

**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 вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітня програма	«Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації»

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

Тема: **«Автоматизація процесу керування кондиціонуванням повітря для технологічних процесів підприємства «ІНТЕРХІМ»»**

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

Одеса-2023

## 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 **Баклан Олександр Олександрович**
2. Тема кваліфікаційної роботи **«Автоматизація процесу керування кондиціонуванням повітря для технологічних процесів підприємства «ІНТЕРХІМ»»**
3. Керівник кваліфікаційної роботи **Світій Іван Миколайович, к.т.н., доцент, Жигайло Олексій Михайлович, к.т.н., доцент**  
п. 2 затверджено наказом ОНТУ № 475-03 від 22 серпня 2022 року і п. 3 затверджено наказом ОНТУ від 07 березня 2023 року № 96-03.
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 з ІЗ.
6. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) : Характеристика управління кондиціонуванням повітря, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом. Конкретизація задачі дотримання регламентів кондиціонування повітря, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування кондиціонування повітря. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів. Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці. 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	Світій І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	Світій І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САУ	Левінський В.М., 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	Дроздова В.А., доц.каф МіЛ		

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 кондиціонуванням повітря, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом	29.03.23 р.	
2	Конкретизація задачі дотримання регламентів кондиціонування повітря, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	10.04.23 р.	
3	Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	24.04.23 р.	
4	Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування кондиціонуванням повітря	25.04.23 р.	
5	Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів	28.04.23 р.	
6	Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК	05.05.23 р.	
7	Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	19.05.23 р.	
8	Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	26.05.23 р.	

9	Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи	02.06.23 р	
---	---	------------	--

**Студент**

**Баклан О.О.**

**Керівник кваліфікаційної  
роботи бакалавра**

**Світій І.М.**

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему: «Автоматизація процесу керування кондиціонуванням повітря для технологічних процесів підприємства «ІНТЕРХІМ»: ідентифікація моделей, синтез і аналіз систем автоматичного регулювання» викладена на 112 сторінках звіту, складається із вступу, семи розділів і висновків, включає в себе 86 ілюстрацій, 19 таблиць, та 4 джерела за переліком посилань.

Об'єктом дослідження є технологічний процес кондиціонування повітря в робочому приміщенні. Метою досліджень є синтез і аналіз системи автоматичного регулювання (САР) підвищеної динамічної точності. При виконанні роботи використовувалися експериментальні методи отримання моделей об'єкту, оптимальний параметричний синтез для синтезу систем автоматичного регулювання базової структури та підвищеної динамічної точності. Для отримання моделей прямих та перехресних каналів об'єкту управління використовувалися активний експеримент та методи отримання математичних моделей за перехідними характеристиками. Для отримання моделей стохастичних складових збурень застосовувався пасивний експеримент та метод типової статистичної ідентифікації. Для відтворення отриманих моделей об'єкту використовувався метод цифрового імітаційного моделювання та спеціалізований пакет імітаційного моделювання. Для відтворення стохастичних складових моделей збурень використано метод формуючого фільтру. Синтез систем автоматичного регулювання проводився у два етапи: за інженерними методиками та з використанням оптимального параметричного синтезу.

В результаті виконання роботи було отримано комплекс математичних моделей процесу кондиціонування повітря промисловим кондиціонером, що включають математичні моделі прямих та перехресних каналів управління, математичні моделі неконтрольованих збурень. Отримані моделі було відтворено

у середовищі імітаційного моделювання і підтверджено їх відповідність експериментальним даним. Проведено синтез та аналіз САР відносної вологості та температури кондиціонованого повітря базової структури. Підвищення динамічної точності проводилося шляхом побудови автономної САР відносної вологості та компенсації запізнення в контурі регулювання відносної вологості. Аналіз САР проводився за інтегральним показником, за деякими прямими показниками якості та за грубістю.

Отриманий варіант САР відносної вологості та температури кондиціонованого повітря підвищеної динамічної точності рекомендовано для подальшої реалізації у вигляді цифрових алгоритмів у процесі модернізації системи автоматизації промислового кондиціонера.

**Ключові слова:** кондиціонування повітря, промисловий кондиціонер, математична модель, імітаційна модель, система автоматичного регулювання, САР підвищеної динамічної точності.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	10
Вступ .....	11
Розділ 1. Характеристика технологічного процесу, розробка концептуальної моделі об'єкту керування.....	
1.1. Вибір об'єкта для модернізації системи автоматизації, опис і аналіз реалізованого ним технологічного процесу і відповідного обладнання (технологічного агрегату).....	13
1.2 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення .....	18
1.3 Розробка структурної схеми об'єкту керування .....	21
1.4 Конкретизація мети модернізації системи .....	22
Висновок за розділом .....	23
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.....	
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	
.....	24
2.2. Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання .....	
.....	24
2.3. Ідентифікація моделей вхідних дій об'єкта регулювання.....	25
2.4. Реалізація моделей на ПЕОМ і обґрунтування їх адекватності об'єкту.....	34

Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом .....	52
3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури .....	55
3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз .....	80
3.4. Висновок з розділу .....	95
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом.....	
4.1. Короткий опис технологічного процесу з наведенням детальних процедур технологічного пуску, технологічної зупинки та аварійної зупинки у позаштатних ситуаціях .....	96
4.2. Формалізація регламентів функціонування ТОК: за пуском, технологічною та аварійною зупинками технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис .....	97
4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: за пуском, технологічною та аварійною зупинкою (циклом роботи) ТОК у вигляді блок-схем та їх опис ..	99
4.4. Розробка функціонально логічної схеми (ФЛС) процесу керування ТОК, з використанням типових символічних позначень логічних елементів, та її детальний опис .....	105
4.5. Моделювання роботи алгоритму керування в середовищі MatLab .....	106
4.6. Результати моделювання роботи САК.....	108

4.7 Висновки за розділом.....	110
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні 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 .....	111
5.2 Вибір технічних засобів .....	113
5.3 Висновок за розділом .....	124
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	
6.1 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи ...	125
6.2. Розробка структури мікропроцесорного ядра системи керування .....	126
6.3 Програмне конфігурування контролера та розробка програмного забезпечення системи керування в середовищі CoDeSys .....	139
6.4. Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC-сервера. ....	147
6.5 Висновки за розділом .....	150
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	
7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога ...	151
7.2. Розробка екранів АРМ оператора – технолога. Шаблон екранів. ....	152
7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САУ.....	163
7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САУ .....	164

РОЗДІЛ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	
8.1. Характеристика технологічного об'єкта управління .....	167
8.2. Опис схеми автоматизації .....	169
8.3 Опис принципової електричної схеми .....	171
8.4. Розробка принципових електричних схем живлення .....	173
8.5 Висновки за розділом .....	174
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту автоматизації.....	
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації за її обраним варіантом.....	177
<b>9.2. Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості.</b>	
.....	<b>180</b>
9.3 Висновок за розділом .....	181
Висновок: .....	182
Література .....	183
Додатки .....	184

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗА–засоби-автоматизації.

ТА – технологічний агрегат;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

ДЦП – дискретно – цифровий перетворювач;

ЦДП – цифро-дискретний перетворювач;

ППЗС – передпускова звукова сигналізація;

ПДТ – підвищена динамічна точність;

НС – найпростіша структура;

САК–система-автоматичного-керування;

ПК – персональний комп'ютер;

МК – мікропроцесорний контролер;

ММ – математична модель;

ВП – випадковий процес;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ФФ – формуючий фільтр;

СП – стохастичний процес;

ОР – об'єкт регулювання;

СХ – стохастичні характеристики;

ТП – технологічний процес;

ОР – об'єкт керування;

КЗ – коригувальний зв'язок;

СКЗ – спрощений коригувальний зв'язок.

## ВСТУП

Робота в робочому приміщенні ТОВ «ІнтерХім» пов'язана з виконанням виробничих операцій в регульованому повітряному середовищі, що забезпечується спеціалізованою установкою підготовки повітря, а саме промисловим кондиціонером. Якісне кондиціонування повітря у приміщенні пов'язане з запуском та зупинкою кондиціонера для забезпечення енергозбереження з технологічною метою. Тому якісна підготовка кондиціонованого повітря є суттєвим фактором підвищення економічної ефективності функціонування виробництва в цілому.

Одним з найефективніших шляхів підвищення ефективності процесу підготовки повітря в промисловому кондиціонері, підтверджених практикою, є підвищення рівню автоматизації процесу шляхом підвищення інтелектуального рівню системи автоматичного регулювання.

У роботі має бути проведено дослідження процесу кондиціонування повітря, як об'єкту керування, в результаті котрих має бути отримано математичні моделі основних каналів керування та неконтрольованих збурень. Отримані моделі слід перевірити на відповідність експериментальним даним. На основі отриманих моделей слід розробити алгоритми регулювання процесом, котрі забезпечують високу якість керування процесом.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення конкурентоздатності підприємства за рахунок підвищення ефективності допоміжного процесу підготовки повітря шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САР процесом. Для досягнення поставленої мети визначенні завдання:

- проаналізувати процес кондиціонування повітря як об'єкту керування;

– розробити комплекс його моделей як об'єкту регулювання і провести моделювання для підтвердження відповідності отриманих моделей експериментальним даним;

– розробити варіанти алгоритмів регулювання, провести їхню параметричну оптимізацію, порівняльний аналіз САР, що забезпечують підвищену динамічну точність регулювання регламентованих змінних;

Рішенню перерахованих вище завдань і присвячена ця дипломна робота.

## РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

### 1.1 Короткий опис ТОВ «ІнтерХім», характеристика виробничої і господарської діяльності

Компанія «ІнтерХім» була заснована 1992 року на базі дослідно-експериментального виробництва НТК Фізико-хімічного інституту ім. А.В. Богатського Національної академії наук України та у 2012 році відзначила своє 20-річчя. Комерційна діяльність розпочиналася з виробництва унікальних продуктів тонкого органічного синтезу, за яким послідувало виробництво оригінальних фармацевтичних субстанцій, розроблених вченими Фізико-хімічного інституту ім. О. В. Богатського, а також імпортозамінних субстанцій, які ніколи раніше не вироблялися в Україні. Ключовою подією розвитку нашої компанії стало створення заводу з виробництва готових лікарських форм. Будівництво стартувало у серпні 2002 року з «нульового циклу» відповідно до європейських правил належної виробничої практики (GMP) та було здійснено від першої палі до запуску виробництва у рекордні терміни — 2 роки.

Ця подія стала замикаючою ланкою у створенні вітчизняного фармацевтичного виробництва повного циклу, що здійснює скринінг та розробку активних хімічних сполук – виробництво фармацевтичних субстанцій – виробництво готових лікарських засобів (ГЛЗ) – оптову та роздрібну реалізацію ГЛЗ у рамках одного підприємства. Вже через чотири роки після старту виробництва було введено в експлуатацію другу виробничу чергу, яка дозволила збільшити обсяги виробництва в 4 рази. З 2007 року лінія виробництва готових лікарських засобів регулярно проходить сертифікацію на відповідність вимогам міжнародного стандарту належної виробничої практики (GMP).

У травні 2016 року компанія запустила третю виробничу чергу, що дозволило збільшити виробничі потужності майже в 4 рази, а також додати до асортиментного портфеля "ІнтерХіму" препарати у формі капсул та порошків у саші.

Одним із пріоритетних напрямів діяльності підприємства спочатку були та залишаються наукові дослідження. Наша компанія має великий науково-дослідний потенціал. На базі власних лабораторій (науково-дослідницька, технологічна, контрольна-аналітична та мікробіологічна), оснащених відповідно до міжнародних норм, здійснюється розробка інноваційних лікарських засобів, а також забезпечення та контроль високої якості продукції на кожному етапі виробництва. У 2005 році вперше у фармацевтичній галузі Східної Європи спільно з фірмою «Меггле» (Німеччина) було створено незалежну лабораторію, оснащену як для розробки складів та технологій отримання твердих лікарських форм, так і для виробництва в умовах GMP біосерій для доклінічних та клінічних випробувань лікарських засобів.

1.2 Вибір об'єкта для модернізації системи автоматизації, опис і аналіз реалізованого ним технологічного процесу і відповідного обладнання (технологічного агрегату)

Кондиціонування повітря – автоматична підтримка в закритих приміщеннях всіх або окремих його параметрів (температури, відносної вологості, чистоти, рухливості) на певному рівні для забезпечення головним чином оптимальних метеорологічних умов, найбільш сприятливих для самопочуття людей, ведення технологічного процесу та забезпечення збереження обладнання, матеріалів та ін.

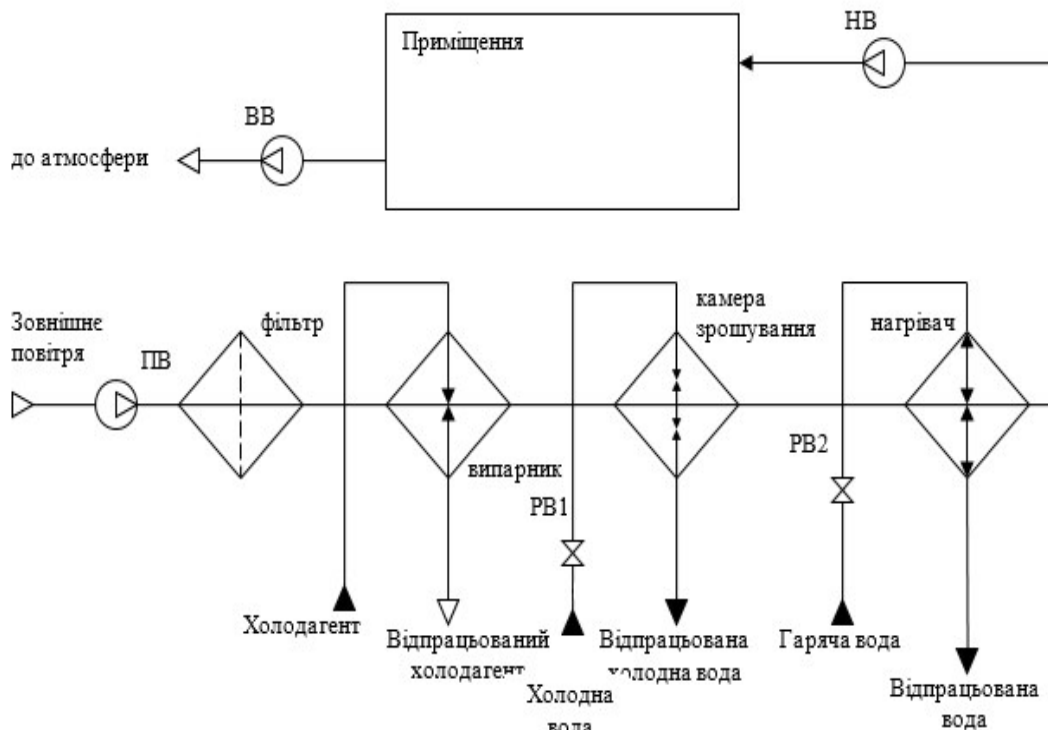


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу кондиціонування повітря у приміщенні

Технологічний процес кондиціонування повітря для подачі його до виробничого приміщення реалізується наступним чином. Кондиціонер має підготувати повітря, що має температуру  $\theta = 23^{\circ}\text{C}$  та відносну вологість  $\varphi = 49,5\%$ . Таким параметрам повітря відповідає вологовміст, який згідно і-d-діаграми вологого повітря (рис. 1.2) має становити  $x = 9$  г/кг. Зовнішнє повітря припливним вентилятором ПВ через фільтр подається до випарника холодильної машини, де охолоджується до температури, яка б при подальшому зрошуванні до 100% дала б вологовміст саме 9 г/кг, тобто до температури  $14^{\circ}\text{C}$ . Охолодження повітря забезпечується шляхом прокачування його через випарник холодильної машини, а потім через камеру зрошування, куди подається холодна вода.

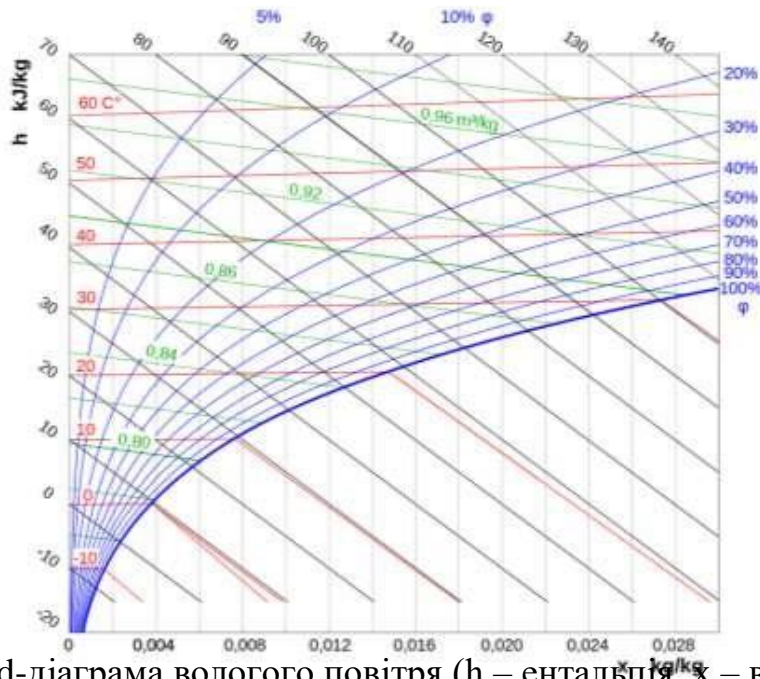


Рис. 1.2 – i-d-діаграма вологого повітря (h – ентальпія, x – вологовміст)

Принципова схема у теплий період року. Зовнішнє повітря в повній кількості проходить через випарник холодильної машини, а потім надходить в зрошувальну камеру, в якій розбризкується вода, що охолоджується, має температуру нижче температури точки роси. При контакті повітря з крапельками води він охолоджується і осушується, набуваючи в кінці зрошувальної камери заданий вміст вологи при насиченні. Так як при цьому температура повітря стає нижче необхідної температури припливного повітря, то для доведення до зазначеної температури повітря після зрошувальної камери прямує в калорифер другого підігріву, в якому нагрівається до заданої температури. Щоб уникнути механічного виносу крапель води на виході з зрошувальної камери встановлюється жалюзійна решітка (каплевловлювач). Оброблене повітря вентилятором подається до приміщення.

Вода, що збирається в піддоні зрошувальної камери, надходить у холодильну машину, де вона охолоджується до необхідної температури, і насосом по системі трубопроводів подається в форсунки, розташовані в зрошувальній камері.

У холодний період року зовнішнє повітря у повній кількості надходить у калорифер першого підігріву в якому він підігрівається до температури, при якій його ентальпія відповідатиме розрахунковій ентальпії адіабатичного процесу зволоження. Потім повітря надходить у зрошувальну камеру, де відбувається адіабатичний процес зволоження, в результаті якого повітря отримує заданий вміст вологи. При адіабатичному процесі випаровування температура повітря на виході з зрошувальної камери досить близька до температури мокрого термометра, яка зазвичай нижче заданої температури припливного повітря, тому для доведення температури повітря до заданої піддається додатковому нагріванню в калорифері другого підігріву. Вузол охолодження та подачі води в зрошувальну камеру працює у потрібному режимі. Оброблене повітря вентилятором подається до приміщення

Для забезпечення виробничого приміщення повітрям з заданими параметрами використовується промисловий кондиціонер з камерою зрошування. Прикладом такого кондиціонера може слугувати компактна установка підготовки повітря FSM-30, що будується за блочно-модульним принципом.

Попередньо пофарбована конструкція виконана із сталевих профілів та панелей сендвіч (з подвійною оболонкою), внутрішня ізоляція звукопоглинаючим матеріалом (товщина 10 мм для моделей від 10 до 40 і 20 мм для моделей 50 та 60).

Панелі виготовлені з листової пофарбованої сталі, кріпляться до рами гвинтами та мають ущільнювальні прокладання. Фільтруюча секція виконана з одного ступеня із синтетичних гофрованих осередків класу G4. Теплообмінники на воді

виготовлені з мідної труби та алюмінієвого оре-бреного пакету. Лоток збору конденсату з оцинкованої сталі оснащений системою його надзвичайно простого зняття безпосередньо з боку огляду та без необхідності розбирання блоку. Вентилятори відцентрового типу з подвійним всмоктуванням, робочоко-лесо зі зверненими вперед лопатями, безпосередньо з'єднані з монофазними двигунами на 3 швидкості. Щит електричного підключення поставляється у повній обв'язці та в ком-плектації з платою реле для контролю за потужністю електровентиляторів.

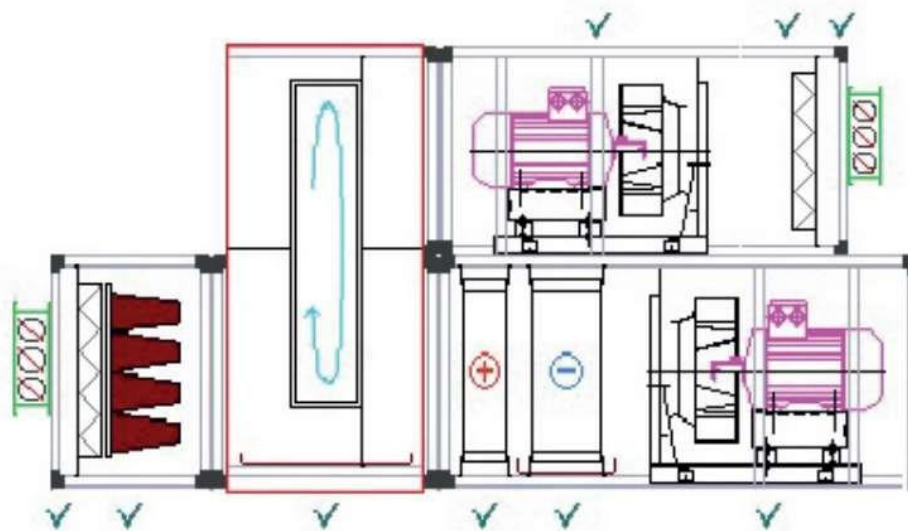


Рисунок 1.3 – Конструкція промислового кондиціонера FSM-30

Основні технічні характеристики установки FSM-30.

Витрати повітря: 1800...3600 м<sup>3</sup>/год.;

Статичний корисний тиск: 50...135 Па;

Зву-ковий тиск в 1м: 47,2...56,8 дБ;

Номінальна потужність двигунів: 2 X 420 Вт;

Загальний максимальний струм: 2 X 2,8 А;

Максимальна загальна споживана потужність: 2 X 0,6 кВт;

Питома потужність вентилятора: 940 Вт / (м<sup>3</sup>/с);

Відповідність 2009/125/ЕС ЕгР: 2015;

Швидкостей вентилятора: 3 Мінімальний ступінь захисту: IP 44;

Мінімальний клас температури: F; Електричне живлення: 230В, 50Гц;

Мета ведення процесу кондиціонування повітря – отримання заданої температури та відносної вологості повітря, що подається до виробничого приміщення. 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 кондиціонування повітря доцільно реалізовувати, якщо:

- є запас гарячої води на 1 годину роботи установки;
- є мінімально припустимий тиск у трубопроводі холодної води з навколишнього середовища;
- є мінімально припустимий тиск холодагенту;
- повинна бути електроенергія в колах електричного живлення вентиляторів із середньостатистичними параметрами мережі  $230\text{В} \pm 10\%$ , 50 Гц.

Технологічний процес кондиціонування повітря є тепломасообмінним процесом, пов'язаним з тепловологообміном повітря.

Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.4.

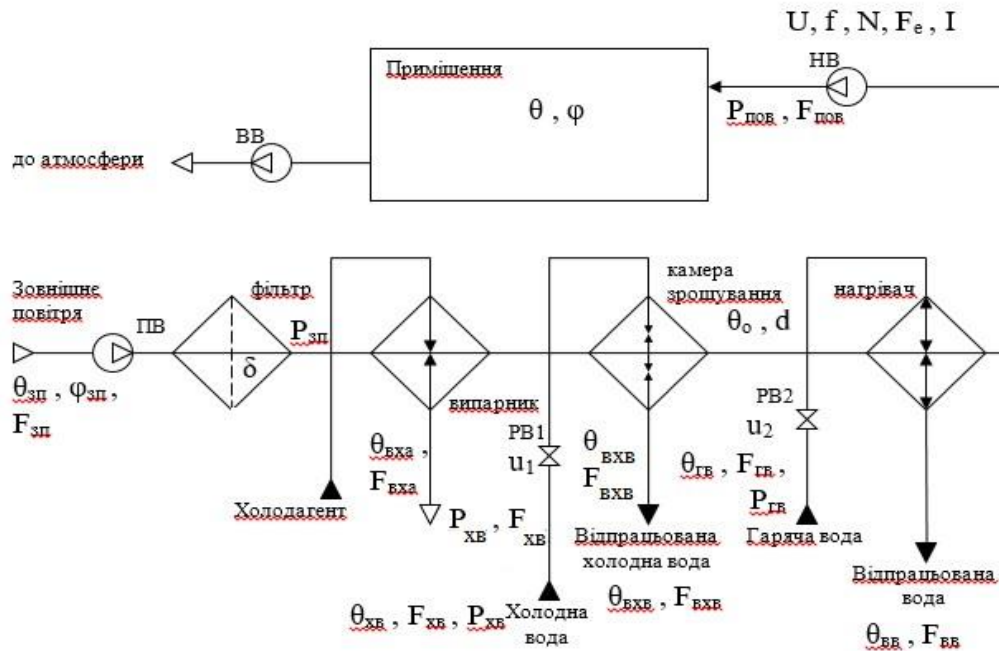


Рис. 1.4 – Параметризована технологічна схема процесу кондиціонування повітря

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

$\theta_{зп}$  – температура зовнішнього повітря, °С;

$\varphi_{зп}$  - вологість зовнішнього повітря, %;

$F_{зп}$  – витрати зовнішнього повітря, м<sup>3</sup>/год;

$P_{зп}$  – тиск фільтрованого зовнішнього повітря, кПа;

$\delta$  – ступінь засмічення фільтру;

$P_{ха}$  – тиск холодагенту, кПа;

$F_{хв}$  – витрати холодної води, м<sup>3</sup>/год;

$\theta_{вхв}$  – температура відпрацьованої холодної води, °С;

$F_{вхв}$  – витрати відпрацьованої холодної во-дим<sup>3</sup>/год;

$\theta_{хв}$  – температура холодної води, °С;

$F_{хв}$  – витрати холодної води, м<sup>3</sup>/год;

$P_{хв}$  – тиск холодної води, кПа;

$\theta_{вв}$  – температура відпрацьованої холодної води, °С;

$F_{вхв}$  – витрати відпрацьованої холодної води, м<sup>3</sup>/год;  
 $\theta_{гв}$  – температура гарячої води, °С;  
 $F_{гв}$  – витрати гарячої води, м<sup>3</sup>/год;  
 $P_{гв}$  – тиск гарячої води, кПа;  
 $\theta_{вв}$  – температура відпрацьованої води, °С;  
 $F_{вв}$  – витрати відпрацьованої води, м<sup>3</sup>/год;  
 $U$  – напруга в електромережі живлення, В;  
 $f$  – частота електромережі живлення, Гц;  
 $N$  – сумарна потужність електродвигунів установки, кВт;  
 $F_e$  – сумарні витрати електроенергії, кВт · год;  
 $I$  – сумарний споживаний струм двигунів, А;  
 $\theta_0$  – температура охолодження повітря, °С;  
 $d$  – вологовміст повітря, г/кг;  
 $\theta$  – температура повітря у приміщенні, °С;  
 $\varphi$  – вологість повітря в приміщенні, %;  
 $P_{пов}$  – тиск повітря, що нагнітається до приміщення, кПа;  
 $F_{пов}$  – витрати повітря, що нагнітається до приміщення, м<sup>3</sup>/год;  
 $u_1$  – положення регулюючого органу подачі холодної води, % ;  
 $u_2$  – положення регулюючого органу подачі гарячої води, %.

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 кондиціонування повітря такими параметрами є температура охолодження повітря ( $\theta_0$ ), вологовміст повітря ( $d$ ), температура ( $\theta$ ), відносна вологість ( $\varphi$ ) повітря в приміщенні, витрати повітря, що нагнітається до приміщення ( $F_{пов}$ ).

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для кондиціонера до цієї групи параметрів віднесемо тиск фільтрованого зовнішнього повітря ( $P_{zp}$ ); тиск повітря, що нагнітається до приміщення ( $P_{пов}$ ) та сумарний споживаний струм двигунів ( $I$ ).

