

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Тема: «Автоматизація процесу керування охолодженням продукції в амі-
ачній холодильній установці»**

Розробив	А.І. Співак
Керівник к.т.н., доцент	О.Є. Гончаренко
Зав. кафедри АТПіРС д.т.н., професор	В.А. Хобін
<i>«e-версія роботи ідентична оригіналу»</i>	А.І. Співак
<i>«e-версію роботи прийнято»</i>	
Депозитор кафедри АТПіРС	Т.В. Волик

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТП і РС

д.т.н., проф. Хобін В.А.

« 02 » _____ 09 _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

1. Студент **Співак Артем Ігорович**
2. Тема кваліфікаційної роботи **«Автоматизація процесу керування охолодженням продукції в аміачній холодильній установці»**
3. Керівник кваліфікаційної роботи **Гончаренко Олександр Євгенович, к.т.н., доцент**
П.п. 2 і 3 затверджені наказом ОНТУ від 22 серпня 2022 року № 475-03.
4. Строк подання студентом випускної дипломної роботи - 05 червня 2023 р.
5. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали виконаних індивідуальних завдань (ІЗ) технологічної і переддипломної практик, курсових та самостійних робіт, виконаних у відповідності с ІЗ.
6. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) :
 - 1) Характеристика управління охолодженням продукції в аміачній холодильній установці, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.
 - 2) Конкретизація задачі дотримання регламентів управління охолодженням продукції в аміачній холодильній установці, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
 - 3) Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів.
 - 4) Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування охолодженням продукції в аміачній холодильній установці.
 - 5) Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.
 - 6) Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.
 - 7) Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
 - 8) Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.
 - 9) Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи.

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	Світий І.М. к.т.н, доц. каф. АТП і РС		
Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	Світий І.М. к.т.н, доц. каф. АТП і РС		
Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САУ	Степанов М.Т., доц. каф. АТП і РС		
Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	Степанов М.Т., доц. каф. АТП і РС		
Вибір ТЗА та розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту	Мужайло В.Д., доц. каф. МіЛ (ПУтаА)		

8. Дата видачі завдання 26 грудня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика управління охолодженням продукції в аміачній холодильній установці, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом	29.03.23 р.	Виконав
2	Конкретизація задачі дотримання регламентів управління охолодженням продукції в аміачній холодильній установці, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	10.04.23 р.	Виконав
3	Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	24.04.23 р.	Виконав
4	Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування охолодженням продукції в аміачній холодильній установці	25.04.23 р.	Виконав
5	Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів	28.04.23 р.	Виконав
6	Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК	05.05.23 р.	Виконав
7	Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	19.05.23 р.	Виконав
8	Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	26.05.23 р.	Виконав
9	Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи	02.06.23 р.	Виконав

Студент

Співак А.І.

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра

Гончаренко О.Є.

Анотація

Обсяг роботи – 158 стр., кількість розділів - 9, ілюстрацій – 155, таблиць – 20, джерел по переліку посилань – 21.

Об'єкт дослідження або розробки – технологічний процес охолодження продукції в аміачній холодильній установці.

Мета роботи – розробити систему автоматичного керування процесом процес охолодження продукції в аміачній холодильній установці, яка б підтримувала регульовані змінні в регламентних зонах як в сталих, так і в перехідних режимах роботи.

Методи дослідження та інструментарій – при ідентифікації властивостей об'єкту керування використовувалися методи уявного активного та пасивного експерименту з подальшою обробкою їх результатів; моделі об'єкту керування та системи регулювання розроблялися в середовищі Simulink/Matlab; параметричний синтез системи керування проведений методом оптимізації показника якості її функціонування; розробка удосконаленої системи проводилася аналітично із застосуванням апарату передатних функцій.

Отримані результати – отримана система підвищеної динамічної точності, яка підтримує регульовані змінні в регламентних зонах як в сталих, так і в перехідних режимах роботи

Область застосування – система може бути використана при модернізації процесу виробництва сухофруктів.

Значущість роботи і висновки – розроблена система має переваги у порівнянні із традиційними САР, які використовуються на практиці.

Ключові слова: технологічний процес, об'єкт керування, регулятор, система керування.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	8
Вступ.....	9
РОЗДІЛ 1. Характеристика управління процесом охолодження продукції в аміачно-холодильній установці, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом	10
1.1 Вибір об'єкту для модернізації системи автоматизації, опис та аналіз реалізованого ним технологічним процесом та відповідного обладнання.....	10
РОЗДІЛ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу керування охолодження продукції в аміачно-холодильній установці, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.....	19
2.1 Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання.....	19
2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання.....	21
2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень.....	21
2.4 Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	21
2.5 Ідентифікація моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями	28
2.6 Реалізація моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	33
2.7 Відтворення у середовищі імітаційного моделювання моделей динаміки каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	33
2.8 Розробка структурних схем моделювання статички каналів, отримання статичних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними статичними характеристиками.....	37
2.9 Реалізація в середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту управління та підтвердження її адекватності.....	37
2.10 Висновки за розділом	39
РОЗДІЛ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів.....	40
3.1 Конкретизація завдань регулювання процесу підготовки суміші для таблетування пігулок в грануляторі-сушарі.....	40
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	44
3.3 Структурний і параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності.....	44
3.4 Висновки за розділом.....	71
РОЗДІЛ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом аміачно-холодильної установки одеського	

припортового заводу	72
4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом в холодильній установці.....	72
4.2 Висновки за розділом.....	78
РОЗДІЛ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.....	79
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення.....	79
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	85
5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу.....	87
5.4 Висновок за розділом.....	91
РОЗДІЛ 6. Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.....	92
6.1 Програмний синтез логіко-програмного керування та регулювання в середовищі CodeSys.....	92
6.2 Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.....	94
6.3. Програмне конфігурування контролера.....	99
РОЗДІЛ 7. Розробка scada для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	112
7.1. Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.....	112
7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	113
7.3. Конкретизація функцій та структури екранів АРМ наладчика САК.....	126
7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК.....	127
7.5. Висновки за розділом.....	129
РОЗДІЛ 8 Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.....	130
8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень.....	130
8.2 Опис схеми автоматизації.....	132
8.3 Опис принципової електричної схеми.....	134
8.4 Розробка принципових електричних схем живлення.....	134
8.5. Охорона праці.....	136
8.6 Висновки за розділом.....	143
РОЗДІЛ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи.....	144
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації.....	144
9.2 Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості.....	146

9.3 Висновок за розділом.....	147
Загальні висновки.....	148
Список літератури.....	151
Додатки.....	152
Додаток А1 Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації.....	153
Додаток Б1 Попередній перелік обладнання до схеми прямого пуску електродвигуна з переходом зірка-трикутник.....	154
Додаток В1 Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми підключення насосу через частотний перетворювач.....	155
Додаток А Схема автоматизації.....	156
Додаток Б Принципова електрична схема пуску двигуна з переходом зірка-трикутник	157
Додаток В Принципова електрична схема живлення частотного перетворювача.....	158

Перелік умовних позначень

ТП – технологічний процес

ОК – об'єкт керування

ОУ – об'єкт управління

АЧХ – амплітуда частотних характеристик

ФЧХ – фаза частотних характеристик

ІПФ - імпульсна перехідна функція

СКП – середньоквадратичне період

САР – система автоматизованого регулювання

ПІД – регулятор – пропорціонально – інтегрально – дифференціюючий регулятор

ПІ – регулятор - пропорціонально – інтегральний регулятор

Вступ

Велика різноманітність робочих речовин, використання яких можливе в холодильній техніці, так само як і різноманіття їх термодинамічних та експлуатаційних властивостей, показує, що знайти одну речовину, що поєднує тільки позитивні якості та властивості, дуже важко. При виборі холодильного агента необхідно розглянути та проаналізувати сукупність всіх властивостей та факторів, що характеризують як роботу холодильної машини (призначення, холодопродуктивність, розміщення), так і конструктивні особливості її окремих елементів, та прагнути зменшення негативного впливу властивостей обраної речовини. Крім того, до холодильного агента висуваються вимоги вибухобезпеки, негорючості, нетоксичності, термічної стабільності, стабільності в суміші з олією, а також низької вартості.

Питаннями впливу властивостей холодоагентів на енергетичні, експлуатаційні, конструктивні показники та характеристики холодильних машин та їх елементів займаються як науково-дослідні інститути, так і компанії-виробники холодильного обладнання.

З кінця 1990-х років у холодильній техніці спостерігається тенденція до ширшого застосування про природних холодоагентів: повітря, вуглеводні, діоксид вуглецю і аміак. Найбільшого поширення з них набув аміак, який використовується в холодильній техніці вже понад 100 років і знайомий під позначенням R717. Популярність аміаку пов'язана з його сприятливими для використання у холодильній техніці теплофізичними властивостями. Аміак відноситься до холодоагентів середнього тиску і використовується в найбільш затребуваному інтервалі температур об'єкта, що охолоджується, від 0 до -60 °C при температурі конденсації до 55 °C. Діапазон холодопродуктивності аміачних холодильних машин може становити від десятків кіловат до декількох мегават.

Холодильна установка є комплексом холодильних систем та додаткового обладнання. Додаткове обладнання включає систему оборотного охолодження води, приготування та подачу проміжного холодоносія тощо.

Для підтримки справності холодильної установки передбачається комплекс робіт, що отримали назву – технічне обслуговування. До основних допоміжних операціям при обслуговуванні аміачних холодильних установок прийнято відносити: відтавання пристроїв охолодження камер, поповнення системи холодильної установки холодильним агентом та олією, випуск олії з судин та апаратів, а також випуск повітря та мастила із системи холодильної установки.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРОДУКЦІЇ В АМІАЧНО-ХОЛОДИЛЬНІЙ УСТАНОВЦІ, ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

1.1 Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого агрегатом, цілей і умов його ведення

1.1.1 Складання схеми та опис суті технологічного процесу, реалізованого технологічним агрегатом, як цілеспрямованого перетворення матеріальних і енергетичних потоків.

Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення продуктових і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні (ТУ) (машинах, апаратах, агрегатах). Суть технологічного процесу охолодження води до потрібної температури яка надходить до споживачів. Технологічний процес реалізується в випарнику холодильної машини де від води забирається надлишкова температура. Технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1.

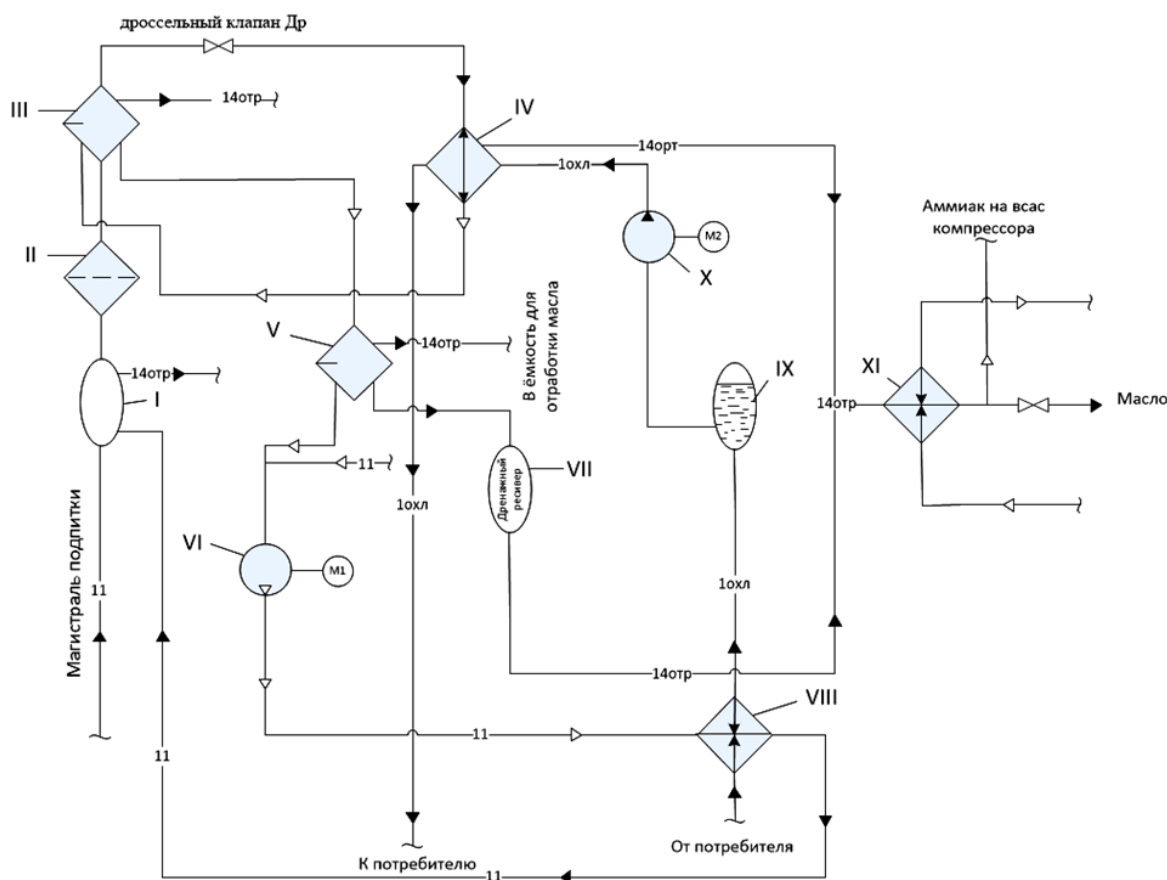


Рис. 1.1 – Апаратурно-технологічна схема процесу регулювання температур води яка надходить до споживача за допомогою аміачно-холодильної установки

Установка є замкнутою аміачно-холодильною станцією, де у випарниках за рахунок випаровування аміаку відбувається охолодження відпрацьованої охолодженої води. На схемі прийнято такі позначення:

I – Ресивер. II – Фільтр.

III - Віддільник рідини IV - Випарник

V - Віддільник рідини VI - Компресор

VII – Дренажний ресивер VIII – Конденсатор.

IX - Місткість для захищеної води X- Насос.

XI - Місткість для відпрацювання олії. -14 отр - відпрацьована олія

- 1 охл – схована вода.

Рідкий аміак з основного колектора аміаку першого агрегату карбаміду надходить у ресивер I, а потім через фільтр II, віддільвач рідини III. З відокремлювача III здросельований клапаном Др рідкий аміак надходить у міжтрубний простір випарника IV. За рахунок температури кипіння аміаку відбувається охолодження води, що циркулює трубним простором випарника IV.

Пари аміаку, що утворюються при кипінні у випарнику IV, надходять у віддільник рідини III, де відокремлюються від крапель рідини і надходять у віддільник рідини V. Тут газоподібний аміак, що відокремився від крапель рідини у віддільнику V, відсмоктується компресором VI, а рідкий аміак зливається в дренаж ресивер VII.

Газоподібний аміак компресором VI стискається та надходить у конденсатор VIII, де за рахунок теплообміну з оборотною водою стискається та зливається у лінійний ресивер I.

Відпрацьована охолоджена вода від споживачів надходить трубопроводом у ємність IX, звідки насосом X подається в аміачний випарник IV, де, циркулюючи по трубному простору, охолоджується і з температурою 12 °С знову подається в технологічні апарати споживача для теплообміну.

Аміак з домішками олії з відокремлювача рідини V, дренажного ресивера VII, міжтрубного простору випарника IV, відокремлювача рідини III, ресивера I – надходить у ємність для відпрацьованого масла XI.

У ємності XI за рахунок тепла насиченої пари, що подається в змійовик, відбувається очищення олії шляхом випаровування аміаку.

Газоподібний аміак надходить на всмоктування компресора VI, а очищене масло зливається в переносну тару.

1.1.2 Опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації.

Основні теплообмінні агрегати є обов'язковими елементами холодильних установок. До цієї групи обладнання можна віднести конденсатори та іспарителі.

В конденсаторі нагнетаємий компресором холодагент віддає тепло, отримане під час холодильного циклу в компресорі, іспарителі та трубопроводах. У холодильних машинах може використовуватися конденсатор водяного або повітряного охолодження для конденсації пари охолоджуваного холодагента в результаті водяного або повітряного охолодження відповідно. Зараз на амміачних і фреонових холодильних установках середньої і великої холодопостачання в основному застосовуються конденсатори з водяним охолодженням, які за способом тепловідводу діляться на:

проточні (горизонтальні та вертикальні кожухотрубні, пакетно-панельні, пластинчаті, елементні)

оросительные;

испарительные.

Принцип дії іспарильних конденсаторів ще називають водопровідним охолодженням, т.к. вода охолоджується як під дією циркулюючого в змієвиках амміака, так і потоком повітря від вентилятора.

В іспарителі відбувається кипіння хладагента завдяки теплу, яке відводиться від охолоджуваної середовища. По типу охолоджуваної середовища іспарителі призначені для охолодження холодоносіїв і технологічних продуктів рідинних, твердих, газоподібних, а також повітря. В амміачних холодильних агрегатах частіше всього застосовуються іспарителі кожухотрубної конструкції.

У холодильних машинах, які застосовуються для охолодження повітря, наприклад в промислових чиллерах, іспаритель використовується в якості водоохолоджувача. У своїй лінії теплообмінного обладнання компанія Альфа Лаваль випускає в т.ч. повітроохолоджувач, призначений для роботи на амміаці (наприклад, серія Arctigo IS).



Рис. 1.2 – Теплообмінний апарат

Допоміжне теплообмінне обладнання аміачних холодильних машин.

Застосування і кількість допоміжних теплообмінних агрегатів залежить від режиму роботи установки і характеристик циклу. Передбачаючи

підвищення ефективності окремих робочих процесів і всього циклу, застосування допоміжних теплообмінних апаратів покращує експлуатаційні характеристики холодильних машин, підвищує надійність і знижує затратність їх роботи.

До допоміжним теплообмінним апаратам амміячних холодильних машин відносяться:

1. Промежуточні сосуди, які використовуються в низькотемпературних амміячних холодильних системах двохступенчатого нагріву для охолодження пара амміаку після компресора на першій ступені зжигання, а також для охолодження рідкого аміаку перед його дроселуванням.

2. Переохолоджувачі, які застосовуються з метою охолодження аміаку для зменшення тиску при його дроселі. В системі амміакової холодильної машини розміщуються між лінійним ресивером і дроселем, в основному охолоджується вода.

3. Економайзер, використовуваний для підвищення продуктивності внутрішньої холодопродуктивності амміячних холодильних установок, в яких перегрів парів холодагента в іспарителі забезпечує сухий хід компресора. Переохолодження рідкого холодагента в економайзері перед дросельним вентиляем забезпечується завдяки використанню частини корисної холодопродукції. У якості економайзера в амміячних холодильних установках може використовуватися пластинчастий теплообмінник Альфа Лаваль (наприклад, серії TS6).



Рис. 1.3 Пластинчастий теплообмінник TS6

4. Маслоохолоджувачі, що є одним з основних вузлів винтових маслозаповнених компресорів, що використовуються для охолодження циркуляційного масла. В залежності від охолоджувальної середовища маслоохолоджувачі бувають повітряними і водяними, причому останні отримали більшу форму. В якості водяних маслоохолоджувачів в амміячних

системах частіше всього використовуються кожухотрубні теплообмінники, вода береться із системи оборотного водопостачання.

5. Масловідділювачі, які в проектах амміачних холодильних агрегатів використовуються для заливки масла, який холодагент виводить із компресора, а також для згладжування пульсацій, нагнетаемого пара холодагента. Маслоохолоджувачі бувають барботажними (промивними) та інерційними (сетчатими, циклонними, комбінованими).

6. Ресивери, т.е. вертикальні або горизонтальні циліндри з патрубками для циркуляції хладагента, урівняльною лінією та комплектуючими арматурою та приладами. Ресивери в амміачних холодильних апаратах бувають лінійними, циркуляційними і дренажними.

7. Циркуляційні насоси, які служать для циркуляції проміжного холодоносителя, води в оборотних системах водопостачання або рідкого амміака в насосно-циркуляційних системах. У перших випадках у двох випадках використовують консольні насоси, для амміака застосовують спеціальні герметичні насоси.

8. Повітровідділювачі, які використовуються для видалення повітря, що впав в систему амміакової холодильної машини.

9. Окремі рідини, які включаються в схему захисту компресора від гідравлічного удару, який може виникнути внаслідок попадання в нього рідкого хладагента.

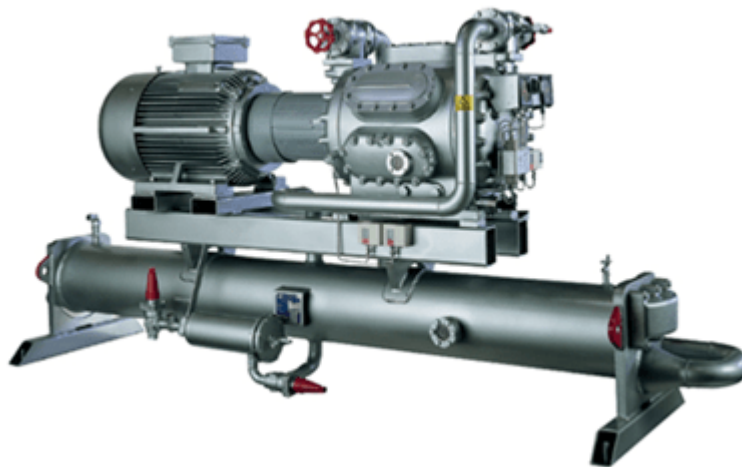


Рис. 1.4 – Компресорна холодильна аміачна установка

1.1.3 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес.

Мета ведення процесу охолодження води до необхідної температури яка необхідна для споживачів.

При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

Технологічний процес охолодження води за допомогою аміачної

холодильної установки доцільно реалізувати, якщо:

- Температура рідкого аміаку з основного колектора від -34 до -10°C .
- Тиск із основного колектора – від $1,69$ до $2,19$ МПа.
- Температура аміаку у трубному просторі випарника IV – від 20 до 12°C
- Температура газоподібного аміаку у відділі рідини V – від 5 до 8°C .
- Температура аміаку на виході із компресора – від 85 до 90°C .
- Тиск аміаку на виході з компресора – від $1,52$ МПа.
- Температура відпрацьованої охолодженої води споживача – 20°C .
- Температура води на виході з випарника від 8 до 12°C .
- Тиск пари ємності, що подається в змійовик XI - $1,39$ МПа
- Температура пари у змійовику ємності XI – 190°C .
- Температура води, що надходить до споживача 12°C .

1.1.4 Параметризація схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.

Установка є замкнутою аміачно-холодильною станцією, де у випарниках за рахунок випаровування аміаку відбувається охолодження відпрацьованої охолодженої води.

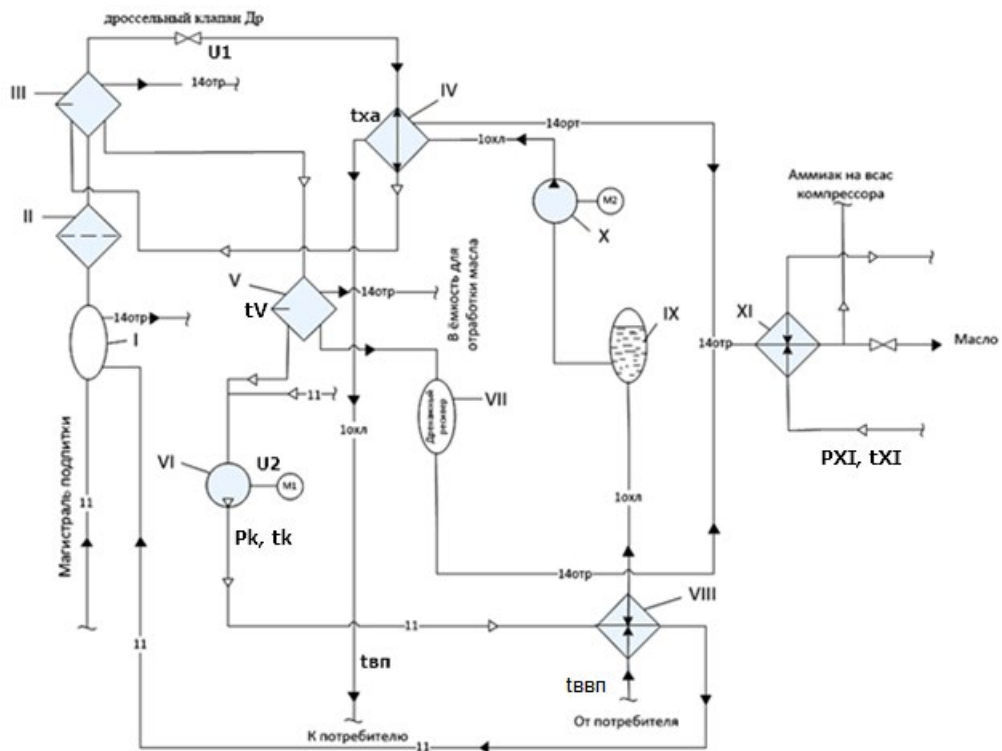


Рис. 1.5 – Параметризована технологічна схема процесу охолодження води аміачно-холодильною машиною

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

U1 – керуюча дія – зміна ступеня відкриття клапана Др холодоагента;

U2 – керуюча дія – зміна швидкості обертання холодильного компресора.

t_1 - Температура рідкого аміаку з основного колектора.
 P_n - Тиск із основного колектора.
 t_{xa} - Температура аміаку у трубному просторі випарника IV
 t_V - Температура газоподібного аміаку у відділі рідини.
 t_k - Температура аміаку на виході із компресора .
 P_k - Тиск аміаку на виході з компресора .
 $t_{ввп}$ - Температура відпрацьованої охолодженої води споживача.
 $t_{вп1}$ - Температура води на виході з випарника.
 P_{XI} - Тиск пари ємності, що подається в змійовик XI.
 t_{XI} - Температура пари у змійовику ємності XI.
 $t_{вп}$ - Температура води, що надходить до споживача.

1.2 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення

1.2.1 Виявлення нормативів ведення технологічного процесу і роботи технологічного агрегату.

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу аміачно-холодильної установки таким параметром є температура води до споживача $t_{в.п.}$ та температура аміаку у випарнику $t_{ам.}$

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для холодильної установки є таких декілька параметрів тиск аміаку в системі охолодження та тиск води.

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних та гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести витрати електроенергії яке затрачується на роботу насосів перекачки аміаку та води.

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

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

Відхилення температури аміаку у випробувачі призведе до меншого охолодження води і як наслідок порушення технологічного процесу що веде за собою брак продукції.

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

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця	Номінальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
						Величина	Величина
1	Температура води до споживача	$t_{вп}$	°С	12	0,4	2	150 с
2	Температура аміаку у випаровувачі	$t_{ам.}$	°С	-9,4	0,4	1,7	100 с

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

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

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри очищення та конденсація води що йде на охолодження: $t_{вп1}$, $t_{вп2}$.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо витрати електроенергії на роботу насосів: W_{m1} , W_{m2} .

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо положення регулюючого органу, що дроселює потік аміаку в системі та швидкість обертання підкачуючого насосу : U_1 , U_2 .

1.2.4 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.

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

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

Параметрична схема процесу регулювання температур води яка надходить до споживача за допомогою аміачного-холодильної установки на рис. 1.6.

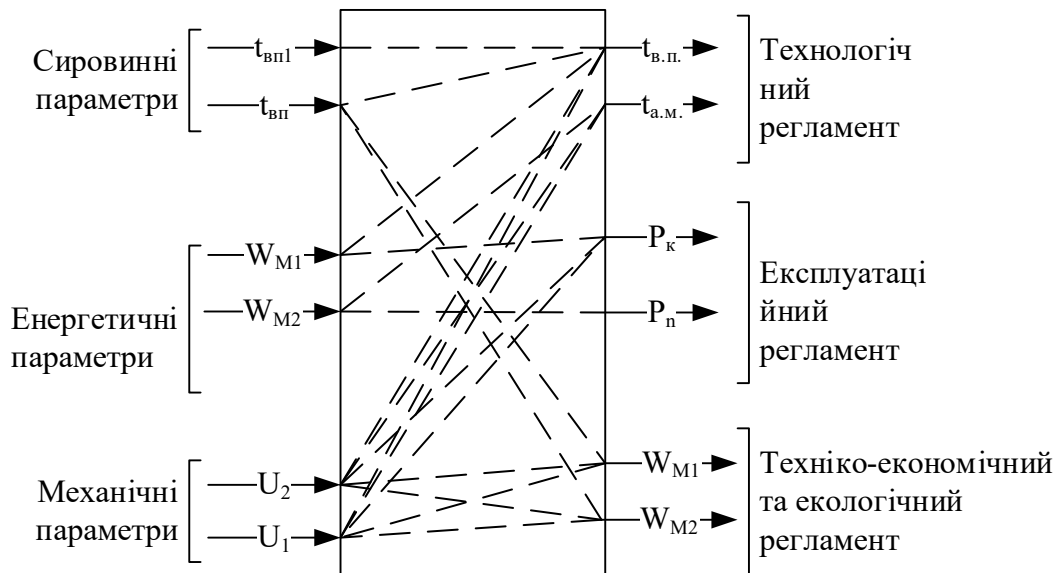


Рис. 1.6 – Параметрична схема процесу регулювання температур води яка надходить до споживача за допомогою аміачного-холодильної установки

U_1 – керуюча дія – зміна ступеня відкриття клапана Др холодоагента;

U_2 – керуюча дія – зміна швидкості обертання холодильного компресора.

$t_{вп}$ – температура сконденсованої води від споживача

$t_{вп1}$ – температура очищеної води від споживача

W_{M1} – витрати електроенергії електродвигуном для перекачки аміаку

W_{M2} – витрати електроенергії електродвигуном для перекачки води споживачу

$t_{в.п.}$ – температура води до споживача

$t_{а.м.}$ – температура аміаку у випаровувачі

P_k – Тиск аміаку на виході з компресора

P_n – Тиск із основного води.

РОЗДІЛ 2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРОДУКЦІЇ В АМІАЧНО-ХОЛОДИЛЬНІЙ УСТАНОВЦІ, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЇЇ МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

2.1 Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування

2.1.1 Конкретизація мети і завдань керування об'єктом, виявлення регульованих координат.

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

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

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

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

Звідси задачу керування можна розділити на:

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

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

Для процесу охолодження води в якості регулюючої координати доцільно взяти температуру охолодженої води яка йде до споживачів $t_{вп}$ та температуру аміаку у випаровувачі $t_{ам}$.

2.1.2 Вибір управляючих дій об'єкту керування.

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

Для процесу охолодження води до управляючих дій доцільно віднести положення регульовального органу, що дроселює зміну ступеня подачі аміаку (U_1) та зміну швидкості обертання холодильного компресора (U_2).

2.1.3 Виділення та класифікація збурень об'єкта керування.

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

Для процесу охолодження води за допомогою аміачно-холодильної машини всі дії віднести, до неконтрольованих збурень крім управляючої дії.

2.1.4 Складання структурної (координатної) схеми об'єкту регулювання.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Розробка схеми проводиться на основі результатів досліджень, викладених у п.п. 1.3.1 – 1.3.3.

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

Структурна схема аміачно-холодильної установки наведена на рис. 1.5.

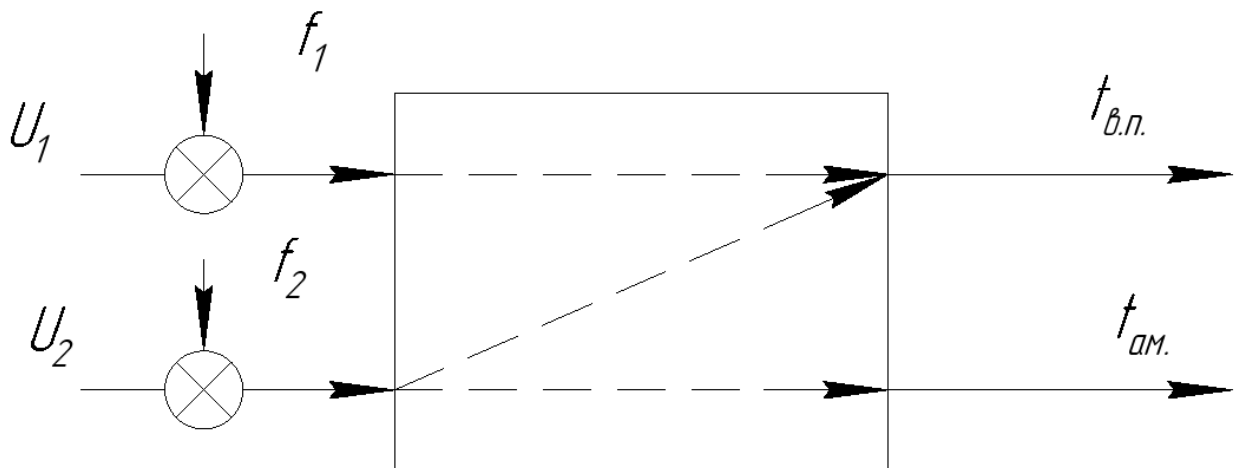


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу аміачно-холодильної установки

$t_{в.п.}$ – температура води, що йде до споживача;

$t_{ам.}$ – температура кипіння холодоагенту у випарнику;

U_1 – керуюча дія – зміна ступеня відкриття клапана Др холодоагенту;

U_2 – керуюча дія – зміна швидкості обертання холодильного компресора.

2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій об'єкту керування

2.3 Априорний аналіз статичних і динамічних властивостей об'єкту керування

2.3.1 Априорний аналіз і вибір структури моделей динамічних властивостей каналів керування та контрольованих збурень на основі знання фізичних закономірностей технологічного процесу.

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

Для технологічного процесу аміачно-холодильної установки як за каналом управління, так і за каналом контрольованого збурення ОК має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим. Збільшення управляючої дії температури холодогену (контрольованого збурення) приведе до зменшення температури води (регульованої координати).

2.3.2 Априорний аналіз і прийняття рішення про припустимість лінеаризації статичних властивостей каналів керування і збурень об'єкта регулювання, виходячи, зокрема, з діапазонів зміни регульованих перемінних при роботі САР, для розробки якої ведеться ідентифікація об'єкта.

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 води як регульованої координати. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференційними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

2.4 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання в околиці його робочих режимів

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

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

проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії.

2.4.2 Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурального та (або) уявного експериментів.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $U_1 = 85 \% \text{х.р.о.}$ та $U_2 = 70 \% \text{х.р.о.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $t_{\text{вп}} = 8\text{С}$, $t_{\text{ам.}} = -2\%$.

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 $10\% \text{х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідних 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 $10\% \text{х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

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

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.1.

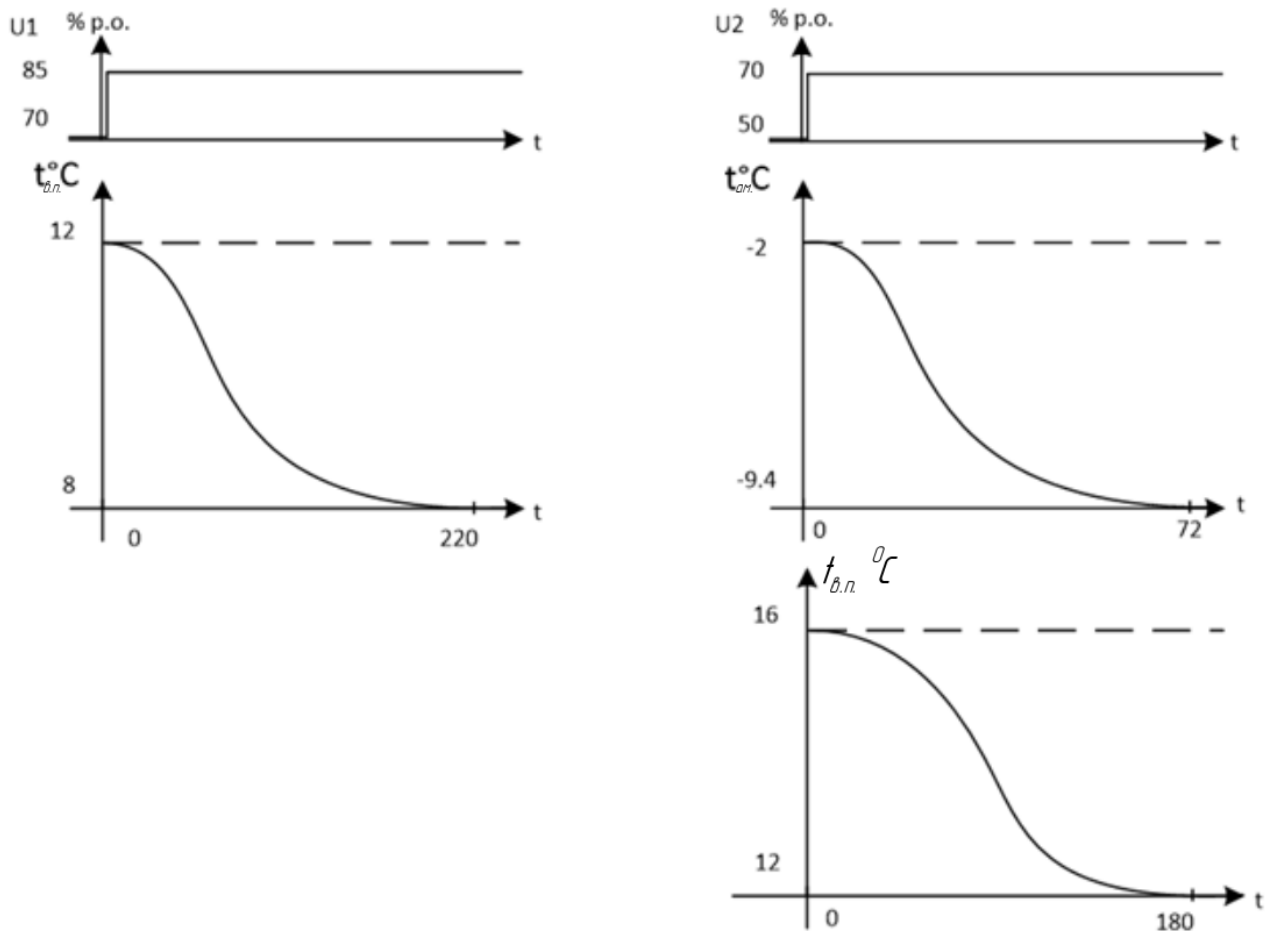


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

2.4.3 Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, обґрунтування та вибір структури моделей каналів (структурна ідентифікація моделей).

За результатами активного експерименту (рис. 2.1) можна зробити висновок, що канал управління нашого ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку:

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 \cdot p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 \cdot p + 1)^2}$$

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

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

Канал «U₁ – t_{в.п.}»

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_{01} = \frac{\Delta t}{\Delta U_1} = \frac{t_{в.п.2} - t_{в.п.1}}{\Delta U_1} = \frac{8 - 12}{85 - 70} = \frac{-4}{15} = -0,27 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х. п. о.}$$

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

$$\square t_{\text{в.п.1,0}} = 8 - 12 = -4^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{в.п.0,33}} = 0,33 \cdot -4 + 12 = 10,7^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{в.п.0,7}} = 0,7 \cdot -4 + 12 = 9,2^{\circ}\text{C};$$

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

Відповідно і це неправильно

$$t_{0,33} = 56,97\text{с};$$

$$t_{0,7} = 90,49\text{с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 56,97 - 90,49) = 40,2\text{с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0)/1,2 = (90,49 - 40,2)/1,2 = 41,9\text{с}$$

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

$$W_0(p) = -\frac{0,27 \cdot e^{-40,2p}}{41,9 \cdot p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$t_{\text{в.п.0,19}} = 0,2 \cdot -4 + 12 = 11,2^{\circ}\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.2), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 46,6\text{с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 46,6 - 90,49) = 24,7\text{с}$$

$$T_0 = \frac{(t_{0,7} - \tau_0)}{2,4} = (90,49 - 24,7)/2,4 = 27,4\text{с}$$

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

$$W_0(p) = -\frac{0,27 \cdot e^{-24,7p}}{(27,4 \cdot p + 1)^2}$$

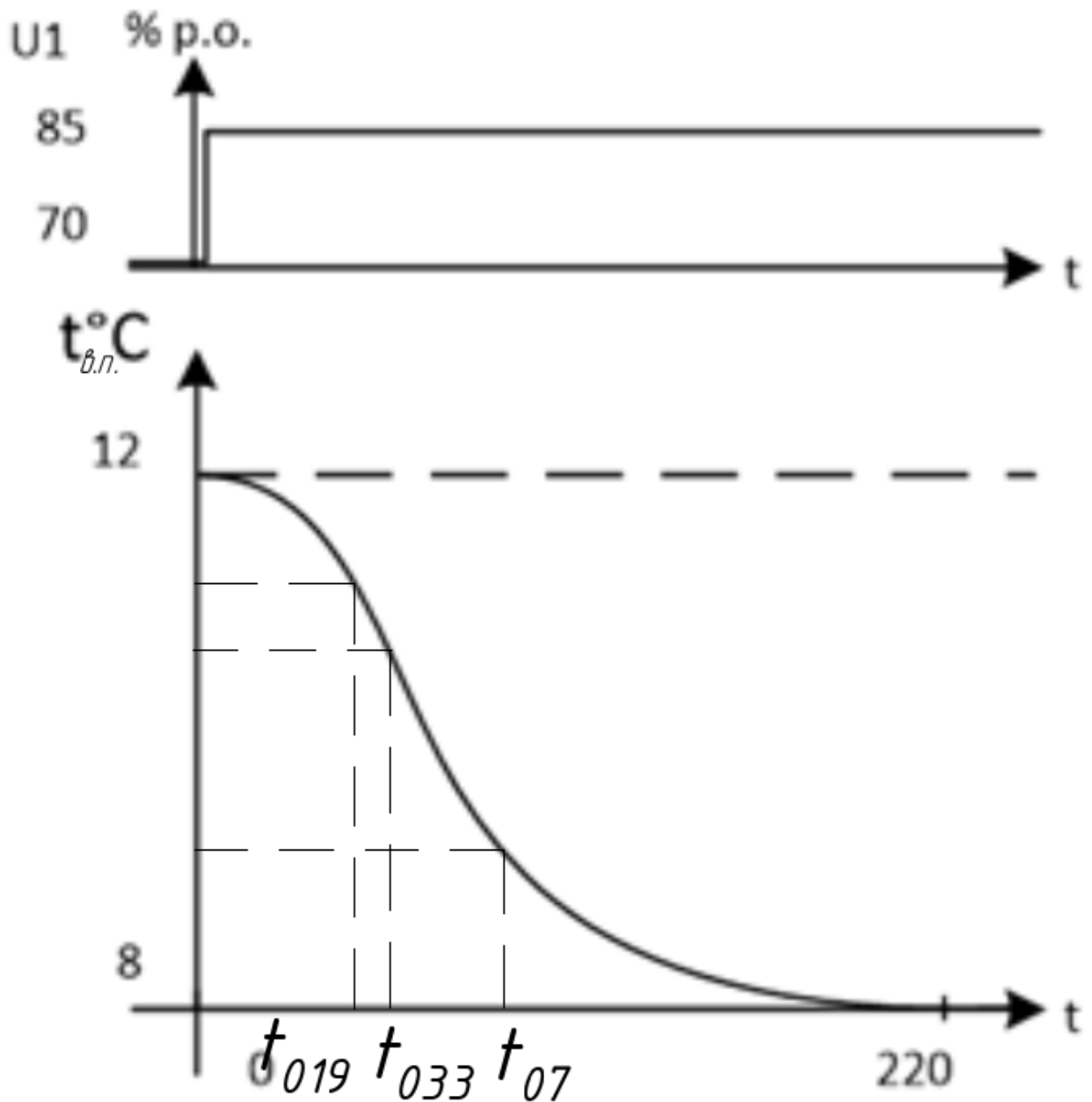


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

Канал « $U_2 - t_{в.п.}$ »

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_{02} = \frac{\Delta t}{\Delta U_2} = \frac{t_{в.п.2} - t_{в.п.1}}{\Delta U_2} = \frac{12 - 16}{70 - 50} = -0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \%x. \text{ p. o.}$$

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

$$\square t_{в.п.} = 16 - 12 = 4^\circ\text{C};$$

$$t_{в.п. 0,33} = 0,33 \cdot -4 + 16 = 14,68^\circ\text{C};$$

$$t_{в.п. 0,7} = 0,7 \cdot -4 + 16 = 13,2 \text{ } ^\circ\text{C};$$

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

$$t_{0,33} = 71,64\text{c};$$

$$t_{0,7} = 96,48\text{c}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 71,64 - 96,48) = 59,2\text{c}$$

$$T_0 = \frac{(t_{0,7} - \tau_0)}{1,2} = (96,48 - 59,2)/1,2 = 31,1\text{c}$$

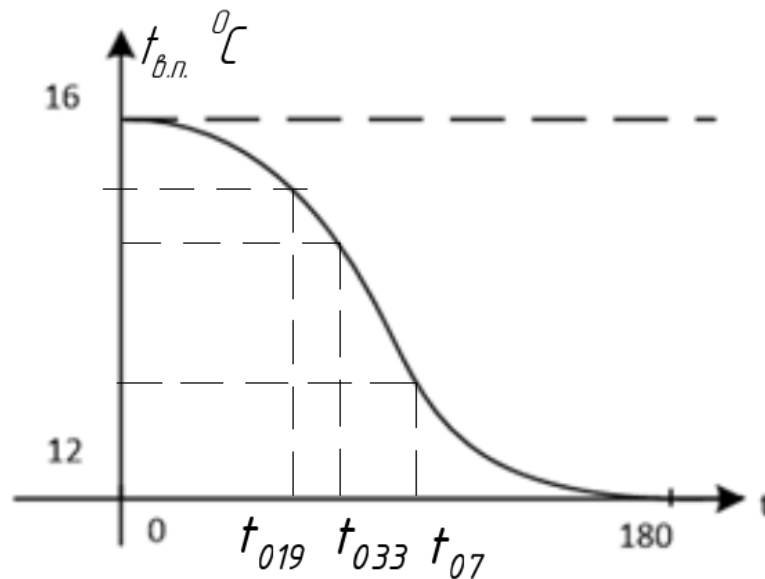


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

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

$$W_0(p) = -\frac{0,2 \cdot e^{-59,2p}}{31,1 \cdot p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$t_{в.п. 0,19} = 0,19 \cdot -4 + 16 = 15,24^\circ\text{C};$$

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

$$t_{0,19} = 55,8\text{c}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 55,8 - 96,48) = 35,5\text{c}$$

$$T_0 = \frac{(t_{0,7} - \tau_0)}{2,4} = (96,48 - 35,5)/2,4 = 25,4\text{c}$$

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

$$W_0(p) = -\frac{0,2 \cdot e^{-35,5p}}{(25,4 \cdot p + 1)^2}$$

Канал «U₂ – t_{а.м.}»

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_{03} = \frac{\Delta t}{\Delta U_2} = \frac{t_{ам.2} - t_{ам.1}}{\Delta U_2} = \frac{-9,4 - (-2)}{70 - 50} = -0,37 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{‰х.р.о.}$$

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

$$\square t_{ам.} = -9,4 - (-2) = -7,4^\circ\text{C};$$

$$t_{ам. 0,33} = 0,33 \cdot -7,4 - 2 = -4,4^\circ\text{C};$$

$$t_{ам. 0,7} = 0,7 \cdot -7,4 - 2 = -7,18^\circ\text{C};$$

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

$$t_{0,33} = 18,7\text{с};$$

$$t_{0,7} = 30,4\text{с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 18,7 - 30,4) = 12,9\text{с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (30,4 - 12,9) / 1,2 = 14,6\text{с}$$

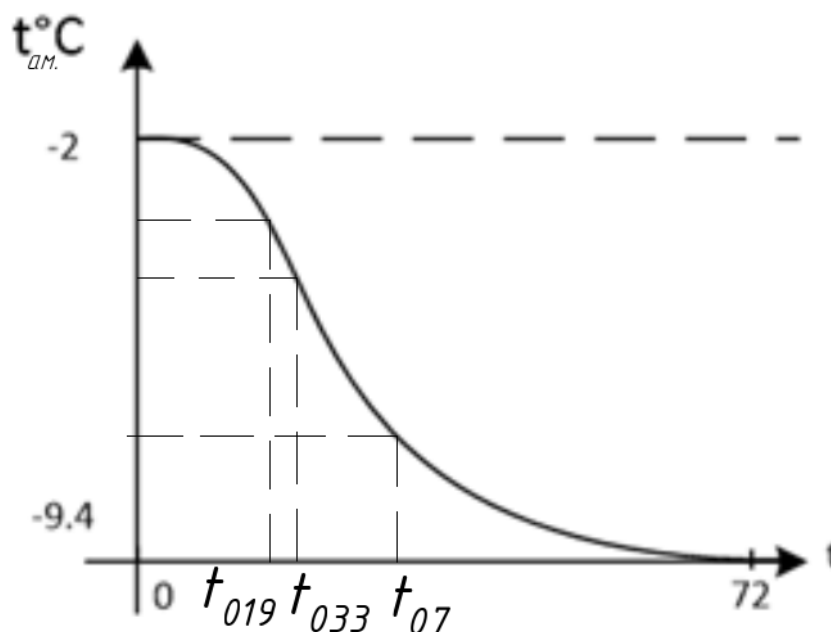


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

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

$$W_0(p) = -\frac{0,37 \cdot e^{-12,9p}}{14,6 \cdot p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$t_{в.п. 0,19} = 0,19 \cdot -7,4 - 2 = -3,4^\circ\text{C};$$

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

$$t_{0,19} = 15,5\text{с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 15,5 - 30,4) = 8,1\text{с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0)/2,4 = (30,4 - 8,1)/2,4 = 9,3c$$

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

$$W_0(p) = -\frac{0,37 \cdot e^{-8,1p}}{(9,3 \cdot p + 1)^2}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

2.5.2 Планування активного експерименту на об'єкті для реалізації обраного методу та відображення результатів натурного або уявного експериментів у вигляді оцінок статичних характеристик.

