7	X1:17	RED_1.0mm ²	
18	B1/S4:8	X1:30	RED_1.0mm ²	
19	B1/S4:9	X1:31	RED_1.0mm ²	
31	PLC3:1	X1:6	RED_1.0mm ²	
31	X1:6	X1:29	RED_1.0mm ²	
31	X1:29	X1:34	RED_1.0mm ²	
31	X1:34	X1:36	RED_1.0mm ²	
31	X1:36	X1:38	RED_1.0mm ²	
31	X1:38	F2	RED_1.0mm ²	
31	X1:6	S4(11a):4	RED_1.0mm ²	
31	X1:29	S5(13a):5	RED_1.0mm ²	
31	X1:34	S6(15a):6	RED_1.0mm ²	
32	Q3	G1:L	RED_1.0mm ²	
34	X1:18	PLC3:3	RED_1.0mm ²	
35	X1:19	PLC3:4	RED_1.0mm ²	
36	X1:20	PLC3:6	RED_1.0mm ²	
37	X1:21	PLC3:7	RED_1.0mm ²	
40	X1:23	PLC3:10	RED_1.0mm ²	
41	Q4	G2:L	RED_1.0mm ²	
42	X1:22	PLC3:9	RED_1.0mm ²	
L1	Q1	X0:1	RED_2.5mm ²	
L1	X0:1	Q2	RED_2.5mm ²	
L12	T1	Q1	RED_1.0mm ²	
L13	T1	Q3	RED_1.0mm ²	
L13	Q3	Q4	RED_1.0mm ²	
N	Q2	X0:2	RED_2.5mm ²	
N	X0:2	Q2	RED_2.5mm ²	
N2	T1	Q2	RED_1.0mm ²	
N3	T1	G1:N	RED_1.0mm ²	
N3	G1:N	G2:N	RED_1.0mm ²	
PE	X0:3	REC1	RED_1.0mm ²	
PE	REC1	G1:PE	RED_1.0mm ²	
PE	G1:PE	G1:M	RED_1.0mm ²	
PE	G1:M	G2:PE	RED_1.0mm ²	
PE	G2:PE	G2:M	RED_1.0mm ²	