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 холодагенту ( $F_{ха}$ ), температуру відпрацьованого холодагенту ( $\theta_{вха}$ ), витрати відпрацьованого холодагенту ( $F_{вха}$ ),– температуру відпрацьованої холодної води ( $\theta_{вхв}$ ), витрати відпрацьованої холодної води ( $F_{вхв}$ ), витрати гарячої води ( $F_{гв}$ ), температуру відпрацьованої води ( $\theta_{вв}$ ), витрати відпрацьованої води ( $F_{вв}$ ); сумарні витрати електроенергії ( $F_e$ ).

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 та вологості повітря у виробничому приміщенні призведе до порушення режимів технологічного процесу (процесів) а також до порушення оптимальних умов роботи персоналу, що, в свою чергу, може призвести до зниження якості продукції, що виробляється персоналом, і, навіть, до збільшення імовірності помилки персоналу у прийнятті рішень.

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.

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№ п / п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальне значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
						Величина	Величина
1	Температура повітря в приміщенні	$\theta$	$^{\circ}\text{C}$	23	$\pm 0,5$	$\pm 2$	250с
2	Температура охолодження повітря	$\theta_0$	$^{\circ}\text{C}$	14	$\pm 0,5$	$\pm 1$	100с

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

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри зовнішнього повітря та холодної води, що йде на зволоження повітря, а саме температуру зовнішнього повітря ( $\theta_{зп}$ ), вологість зовнішнього повітря ( $\phi_{зп}$ ), витрати зовнішнього повітря ( $F_{зп}$ ), температуру холодної води ( $\theta_{хв}$ ), витрати холодної води ( $F_{хв}$ ) та тиск

холодної води ( $P_{хв}$ ).

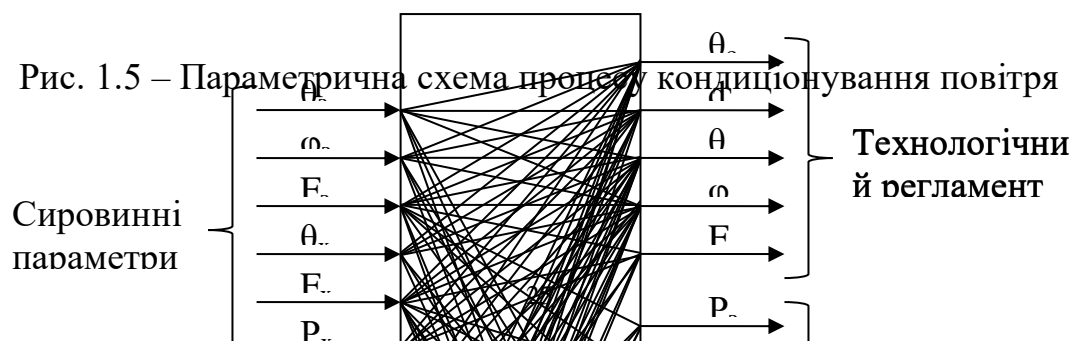
Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного обладнання ззовні і витрачається на зміну властивостей технологічної води. До цієї групи параметрів віднесемо тиск холодної води ( $P_{хв}$ ), температуру гарячої води ( $\theta_{гв}$ ), тиск гарячої води ( $P_{гв}$ ), напругу ( $U$ ) та частоту ( $f$ ) в електромережі.

Механічні та інші специфічні параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо положення регулюючих органів ( $u_1$  та  $u_2$ ), – сумарну потужність електродвигунів установки ( $N$ ) та – ступінь засмічення фільтру ( $\delta$ ).

Параметризована схема ТП має змістовний характер. Формалізація опи-су 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 кондиціонування повітря наведена на рис. 1.5.



### 1.3 Конкретизація мети модернізації системи

Для даної кваліфікаційної роботи, економічною метою є підвищення конкурентоспроможності компанії «Інтерхім»

Економічною метою роботи є підвищення конкурентоспроможності підприємства і прибутковості підприємства за рахунок підвищення якості регулювання регламентованих змінних та зменшення питомих витрат енергоресурсів при впровадженні модернізованої САК.

Як результат, після модернізації САК кондиціонування повітря, очікується зниження розходу холодоагенту у процесі виробництва приблизно на 9.31%. А також, зменшення витрат на води, приблизно на 10.2%. Система керування процесом кондиціонування повітря реалізується на базі технічних та програмних засобів з отриманням інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, за допомогою ПК та МПК.

Система повинна реалізовувати наступні функції:

а) інформаційні:

- збір та обробка технологічної інформації;
- оперативне відображення технологічної інформації;
- зберігання технологічної інформації;

б) керуючі:

- стабілізація технологічних параметрів;
- вибір режимів керування;
- автоматичне логічне керування агрегатом в штатних та нештатних ситуаціях.

### 1.4 Висновок за розділом

Як об'єкт дослідження системи автоматизації був обраний кондиціонер FSM-30. Було зроблено опис та аналіз технологічного процесу кондиціонування повітря та необхідного обладнання.

Економічною метою роботи є підвищення конкурентоспроможності підприємства і прибутковості підприємства за рахунок підвищення якості регулювання регламентованих змінних та зменшення питомих витрат енергоресурсів при впровадженні модернізованої САК.

## РОЗДІЛ 2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

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

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.

Для процесу кондиціонування повітря в якості регульованих координат доцільно обрати температуру у приміщенні  $\theta$  та температуру охолодження  $\theta_0$ .

До керуючих дій доцільно віднести положення регулюючих органів подачі холодної води до камери зрошування ( $u_1$ ) та гарячої води ( $u_2$ ) до відповідних теплообмінників.

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 кондиціонування повітря не було виявлено збурень, враховуючи які можна суттєво покращити якість регулювання, тому всі вхідні дії, крім керуючих дій, віднесемо до неконтрольованих збурень  $f_1$  та  $f_2$ . Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до керуючих дій, а стохастичну складову – до регульованої координати.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК. Структурна схема процесу наведена на рис. 2.1

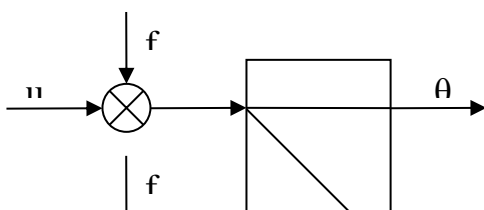


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу кондиціонування повітря як об'єкту регулювання

На рисунку:

$u_1$  – положення регулюючого органу подачі холодної води, %х.р.о.;

$u_2$  – положення регулюючого органу подачі гарячої води, %х.р.о.;

$\theta_0$  – температура охолодження повітря;

$\theta$  – температура повітря в приміщенні, °С;

$f_1, f_2$  – вектори неконтрольованих збурень, %х.р.о.

## ***2.2. Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання***

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

Для технологічного процесу кондиціонування повітря ОК за всіма каналами має властивості самовирівнювання, отже є статичним, оскільки є тепломасообмінним. Збільшення керуючої дії, пов'язаної з дроселюванням потоку холодагента призведе до зменшення вологовмісту повітря при подальшому зволоженні повітря, а значить до зниження відносної вологості та температури повітря у приміщенні. Збільшення керуючої дії, пов'язаної з дроселюванням потоку гарячої води призведе до підвищення температури та зниження відносної вологості повітря в приміщенні.

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 та відносної вологості повітря у приміщенні як регульованої координати. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

#### 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  $u_1 = 60$  %х.р.о. та  $u_2 = 60$  %х.р.о. будуть відповідати значення регульованих координат  $\varphi = 49.5\%$  та  $\theta = 23^\circ\text{C}$ .

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

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

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

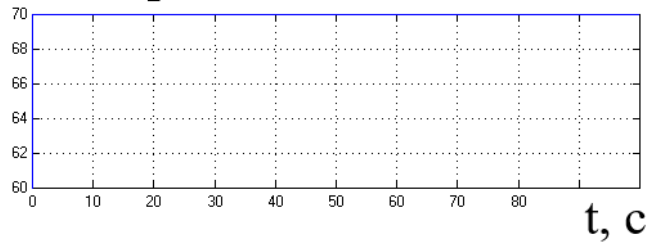
5. Повертаємо  $u_1$  у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів.

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

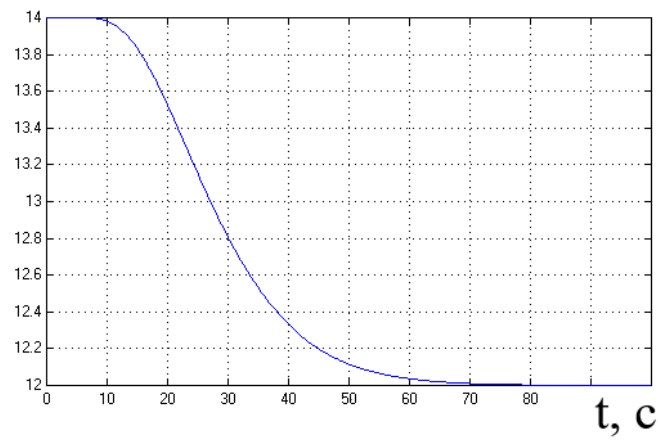
7. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2.

$u_1, \% \text{х.р.о.}$



$\theta_0, ^\circ\text{C}$



$u_1, \% \text{х.р.о.}$



$\theta, ^\circ\text{C}$

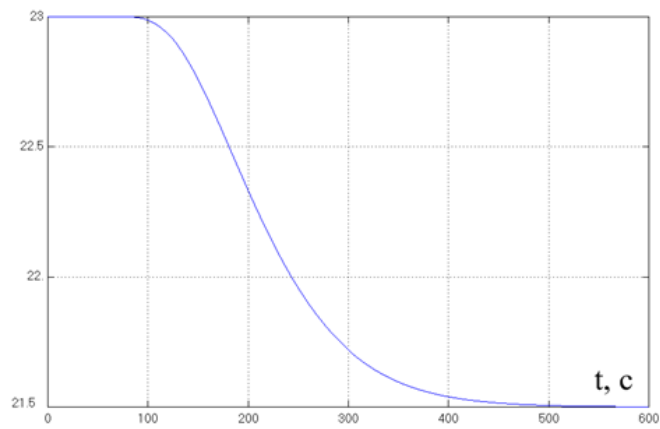


Рис. 2.2 – Результаты активного эксперимента

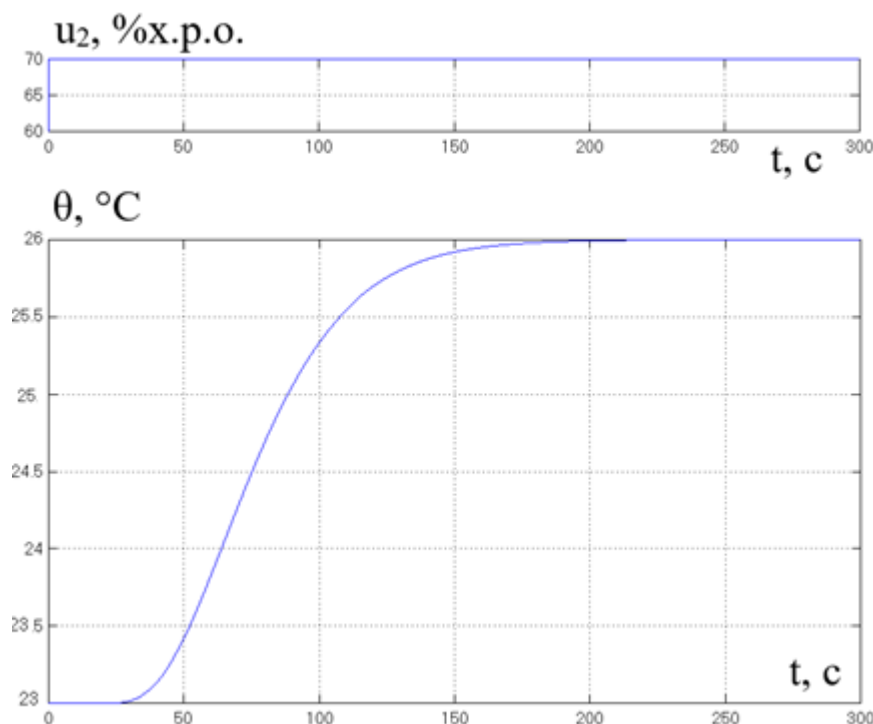


Рис. 2.2 (закінчення) – Результати активного експерименту

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

$$W_O(p) = \frac{K_O \cdot e^{-\tau_O p}}{T_O p + 1} W_O(p) = \frac{K_O \cdot e^{-\tau_O p}}{T_O p + 1}; W_O(p) = \frac{K_O \cdot e^{-\tau_O p}}{(T_O p + 1)^2} W_O(p) = \frac{K_O \cdot e^{-\tau_O p}}{(T_O p + 1)^2} \quad (2.1)$$

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

#### Канал « $u_1 - \theta_0$ »

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta\theta_o}{\Delta u_1} = \frac{12 - 14}{70 - 60} = -0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\%x.p.o. \quad (2.2)$$

Для моделі 1-го порядку

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

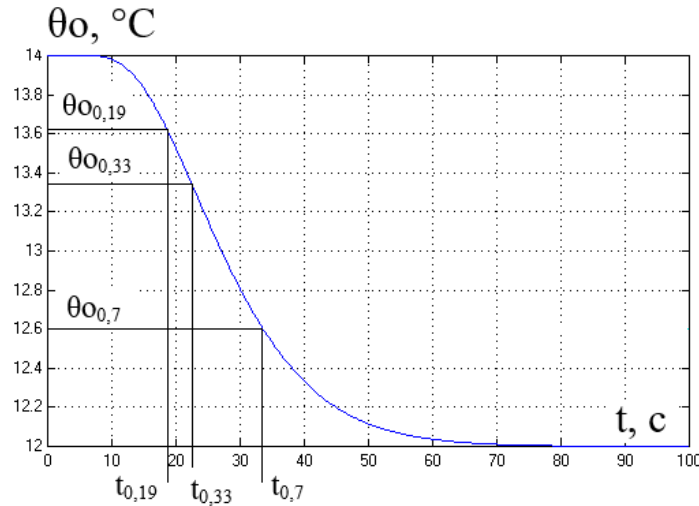


Рис. 2.2 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $u_1 - \theta_o$ »

$$t_{0,33} = 22,5\text{c};$$

$$t_{0,7} = 33,6\text{c}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 22,5 - 33,6}{2} = 17 \text{ c} \quad (2.3)$$

$$T = \frac{33,6 - 17}{1,2} = 13,9 \text{ c} \quad (2.4)$$

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

$$W_o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-17p}}{13,9p + 1} \quad (2.5)$$

Для моделі 2-го порядку

$$t_{0,19} = 18,6\text{c}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 18,6 - 33,6}{2} = 11,1 \text{ c} \quad (2.6)$$

$$T = \frac{33,6 - 11,1}{2,4} = 9,4 \text{ c} \quad (2.7)$$

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

$$W_o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-11,1p}}{(9,4p + 1)^2} \quad (2.8)$$

### Канал « $u_1 - \theta$ »

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta\theta}{\Delta u_1} = \frac{22,5 - 23}{70 - 60} = -0,15 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.} \quad (2.9)$$

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

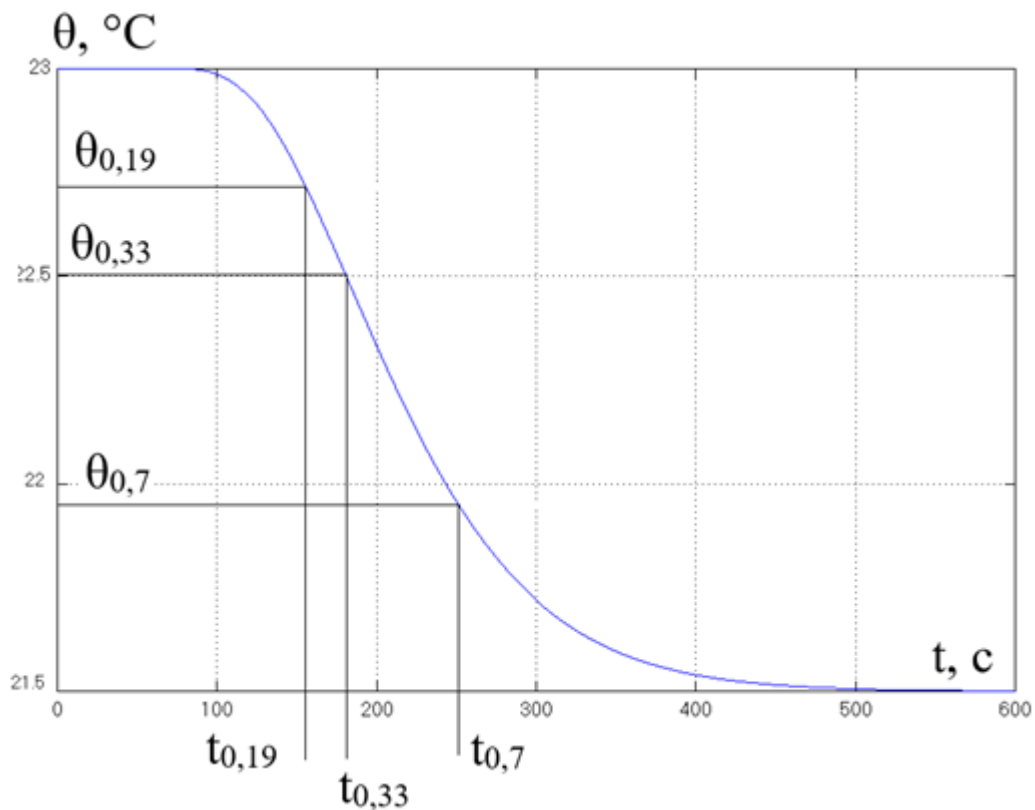


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $u_1 - \theta$ »

$$t_{0,33} = 180,2 \text{ c};$$

$$t_{0,7} = 251 \text{ c}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 180,2 - 251}{2} = 144,8 \text{ c} \quad (2.10)$$

$$T = \frac{251 - 144,8}{1,2} = 88,5 \text{ c} \quad (2.11)$$

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

$$W_o(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-144,8p}}{88,5p + 1} \quad (2.12)$$

Для моделі 2-го порядку

$$t_{0,19} = 155,5 \text{ c.}$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 155,5 - 251}{2} = 107,8 \text{ c} \quad (2.13)$$

$$T = \frac{251 - 107,8}{2,4} = 59,7 \text{ c} \quad T = \frac{251 - 107,8}{2,4} = 59,7 \text{ c} \quad (2.14)$$

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

$$W_o(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-107,8p}}{(59,7p+1)^2} W_o(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-107,8p}}{(59,7p+1)^2} \quad (2.15)$$

### Канал « $u_2 - \theta$ »

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta\theta}{\Delta u_2} = \frac{27 - 23}{70 - 60} = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{ x. p. o.} \quad (2.23)$$

Для моделі 1-го порядку

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

$$t_{0,33} = 63,6 \text{ c};$$

$$t_{0,7} = 91,45 \text{ c.}$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 63,6 - 91,45}{2} = 49,7 \text{ c} \quad (2.24)$$

$$T = \frac{91,45 - 49,7}{1,2} = 34,8 \text{ c} \quad (2.25)$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-49,7p}}{34,8p + 1} \quad (2.26)$$

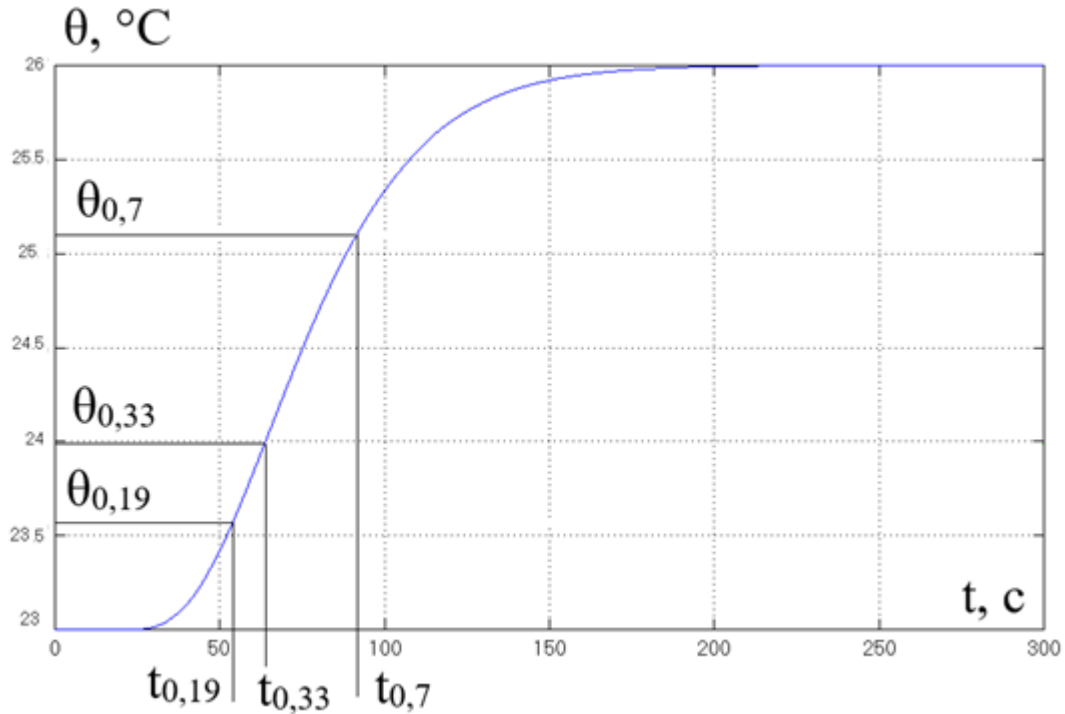


Рис. 2.6 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $u_2 - \theta$ »

Для моделі 2-го порядку

$$t_{0,19} = 53,8 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 \cdot 53,8 - 91,45}{2} = 35 \text{ с} \quad (2.27)$$

$$T = \frac{91,45 - 35}{2,4} = 23,5 \text{ с} \quad (2.28)$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-35p}}{(23,5p + 1)^2} \quad (2.29)$$

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.

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

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

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

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

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

повторах можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.7...2.9.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	$u_1$ , % х.р.о.	$u_2$ , % х.р.о.	$\theta_0$ , °С	$\theta$ , °С
1	60	60	14	23
2	70	60	12	21,5
3	80	60	10	20
4	50	60	16	24,5
5	40	60	18	26
6	60	70	14	26
7	60	80	14	29
8	60	50	14	20
9	60	40	14	17

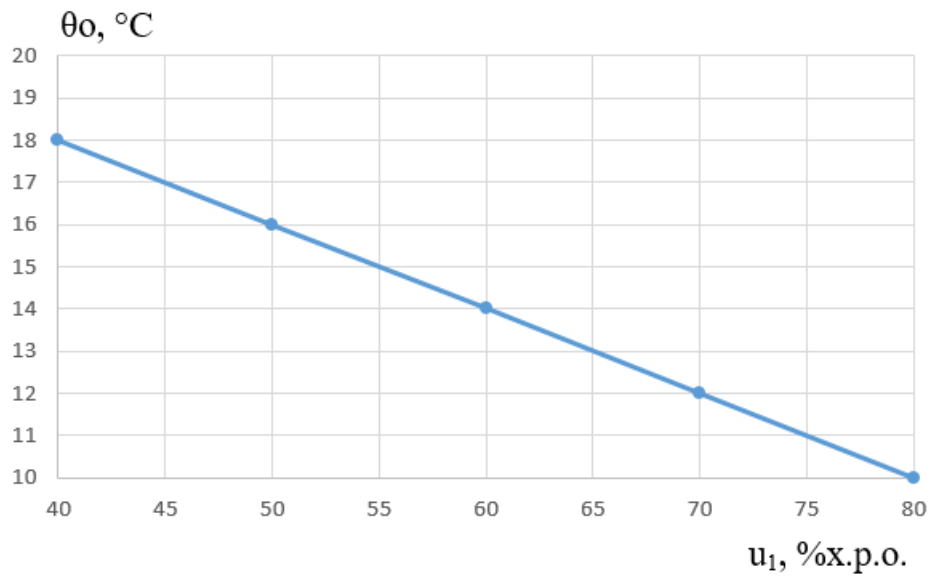


Рис. 2.7 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом « $u_1 - \theta$ »

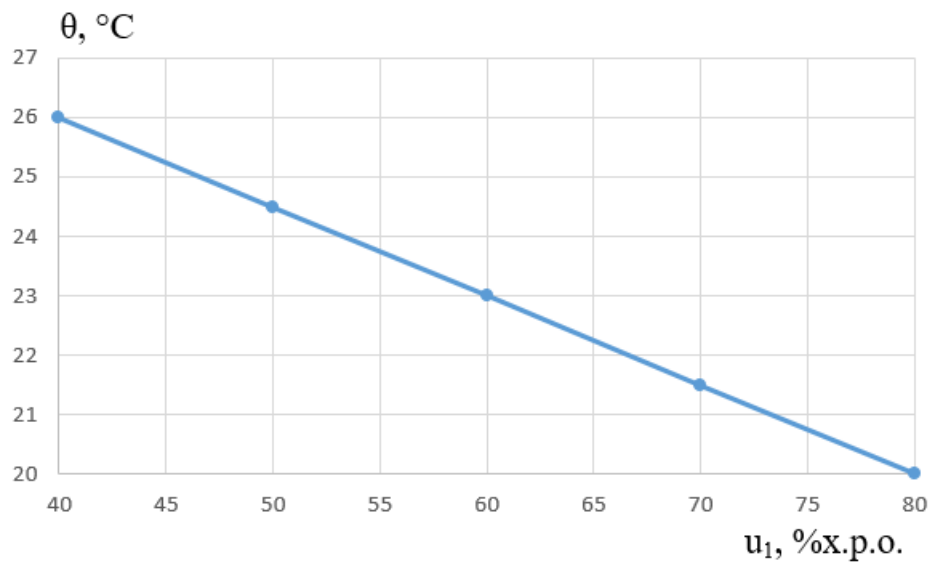


Рис. 2.8 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом « $u_1 - \theta$ »

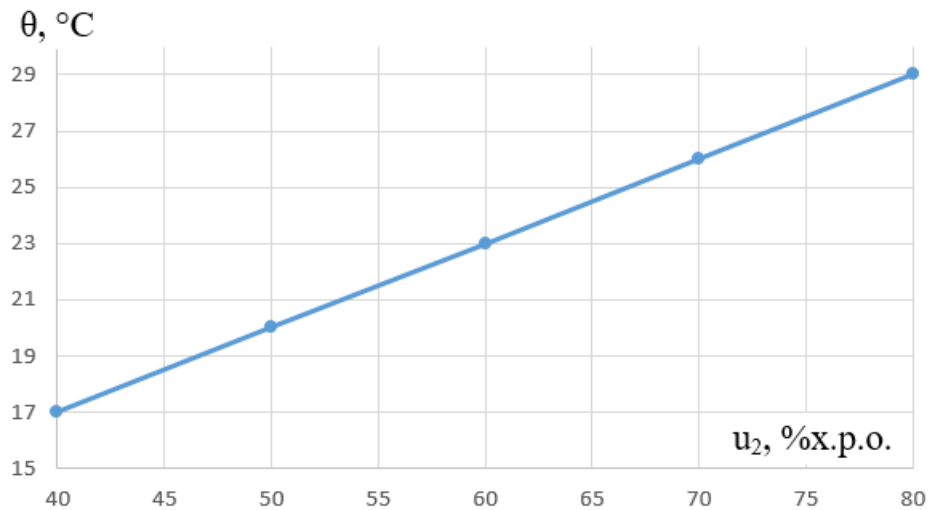


Рис. 2.9 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом « $u_2 - \theta$ »

Для досліджуваного ОК статичні характеристики можуть бути описані лінійними залежностями виду:

$$\theta_0 = a_1 \cdot u_1 + a_0 \quad (2.24)$$

$$\theta = b_1 \cdot u_1 + b_2 \cdot u_2 + b_0 \quad (2.25)$$

Параметри  $a_1$ ,  $a_2$  та  $b_1$  були визначені в процесі ідентифікації в підрозділі 2.2.