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

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

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

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

Г. Послідовність зміни факторів особливо при їх великій кількості доцільно вибрати такою, щоб рандомизувати експеримент, тобто додати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить “не пропустити” особливостей властивостей об'єкту, що при однакових з'єднаннях факторів при повторах можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.2 і на рис. 2.5.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	U ₁ , %х.р.о.	U ₂ , %х.р.о.	t _{вп} , °С	t _{ам} , °С
1	70	70	12	-9,4
2	85	70	8	-9,4
3	55	70	16	-9,4
4	70	50	16	-2
5	70	60	14	-5,7
6	70	80	10	-13,1

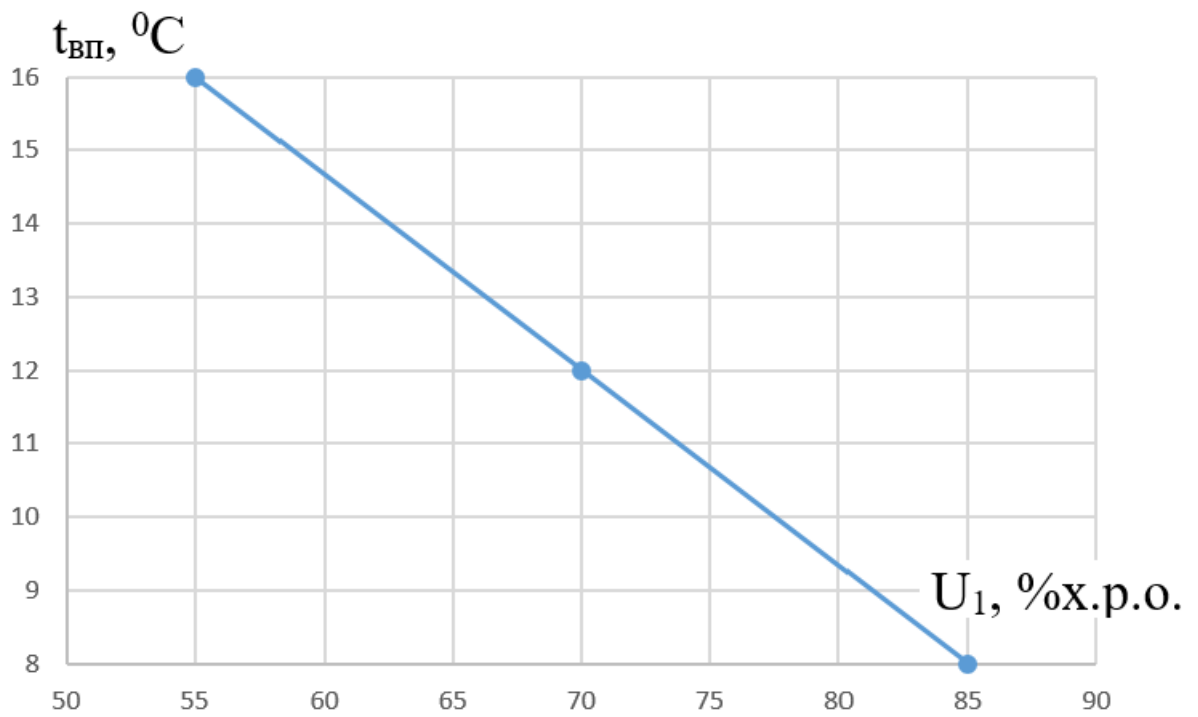


Рис. 2.6 – Статична характеристика ОК за каналом « $U_1 - t_{ВП}$ »

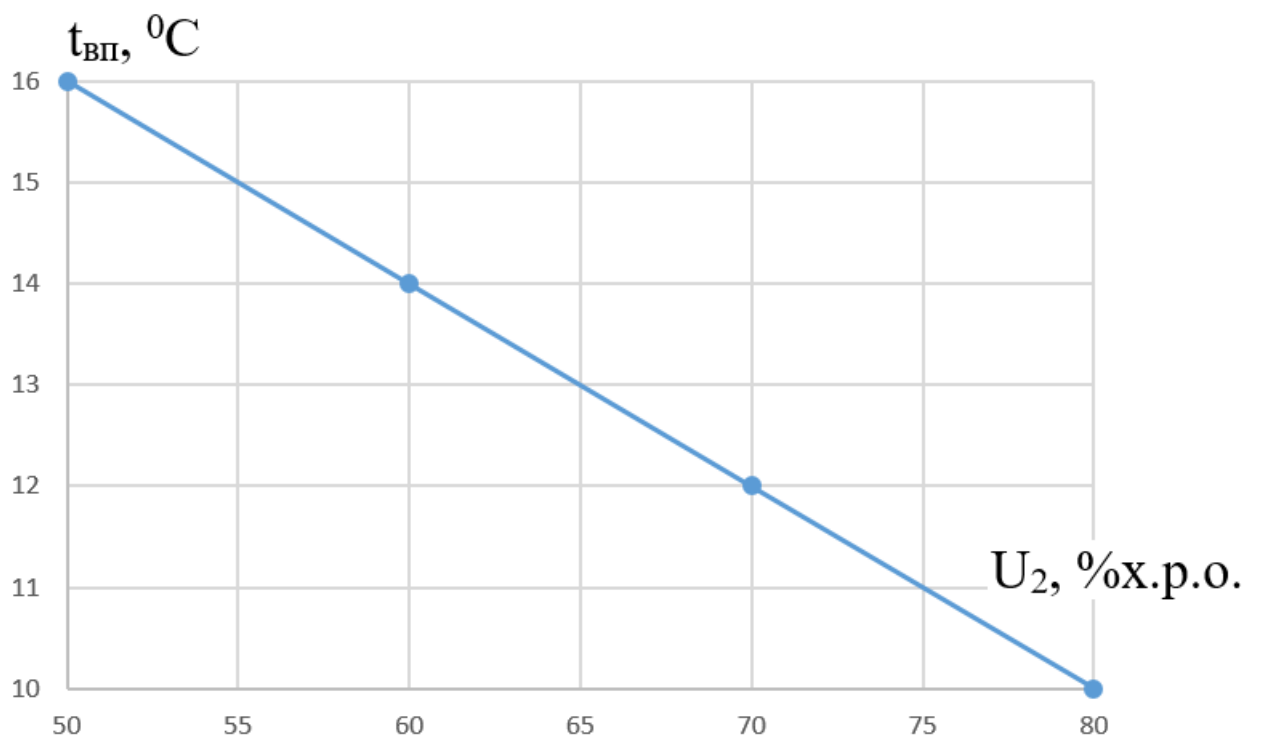


Рис. 2.7 – Статична характеристика ОК за каналом « $U_2 - t_{ВП}$ »

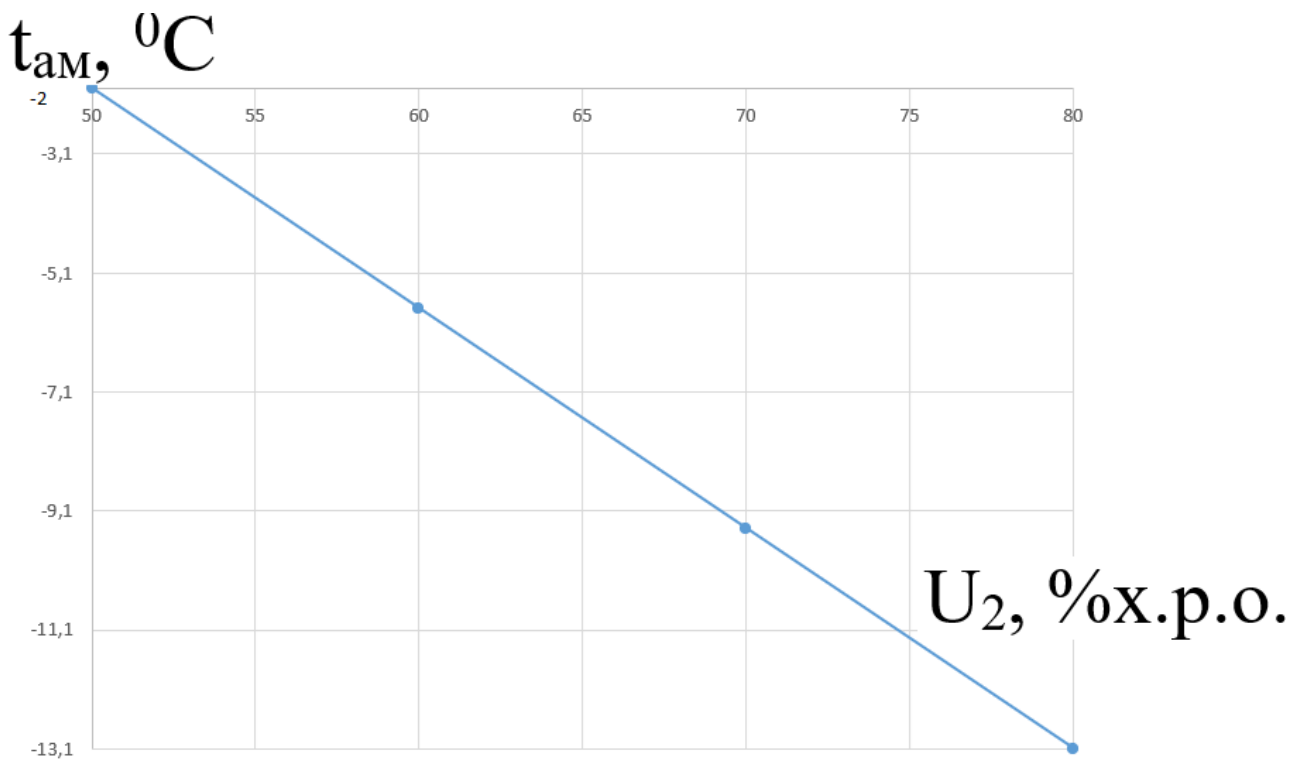


Рис. 2.8 – Статична характеристика ОК за каналом « $U_2 - t_{ам}$ »

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

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\vec{x})$. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом загального завдання ідентифікації моделей статички. Але, як показує практика, вибрати вид моделі відразу, як правило, не вдається. Причому недоліки вибраної моделі стають очевидними тільки після етапу її параметричної ідентифікації. Усунення недоліків моделі вимагає повернення до процедури структурної ідентифікації. Таких поверів може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер.

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

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

Для досліджуваного ОК, як видно з рис. 2.5, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$t_{в.п.} = a_1 \cdot U_1 + a_2 \cdot U_2 + a_0$$

$$t_{\text{ам.}} = b_1 \cdot U_2 + b_0$$

Параметр a_1, a_2, b_1 були нами визначений в процесі ідентифікації в підрозділах 2.2 і 2.3. При цьому $a_1 = K_{01} = -0,27 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$, $a_2 = K_{02} = -0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$, $b_1 = K_{03} = -0,37 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$,

Параметри a_0 та b_0 можна визначити із залежності:

$$a_0 = t_{\text{в.п.}} - a_1 \cdot U_1 - a_2 \cdot U_2 = 12 + 0,27 \cdot 70 + 0,2 \cdot 70 = 44,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$b_0 = t_{\text{ам.}} - b_1 \cdot U_2 = -9,4 + 0,37 \cdot 70 = 16,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$t_{\text{в.п.}} = a_1 \cdot U_1 + a_2 \cdot U_2 + a_0 = -0,27 \cdot U_1 - 0,2 \cdot U_2 + 44,9$$

$$t_{\text{ам.}} = b_1 \cdot U_2 + b_0 = -0,37 \cdot U_2 + 16,5$$

2.6 Реалізація моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

2.7 Відтворення у середовищі імітаційного моделювання моделей динаміки каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналів « $U_1 - t_{в.п.}$ », « $U_2 - t_{в.п.}$ », « $U_2 - t_{а.м.}$ » ОК розробляємо схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Канал « $U_1 - t_{в.п.}$ »

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_0(p) = - \frac{0,27 \cdot e^{-40,2p}}{41,9 \cdot p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК:

$$W_0(p) = - \frac{0,27 \cdot e^{-24,7p}}{(27,4 \cdot p + 1)^2}$$

Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного каналу ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.2. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.9. Результати моделювання наведені на рис. 2.10.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані

t, с	$t_{в.п.}, ^\circ\text{C}$	t, с	$t_{в.п.}, ^\circ\text{C}$
0	12	120	8,54
20	11,89	140	8,31
40	11,43	160	8,17
60	10,47	180	8,07
80	9,5	200	8
100	8,89	220	8

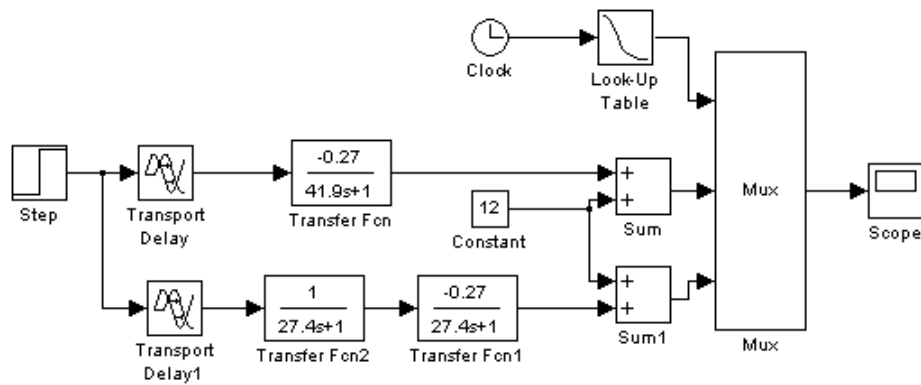


Рис. 2.9 – Схема моделювання ОК за каналом « $U_1 - t_{в.п.}$ »

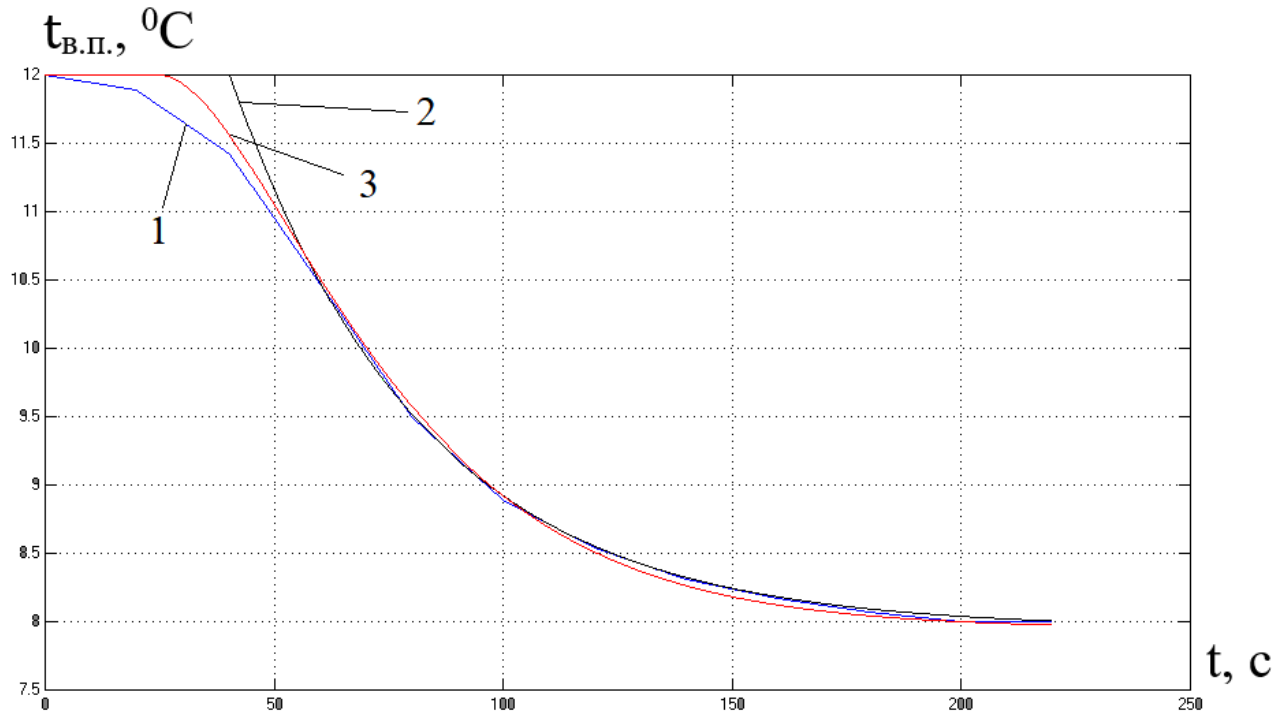


Рис. 2.10 – Результати моделювання ОК за каналом « $U_1 - t_{в.п.}$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Канал « $U_2 - t_{в.п.}$ »

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_0(p) = -\frac{0,2 \cdot e^{-59,2p}}{31,1 \cdot p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК:

$$W_0(p) = -\frac{0,2 \cdot e^{-35,5p}}{(25,4 \cdot p + 1)^2}$$

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані

t, c	t _{в.п.} , °C	t, c	t _{в.п.} , °C
0	16	100	12.97
20	15.9	120	12.43
40	15.63	140	12.12
60	15.1	160	12
80	14.2	180	12

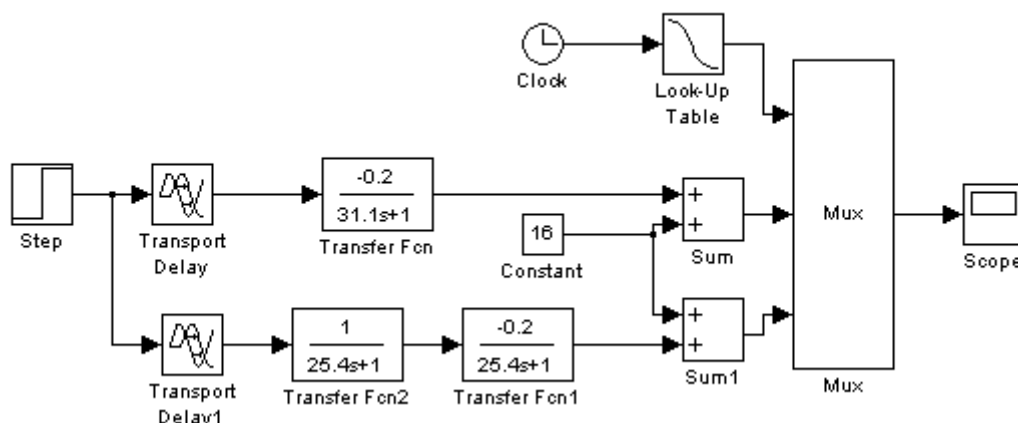


Рис. 2.11 – Схема моделювання ОК за каналом «U₂ – t_{в.п.}»

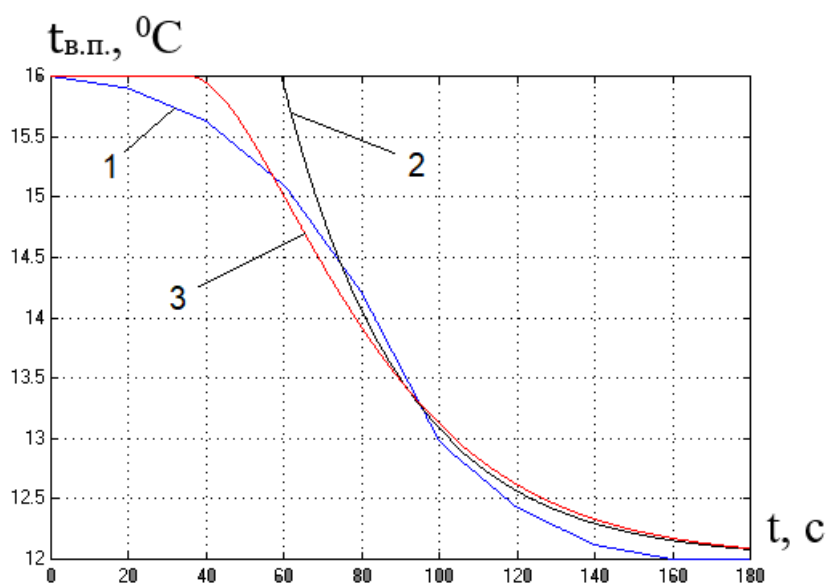


Рис. 2.12 – Результати моделювання ОК за каналом «U₂ – t_{в.п.}»: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Канал «U₂ – t_{в.п.}»

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_0(p) = - \frac{0,37 \cdot e^{-12,9p}}{14,6 \cdot p + 1}$$

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

$$W_0(p) = -\frac{0,37 \cdot e^{-8,1p}}{(9,3 \cdot p + 1)^2}$$

Таблиця 2.4 – Експериментальні дані

t, c	t _{a.m.} , °C	t, c	t _{a.m.} , °C
0	-2	40	-6.9
8	-3.59	48	-7.16
16	-4.5	56	-7.3
24	-5.7	64	-9.4
32	-6.5	72	-9.4

Рис. 2.13 – Схема моделювання каналу управління ОК

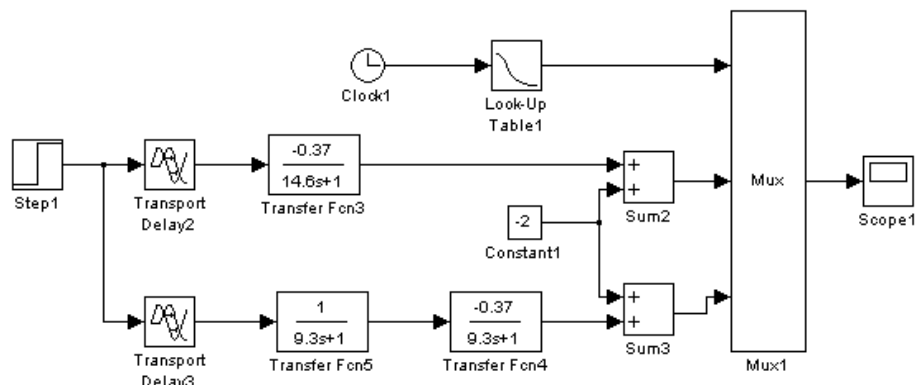


Рис. 2.14 – Схема моделювання ОК за каналом «U₂ – t_{a.m.}»

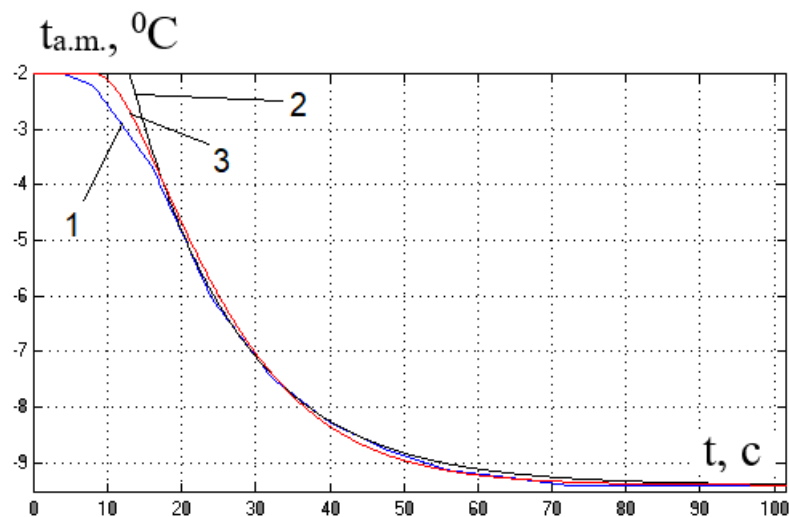


Рис. 2.15 – Результати моделювання ОК по каналу «U₂ – t_{am}»: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

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

Модель статичної характеристики:

$$t_{в.п.} = -0,27 \cdot U_1 - 0,2 \cdot U_2 + 44,9$$

$$t_{ам} = -0,37 \cdot U_2 + 16,5$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.2, результати розрахунків зведені в таблицю 3.4 та на рис. 3.7 – 3.9. Як видно з таблиці та рисунку, результати моделювання достатньо точно повторюють експериментальні дані, а, отже, модель є правильною.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку моделі статички

№ експерименту	U ₁ , %х.р.о.	U ₂ , %х.р.о.	t _{вп} , °C	t _{ам} , °C	t _{впм} , °C	t _{амм} , °C
1	70	70	12	-9,4	12	-9,4
2	85	70	8	-9,4	8	-9,4
3	55	70	16	-9,4	16	-9,4
4	70	50	16	-2	16	-2
5	70	60	14	-5,7	14	-5,7
6	70	80	10	- 13,1	10	-13,1

2.9 Реалізація в середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту управління та підтвердження її адекватності

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки і статички каналів ОК. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК, наведена на рис. 3.7, а результати моделювання – на рис. 3.8, 3.9.

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

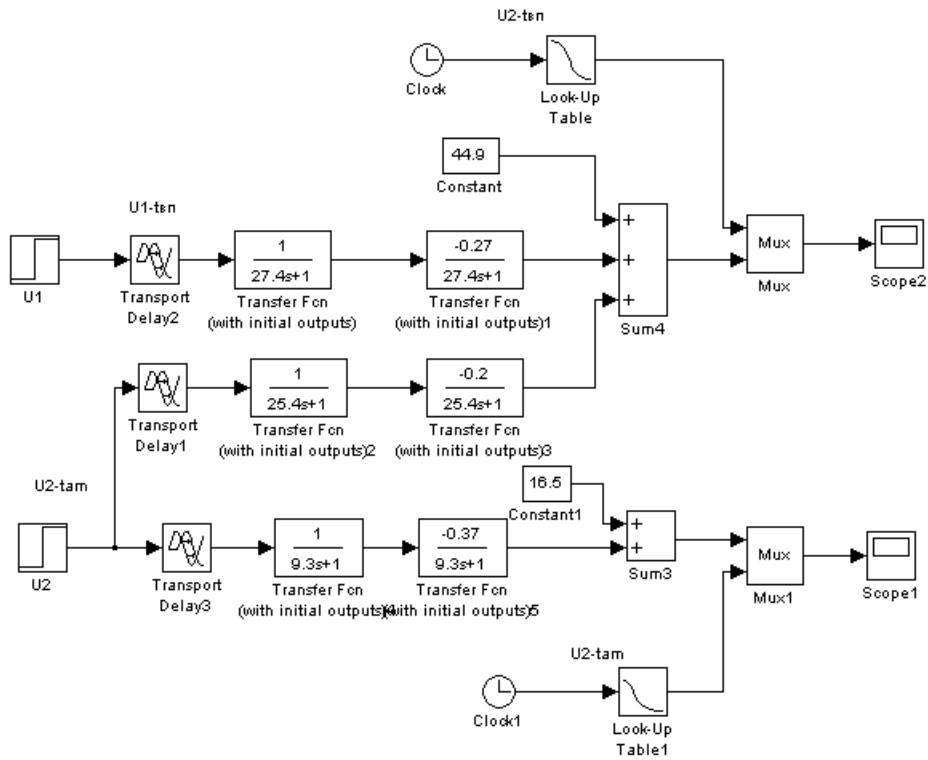


Рис. 2.16 – Схема моделювання

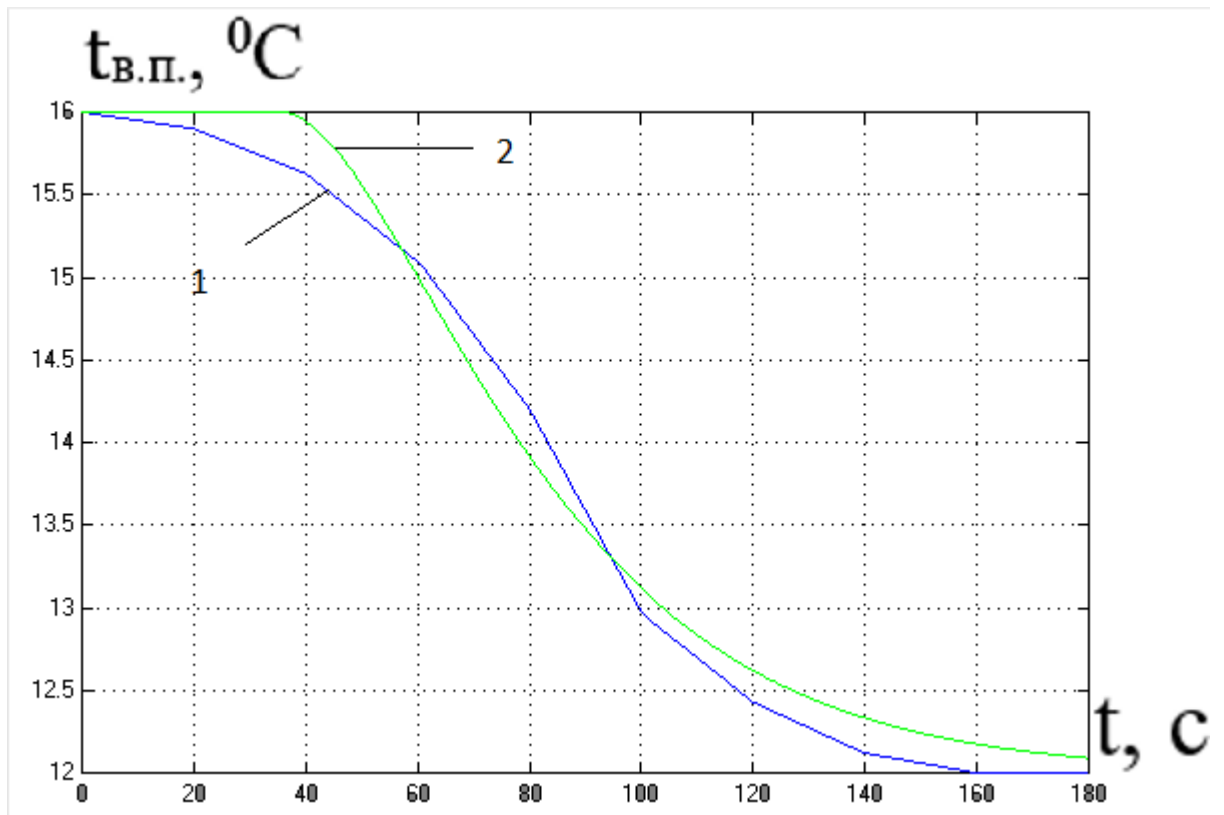


Рис. 2.17 – Приклад правильно виконаного відтворення повної моделі каналу ОК « $U_1 - t_{в.п.}$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

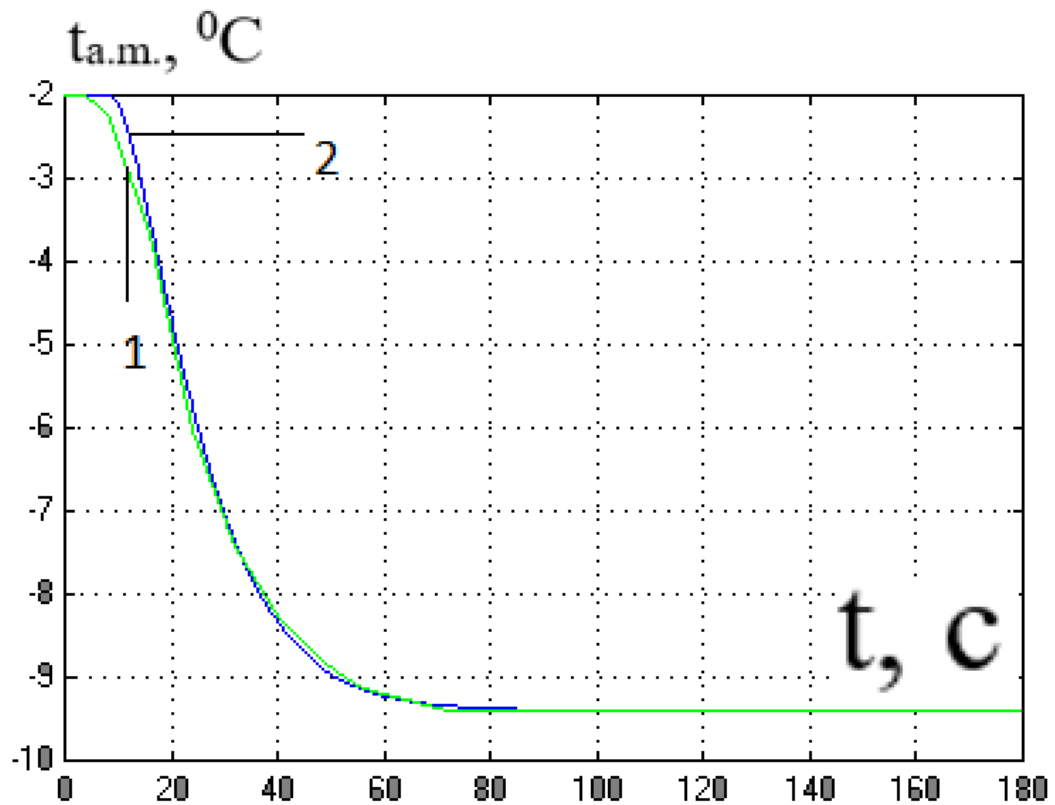


Рис. 2.18 – Приклад правильно виконаного відтворення повної моделі каналу ОК « $U_2 - t_{a.m.}$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

2.10 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація охолодження в аміачній холодильній установці, як об'єкта управління. Були ідентифіковані канали управління та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що всі вищезгадані канали володіють статичним властивостями, тобто властивостями самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати (перехідні характеристики), які достатньо точно відтворюють експериментальні дані, що свідчить про правильність проведення процедури ідентифікації моделей каналів об'єкту регулювання.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР, ОТРИМАННЯ ЦИФРОВИХ АНАЛОГІВ ОБРАНИХ АЛГОРИТМІВ

3.1 Формулювання задач керування технологічним агрегатом

3.1.1 Декомпозиція загальної задачі керування технологічним агрегатом і формулювання окремих задач.

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 ($t_{в.п.}$, $t_{а.м.}$) на їх заданих значеннях ($t_{в.п.}^{здн}$, $t_{а.м.}^{здн}$) - 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 - завдання логічного керування.

3.1.2 Обґрунтування необхідності і доцільності автоматизації кожної з окремих завдань управління.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожну із завдань управління.

Для завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу контролю температури води яка йде до споживача θ .

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

Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак готової продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу пастеризації соку цю задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження витрат електроенергії на реалізацію технологічного процесу.

Процес контролю температури вихідної води 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.

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

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. табл. 2.1) температура в воді $t_{в.п.}$ має підтримуватися на рівні 12°C з точністю $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до $\pm 2^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 150 секунд.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів температура в воді $t_{а.м.}$ має підтримуватися на рівні $-9,4^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до $\pm 1,7^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 150 секунд. Регламентні зони за цими параметрами наведена на рис. 4.1.

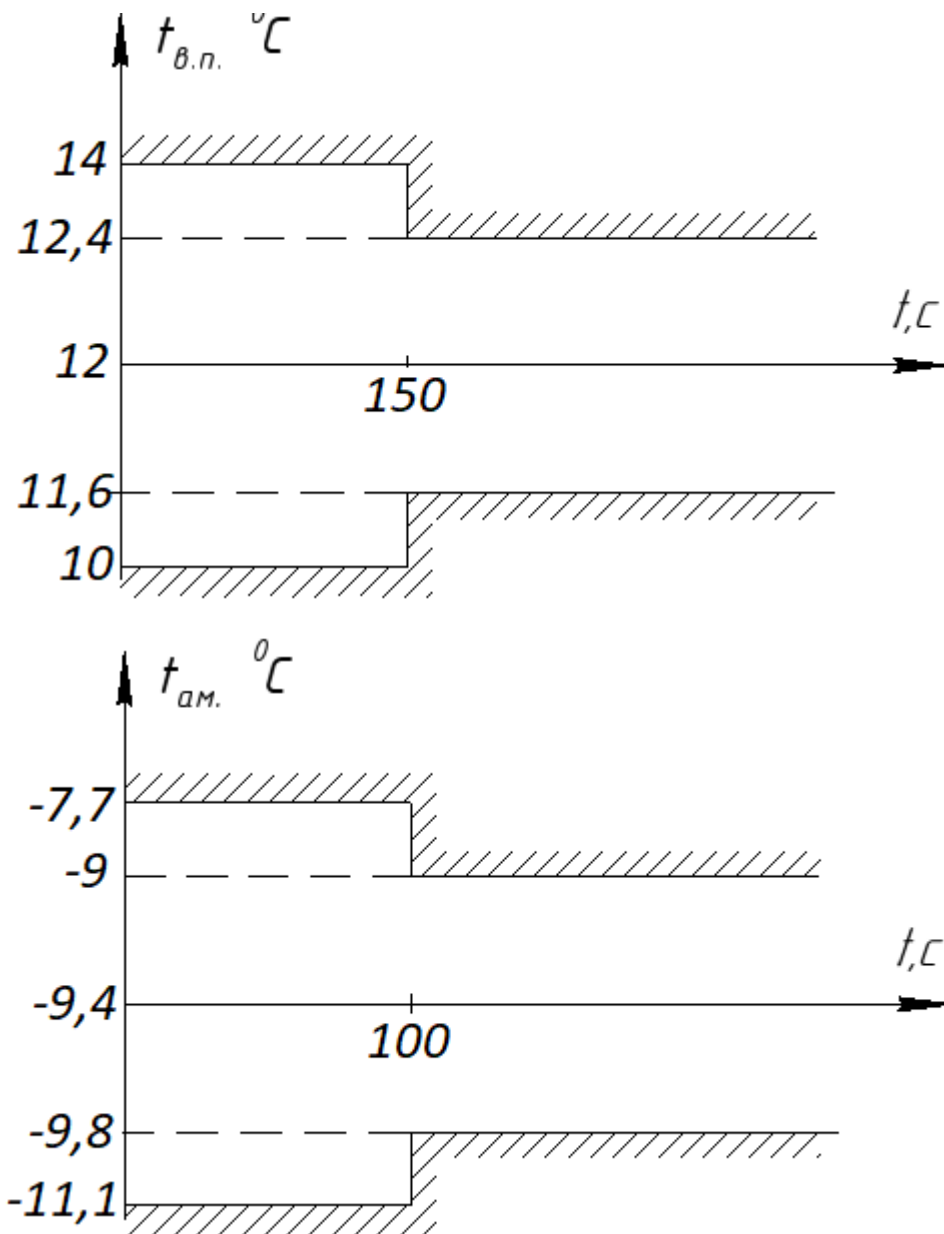


Рис. 3.1 – Регламентна зона для температури води t

3.1.4 Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегральних критеріїв оптимальності САР.

Як видно з регламентів на САР для процесу температурно-вологісного режиму особливо жорсткі вимоги пред'являються до довготривалих відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до неякісного температурно-вологісного режиму в виробничому приміщенні. При цьому малі відхилення регламентуються дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний критерій, сильно штрафі більші відхилення. Тому ефективність роботи САР температури і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J_2 = \int_0^{t_M} [|\Delta t_{\text{в.п.}}(t)| + |\Delta t_{\text{а.м.}}(t)|] dt$$

де t_M – час моделювання;

$\Delta\theta(t)$ – відхилення температури води від заданого значення.

3.1.5 Вибір, обґрунтування та подання у вигляді узагальненої структурної схеми принципу побудови системи автоматичного регулювання.

Оснoву керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОУ \bar{y}^* , про поточний стан ОУ \bar{y} та про збуреннях \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 режиму охолодження води доступною, крім інформації про бажаний стан ОК ($t^{ЗДН}$), є інформація про поточний стан ОК (t). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу ($u1$) достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР температури охолодження води базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 4.2.

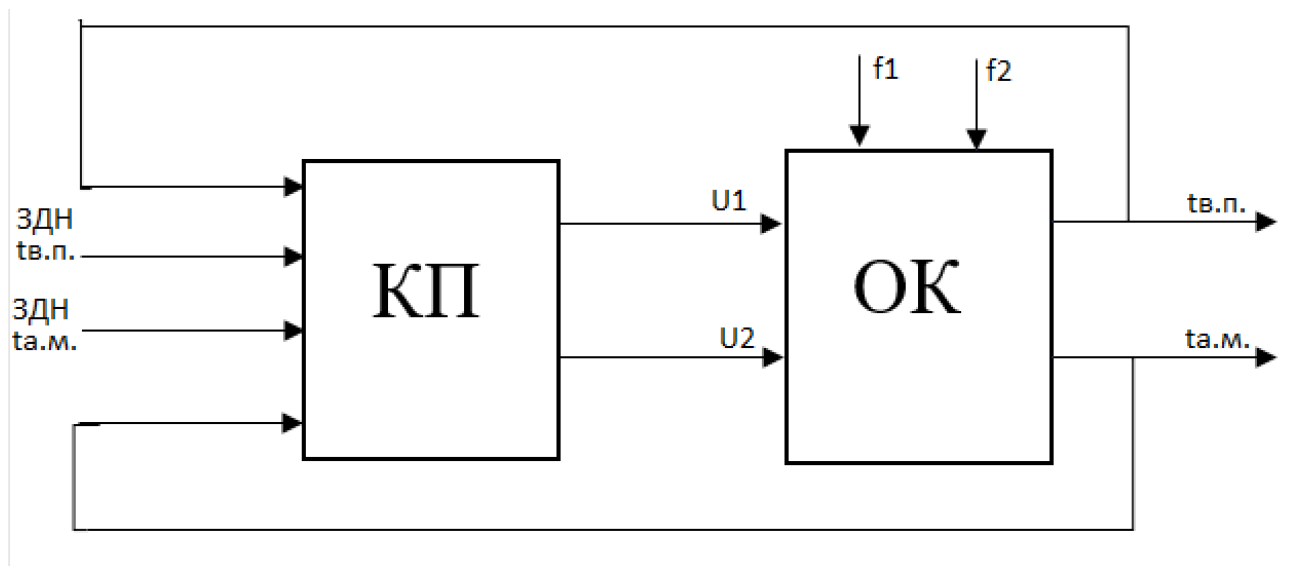


Рис. 3.2 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкненому принципу керування

3.2 Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури

3.3 Конкретизація структури САР і алгоритмів регулювання

3.3.1 Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її базової конкретної структури.

Координатна схема процесу контролю температури води наведена на рис. 1.5. Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 4.2), структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 5.1.

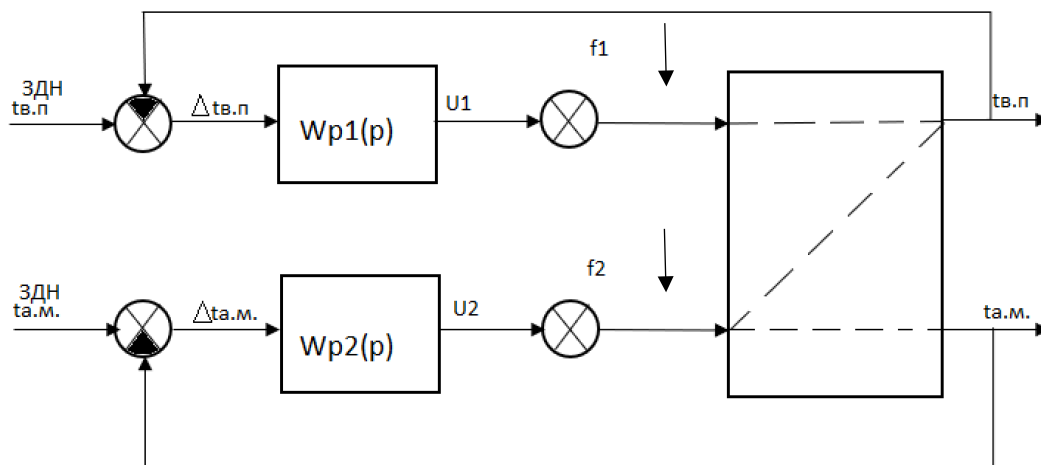


Рис. 3.3 – Структурна схема САР температури

На рисунку:

U1 – положення регулюючого органу подачі холодної води;

U2 – забирання теплоти від води (охладження за рахунок кипіння хладогену);

$t_{в.п.}$ – температура води на виході із охолоджувача;

$W_p(p)$ – передаточна функція регулятора температури обходженої води;

$t^{ЗД}$ – задане значення регульованої координати;

Δt – помилка регулювання.