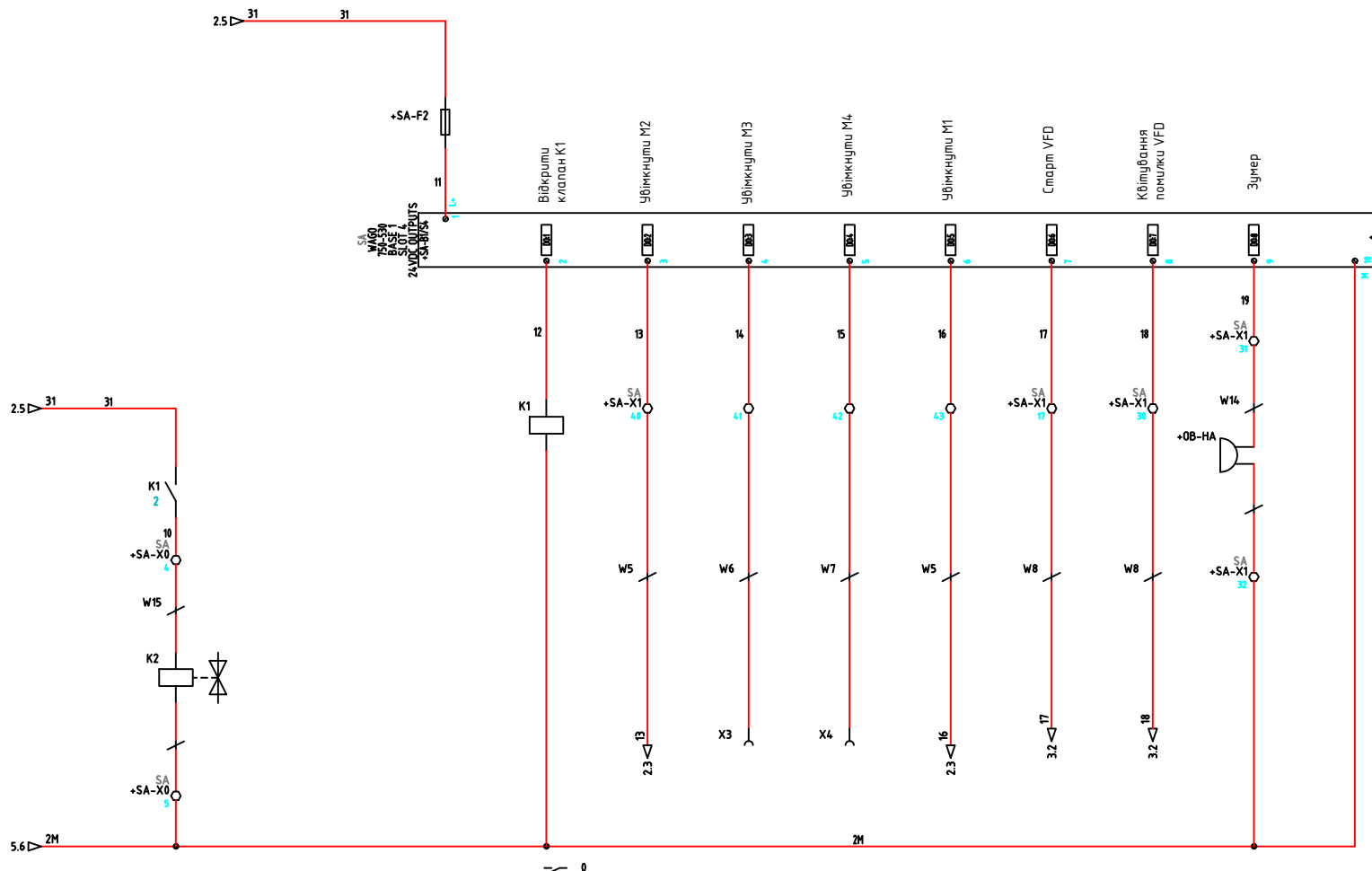
Додаток В

Рис. Д1.8 Таблиця з'єднань у шафі SA

Привід МЗ



Додаток Б
 Рис. Д1.4 ПЕС вводу дискретних сигналів

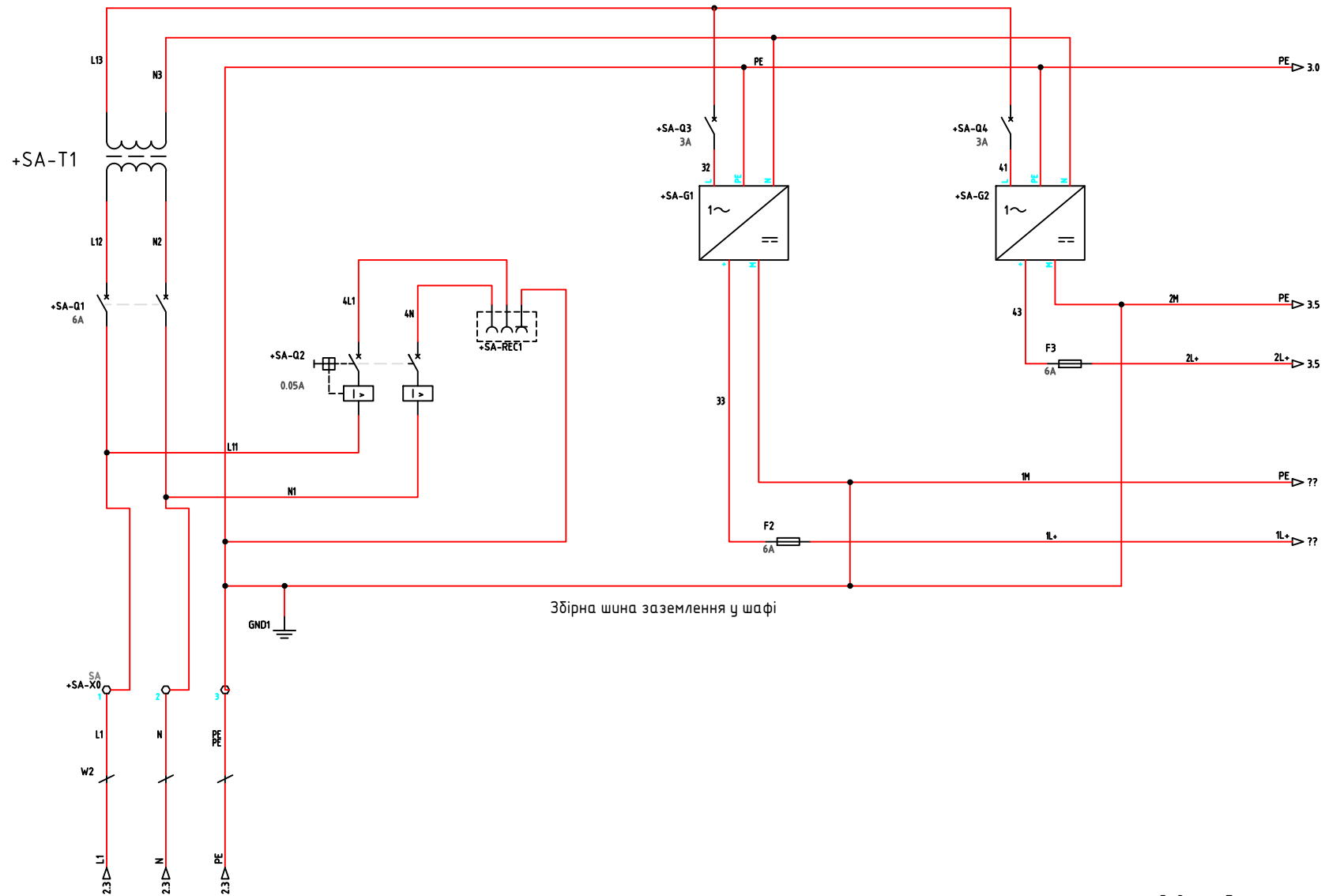


Додаток Б