При цьому  $a_1 = -0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$ ;  $b_1 = -0,15 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$ ;  $b_2 = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$

Параметр  $a_0$  можна визначити із залежності:

$$a_0 = \theta_0 - a_1 \cdot u_1 = 14 + 0,2 \cdot 60 = 14 + 12 = 26 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Параметр  $b_0$  можна визначити із залежності:

$$b_0 = \theta - b_1 \cdot u_1 - b_2 \cdot u_2 = 23 + 0,15 \cdot 60 - 0,3 \cdot 60 = 23 + 9 - 18 = 14^\circ\text{C}.$$

Отже, статичні характеристики досліджуваного ОК будуть описані залежностями:

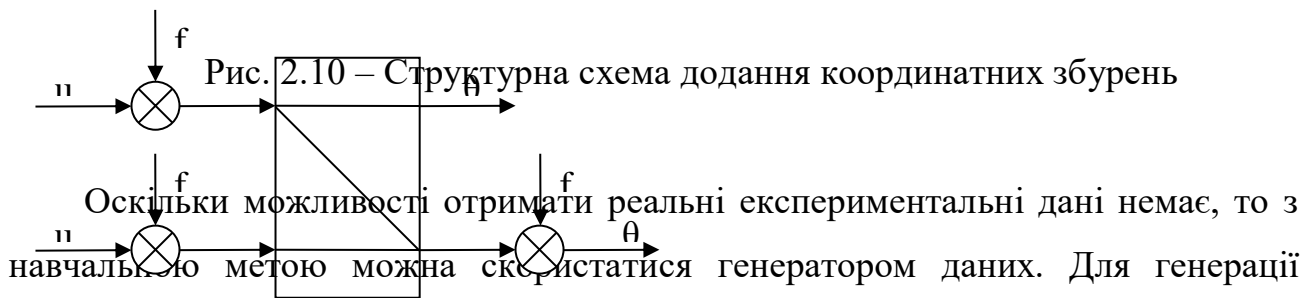
$$\theta_0 = -0,2 \cdot u_1 + 26 \quad (2.26)$$

$$\theta = -0,15 \cdot u_1 + 0,3 \cdot u_2 + 14 \quad (2.27)$$

### 2.3 Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція системи на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни управляючих дій.

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



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

1. Яким є мінімальне і задане значення регульованої координати? Для досліджуваного ОК  $\theta^{MH} = 9^{\circ}C$ ;  $\theta^{ЗД} = 23^{\circ}C$ .
2. Яким є значення і розмірність часу запізнення в каналі управління для досліджуваної регульованої координати? Для досліджуваного ОК  $\tau_0 = 61,7c$ .

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати програма rgen у середовищі Матлаб. Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованих збурень досліджуваного ОК наведені на рис. 2.11.

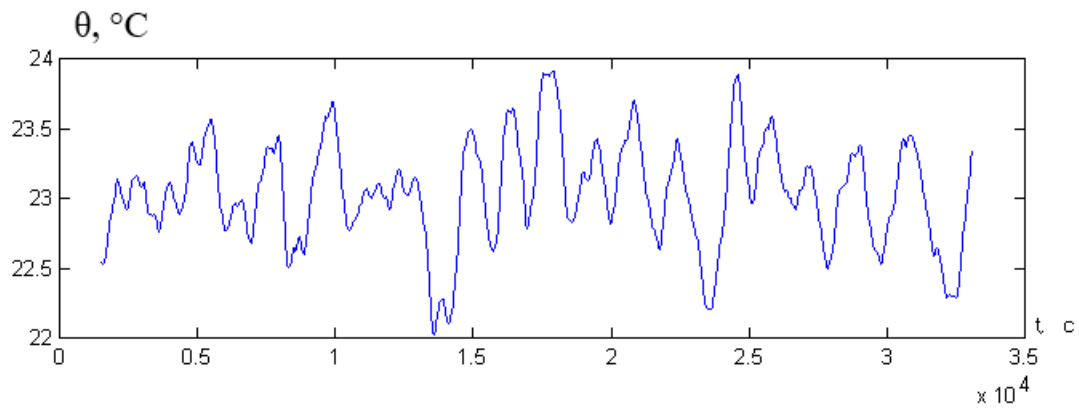
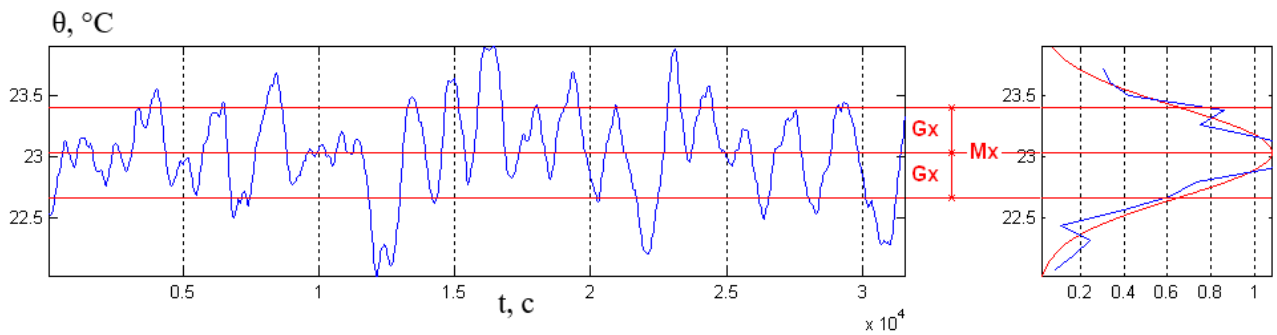


Рис. 2.11 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

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

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

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням, наведені на рис. 2.12.



**Виды моделей плотностей вероятности**

Модель №1    Модель №2    Модель №3

Модель плотности вероятности НОРМАЛЬНОГО (ГАУССОВСКОГО) случайного процесса

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

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

Выбрать текущий вид модели  $p(x)$

**Характеристики сгенерированной реализации случайного процесса  $x(t)$ :**

ИСХОДНЫЕ	
Интервал времени генерации СП	$T_p = 31590.4 \text{ с}$
Шаг квантования СП по времени генерации	$\Delta t = 30.9 \text{ с}$
Количество точек сгенерированной реализации СП	$N = 1024$
ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОЦЕНИВАНИЯ	
Оценка математического ожидания	$M_x = 23.04$
Оценка дисперсии	$D_x = 0.1363$
Оценка среднеквадратического отклонения	$G_x = 0.3692$
Оценка среднеквадратического периода	$T_{\text{скп}} = 1469 \text{ с}$
Количество среднеквадратических периодов в сгенерированной реализации СП (минимум 25...50)	$N_{\text{Тскп}} = 21.5$

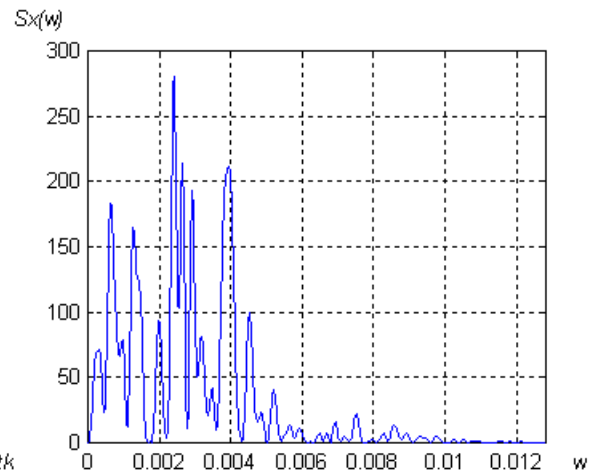
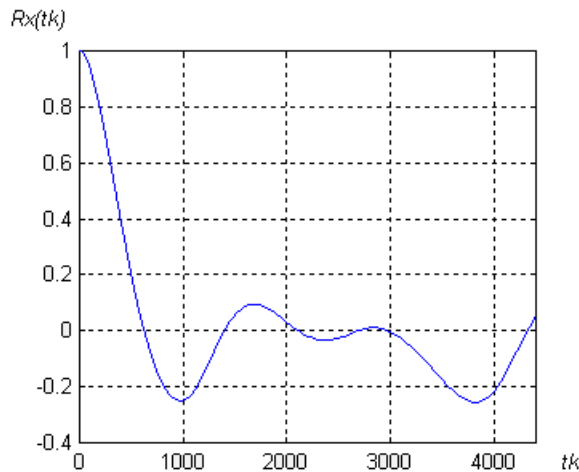


Рис. 2.12 – Результаты оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

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

$$p(f) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(f-m_f)^2}{2\sigma_f^2}} \quad (3.2)$$

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

Модель №5

$$R_f(\tau_k) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \cos(\beta \cdot |\tau_k|) \quad (3.3)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 2\alpha \cdot (\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2) + 4\alpha^2 \omega^2} \quad (3.4)$$

Модель №6

$$R_f(\tau_k) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \left( \cos(\beta \cdot |\tau_k|) + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \sin(\beta \cdot |\tau_k|) \right) \quad (3.5)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 4\alpha \cdot (\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2} \quad (3.6)$$

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

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

$$\bar{a}^* = \arg \min \left\| \hat{R}_{\bar{\gamma}}(\tau_k) - R_{\bar{\gamma}}^M(\tau_k) \right\|, \quad \bar{a} = \{\alpha, \beta\}^T. \quad (3.7)$$

Результати параметричної ідентифікації неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.13.

Номер модели	$\alpha$	$\beta$	A	C	$\gamma$	Значение критерия оптимизации
✓ 5	0.001375	0.00265	-	-	-	3.4086
✓ 6	0.0016109	0.0033375	-	-	-	2.6601

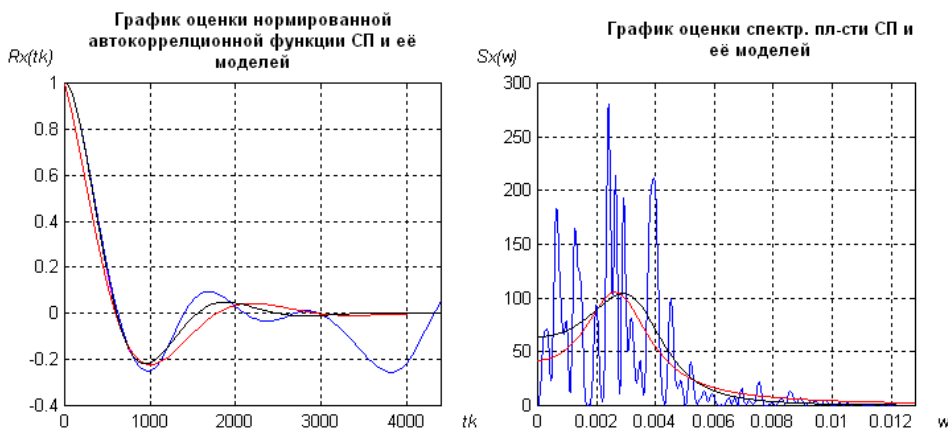


Рис. 2.13 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 3.6) кращою є модель №6, тому що для цієї моделі меншими є середньоквадратичні відхилення моделі від оцінок кореляційних функцій.

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

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналів « $u_1 - \varphi$ », « $u_1 - \theta$ », « $u_2 - \varphi$ » та « $u_2 - \theta$ » ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку. У розділі 2 було отримано параметри моделей за каналами ОК. Результати цієї ідентифікації зведено в таблицю.

Таблиця 2.2 – Результати ідентифікації моделей каналів

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
« $u_1 - \theta_0$ »	$W_o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-17p}}{13,9p + 1} \quad (2.5)$	$W_o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-11,1p}}{(9,4p + 1)^2} \quad (2.8)$
« $u_1 - \theta$ »	$W_o(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-144,8p}}{88,5p + 1}$	$W_o(p) = \frac{-0,15 * e^{-107,8p}}{(59,7p + 1)^2}$
« $u_2 - \theta$ »	$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-49,7p}}{34,8p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-35p}}{(23,5p + 1)}$

Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані для каналів « $u_1 - \theta_0$ », « $u_1 - \theta$ », « $u_2 - \theta$ » зведено в таблиці 2.3, 2.4, 2.5 відповідно. Схема моделювання для каналів « $u_1 - \theta_0$ », « $u_1 - \theta$ », « $u_2 - \theta$ » ОК наведені на рис. 2.14, 2.16 та 2.18 відповідно. Результати моделювання для каналів наведені на рис. 2.15, 2.17 та 2.19.

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані за каналом « $u_1 - \theta_0$ »

t, c	$\theta_0, ^\circ\text{C}$	t, c	$\theta_0, ^\circ\text{C}$	t, c	$\theta_0, ^\circ\text{C}$
0	14	35	12,53	70	12,011
5	14	40	12,332	75	12,006
10	13,892	45	12,1	80	12,003
15	13,832	50	12,117	85	12
20	13,524	55	12,066	90	12
25	13,15	60	12,037	95	12
30	12,805	65	12,02	100	12

Таблиця 2.4 – Експериментальні дані за каналом « $u_1 - \theta$ »

t, c	$\theta, ^\circ\text{C}$	t, c	$\theta, ^\circ\text{C}$	t, c	$\theta, ^\circ\text{C}$
0	23	150	22,04	300	21,512
25	23	175	21,82	325	21,505
50	23	200	21,678	350	21,503
75	22,92	225	21,594	375	21,5
100	22,67	250	21,548	400	21,5
125	22,34	275	21,524		

Таблиця 2.5 – Експериментальні дані за каналом « $u_2 - \theta$ »

t, c	$\theta, ^\circ\text{C}$	t, c	$\theta, ^\circ\text{C}$	t, c	$\theta, ^\circ\text{C}$
0	23	100	24,91	200	25,98
25	23	125	25,53	225	25,995
50	23,11	150	25,82	250	26
75	23,93	175	25,94	275	26

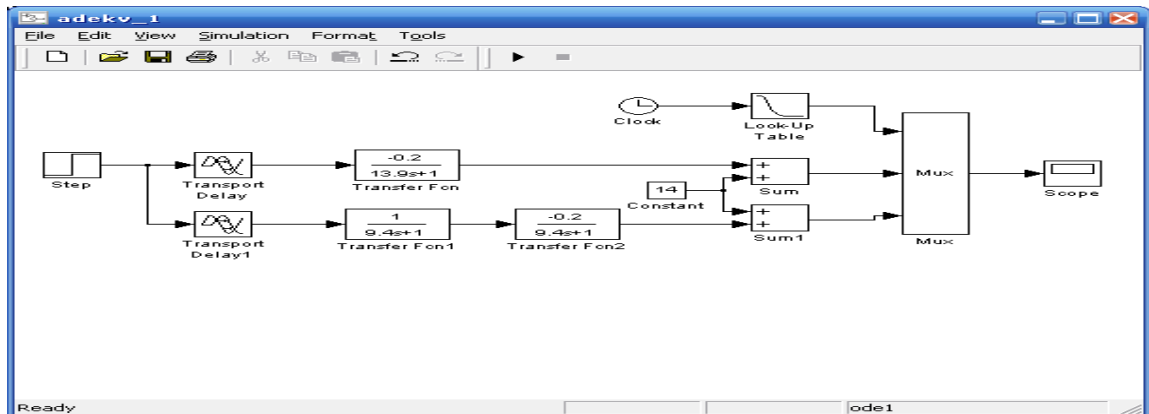


Рис. 2.14 – Схема моделювання ОК за каналом « $u_1 - \theta_0$ »

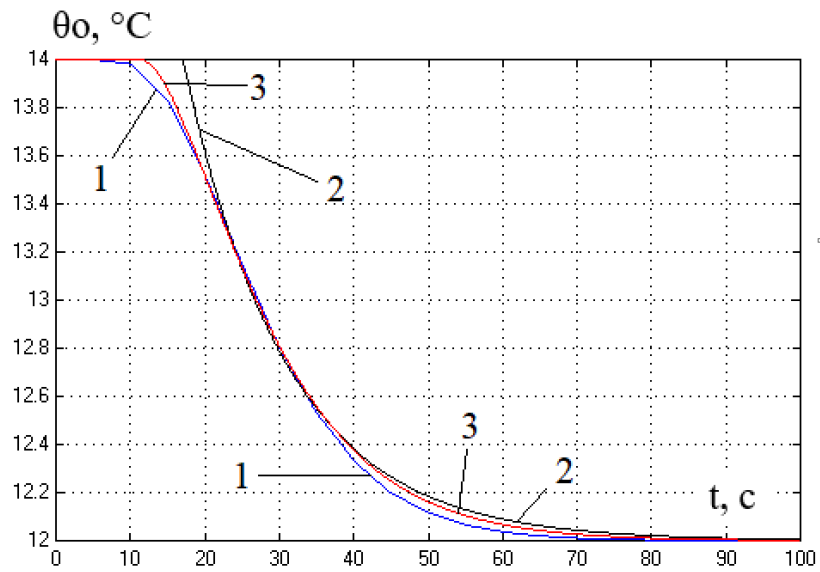


Рис. 2.15 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_1 - \theta_0$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

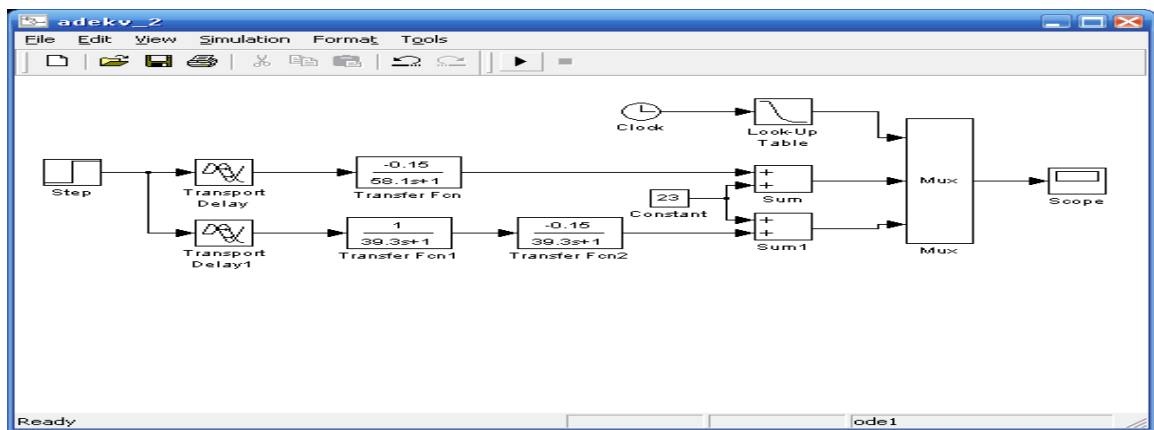


Рис. 2.16 – Схема моделювання ОК за каналом « $u_1 - \theta$ »

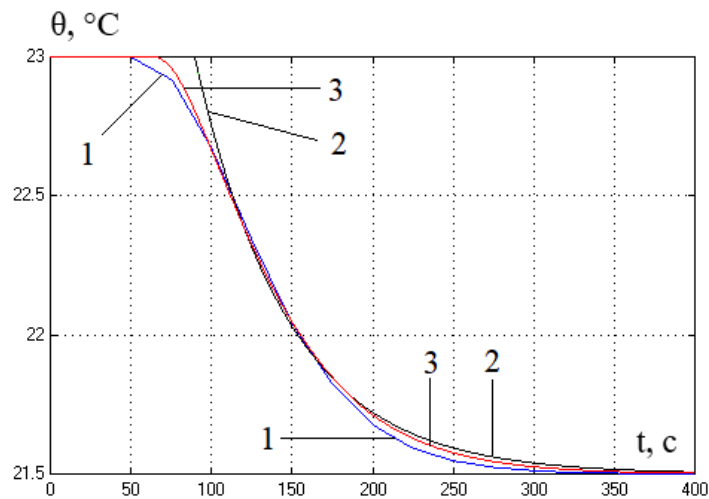


Рис. 2.17 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_1 - \theta$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

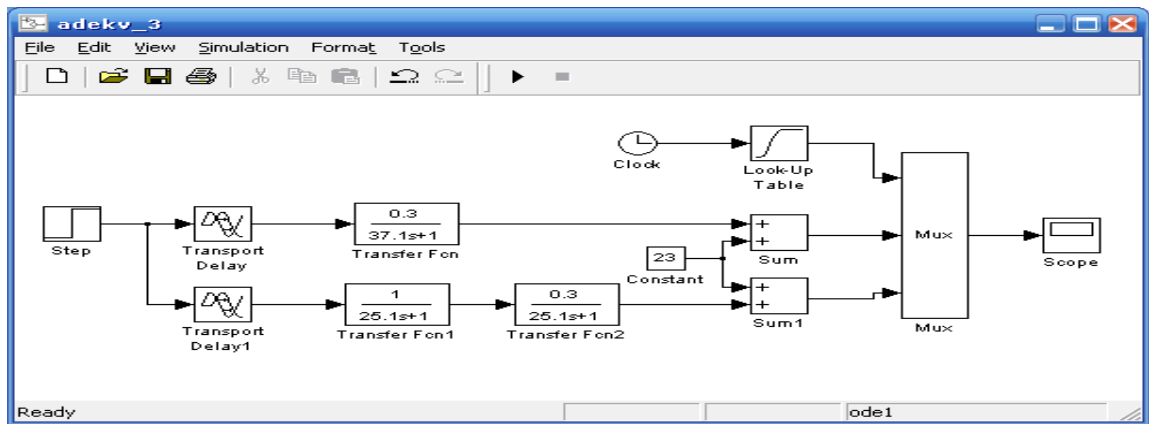


Рис. 2.18 – Схема моделювання ОК за каналом « $u_2 - \theta$ »

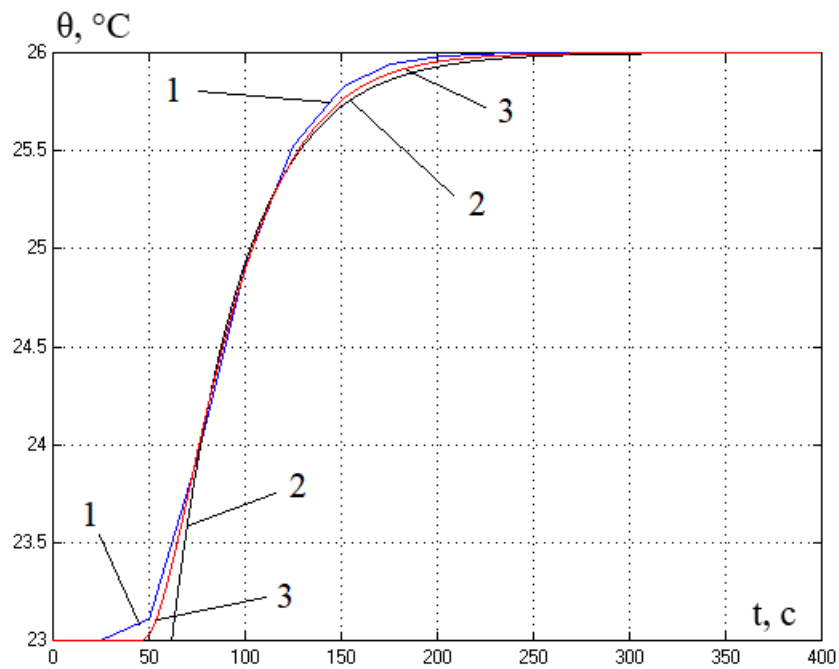


Рис. 2.19 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_2 - \theta$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

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

Моделі статичних характеристик:

$$\theta_0 = -0,2 \cdot u_1 + 26 \quad (4.1)$$

$$\theta = -0,15 \cdot u_1 + 0,3 \cdot u_2 + 14 \quad (4.2)$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделей статички наведені в

таблиці 2.1, результати розрахунків зведені в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунків моделей статичних характеристик

№ експерименту	$u_1$ , % х.р. о.	$u_2$ , % х.р. о.	$\theta_0$ , °С	$\theta$ , °С	Модель $\theta_0$ , °С	Модель $\theta$ , °С
1	60	60	14	23	14	23
2	70	60	12	21,5	12	21,5
3	80	60	10	20	10	20
4	50	60	16	24,5	16	24,5
5	40	60	18	26	18	26
6	60	70	14	26	14	26
7	60	80	14	29	14	29
8	60	50	14	20	14	20
9	60	40	14	17	14	17

Як видно із таблиці 2.6, модель абсолютно точно описує експериментальні дані, тому є підстави вважати, що ідентифікація моделей статички проведена правильно, а моделі точно описують експериментальні дані.

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки і статички каналів ОК. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК, наведена на рис. 2.20, а результати моделювання – на рис. 2.21.

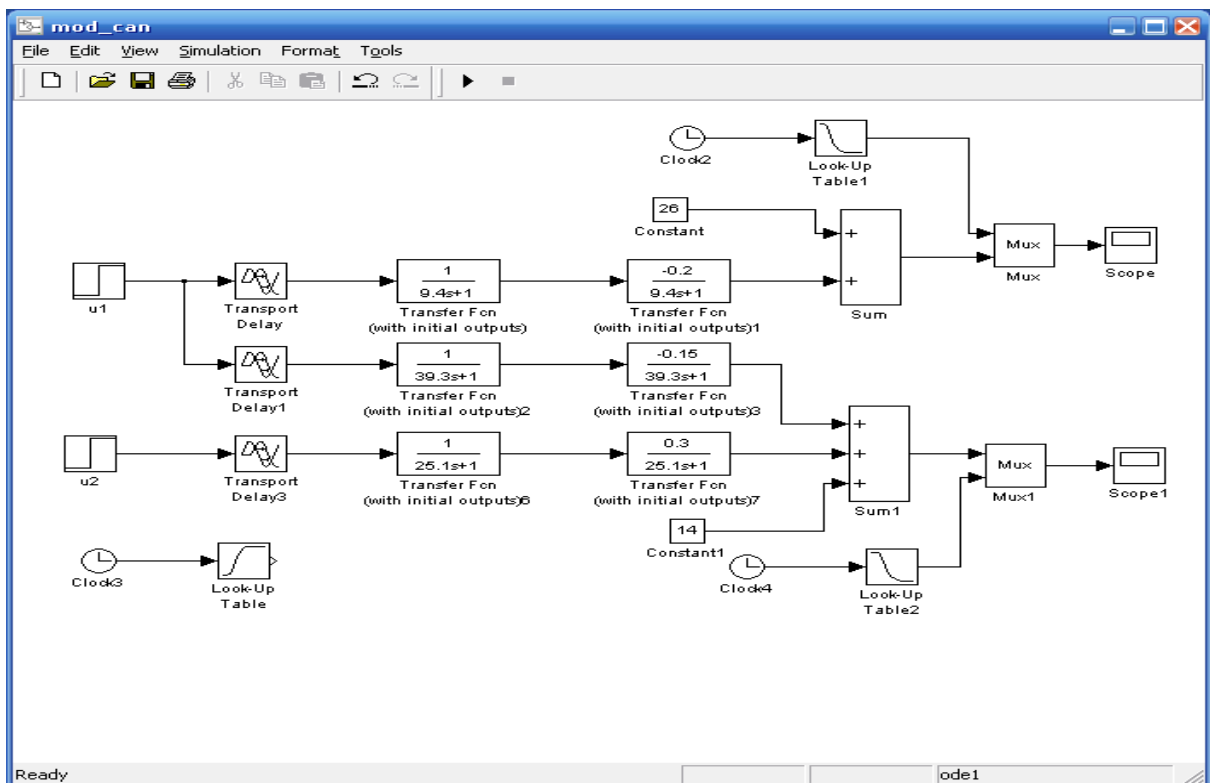


Рис. 2.20 – Схема моделювання повної моделі ОК

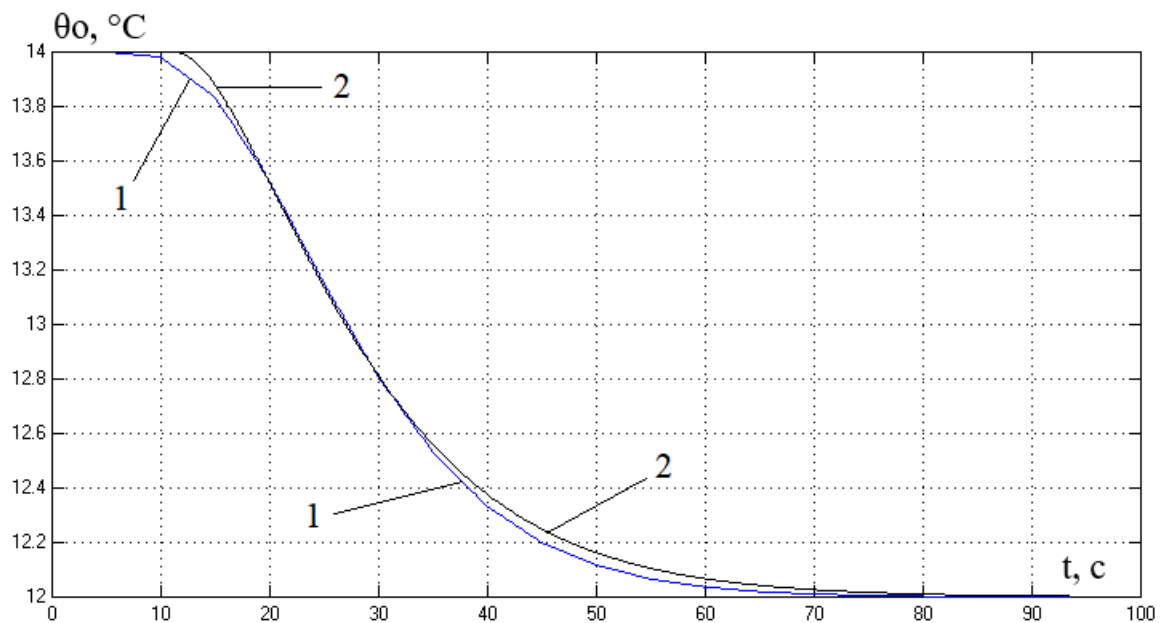


Рис. 2.21 – Результати реалізації повної моделі каналів ОК в середовищі Матлаб: 1 – експериментальні дані; 2 - модель