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

Процес контролю охолодження води 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

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

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

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{из} \cdot p} + \frac{T_{np} \cdot p}{0.2 \cdot T_{np} \cdot p + 1}\right)$$

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

В результаті виконання 2 розділу курсової роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу пастеризації соку в трубчастому теплообміннику. Результати ідентифікації зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 3.1 – Результати ідентифікації каналів перетворення координатних дій ОК

Канал ОК	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку
«U ₁ - t _{в.п.} »	$W_0(p) = -\frac{0,27 \cdot e^{-40,2p}}{41,9 \cdot p + 1}$	$W_0(p) = -\frac{0,27 \cdot e^{-24,7p}}{(27,4 \cdot p + 1)^2}$
«U ₂ - t _{в.п.} »	$W_0(p) = -\frac{0,2 \cdot e^{-59,2p}}{31,1 \cdot p + 1}$	$W_0(p) = -\frac{0,2 \cdot e^{-35,5p}}{(25,4 \cdot p + 1)^2}$
«U ₂ - t _{ам.} »	$W_0(p) = -\frac{0,37 \cdot e^{-12,9p}}{14,6 \cdot p + 1}$	$W_0(p) = -\frac{0,37 \cdot e^{-8,1p}}{(6,2 \cdot p + 1)^2}$

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

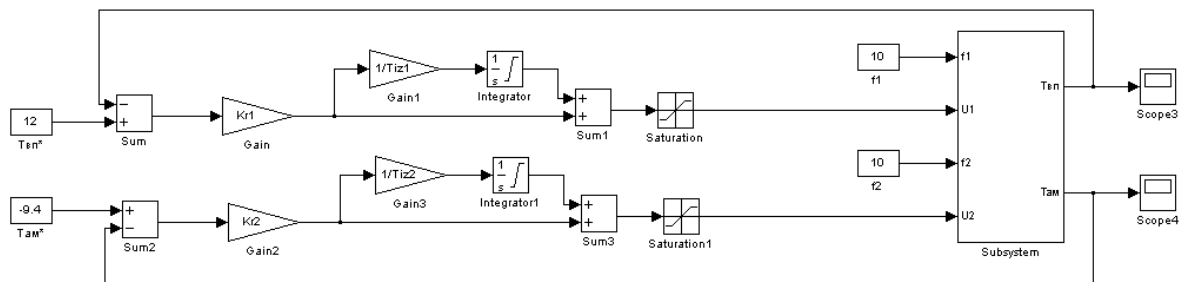


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

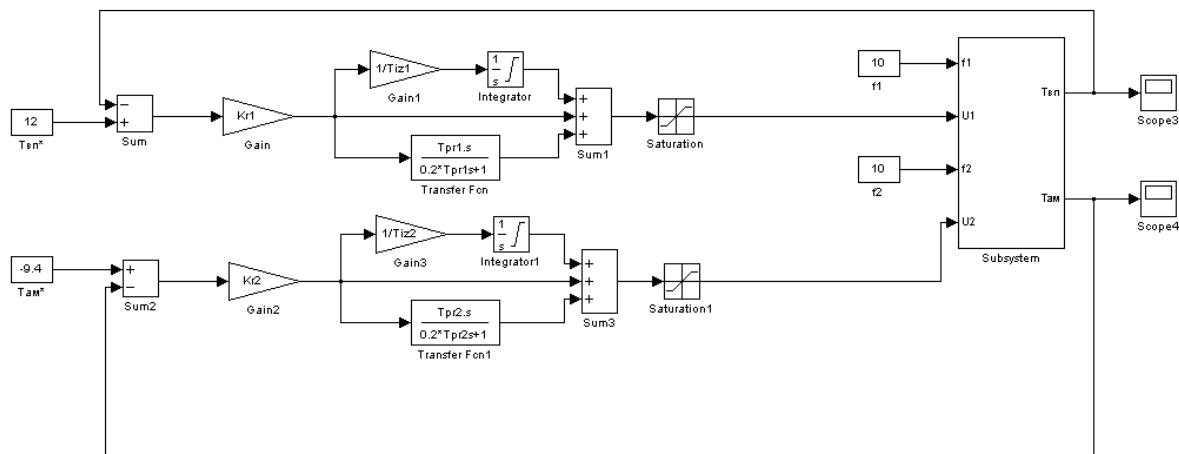


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

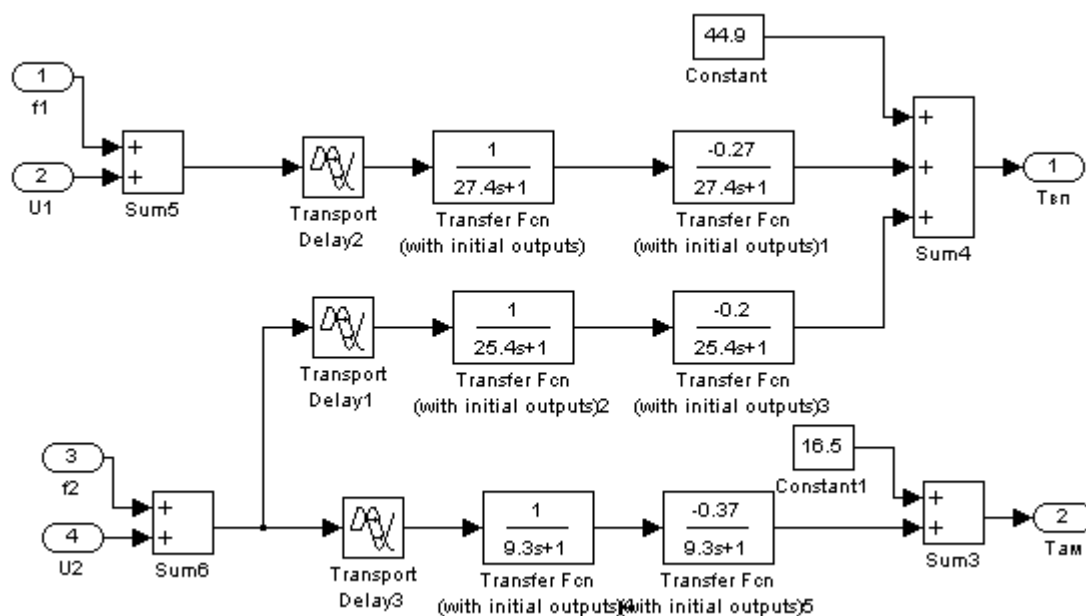


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання ОК

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

3.4.1 Вибір початкових наближень настроювальних параметрів алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_0(p) = -\frac{0,27 \cdot e^{-40,2p}}{41,9 \cdot p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_{P1} = \frac{0,8 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{0,8 \cdot 41,9}{-0,27 \cdot 40,2} = -3,1 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^\circ \text{C}}$$

$$T_{ИЗ1} = 2,5 \cdot \tau_0 = 2,5 \cdot 40,2 = 100,5 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_{P1} = \frac{1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1 \cdot 41,9}{-0,27 \cdot 40,2} = -3,86 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^\circ \text{C}}$$

$$T_{ИЗ1} = 2 \cdot \tau_0 = 2 \cdot 40,2 = 80,4 \text{ с}$$

$$T_{ПР1} = \tau_0 = 40,2 \text{ с}$$

$$K_p = \frac{1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1 \cdot 29,4}{0,6 \cdot 24,25} = 2 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^\circ \text{C}}$$

$$T_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_0 = 2 \cdot 24,25 = 48,5 \text{ с}$$

$$T_{ПР} = \tau_0 = 24,5 \text{ с}$$

$$W_0(p) = - \frac{0,37 \cdot e^{-12,9p}}{14,6 \cdot p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_{P2} = \frac{0,8 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{0,8 \cdot 14,6}{-0,37 \cdot 12,9} = -2,45 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^\circ \text{C}}$$

$$T_{ИЗ2} = 2,5 \cdot \tau_0 = 2,5 \cdot 12,9 = 32,3 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_{P2} = \frac{1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1 \cdot 14,6}{-0,37 \cdot 12,9} = -3,06 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^\circ \text{C}}$$

$$T_{ИЗ2} = 2 \cdot \tau_0 = 2 \cdot 12,9 = 25,8 \text{ с}$$

$$T_{ПР2} = \tau_0 = 12,9$$

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

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

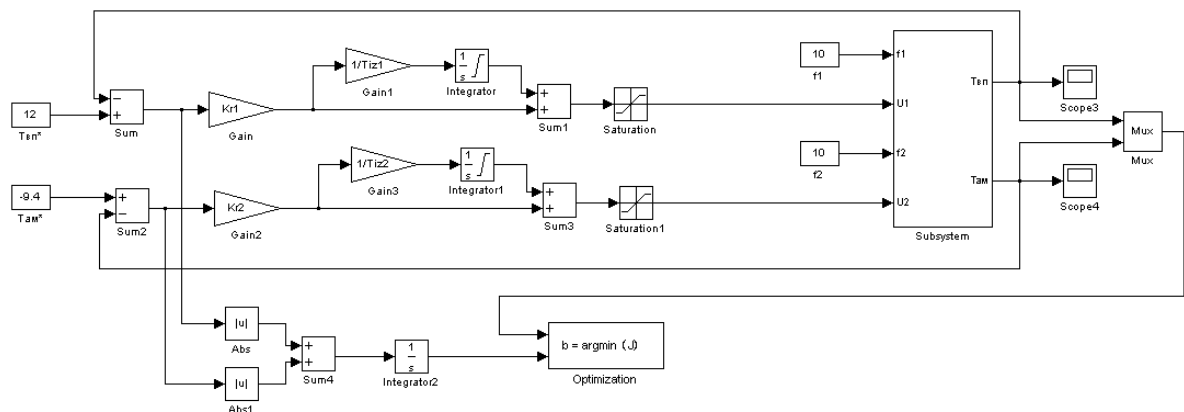
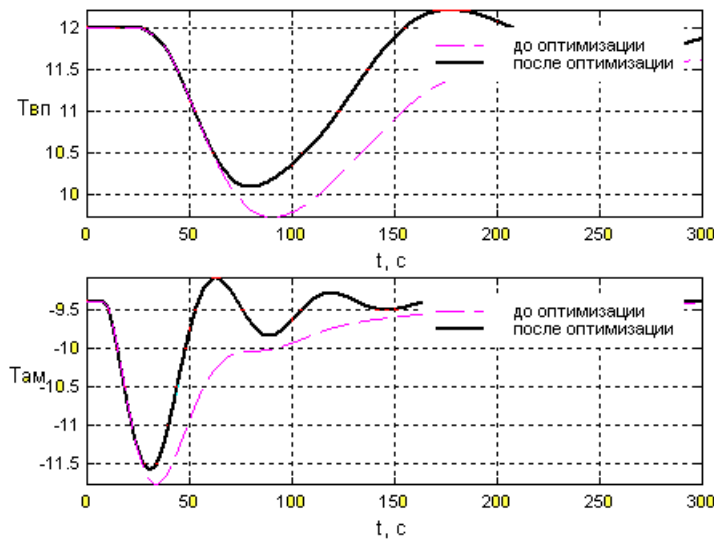


Рис. 3.7 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	-4.7916	-10	-3.1	0	до - 395.7408
Tiz1	75.0313	1	100.5	500	после - 240.1483
Kr2	-3.6922	-10	-2.45	0	оптимизации.
Tiz2	22.2391	1	32.3	200	Количество шагов
					процедуры оптимизации:
					максимальное - 1000
					фактическое - 273

Рис. 3.8 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 5.2.

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

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{вп}^{МАКС}$	$T_{п1}, c$	$\Delta T_{ам}^{МАКС}$	$T_{п2}, c$	
до оптимізації	1,75	292,5	1,8	112,5	395,7
після оптимізації	1,9	139,8	2,2	93	240,15

Для оптимального параметричного синтезу САР температури пастеризації соку з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 5.8. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 5.9.

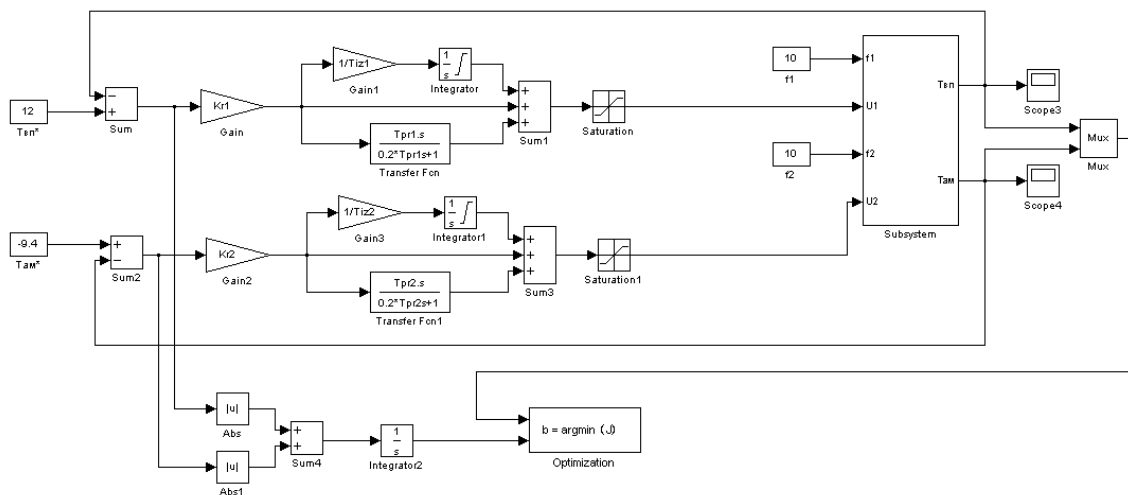
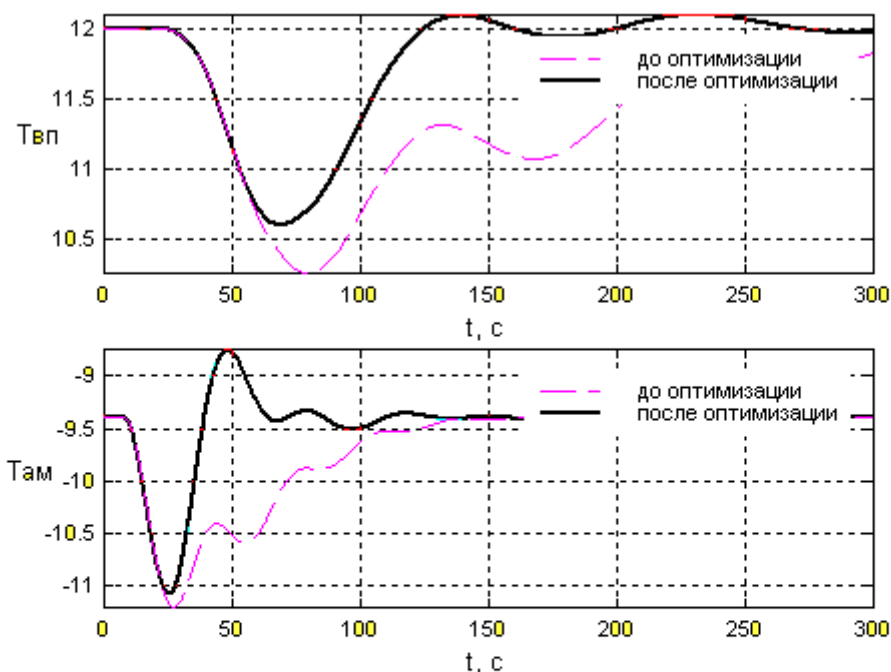


Рис. 3.9 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности: до - 285.701 после - 122.3501 оптимизации.
Kr1	-6.5356	-10	-3.86	0	
Tiz1	43.903	1	80.4	500	
Tpr1	18.9508	1	40.2	200	
Kr2	-5.1373	-10	-3.06	0	Количество шагов процедуры оптимизации: максимальное - 1000 фактическое - 349
Tiz2	10.2478	1	25.8	200	
Tpr2	7.2416	1	12.9	200	

Рис. 3.10 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведемо в таблицю 6.3.

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{вп}^{МАКС}$	$T_{пш1}, c$	$\Delta T_{ам}^{МАКС}$	$T_{пш2}, c$	
до оптимізації	1,91	212,7	1,9	92,52	285,7
після оптимізації	1,4	108	1,67	36,6	122,35

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

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

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 5.10. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 6.11, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 6.12. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 6.13 і в таблиці 6.4.

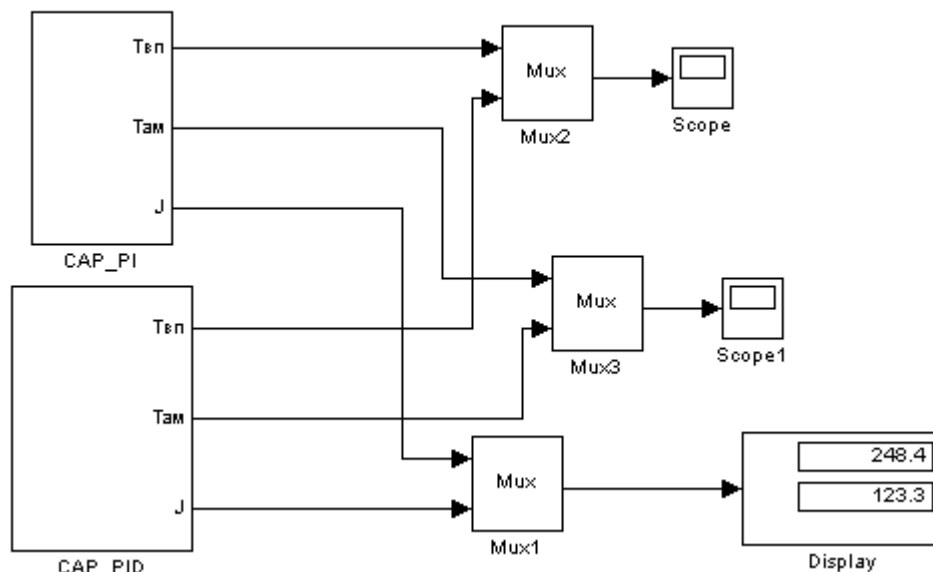


Рис. 3.11 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

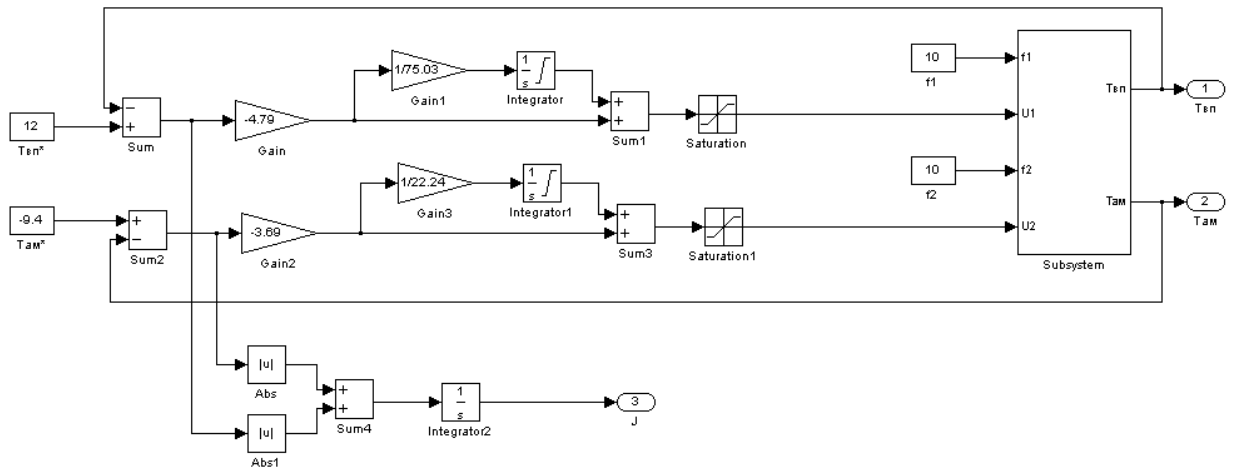


Рис. 3.12 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

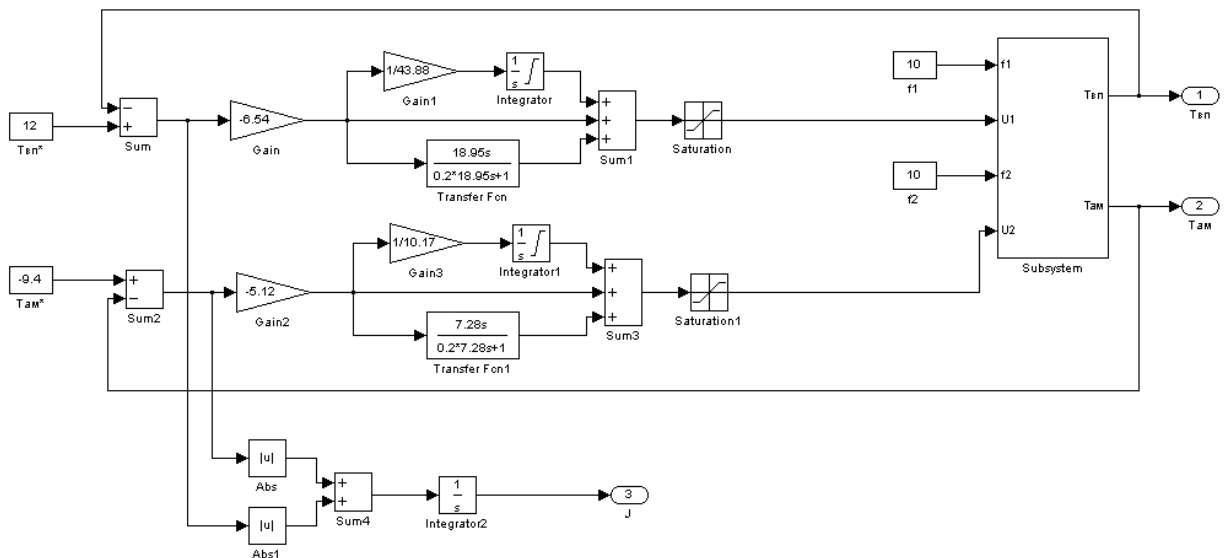


Рис. 3.13 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

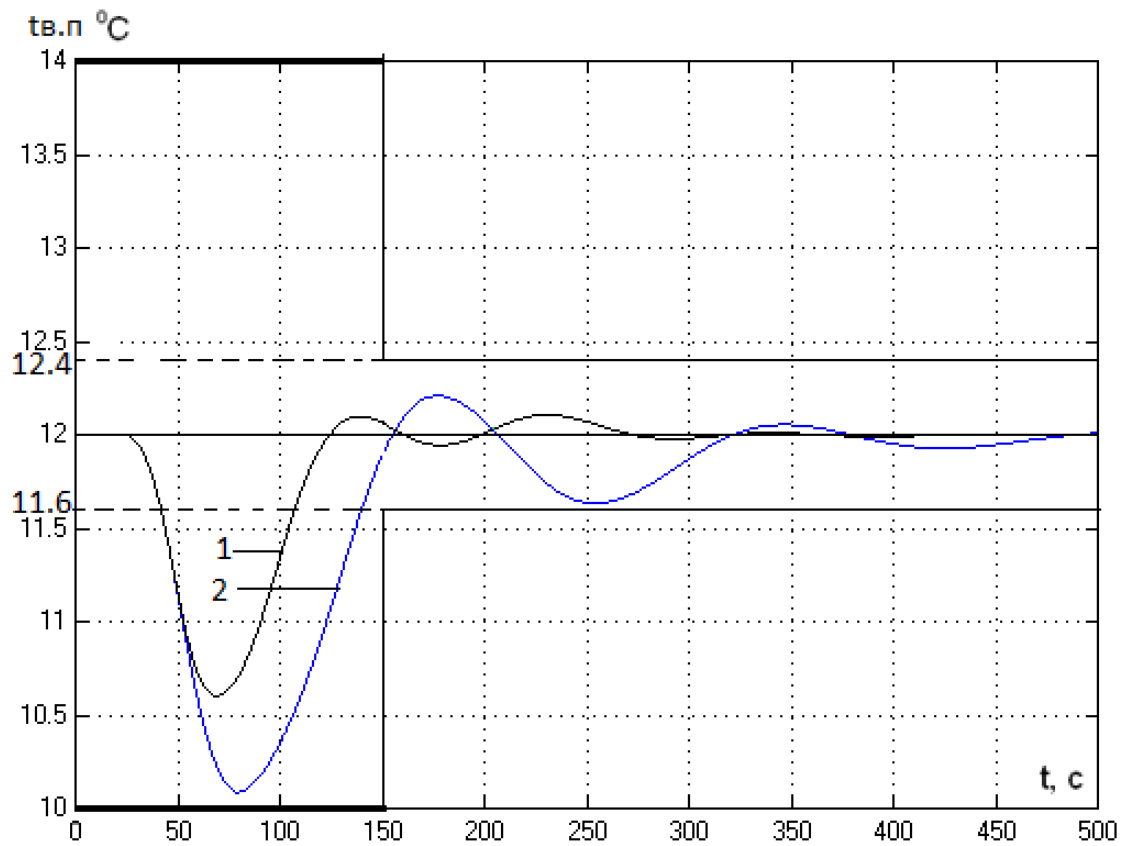


Рис. 3.14 – Результати порівняння варіантів САР графіків твп: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

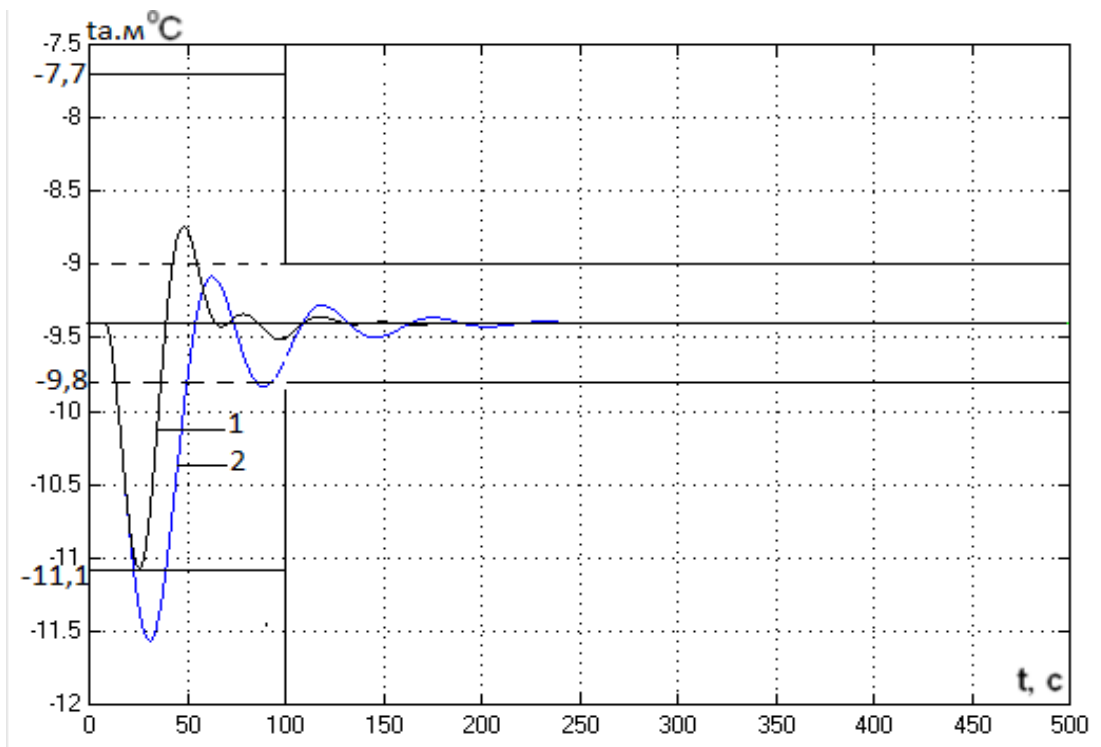


Рис. 3.15 – Результати порівняння варіантів САР графіків там: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.4 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{вп}^{МАКС}$	$T_{пп1}, c$	$\Delta T_{ам}^{МАКС}$	$T_{пп2}, c$	
ПІ	1,9	139,8	2,2	93	240,15
ПІД	1,4	108	1,67	36,6	122,35

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регулятором є кращої за всіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання будемо використовувати і надалі.

3.5 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК

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

В процесі роботи ТЕНа може змінюватися час запізнення в каналах ОК. Слід відзначити, що внаслідок нелінійності, параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень $10\%x.p.o.$ і детермінованого ступінчастого контрольованого збурення в 10. Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 5.11 і 5.12.

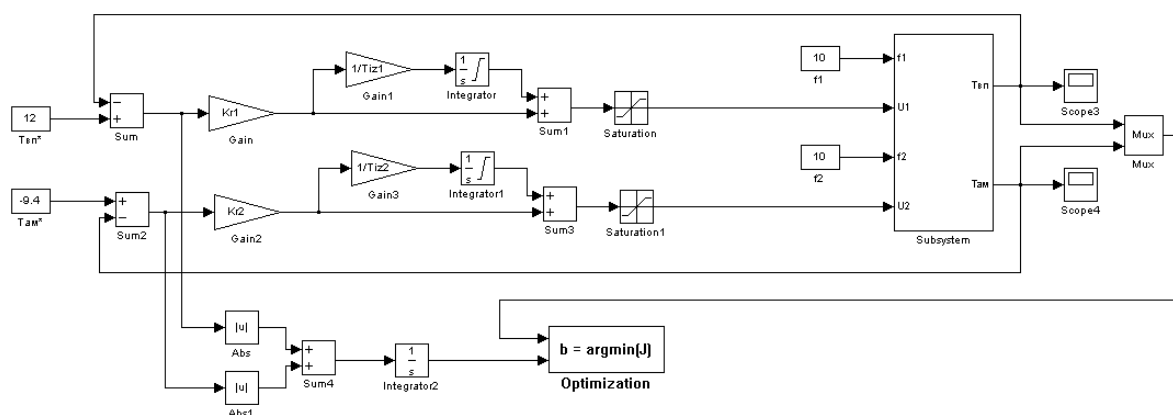


Рис. 3.16 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регулятором на грубість

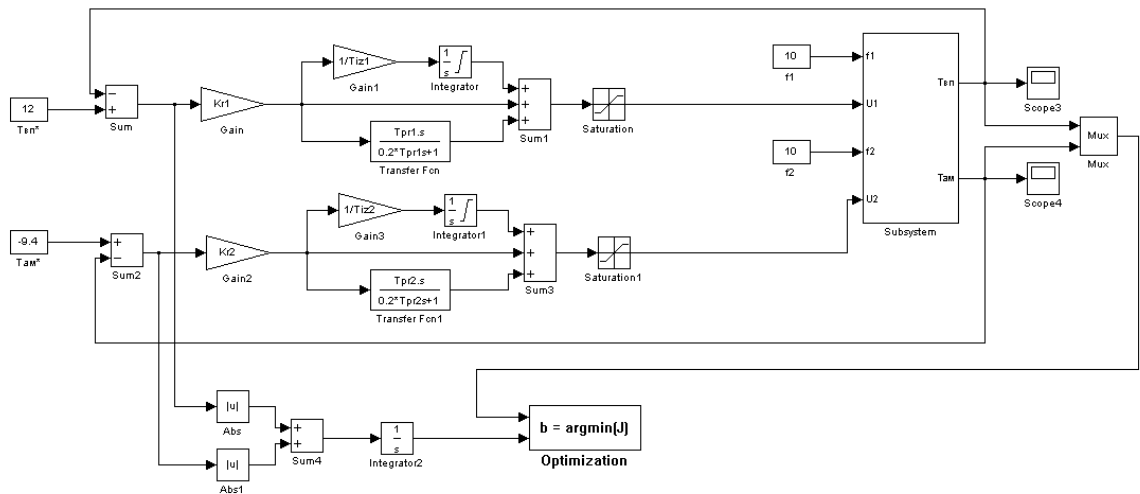


Рис. 3.17 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регулятором на грубість

3.5.2 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлено гранично-припустимі значення.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 5.13, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 5.14. Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться. Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР виходять за рамки регламентних зон.

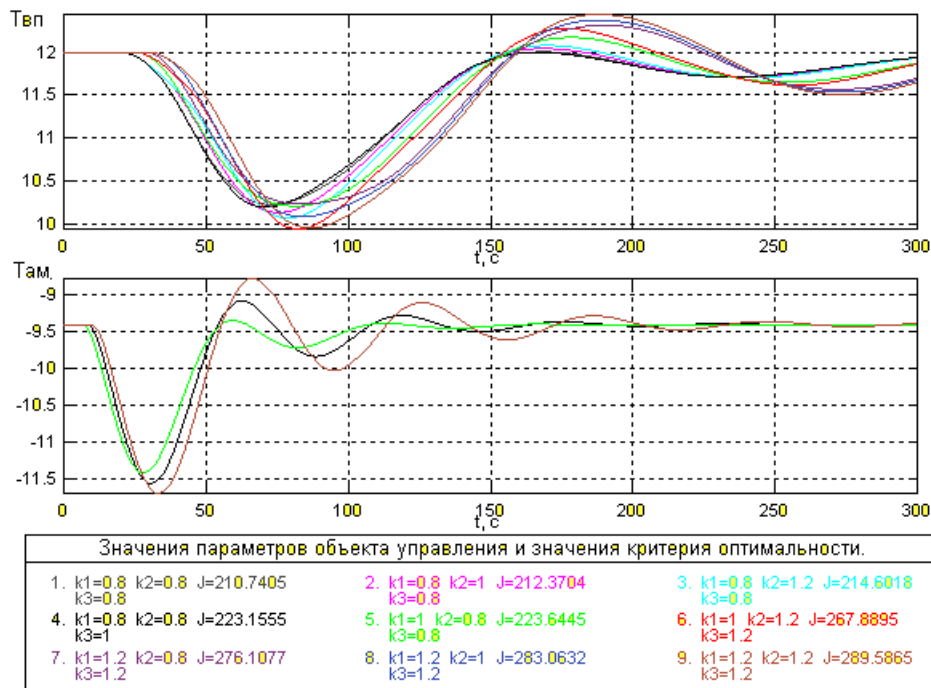


Рис. 3.18 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

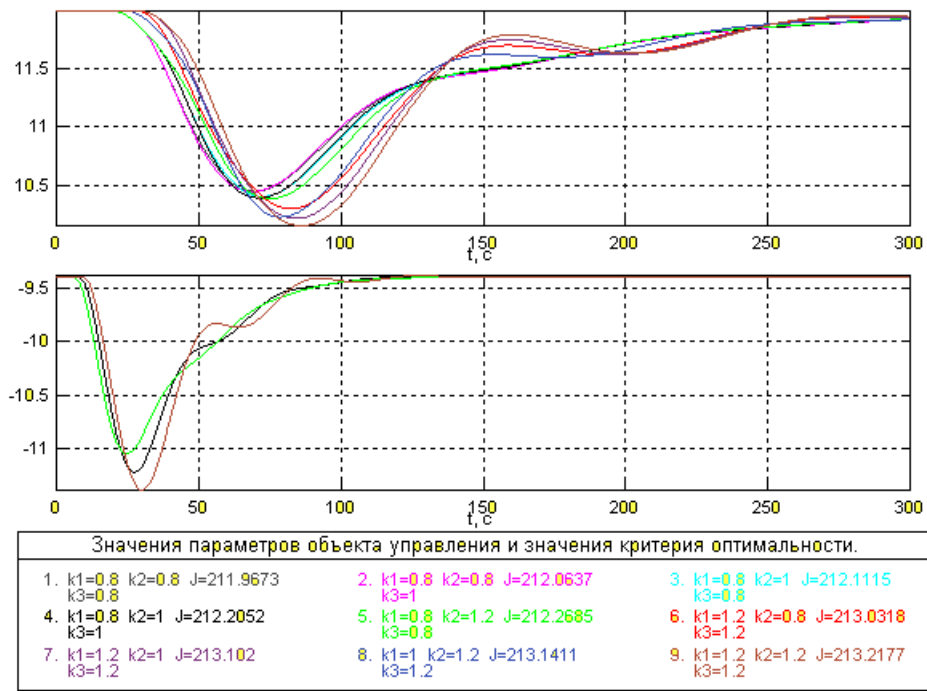


Рис. 3.19 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

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

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є більший на 20% час запізнення ОК, а "найнесприятливішим" для керування сполученням - на 20% менший час запізнення.

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. 5.15. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 5.16 і зведено в таблицю 5.5.

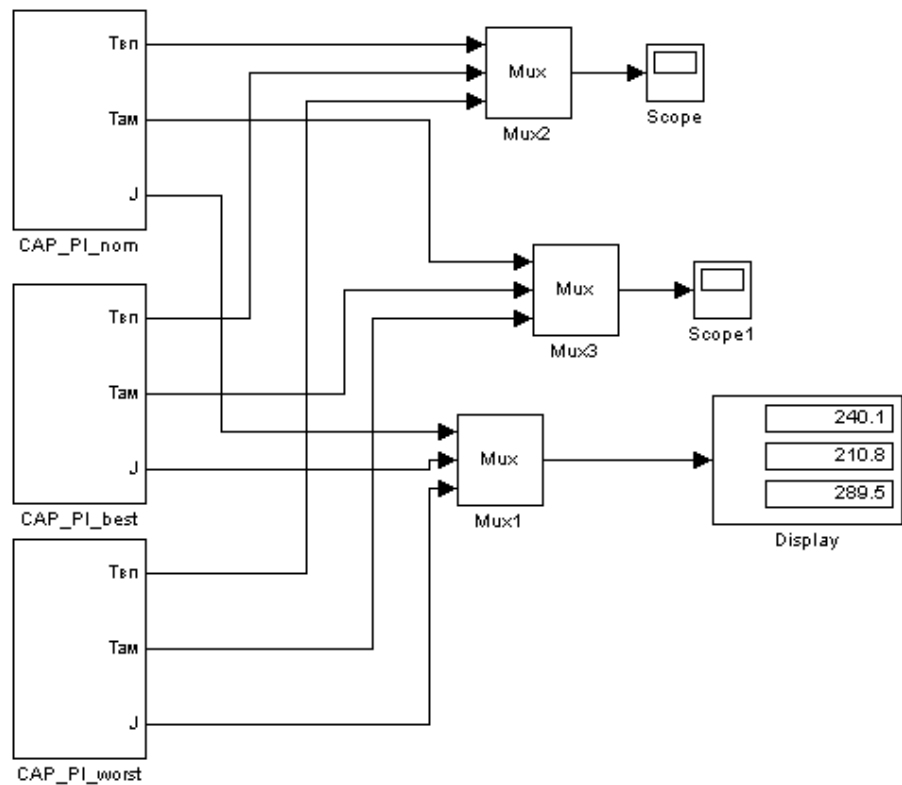


Рис. 3.20 – Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

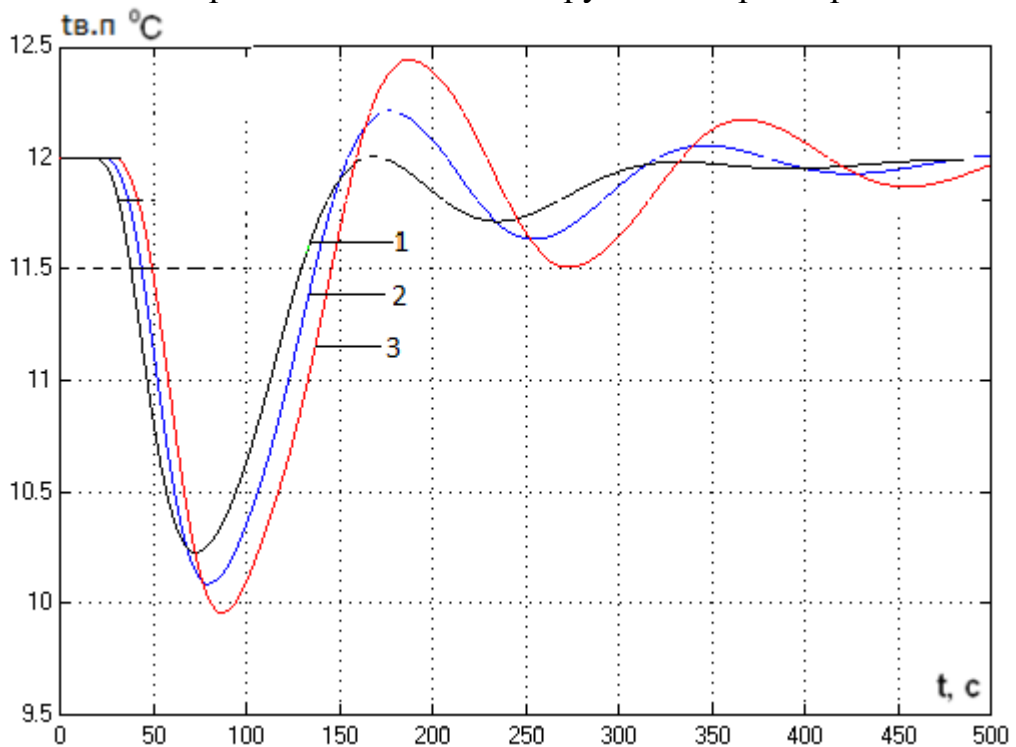


Рис. 3.21 – Результати порівняння варіантів САР графіків твп з ПІ-регулятором; 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

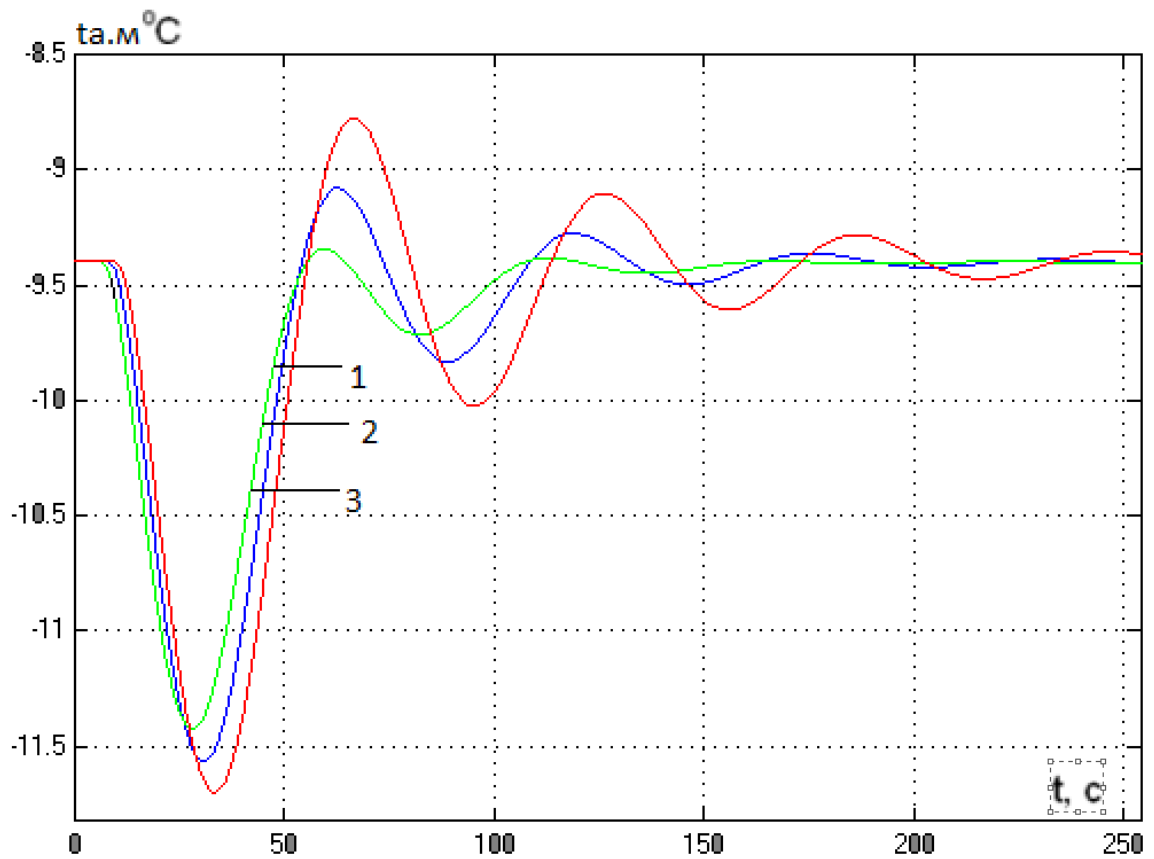


Рис. 3.22 – Результати порівняння варіантів САР графіків $t_{a.m}$ з ПІ-регулятором; 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{вп}^{МАКС}$	$T_{пп1}, c$	$\Delta T_{ам}^{МАКС}$	$T_{пп2}, c$	
Номінальні	1,75	292,5	1,8	112,5	285,7
Найсприятливіші	1,9	139,8	2,2	93	210,8

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

Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 5.17. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 5.18 і зведено в таблицю 5.6.