Рис. Д1.5 ПЕС виводу дискретних сигналів

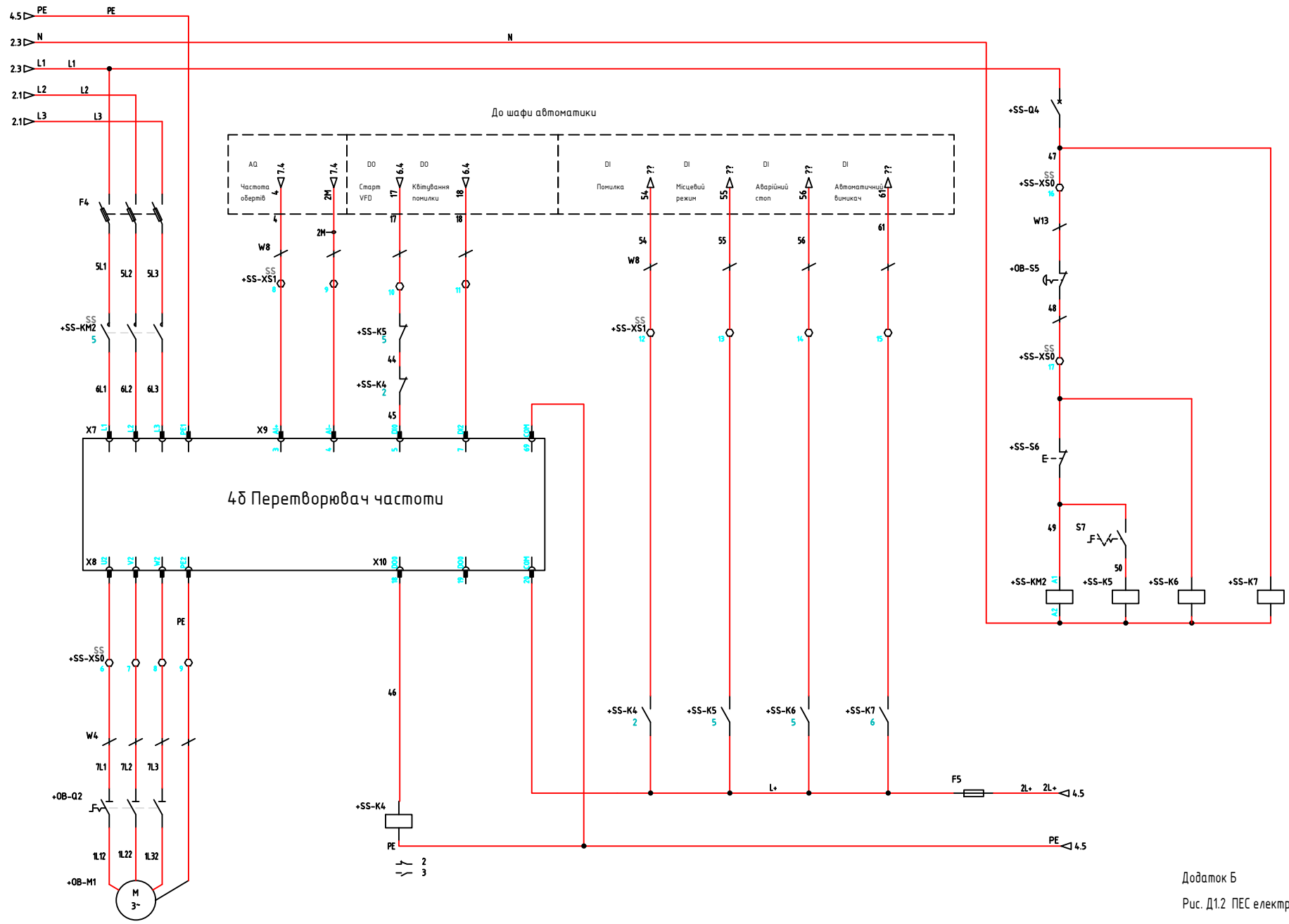
КАБ	КАБКAT	КАБQ2KAT	MECTO1	CMР:PIN1	MECTO2	CMР:PIN2
W10	KBHГ	1.5mm: ^2	SA	X1:20	□B	6a:1
W10			SA	X1:21	□B	6a:2
W11			SA	X1:45	□B	17a:2
W11			SA	X1:23	□B	16a:2
W11			SA	X1:22	□B	16a:1
W12			SA	X1:44	□B	17a:1
W14			SA	X1:31	□B	HA
W14			SA	X1:32	□B	HA
W4			SA	X1:36	□B	S4(18a)
W4			SA	X1:37	□B	S4(18a)
W6			SA	X1:38	□B	S6(19a)
W6			SA	X1:39	□B	S6(19a)
W9			SA	X1:18	□B	4a:1
W9			SA	X1:19	□B	4a:2