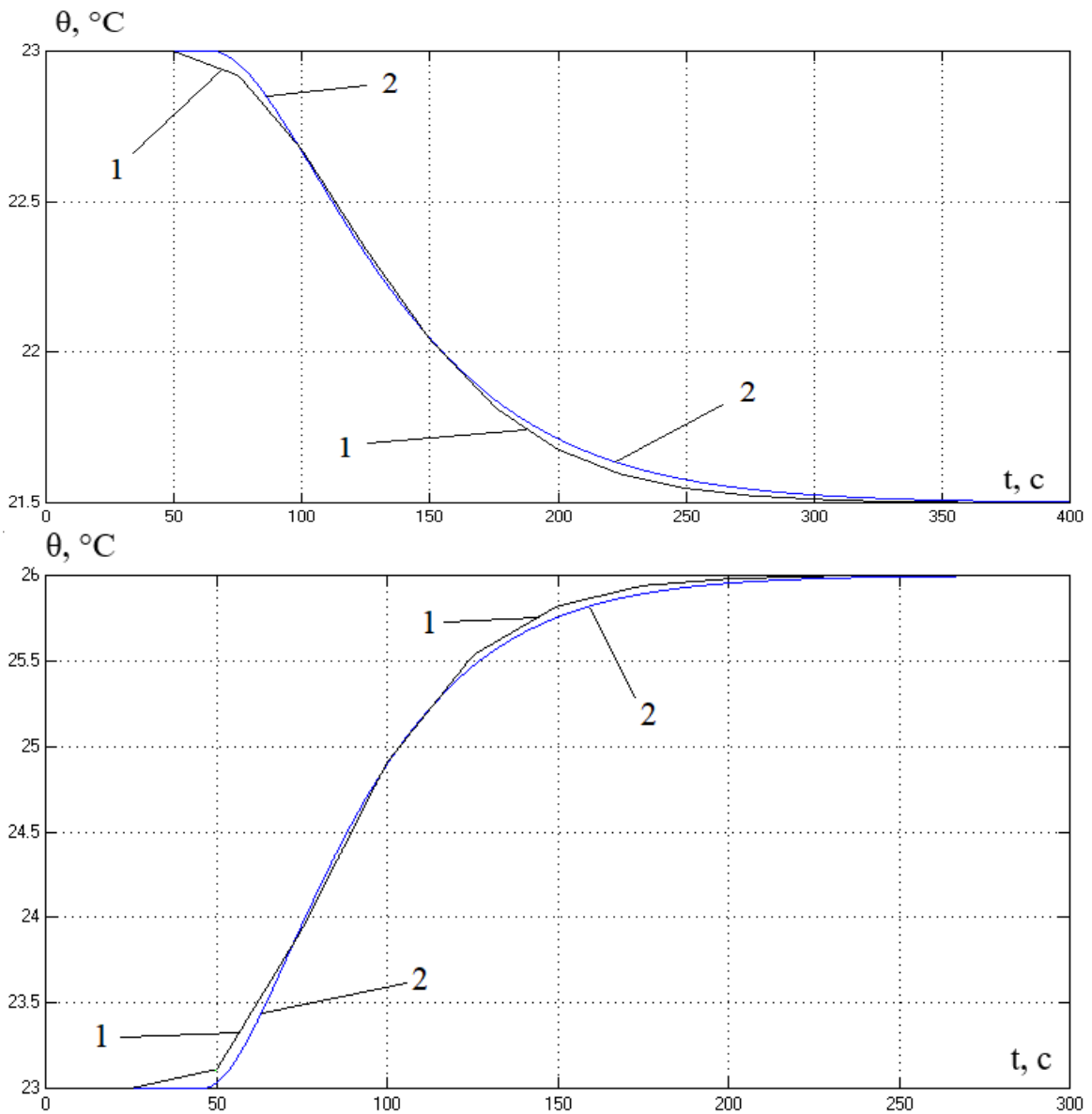
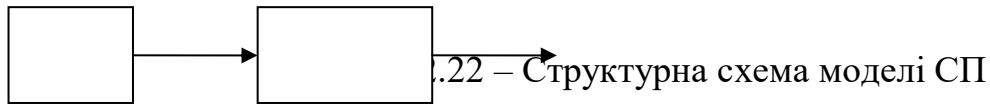


Рис. 2.21 (закінчення) – Результати реалізації повної моделі каналів ОК в середовищі Матлаб: 1 – експериментальні дані; 2 - модель

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

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



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

$$|W_{\phi\phi}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\phi\phi}(j\omega) \cdot W_{\phi\phi}(-j\omega) \quad (4.3)$$

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

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_z}{3}, \quad (4.4)$$

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

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

Для моделі №6

$$\begin{aligned}
R_f(\tau_k) &= D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \left( \cos(\beta|\tau_k|) + \frac{\alpha}{\beta} \sin(\beta|\tau_k|) \right); \\
S_f(\omega) &= \frac{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}; \\
S_f(j\omega) &= \frac{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}{(-(j)^2 \omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 - 4\alpha^2 (j)^2 \omega^2} = \\
&= \frac{\sqrt{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + \alpha^2 + 2\alpha j\omega} \cdot \frac{\sqrt{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + \alpha^2 - 2\alpha j\omega}.
\end{aligned} \tag{4.5}$$

Бачимо, що

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

А після заміни

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

Тоді

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} \tag{4.8}$$

де

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \cdot \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad \xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \tag{4.9}$$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,0020155; \beta = 0,0042386;$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{0,3956}{2} = 0,1978 \quad (4.10)$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{0,3956}{2} = 0,1978 \quad (4.10)$$

$$\Delta t_{\Gamma} = \frac{1}{(2...3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2...3) \cdot 0,0020155} = 165,4 \dots 248,1 \quad (4.11)$$

$$\Delta t_{\Gamma} = \frac{1}{(2...3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2...3) \cdot 0,0020155} = 165,4 \dots 248,1 \quad (4.11)$$

Виберемо крок генерації, рівним 200.

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_{\Gamma}}{3} = 0,1978^2 \cdot \frac{2 \cdot 200}{3} = 5,2 \quad (4.12)$$

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_{\Gamma}}{3} = 0,1978^2 \cdot \frac{2 \cdot 200}{3} = 5,2 \quad (4.12)$$

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \cdot \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{2}{5,2} \cdot \sqrt{\frac{0,1565 \cdot 0,0020155}{0,0020155^2 + 0,0042386^2}} = \frac{2}{5,2} \cdot \sqrt{\frac{0,1565 \cdot 0,0020155}{0,00000406 + 0,000018}} = 1,46 \quad (4.13)$$

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \cdot \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{2}{5,2} \cdot \sqrt{\frac{0,1565 \cdot 0,0020155}{0,0020155^2 + 0,0042386^2}} = \frac{2}{5,2} \cdot \sqrt{\frac{0,1565 \cdot 0,0020155}{0,00000406 + 0,000018}} = 1,46 \quad (4.13)$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0020155^2 + 0,0042386^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,00000406 + 0,000018}} = 212,9c$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0020155^2 + 0,0042386^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,00000406 + 0,000018}} = 212,9c$$

$$\xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,0020155}{\sqrt{0,0020155^2 + 0,0042386^2}} = \frac{0,0020155}{\sqrt{0,00000406 + 0,000018}} = 0,43 \quad (4.15)$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{1,46}{212,9^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,43 \cdot 212,9 \cdot p + 1}$$

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{1,46}{212,9^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,43 \cdot 212,9 \cdot p + 1}$$

Сигнал неконтрольованих збурень має відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 24,04$$

$$\sigma_f = 0,3956$$

$$\alpha = 0,0020155$$

$$\beta = 0,0042386$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.23.

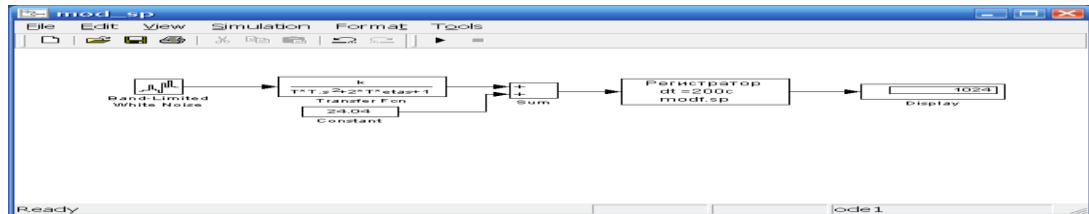


Рис. 2.23 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

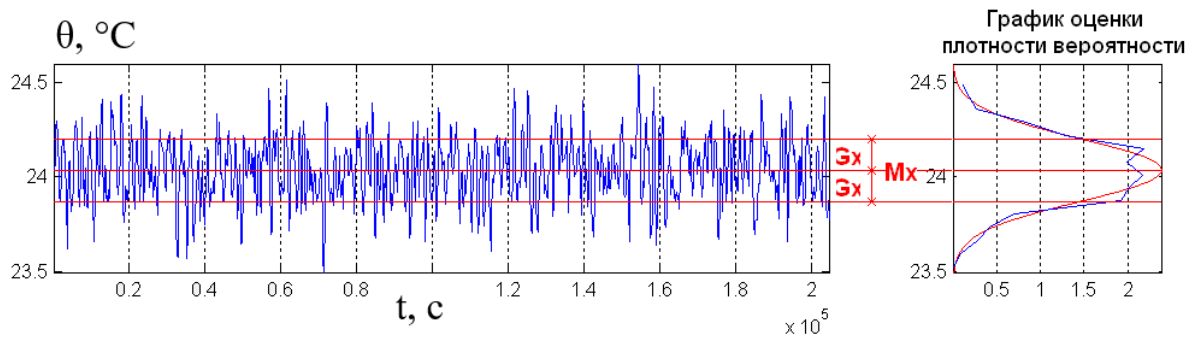
У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 5,2;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t_{\Gamma} = 200\text{с};$$

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

Результати моделювання наведені на рис. 2.24.



**Виды моделей плотностей вероятности**

Модель №1 | Модель №2 | Модель №3

Модель плотности вероятности НОРМАЛЬНОГО (ГАУССОВСКОГО) случайного процесса

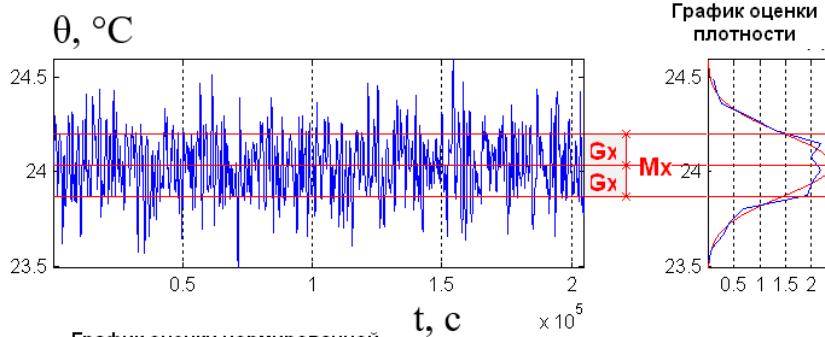
$$p(x) = \frac{1}{G_x \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x - M_x)^2}{2G_x^2}\right\}$$

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

Выбрать текущий вид модели p(x)

**Характеристики сгенерированной реализации случайного процесса x(t):**

<b>ИСХОДНЫЕ</b>	Интервал времени генерации СП	Tr = 204800 с
	Шаг квантования СП по времени генерации	Δt = 200 с
	Количество точек сгенерированной реализации СП	N = 1024
<b>ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОЦЕНИВАНИЯ</b>	Оценка математического ожидания	Mx = 24.04
	Оценка дисперсии	Dx = 0.02792
	Оценка среднеквадратического отклонения	Gx = 0.1671
	Оценка среднеквадратического периода	Tсрп = 1632 с
	Количество среднеквадратических периодов в сгенерированной реализации СП (минимум 25...50)	N <sub>Tсрп</sub> = 125.5



**Выбранные Вами модели Rx и Sx:**

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

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

Расчёт начальных приближений оптимизируемых параметров можно осуществлять используя нижеприведен. рекомендации

$\hat{\alpha}^\circ = \frac{1}{\Delta\tau_{k1}}$   
 $\hat{\beta}^\circ = \frac{2\pi}{\Delta\tau_{k2}}$

**ОПТИМИЗАЦИЯ**

**Выбор метода оптимизации**

по автокорреляционной функции

по спектральной плотности

**Настройка параметров оптимизации**

max количество шагов оптимизации	1000			
минимальное приращение критерия	0.01			
минимальное приращение аргумента	0.01			
ниж.огр.	нач.прибл.	верх.огр.	оптим.знач.	
α	0.000	0.001	0.01	0.00189
β	0.000	0.002	0.02	0.004156

факт. количество шагов оптимизации: 31

Значение критерия оптимальности	до оптим-ции	1.585
	после оптим-ции	0.1658

Сохранить | Отмена | Повтор

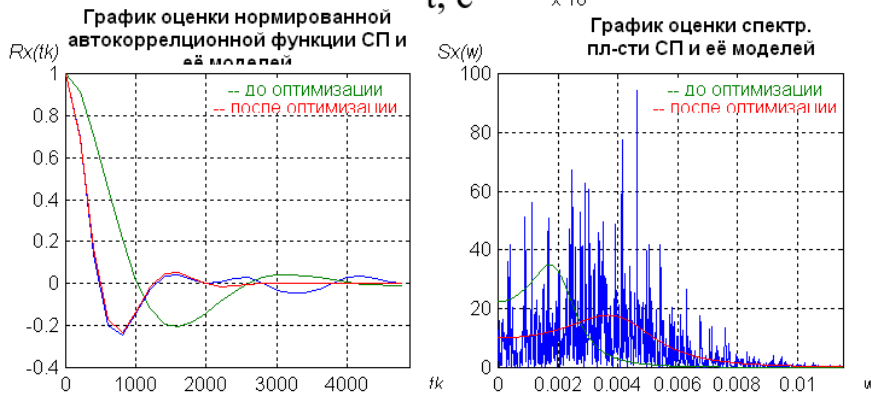


Рис. 2.24 – Результаты моделирования неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|24,04 - 24,04|}{24,04} \cdot 100\% = 0\%$$

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|24,04 - 24,04|}{24,04} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,1671 - 0,3956|}{0,1671} \cdot 100\% = 136,7\%$$

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,1671 - 0,3956|}{0,1671} \cdot 100\% = 136,7\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \widehat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,00189 - 0,0020155|}{0,00189} \cdot 100\% = 4,6\% \quad (4.19)$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \widehat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,004156 - 0,0042386|}{0,004156} \cdot 100\% = 2\% \quad (4.20)$$

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

$$k = k \cdot \frac{\widehat{\sigma}_f}{\sigma_f} = 1,46 \cdot \frac{0,3956}{0,1671} = 3,46k = k \cdot \frac{\widehat{\sigma}_f}{\sigma_f} = 1,46 \cdot \frac{0,3956}{0,1671} = 3,46$$

Після коректування коефіцієнту передачі формуючого фільтра було отримано наступні результати моделювання (рис. 2.25).

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|24,03 - 24,04|}{24,03} \cdot 100\% = 0,04\%$$

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|24,03 - 24,04|}{24,03} \cdot 100\% = 0,04\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta\sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,396 - 0,3956|}{0,396} \cdot 100\% = 0,1\%$$

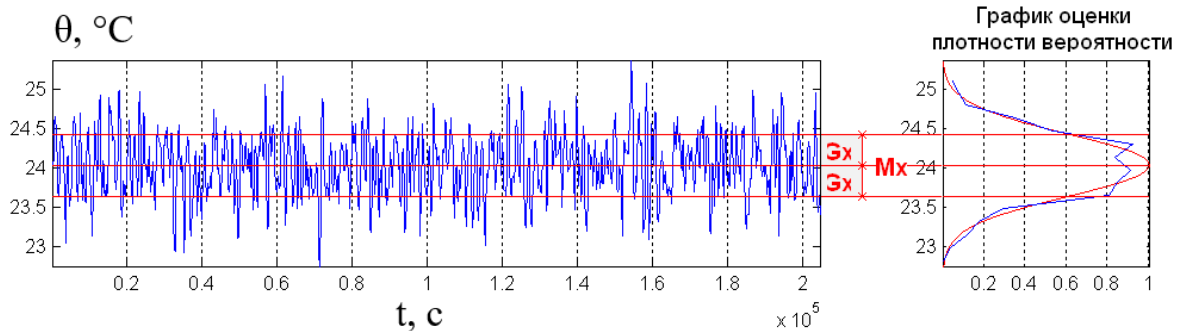
$$\Delta\sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,396 - 0,3956|}{0,396} \cdot 100\% = 0,1\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta\alpha_f = \frac{|\alpha_f - \widehat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,00189 - 0,0020155|}{0,00189} \cdot 100\% = 4,6\% \quad (4.19)$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta_f - \widehat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,004156 - 0,0042386|}{0,004156} \cdot 100\% = 2\% \quad (4.20)$$



**Виды моделей плотностей вероятности**

Модель №1 | Модель №2 | Модель №3

Модель плотности вероятности НОРМАЛЬНОГО (ГАУССОВСКОГО) случайного процесса

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

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

Выбрать текущий вид модели p(x)

Характеристики сгенерированной реализации случайного процесса x(t):	
<b>Исходные</b>	
Интервал времени генерации СП	Tr = 204800 с
Шаг квантования СП по времени генерации	Δt = 200 с
Количество точек сгенерированной реализации СП	N = 1024
<b>полученные в результате оценивания</b>	
Оценка математического ожидания	Mx = 24.03
Оценка дисперсии	Dx = 0.1568
Оценка среднеквадратического отклонения	Gx = 0.396
Оценка среднеквадратического периода	Tскп = 1632 с
Количество среднеквадратических периодов в сгенерированной реализации СП (минимум 25...50)	Nтскп = 125.5

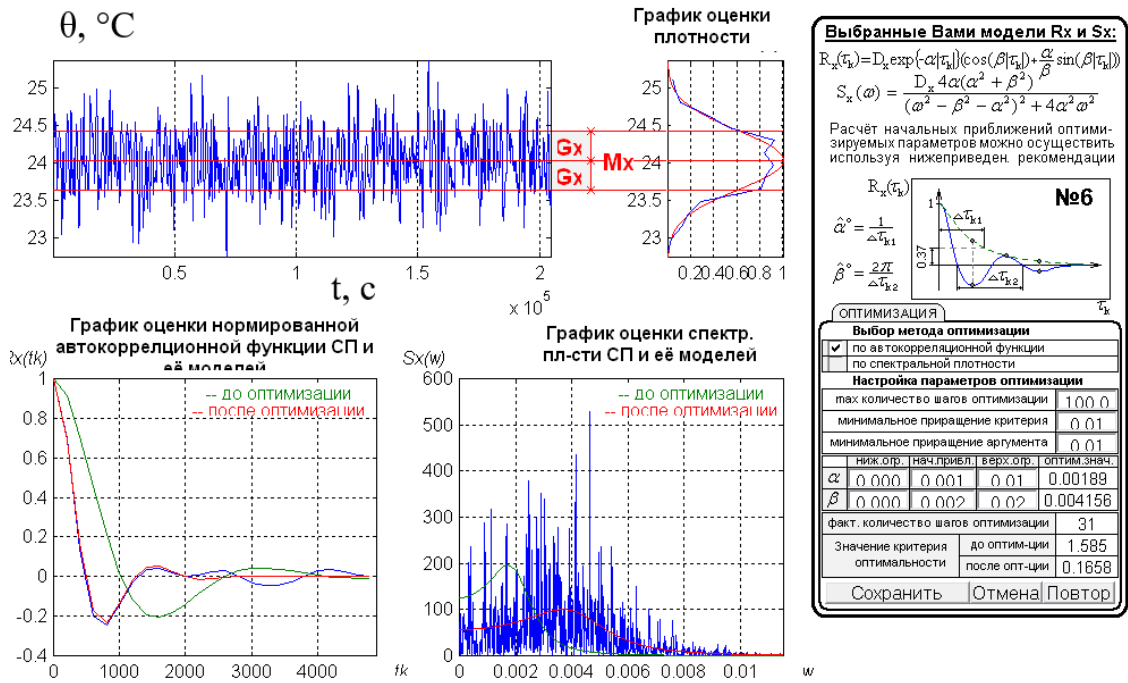


Рис. 2.25 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із відкоригованими параметрами формуючого фільтра

Отже, після коригування були отримані наступні параметри формуючого фільтра:  $k = 3,46$ ;  $T = 212,9$  с;  $\xi = 0,43$ .

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

Остаточно передаточна функція формуючого фільтра матиме вигляд:

$$W_{\text{фф}}(p) = \frac{3,46}{45326,7 + 183p + 1} \quad (4.26)$$

Схема моделювання остаточного формуючого фільтра наведена на рис. 2.26.

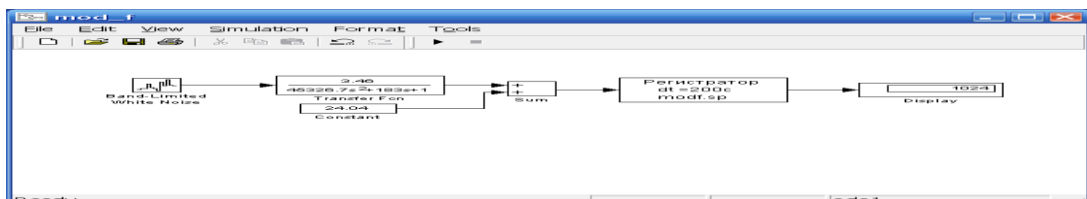


Рис. 2.26 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель неконтрольованих збурень. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.27.

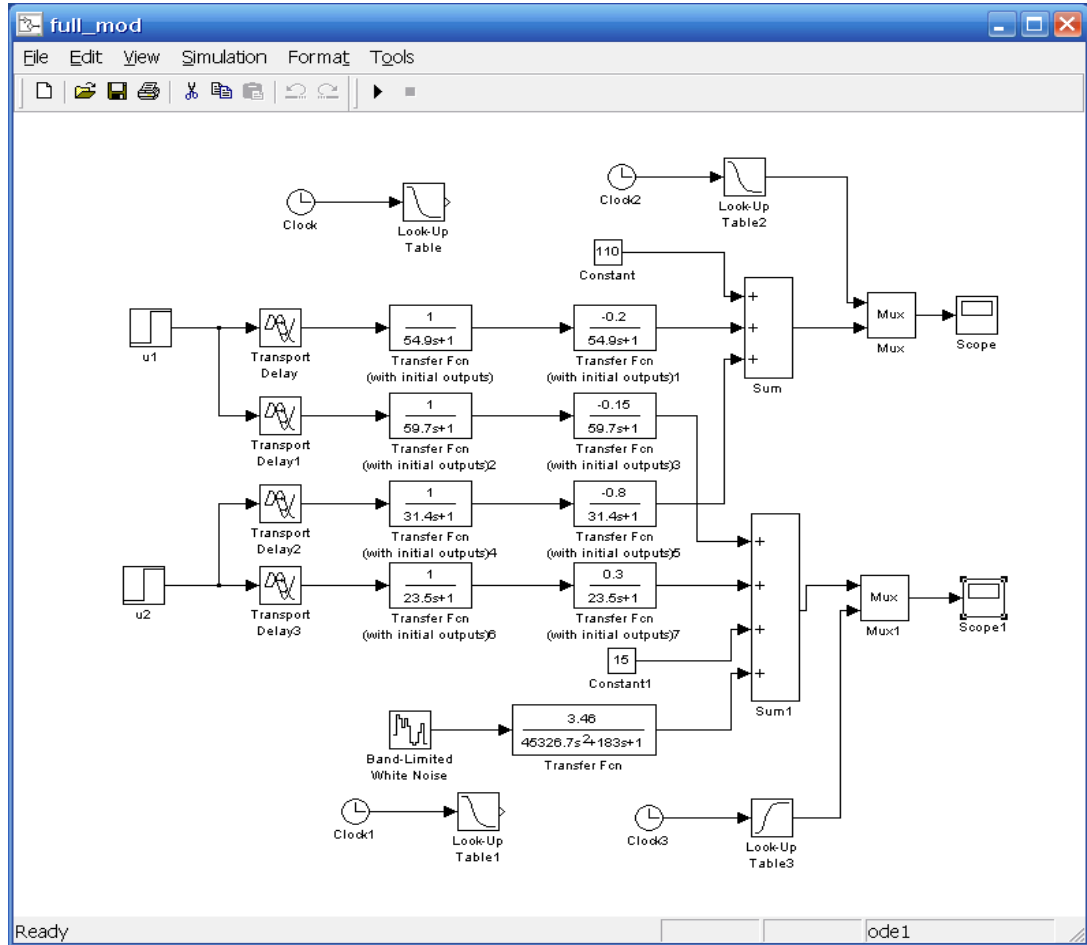


Рис. 2.27 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проведемо експерименти з повною моделлю ОК. Результати експерименту в результаті дії збурень тільки детермінованого характеру наведені на рис. 2.28, в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень – на рис. 2.29.

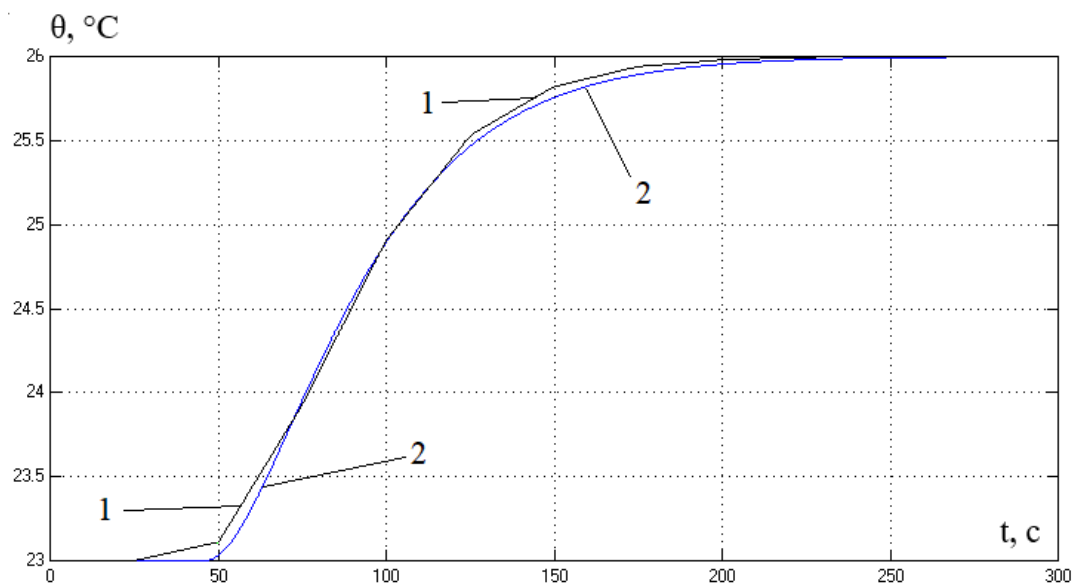
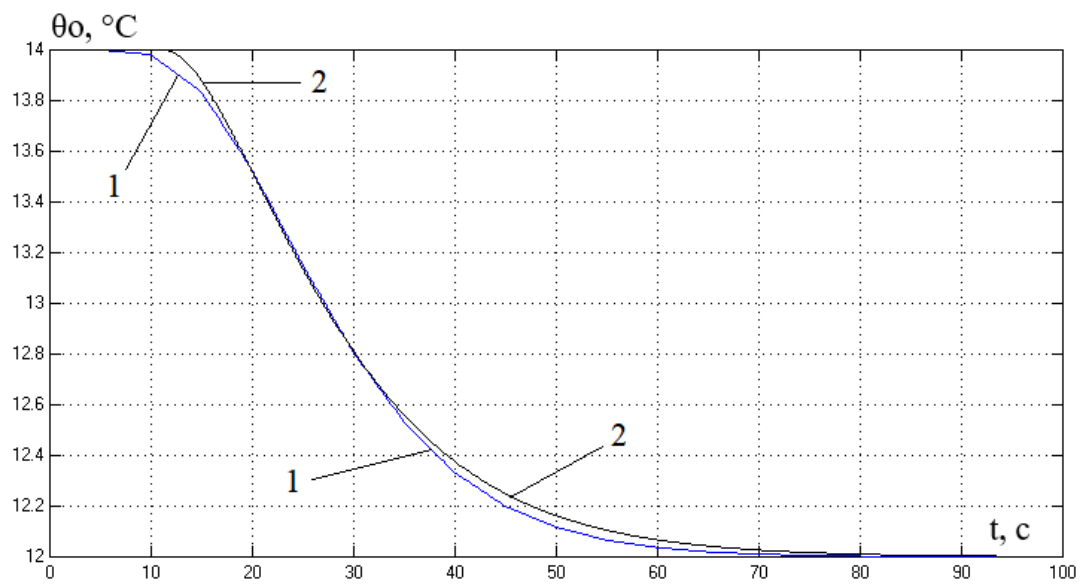


Рис. 2.28 – Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб: 1 – експериментальні дані; 2 – модель

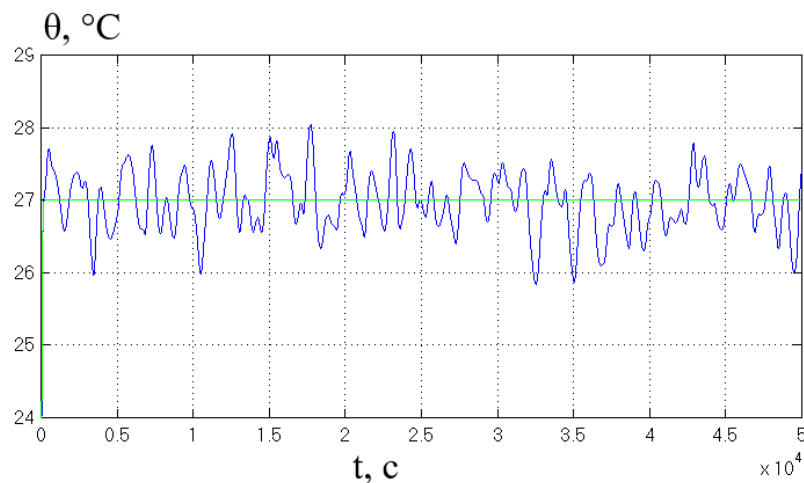


Рис. 2.29 – Результати реалізації повної моделі ОК в умовах дії неконтрольованих збурень випадкового характеру

## 2.5 Висновки за розділом

Якісна реалізація технологічного процесу кондиціонування повітря в приміщенні залежить від точності підтримки режимного параметра: температур охолодження та підігрівання повітря.