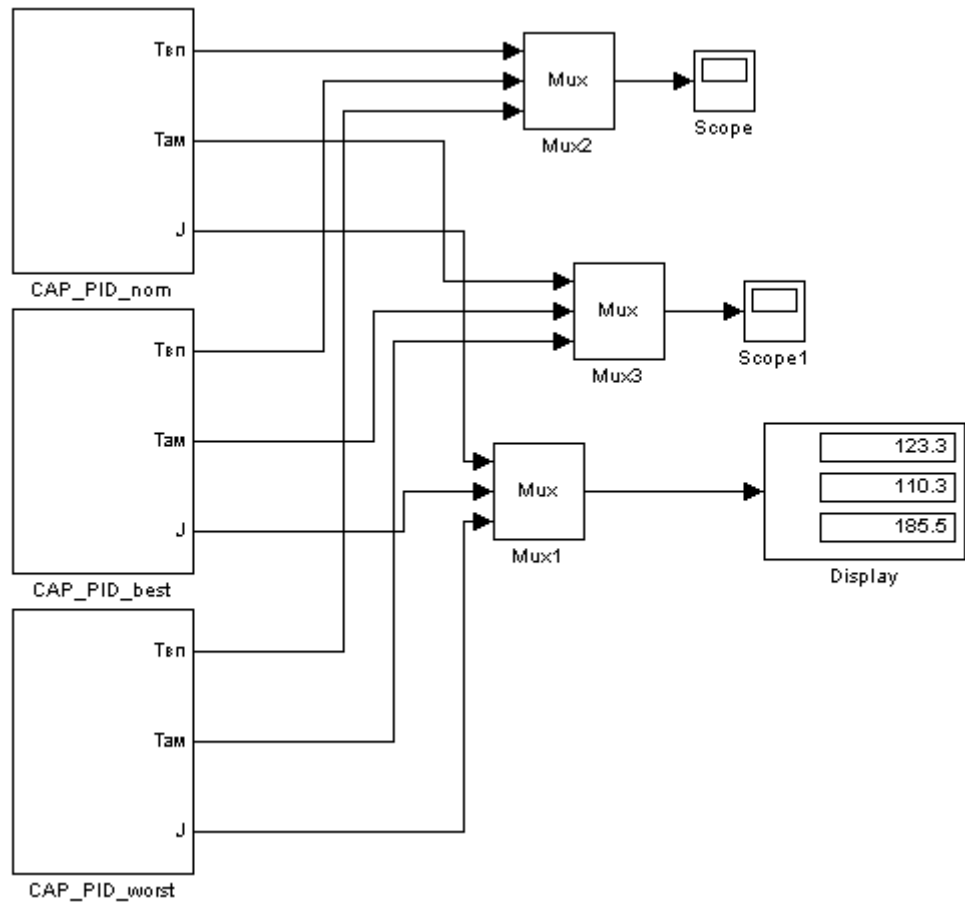


Рис. 3.23 – Схема моделювання CAP базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

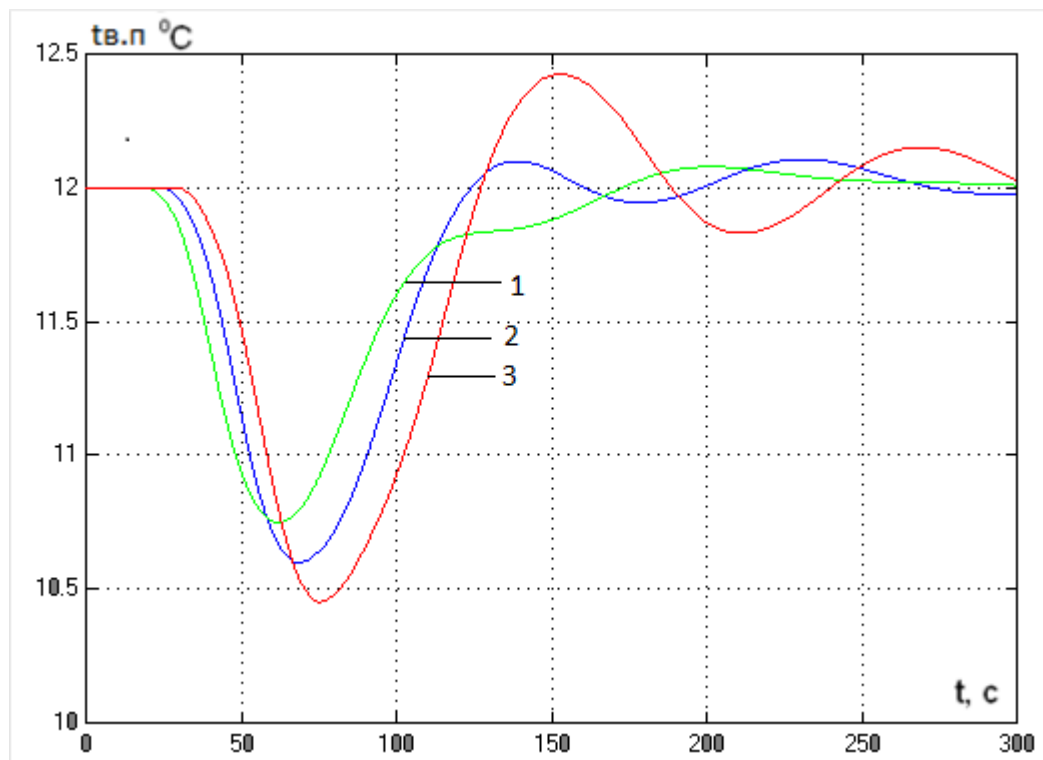


Рис. 3.24 – Результати порівняння варіантів САР графіків твп з ПІД-регулятором; 1 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 2 – при номінальних параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

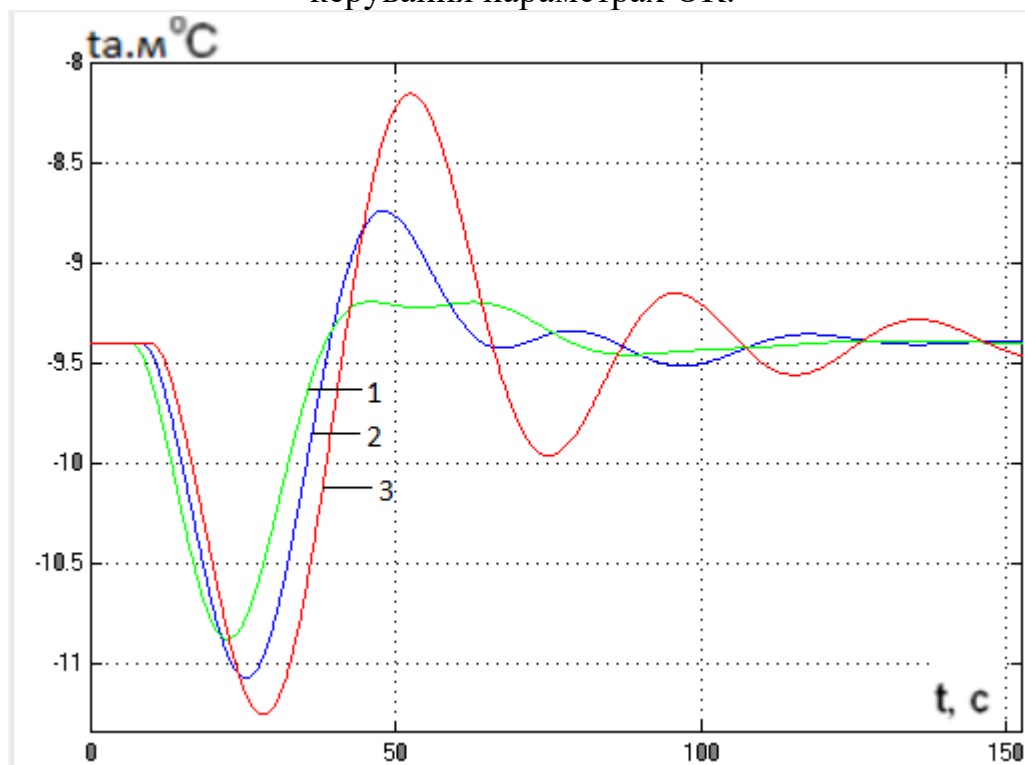


Рис. 3.25 – Результати порівняння варіантів САР графіків там з ПІД-регулятором; 1 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 2 – при номінальних параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

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

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{ВП}^{МАКС}$	$T_{ПП1}, c$	$\Delta T_{ам}^{МАКС}$	$T_{ПП2}, c$	
Номінальні	1,91	212,7	1,9	92,52	123,3
Найсприятливіші	1,4	108	1,67	36,6	110,3

3.6 Висновки за розділом

САР з ПІД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам, а САР з ПІ-регулятором не задовольняє цим вимогам за максимальним динамічним відхиленням. САР базової структури в сталих режимах не виходить за рамки зони незначних відхилень.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІ-регулятора коефіцієнт передачі збільшився на 114%, час ізодрому збільшився на 11%,

інтегральний критерій зменшився на 38%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 2%, час перехідного процесу зменшився на 36%. Після проведення процедури оптимізації параметрів ПД-регулятора коефіцієнт передачі збільшився на 104%, час ізодрома зменшився на 31%, час упередження зменшився на 47%, інтегральний критерій зменшився на 45%, максимальне динамічне відхилення збільшилося на 4%, час перехідного процесу зменшився на 42 %.

Введення до алгоритму регулювання Д-складової призводить до зменшення інтегрального критерію на 49%, зменшення максимального динамічного відхилення на 12% та до зменшення тривалості перехідного процесу на 28%.

І САР з П-регулятором, і САР з ПД-регулятором є грубими. Відносна різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з П-регулятором становить за критерієм 43%, за максимальним динамічним відхиленням - 21%, а за часом перехідного процесу - 126%. Різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з ПД-регулятором становить за критерієм 60%, за максимальним динамічним відхиленням - 24%, а за часом перехідного процесу - 17%. За більшістю показників відносна різниця показників якості перехідних процесів при "найсприятливіших" і "найнесприятливіших" для керування параметрах ОК більша для САР з ПД-регулятором. Це може означати, що САР з П-регулятором "грубіша", тобто менш чутлива до варіації параметрів ОК.

Як вже було зазначено вище, в результаті параметричної оптимізації параметри регуляторів змінилися наступним чином. Параметри П-регулятора: коефіцієнт передачі збільшився на 114%, а час ізодрома збільшився на 11%. Параметри ПД-регулятора: коефіцієнт передачі збільшився на 104%, час ізодрома зменшився на 31%, час упередження зменшився на 47%. В принципі, параметри регуляторів в результаті параметричної оптимізації змінюються досить суттєво, але і налаштування регуляторів, отримані за інженерними методиками, дають нам стійкі перехідні процеси в САР. Тому можна зробити висновок, що інженерні методики розрахунку параметрів регулятора на практиці можуть застосовуватися, хоча існує значний запас підвищення динамічної точності САР.

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

3.7 Синтез та аналіз САР підвищеної динамічної точності

3.8 Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності

3.8.1 Аналіз особливостей об'єкта регулювання, що знижують динамічну точність і вибір способів її підвищення за рахунок введення в структуру САР додаткових зв'язків, що забезпечують, наприклад, інваріантність, автономність, компенсацію запізнення і т.д.

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих та неконтрольованих обурень, інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОУ та САР (значне співвідношення τ_0/T_0 , взаємний вплив каналів у багатовимірній САР).

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є внутрішні особливості ОК та САР. Основним шляхом підвищення динамічної точності саме САР, що розглядається, є побудова автономної САР.

3.8.2 Розробка на основі обраних способів підвищення динамічної точності САР її структурної схеми та формулювання (в аналітичній формі) умов, що забезпечують необхідні властивості САР.

В основу підвищення динамічної точності САР буде покладено принцип двоканальності Петрова, сутність якого у введенні додаткового каналу впливу " $U_2 - t_{вн}$ " через коригуючий зв'язок. Відповідно до принципу двоканальності Петрова і автономності структурна схема автономної САР наведений на рис. 6.1.

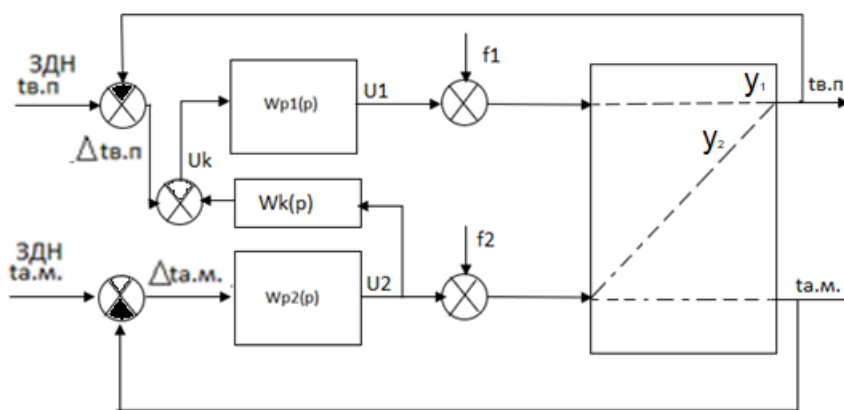


Рис. 3.25 - Структурна схема автономної САР

На схемі $W_k(p)$ - передавальна функція коригуючого зв'язку.

Необхідною умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу контрольованого обурення, а для САР, що розглядається, така можливість є. Достатньою умовою реалізації САР є фізична реалізованість передавальної функції коригувального зв'язку.

3.8.3 Виведення передаточних функцій коригуючого зв'язку, аналіз його структури з умов фізичної реалізованості, приведення до виду, що фізично реалізується, подання у формі з'єднання типових динамічних ланок і отримання перехідних характеристик.

Для забезпечення автономності контуру регулювання $t_{в.п.}$ має виконатися умова:

$$y_1 + y_2 = 0$$

$$y_1 = W_{U2-t_{в.п.}}^0(p) \cdot U2; y_2 = Wk(p) \cdot Wp1(p) \cdot W_{U1-t_{в.п.}}^0(p) \cdot U2$$

$$W_{U2-t_{в.п.}}^0(p) \cdot U2 + Wk(p) \cdot Wp1(p) \cdot W_{U1-t_{в.п.}}^0(p) \cdot U2 = 0$$

Оскільки $U2 \neq 0$, то

$$W_{U2-t_{в.п.}}^0(p) + Wk(p) \cdot Wp1(p) \cdot W_{U1-t_{в.п.}}^0(p) = 0$$

$$Wk(p) = -\frac{W_{U2-t_{в.п.}}^0(p)}{Wp1(p) \cdot W_{U1-t_{в.п.}}^0(p)}$$

Якщо

$$W_{U2-t_{в.п.}}^0 = \frac{-0,2 \cdot e^{-59,2p}}{31,1 \cdot p + 1}; W_{U1-t_{в.п.}}^0(p) = \frac{-0,27 \cdot e^{-40,2p}}{41,9 \cdot p + 1}$$

$$Wp1(p) = -6,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{43,9p} + 19p\right) = -6,5 \cdot \frac{834,1p^2 + 43,9p + 1}{43,9p}$$

Тоді

$$Wk(p) = -\frac{\frac{-0,2 \cdot e^{-59,2p}}{31,1 \cdot p + 1}}{-6,5 \cdot \frac{834,1p^2 + 43,9p + 1}{43,9p} \cdot \frac{-0,27 \cdot e^{-40,2p}}{41,9 \cdot p + 1}} = -\frac{-0,2}{-6,5 \cdot -0,27} \cdot \frac{e^{-59,2p}}{e^{-40,2p}} \cdot \frac{43,9p \cdot (41,9p + 1)}{(834,1p^2 + 43,9p + 1) \cdot (31,1 \cdot p + 1)} = 0,12 \cdot e^{-19p} \cdot \frac{43,9p \cdot (41,9p + 1)}{(834,1p^2 + 43,9p + 1) \cdot (31,1 \cdot p + 1)}$$

Отримана передатна функція коригувального зв'язку є фізично реалізовуваною, оскільки не містить фізично нереалізовуваних ланок.

Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку наведена на рис. 6.2, а її перехідна характеристика – на рис. 6.3.

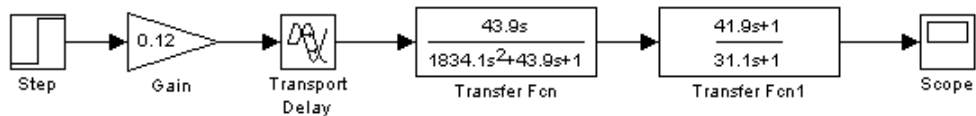


Рис. 3.26 – Структурна схема моделювання передавальної функції коригувального зв'язку

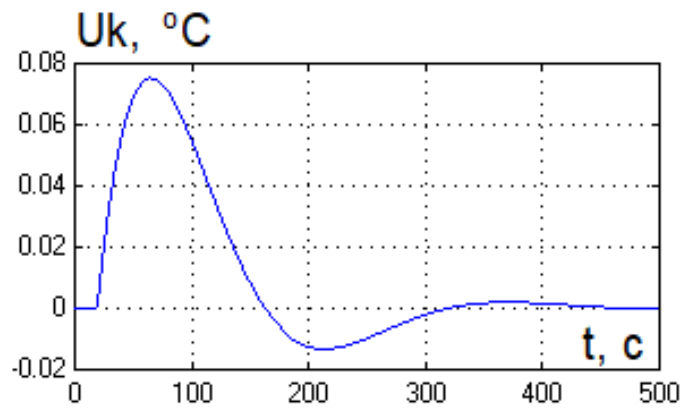


Рис. 3.27 – Перехідна характеристика коригувального зв'язку

3.9 Спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації та параметричний синтез САР при детермінованих вхідних впливах

3.9.1 Аналіз складності технічної реалізації коригувальних зв'язків з урахуванням можливостей технічних засобів та їх спрощення за рахунок зниження розмірності передавальних функцій, апроксимації запізнення дробово-раціональними передавальними функціями тощо. зі збереженням загальних властивостей зв'язків, уявлення зв'язків, що управляють, з'єднанням типових ланок.

Отримана передатна функція коригувального зв'язку представлена занадто складною функцією передатки, тому її доцільно спростити при збереженні її диференціюючих властивостей. Спрощена передатна функція коригувального зв'язку матиме вигляд:

$$Wk(p) = Kk \cdot e^{-Tk1p} \cdot \frac{Tk2p}{Tk2^2 p^2 + 2 \cdot Tk2 \cdot \vartheta \cdot p + 1}$$

3.9.2 Вибір початкових наближень параметрів спрощених коригувальних зв'язків з умов близькості перехідних характеристик коригувальних зв'язків до та після їх спрощення (можливе застосування будь-яких методів як оптимізаційних, так і звичайних).

Як початкові наближення параметрів коригувального зв'язку приймемо такі значення параметрів: $K_k = 0,12$; $T_{k1} = 19$ с; $T_{k2} = 43,9$; $\zeta = 1$. Для уточнення початкових наближень параметрів коригувального зв'язку скористаємося схемою моделювання, наведеною на рис. 6.4. Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригувального зв'язку наведено на рис. 6.5, а результати моделювання – на рис. 6.6.

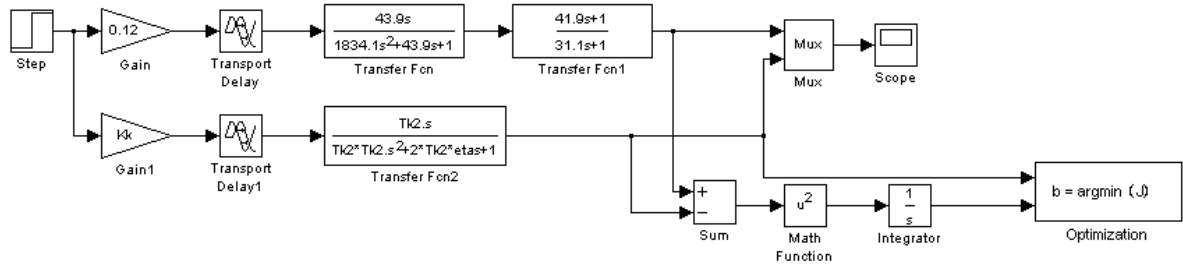
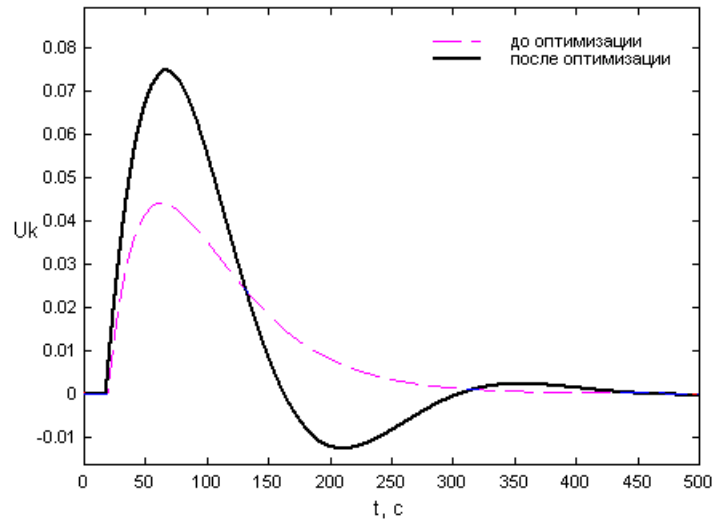


Рис. 3.28 – Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригувального зв'язку



Імя змінної	Оптимальне значення	Нижній межа	Начальне наближення	Верхній межа	Значення критерія оптимальності:
Kk	0.13573	0	0.12	2	до - 0.088414
Tk1	17.686	0	19	50	після - 0.00038126
Tk2	40.057	1	43.9	100	оптимізації.
eta	0.49144	0	1	2	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальне - 1000
					фактичне - 154

Рис. 3.29 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригувального зв'язку

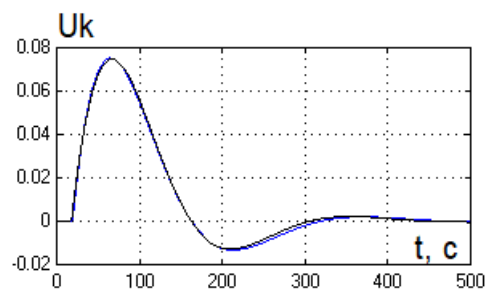


Рис. 3.30 – Перехідна характеристика розрахункового та спрощеного коригувального зв'язку

3.9.3 Розробку структурної схеми та програми цифрового імітаційного моделювання та параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих (ступінчастих) входніх впливів.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригувального зв'язку наведено на

рис. 3.31, а результати оптимізації – на рис. 3.32.

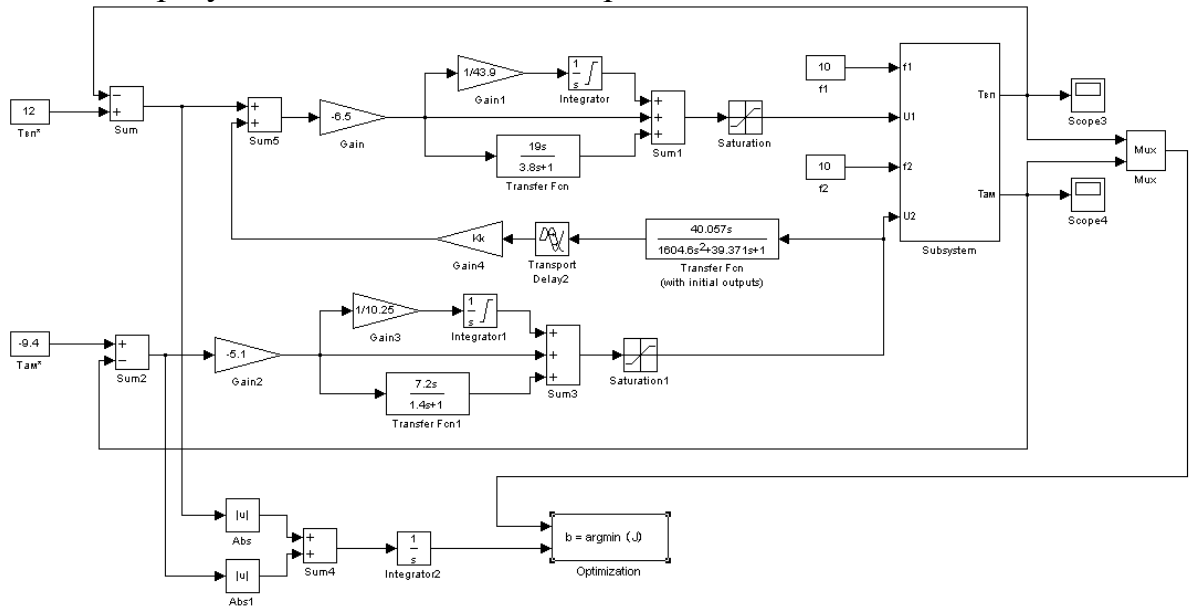
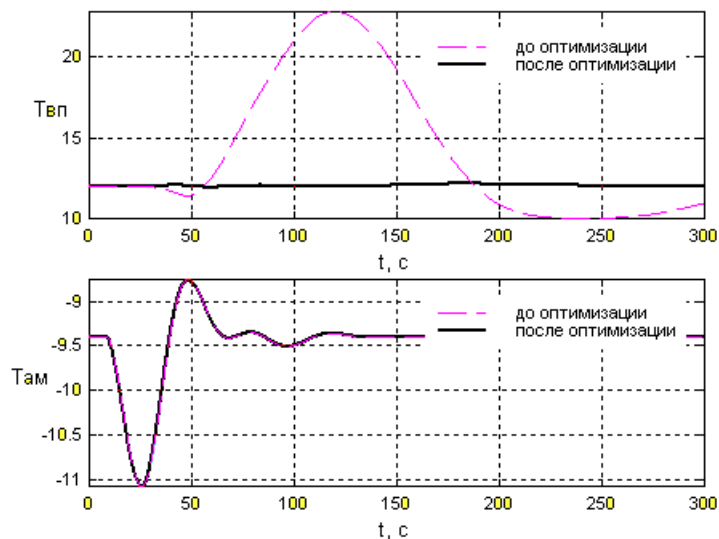


Рис. 3.31 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригувального зв'язку



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kk	0.029757	-2	0.135718	2	до - 1048.774
Tk1	1.7821	0	17.6837	50	после - 52.2584
Tk2	18.9512	1	40.0568	100	оптимизации.
eta	1.3629	0	0.491338	2	Количество шагов процедуры оптимизации:
					максимальное - 1000
					фактическое - 259

Рис. 3.32 – Результати оптимізації параметрів коригувального зв'язку

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

3.10.1 Вибір параметрів ОУ, за яким доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій та планування машинного експерименту щодо оцінки грубості.

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

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

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість за умов варіації параметрів ОУ наведено на рис. 7.9. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОУ САР дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САР є грубою.

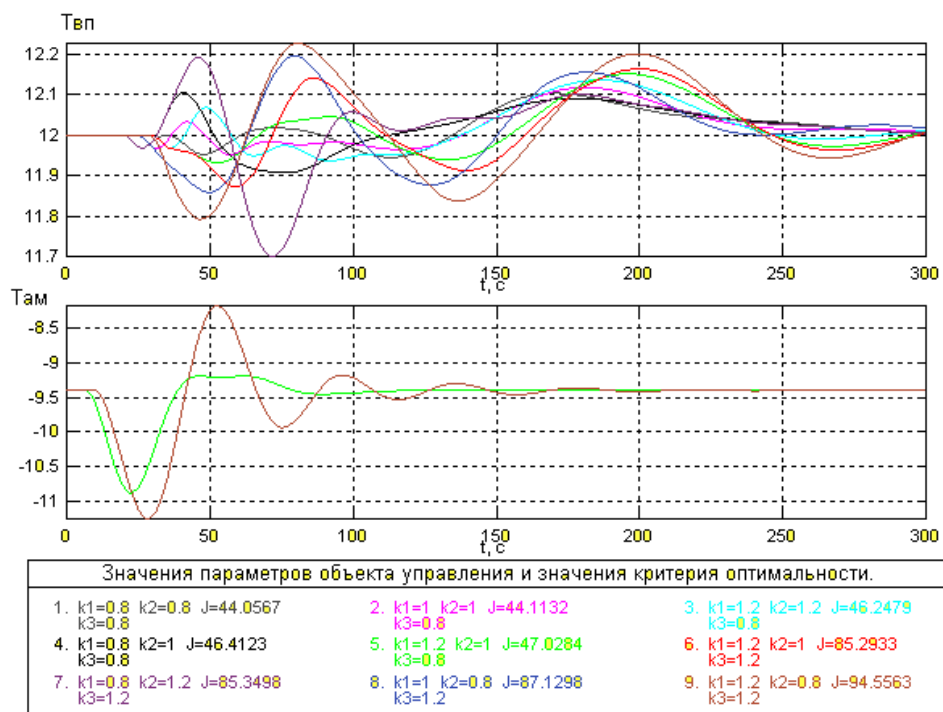


Рис. 3.33 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість за умов варіації параметрів ОУ

3.10.3 Вибір із розглянутих поєднань параметрів ОУ найбільш «несприятливих» та «сприятливих» для керування.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, найбільш "сприятливим" для управління є номінальний час запізнення по каналу управління, і запізнення, менше на 20% щодо обурення, що контролюється, по каналу контрольованого обурення. Найбільш "несприятливим" для управління є поєднання параметрів ОУ, що відповідає часом запізнення по обох каналах, на 20% більшим від їх номінальних значень.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами

ОУ "сприятливими" та "несприятливими" для керування наведена на рис. 6.10. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 6.11 та зведені до таблиці 6.1.

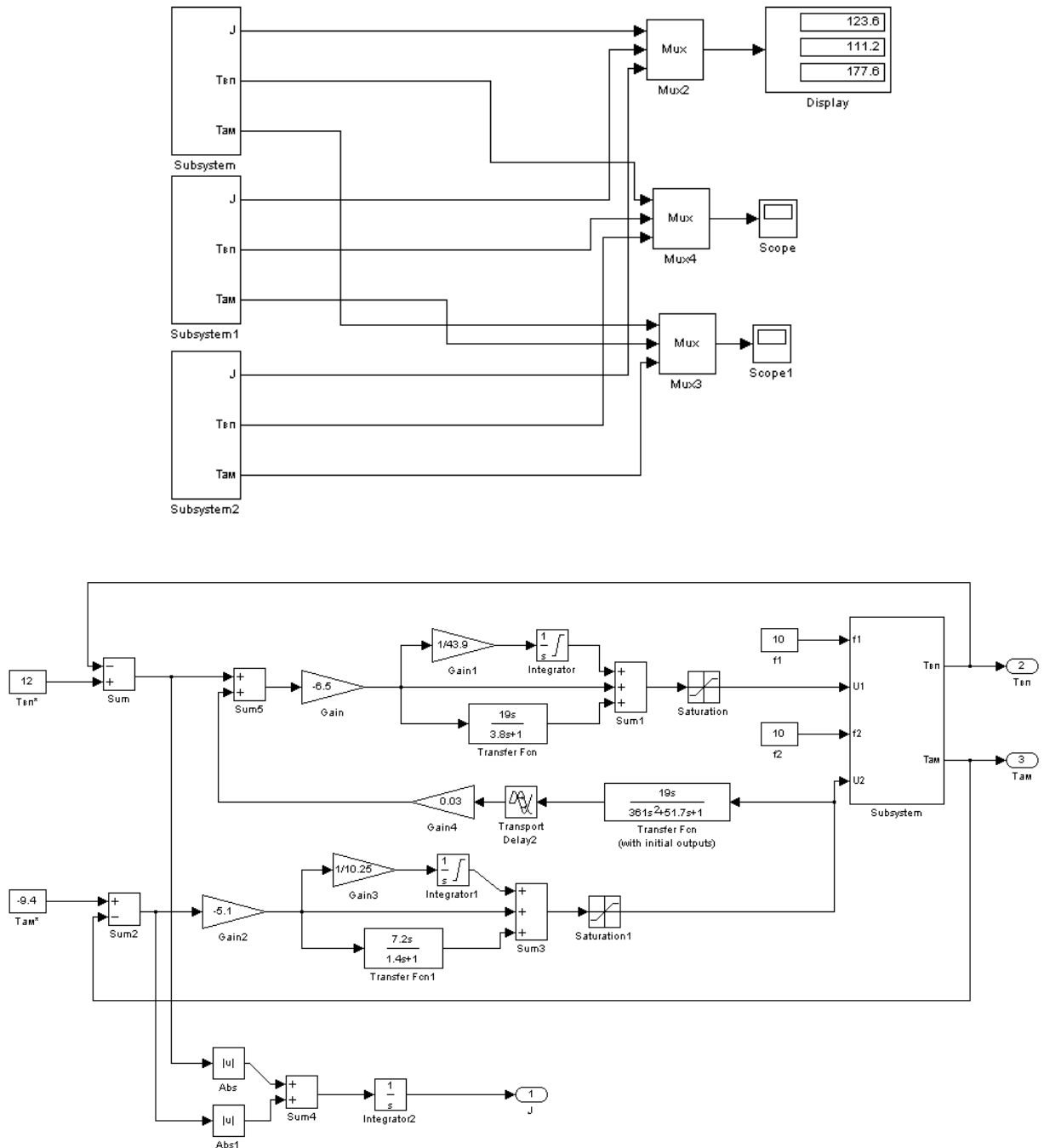


Рис. 3.34 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними, "сприятливими" та "несприятливими" для керування параметрами ОУ

Таблиця 3.7 - Результати порівняння варіантів САР підвищеної динамічної точності

Сполучення параметрів ОУ	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{ВП}^{МАКС}$	$T_{ПП1}, c$	$\Delta T_{ам}^{МАКС}$	$T_{ПП2}, c$	
Номінальні	1,42	108,5	1,67	36,68	123,6
Найсприятливіші	1,27	102	1,5	34,16	111,2
Несприятливі	1,57	118,5	1,86	39,68	177,6

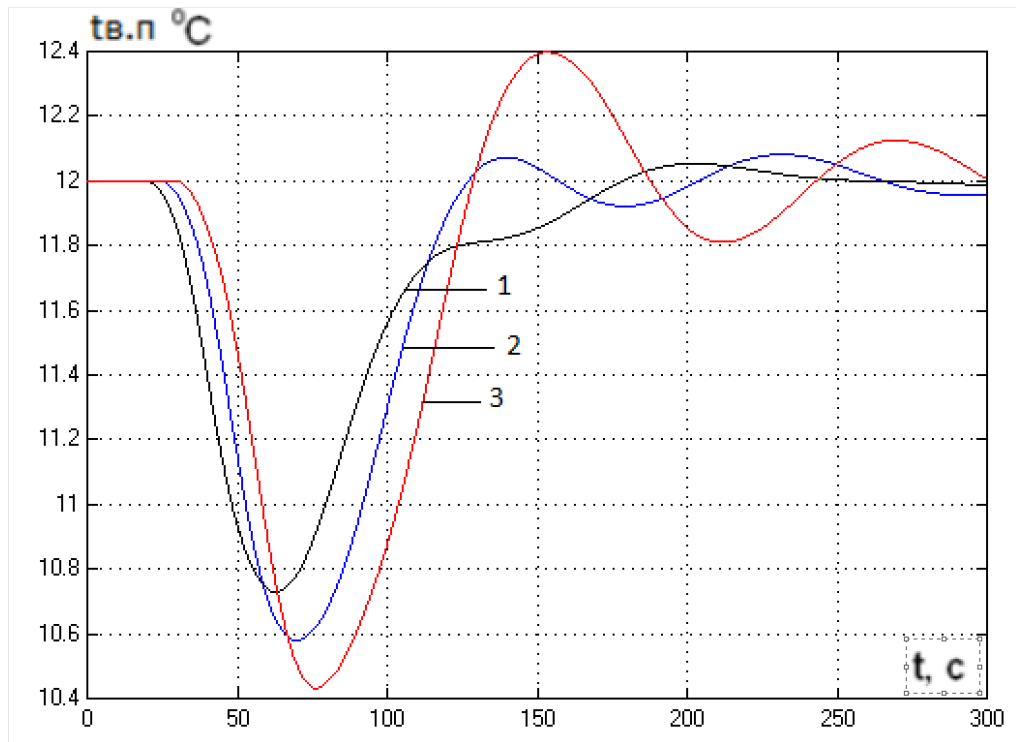


Рис. 3.35 - Результати порівняння варіантів САР графіка твп підвищеної динамічної точності: 1 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОУ; 2 – при номінальних параметрах ОУ; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОУ.

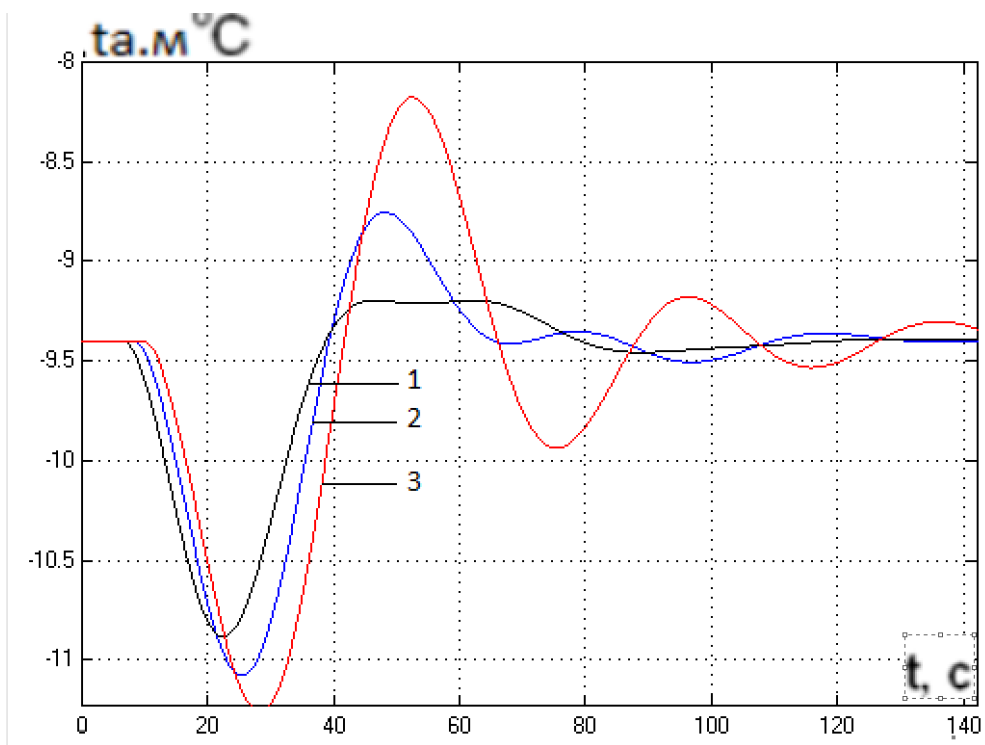


Рис. 3.36 - Результати порівняння варіантів САР графіка $t_{a,m}^{\circ C}$ підвищеної динамічної точності: 1 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОУ; 2 – при номінальних параметрах ОУ; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОУ.

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

3.11 Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних САР за величинами критеріїв та показників, на які встановлені гранично-допустимі значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури та підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 6.15. Результати порівняння наведено на рис. 6.16 та у таблиці 6.1.

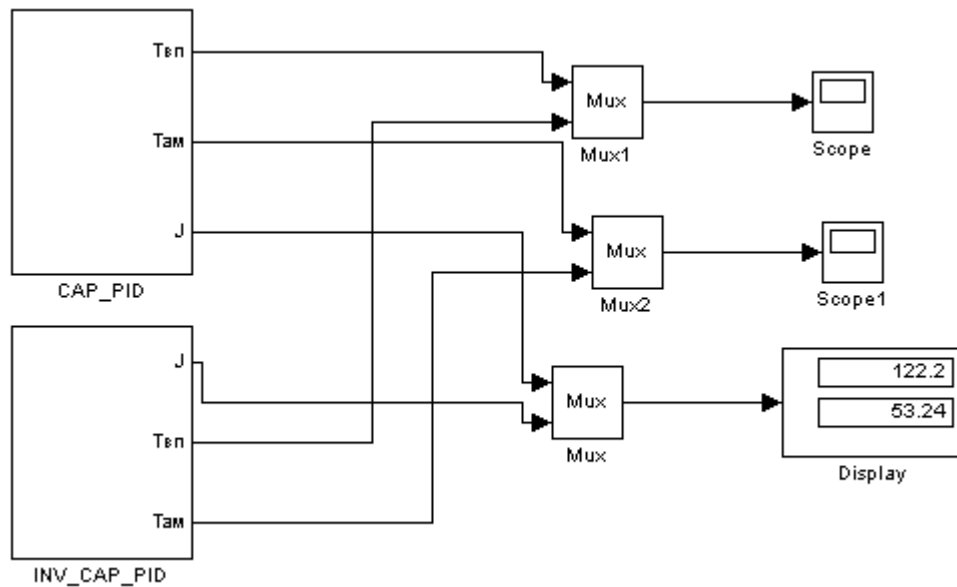


Рис. 3.37 - Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

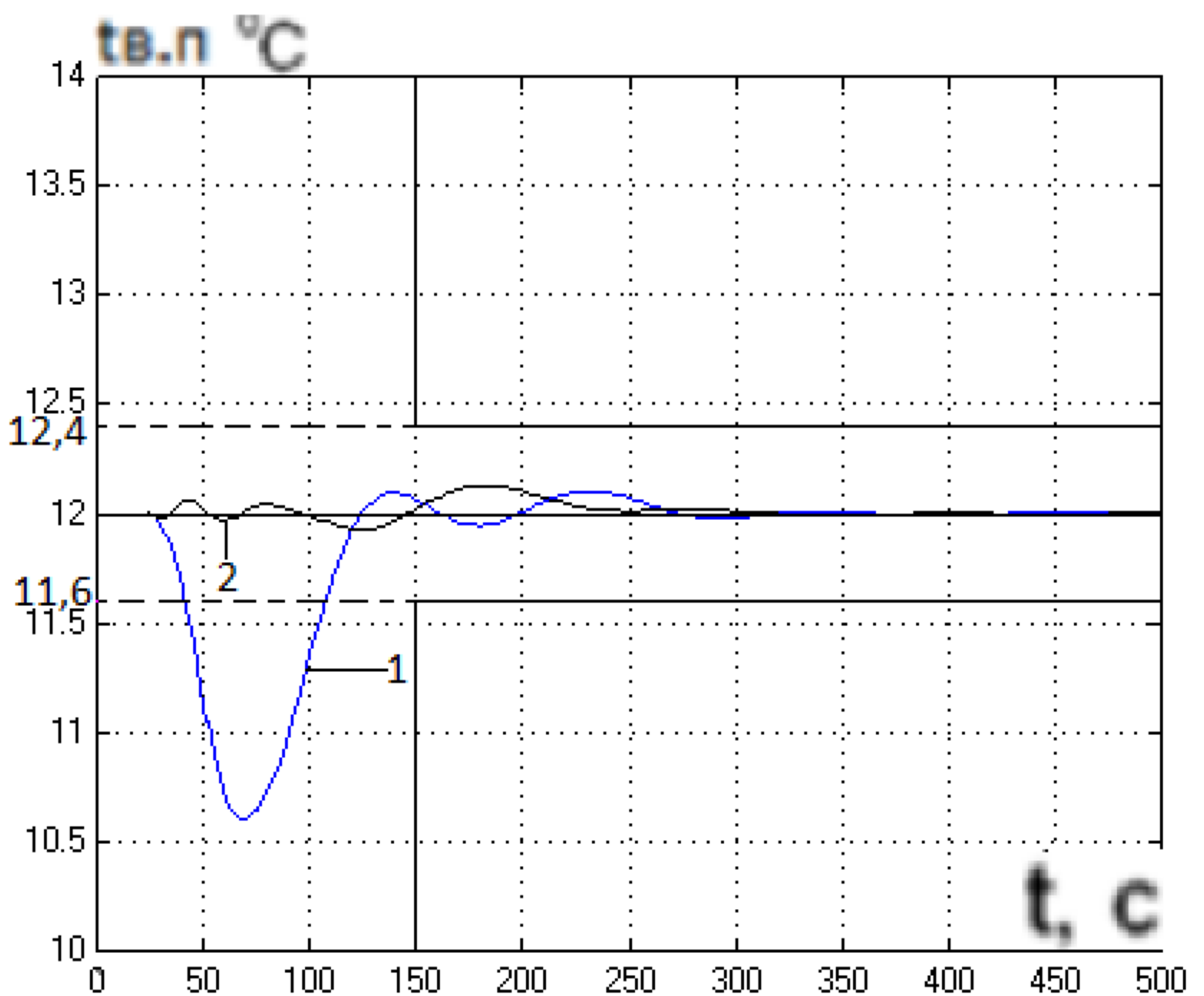


Рис. 3.38 – Перехідні процеси: 1 - САР базової структури; 2 - САР підвищеної динамічної точності графіків твп

Таблиця 3.8 – Результати порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності у перехідних режимах

Структура САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{ВП}^{МАКС}$	$T_{П1}, c$	$\Delta T_{ам}^{МАКС}$	$T_{П2}, c$	
Базова	1.39	107.18	1,661	36,57	122,2
Підвищеної динамічної точності	0.073	-	1,66	36,43	53.24

Як показують результати досліджень варіантів САР і САР базової структури, і САР підвищеної динамічної точності є грубими.

3.12 Висновки за розділом:

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація процесу аміачно-холодильної. Були ідентифіковані канали управління та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що всі вищезгадані канали володіють статичними властивостями, тобто властивостями самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати (перехідні характеристики), які достатньо точно відтворюють експериментальні дані, що свідчить про правильність проведення процедури ідентифікації моделей каналів об'єкту регулювання.

РОЗДІЛ 4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ
ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ
АМІАЧНО-ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ОДЕСЬКОГО
ПРИПОРТОВОГО ЗАВОДУ

4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом аміачно-холодильної установки Одеського припортового заводу
В якості об'єкта модернізації системи автоматизації обрана ділянка аміачно-холодильної установки Одеського припортового заводу

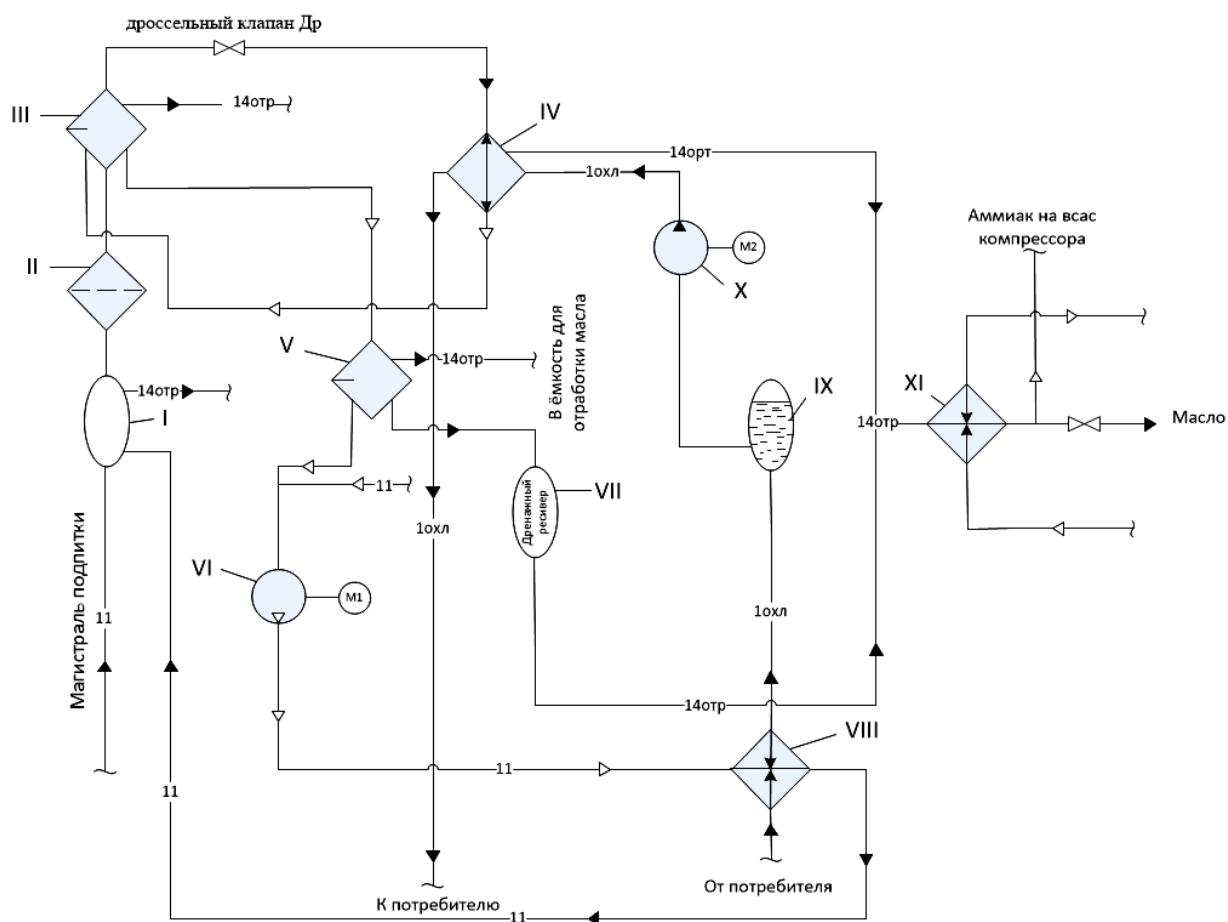


Рис 4.1 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА АМІАЧНО-ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ
ОДЕСЬКОГО ПРИПОРТОВОГО ЗАВОДУ

Установка є замкнутою аміачно-холодильною станцією, де у випарниках за рахунок випаровування аміаку відбувається охолодження відпрацьованої охолодженої води. На схемі прийнято такі позначення:
I – Ресивер. II – Фільтр.
III - Віддільник рідини IV - Випарник
V - Віддільник рідини VI - Компресор

VII – Дренажний ресивер VIII – Конденсатор.

IX - Місткість для захищеної води X- Насос.