Додаток В

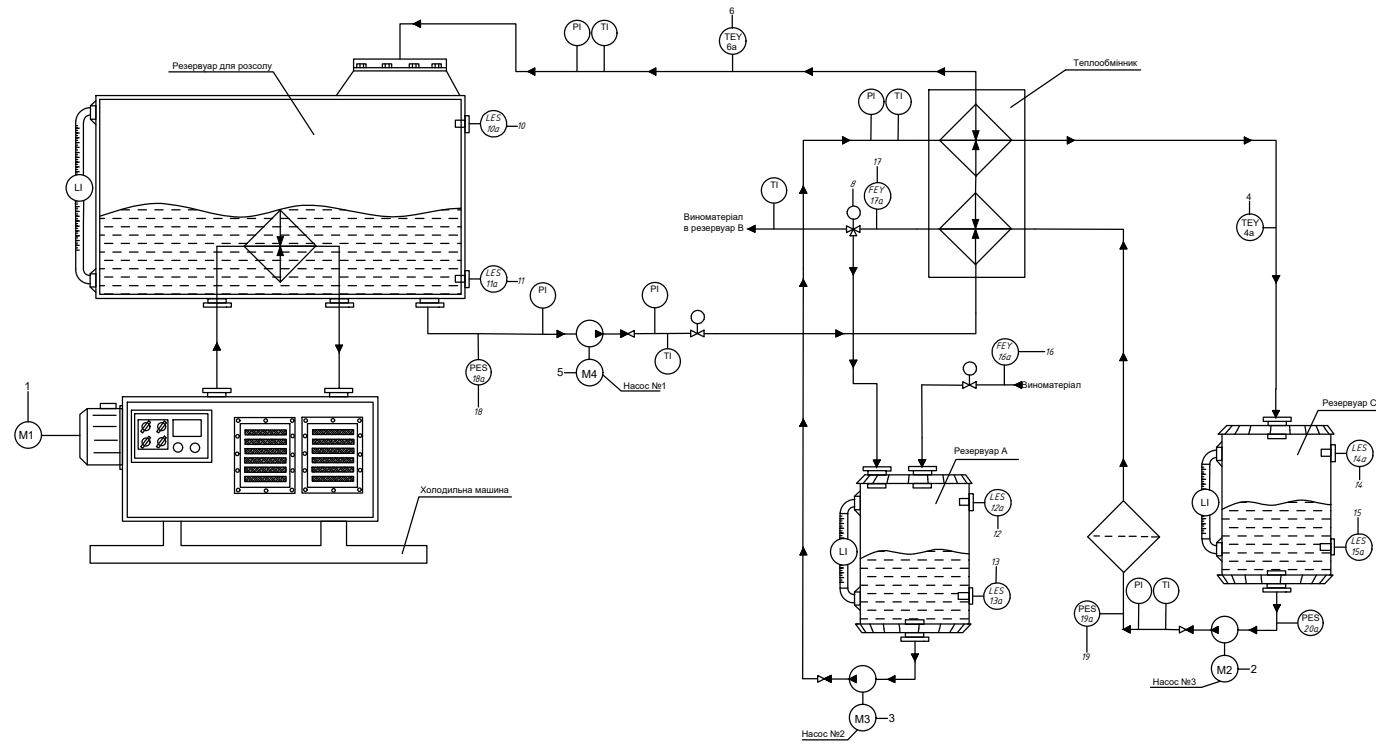
Рис. Д1.7 Таблиця з'єднань у щиті



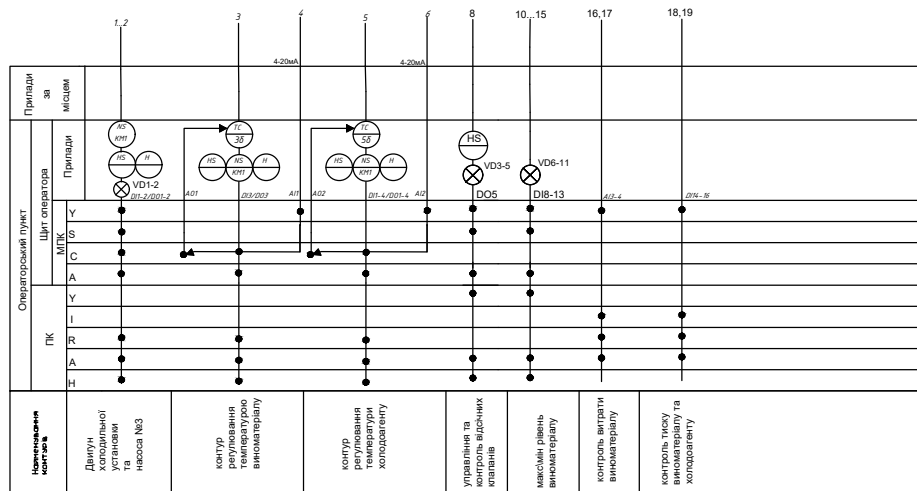
Додаток Б
Рис. Д1.3 ПЕС живлення



Додаток Б
Рис. Д.1.2 ПЕС електроприводу



№	Позначення	Назва
I	⊙TEY	Датчик температури з виходом 4-20мА
II	⊙M1	Електропривод насосів/компресора
III	⊙LES	Датчик-реле рівня
IV	Насос №1-3	Насоси для розсолу та виноматеріалу
V		
VII		



Додаток А
Рис. Д1.1 Схema автоматизації