За усіма каналах об'єкт має статичні властивості і найбільш точно може бути описаний моделями другого порядку. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії, для параметричної ідентифікації моделей каналу управління застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку. Ідентифікація моделі каналу контрольованого збурення ОК, проводилася статистичними методи. Статистичними методами була отримана модель стохастичної складової контрольованого та неконтрольованих збурень.

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

Далі ця модель була використана для синтезу САР базової структури, а потім

і підвищеної динамічної точності.

## **РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР**

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

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

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкту керування ( $\varphi$  та  $\theta$ ) на їх заданих значеннях ( $\varphi^{здн}$  та  $\theta^{здн}$ ) - задача регулювання.
- пристосування в процесі роботи об'єкту управління до його змінних властивостей - задача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - задача оптимізації;
- забезпечити ввімкнення і вимкнення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із завдань управління.

Для завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу кондиціонування повітря необхідно регулювати відносну вологість  $\varphi$  та температуру  $\theta$  кондиціонованого повітря.

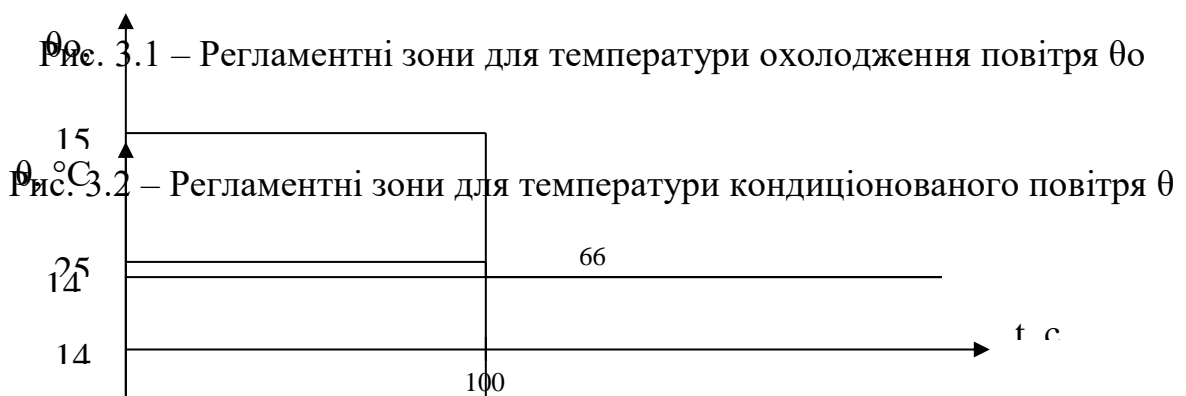
Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його змінних властивостей, заданим. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи 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 енергії (холодагенту та гарячої води).

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

Відповідно до нормативів ведення технологічного процесу (див. табл. 2.1) температура охолодження повітря  $\theta_0$  має підтримуватися на рівні  $14^{\circ}\text{C}$  з точністю  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . За цим параметром припустимі короточасні відхилення до  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  протягом часу не більше 100 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.1. Температура кондиціонованого повітря  $\theta$  має підтримуватися на рівні  $23^{\circ}\text{C}$  з точністю  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . За цим параметром припустимі короточасні відхилення до  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  протягом часу не більше 250 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.2.



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

$$J = \int_0^{t_M} \left[ |\Delta\theta_0(t)| + \frac{|\Delta\theta(t)|}{2} \right] dt \quad (5.1)$$

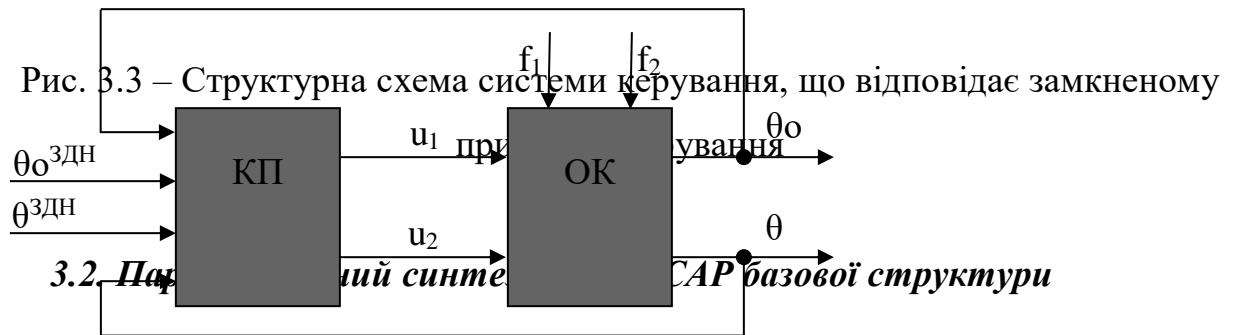
де  $t_M$  – час моделювання;

$\Delta\theta_0(t)$ ,  $\Delta\theta(t)$  – помилки регулювання температури охолодженого та кондиціонованого повітря.

Основу 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 кондиціонування повітря доступною, крім інформації про бажаний стан ОК ( $\varphi^{ЗДН}$ ,  $\theta^{ЗДН}$ ), є інформація про поточний стан ОК

( $\varphi$ ,  $\theta$ ). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу ( $u_1$ ,  $u_2$ ) достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР відносної вологості та температури кондиціонованого повітря базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.3.



Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.3), структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

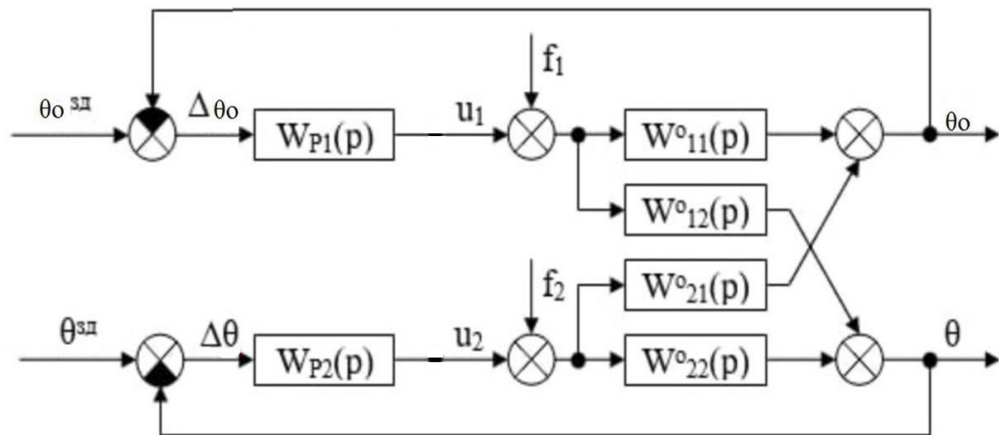


Рис. 3.4 – Структурна схема САР процесу кондиціонування повітря базової структури

На рисунку:

$u_1$  – положення регулюючого органу подачі холодагенту;

$u_2$  – положення регулюючого органу подачі гарячої води;

$\varphi$  – відносна вологість кондиціонованого повітря;

$\theta$  – температура кондиціонованого повітря;  
 $\theta_o^{3DH}$  – задане значення температури охолодження повітря;  
 $\theta^{3DH}$  – задане значення температури кондиціонованого повітря;  
 $\Delta\varphi$  – помилка регулювання температури охолодження повітря;  
 $\Delta\theta$  – помилка регулювання температури кондиціонованого повітря;  
 $f_1, f_2$  – вектори неконтрольованих збурень;  
 $W_{P1}(p)$  – передаточна функція регулятора температури охолодження повітря;  
 $W_{P2}(p)$  – передаточна функція регулятора температури кондиціонованого повітря.

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p}\right) \quad (6.2)$$

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + T_{yIP}p\right) \quad (6.4)$$

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

### **Регулятор температури охолодження повітря.**

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-17p}}{13,9p + 1} \quad (6.5)$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = 0,8 \cdot T_o / (K_o \cdot \tau_o) = 0,8 \cdot 13,9 / (-0,2 \cdot 17) = - 3,3 \text{ \%х.р.о.} / \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_{\text{ІЗ}} = 2,5 \cdot \tau_0 = 2,5 \cdot 17 = 42,5 \text{ с.}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_P = 1,0 \cdot T_0 / (K_0 \cdot \tau_0) = 1,0 \cdot 13,9 / (-0,2 \cdot 17) = -4,1 \text{ \%х.р.о. / \%};$$

$$T_{\text{ІЗ}} = 2,0 \cdot \tau_0 = 2,0 \cdot 17 = 34 \text{ с};$$

$$T_{\text{УП}} = 0,5 \cdot \tau_0 = 8,5 \text{ с.}$$

**Регулятор температури кондиціонованого повітря.**

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-49,7p}}{34,8p + 1} \quad (6.6)$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_P = 0,8 \cdot T_0 / (K_0 \cdot \tau_0) = 0,8 \cdot 34,8 / (0,3 \cdot 49,7) = 1,9 \text{ \%х.р.о. / } ^\circ\text{C};$$

$$T_{\text{ІЗ}} = 2,5 \cdot \tau_0 = 2,5 \cdot 49,7 = 124,3 \text{ с.}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_P = 1,0 \cdot T_0 / (K_0 \cdot \tau_0) = 1,0 \cdot 34,8 / (0,3 \cdot 49,7) = 2,3 \text{ \%х.р.о. / } ^\circ\text{C};$$

$$T_{\text{ІЗ}} = 2,0 \cdot \tau_0 = 2,0 \cdot 49,7 = 99,4 \text{ с};$$

$$T_{\text{пр}} = 0,5 \cdot \tau_0 = 25 \text{ с.}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР температур охолодження та підігрівання повітря з ПІ-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.5. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів наведені на рис. 3.6.

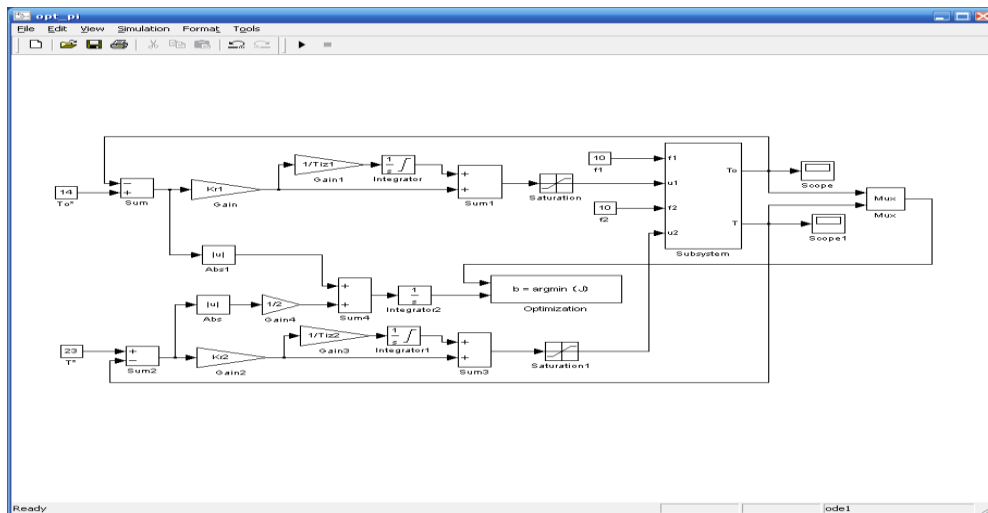
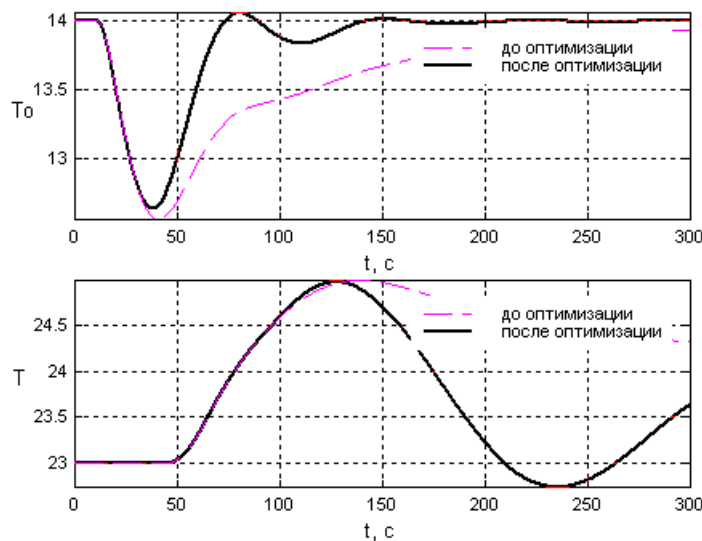


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	-4.6028	-20	-3.3	0	до - 308.8255
Tiz1	22.9096	1	42.5	300	после - 155.4542
Kr2	4.2142	0	1.6	20	Количество шагов процедуры оптимизации:
Tiz2	109.115	1	154.3	300	
					фактическое - 365

Рис. 3.6 – Результаты оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів

Для оптимального параметричного синтезу САР температур охолодження та підігрівання повітря з ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну

схему моделювання, наведену на рисунку 3.7. Результати оптимізації налаштувань ПД-регуляторів наведені на рисунку 3.8.

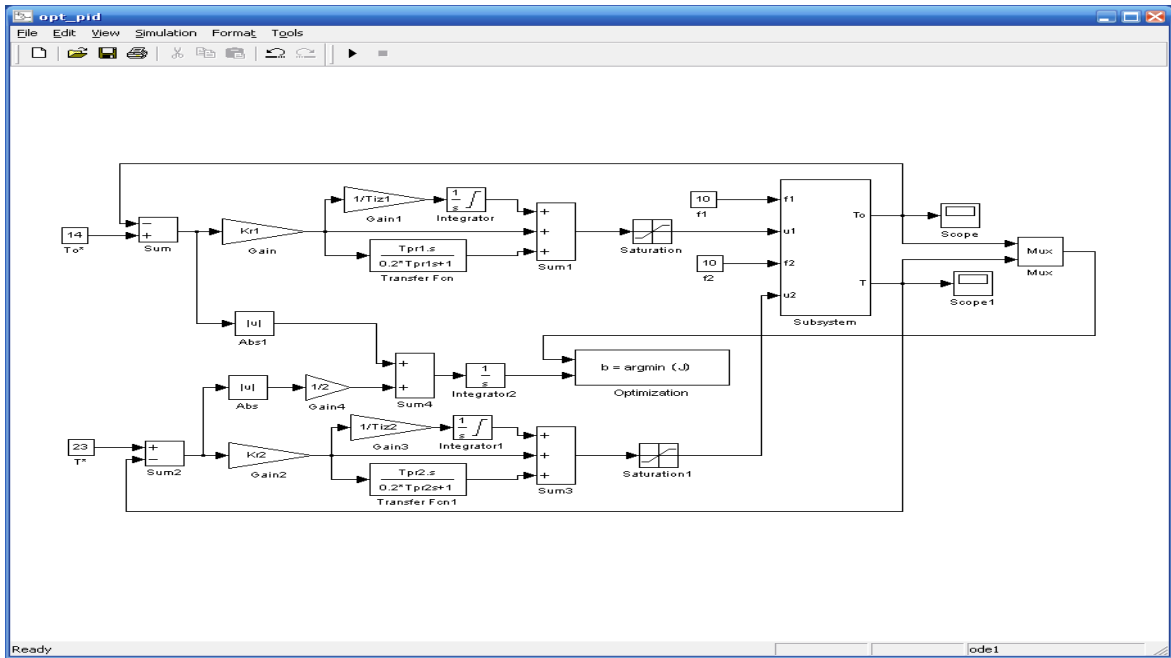
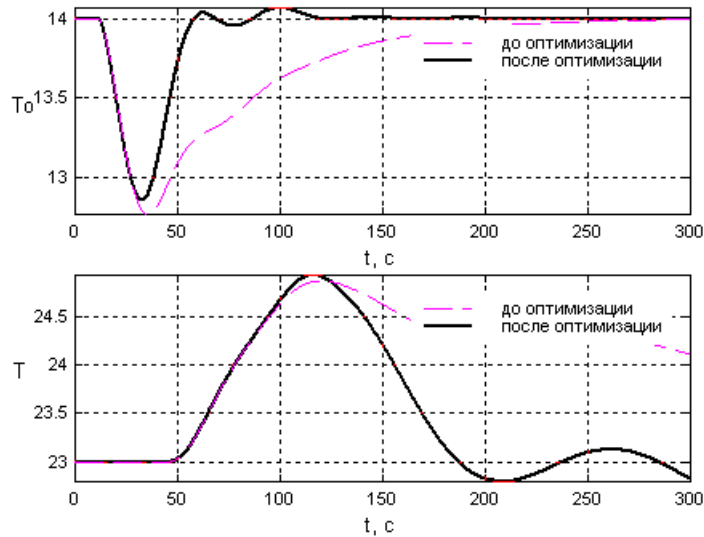


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПД-регуляторів



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	-6.6904	-20	-4.1	0	до - 248.0863
Tiz1	18.002	1	34	300	після - 110.8447
Tpr1	7.0928	0	8.5	50	оптимізації.
Kr2	3.1428	0	2	20	Количество шагов
Tiz2	40.2341	1	123.4	300	процедуры оптимізації:
Tpr2	38.4313	0	30.9	100	максимальное - 1000
					фактическое - 963

Рис. 3.8 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.9. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регуляторами наведена на рис. 6.10, а САР з ПІД-регуляторами – на рис. 6.11. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 6.12 і в таблиці 6.3.

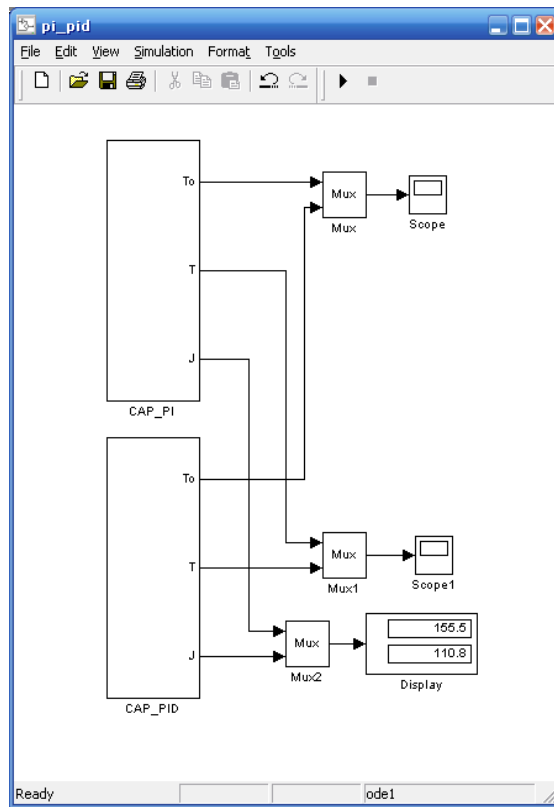


Рис. 3.9 – Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

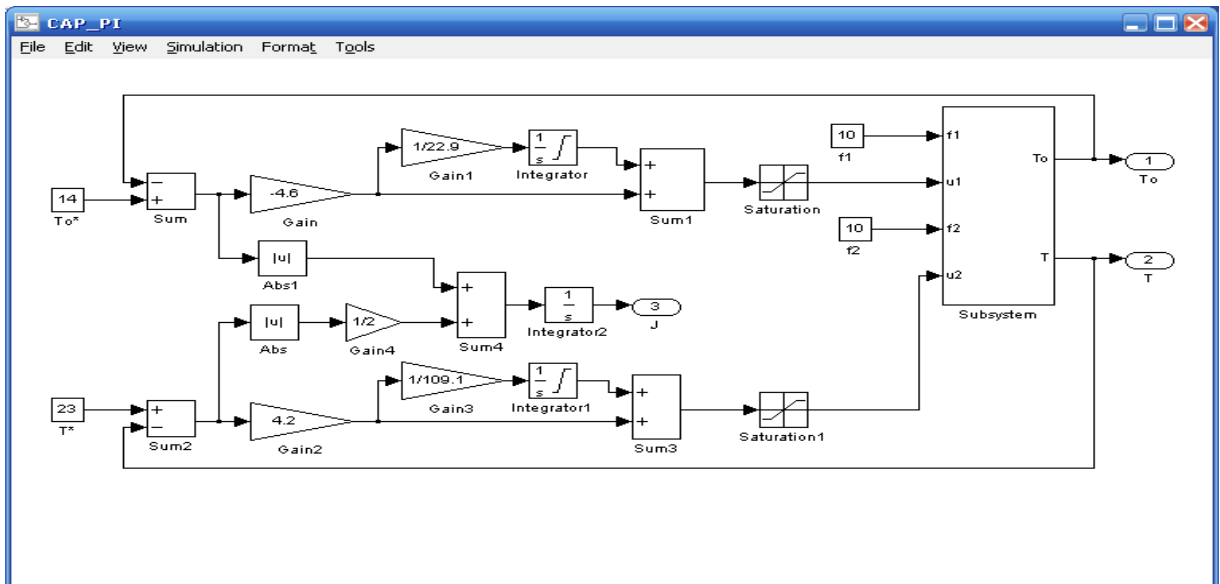


Рис. 3.10 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регуляторами

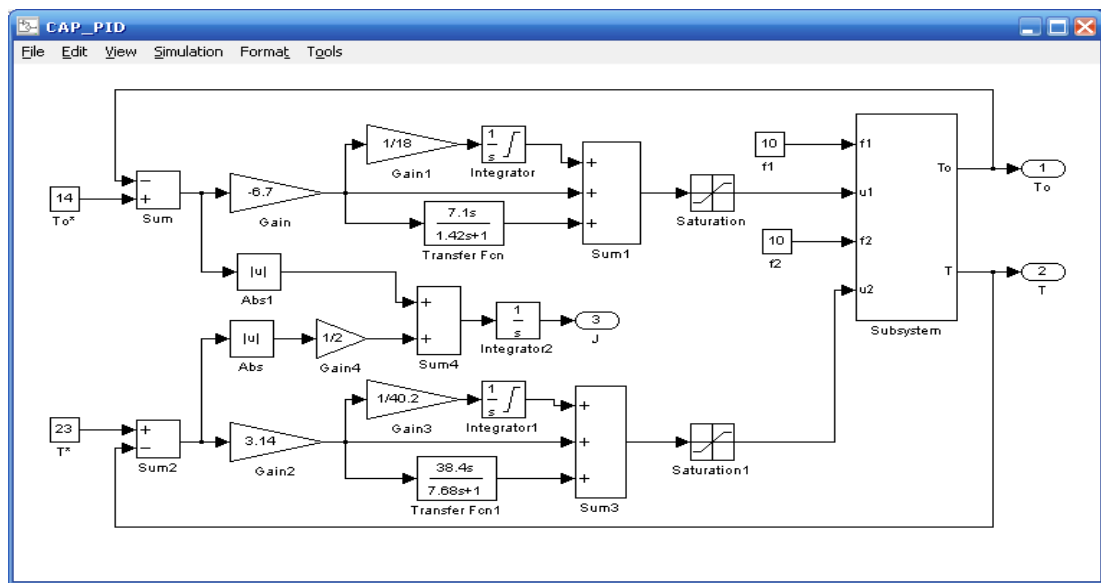


Рис. 3.11 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регуляторами

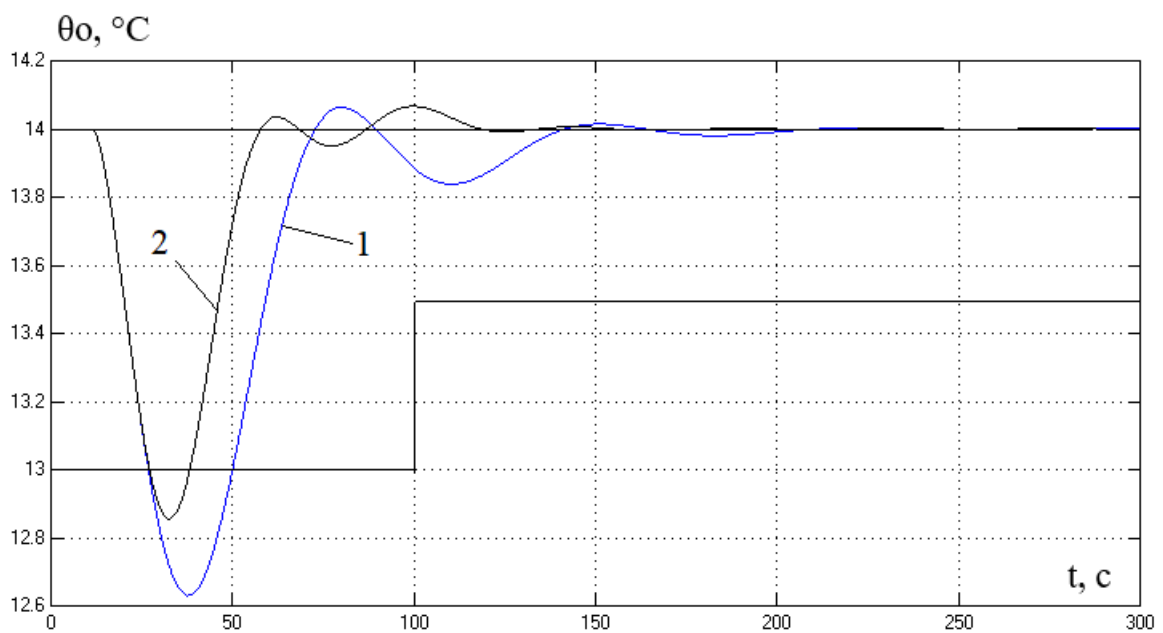


Рис. 3.12 – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регуляторами; 2 – САР з ПІД-регуляторами

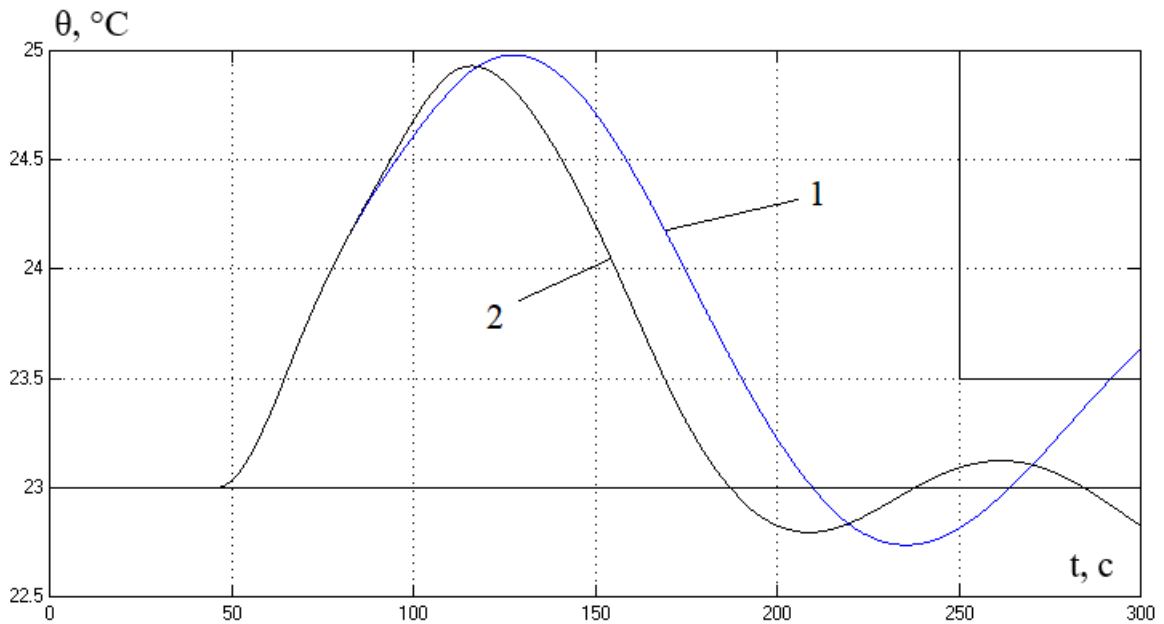


Рис. 3.12 (закінчення) – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регуляторами; 2 – САР з ПІД-регуляторами.