XI - Місткість для відпрацювання олії. -14 отр - відпрацьована олія
- 1 охл – схована вода.

Рідкий аміак з основного колектора аміаку першого агрегату карбаміду надходить у ресивер I, а потім через фільтр II, відділювач рідини III. З відокремлювача III здросельований клапаном Др рідкий аміак надходить у міжтрубний простір випарника IV. За рахунок температури кипіння аміаку відбувається охолодження води, що циркулює трубним простором випарника IV.

Пари аміаку, що утворюються при кипінні у випарнику IV, надходять у відділник рідини III, де відокремлюються від крапель рідини і надходять у відділник рідини V. Тут газоподібний аміак, що відокремився від крапель рідини у відділнику V, відсмоктується компресором VI, а рідкий аміак зливається в дренаж ресивер VII.

Газоподібний аміак компресором VI стискається та надходить у конденсатор VIII, де за рахунок теплообміну з оборотною водою стискається та зливається у лінійний ресивер I.

Відпрацьована охолоджена вода від споживачів надходить трубопроводом у ємність IX, звідки насосом X подається в аміачний випарник IV, де, циркулюючи по трубному простору, охолоджується і з температурою 12 °С знову подається в технологічні апарати споживача для теплообміну.

Аміак з домішками олії з відокремлювача рідини V, дренажного ресивера VII, міжтрубного простору випарника IV, відокремлювача рідини III, ресивера I – надходить у ємність для відпрацьованого масла XI.

У ємності XI за рахунок тепла насиченої пари, що подається в змійовик, відбувається очищення олії шляхом випаровування аміаку.

Газоподібний аміак надходить на всмоктування компресора VI, а очищене масло зливається в переносну тару.

Технічні характеристики процесу:

- Температура рідкого аміаку з основного колектора від -34 до -10°С.
- Тиск із основного колектора – від 1,69 до 2,19 МПа.
- Температура аміаку у трубному просторі випарника IV – від 20 до 12°С
- Температура газоподібного аміаку у відділі рідини V – від 5 до 8°С.
- Температура аміаку на виході із компресора – від 85 до 90°С.
- Тиск аміаку на виході з компресора – від 1,52 МПа.
- Температура відпрацьованої охолодженої води споживача – 20°С.
- Температура води на виході з випарника від 8 до 12°С.
- Тиск пари ємності, що подається в змійовик XI - 1,39 МПа
- Температура пари у змійовику ємності XI – 190°С.
- Температура води, що надходить до споживача 12°С.

Перед початком технологічного процесу необхідно перевірити передпускові умови (з використанням даних від датчика-сигналізатора рівня – LS), до якого відноситься наступний: рівень рівень аміаку у ресивері I (LS =1). Потім необхідно сповістити персонал про початок ведення технологічного процесу. Для цього використовується звукова сигналізація.

Для початку роботи аміачно-холодильною станцією, включити M1 та перевірити чи досягнуто необхідного тиску холодоагенту (сигнал від датчика наявності тиску PS = 1). Потім включити M2.

Вихід на режим роботи аміачно-холодильною станцією буде досягнутий при (TEY1 = -9.4⁰C, TEY2 = 12⁰C)

На Рис.4.2 наведено блок-схему регламенту функціонування аміачно-холодильною установки за її пуском (з аварійною зупинкою)



Рис.4.2 – Блок-схема регламенту аміачно-холодильної установки за її пуском (з аварійною зупинкою)

Для зупинки аміачно-холодильної установки потрібно вимкнути М1 та перекрити дросельний клапан Др. Після чого відключити насос М2.

На рис. 4.3 наведено блок-схему регламенту функціонування за зупинкою аміачно-холодильної установки

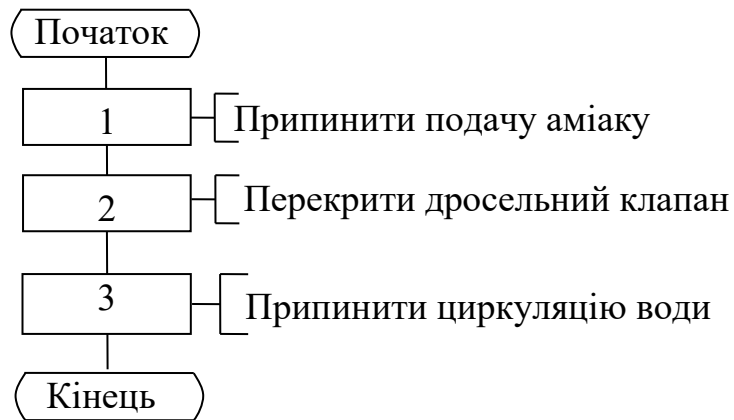


Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту функціонування аміачно-холодильної установки за штатною зупинкою.

На рис. 4.4, 4.5 наведено блок-схеми алгоритмів керування пуском та зупинкою вакуум випарної установки, що розроблені згідно до алгоритмів функціонування.

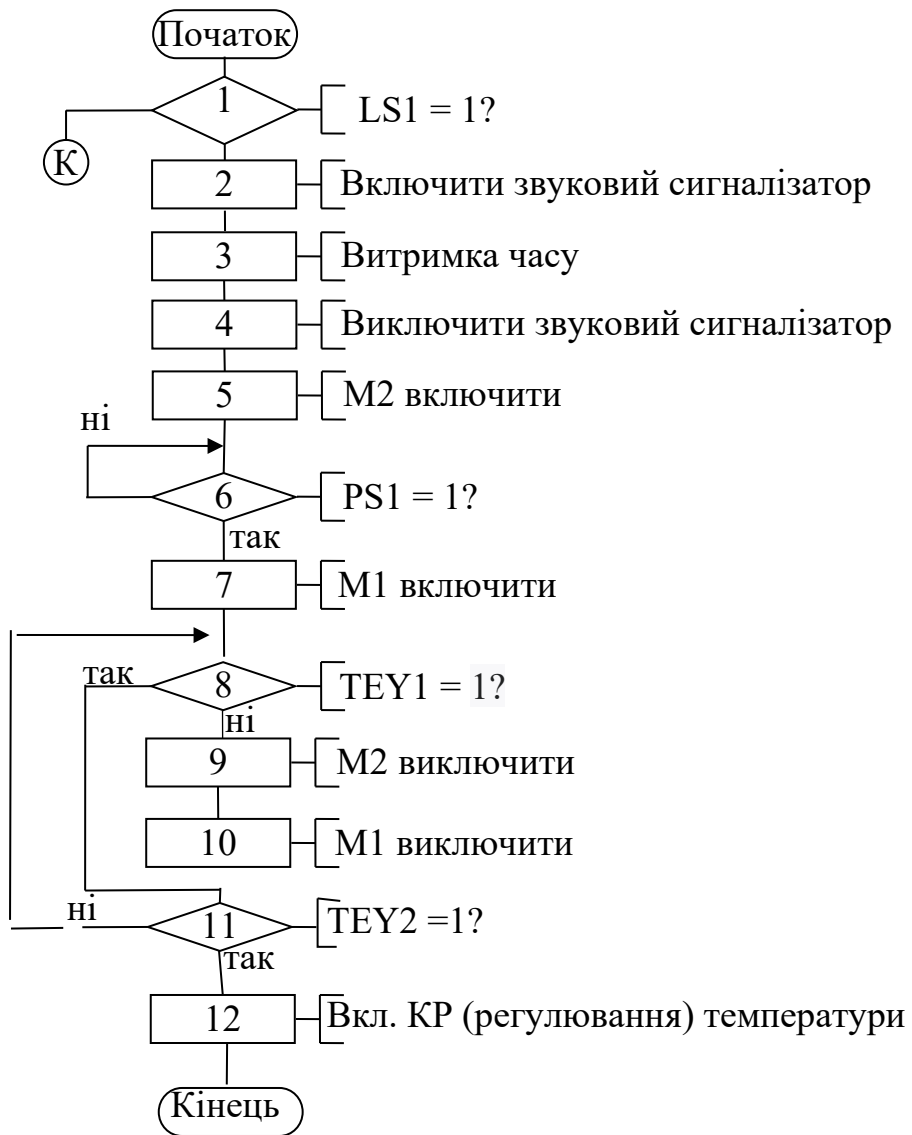


Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму керування за пуском аміачно-холодильної установки.



Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму керування за зупинкою сушильної установки

4.2 Висновки за розділом

В результаті виконання РГЗ для даної технологічної установки були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи керування пуском аміачно-холодильної установки в штатному та аварійному режимах.

Розділ 5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ

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

Оскільки аміак — сильнодіюча отруйна, вибухонебезпечна та пожежонебезпечна речовина, має задушливу та нейротропну дію, тому приміщення, ділянка або майданчик із встановленою аміачною холодильною установкою є хімічно та пожежовибухонебезпечним об'єктом.

5.1.1 «Правила улаштування електроустановок» визначають:

5 відкрита, або зовнішня, електроустановка

Електроустановка, не захищена будівлею від атмосферного впливу. Електроустановки, захищені тільки навісами, сітчастими огорожами тощо, розглядають як зовнішні.

6 сухе приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря не перевищує 60 %. За відсутності в такому приміщенні умов, наведених у 10–12, воно називається нормальним.

7 вологе приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %.

8 сире приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря тривалий час перевищує 75 %.

9 особливо сире приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря наближена до 100 % (стеля, стіни, підлога і предмети, що є в приміщенні, покриті вологою).

10 жарке приміщення

Приміщення, в якому під впливом різних теплових випромінювань температура перевищує постійно або періодично (понад 1 добу) + 35 °С

(наприклад, приміщення із сушарками, сушильними і випалювальними печами, котельні тощо).

11 запилене приміщення

Приміщення, в якому за умовами виробництва виділяється технологічний пил у такій кількості, що він може осідати на проводах, проникати всередину машин, апаратів тощо. Запилені приміщення поділяються на приміщення зі струмопровідним пилом і приміщення з неструмопровідним пилом.

12 приміщення з хімічно активним або органічним середовищем

Приміщення, в якому постійно або протягом тривалого часу є присутніми агресивні пари, гази, рідини, утворюються відкладення або цвіль, що руйнують ізоляцію і струмопровідні частини електроустаткування.

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку (див. підпункти б), в);

б) приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них

однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

1) вологості або струмопровідного пилу (див. 8 і 11);

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

3) високої температури (див. 10);

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

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

1) особливої вологості (див. 9);

2) хімічно активного або органічного середовища(див. 12);

3) одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена аміачна холодильна установка, слід віднести до хімічно активного приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

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

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

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

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

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

Вибухонебезпечна зона класу 2 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів (розрив трубопроводів високого тиску або резервуарів значної місткості) не повинні розглядатися під час проектування електроустановок.

Вибухонебезпечна зона класу 20 — простір, у якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої

або надмірної товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

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

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

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

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

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

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

Табл. 5.1 Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин (стаціонарних і пересувних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

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

Табл. 5.2 Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів (стаціонарних, пересувних і переносних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

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

Для приміщення, де встановлена аміачна холодильна установка, слід вибирати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Підвищеної надійності проти вибуху».

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

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

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

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

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

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена аміачна холодильна установка, слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-І.

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

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

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

Табл. 5.4 Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів у залежності від класу пожежонебезпечної зони

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

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

Електроприводи, датчики та виконавчі механізми встановлені в приміщенні, де знаходиться аміачна холодильна установка. Тому ступінь їх захисту повинен відповідати вищеозначеним вимогам.

Обладнання системи керування та робоче місце оператора-технолога розміщуються в окремому приміщенні, тому ступінь їх захисту не обов'язково має бути пожежовибухобезпечною.

Рекомендований метал для чутливих елементів датчиків та регулюючих клапанів – нержавіюча сталь.

В системі повинна бути передбачена можливість місцевого, дистанційного та автоматичного керування технологічним обладнанням.

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

В ході технологічно процесу охолодження технологічної води використовуються наступні технічні засоби:

5.2.1 Для виміру температури технологічної води та холодоносія застосований датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 0...50 °С для води і -50...0 °С для аміаку.

Чутливі елементи датчиків температури встановлюються у відповідних трубопроводах.



а)

Технічні характеристики:
Тип и НСХ: ТСМ (100П);
Кількість ЧЕ: 2;
Клас допуску: В;
Схема з'єднання: 2-проводна;
Різьбове з'єднання: М20х1,5;
Матеріал захисної арматури: сталь
12Х18Н10Т;
Ступінь захисту: IP54 .
Ступінь вибухозахисту – 0ExiaІВТ6

б)

Рис.- 5.1. Датчик температури Тера: а) зовнішній вигляд;
б) технічні характеристики

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

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



а)

Технічні характеристики:
Тип ПСТ (0/150) - 100П;
Схема з'єднання: 2-проводна;
Діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА
Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт;
Умови експлуатації : - 30 ... + 50 °С,
вологість 95% при 35 °С

б)

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

5.2.3 Для сигналізації про рівень аміаку в випарниках, проміжних ресиверах та віддільниках рідини використовуються пристрої RT 280A Danfoss.

Технічні характеристики:



1. *Хладагенты*
RT 280A, RT 281A могут работать с аммиаком (R717), R22 и R502. Возможность работы с другими хладагентами определяется после консультаций с компанией «Данфосс».

Рабочая температура для RT 280A:

R12: -50 → +10°C,
R22 и R717: -50 → 0°C,
R502: -65 → -5°C.

Контактная нагрузка

Переменный ток:

АС1: 10 А, 400 В,
АС3: 4 А, 400 В,
АС15: 3 А, 400 В.

Максимальный кратковременный ток: 28 А.

а)

б)

Рис. 5.3. – Сигнализатор рівня аміаку RT 280A Danfoss:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.3 Для сигналізації про перепад тиску на компресорі використовуються реле RT 260A Danfoss R717.

Технічні характеристики:



Тип	Диапазон регулирования	Перепад давления Δр	Рабочий диапазон для сильфонов низкого давления	Макс. рабочее давление PS
	[бар]	[бар]	[бар]	[бар]
RT 260A	0,5 – 4	0,3	-1 – 18	22
	0,5 – 4	0,3	-1 – 18	22
	0,5 – 6	0,5	-1 – 36	42
	1,5 – 11	0,5	-1 – 31	42

а)

б)

Рис. 5.3. – Реле перепаду тиску RT 260A Danfoss:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

5.3.1 Для регулювання рівня аміаку в затоплених випарниках, проміжних ресиверах та віддільниках рідини застосовані вентилі типу TEVA Danfoss як регулятори рівня рідини прямої дії.



а)

Технічні характеристики:

Хладагент
R717 (NH₃). Может также использоваться с хладагентом R22.

Температура контролируемой среды
-50 → +10°C

Длина капиллярной трубки
5 м

Штуцер для выравнивания внешнего давления
Ниппель под сварку 1/4" (ø6,5 / 10 мм)
или штуцер под отрезное кольцо 8 мм.

б)

Рис. 5.3. – Вентиль TEVA Danfoss: а) зовнішній вигляд;
б) технічні характеристики

5.3.2 Для регулювання витрат аміаку у випарник застосований терморегулюючий вентиль MEV Danfoss дросельного типу, призначений для розширення холодоагенту в рідинних лініях із фазовим переходом.



а)

Технічні характеристики:

Холодоагенти

Працездатний з усіма негорючими холодоагентами, включаючи R717

Діапазон температур

Температура робочого середовища:
від -50 до +120 °C

Тиск

Максимальний допустимий робочий тиск: 28 бар.

б)

Рис. 5.4 Терморегулюючий вентиль MEV Danfoss:
а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

В якості приводу для терморегулюючого вентиля MEV використаний електродвигун типу SMVE Danfoss, вхідний сигнал керування 4...20 мА.



а)

- Компактность
- Предназначены для использования в промышленных холодильных установках
- Наличие встроенного нагревателя на корпусе электродвигателя
- Наличие возвратной пружины; в случае отключения питания пружина возвращает вентиль в закрытое положение
- Класс защиты корпуса: IP 54
- Напряжение электропитания: 24 В пер. тока и 220 В пер. тока, 50/60 Гц
- Наличие обратной связи
- Автоматическая калибровка SMVE
- Электродвигатели могут вращаться в прямом и обратном направлениях
- Настройка входного сигнала SMVE
- Защита от перегрузки по вращающему моменту

б)

Рис. 5.5. – Электропривод SMVE Danfoss:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

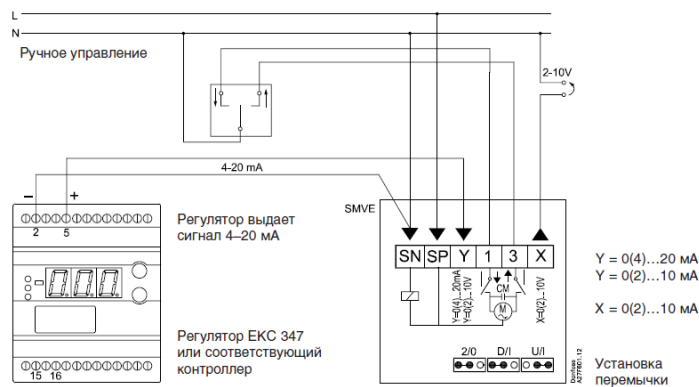


Рис. 5.6 Схема електричних підключень електроприводу SMVE Danfoss

5.3.2 Для зміни частоти обертання електропривода компресора застосований перетворювач частоти SINAMICS G120C 7,5 кВт 3-ф/380 (6SL3210-1KE21-7UF1).



а)

Напряжение/частота	3 фазы 380–480 В –20 % +10 % с 50/60 Гц +/-5 %
Диапазон мощности	0,55–18,5 кВт/0,7–24 Нр
Мощность при перегрузке	Для IHO_out: 2,0 x IHO_out на 3 с и затем 1,5 x IHO_out на 57 с в цикле 300 с Für ILO_out: 1,5 x ILO_out на 3 с и затем 1,1 x ILO_out на 57 с в цикле 300 с
Вид защиты	IP20/UL open type
Температура окр. среды	0° до 40 °С без дери́тинга/до 60 °С с дери́тингом
ЭМС	по IEC 61800-3, класс 2 с внутренним фильтром ЭМС
Длина кабелей двигателей	50 м (экранированные)/100 м не экранированные
Стандарты	CE, UL
Сигнальные входы/выходы	6 цифровых входов; 2 цифровых выхода; 1 аналоговый вход; 1 аналоговый выход
Техника безопасности	Встроенная функция безопасного отключения (STO)
Технология управления	Векторная, U/f, U/f ECO
Энергофункции	Расчет экономии энергии, счетчик расхода энергии, автоматическое снижение потока
Функция	Конст. зад. значение скорости, управление 2/3-мя проводами, PID, упр. двиг. с исп. торможения

б)

Рис. 5.8 Частотный перетворювач Siemens SINAMICS G120C

а) зовнішній вигляд; б) основні технічні характеристики

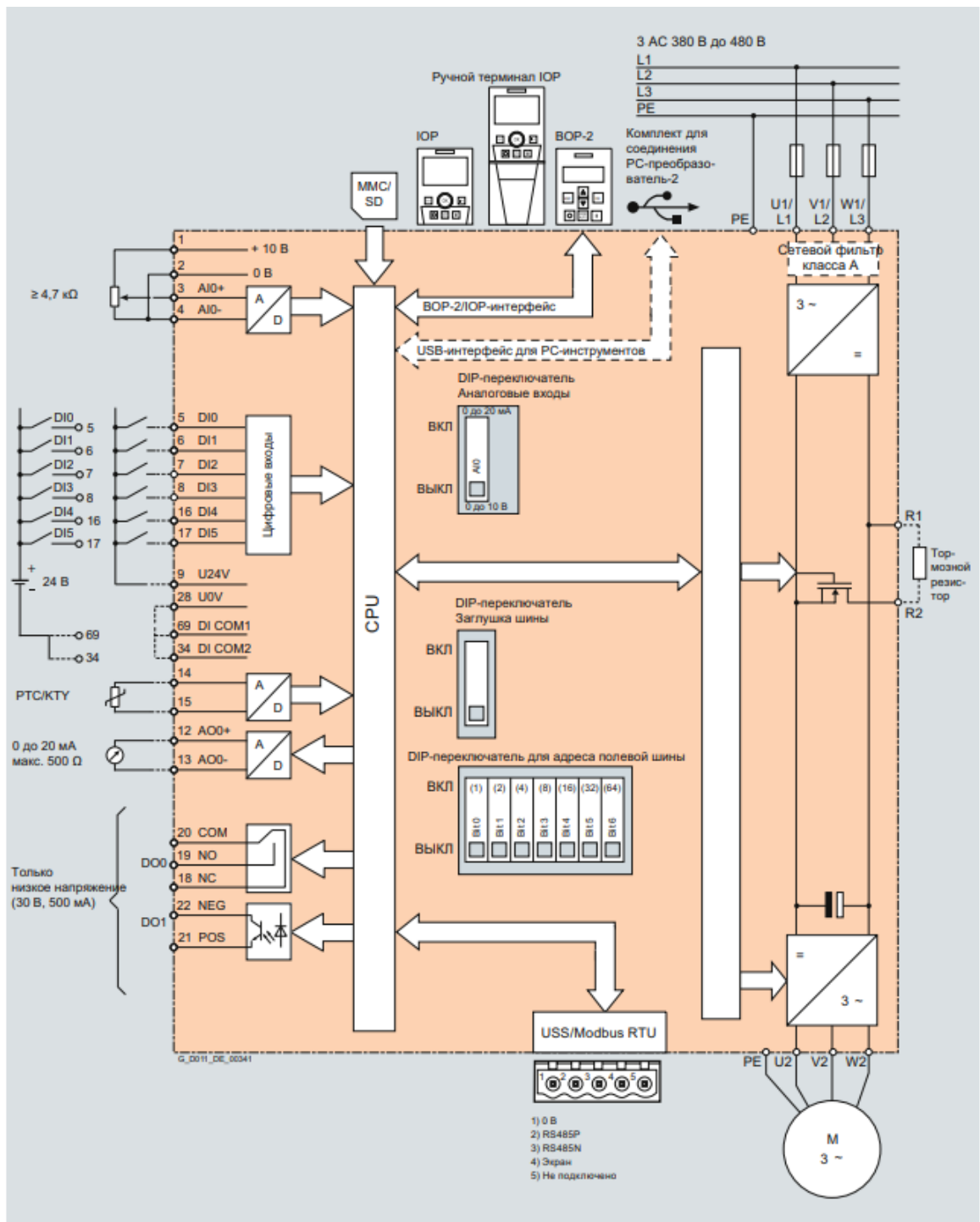


Рис. 5.9 Схема підключення Siemens SINAMICS G120C

5.3.1 Для прямого пуску та зупинки електроприводу насоса обрані наступні технічні засоби.

Для електроприводу потужністю 5.5 кВт застосований автоматичний вимикач захисту двигуна SIEMENS SIRIUS 3RV2021-1KA10, діапазон регульованої теплової уставки 9.0 ... 12.5 А, номінальна потужність 5.5 кВт/

400В , струм миттєвого спрацювання 163.0 А, номінальний струм 12.5 А, гарантований струм розчеплення при к.з 100кА / 400 В., типорозмір S0, пускова переваантажувальна характеристика CLASS 10.

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



Рис. 5. 6 Зовнішній вигляд:

а) автоматичного вимикача 3RV2021-1KA10;

б) контактора 3RT2017-1BB41-0CC0

5.3.2 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування процесом охолодження технологічної води. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК.

РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ,
ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЛОГІЧНОГО
КЕРУВАННЯ САУ

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

Виконав аналіз технологічної схеми та функцій які повинна реалізовувати система керування складемо таблицю (табл. 6.1) зі списком параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера.

Таблиця № 6.1. Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера

№ пп	Назва параметра	Умовне позначення	Вид сигналу A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролера	Позначення на схемі
1	Температура води, що йде до споживача	Tv	A	I	«4-20мА»	AI1
2	Температура кипіння холодоагента у випарнику	Tk_ha	A	I	«4-20мА»	AI2
3	Перепад тиску на випарнику	dP	A	I	«4-20мА»	AI3
4	Положення клапана Др холодоагента	GE1	A	I	«4-20мА»	AI4
5	Поточная швидкості обертання холодильного компресора	GE2	A	I	«4-20мА»	AI5
6	Сигнал управління частотою обертів двигуна компресору М3	U1	A	O	(0-20мА)	AO1
7	Сигнал управління рег. клапаном К1	U2	A	O	(0-20мА)	AO2

8	Сигнал управління двигуном насосу води М1	M2_C	D	O	«сухой контакт»	DO1
9	Сигнал с дод. контакту пускача двигуна М1	M2_KM	D	I	«сухой контакт»	DI1
10	Сигнал автомату захисту двигуна М1	M2_KF	D	I	«сухой контакт»	DI2
11	Сигнал управління двигуном компресору М2	M3_C	D	O	«сухой контакт»	DO2
12	Сигнал с дод. контакту пускача двигуна М2	M3_KM	D	I	«сухой контакт»	DI3
13	Сигнал автомату захисту двигуна М2	M3_KF	D	I	«сухой контакт»	DI4
14	Сигнал управління звук. сигналом	HA	D	O	«сухий контакт»	DO3
15	Кнопка «Пуск»	SB1	D	I	«сухой контакт»	DI5
16	Кнопка «Стоп»	SB2	D	I	«сухой контакт»	DI6
17	Тиск хладагента на вході компресору	Pf_k1	D	I	«4-20мА»	DI7
18	Тиск хладагента на виході з компресору	Pf_k1	D	I	«4-20мА»	DI8
19	Сигнал датчика контролю рівня води у баці	LS_hol_bak	D	I	«сухой контакт»	DI9
20	Сигнал датчика контролю рівня у рессивері	LS_ressiver	D	I	«сухой контакт»	DI10

Кількість каналів введення/виведення AI – 5 , AO – 2, DI – 10, DO – 3.

6.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

Технічну структуру системи управління розробимо на базі контролеру WAGO I/O.

Для реалізації алгоритмів управління в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені 5- аналогових входів, 2-аналогових виходи, 10- дискретних входів і 3-дискретних виходів.

Виходячи із сформованої таблиці 6.1, для реалізації алгоритмів управління скористаємося контролером WAGO 750-881 з модулями ПЗО: AI WAGO 750-453 (2 шт.), AO WAGO 750-555, DI WAGO 750-430 (2 шт.), DO WAGO 750-530.

Центральний процесор WAGO 750-881 характеризується наступними показниками: 32-бітний мікропроцесор, програмна сумісність з WAGO-I/O-PRO V2.3 (based on CODESYS V2.3), годинник реального часу, вбудований носій інформації об'ємом 512 Мбайт, інтегрований Web-інтерфейс.

Загальний вид контролера та схема його підключення наведені на рис.6.1.

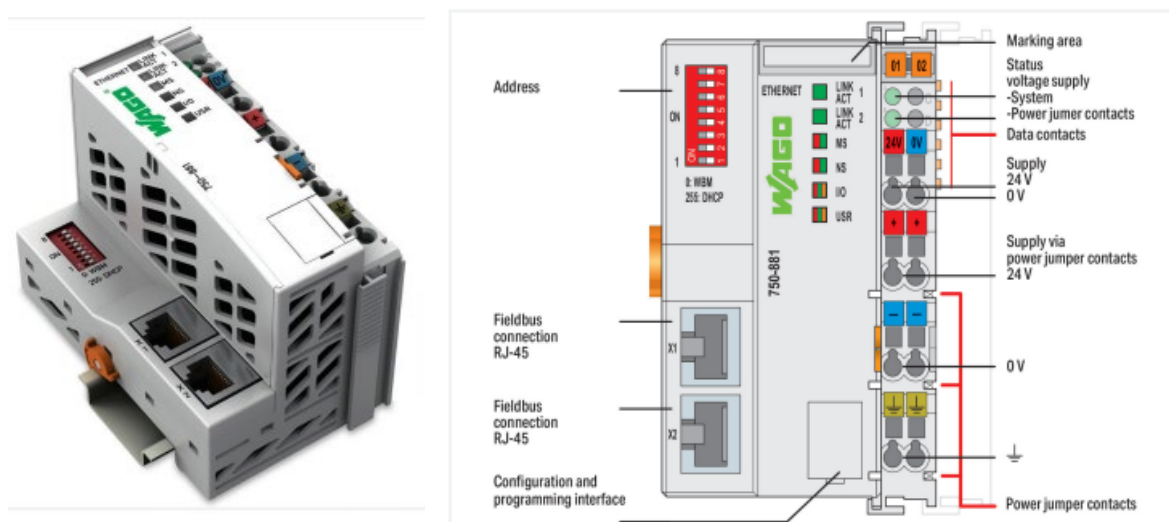


Рис. 6.1 – Контролер WAGO 750-881 – зовнішній вигляд.

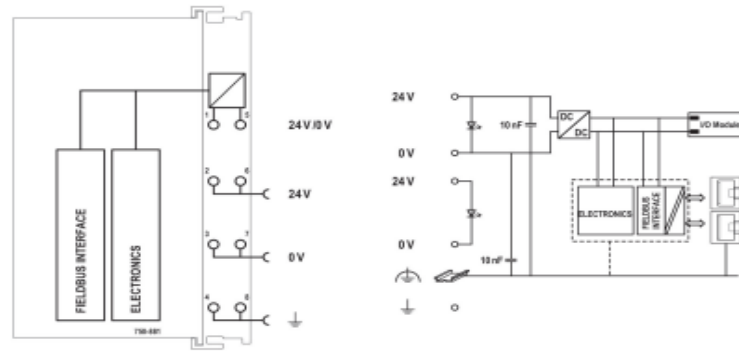
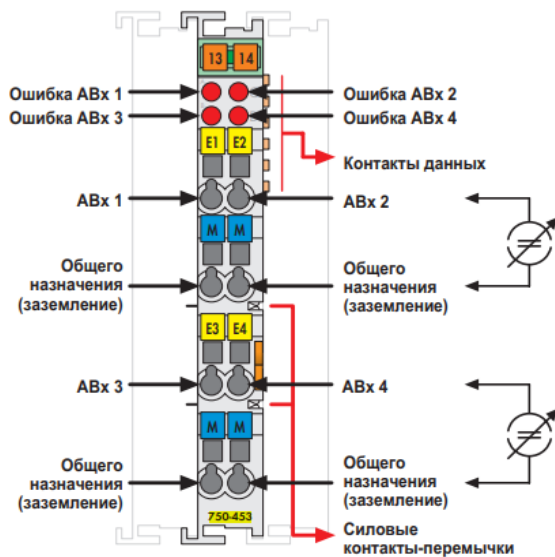


Рис.6.2 – Схема підключення контролера WAGO 750-881.

Для введення аналогових сигналів у контролер будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового введення WAGO 750-453 (рис. 6.3).



Технические данные	
Количество входов	4
Подача напряжения	через преобразователь постоянного тока сетевого напряжения
Потребление тока (внутреннее)	65 мА
Входное напряжение (макс.)	32 В
Ток сигнала	0 - 20 мА (750-453, 753-453)
	4 - 20 мА (750-455, 753-455)
Входное сопротивление	< 100 Ом / 20 мА
Разрешение	12 бит
Время преобразования (тип.)	10 мс
Ошибка измерения (25 °С)	< ± 0,2 % от величины всего измерительного диапазона
Температурный коэффициент	< ± 0,01 % / К от величины всего измерительного диапазона
Развязка	500 В между системой и источником питания
Битовая ширина	4 x 16 бит - данные, 4 x 8 бит - управление/состояние (опционально)
Проводное соединение	CAGE CLAMP®
Сечения	0,08 mm² ... 2,5 mm² / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции, серия 750/753	8 ... 9 mm / 0,33 дюйма
750/753	9 ... 10 mm / 0,37 дюйма
Ширина	12 mm
Вес	51 г
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	в соотв. с EN 61000-6-2 (2005)
ЭМС СЕ - илущение помех	в соотв. с EN 61000-6-4 (2007)
ЭМС при применении в судостроении	
- помехоустойчивость	согласно Германскому Пляуду (2003)
ЭМС при применении в судостроении	
- илущение помех	согласно Германскому Пляуду (2003)

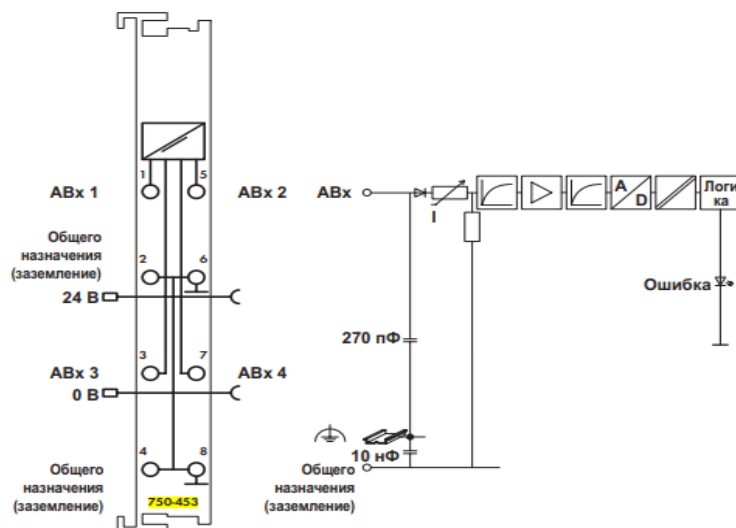


Рис. 6.3 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-453, його характеристики та схема підключення.

Для виведення аналогових сигналів з контролеру (формування аналогових керуючих дій) будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового виводу WAGO 750-555 (рис. 6.4).

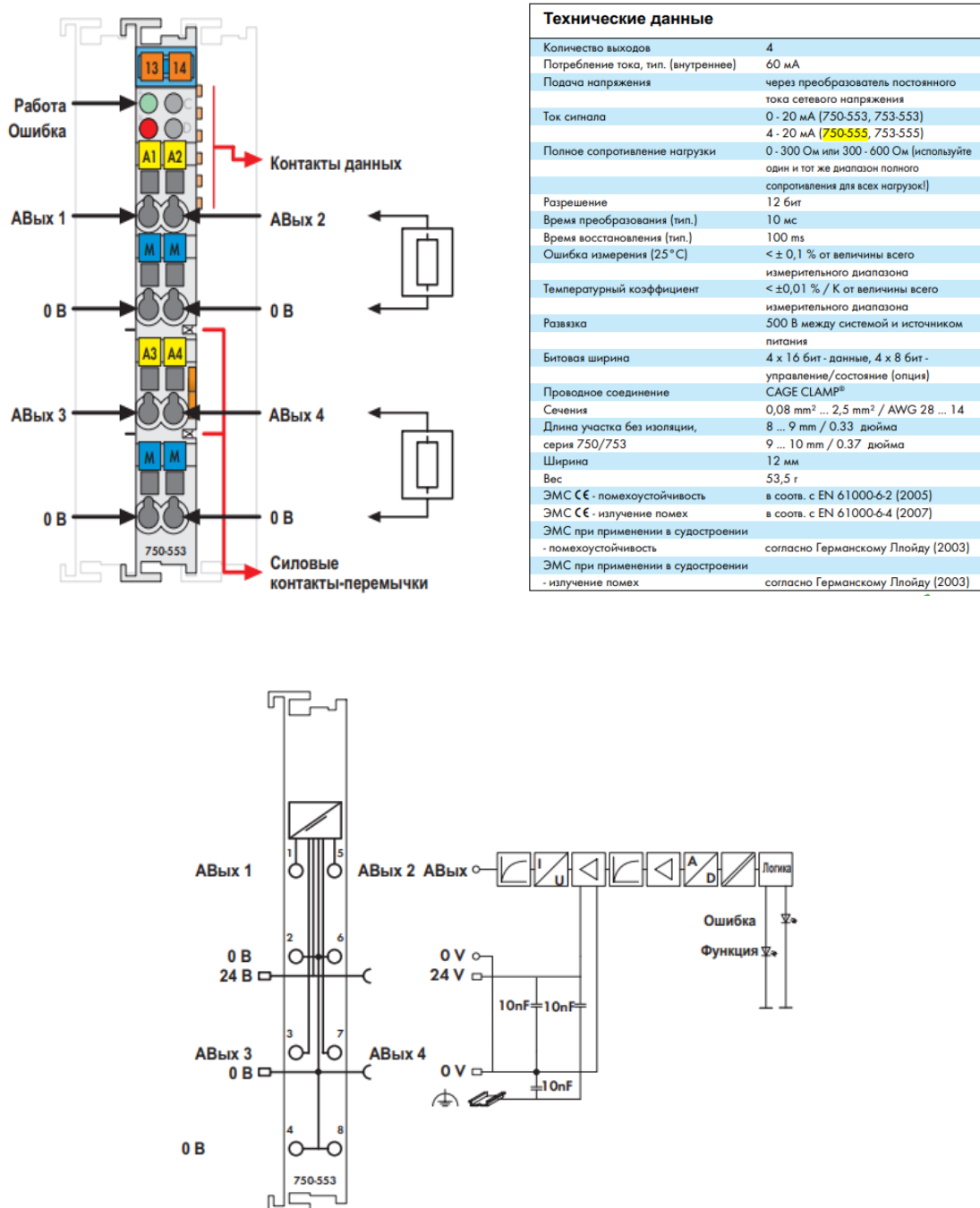


Рис. 6.4 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-555, його характеристики та схема підключення.

Для вводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного вводу WAGO 750-430 (рис. 6.5).

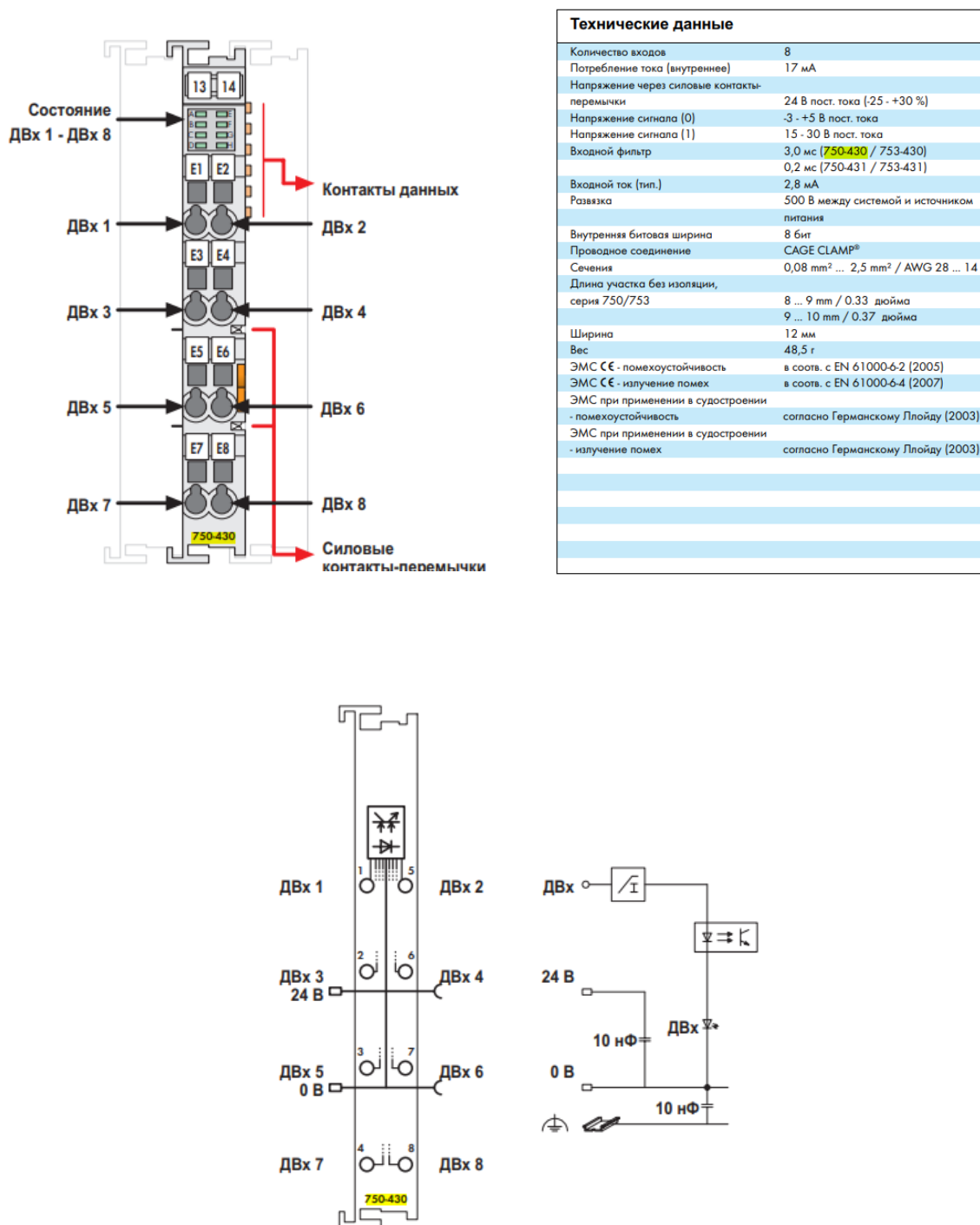


Рис. 6.5 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-430, його характеристики та схема підключення.

Для виводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного виводу WAGO 750-530 (рис. 6.5).

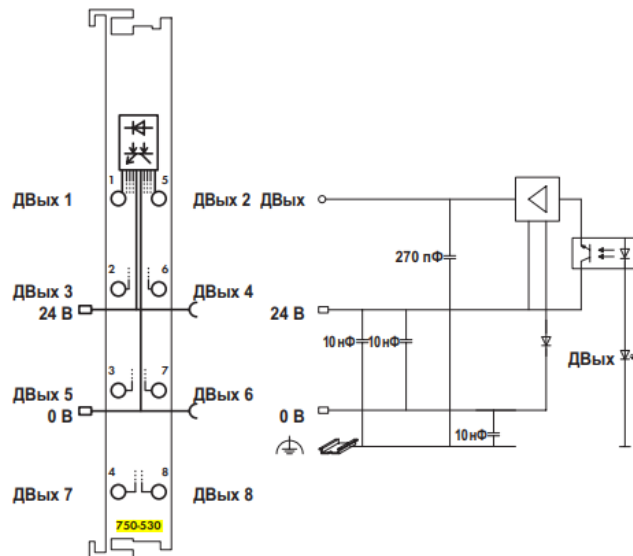
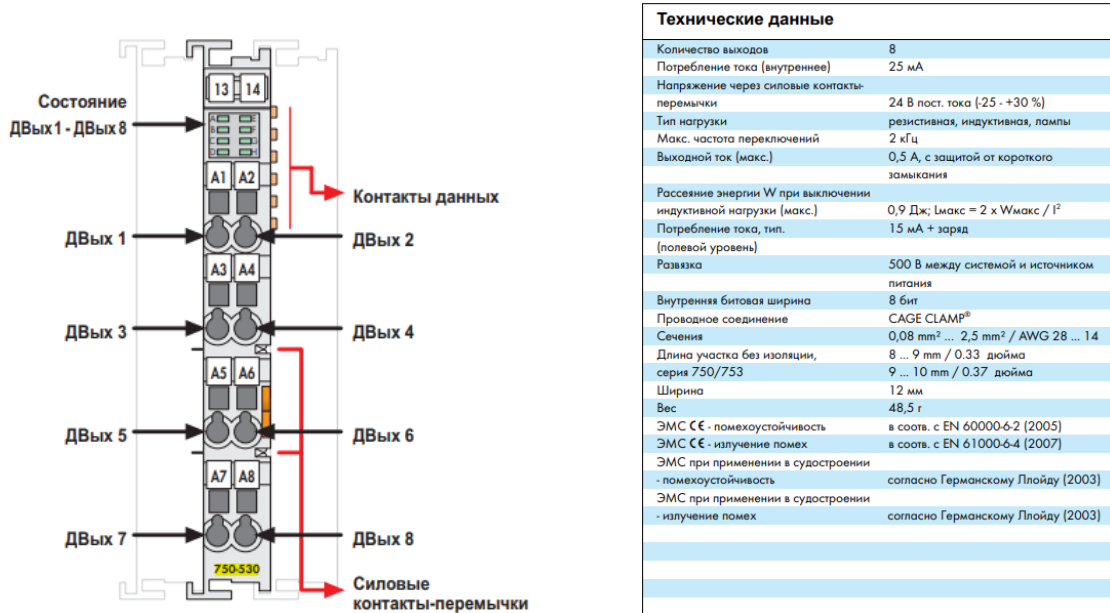


Рис. 6.5 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-430, його характеристики та схема підключення.

Додатково нам знадобляться модуль живлення 24В постійного струму WAGO 750-601 а також кінцевий модуль шини 750-600.

Зв'язок контролера з комп'ютером здійснюється за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Враховуючи обраний контролер, модулі ПЗО до нього, та список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера схема технічною структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування прийме наступний вигляд. (рис. 6.6).

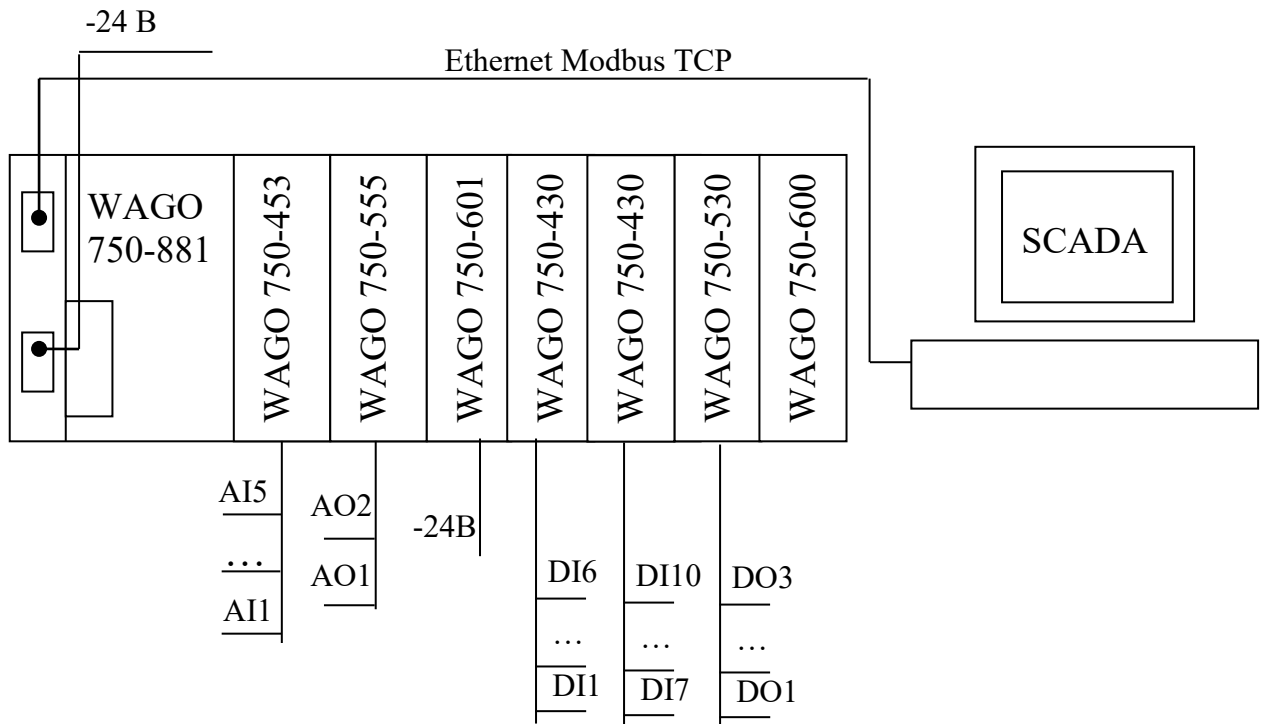


Рис. 6.6 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи управління аміачної-холодильної установки.