Таблиця 3.1 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta\theta^{\text{МАКС}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{ с}$	$\Delta\theta^{\text{МАКС}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп2}}, \text{ с}$	
ПІ	1,37	59	2	367	155,5
ПІД	1,14	46,3	1,93	169	110,8

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

В процесі роботи установки 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  $10\% \times \text{р.о.}$

Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість наведені вище на рис. 3.10 та 3.11.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.13, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.14. Як видно з результатів, САР з ПІ-регуляторами та з ПІД-регулятором є грубими.

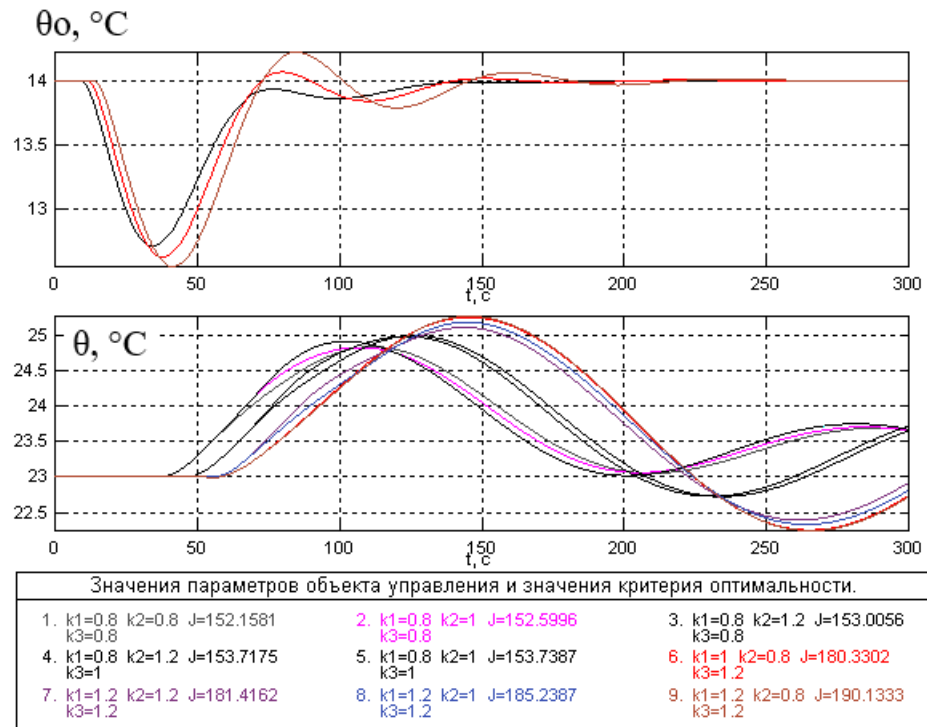


Рис. 3.13 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регуляторами

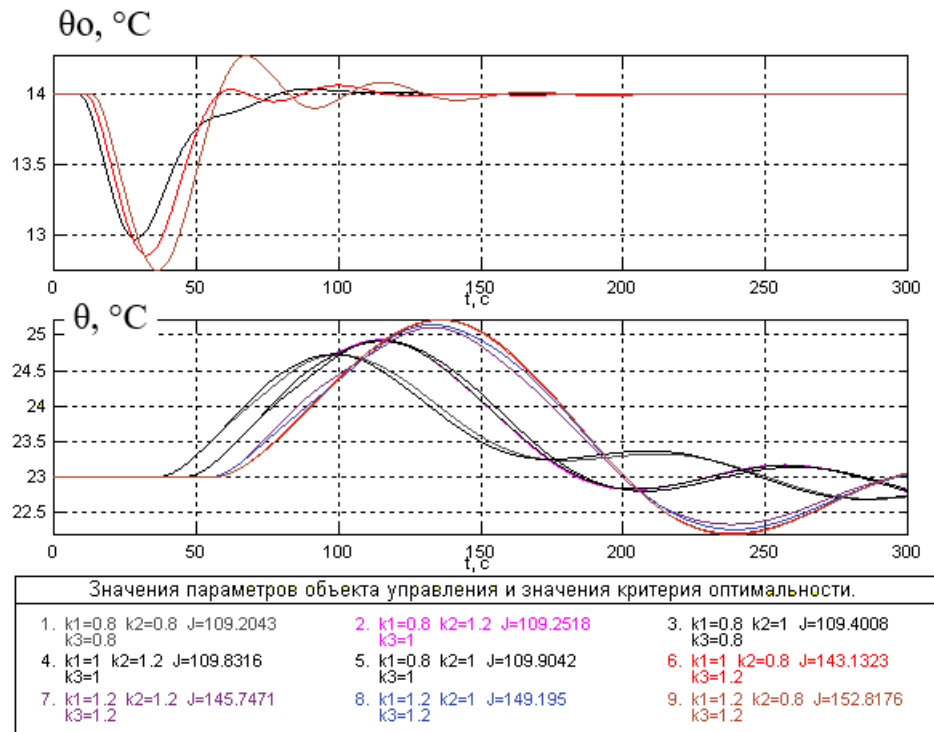


Рис. 3.14 - Аналіз на грубість САР з ПД-регуляторами

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

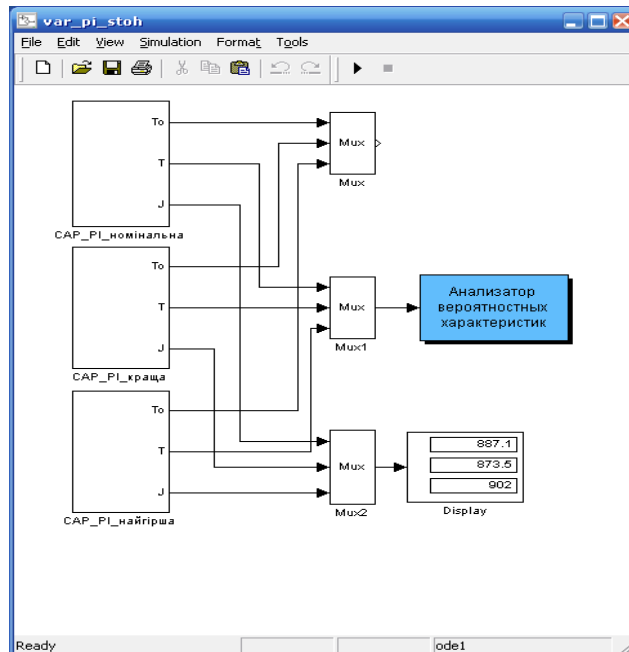


Рис. 3.15 - Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором для оцінки грубісті у сталих режимах

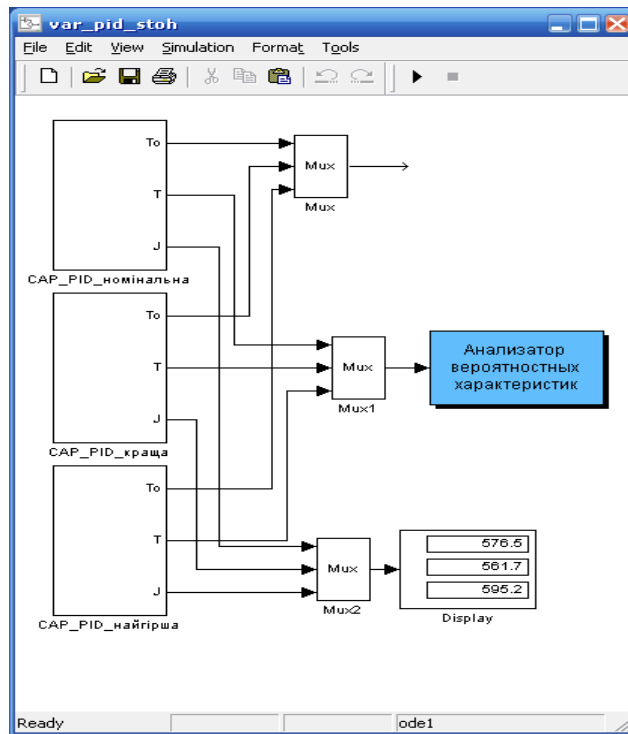


Рис. 3.16 - Структурна схема моделювання CAP з ПІД-регулятором для оцінки  
грубості у сталих режимах

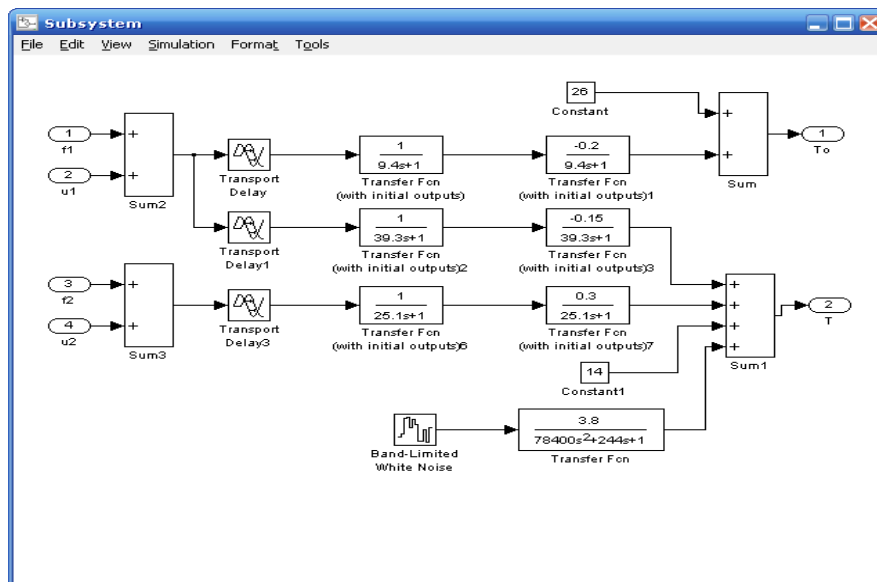
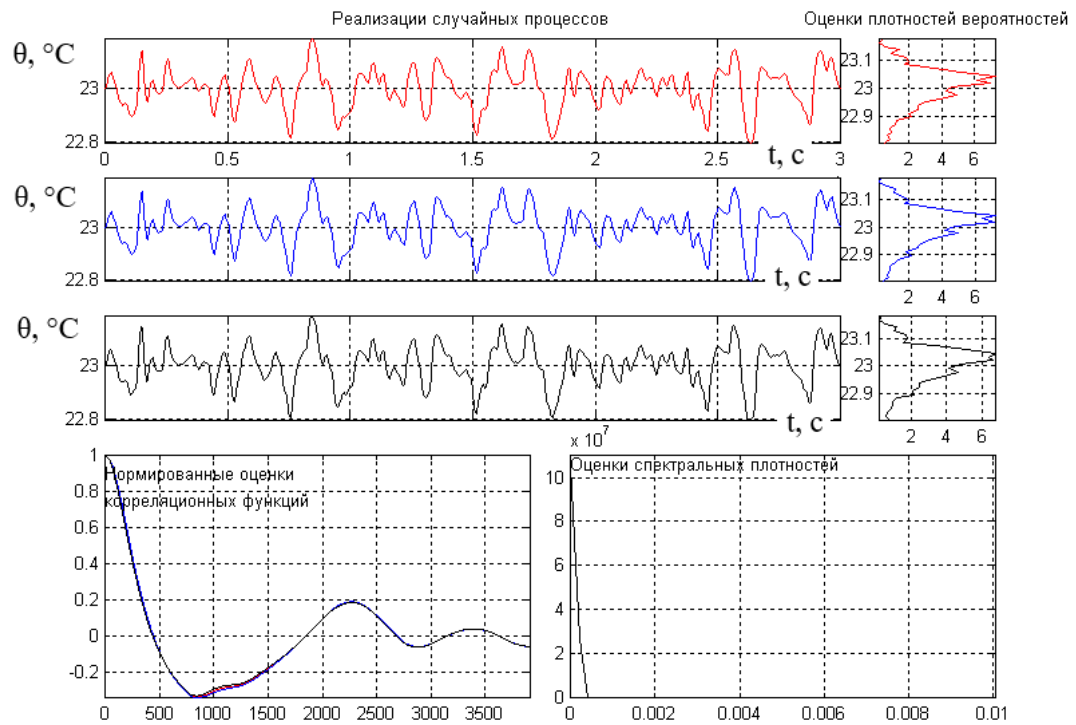
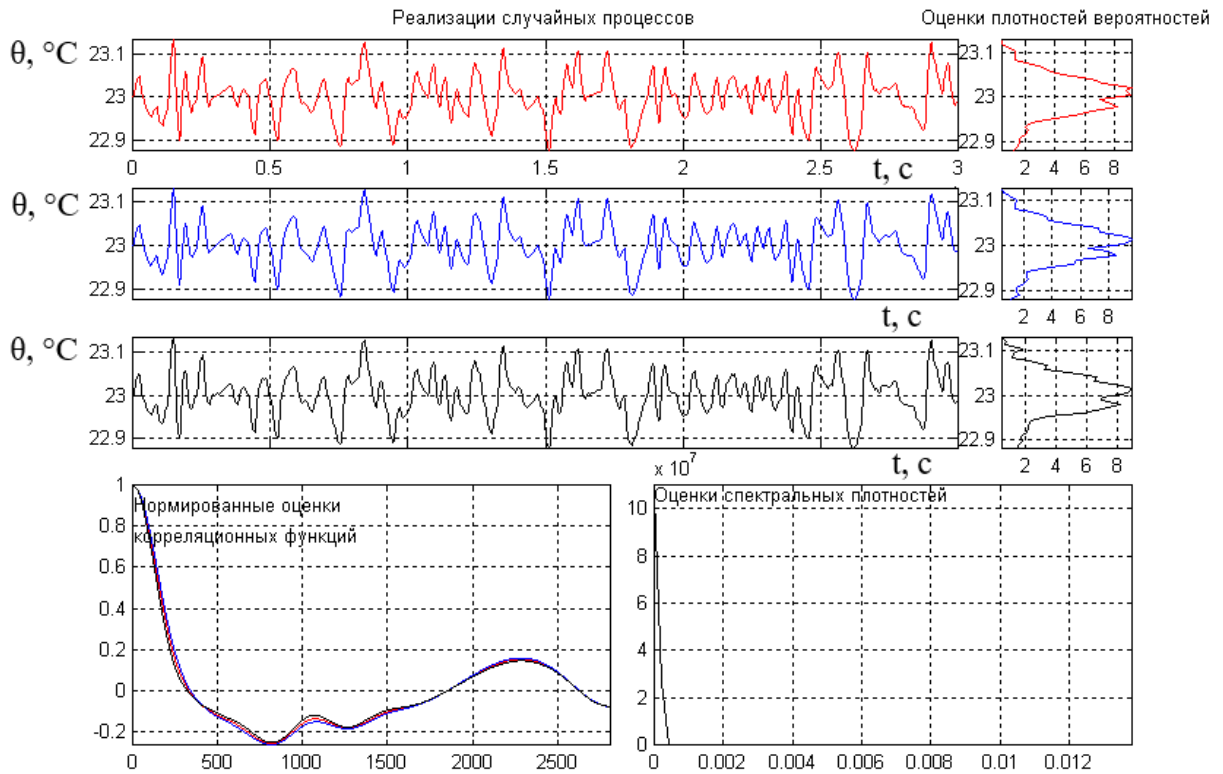


Рис. 3.17 – Структурна схема моделювання ОК для оцінки грубості CAP у  
сталих режимах



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	23.0	23.0	23.0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.074	0.073	0.076
Оценка среднеквадратического периода / частоты	1250.0 / 0.005	1304.4 / 0.0048	1250.0 / 0.005

Рис. 3.18 – Результаты моделирования САР з ПИ-регулятором



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	23.0	23.0	23.0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.049	0.047	0.05
Оценка среднеквадратического периода / частоты	909.1 / 0.0069	937.5 / 0.0067	909.1 / 0.0069

Рис. 3.19 – Результати моделювання САР з ПІД-регулятором

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним періодом та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САР на грубість з ПІ-регулятором зведено в таблицю 6.6, а САР з ПІД-регулятором – в таблиці 3.20.

Таблиця 3.2 – Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальн і	«найсприятливіші »	«найнесприятливіші »
$\theta$ , °С			
Математичне очікування	23	23	23
Середньоквадратичне відхилення	0,074	0,073	0,076
Середньоквадратичний період	1250	1304,4	1250,0
Частота	0,005	0,0048	0,005
<b>Інтегральний критерій</b>	887,1	873,5	902

Таблиця 3.3 – Результати оцінки САР з ПД-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номіналь ні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
$\theta$ , °С			
Математичне очікування	23	23	23
Середньоквадратичне відхилення	0,049	0,047	0,05

Середньоквадратичний період	909,1	937,5	909,1
Частота	0,0069	0,0067	0,0069
<b>Інтегральний критерій</b>	576,5	561,7	595,2

### 3.3 Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності

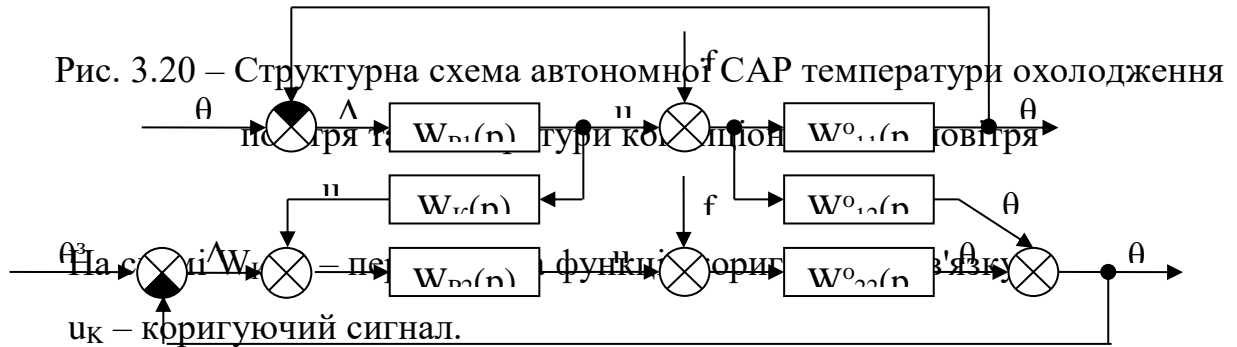
Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна заданих значень регульованих координат, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення  $t_o / T_o$ , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР).

Аналіз САР температури охолодження та температури підігрівання повітря у процесі кондиціонування повітря у приміщенні показав, що якість регулювання температури кондиціонованого повітря є недостатньою, а основною причиною цього є вплив контуру регулювання температури охолодження повітря на контур регулювання температури кондиціонованого повітря.

Основним способом підвищення динамічної точності САР температури кондиціонованого повітря у складі двоканальної САР є забезпечення автономності контуру регулювання температури кондиціонованого повітря.

В основу підвищення динамічної точності САР температури кондиціонованого повітря буде покладено принцип автономності, основу якого складає принцип двоканальності, суть якого у введенні додаткового каналу

впливу за перехресним зв'язком в ОК через коригуючий зв'язок. Відповідно до принципу автономності структурна схема автономної САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.20.



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

Для забезпечення автономності каналу регулювання  $\theta$  від каналу регулювання  $\theta_0$  має виконуватися умова:

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 = 0$$

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 \equiv 0$$

$$W_{12}^0(p) \cdot u_1 + W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p) \cdot u_1 = 0$$

$$W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p) \cdot u_1 = -W_{12}^0(p) \cdot u_1$$

$$W_K(p) = \frac{-W_{12}^0(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p)} \quad (7.1) \quad W_K(p) = \frac{-W_{12}^0(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p)} \quad (7.1)$$

$$W_{12}^0(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-89,4p}}{58,1p+1} \quad W_{12}^0(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-89,4p}}{58,1p+1} ; \quad W_{22}^0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-61,7p}}{37,1p+1}$$

$$W_{22}^0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-61,7p}}{37,1p+1}$$

$$W_{P2}(p) = 3,14 \cdot \left(1 + \frac{1}{40,2p} + 38,4p\right) = 3,14 \cdot \frac{1574,7p^2 + 40,2p + 1}{40,2p}$$

$$W_{P2}(p) = 3,14 \cdot \left(1 + \frac{1}{40,2p} + 38,4p\right) = 3,14 \cdot \frac{1574,7p^2 + 40,2p + 1}{40,2p} .$$

$$W_K(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-89,4p}}{58,1p + 1} \cdot \frac{0,3 \cdot e^{-61,7p}}{37,1p + 1} \cdot \frac{1574,7p^2 + 40,2p + 1}{40,2p} \cdot 3,14$$

$$= 0,16 \cdot e^{-27,7p} \cdot \frac{40,2p \cdot (37,1p + 1)}{(1574,7p^2 + 40,2p + 1) \cdot (58,1p + 1)} \quad (7.2)$$

Отримана передаточна функція коригуючого зв'язку є фізично реалізовуваною, оскільки не містить фізично нереалізовуваних ланок.

Структурна схема моделювання коригуючого зв'язку  $W_{K1}(p)$  наведена на рис. 3.11, а перехідна характеристика – на рисунку 3.12.



Рис. 3.11 – Структурна схема моделювання коригуючого зв'язку  $W_{K1}(p)$

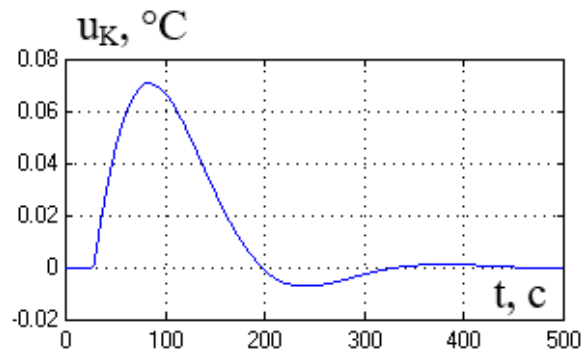


Рис. 3.12 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку  $W_{K1}(p)$

Передаточна функція коригуючого зв'язку  $W_{K1}(p)$ :

$$W_K(p) = 0,16 \cdot e^{-27,7p} \cdot \frac{40,2p \cdot (37,1p + 1)}{(1574,7p^2 + 40,2p + 1) \cdot (58,1p + 1)}$$

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

$$W_K(p) = K_K \cdot e^{-T_{K1}p} \frac{T_{K2}p}{T_{K2}^2 p^2 + 2\theta T_{K2}p + 1} \quad (7.3)$$

В якості початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку приймемо наступні значення параметрів:  $K_K = 0,16$ ;  $T_{K1} = 27,7с$ ;  $T_{K2} = 40,2с$ ,  $\zeta = 0,5$ . Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку скористаємося схемою моделювання, наведеної на рис. 7.3. Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.13, а результати моделювання – на рис. 3.14.

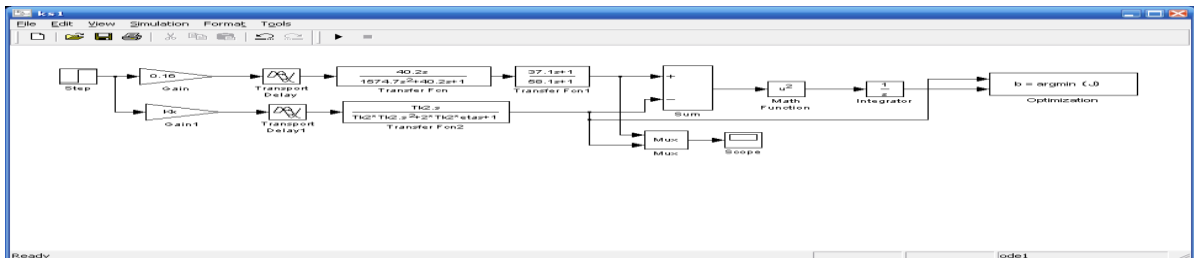
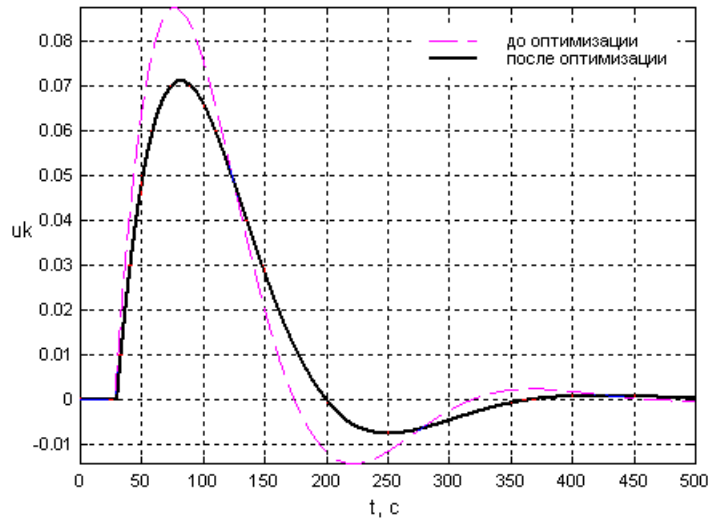


Рис. 3.13 – Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку  $W_K(p)$



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kk	0.14015	-10	0.16	10	до - 0.028907
Tk1	29.8528	1	27.7	50	после - 0.00078812
Tk2	43.9978	1	40.2	200	оптимизации.
eta	0.57988	0	0.5	1	Количество шагов
					процедуры оптимизации:
					максимальное - 1000
					фактическое - 140

Рис. 3.14 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку  $W_K(p)$

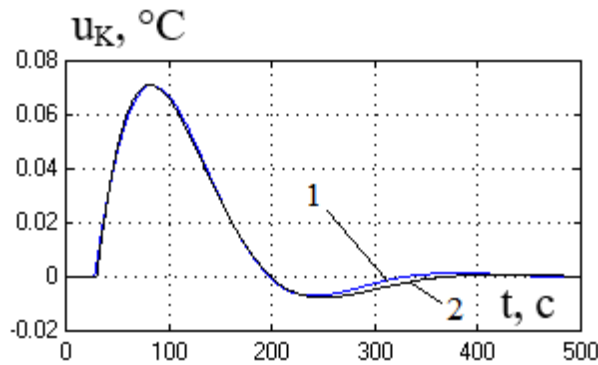


Рис. 3.15 – Результати моделювання коригуючого зв'язку  $W_K(p)$ : 1- розрахунковий коригуючий зв'язок; 2 – спрощений коригуючий зв'язок.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючих зв'язків наведена на рис. 3.16, а результати оптимізації – на рис. 3.17.

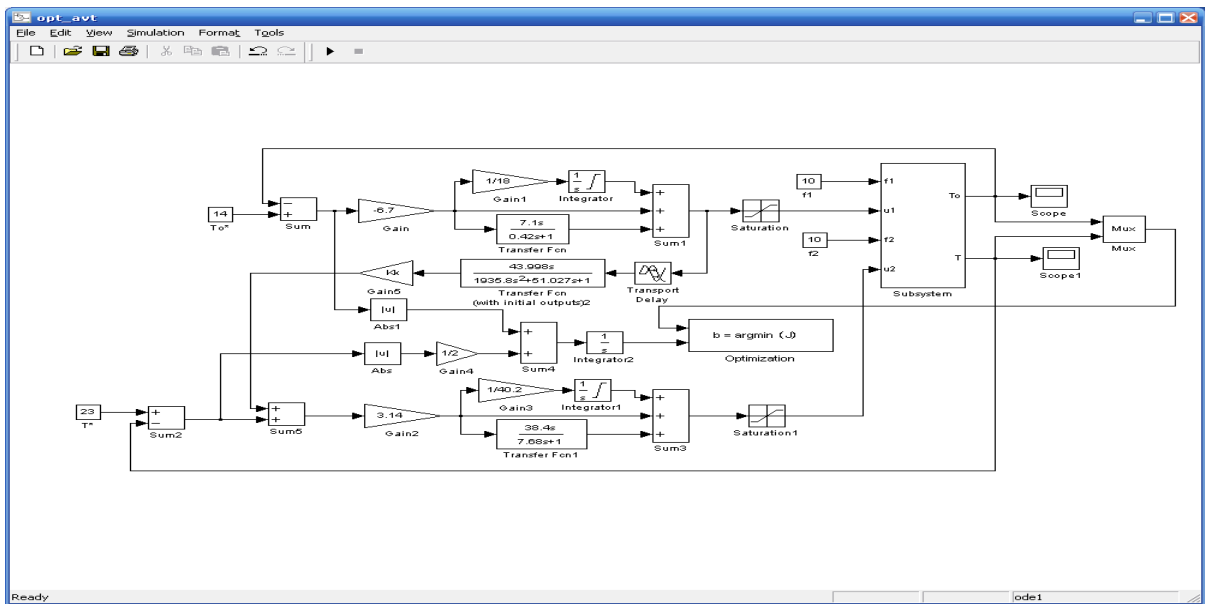
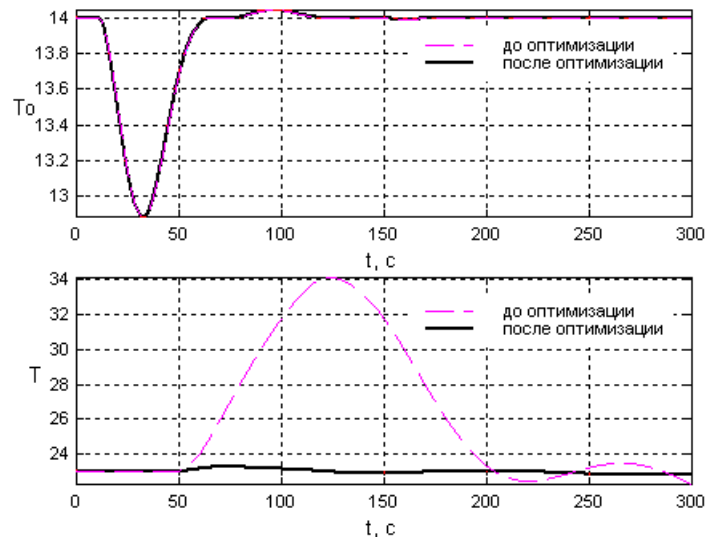


Рис. 3.15 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kk	-0.025092	-10	0.140151	10	до - 508.3479
Tk1	45.4752	1	29.8485	50	после - 42.3001
Tk2	44.0909	1	43.9937	200	оптимизации.
eta	0.68369	0	0.579864	1	Количество шагов
					процедуры оптимизации:
					максимальное - 1000
					фактическое - 332

Рис. 3.16 – Результати оптимізації САР підвищеної динамічної точності

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

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведені на рис. 3.17. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САР за обома каналами регулювання є грубою.

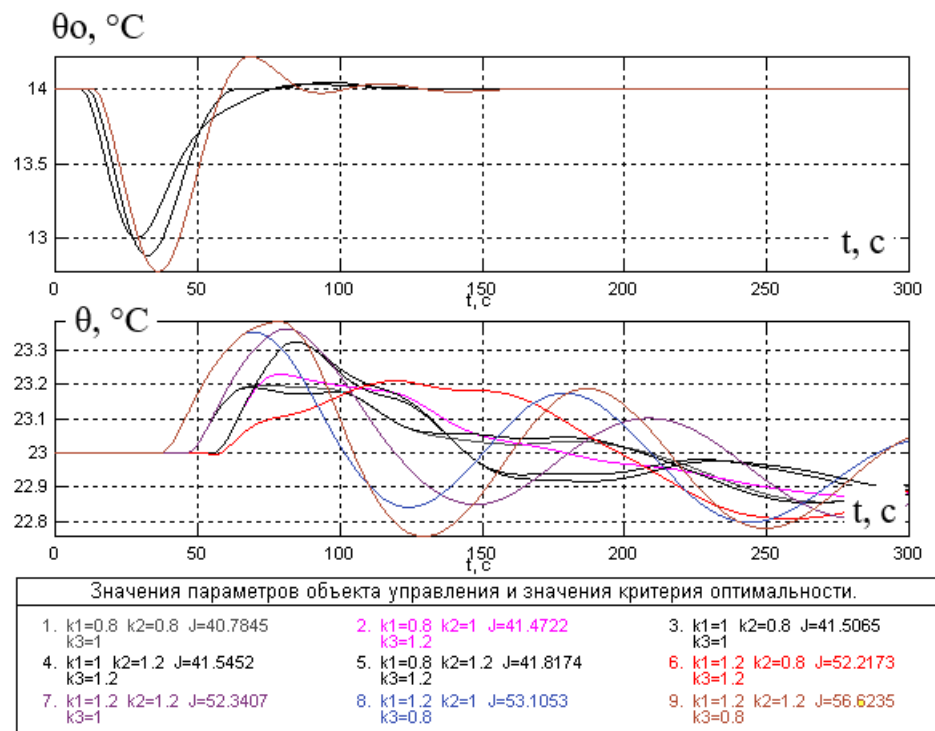


Рис. 3.17 – Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість

Для оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість у сталому режимі будемо використовувати схему моделювання, наведену на рис. 3.18. Результати моделювання автономної САР наведені на рис. 3.19 та в таблиці 3.4.

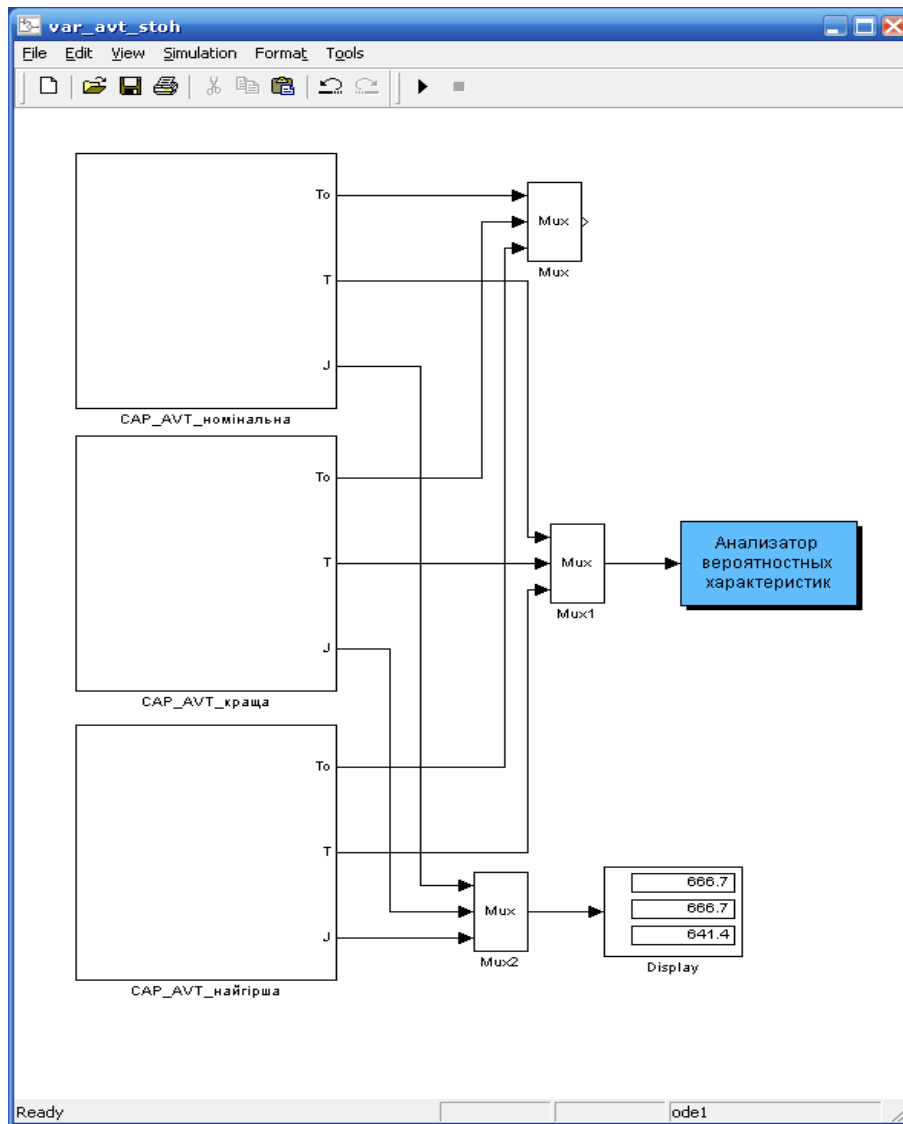
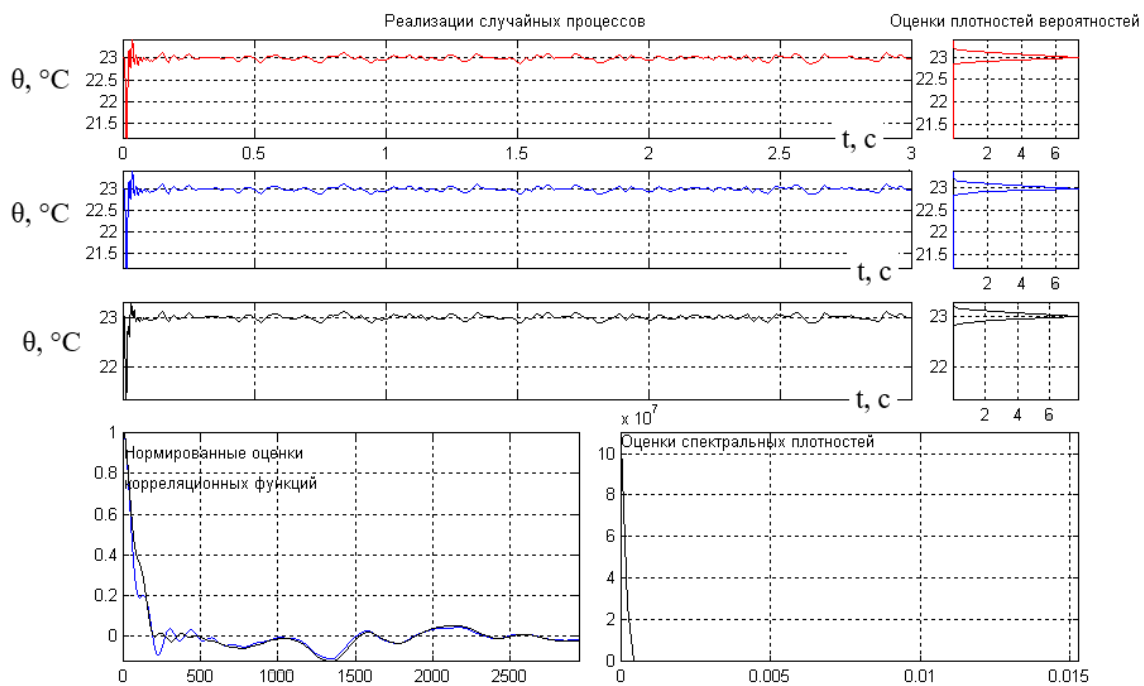


Рис. 3.18 – Схема моделювання автономної САР в сталих режимах



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	23.0	23.0	23.0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.096	0.096	0.087
Оценка среднеквадратического периода / частоты	821.9 / 0.0076	821.9 / 0.0076	983.6 / 0.0064

Рис. 3.19 – Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах

Таблица 3.4 – Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
$\theta, ^\circ\text{C}$			
Математичне очікування	23	23	23
Середньоквадратичне відхилення	0,096	0,096	0,087
Середньоквадратичний період	821,9	821,9	983,6

Частота	0,0076	0,0076	0,0064
Інтегральний критерій	666,7	666,7	641,4

Для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.20 – 3.22. В якості САР базової структури розглядається САР з ПД-регуляторами. Результати порівняння наведені на рис. 3.23 і в таблиці 3.4.

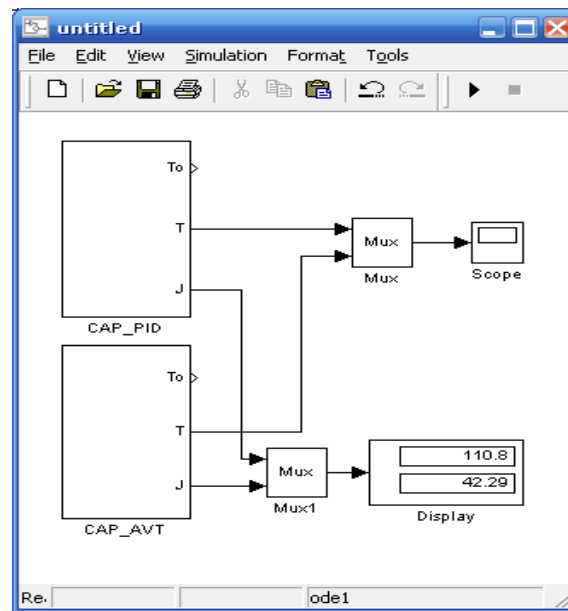


Рис. 3.20 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності



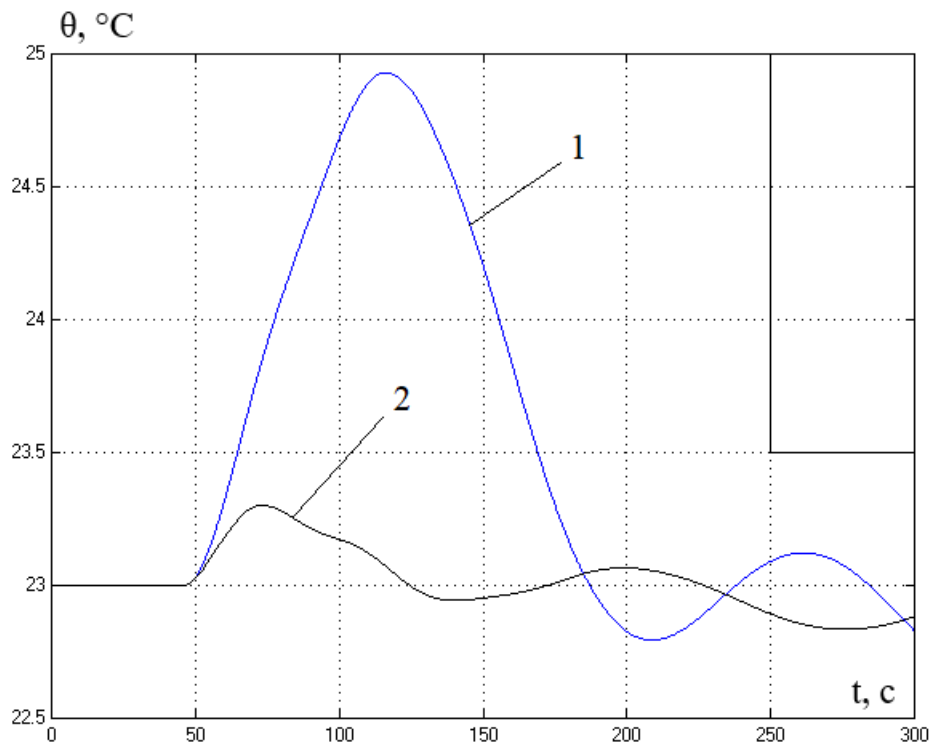


Рис. 3.23 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури (1) і САР підвищеної динамічної точності (2)

Таблиця 3.4 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Варіант САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta\theta^{\text{МАКС}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}1}, \text{ с}$	$\Delta\theta^{\text{МАКС}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}2}, \text{ с}$	
Базова	1,14	46,3	1,93	169	110,8
Автономна	1,14	46,3	0,3	0	42,29

### 3.4 Висновки за розділом

САР з ПІ-регуляторами не відповідає гранично припустимим вимогам, а САР з ПІД-регуляторами відповідає гранично припустимим вимогам лише за температурою кондиціонованого повітря. Як САР з ПІ-регуляторами так і САР з

ПІД-регуляторами є грубою. За більшістю показників якості САР з ПІД-регуляторами є кращою, ніж САР з ПІ-регуляторами, але САР з ПІД-регуляторами менш грубою. Отже, в подальших дослідженнях в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПІД-регулятор, але САР потребує подальшого підвищення динамічної точності і особливо САР температури кондиціонованого повітря.

САР підвищеної динамічної точності не задовольняє гранично припустимим вимогам за температурою охолодження повітря, та задовольняє – за температурою кондиціонованого повітря.

Після підвищення динамічної точності суттєво покращилися показники якості перехідного процесу за температурою кондиціонованого (підігрітого) повітря.

САР підвищеної динамічної точності є грубою.

Оскільки для САР підвищення динамічної точності дає покращення інтегрального показника якості регулювання та суттєве покращення всіх показників якості за температурою кондиціонованого повітря, тому САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно. Але слід приділити ще увагу підвищенню динамічної точності САТ температури охолодженого повітря.

## РОЗДІЛ 4 КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

### 4.1. Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом кондиціонування повітря

В якості об'єкта модернізації системи автоматизації обрана ділянка кондиціонування повітря.

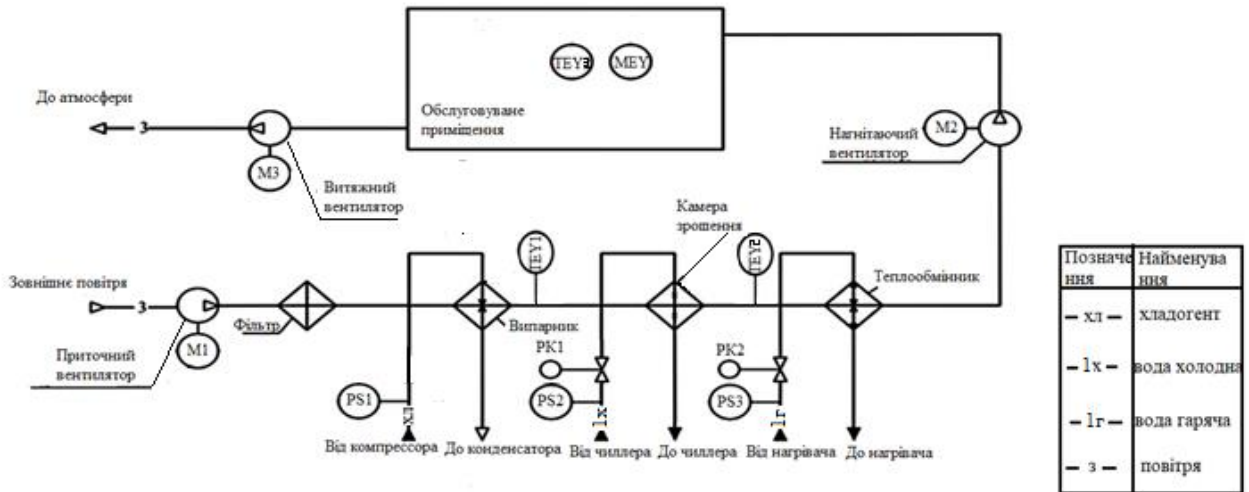


Рис. 4.1 – Апаратурно-технологічна схема процесу кондиціонування повітря

#### Опис керування процесом

Технологічний процес кондиціонування повітря для подачі його до виробничого приміщення реалізується наступним чином. Кондиціонер має підготувати повітря, що має температуру  $\theta = 23^{\circ}\text{C}$  та відносну вологість  $\varphi = 49,5\%$ . Таким параметрам повітря відповідає вологовміст, який згідно і-ддіаграми вологого повітря (рис. 1.2) має становити  $x = 9$  г/кг. Зовнішнє повітря припливним вентилятором ПВ через фільтр подається до випарника холодильної машини, де охолоджується до температури, яка б при подальшому зрошуванні до 14 100% дала б вологовміст саме 9 г/кг, тобто до температури  $14^{\circ}\text{C}$ . Охолодження повітря забезпечується шляхом прокачування його через випарник холодильної машини, а потім через камеру зрошування, куди подається холодна вода. Принципова схема у теплий період року. Зовнішнє повітря в повній кількості проходить через випарник холодильної машини, а потім надходить в зрошувальну камеру, в якій розбризкується вода, що охолоджується, має температуру нижче температури точки роси. При контакті повітря з крапельками води він охолоджується і осушується, набуваючи в кінці

зрошувальної камери заданий вміст вологи при насиченні. Так як при цьому температура повітря стає нижче необхідної температури припливного повітря, то для доведення до зазначеної температури повітря після зрошувальної камери прямує в калорифер другого підігріву, в якому нагрівається до заданої температури. Щоб уникнути механічного виносу крапель води на виході з зрошувальної камери встановлюється жалюзійна решітка (каплевловлювач). Оброблене повітря вентилятором подається до приміщення. Вода, що збирається в піддоні зрошувальної камери, надходить у холодильну машину, де вона охолоджується до необхідної температури, і насосом по системі трубопроводів подається в форсунки, розташовані в зрошувальній камері. У холодний період року зовнішнє повітря у повній кількості надходить у калорифер першого підігріву в якому він підігрівається до температури, при якій його ентальпія відповідатиме розрахунковій ентальпії адіабатичного процесу зволоження. Потім повітря надходить у зрошувальну камеру, де відбувається 15 адіабатичний процес зволоження, в результаті якого повітря отримує заданий вміст вологи. При адіабатичному процесі випаровування температура повітря на виході з зрошувальної камери досить близька до температури мокрого термометра, яка зазвичай нижче заданої температури припливного повітря, тому для доведення температури повітря до заданої піддається додатковому нагріванню в калорифері другого підігріву. Вузол охолодження та подачі води в зрошувальну камеру працює у потрібному режимі. Оброблене повітря вентилятором подається до приміщення

#### 4.2 Формалізація регламентів функціонування за пуском, технологічною та аварійної зупинкою технологічного процесу

Раніше розглядалися регламенти на роботу процесу кондиціонування повітря, основні з них наведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1- Основні нормативи ведення технологічного процесу

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
						Величина	Величина
1	Температура повітря в приміщенні	$\theta$	$^{\circ}\text{C}$	23	$\pm 0,5$	$\pm 2$	250с
2	Температура охолодження повітря	$\theta_0$	$^{\circ}\text{C}$	14	$\pm 0,5$	$\pm 1$	100с

Як

вихідні дані розглянемо такі характеристики обладнання (рис. 4.1):  
 РК1 -  $u_1$  – положення регулюючого органу подачі холодної води, % ;  
 РК2 -  $u_2$  – положення регулюючого органу подачі гарячої води, %.

Електродвигун вентилятора М1 - керується дискретним сигналом, вентилятор подає повітря до системи підготовки повітря, електродвигун вентилятора М2- керується дискретним сигналом, вентилятор подає підготовлене повітря до приміщення, електродвигун вентилятора М3 - керується дискретним сигналом, вентилятор видаляє повітря з приміщення, клапан подачі холодної води до камери зрошення - аналогової дії (РК1), положення клапана впливає на вологість повітря, клапан подачі гарячої води до теплообмінника - аналогової дії (РК2), положення клапана впливає на температуру повітря. Також використаємо дані попередніх досліджень з ідентифікації ОК та САР.

Для перевірки умов необхідних для пуску необхідно перевірити наявність тиску хладагенту, наявність тиску холодної води, наявність тиску гарячої води. Для забезпечення передпускової - звукової сигналізації, необхідно увімкнути її, витримати деякий час та вимкнути. Для забезпечення подачі повітря у систему

підготовки повітря, необхідно ввімкнути вентилятор М1, після того як двигун М1 буде ввімкнений необхідно ввімкнути вентилятор М2 та М3, потім необхідно ввімкнути контур регулювання вологи та температури повітря. На основі наведеного вище опису роботи процесу формалізуємо у вигляді блок-схеми регламент функціонування установки у режимах пуску та технологічної зупинки, та складемо відповідні алгоритми керування. Блок-схема регламенту на пуск процесу кондиціонування вказано рис 2.

Для зупинки процесу кондиціонування необхідно вимкнути вентилятор М1, після цього вимкнути контур регулювання температури та вологи, витримати час, після цього вимкнути вентилятор М2, витримати час та вимкнути вентилятор М3. Блок-схема регламенту на зупинку процесу кондиціонування вказано рис 4.

Як аварійну зупинку, ми розглядаємо недостачу потрібного рівня тиску подачі рідин (гарячої води, холодної води).

Для аварійної зупинки процесу кондиціонування необхідно вимкнути контур регулювання температури та вологи в приміщенні, закрити клапани подачі хладагента та води, вимкнути вентилятор М1, М2, М3. Блок-схема регламенту на аварійну зупинку процесу кондиціонування вказано рис 3.

#### 4.3. Розробка алгоритмів автоматичного логічного керування за пуском, зупинкою та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату

На рис. 5, 6 наведено блок-схеми алгоритмів керування пуском та зупинкою системи кондиціонування, що розроблені згідно до регламентів функціонування, та деталізують послідовність видачі керуючих дій.