6.3. Програмне конфігурування контролера.

Розробку програмного забезпечення для контролера будемо проводити у середовищі CodeSys 2.3. Першим етапом проведемо програмне конфігурування контролера та його модулів ПЗО у середовищі CodeSys 2.3. На рис. 6.7- 6.9 представлених нижче розкрита процедура конфігурування CPU контролера та його модулів ПЗО.

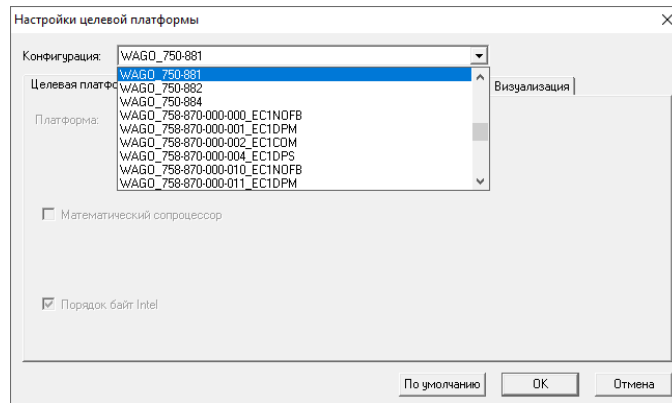


Рис.6.7 – Вікно вибору контролера і конфігурації його параметрів.

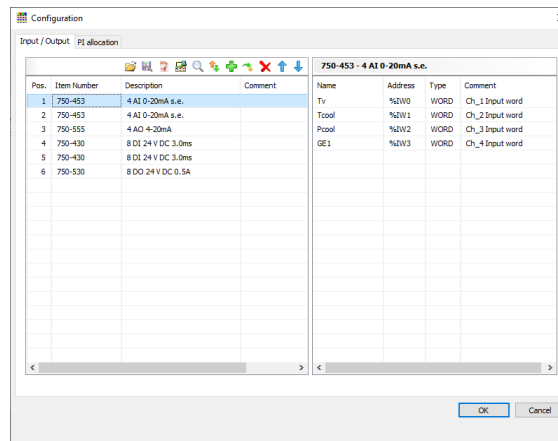


Рис. 6.8 – Фрагмент вікна конфігурування модулів ПЗО WAGO.

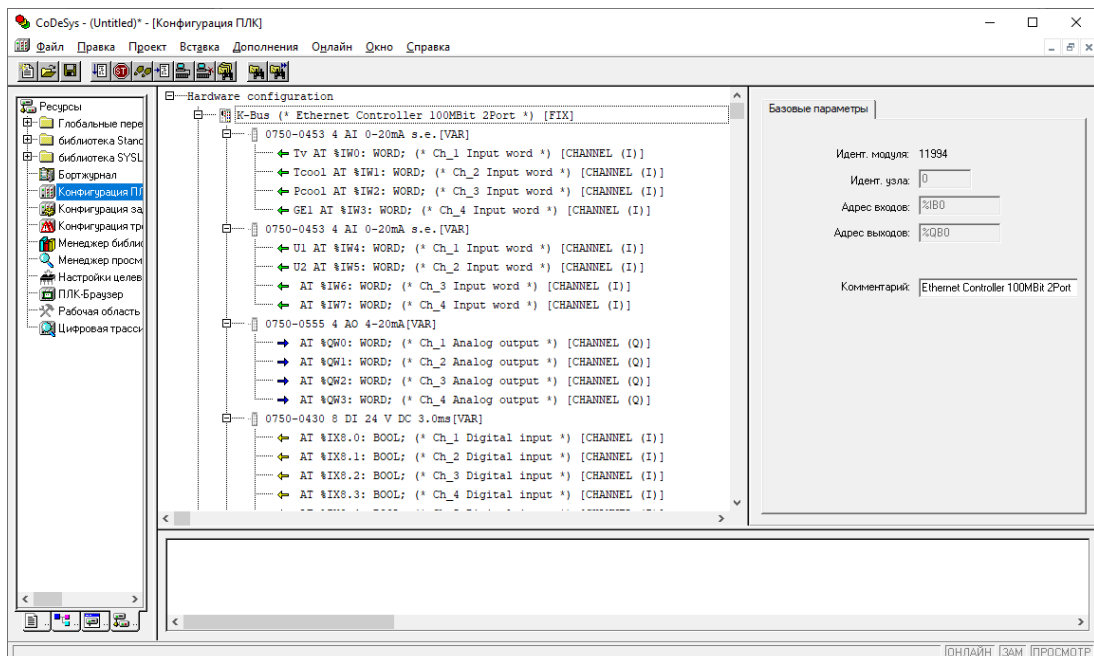


Рис. 6.9 – Фрагмент вікна конфігурування модулю ПЗО у CodeSys .

Завершив конфігурацію переходимо до програмної реалізації алгоритмів керування.

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

Модель САР розраховується у програмному модулі POU_100ms, який обчислюється кожену 0.1 секунди. Час обчислення задається при конфігуруванні контролера у розділі «Конфігурація задач»(рис. 6.10).

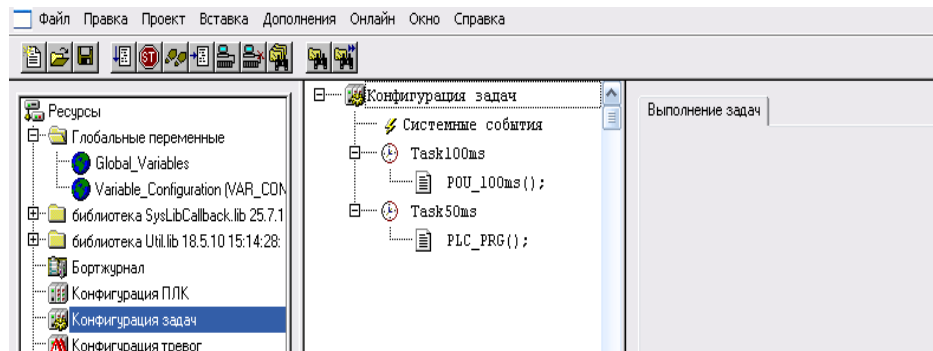


Рис. 6.10 – Загальний вигляд вікна проекту при конфігуруванні задач.

На рис. 6.11 представлені фрагменти програм, які реалізують модель об'єкта керування та алгоритми регулювання.

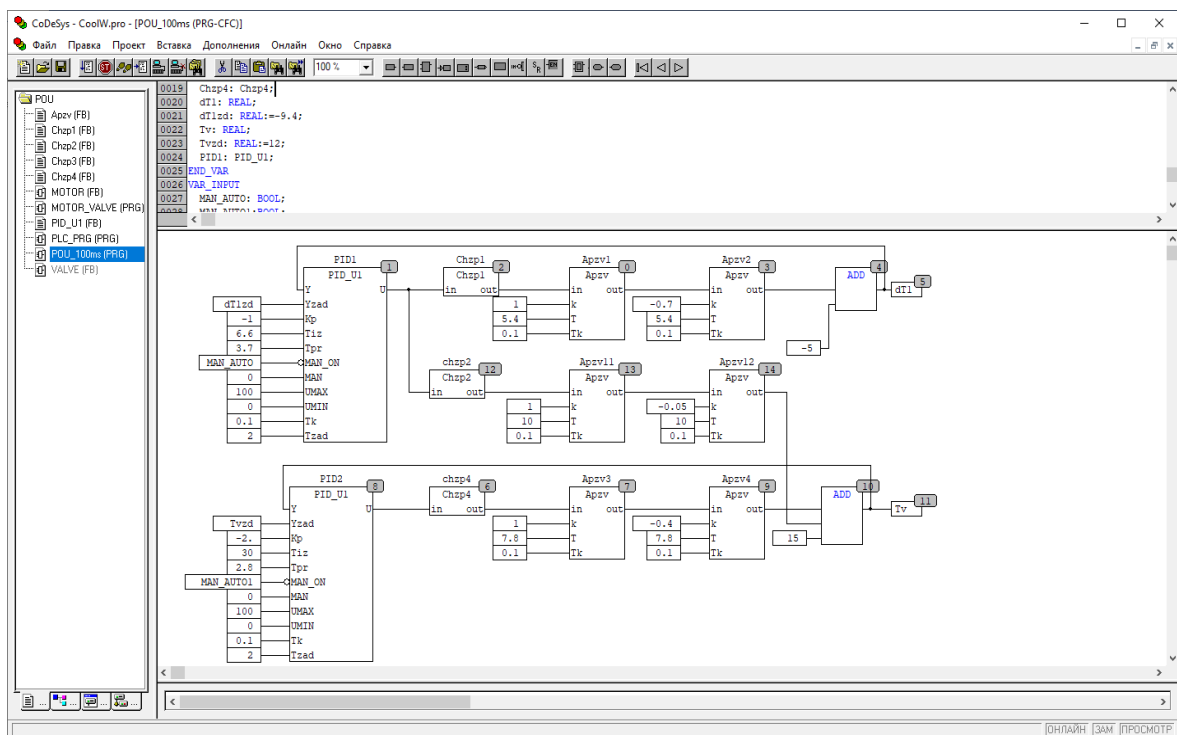


Рис. 6.11 – Фрагмент програми, яка реалізує модель САР.

Для реалізації моделі об'єкта керування використовувались спеціально розроблені функціональні блоки динамічних ланок: ланки запізнення та статичної аперіодичної інерційної ланки першого порядку. На рис. 6.12 та 6.13 представлені фрагменти програм реалізації цих ланок мовою ST.

```

0001 FUNCTION_BLOCK apzv
0002 VAR_INPUT
0003   inp: REAL; (* *)
0004   k: REAL;
0005   T: REAL;
0006   Tk: REAL;
0007 END_VAR
0008 VAR_OUTPUT
0009   out: REAL;
0010 END_VAR
0011 VAR
0012 END_VAR
0013
0001 out:= (Tk*k*inp + T*out)/(T + Tk);
0002

```

Рис. 6.12 – Фрагмент програми, яка реалізує статичну аперіодичну інерційну ланку першого порядку.

```

0001 FUNCTION_BLOCK chzp
0002 VAR_INPUT
0003   inp: REAL;
0004 END_VAR
0005 VAR_OUTPUT
0006   out: REAL;
0007 END_VAR
0008 VAR
0009   data: ARRAY[1..29] OF REAL := 29(0);
0010   i: INT:=1;
0011 END_VAR
0012
0001 out:=data[i];
0002 data[i]:=inp;
0003 i:=i+1;
0004 IF i > 29 THEN
0005   i:=1;
0006 END_IF;
0007

```

Рис. 6.13 – Фрагмент програми, яка реалізує ланку запізнення.

Для реалізації алгоритмів регулювання використовувались спеціально розроблений функціональний блок ПІД –регулятора з інерційним задатчиком та переключенням режиму РУЧ/АВТ. Цей блок розроблений мовою ST . На рис. 6.14 представлена внутрішня структура регулятора.

```

0001 FUNCTION_BLOCK PID_U1
0002 VAR_INPUT
0003 Y: REAL; (*регулируемая переменная*)
0004 Yzad: REAL; (*заданное значение*)
0005 Kp: REAL; (*коэфф. передачи*)
0006 Tiz: REAL; (*время изотерма*)
0007 Tpr: REAL; (*время предварения*)
0008 MAN_ON: BOOL; (*ручной режим Вкл.\Выкл.*)
0009 MAN: REAL; (*Управл. возд. в ручном режиме*)
0010 UMAX: REAL; (*максимал. знач. управл. возд.*)
0011 UMIN: REAL; (*минимал. знач. управл. возд.*)
0012 Tk: REAL; (*шаг квантования*)
0013 Tzad: REAL;
0014 END_VAR
0015 VAR_OUTPUT
0016 U: REAL; (*управляющее воздействие*)
0017 END_VAR
0018 VAR
0019 Ui: REAL;
0020 Yzadd: REAL;
0021 Up_1: REAL;
0022 Ud: REAL;
0023 DY: REAL;
0024 Up: REAL;
0025 END_VAR

[PID_U1 (FB-ST)]
FUNCTION_BLOCK PID_U1
VAR_INPUT
Y: REAL;
Yzad: REAL;
Kp: REAL;
Tiz: REAL;
Tpr: REAL;
MAN_ON: BOOL;
MAN: REAL;
UMAX: REAL;
UMIN: REAL;
Tk: REAL;
Tzad: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
U: REAL;
END_VAR
VAR
Ui: REAL;
Yzadd: REAL;
Up_1: REAL;
Ud: REAL;
DY: REAL;
Up: REAL;
END_VAR
(*Ручной режим управления*)
IF MAN_ON = TRUE THEN
U:=MAN;
Ui:= U;
Yzadd:= Y;
Ud:=0;
Up_1:=0;
ELSE
(**PID- алгоритм управления **)
(*Расчет инерционного задатчика*)
Yzadd:= (Tk*Yzad + Tzad*Yzadd)/(Tk+Tzad);
(*Расчет ошибки регулирования*)
DY:= Yzadd - Y;
(*Расчет П-составляющей*)
Up:= Kp*DY;
(*Расчет И-составляющей*)
Ui:= (Tk/Tiz)*Up + Ui;
(*Реализация ограничения И-составляющей*)
IF Ui > UMAX THEN
Ui:= UMAX;
ELSIF Ui < UMIN THEN
Ui:= UMIN;
END_IF;
(*Расчет Д-составляющей*)
Ud:= (Tpr*(Up-Up_1)+0.2*Tpr*Ud)/(Tk+0.2*Tpr);
Up_1:=Up; (*Переопределение промежуточной переменной для расчета Д-сост.*)
(** Расчет управляющего воздействия **)
U:= Up + Ui + Ud;
END_IF;
(*Реализация ограничения управляющего воздействия*)
IF U > UMAX THEN
U:= UMAX;
ELSIF U < UMIN THEN
U:= UMIN;
END_IF;

```

Рис. 6.14 – Код программы ПИД - регулятора.

На рис. 6.15 наведені перехідні характеристики що отримані при тестуванні програм ПИД – регулювання на моделях об’єкту керування.

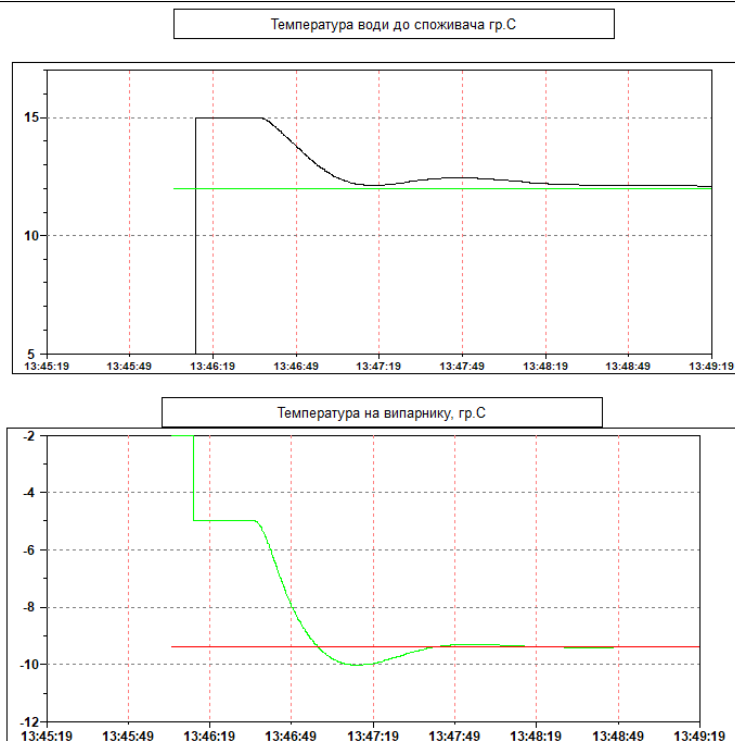


Рис. 6.15 – Перехідні характеристики, отримані при тестуванні і відлагодженні алгоритмів регулювання на моделі ОК.

6.5. 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. 6.16.

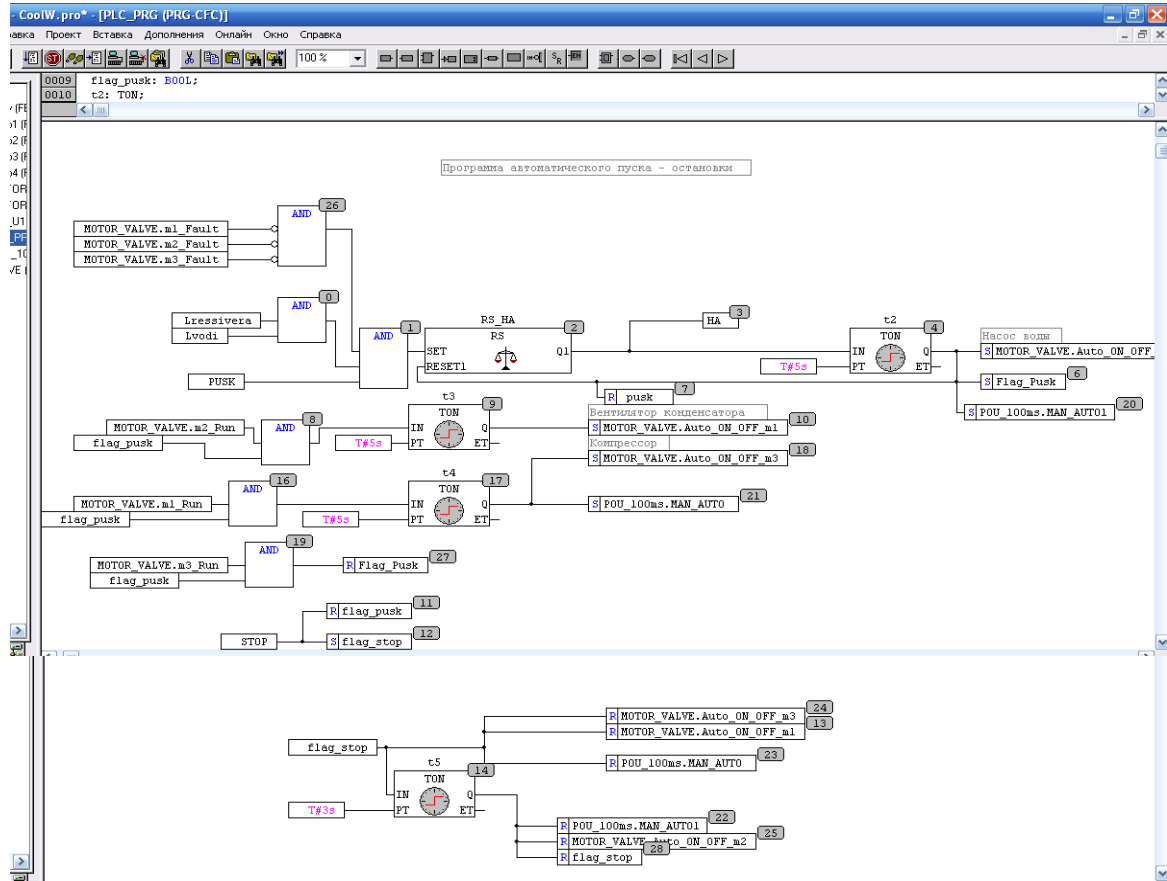


Рис. 6.16 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки.

Програма логічного керування формує сигнали для підпрограм керування двигунами, клапанами та контурами регулювання. Розрахунок підпрограм керування двигунами виконується у програмному модулі Motor_Valve. (рис. 6.17).

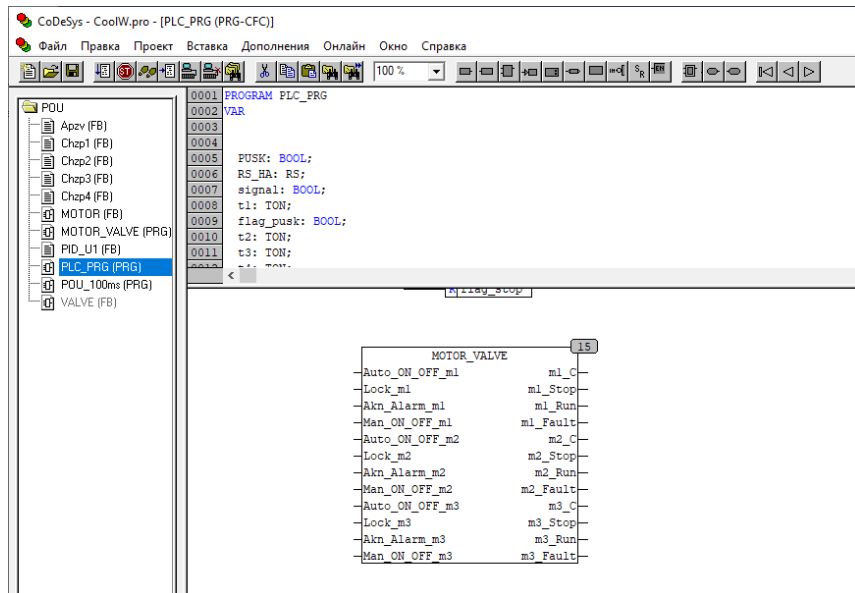


Рис. 6.17 – Фрагмент програми PLC_PRG з викликом модуля Motor_Valve.

Внутрішня структура програмного модуля Motor_Valve наведена на рис.6.18.

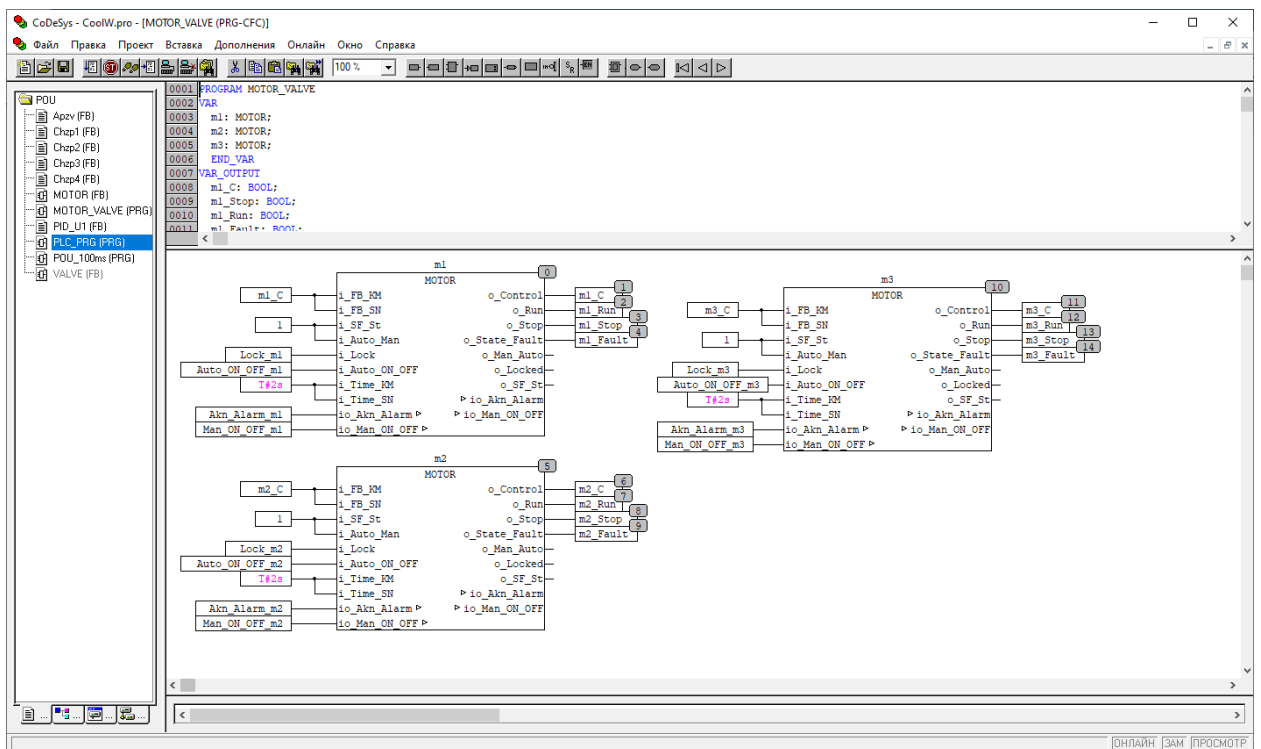


Рис. 6.18 – Фрагмент внутрішньої структура програмного модуля Motor_Valve.

Декілька входів та виходів функціональних блоків управління двигунами з'єднуються з входами та виходами контролера для управління та аналізу стану двигуна.

Внутрішня структура функціонального блоку керування двигуном на рис. 6.19 та 6.20.

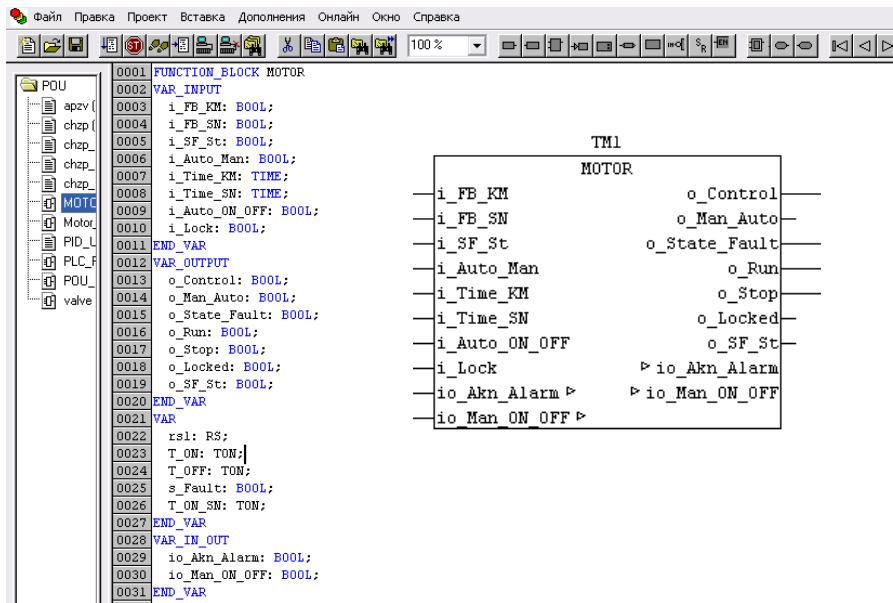


Рис. 6.19 – Загальний вигляд блоку керування двигуном та список змінних підпрограми що його реалізує.

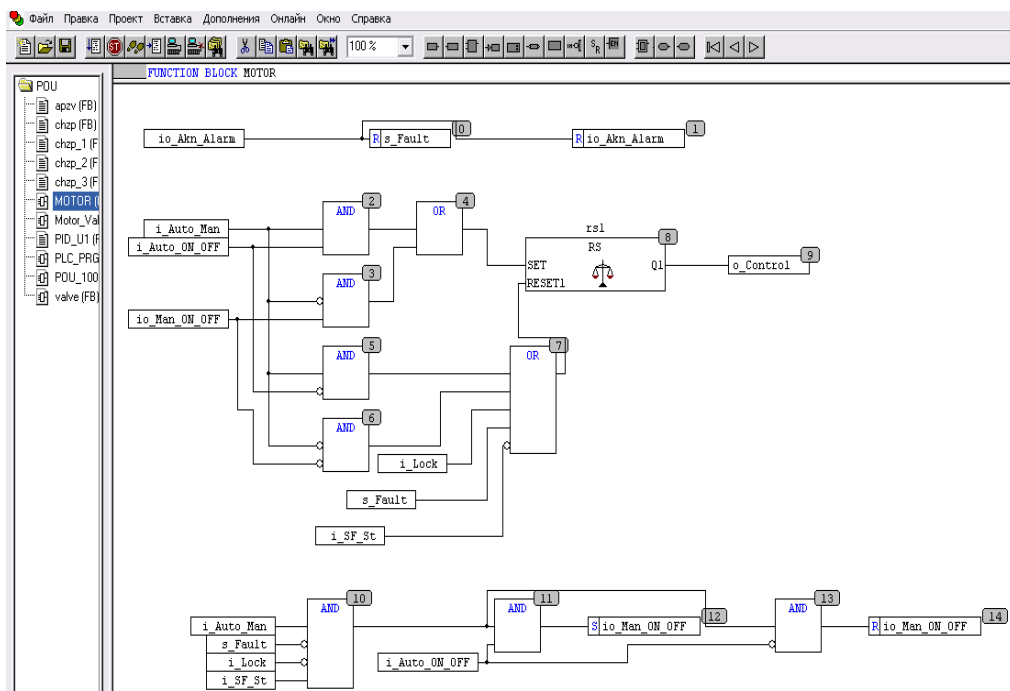


Рис. 6.20 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном (початок).

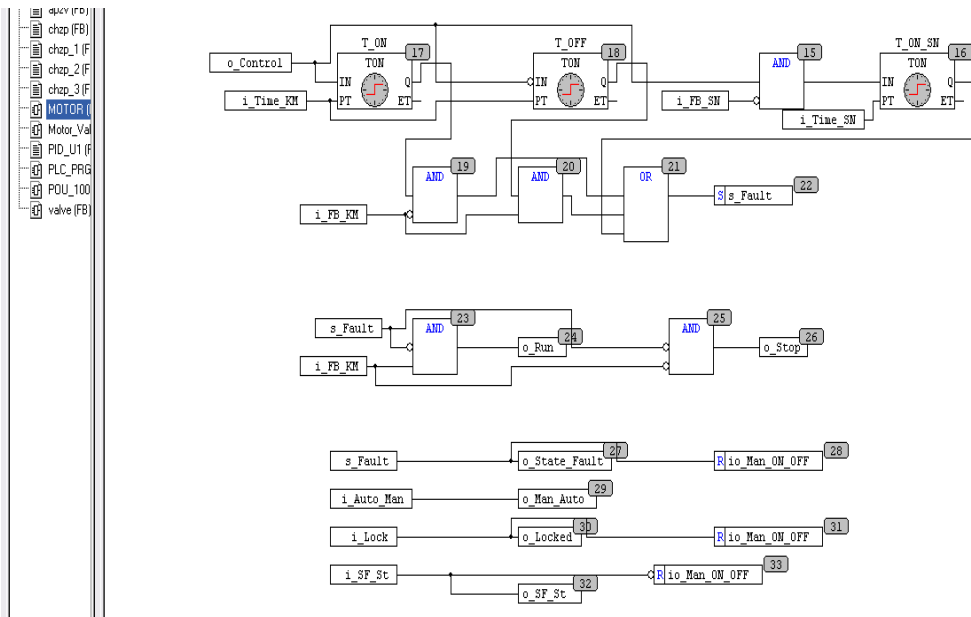


Рис. 6.20 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном (кінець).

Результати тестування програми при виконанні алгоритмів пуску та зупинки підтвердили правильність реалізації. Фрагмент програми та графічний інтерфейс при тестуванні алгоритму пуску наведено на рис. 6.21 та 6.22.

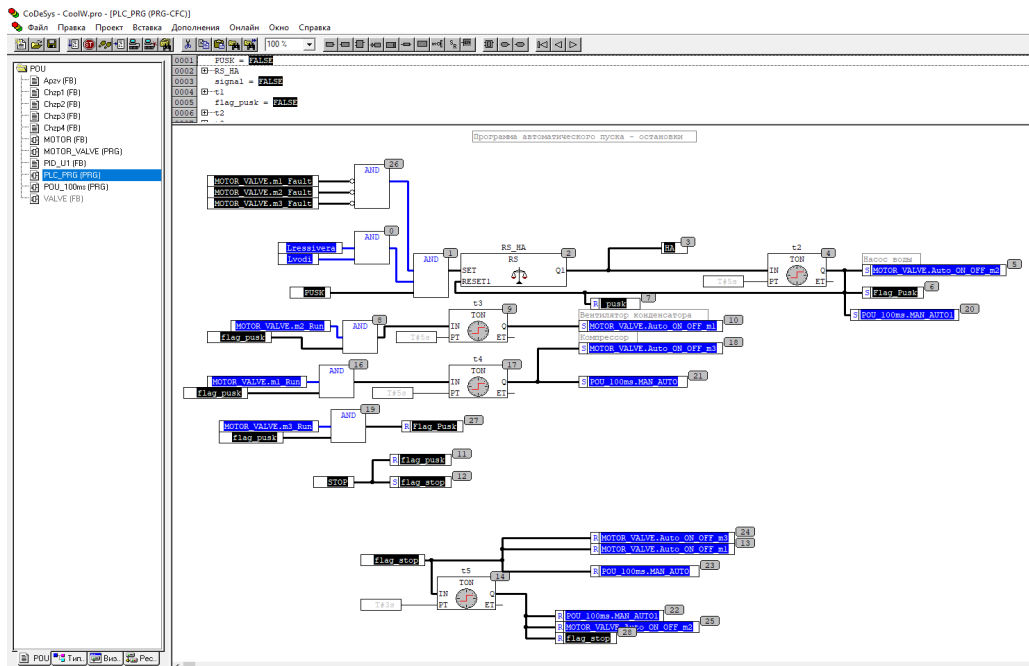


Рис. 6.21. Фрагмент програми (в режимі тестування) що реалізує алгоритм пуску.

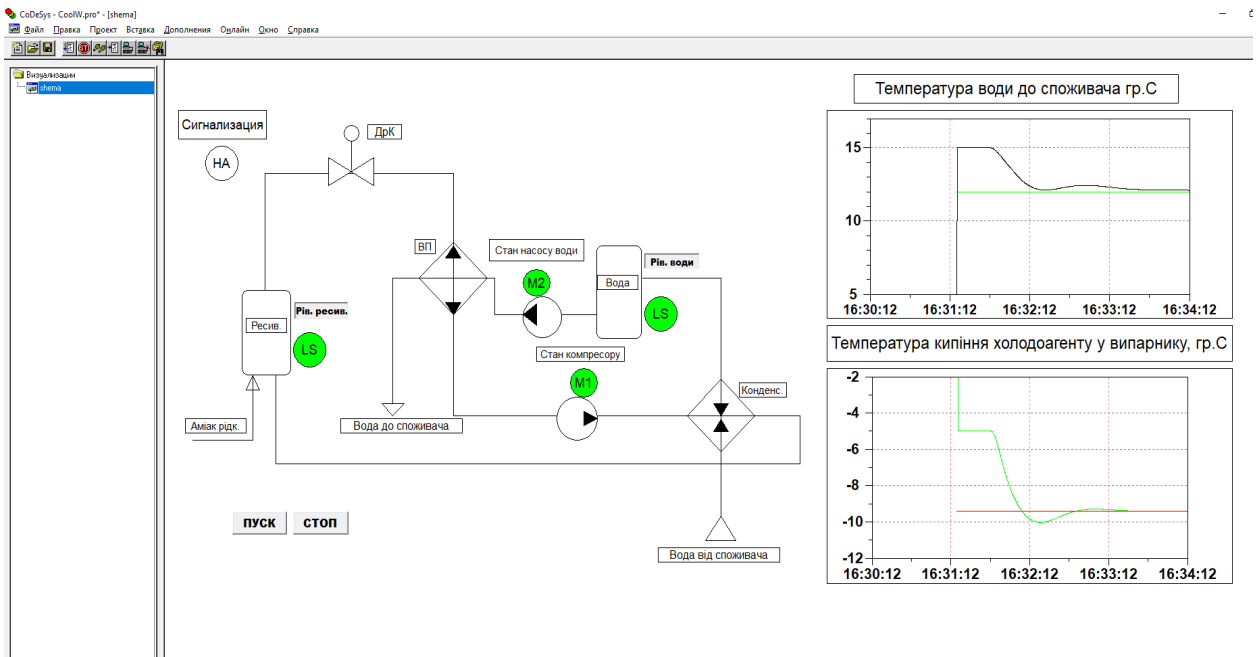


Рис. 6.22. Фрагмент графічного інтерфейсу оператора.

Результати тестування програми у режимі емуляції контролеру, що реалізує управління пуском та останом аміачної-холодильної установки підтверджують коректність реалізації програми моделі САР та програми логічного керування.

6.6. 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 2.3, в якому розробляється ПО контролера. Як приклад розглянемо реалізацію зв'язку тільки для контурів регулювання. В наявності контролера WAGO 750-881 не має, тому для тестування в якості цільової платформи оберемо 3S CoDeSys SP PLCWinNT V 2.4. та відзначимо необхідність завантаження символного файлу (рис. 6.23).

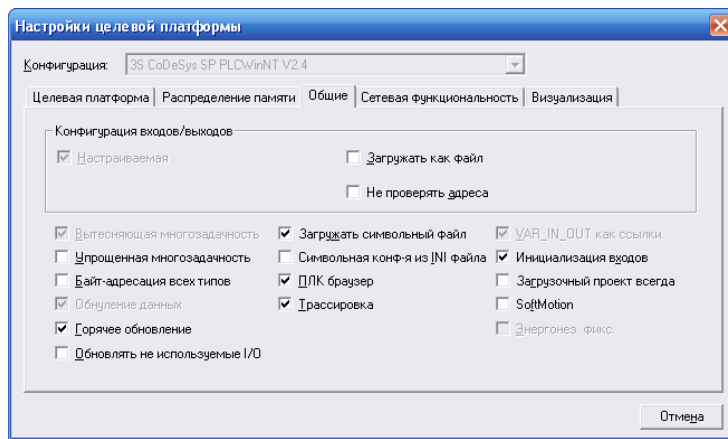


Рис. 6.23 – Загальний вигляд вікна вибору цільової платформи.

Проводимо конфігурацію OPC – серверу у пакеті CoDeSys 2.3, для обміну даними зі SCADAсистемою. Для цього вказуємо які змінні потрібно включити в мережевий обмін даними (рис.6.24) та налаштовуємо параметри мережевого зв'язку (рис 6.25). В мережевий обмін включаємо регульовані змінні та їхні задані значення.

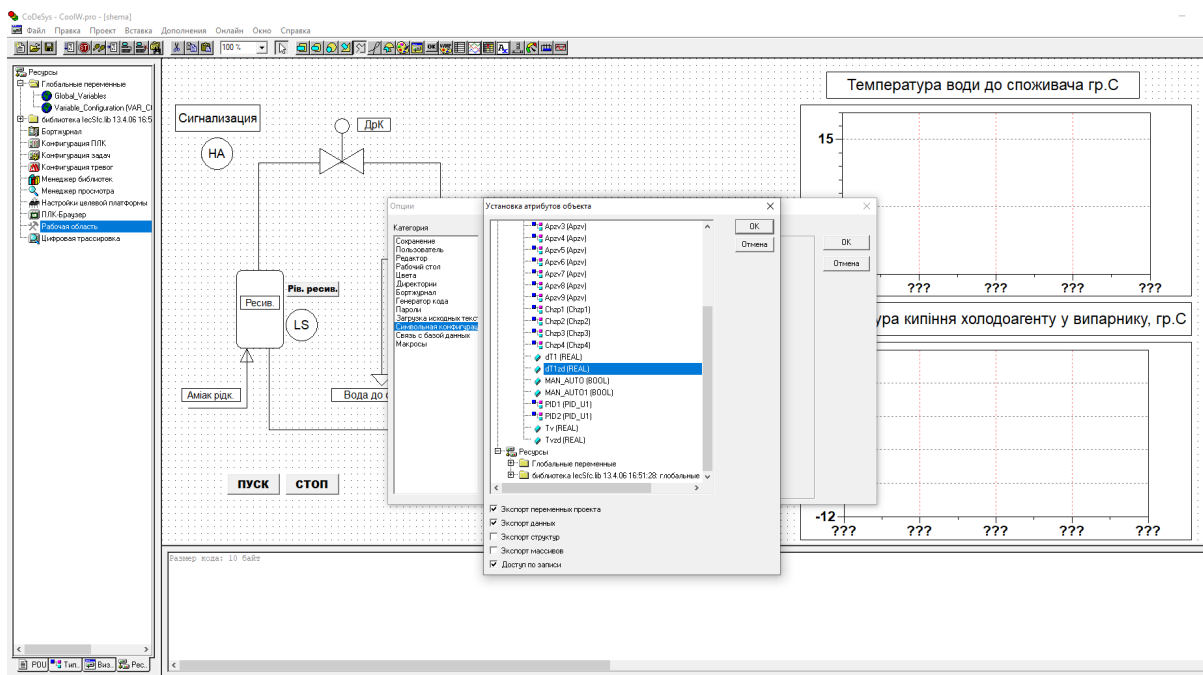


Рис. 6.24 – Фрагмент налаштування символічного файлу для обміну даними з використанням OPC - сервера.

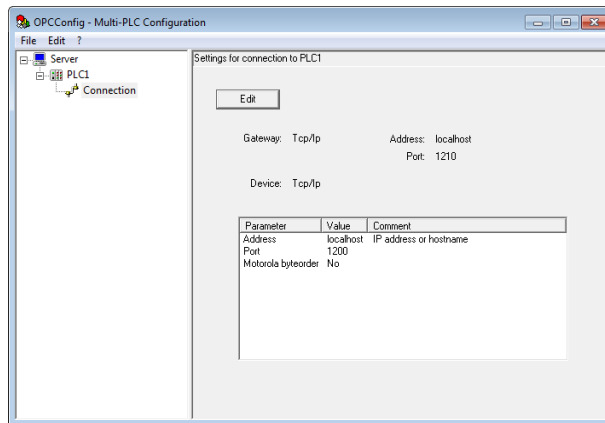


Рис. 6.25 – Вікно налаштування параметрів мережевого зв'язку для OPC - сервера.

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

У середовищі SCADA-системи WinCCFlexible реалізуємо вікно трендів для відображення зміни поточних та заданих значень регульованих змінних. Проводимо підключення до OPC сервера CoDeSys 2.3 в середовищі WinCCFlexible та формування нових тегів.

На рис. 6.26 та 6.27 представлені вікна налаштування мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys та створення тегів пов'язаних з OPC сервером в SCADA системі WinCCFlexible.

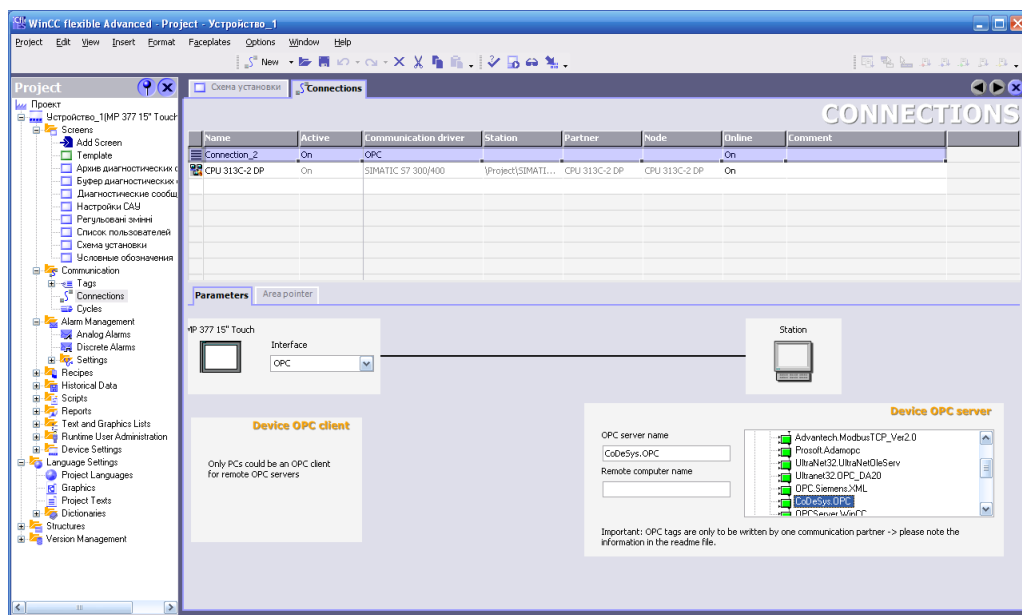


Рис. 6.26 – Вікно створення мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys в SCADA системі WinCCFlexible.

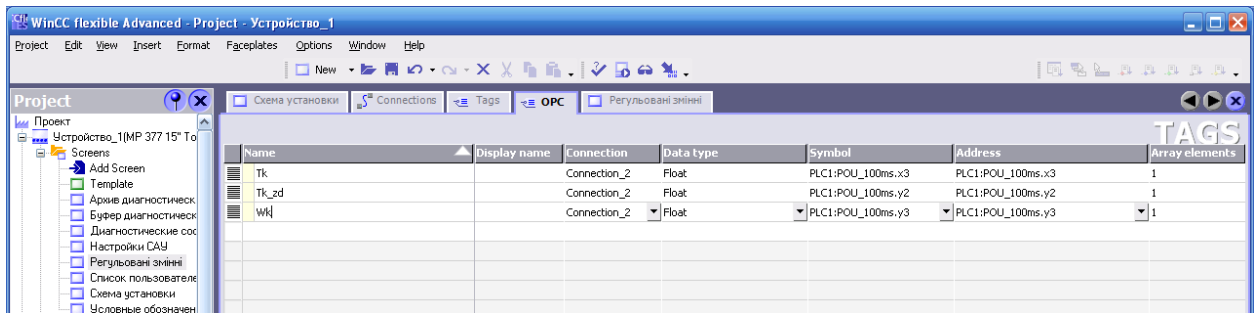


Рис. 6.27 – Вікно створення тегів пов'язаних з OPC сервером CoDeSys в SCADA системі WinCCFlexible.

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

6.7. Висновки за розділом

В даному розділі була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування аміачної-холодильної установки, 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.

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

7.1. Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Робоче місце оператора-технолога аміачної-холодильної установки повинна 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 і задавати режими .
2. Контролювати стан обладнання (включено, вимкнений, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів шафи.
- 3.Управлять запуском і зупинкою в ручному та автоматичному режимах управління.
- 4.Управлять окремим обладнанням в ручному режимі.
- 5.Контролювати виникнення порушень в роботі обладнання аміачної-холодильної і оперативно реагувати на них. Виходячи із изложенного выше, в проекте, для реализации АРМ оператора-технолога предусмотрены следующие экраны:

1) Схема установки. Основний екран із зображенням системи дозволяє контролювати хід процесу, керувати обладнанням , міняти режими, контролювати виникнення порушень в роботі .

2) Динаміка температури. Екрани, призначені для відображення графіків зміни зазначених параметрів.

3) Діагностичні повідомлення. Буфер діагностичних повідомлень. Архів діагностичних 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 усіх екранах входять в проект.

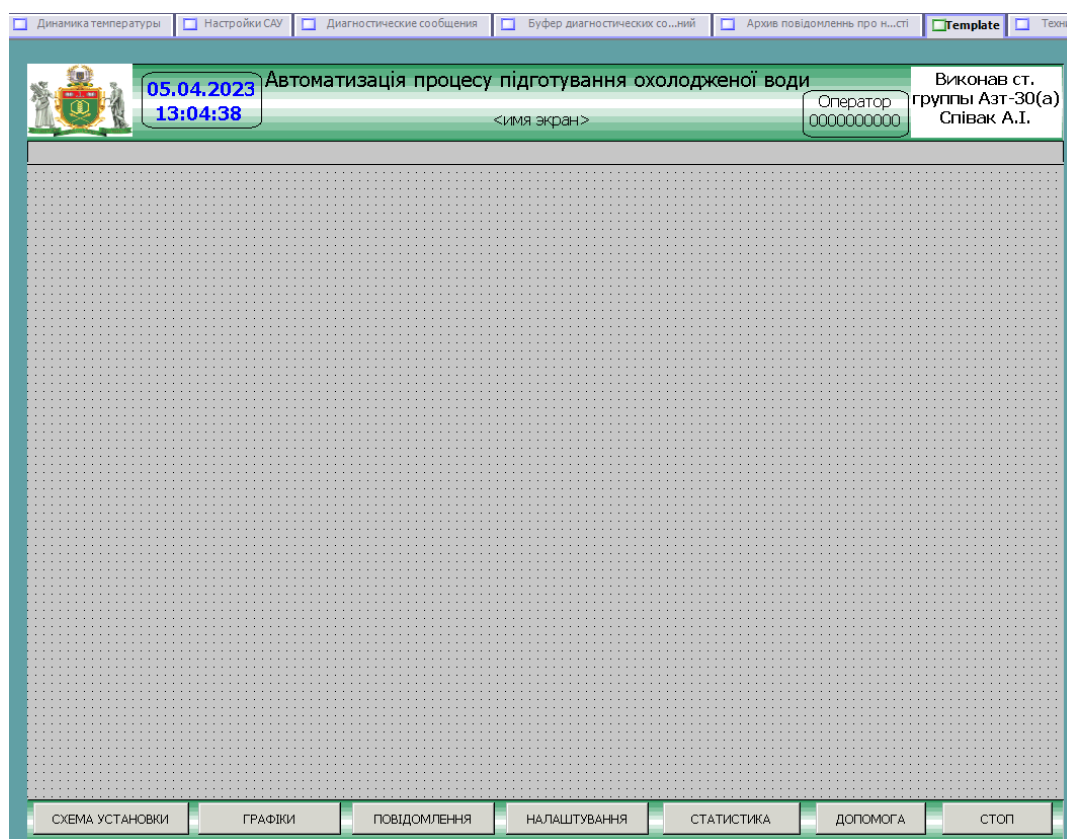
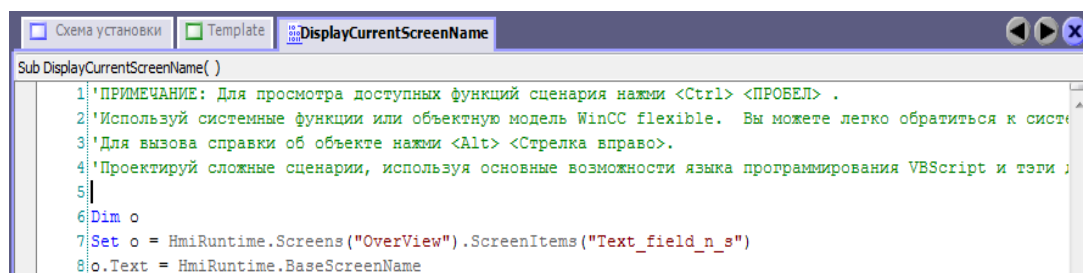


Рис.7.1. – Загальний вигляд шаблону вікон.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Тема екрану створений з використанням типових елементів графічного редактора системи WinCCflexible. Він включає логотипи академії та розробника проекту, загальна назва технологічного агрегату, 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).

Підпрограма викликається з системного події - «Change screen».



```
Sub DisplayCurrentScreenName( )
1 'ПРИМЕЧАНИЕ: Для просмотра доступных функций сценария нажми <Ctrl> <ПРОБЕЛ> .
2 'Используй системные функции или объектную модель WinCC flexible. Вы можете легко обратиться к систе
3 'Для вызова справки об объекте нажми <Alt> <Стрелка вправо>.
4 'Проектируй сложные сценарии, используя основные возможности языка программирования VBScript и теги
5
6 Dim o
7 Set o = HmiRuntime.Screens("OverView").ScreenItems("Text_field_n_s")
8 o.Text = HmiRuntime.BaseScreenName
```

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 (рис. 7.3).

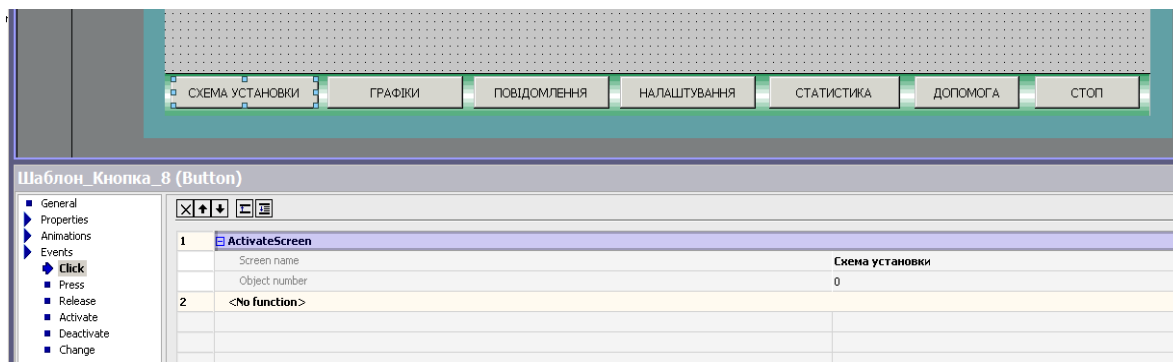


Рис.7.3 – Приклад використання системної функції «ActivateScreen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу.

У меню перемикання екранів також відображається ім'я поточного активного користувача. Ім'я користувача виводиться у текстовому полі з помістю функції «GetUserName», спричиненої по системному події «Change user» (рис.7.4). Під ім'ям користувача розташована невидима кнопка, натискання на яку викликає вікно реєстрації користувача.

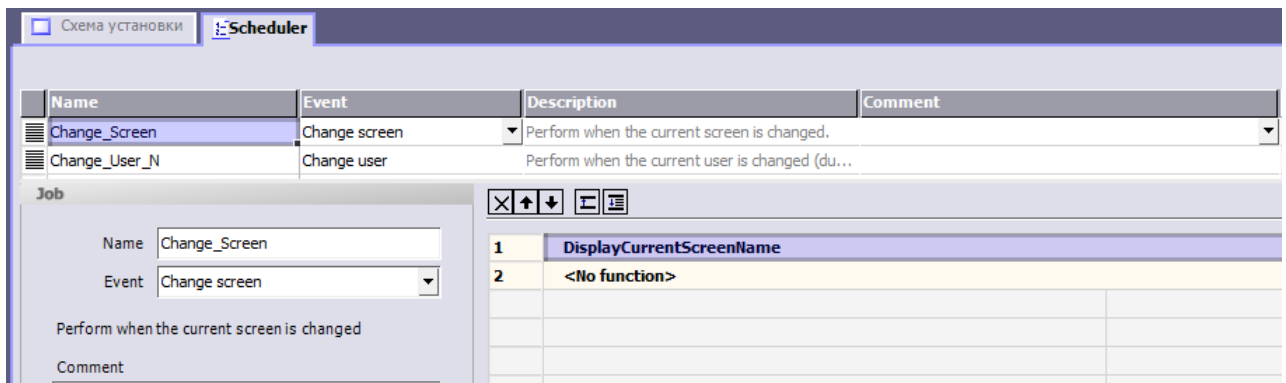


Рис. 7.4 – Вікно налаштування обробки системних подій в планувальнику завдань «Scheduler».

7.2.2. Схема установки.

Основне вікно «Схема установки» (рис. 7.5) містить схематичне зображення установки для охолодження води з нанесеними на нього елементами відображення і управління. Зображення установки створено в графічному редактор SCADA - системи WinCCFlexible з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням .

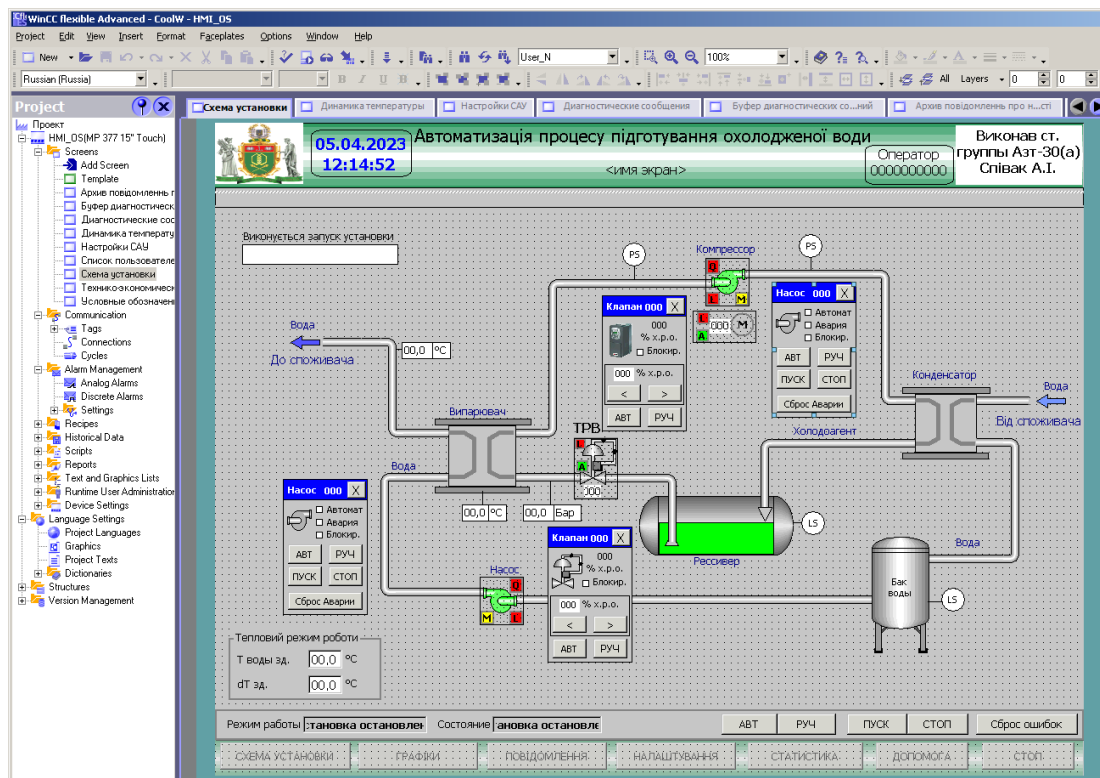


Рис. 7.5 – Загальний вигляд вікна «Схема установки».

Відображення поточних значень і введення заданих значень технологічних параметрів виконується з використанням елементів «IO Field», які пов'язують з відповідними тегам. Відображення дискретних сигналів з датчиків виконується за допомогою елементів «Circle» за рахунок зміни їх кольору. Також зміною кольору елементів схеми установки або появою стрілок вказують напрямок потоку енергоносіїв та води індиціюється включення насосів і відкриття клапанів.

Контроль стану двигунів і клапанів реалізований з використанням спеціально розроблених в редакторі «Faceplate» екранних форм (рис. 7.6).

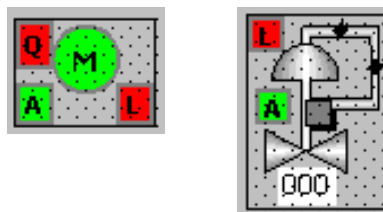


Рис. 7.6 – Екранні форми для контролю стану двигунів і клапанів.

Екранні форми підключаються до відповідних тегам в контролері і відображають стан і режим роботи обладнання.

Управляти двигунами і клапанами оператор може з використанням спеціальних екранних форм управління (рис. 7.7).

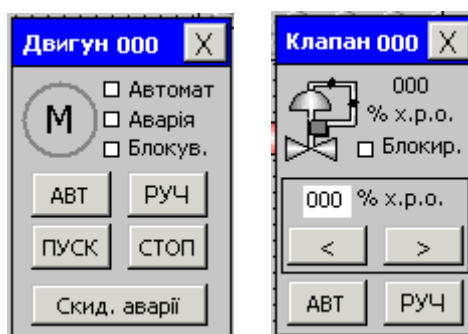


Рис. 7.7 – Екранні форми для управління двигунами і клапанами.

Екранні форми управління також прив'язуються до тегам контролера і дозволяють оператору міняти режим роботи (АВТ / РУЧ) клапана або двигуна, управляти їх станом, квітіровать помилки при їх виникненні. На малюнку 7.8 представлений приклад прив'язки тегів до екранної форми управління

двигуном.

Створені екранні форми згруповані в спеціальній бібліотеці і можуть використовуватися при створенні інших проектів.

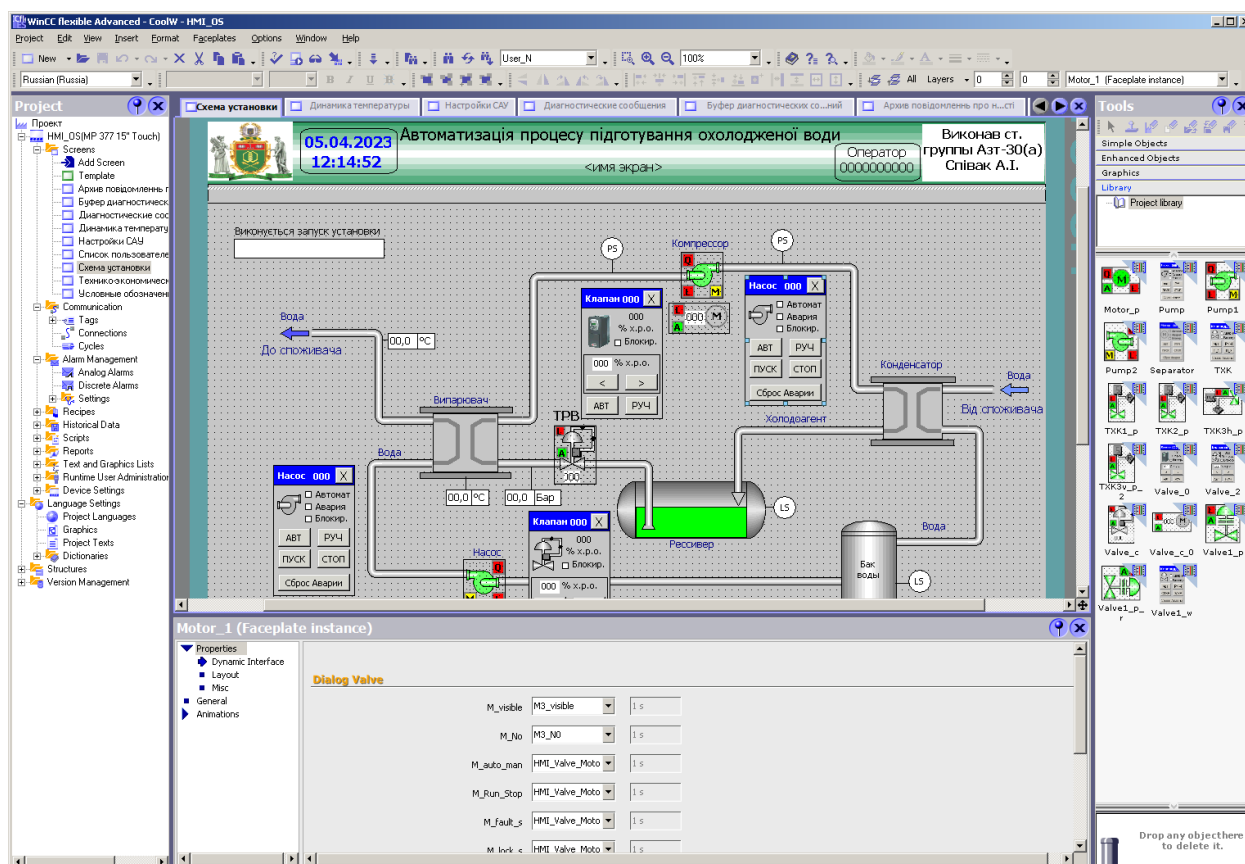


Рис. 7.8 – Фрагмент вікна прив'язки тегів до екранної форми управління двигуном.

На малюнку 7.9 представлений екран «Схема установки» при працюючій в автоматичному режимі без порушень режиму роботи і справному обладнанні. А на малюнку 7.10 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.

Детальну інформацію про екранних формах контролю стану двигунів або клапанів з розшифровкою їх станів оператор може отримати в екранній формі «Умовні позначення» (рис. 7.11).

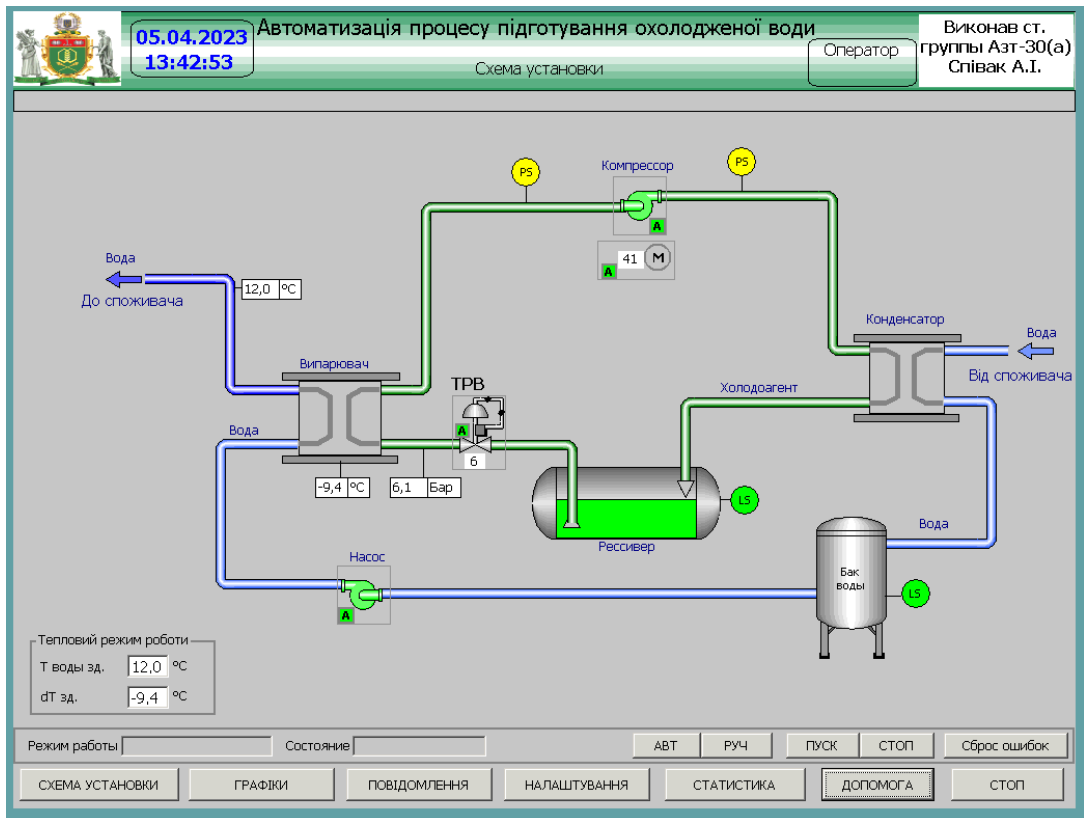


Рис. 7.9 – Загальний вигляд екрану «Схема установки» при нормальній роботі.

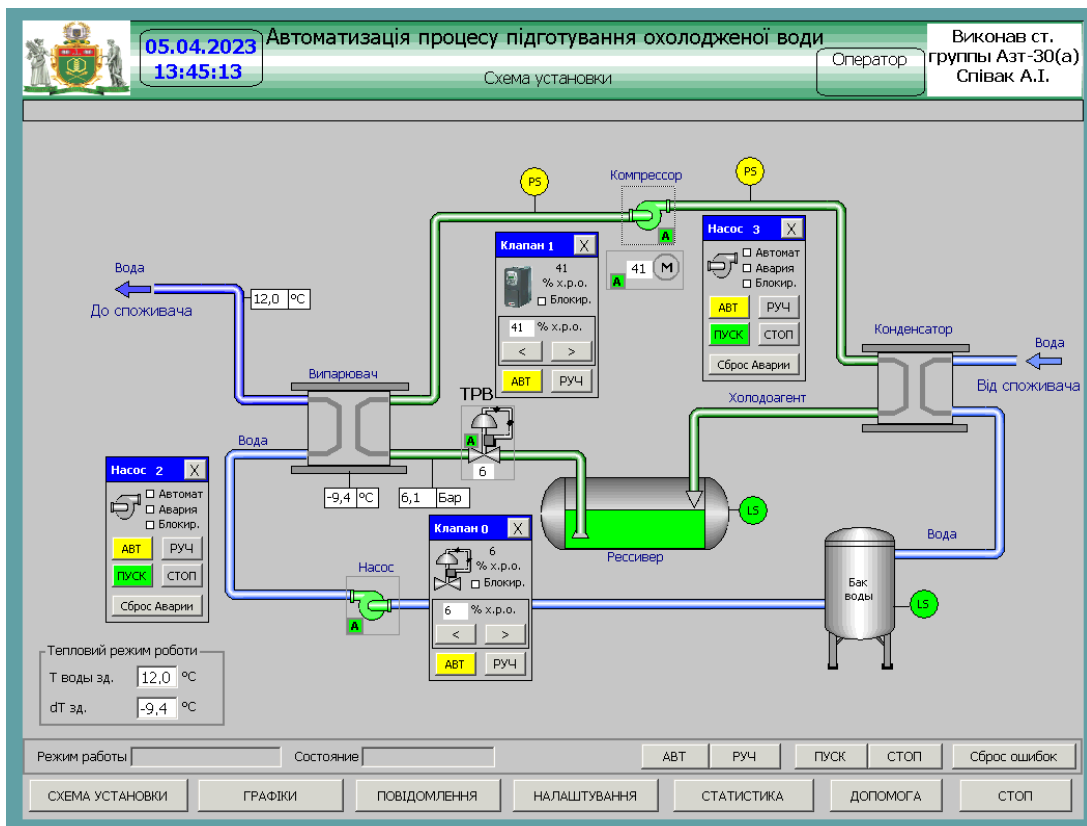


Рис. 7.10 – Загальний вигляд екрану «Схема установки» при відкритих екранних формах управління двигунами і клапанами.

7.2.3. Умовні позначення.

Екран «Умовні позначення» розроблений як вікна допомоги оператору. На цьому екрані розшифровані умовні позначення, кольору і літерні позначення, які використовуються в основному екрані «Схема установки».

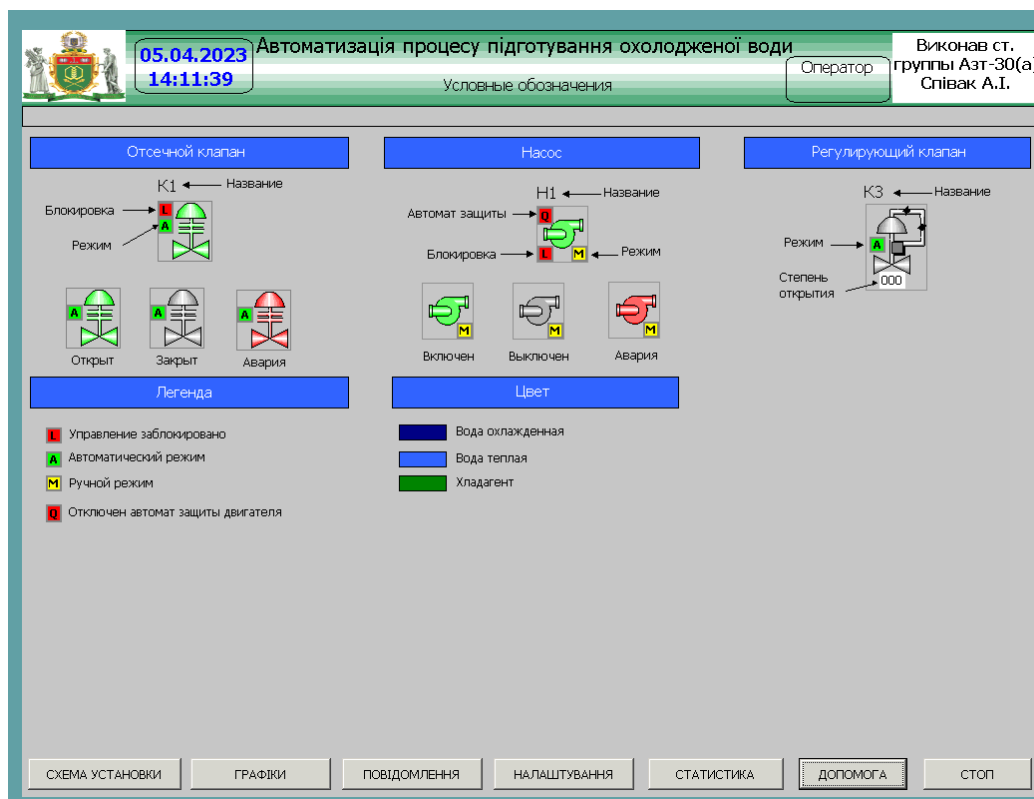


Рис.7.11 – Загальний вигляд екрану «Умовні позначення».

Вивчивши умовні позначення, оператор зможе однозначно інтерпретувати поточний стан двигуна або клапана за його екранній формі. Вивчення цього екрани особливо актуально для нових, тільки приступили до роботи, операторів.

7.2.4. Графіки зміни технологічних параметрів.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проекті передбачені вікна побудови графіків зміни тиску після випарника, температури води. Для побудови графіків використовується елемент «Trend View» із стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCCFlexible. На малюнку

7.12 представлений приклад вікна реєстрації параметрів, а на малюнку 7.13 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегам контролера.

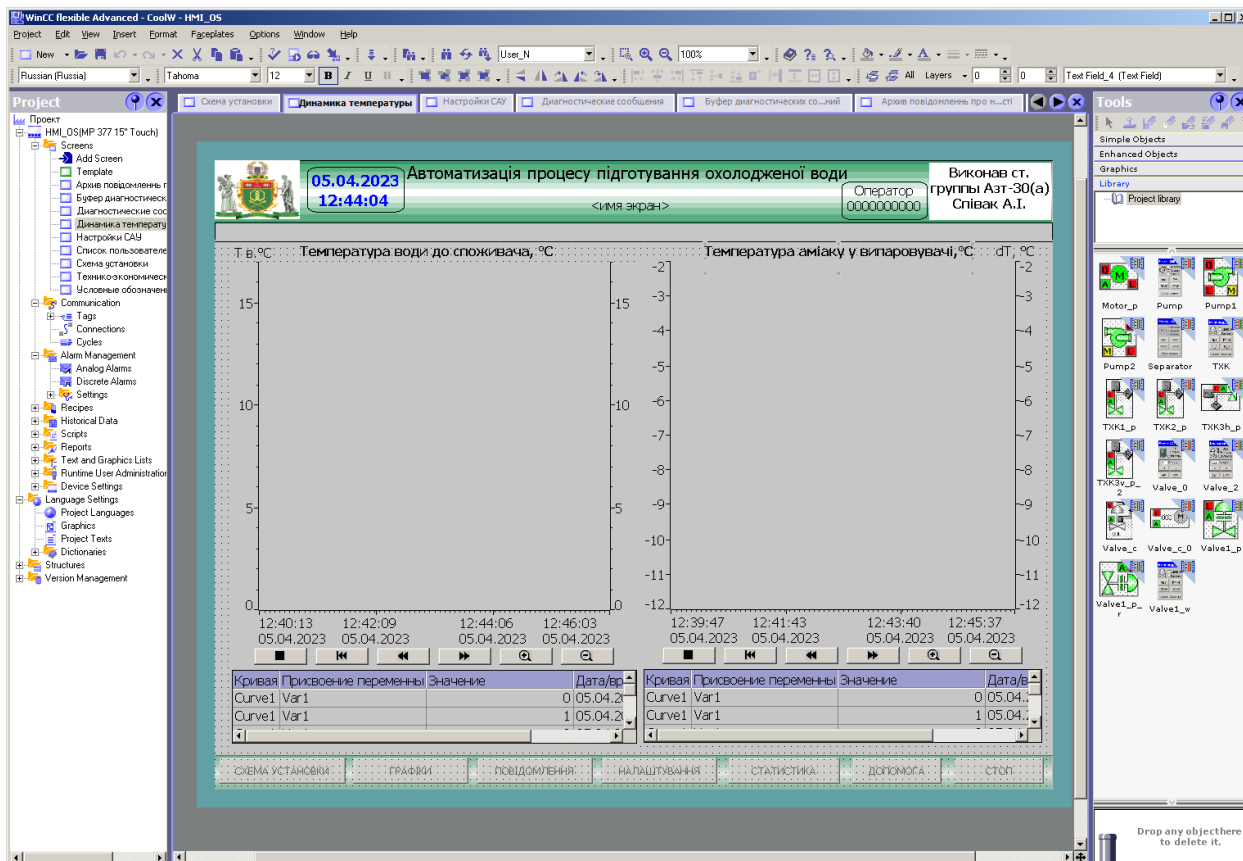


Рис.7.12 – Екран реєстрації температури.

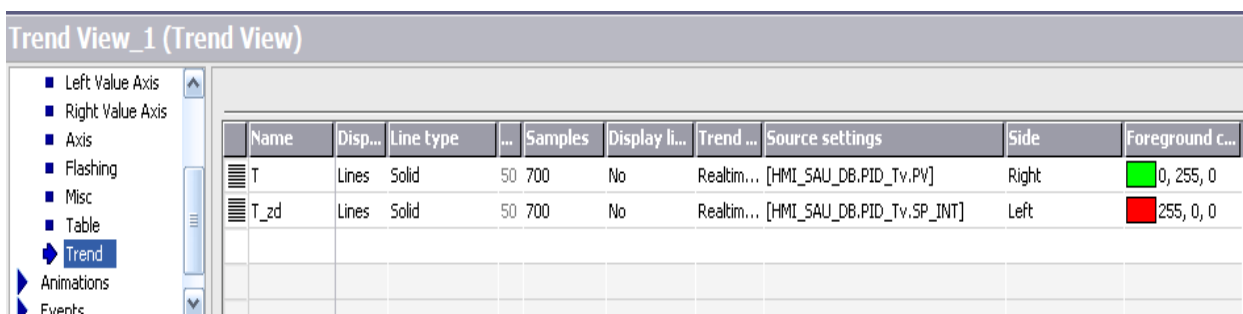


Рис.7.13 – Приклад налаштування елемента «Trend View».

На малюнку 7.14 представлені графіки зміни параметрів під час її пуску.

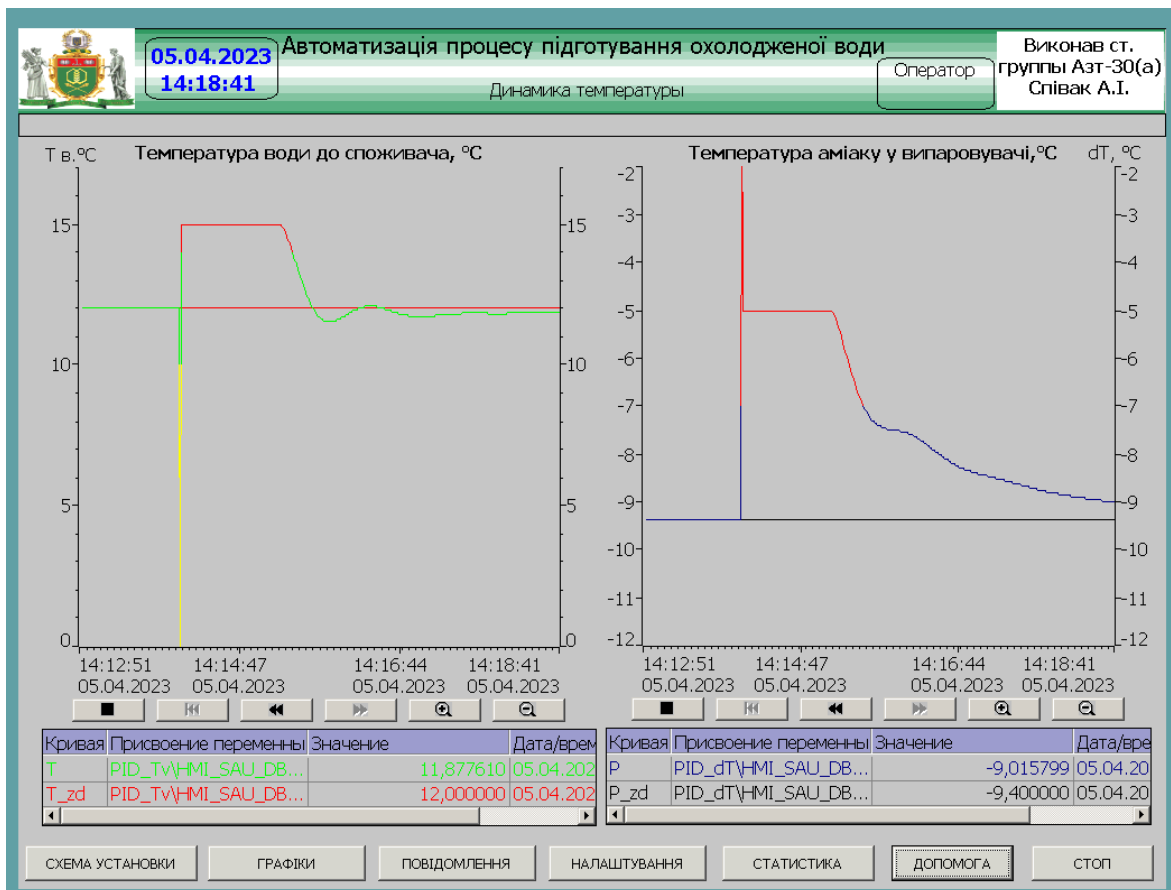


Рис. 7.14 – Графік зміни температури води та аміаку.

7.2.5. Діагностичні повідомлення.

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і події виникають з обладнанням 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 7.15 - 7.17.

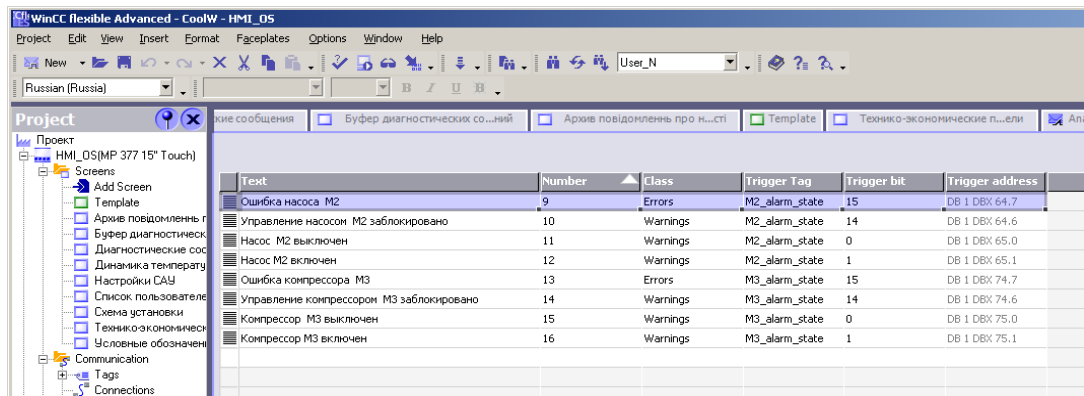


Рис.7.15 – Фрагмент вікна редактора дискретних повідомлень.

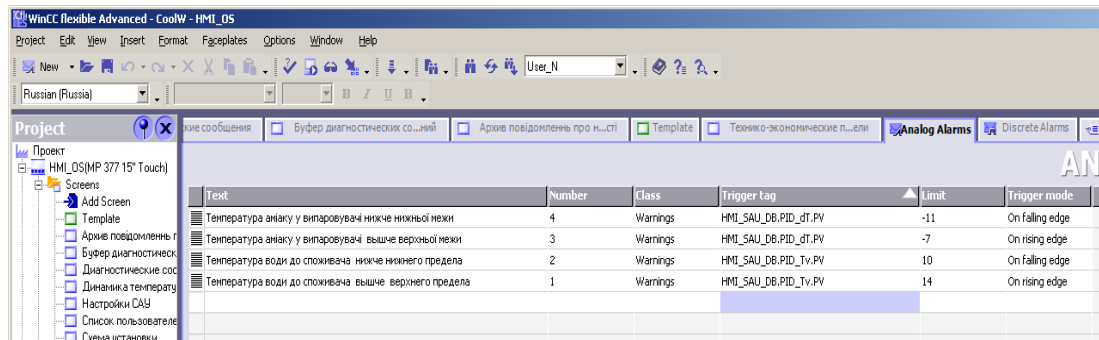


Рис.7.16 – Фрагмент вікна редактора аналогових повідомлень.

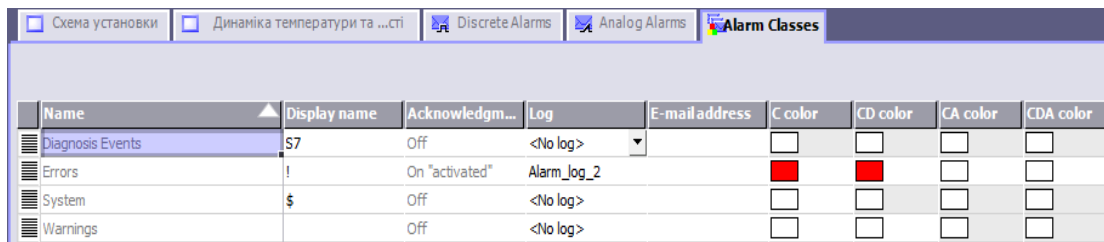


Рис. 7.17 – Загальний вигляд вікна класів повідомлень.

Висновок повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень. При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів. На малюнку 7.18 представлений приклад екрану з елементами «Alarm View» налаштованими на висновок поточних активних робочих повідомлень і повідомлень про несправності, а на малюнку 7.19 представлено вікно властивостей елемента «Alarm View» налаштованого на висновок поточних активних повідомлень про несправності, що відносяться до класу «Errors».

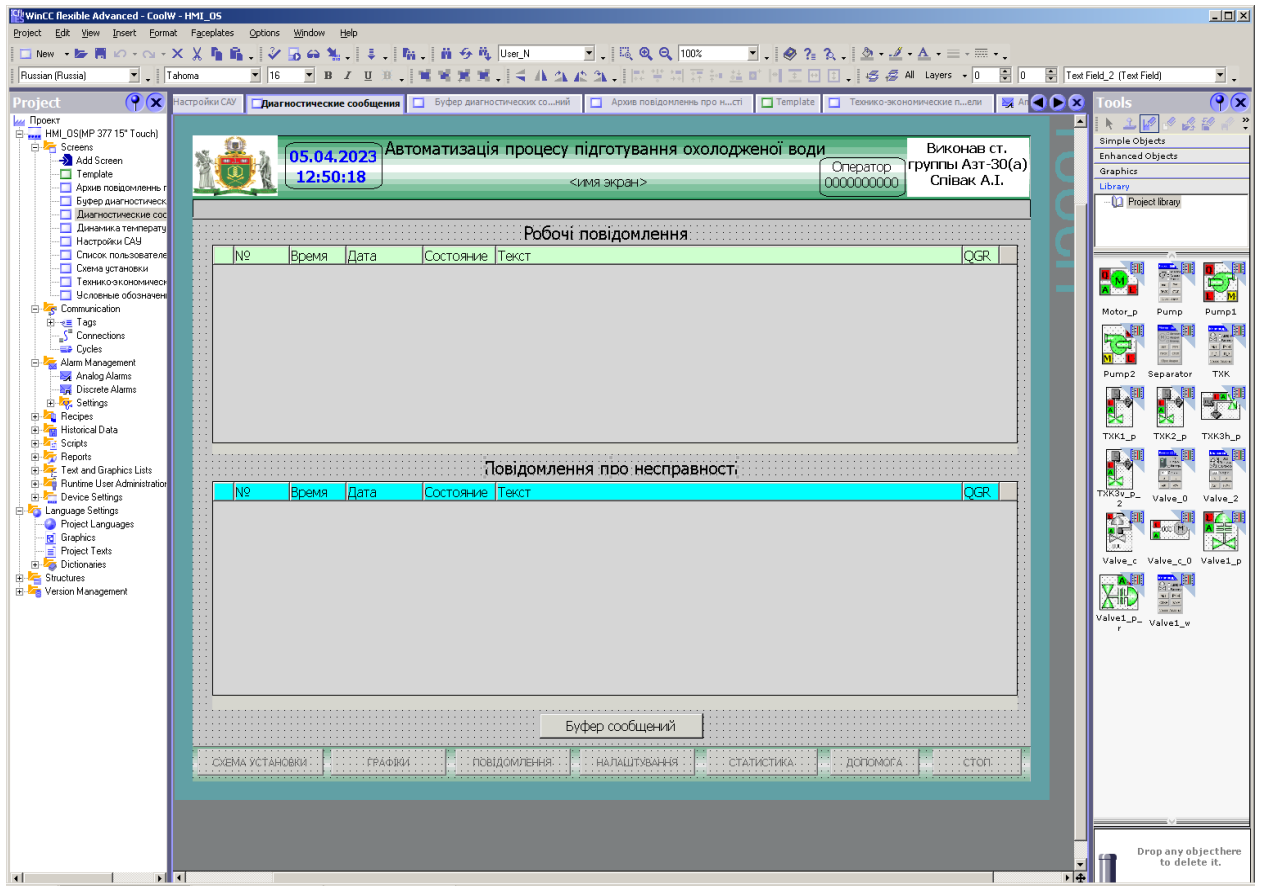


Рис.7.18 – Загальний вигляд екрану виведення поточних активних діагностичних повідомлень.

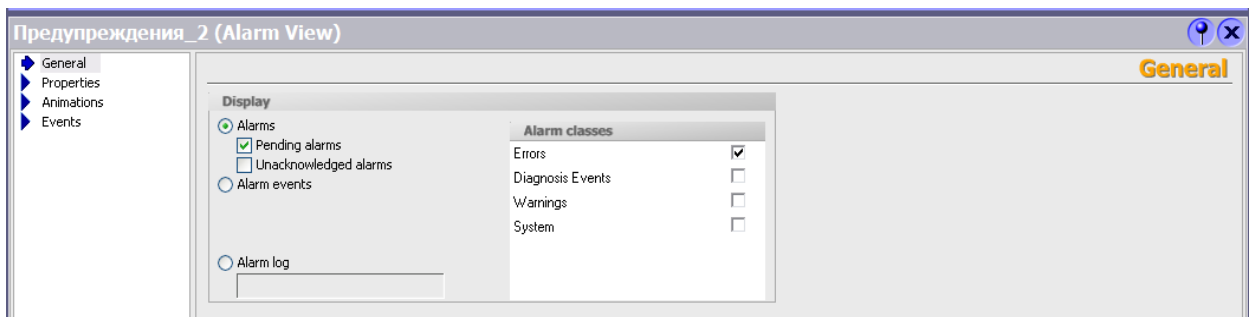


Рис. 7.19 – Загальний вигляд вікна налаштування властивостей елемента виведення повідомлень «Alarm View».

Приклади екранів, призначених для виведення буфера повідомлень і вмісту архіву повідомлень, представлені на малюнках 7.20, 7.21.

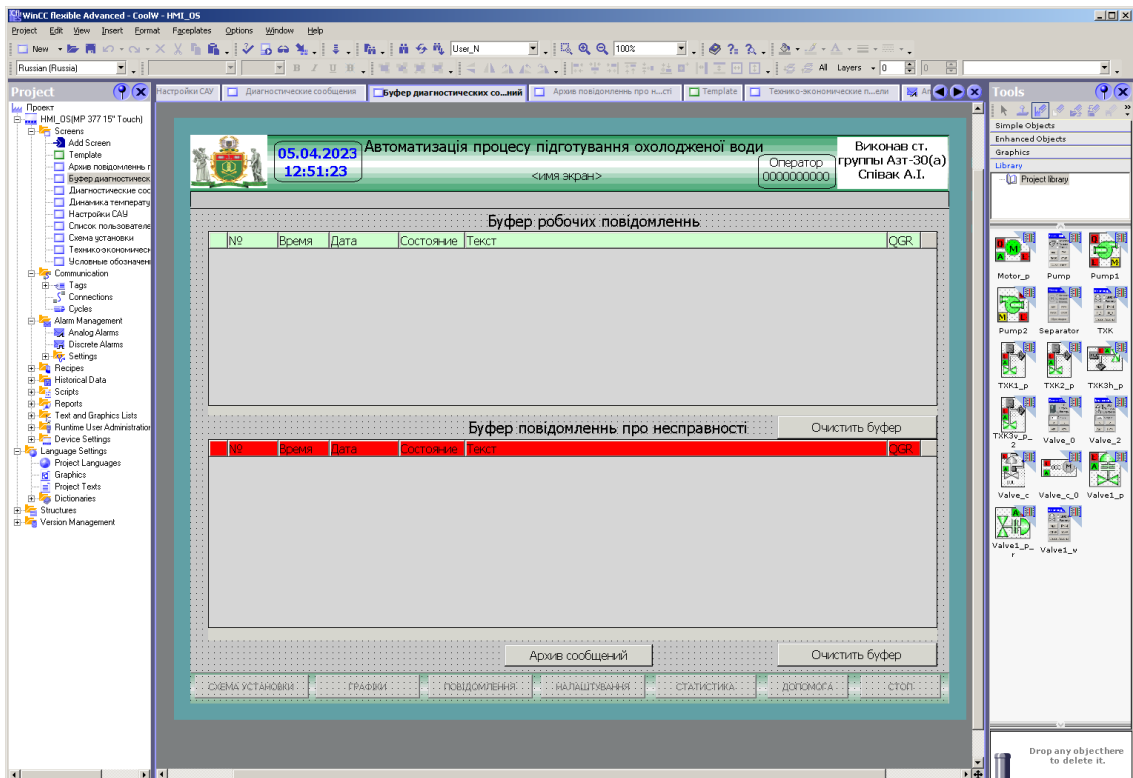


Рис. 7.20 – Загальний вигляд вікна відображення вмісту буфера діагностичних повідомлень.

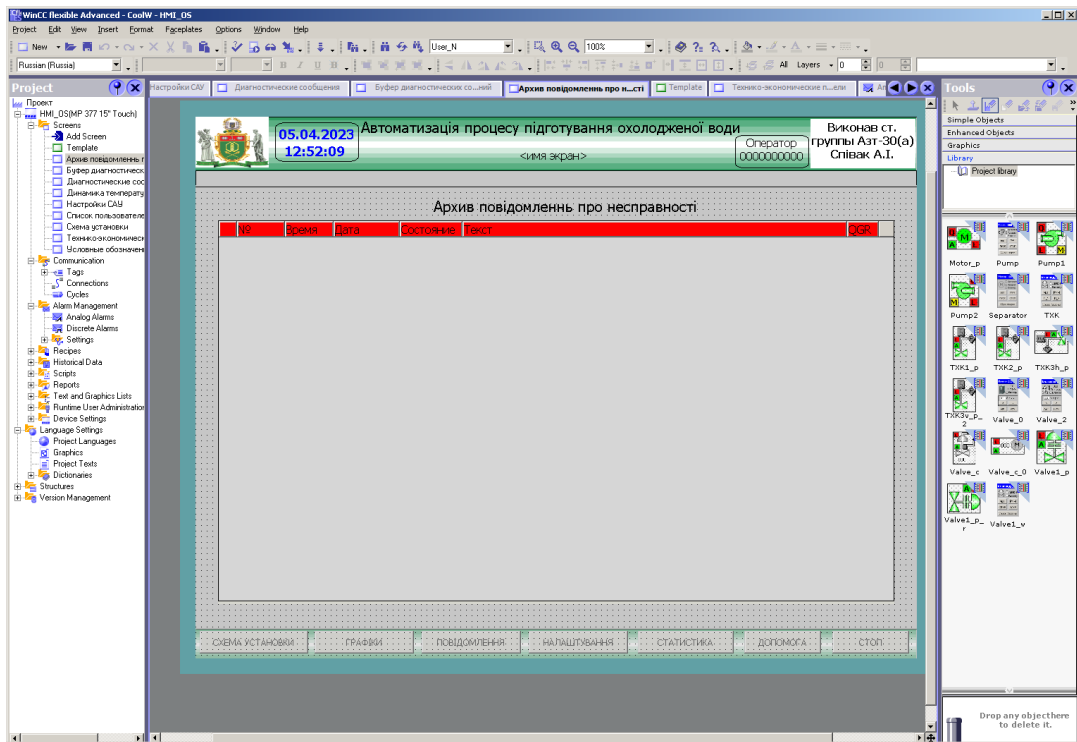


Рис.7.21 – Приклад налаштування елемента відображення вмісту архіву з повідомленнями про несправності.

На малюнках 7.22 – 7.24 представлені екрани, що демонструють роботу системи повідомлень, що визначаються користувачем. Робота з системними повідомленнями буде розглянута в наступному розділі.

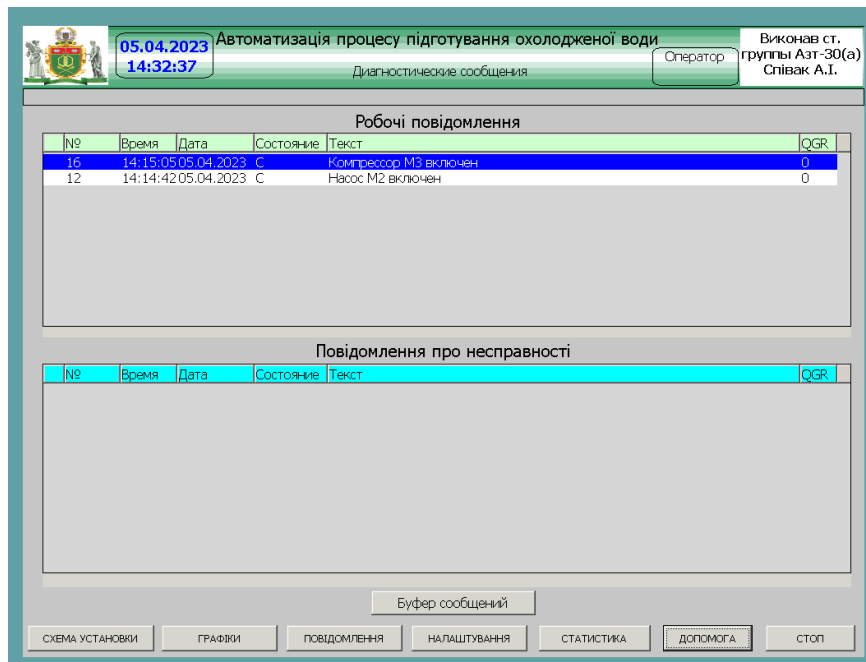


Рис. 7.22 – Загальний вигляд екрану з поточними повідомленнями.

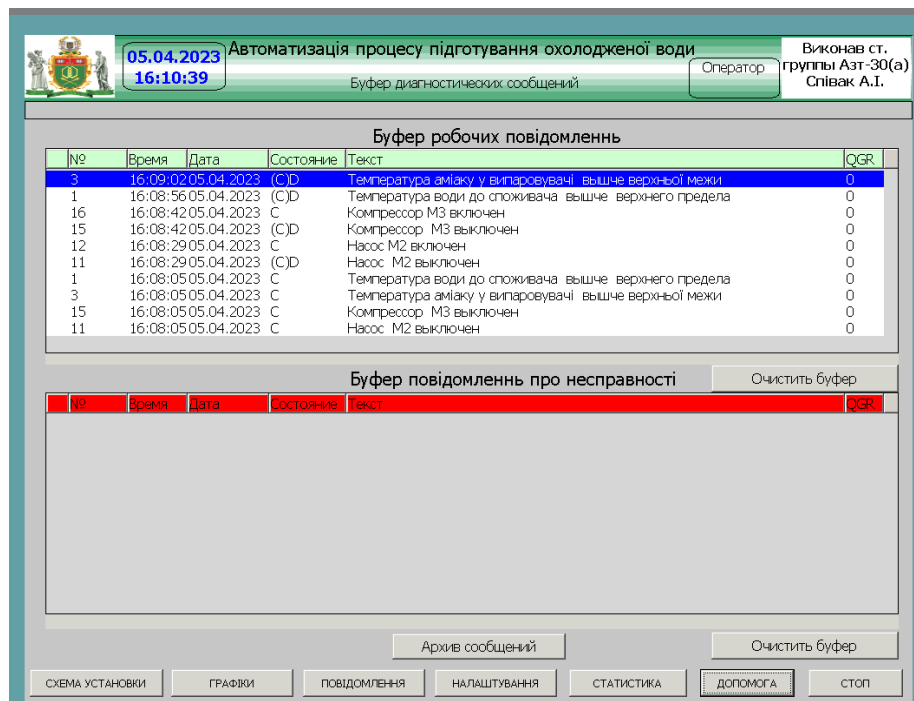


Рис. 7.23 – Загальний вигляд екрану з відображенням буфера повідомлень.

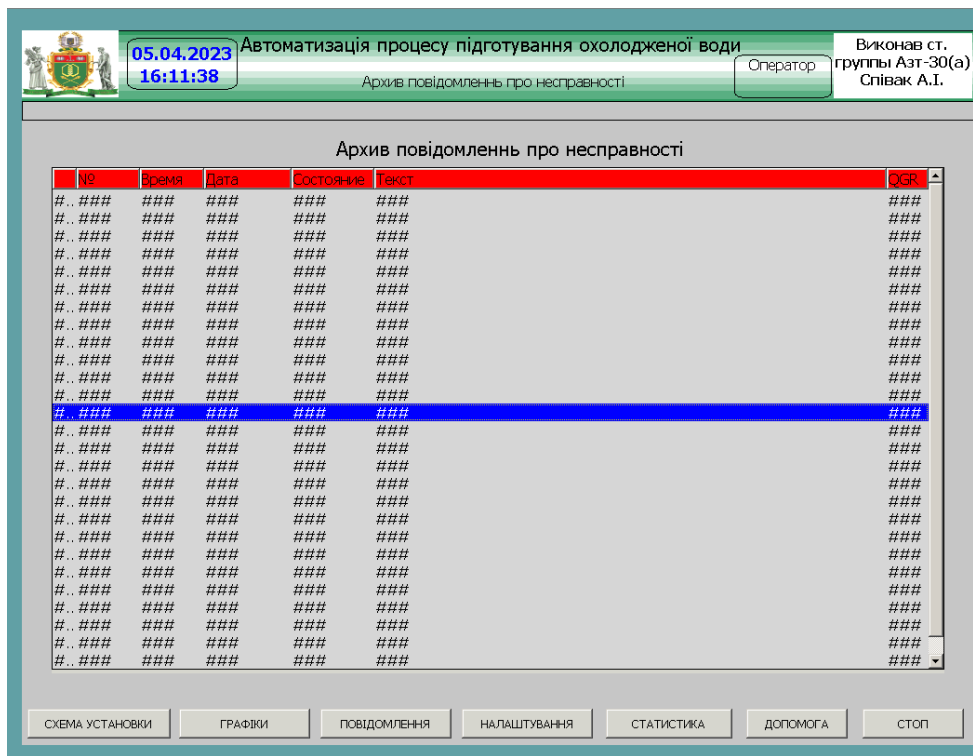


Рис. 7.24 – Загальний вигляд екрану з відображенням архіву повідомлень про несправності.

7.3. Конкретизація функцій та структури екранів АРМ наладчика САК.

Робоче місце наладчика системи автоматичного управління повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують можливість виконання його професійних обов'язків.

Виходячи з цього, екрани автоматизованого робочого місця наладчика повинні надавати можливість виконання наступних завдань:

1. Управляти контурами регулювання:

- Відображати поточні та задані значення регульованих перемінних;
- Відображати поточні значення керуючих впливів;
- Міняти значення настроювальних параметрів регуляторів;
- Міняти задані значення регульованих змінних;
- Перемикати режими роботи регуляторів АВТ / РУЧ і формувати управляючі дії в ручному режимі.

2. Задавати значення затримок часу для таймерів, що використовуються в алгоритмах пуску і зупину.
3. Задавати значення затримок часу для спрацьовування датчиків положення клапанів.
4. Задавати значення затримок часу для спрацьовування датчиків зворотного зв'язку стану двигунів.
5. Задавати граничні значення технологічних параметрів.
6. Виконувати адміністрування користувачів системи.
7. Виконувати аналіз системних повідомлень.

Исходя из изложенного выше, в проекте, для реализации АРМ наладчика предусмотрены следующие экраны:

1. Налаштування САУ.
2. Список користувачів.

Програмна реалізація цих екранів у SCADA - системі WinCCFlexible представлена в наступному розділі.

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК.

7.4.1. Налаштування САУ.

Для виконання завдань налаштування контурів регулювання, тайм аутів на спрацьовування датчиків положення, тимчасових затримок для алгоритмів керування пуском і зупинкою, граничних значень технологічних параметрів у проекті передбачений екран зміни налаштувань САК (рис.7.25).

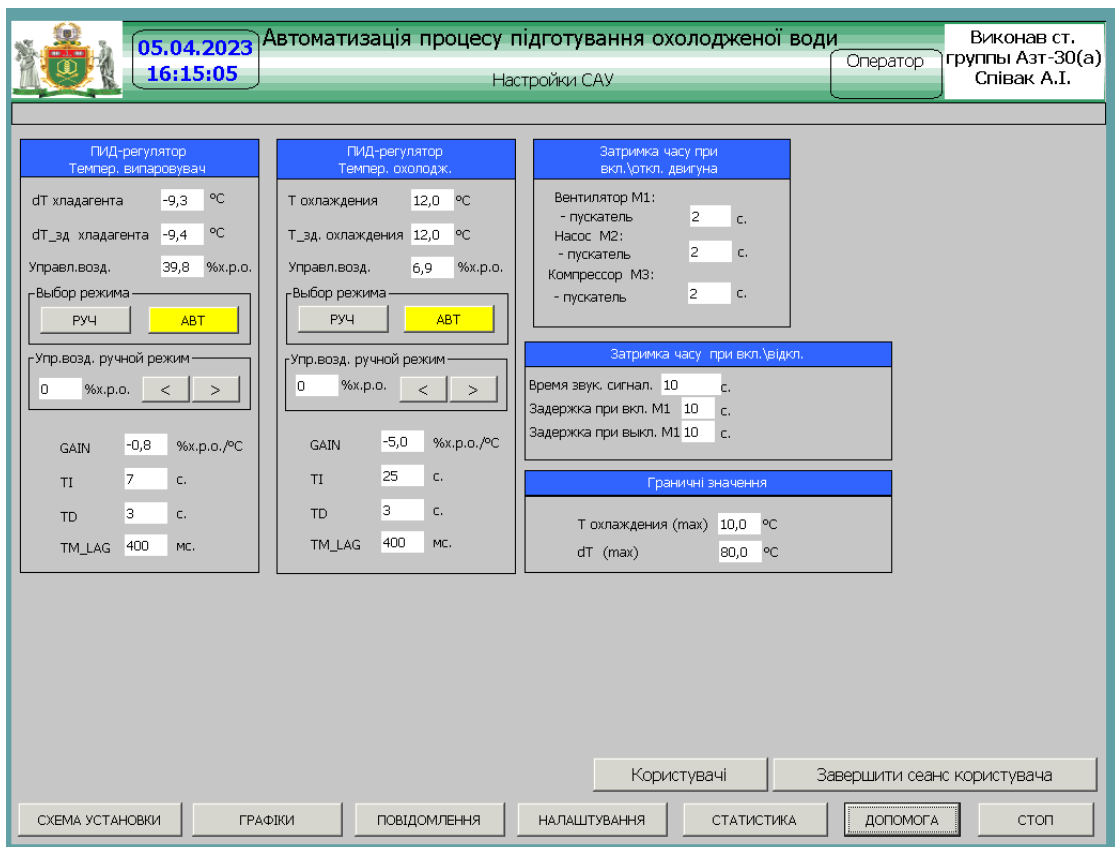


Рис.7.25 – Загальний вигляд екрану «Налаштування САК».

Екран реалізований з використанням елементів «IO Field», «Button», «Text Field» стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCCFlexible. Всі кнопки і поля введення / виведення прив'язані безпосередньо до тегам в контролері і дозволяють змінювати їх значення.

2.2.2. Список користувачів.

Екран «Список користувачів» (рис. 2.2) надає настройщику можливість виконувати роботу зі списком користувачів. Міняти імена, паролі, групи існуючих користувачів. Додавати і видаляти користувачів системи. Реалізовано екран на основі елемента «User View».

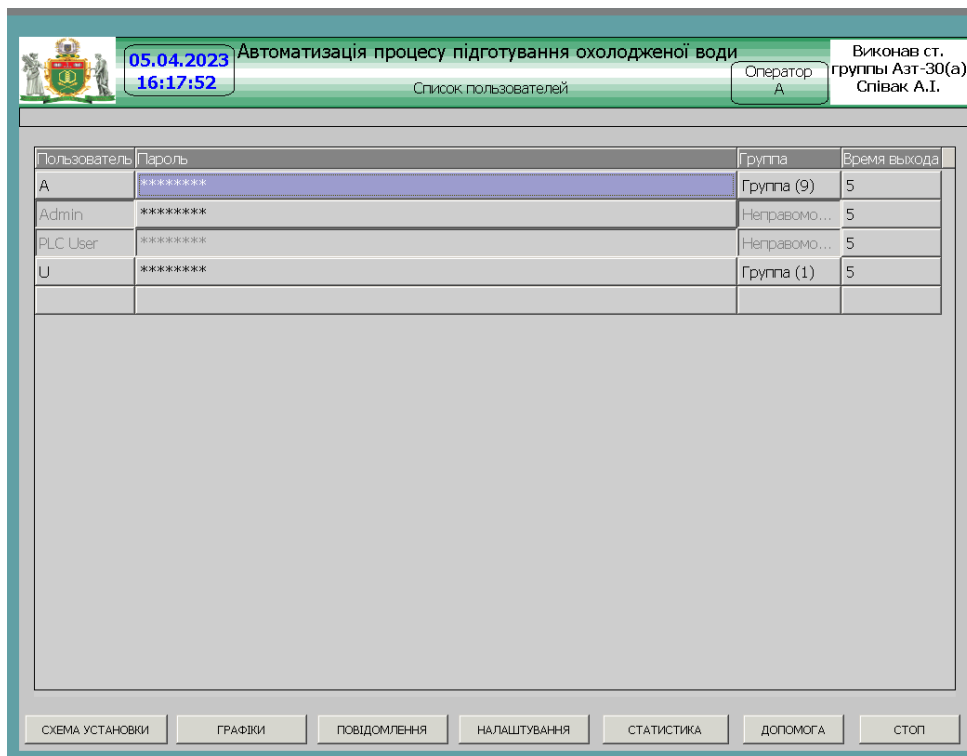


Рис. 7.26 – Загальний вигляд екрану «Список користувачів» при роботі програми.

7.5. Висновок за розділом

При виконанні даного розділу в середовищі SCADA-системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САУ аміачної-холодильної установки. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи установки, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням, проводити настроювання і налагодження САР. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми

РОЗДІЛ 8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРОДУКЦІЇ В АМІАЧНО-ХОЛОДИЛЬНІЙ УСТАНОВЦІ, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

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

Основними характеристиками процесу охолодження продукції є температура води на виході з випаровувача, та тиск газоподібного аміаку на вході до компресора. Підтримання тиску забезпечує компресор, котрий знаходиться в контурі холодильної машини.

Регламентні значення заданої регламентованої змінної та інших, що не задані (в КЗ), наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1– Перелік основних параметрів ведення технологічного процесу

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця	Номинальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
						Величина	Величина
1	Температура води до споживача	$t_{вп}$	°C	12	0,4	2	150 с
2	Температура аміаку у випаровувачі	$t_{ам.}$	°C	-9,4	0,4	1,7	100 с

В межах виконання цього розділу роботи необхідно розробити комплект графічної і текстової документації.

Комплект включає такі графічні документи:

- схему автоматизації;
- принципову електричну схему пуску двигуна через частотний перетворювач;
- принципову електричну прямого пуску електродвигуна з переходом зірка-трикутник;

Також комплект включає текстові документи:

- попередні переліки обладнання до всіх графічних документів;
- пояснювальну записку до розроблених графічних матеріалів.

Особливістю принципової електричної схеми контролю й управління, є те, що вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера. Щит оператора встановлюється поблизу від установки, у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішніх площинах щита оператора встановлюють електричні прилади, апаратуру, трансформатори, блоки живлення, а на фасадній панелі прилади, що показують, кнопкові станції, ключі вибору режиму й задатчики.

Контролер, що реалізує основні функції контролю та регулювання лінії WAGO 750-881 фірми "WAGO", обраний з програмованих моделей, оснащений інтерфейсами Ethernet Modbus TCP

Всі модулі вводу/виводу серії WAGO 750 та CPU монтуються на профільній шині Siemens 122мм, як окрема конструкція в щиті оператора. Вони використовуються для підтримки регламентних значень, передачі даних на робочу станцію на базі IBM PC сумісного комп'ютера, встановленого також в ОП. Контролери даної фірми серії WAGO 750-881 призначені для організації взаємодії між обчислювальною системою (ПК), що реалізують функції відображення та архівації інформації й датчиками безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- приймання і дешифрацію команд по каналах Ethernet Modbus TCP;
- введення й нормалізацію аналогових сигналів (струм, напруга – АВх1-4);
- опитування стану дискретних входів та виводи дискретних сигналів, через релейні виходи (ДВих1-8);
- фільтрацію аналогових і дискретних вхідних сигналів;

Зв'язок контролера з комп'ютером здійснюється за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Для керування установкою застосовується IBM PC сумісний комп'ютер на якому встановлена SCADA-система, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів. Також є можливість передачі даних на комп'ютери, що встановлені за межами ОП, за допомогою локальної мережі.

8.2 Опис схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу (додаток А) є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 (заміна ГОСТ 21.404 – 85) "Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах". Особливістю розробленої схеми є те, що всі функції системи розподілені між контролерами (МПК) та комп'ютером (ПК). Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує комплект контролерів сумісно з ПК, розташованим в операторському пункті. Всі використані датчики обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА), вихідні аналогові сигнали також 4...20 мА.

Розглянемо перелік контурів контролю й керування наведений на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1,2- Керування та контроль стану приводів насос компресора;
- 3,4,5- Контроль та стабілізація температури води до споживача, ступінь відкриття ВМ та стан контура;
- 6,7- Контроль та стабілізація температурі випаровувача;
- 8- Контроль тиску хладагенту після випарювача;
- 9,10,11,12- Контроль граничних рівнів та тисків;
- 13,14- Контроль температури;
- 15- Контроль роздрідженняпаратів;

16- Витрати води.

В контурі реалізована функція автоматичного пуску та останову установки, також реалізована функція передпускової сигналізації. В контурі реалізована функція перетворення інтерфейсних зв'язків між ПК, МПК, частотними перетворювачами (ЧП).

У контурі керування приводами (1,2) встановлені на щиті ключі вибору режиму керування ("автомат-дистанція"), кнопки "ПУСК", "СТОП", а також світлосигнальна арматура (світлодіод), що показує стан роботи двигуна; по місцю встановлений пристрій відключення двигуна (кнопка "СТОП").

У контурах (3-5) управління виконавчими механізмами аналогової дії та ЧП, для кожного контуру на щиті встановлені багатофункціональні прилади типу БРУ-7 з КБЗ-24-19. На лицевій панелі корпусу БРУ-7 можна побачити та змінити задане значення параметру (0 – 100%), переключити режим управління контуру (ручне – автоматичне), побачити на цифровому індикаторі поточне значення параметру та сигналізацію його відхилень.

Крім того, передбачено інтерфейсний зв'язок ЧП через перетворювач з ПК.

Контур 11 працює аналогічно контуру 9. Також контур 11 включає перетворювач частоти (ЧП) (10в), яким здійснено живлення електропривода вентилятора (М4), що дозволяє змінювати частоту його обертів. В даному контурі вихідний сигнал з БРУ-7 подається на перетворювач частоти (10в), за рахунок чого здійснюється регулювання (управління) температури виноматеріалу на виході з конденсатора. Крім того, передбачено інтерфейсний зв'язок ЧП через перетворювач 15 з ПК.

Контур 9-12 забезпечує сигналізацію робочого рівня за допомогою датчика ПДУ-И з дискретним сигналом, що подаються на МПК.

У додатку А (табл. А) наведений попередній перелік приладів та засобів, що використані в схемі автоматизації, а сама схема наведена там же рис. А.

8.3 Опис принципової електричної схеми

На принциповій електричній схемі пуска двигуна з переходом зірка-трикутник (додаток Б) показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені. Ця схема дає уявлення яким чином підключений двигун насосу, та яким чином виконується перехід між обмотками. Схема складена відповідно до вимог Держстандартів (ГОСТ) :

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

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

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

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

Після натискання кнопки «Пуск» (SB2), сигнал йде до реле часу, та через нормально-відкритий контакт (KL1) та (KM3) надходить до контактору (KM2) який замикається та запускає двигун через «трикутник».

Через певний час спрацьовує нормально-замкнутий контакт (KT1), який замикає нормально-відкритий контакт (KL1), і розмикає нормально-замкнутий контакт (KL1). Замикається контактор (KM3), і двигун продовжує свою роботу у режимі «Зірка»

8.4 Розробка принципових електричних схем живлення

Схема електрична принципова живлення (додаток В) розробляється з урахуванням необхідності безперебійного живлення найбільш відповідальних споживачів системи автоматизації електроенергією, зокрема частотного перетворювача, контролера МПК й ПК. Крім того, для живлення ПК, МПК, через джерело безперебійного живлення, доцільно виконати індивідуальну лінію заземлення. Це є вкрай важливим і відповідальним, тому що від цього буде залежати надійна робота програмного забезпечення системи контролю й

управління, що реалізована на них. На схемі представлено електроживлення частотного перетворювача насосу аміаку.

Перетворювач частоти для електродвигуна - це пристрій, який використовується для управління швидкістю і крутним моментом електродвигуна шляхом регулювання частоти живлення, що подається на двигун. Нижче наведено детальне пояснення того, як працює перетворювач частоти для електродвигуна:

Перетворювач частоти складається з частотно-регульованого приводу (ЧРП) і силового інвертора. ЧРП перетворює вхідну змінну напругу в постійну, яка потім інвертується інвертором для отримання змінної постійної напруги.

До складу VFD входить мікропроцесор, який контролює частоту і напругу живлення, що подається на двигун. Мікропроцесор регулює частоту і напругу в залежності від бажаної швидкості і крутного моменту двигуна.

Інвертор перетворює змінну напругу постійного струму, вироблену VFD, в змінну напругу змінного струму. Потім ця змінна напруга подається на електродвигун, який використовує її для створення бажаної швидкості та крутного моменту.

Електродвигун складається з ротора і статора. Ротор - це частина двигуна, яка обертається, а статор - це частина двигуна, яка не обертається. Електродвигун перетворює змінну напругу змінного струму, вироблену інвертором живлення, в обертове магнітне поле.

Перетворювач частоти працює, регулюючи частоту і напругу живлення, що подається на двигун, у відповідь на зміни швидкості і крутного моменту двигуна. ЧРП регулює частоту і напругу живлення, що подається на двигун, що змушує ротор обертатися з потрібною швидкістю і крутним моментом.

Силовий інвертор перетворює змінну напругу змінного струму, вироблену ЧРП, в змінну напругу змінного струму, яка знаходиться в фазі з

вхідною напругою змінного струму. Це дозволяє перетворювачу частоти контролювати швидкість і крутний момент двигуна, не впливаючи на джерело живлення.

8.5. Охорона праці

8.5.1. Загальні положення

Персонал, обслуговуючий установку, має бути навчений, знати пристрій і устаткування, виконувати вимоги інструкції і вимоги сьогоденних правил. Виноматеріал перед деалкоголізацією має бути підготовлений. Запуск установки після тривалої зупинки або після ремонту повинен виконуватися у присутності начальника ділянки.

8.5.2. Заходи безпеки за ремонтом та експлуатацією

Дистанційний і місцевий пуск машин і механізмів установки повинен здійснюватися після подачі попереджувального звукового сигналу про пуск по всіх робочих приміщеннях. Гарячі конструктивні частини сушарки (вентилятор, компресор) мають бути покриті теплоізоляцією. Температура зовнішніх поверхонь не повинна перевищувати 45° С. Конструктивні частини установки (бак для випарювання, теплообмінники, утілізатор і ін.) мають бути герметичними і не пропускати холодоагент в робоче приміщення. Під час роботи установки належить постійно стежити за справним станом випускних механізмів і не допускати їх засмічення.

Доступ робітників для огляду або ремонту виконується лише у присутності начальника цеху або зміни. Під час знаходження робітника в приміщенні, де розташована установка або бункері мають бути прийняті заходи, що унеможливають пуску вентиляторів. З цією метою повинні вивішуватися попереджувальні написи на пусковій апаратурі, крім того, інший робітник має бути поблизу установки на випадок необхідності надання екстреної допомоги.

Ремонт установки забороняється виконувати до повного припинення її роботи і охолодження. Усунення неполадок, а також ремонт і очищення устаткування здійснювати лише після повної її зупинки.

8.5.3. Перелік потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Так як розробляється система керування, мета охолодження без аварій та шкідливих наслідків для оператора, то потрібно ідентифікувати потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації цієї установки. Наведемо їх характеристики з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановлені, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Фактор	Характеристика	Потенційні небезпеки
1.	Аміак	Одорант, газ без кольору з різким запахом	Токсичність при вдиханні, потенційне подразнення шкіри та очей
2.	Висока температура	Відсутність адекватної вентиляції може призводити до перегріву	Перегрів установки, підвищення температури робочого середовища
3.	Високий тиск	Потенційна небезпека вибуху при	Ризик вибуху та ушкодження обладнання

		неконтрольованому випуску аміаку	
4.	Робота з електричними приладами	Ризик ураження електричним струмом або короткого замикання	Електротравми, пожежа
5.	Недостатня освітленість	Погіршення видимості та можливість нещасних випадків	Травми, падіння, зіткнення з обладнанням
6.	Недостатня вентиляція	Затримка шкідливих речовин у повітрі робочого приміщення	Токсичні ефекти, недостаток кисню, ризик отруєння
7.	Робота на висоті	Потенційна небезпека падіння з висоти	Травми, переломи, смертельні наслідки

Визначимо категорії приміщень. Об'єкт автоматизації представляє собою ділянку деалкоголізації вина. Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора розташовано у приміщенні, де знаходиться об'єкт.

Будівля, де розташовується АРМ оператора, з пожежовибухонебезпеки відноситься до приміщень категорії В. За класом пожежної небезпеки приміщень вона відноситься до Б (біля установки) та Д (приміщення АРМ оператора). З небезпеки ураження електричним струмом вона відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Вимоги безпеки до організації та експлуатації АРМ оператора

АРМ оператора передбачає роботу з комп'ютерною станцією за допомогою якої, оператора спостерігає за роботою установки, також, має можливість керувати установкою в ручному режимі. Всі прилади установки, мають свої умовні позначення та мають можливість змінювати колір, при зміні стану приладів. При появі аварії чи блокуванні в установці, інженер має можливість побачити місце в якому з'явилася аварія, та усунути помилку.

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

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

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

- оператор сидить за стандартним комп'ютерним столом на м'якому кріслі;

- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;

- трудові операції виконуються в основному на робочому місці;

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

Електробезпека

В установці працюють прилади з напругою 220 В, тому застосовується ізоляція струмопровідних частин. При великих токах, спрацьовують автоматичні вимикачі, які захищають обладнання та обслуговуючий персонал від ураження током. Там де знаходиться висока напруга, приклеєні написи з номіналом цієї напруги. Всі прилади, напруга в яких більше 120 В заземлюються.

Захист працюючих від ураження електроструму при монтажі експлуатації та обслуговуванні АРМ, забезпечується наступними організаційними та технічними заходами і засобами:

- Атестацію оператора АРМ за III групою з електробезпеки;
- Проходження оператора АРМ навчань та інструктажів з питань, безпечної експлуатації електроустановок, а також первинні і періодичний медичне обстеження;
- Подвійна ізоляція проводів;
- Прокладка електропотоків проведень в підлозі;
- Кольорове маркування струмопроводів;
- Наявність електрозахисних засобів (показники напруги, діелектричні рукавички, і т.д.);
- Наявність розробленої інструкції з охорони праці.

Виділення та нормування чинників, які впливають на комфортні та безпечні умови праці. Визначення і нормування показників мікроклімату і чистоти повітря робочої зони

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

Таблиця 8.3 – Виробниче приміщення, період року, категорія роботи, що виконується, температура, відносна вологість, швидкість руху повітря

№ п. п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторський пункт (без кондиціонування)	Теплий	Легка 1а	23-28	40-60	0,1
2	Операторський пункт (без кондиціонування)	Холодний	Легка 1а	18-20	50-70	0,1

З включеним кондиціонуванням повітря умови в різні періоди року однакові.

Виділення і нормування показників освітлення робочої зони

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

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

Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення наведені у таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

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

Пожежовибухобезпека на ділянці деалкоголізації та в АРМ оператора

Так як, приміщення відноситься до категорії В, та до класу пожеж Б. То пожежобезпека в приміщенні забезпечується за рахунок:

- наявністю порошкового та вуглекислого вогнегасника з масою зарядів 8 кг та 3.5 відповідно;
- встановлення димових та теплових автоматичних сповіщувачів, установка проти димного захисту;
- наявність у будівлі внутрішньої системи протипожежного постачання;
- монтаж автоматичних вимикачів, при наявності великого струму, вимикається електропостачання;
- проходження оператором АРМ вступного, первинного, повторного, позапланового інструктажу, навчань та перевірки знань.

Загальні вимоги до шляхів евакуації

Під час виникнення НС оператор АРМ відповідно до затверджувального плану евакуації, повинен залишити приміщення через передбачений прохід між виробничими меблями та обладнанням, та рухатися до сходової клітки через коридор і далі по сходах до дверей евакуаційного виходу.

За нормативами НАПБ А.01.001-2004 та ДБН В.22-28-2010, безпека працюючих під час евакуації, забезпечується наявністю:

- план евакуації (графічна та письмова форма);
- звукове обладнання трансляції мовлення;
- проходи в приміщенні не менше 1м, проходи коридору не менше 1,8м.
- світлове сповіщення “Вихід”;
- всі маршрути евакуації повинні мати освітлення не менше 400 лк.

8.6 Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації для САК на базі контролера фірми WAGO – WAGO 750-881 .

Виконаний комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування охолодження продукції. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації.

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

РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ

9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації.

В даному підрозділі дипломного проекту буде обґрунтована економічна доцільність впровадження варіантів розробленої системи автоматизації. Вибір технічних засобів автоматизації та порівняння технічних характеристик різноманітних варіантів МП ядра САР (WAGO) був виконаний у розділі №5 даного дипломного проекту. Для розрахунку економічних показників впровадження варіантів модернізованої АСУ будуть враховані ціни на придбання комплексу технічних засобів, датчиків температури, рівня, виконавчих механізмів та кабельної продукції.

Таблиця. 9.1. Витрати на придбання засобів автоматизації

Найменування	Тип, марка	Кількість	Оптова ціна з ПДВ, грн	
			За од.	Сума
Датчик температури	ТЕРА ТСМ	2	347	694
Датчик рівня	ДР-15	2	4000	4000
Датчик рівня	ПДУ-И	1	3600	3600
Частотний перетворювач SIEMENS	SINAMICS G120C	1	33500	33500
Блок ручного управління	БРУ-7	2	5000	10000
КБЗ	24-19	2	520,8	1041,6
Контролер програмований	WAGO 750- 881	1	27601	27601
Модуль аналогового вводу	WAGO 750- 453	2	14243	28 486
Модуль аналогового виводу	WAGO 750- 555	1	15500	15500
Модуль дискретного вводу	WAGO 750- 430	2	4000	8000
Модуль дискретного виводу	WAGO 750- 530	1	4621	4621
Персональний комп'ютер		1	25000	25000

Продовження таблиці. 9.1. Витрати на придбання засобів автоматизації

Магнітний пускач з тепловим реле	ПМА 3221	4	3400	13600
Дзвоник електричний	UWE	1	50	50
Запобіжник із плавкою вставкою	ВПТ	4	38	152
Кнопка	ELFIN 22	2	96	192
Реле часу	УКРРеле РВЦ-40	1	1051	1051
Всього				177088,6

1. Продажна вартість засобів автоматизації ($C_{\text{прсар}}$):

$$C_{\text{прсар}} = 177088,6 \text{ грн.}$$

2. Розрахунок інвестицій, які необхідні для реалізації проекту, визначаються за формулою:

$$I_{C_{\text{сар}}} = \frac{C_{\text{прсар}} + C_{\text{прсар}} \cdot K_m + C_{\text{прсар}} \cdot H_t/100 + C_{\text{прсар}} \cdot H_{\text{тр}}/100}{1 + (C_{\text{прсар}} + C_{\text{прсар}} \cdot H_t/100 + C_{\text{прсар}} \cdot H_{\text{тр}}/100) \cdot H_{\text{зс}}/100} = C_{\text{прсар}} \cdot 1,165, \quad (1)$$

де: $C_{\text{прсар}}$ - продажна вартість засобів автоматизації,

K_m - коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи, $K_m = 0,1$;

H_t - норматив відрахувань на тару та упакування, $H_t = 0,25\%$;

$H_{\text{тр}}$ - норматив відрахувань на транспортні витрати $H_{\text{тр}} = 5\%$;

$H_{\text{зс}}$ – норматив відрахувань на заготівельно-складські витрати, $H_{\text{зс}} = 1,2\%$.

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

$$I_{C_{\text{сар}}} = 177088,6 \cdot [(1+0,1+0,0025+0,05)+(1+0,0025+0,05) \cdot 0,012] = 177088,6 \cdot 1,165 = 206308,22 \text{ грн.}$$

Модернізація системи автоматичного регулювання здійснюється за рахунок власних коштів підприємства.

9.2 Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості

В результаті модернізації установки брак продукції не повинен перевищувати 1% (брак продукції до модернізації 5%).

Ціна за 1т продукції – 31000грн

Продуктивність установки 2000т/діб

Час роботи 300 діб в рік (Т).

Сумарні капітальні інвестиції (IC_{CAP}):

$IC_{CAP} = 206308,22$ грн

1. Визначаємо обсяг виробництва $OB_{рік}$ за формулою:

$$OB_{рік} = П * Т \quad (2)$$

$$OB_{рік} = 2000 * 300 = 600000 \text{ т/рік}$$

2. Визначимо кількість браку до і після модернізації за формулою :

$$Br = OB * K_{бр} \quad (3)$$

$$Br_1 = OB * K_{бр1} = 600000 * 0.05 = 30000 \text{ т}$$

$$Br_2 = OB * K_{бр2} = 600000 * 0.01 = 6000 \text{ т}$$

3. Визначимо обсяг реалізованої продукції до і після модернізації за формулою:

$$OP = (OB - Br) * C_{од.пр} \quad (4)$$

$$OP_1 = (OB - Br_1) * C_{од.пр.} = (600000 - 30000) * 31000 = 17670000000 \text{ грн}$$

$$OP_2 = (OB - Br_2) * C_{од.пр.} = (600000 - 6000) * 31000 = 18414000000 \text{ грн}$$

4. Визначимо заміну амортизаційних відрахувань за рахунок модернізації $CAР$ за формулою:

$$\Delta A = IC * N_a, \text{ де} \quad (5)$$

N_a - норма річних амортизаційних відрахувань для засобів автоматизації, яка дорівнює 50%;

$$\Delta A = 206308,22 * 0,5 = 103154,11 \text{ грн}$$

5. Визначимо річну зміну повної собівартості продукції за рахунок модернізації $CAР$:

$$\Delta C_{\Pi} = \Delta A = 103154,11 \text{ грн}$$

7. Визначимо приріст прибутку підприємства за рахунок впровадження САР:

$$\Delta \Pi = \Pi_2 - \Pi_1, \text{ де}$$

(6)

$$\Pi_1 = OP1 - C_{\Pi 1}; \Pi_2 = OP2 - C_{\Pi 2}, \text{ звідки } \Delta \Pi = OP2 - C_{\Pi 2} - OP1 + C_{\Pi 1}$$

$$= OB * C_{\text{од.пр}} - Br2 * C_{\text{од.пр}} - C_{\Pi 1} - \Delta A - OB * C_{\text{од.пр}} + Br1 * C_{\text{од.пр}}$$

$$+ C_{\Pi 1} = (Br1 - Br2) * C_{\text{од.пр}} - \Delta A = \Delta Br * C_{\text{од.пр}} - \Delta A$$

$$\Delta \Pi = 744\,000\,000 - 103154,11 = 743\,896\,845,89 \text{ грн}$$

8. Визначимо приріст чистого прибутку:

$$\Delta \text{ЧП} = (\Delta \Pi - \Delta A) * (1 - \Pi_{\text{п}}), \text{ де} \quad (7)$$

$\Pi_{\text{п}}$ – податок на прибуток, який дорівнює 18%.

$$\Delta \text{ЧП} = (743\,896\,845,89 - 103154,11) * 0,82 = 609\,910\,827,3 \text{ грн}$$

9. Визначимо чистий грошовий потік:

$$\text{ЧГП} = (\Delta \text{ЧП} + \Delta A) = 609\,910\,827,3 + 103154,11 = 610\,013\,981,41 \text{ грн}$$

9.3 Висновок за розділом

Виходячи з розрахунків, стартові інвестиції в проект з модернізації САР є інвестиційно привабливими, тому що приріст чистого прибутку складає (609 910 827,3) грн. та чистий грошовий потік дорівнює (+610 013 981,41) грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Підвищення ефективності процесу охолодження продукції в аміачній холодильній установці здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме цей процес було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування.

Провівши аналіз ходу технологічного процесу, можна зробити висновок, що саме на даній технологічній схемі, можна як істотно змінити техніко-економічні показники виробництва в цілому, так і заощадити на витратах на електроенергію.

При впровадженні для процесу охолодження продукції модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися зниження енерговитрат та підвищити харчові показники суміші. Для цього слід було поліпшити якість регулювання температур води та аміаку входячих, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, модернізувати існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

Було проведено ідентифікацію моделі процесу охолодження води, як об'єкту керування. Було проідентифіковано канали керування, в результаті чого було з'ясовано, що за цими каналами ОК має статичні властивості, тобто властивість самовирівнювання. При ідентифікації статичних властивостей ОК була визначена можливість лінеаризації статичної характеристики ОК, свідченням чого можна привести лінійність статичної характеристики на розглянутих ділянках.

При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати, що мають достатню ступінь відповідності експериментальним даним, що свідчить про правильність проведення параметричної ідентифікації каналів ОК. Таким чином, результати досліджень можна вважати задовільними, а отримана модель була використана для синтезу та аналізу системи автоматичного регулювання процесу охолодження води підвищеної динамічної точності.

Параметрично оптимальна САК з ПІ-регулятором в перехідних режимах не задовольняє гранично припустимим вимогам, а параметрично оптимальна САК з ПІД-регулятором задовольняє гранично припустимим вимогам. САК з ПІД-регулятором краща за всіма показниками якості. І САК з ПІ-регулятором, і САК з ПІД-регулятором є грубими. В якості базового алгоритму регулювання було застосовано ПІД-регулятор. Але САК з ПІД-регулятором при найбільш «несприятливих» для керування поєднаннях параметрів ОК не задовольняє гранично припустимим вимогам, тому було зроблено підвищення динамічної точності цієї САК.

Підвищення динамічної точності САК з ПІД-регулятором дало покращення показників якості перехідних процесів. В якості структури було обрано багатомірну САК процесу охолодження води.

Крім того, було розроблено алгоритми логічного керування пуском, нормальною та аварійною зупинкою ділянки охолодження води. Розроблені алгоритми є доступними до реалізації на мікропроцесорних засобах автоматизації.

Був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом охолодження води. Класи точності вимірювальних пристроїв та їх діапазони відповідають виробничим умовам, тобто оператор буде отримувати достовірну інформацію про протікання процесу. Висока якість керування процесом досягається використанням уніфікованих сигналів 4...20 мА, та дискретних сигналів.

Були вивчені основні характеристики контролерів фірми WAGO сімейства WAGO 750 та принципи їх програмування. Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ЗСО сімейства WAGO 750. Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства WAGO в середовищі WAGO-I/O-PRO V2.3 (based on CODESYS V2.3), розробки

програм логічного керування і регулювання для керування процесом охолодження води.

В середовищі SCADA-системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу охолодження води. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів керування обладнанням (АВТ / РУЧ) і керувати в ручному режимі окремим обладнанням, проводити настроювання і налагодження САК, відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми. Розглянуто приклад інтеграції з мережею контролерів WAGO 750-881 .

Було розроблено варіант ескізного проекту на базі контролера фірми WAGO – WAGO 750-881 . Виконано ескізний проект, що включає основні документи технічного забезпечення системи автоматичного керування охолодження води. В результаті виконання отримані навички з розробки проектної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації. Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом охолодженням води в аміачній холодильній установці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хобин В.А. – Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Идентификация и моделирование технологических объектов» – Одесса: ГАПТ, 2000. – 16 с.
2. Хобин В.А. – Конспект курса лекций по Идентификации и моделированию технологических объектов - Одесса 1999. – 78 с.
3. Хобин В.А. – Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Теория автоматического управления» – Одесса: ОГАПТ, 2000. – 16 с.
4. Хобин В.А. – Конспект курса лекций по курсу «Теория автоматического управления. Часть 1. - Одесса 20013. – 110 с.
5. Хобин В.А. – Конспект курса лекций по курсу «Теория автоматического управления. Часть 2. - Одесса 20012. – 59 с.
6. Полевой А. А. П49 Автоматизация холодильных установок и систем кондиционирования воздуха /А. А. Полевой. — СПб.: «Профессия», 2010. — 244 с.
7. Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу «Микропроцессорные и программные средства автоматизации» для бакалавров 6.050202 дневной и заочной формы обучения / Составители: 11. О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. – К. : Вид-во "Ліра-К", 2011. – 552 с.
8. SIMATIC HMI. WinCC flexible 2005. Руководство пользователя 6AV6691-1AB01-0AB0. Редакция 06. - Siemens AG, 2005. – 394 с.
9. Загальногалузеві керівні методичні матеріали по створенню і застосуванню АСУТП у галузях промисловості (ОРММ-3). – Москва, 1986.
10. ДСТУ Б А.2.4-4-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.
11. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.408-93, МНТКС). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.

12. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мбіа,1996 (ГОСТ 21.110-93, МНТКС).
Правила виконання специфікацій устаткування, виробів і матеріалів.
13. ДБН А.2.2-3-97. ДКУ Мбіа, 1997. Державні будівельні норми України. Проектування Склад. Порядок розробки, узгодження і твердження проектної документації для будівництва.
14. ДСТУ Б А.2.4-16:2008 Системи проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах.
15. Трегуб В.Г., Ладанюк А.П., Плужников Л.Я. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации пищевых производств. – М.: Агропомиздат, 1991. –352с.
16. Емельянов А.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 400 с.
17. Ключев А. С. и др. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990, - 464 с.
18. Методичні зазначення до виконання курсового проекту з курсу „Проектування систем автоматизації” для студентів фаху 7.092501 денної ти заочної форм навчання/Склали Скаковський Ю.М., Старичків В.І.– Одеса: ОНАХТ, 2003р. –35с.
19. Конспект лекцій з курсу “Основи проектування систем автоматизації” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання/ Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2010. – 82 с.
20. <https://www.siemens.com/ua/uk.html> - Офіційний сайт SIEMENS
21. <https://www.wago.com/global/> - Офіційний сайт WAGO

Додаток А1

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. позначення	Найменування	Кіл	Примітка
	Перелік приладів на схемі автоматизації		
	Прилади за місцем		
3,6	Датчик температури QAE3010.010 ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ, живл.24 В, вих.4-20мА, -50 -150°C	2	
9-12	Датчик рівня «ПДУ-И», жив.24 В, вих.сигнал 4...20мА	2	
9в, 10в	Частотний перетворювач Siemens SINAMICS G120C, вх.сигнал 0...10В, потужність 7,5 кВт	1	
	Прилади на щиті оператора		
9б, 10б	Блок ручного управління БРУ-7, жив. 220 В, вх. сигн. 4-20 мА, з КБЗ -24-19, потужн. 7Вт	2	
15	PC ADAPTER USB A2 (SM USB to MPI) , USB CABLE 5M INCLUDED MPI KABEL, 0,3M (6GK1571-0BA00-0AA0)	1	з каб. 5м
МПК	Контролер програмований WAGO 750-881	2	
	Модуль аналогового вводу WAGO 750-453	1	8AI
	Модуль аналогового виводу WAGO 750-555	1	4AO
	Модуль дискретного вводу WAGO 750-430	2	16DI/16DO
	Модуль дискретного вводу WAGO 750-530		
	Технічні засоби в операторському пункті		
ПК	Персональний комп'ютер в комплекті	1	

Додаток Б1

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до схеми прямого пуску електродвигуна x переходом зірка-трикутник.

Поз. позначення	Найменування	Кіл .	Примітка
	Перелік приладів на принциповій електричній схемі		
	Прилади за місцем		
1KM, ..., 4 KM	<i>Магнітний пускач ПМА 3221, з тепловим</i>	4	існуючі
	реле, контакти 2з, 1р		
1SB1, ..., 8 SB1	Кнопки КМЕ 4201, 1 р	2	
1SB4, 3SB4	Кнопка ELFIN 22, 1з, чорна	2	
HA	Дзвоник електричний UWE 24В, 0,06А	1	
1SQ, ..., 3SQ, Q, 6SQ, ..., 8SQ Q	Реле часу	1	існуючі
	Прилади в силовому щиті		
1QF, ..., 3QF, F, 6QF, ..., 8QF F	Автоматичний вимикач триполюсний АК-63, 20А,	1	існуючі

Додаток В1

Таблиця В – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми підключення насосу через частотний перетворювач

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
SF1	Вимикач автоматичний ЗР 20А С 4.5 кА СТС	1	
	SINAMICS G120C 7,5 кВт 3-ф/380 (6SL3210-1KE21-7UF1).	1	