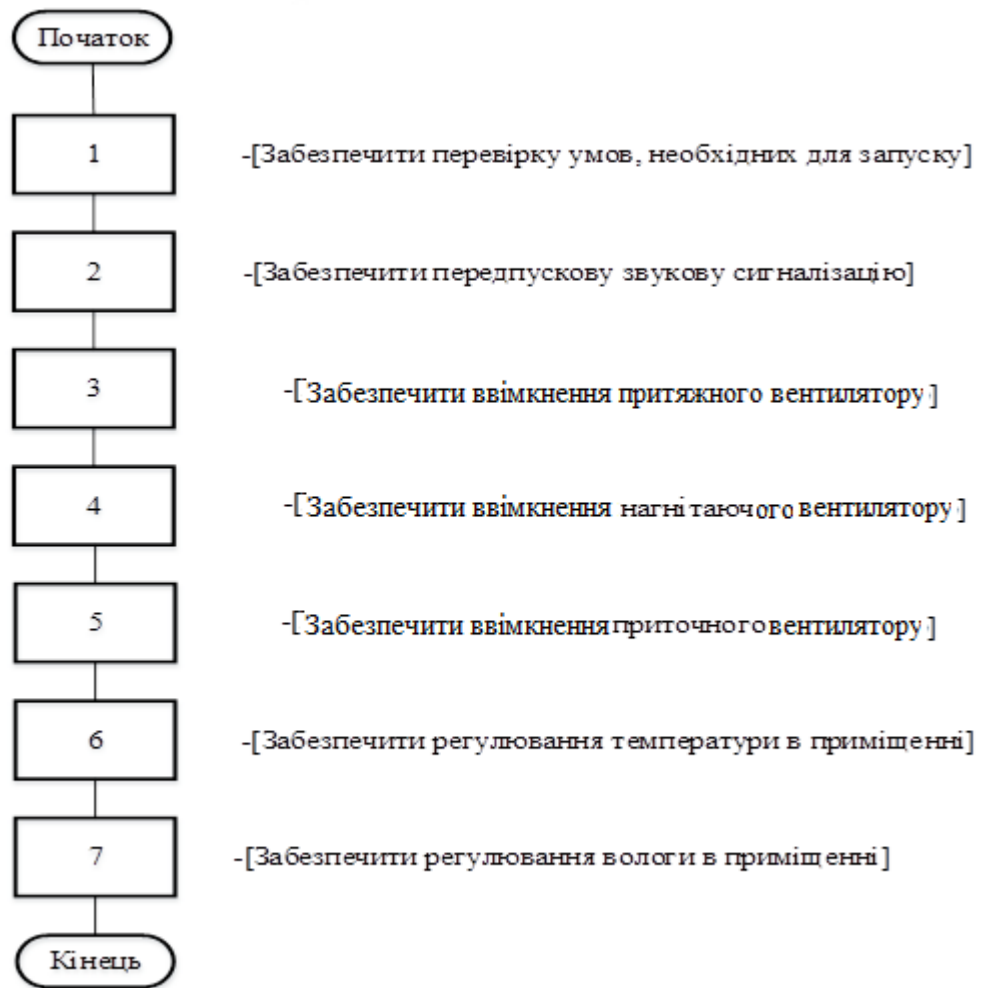


Рис. 4.2 – Блок-схема регламента на пуск

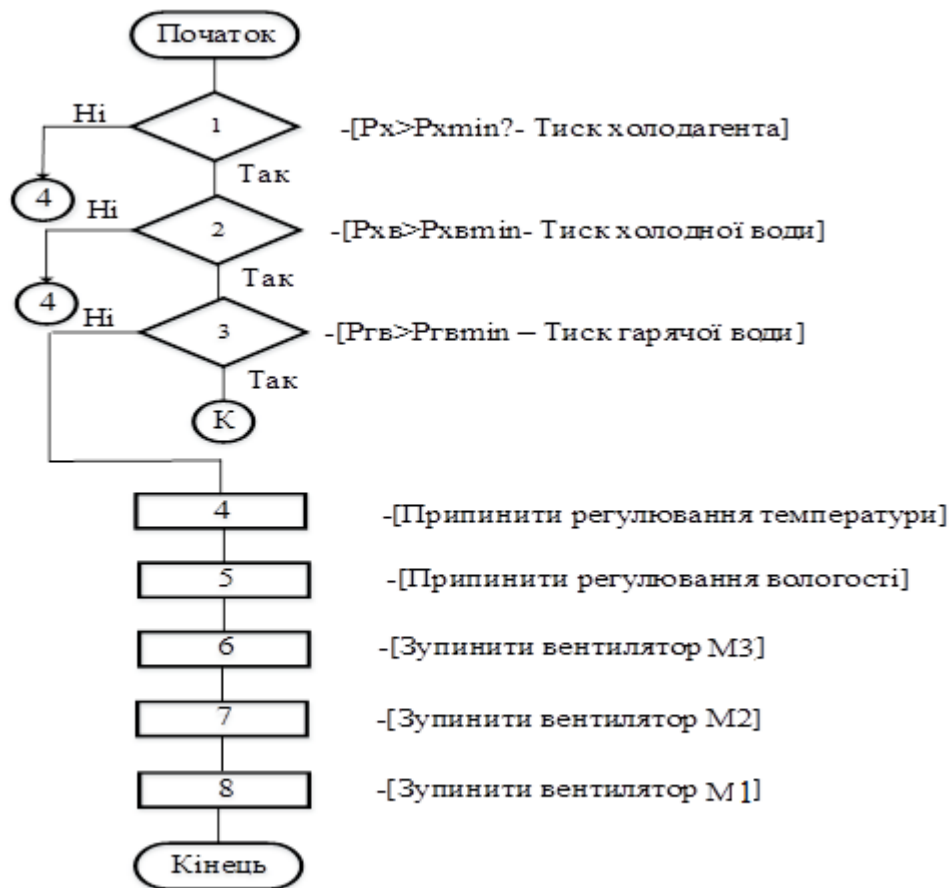
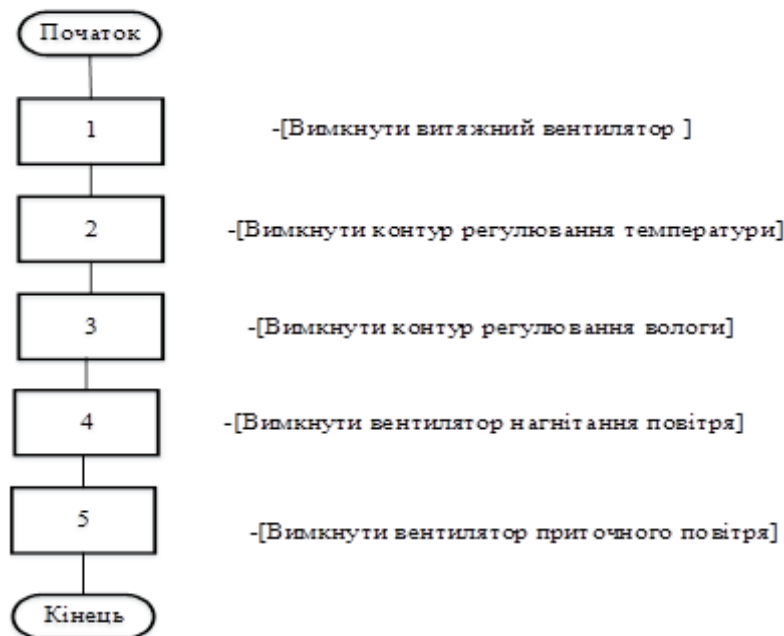


Рис. 4.3 – Блок-схема регламента на аварійну зупинку



#### Рис. 4.4 – Блок-схема регламента на зупинку

Для перевірки умов необхідних для пуску необхідно перевірити наявність тиску в контурі подачі хладагента, в контурі подачі холодної та гарячої води. Для забезпечення передпускової звукової сигналізації необхідно увімкнути її, витримати деякий час та вимкнути. Після цього запустити двигун вентилятора М1, далі витримати час 10 секунд та запустити двигун вентилятора М2, потім знову витримати час 10 секунд та запустити двигун вентилятора М3. Потім потрібно відкрити клапан подачі хладагенту РК1 на 60%, після цього вивести установку на режим по вологості, після цього вмикається КР вологості. Потім потрібно відкрити клапан подачі гарячої води РК2 на 60%, після цього вивести установку на режим по температурі, після цього вмикається КР температури. Блок-схема алгоритму керування за штатним пуском процесу наведена на рис.5.

Для зупинки процесу кондиціонування повітря необхідно вимкнути контур регулювання температури та вологи, після цього необхідно вимкнути вентилятор М1, потім витримати час 5 секунд, після цього необхідно вимкнути вентилятор М2, потім витримати час 5 секунд, після цього необхідно вимкнути вентилятор М3. Блок-схема алгоритму керування за штатним зупинкою наведена на рис.6.

У разі коли установка кондиціонування працює у нормальному режимі та при цьому стає відсутній один з сигналів – тиск хладагенту, тиск холодної води, тиск гарячої води, система переходить в режим аварійної зупинки. Аварійна зупинка камери здійснюється наступним чином - вимикаємо контур керування температури та вологи, вимикаємо вентилятор М1, вимикаємо вентилятор М2, вимикаємо вентилятор М3. Алгоритм зупинки вказаний у блок-схемі рисунку 4.7.

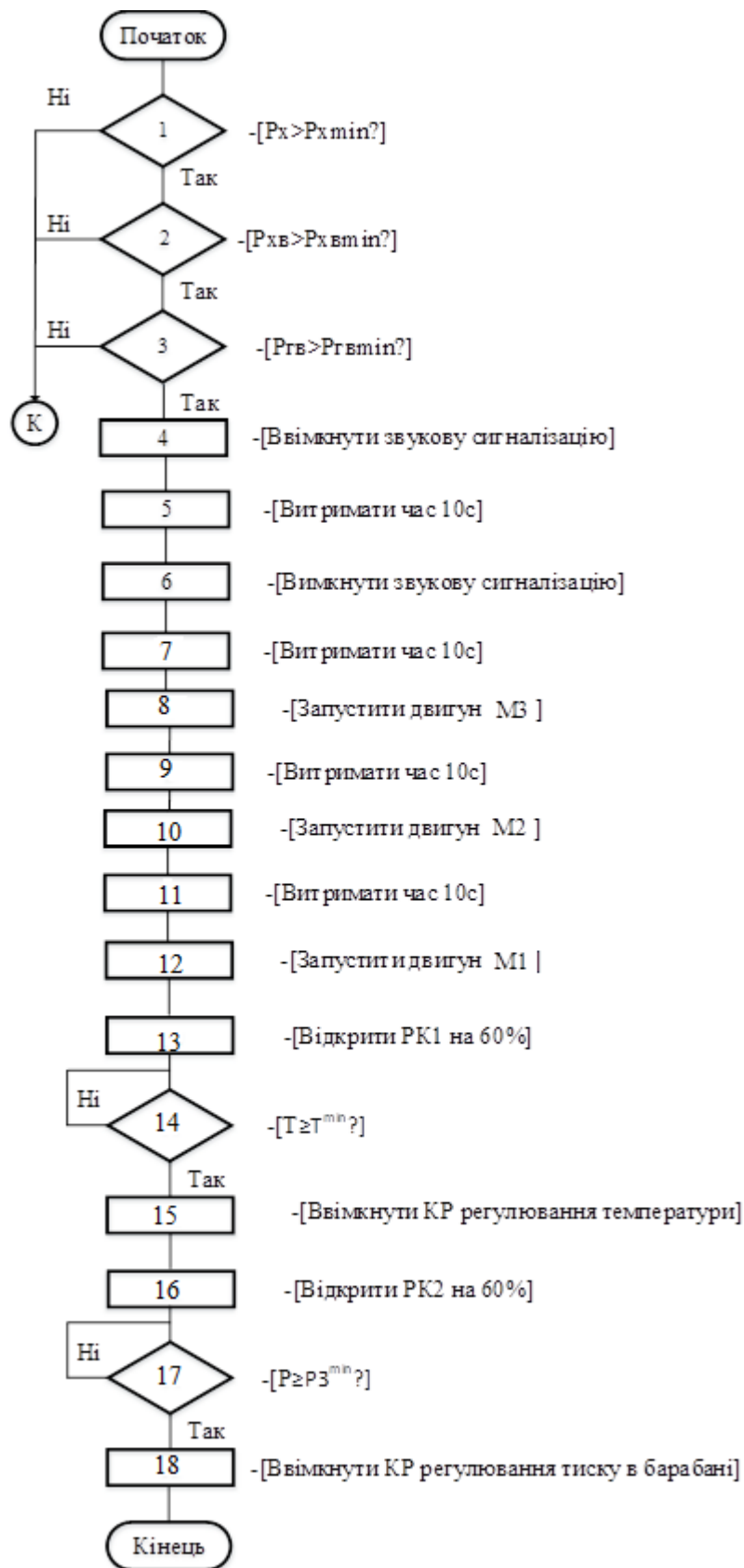


Рис. 4.5 –Блок-схема алгоритма автоматичного управління пуском

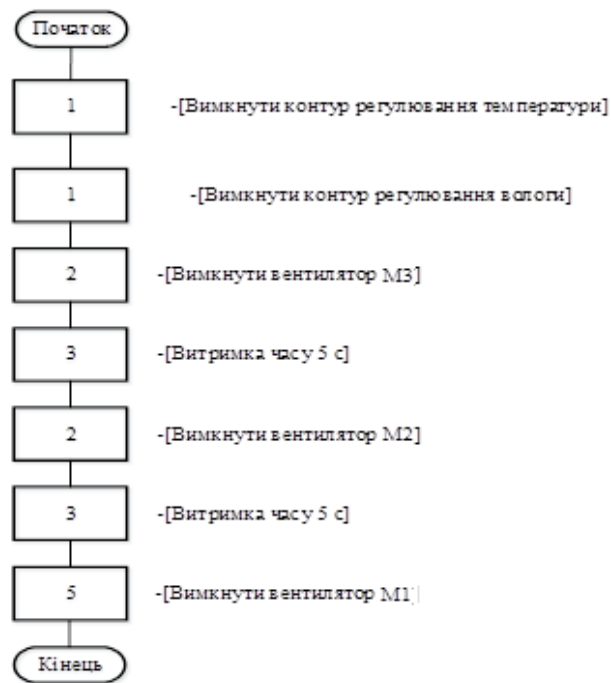


Рис. 4.6 - Блок - схема автоматичного управління зупинкою



Рис. 4.7 -Блок - схема автоматичного управління аварійною зупинкою

#### 4.4 .Розробка функціонально логічної схеми (ФЛС) керування процесом кондиціонування

Для розробки цієї схеми необхідні алгоритм автоматичного управління пуском апарату і його зупинком.

Формування умов необхідних для запуску здійснюється елементом 9 по сигналам від датчика тиску хладагента 1, датчика тиску холодної води 2, датчика тиску гарячої води 3 та кнопки пуск 4, які поступають в схему через ДЦП 5-8. Підхоплення сигналу пуск виконує RS-тригер 10. Після появи логічної 1 на виході RS вмикається передпускова сигналізація звукова (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 11. Формує сигнал ППЗС елемент 12 через ЦДП 13. По завершенні ППЗС від таймера 11 починає свою роботу установка. Вмикається RS – тригер 19 котрий формує та подає сигнал запускає двигун М1. Після появи логічної 1 на виході RS тригера 19 сигнал потрапляє на таймер 21, після витримки часу сигнал потрапляє на тригер 23 котрий формує та подає сигнал запускає двигун М2. Після появи логічної 1 на виході RS тригера 23 сигнал потрапляє на таймер 25, після витримки часу сигнал потрапляє на тригер 27 котрий формує та подає сигнал запускає двигун М3. Після появи логічної 1 на виході RS тригера 27 сигнал потрапляє на тригер 29 який відкриває клапан КР1 на 60% ходу. При досягненні заданої вологості нуль орган 36 подає сигнал перемикання елемент 34 після чого вмикається контур регулювання вологості. Після цього вмикається RS – тригер 37 котрий формує та подає сигнал на відкриття клапана КР2 на 60% ходу. При досягненні заданої температури нуль

орган 42 подає сигнал перемикання елемент 44 після чого вмикається контур регулювання температури.

Сигнал з елемента 15 потрапляє на ДЦП 16, тригер 17. Сигнал йде на ресет тригера 29 та 37 тим самим вмикає КР регулювання температури та вологи тим самим закриває КР1 та КР2 .Також сигнал потрапляє на таймер 18, і через 5 секунд потрапляє на ресет тригера 19 тим самим вмикає приточний вентилятор М1 , сигнал після спрацювання потрапляє на таймер 22, через 5 секунд сигнал потрапляє на ресет тригера 23, тим самим вмикає нагнітаючий вентилятор М2,сигнал після спрацювання потрапляє на таймер 26, через 5 секунд сигнал потрапляє на ресет тригера 27, тим самим вмикає нагнітаючий вентилятор М3.Після цього сигнал потрапляє на ресет тригера 17 тим самим скидає його.

Рис. 4.8- Функціонально-логічна схема управління процесом

#### 4.5. Моделювання роботи алгоритму керування в середовищі MatLab

Моделювання роботи САК здійснюється в середовищі MATLAB, використані характеристики ОК та параметри налаштування регуляторів повинні бути ідентичними здобутим у попередніх КП (курс «ТАК»). На рис. 4.9 наведена схема моделювання роботи САК, реалізована в MATLAB.

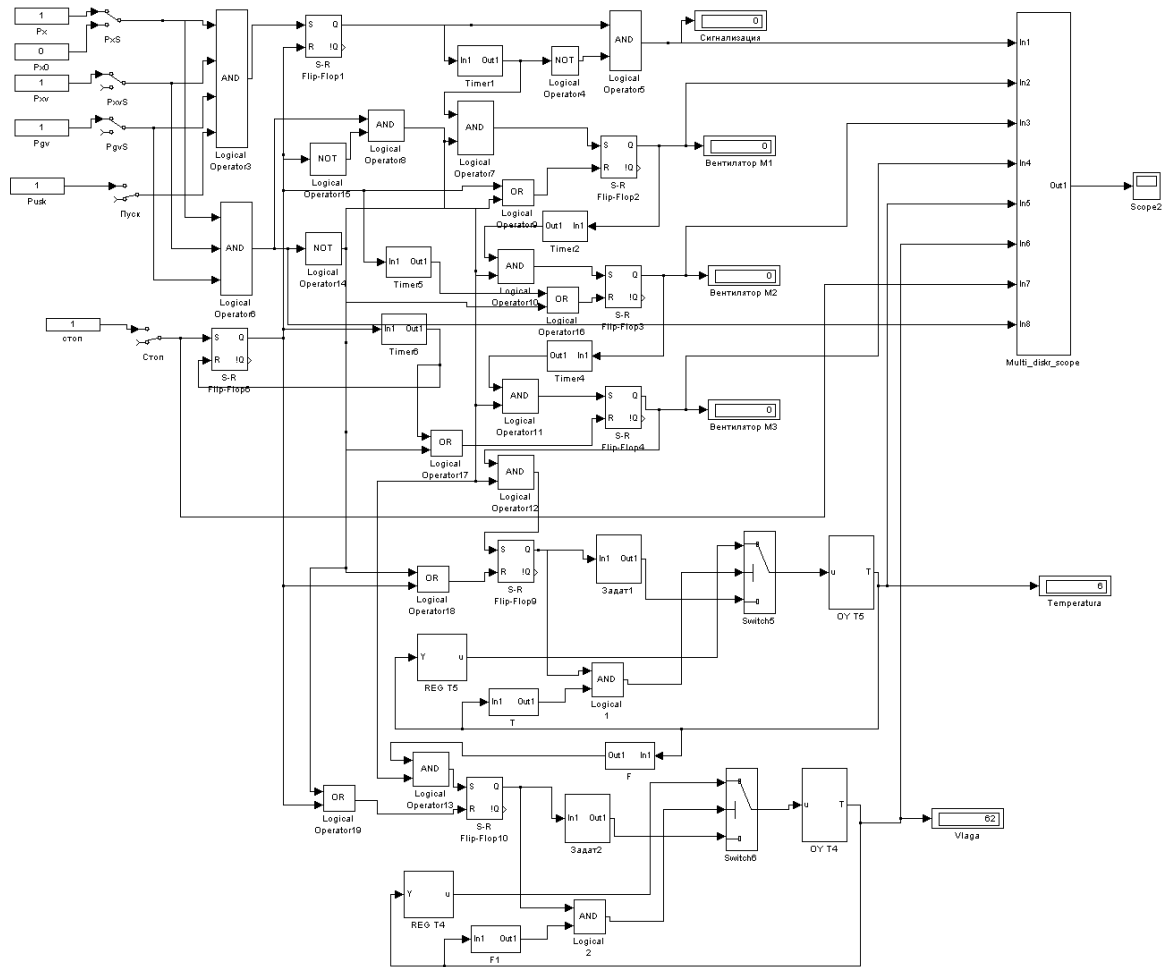


Рис. 4.9 – Схема моделювання роботи алгоритму запуску, технологічної та аварійної зупинки процесу кондиціонування повітря, яка реалізована в MATLAB

Дана схема відображає роботу технологічного апарату реалізовану в середовищі MatLab. Блоком «Px», «Pv», «Pgv», моделюємо сигнал від датчиків тиску. При натисканні на кнопку пуск логічний елемент «I» формує на виході сигнал «1», яка вмикає тригер 1, сигнал з тригера подається на таймер1 який вмикає ЗС. Далі сигнал з таймера приходять на тригер 2 який вмикає двигун вентилятора M1. Далі сигнал з тригера 2 приходять на таймер 2, з таймера сигнал приходять на тригер 3 який вмикає двигун вентилятора M2. Далі сигнал з тригера 3 приходять на таймер 4, з таймера сигнал приходять на тригер 4 який вмикає

двигун вентилятора М3. Сигнал з тригера 4 потрапляє на тригер 9, тригер 9 відкриває клапан подачі холодагенту на 60%. Після того як вологість досягла заданої, датчик перемикається в положення 2 і вмикає КР вологості. Після цього сигнал від включення КР температури надходить на тригер 10, після цього сигнал з тригера 10 надходить на датчик який відкриває клапан регулювання гарячої води на 60% х. о., після того як температура досягла заданого значення, датчик перемикається в положення 2, тим самим включаючи КР температури. При натисканні кнопки «Стоп» сигнал надходить на тригер 6, вмикає тригер. Сигнал з тригера 6 надходить на ресет тригера 9,10, тим самим скидаючи його і вимикається КР регулювання температури та вологи. Сигнал з тригера 6 надходить на ресет тригера 2 тим самим вмикає Вентилятор М1. Також сигнал з тригера 6 через таймер 2 надходить на ресет тригера 3 , тим самим скидаючи його і вмикає Вентилятор М2. Сигнал з тригера 6 через таймер надходить на ресет тригера 4 тим самим вмикає Вентилятор М3.

#### 4.6. Результати моделювання роботи САК

На рис. 11 наведені часові графіки змінних (Діаграма роботи системи керування), що відображають реальну послідовність керування пристроями установки кондиціонування (вентилятора, регулюючих клапанів).

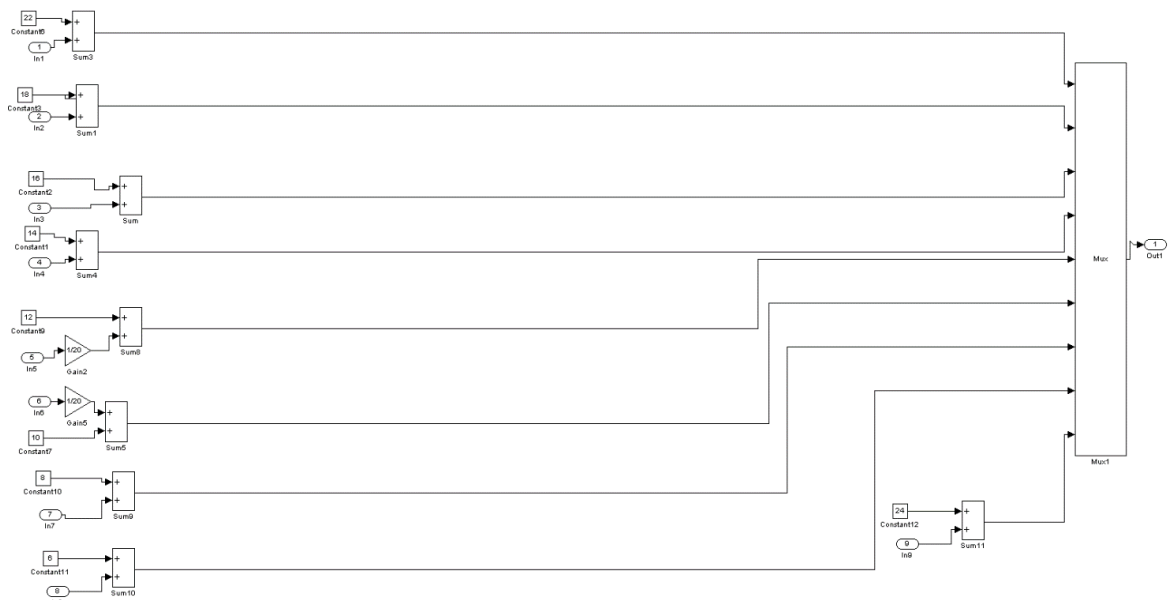


Рис. 4.10 – Схема моделювання роботи блоку MUX\_dr\_score 1, що реалізована в MATLAB

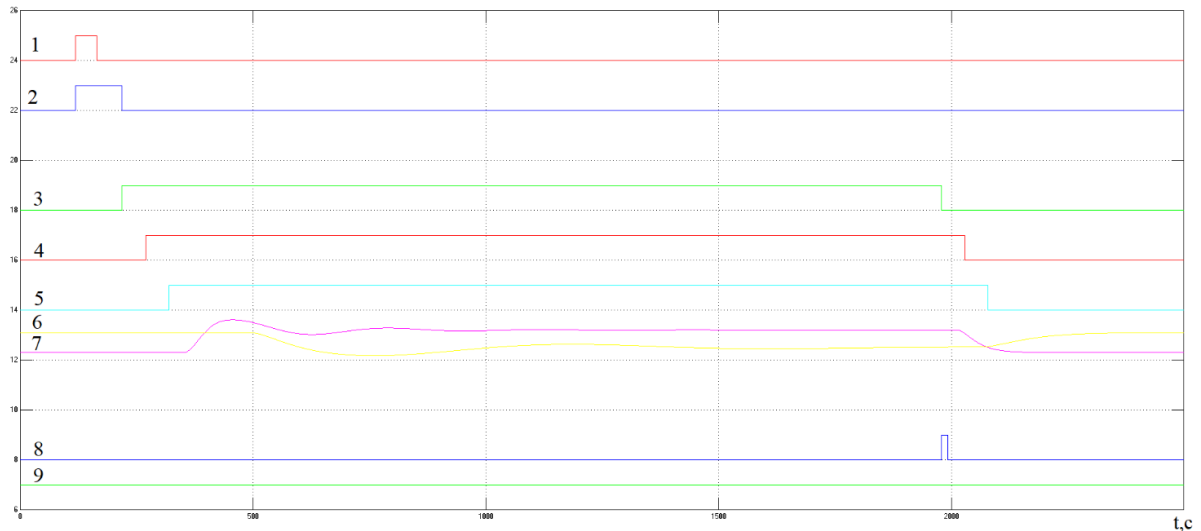


Рис. 4.11 – Діаграма роботи функціонально - логічної схеми процесу кондиціонування, розробленої в програмі Matlab.

- 1 - Сигнал натискання кнопки «Пуск»
- 2 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 3 - Сигнал спрацьовування вентилятора М3
- 4 - Сигнал спрацьовування вентилятора М2
- 5 - Сигнал спрацьовування вентилятора М1
- 6 - Сигнал зміни температури  $\theta$
- 7 - Сигнал зміни вологи  $\varphi$
- 8 - Сигнал натискання кнопки «Стоп»
- 9 – Сигнал наявності тиску хладагента, холодної та гарячої води

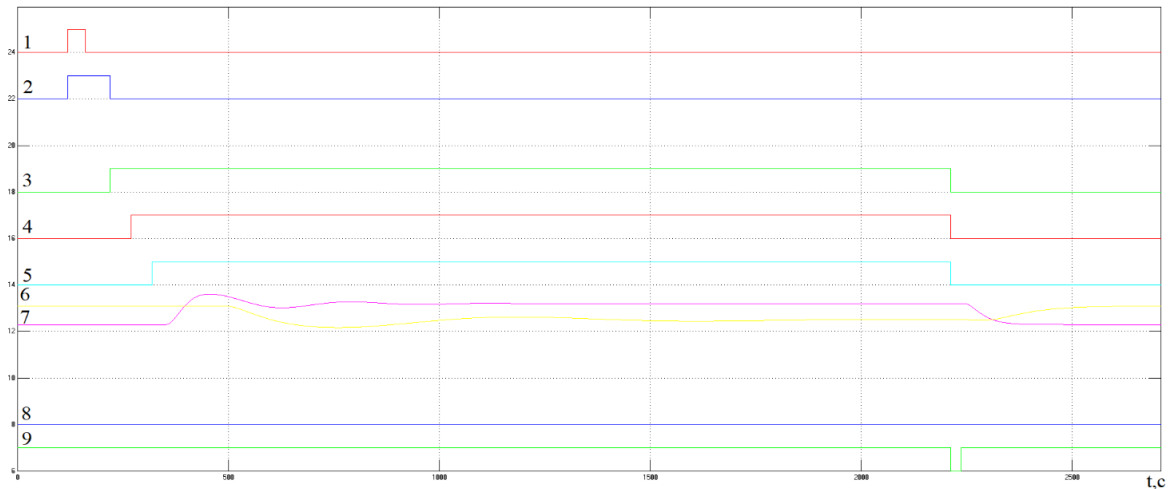


Рис. 4.12– Діаграма роботи системи керування в аварійному режимі

- 1 - Сигнал натискання кнопки «Пуск»
- 2 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 3 - Сигнал спрацьовування вентилятора М3
- 4 - Сигнал спрацьовування вентилятора М2
- 5 - Сигнал спрацьовування вентилятора М1
- 6 - Сигнал зміни температури  $\theta$
- 7 - Сигнал зміни вологи  $\varphi$
- 8 - Сигнал натискання кнопки «Стоп»
- 9 – Сигнал наявності тиску хладагента, холодної та гарячої води

#### 4.7. Висновки за розділом

В результаті виконання розділу для даного технологічного процесу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки процесу кондиціонування приміщення в штатному та аварійному режимах, розроблена функціональна логічна схема, побудована її реалізація на ПК за допомогою середовища MATLAB. Можемо сказати про те, що алгоритми керування, які були розроблені, а також характеристики отримані при моделюванні роботи САК достатньо точно співпадають з реальним технологічним процесом.

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

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

В данному розділі описана інформація щодо технічних засобів, які використовуються у технологічному процесі кондиціонування повітря (див. розділ 1) Охарактеризуємо параметри приміщення, де буде експлуатуватися система керування:

Температура повітря в приміщенні: -  $\theta = 23^{\circ}\text{C}$ . Відносна вологість  $\phi = 49,5\%$

Таким параметрам повітря відповідає вологовміст, який згідно і-dдіаграми вологого повітря (рис. 1.2) має становити  $x = 9$  г/кг. Зовнішнє повітря припливним вентилятором ПВ через фільтр подається до випарника холодильної

машини, де охолоджується до температури, яка б при подальшому зрошуванні до 14 100% дала б вологовміст саме 9 г/кг, тобто до температури 14°C.

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

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

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 кондиціонера, слід вибрати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Вибухобезпечне електрообладнання».

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

По класифікації вибухонебезпечності обладнання та приміщень відноситься до П-Па пожежонебезпечної зони - простір у приміщенні, в якому знаходиться тверді горючі речовини і матеріали.

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

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-Іа	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

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

По класифікації вибухонебезпечності обладнання та приміщень робоче середовище відноситься до П-Па пожежонебезпечної зони - простір у приміщенні, в якому знаходяться тверді горючі речовини і матеріали. (IP44)

**Для виміру температури використовуватимемо термометр опору *Терра ТСП-У Pt100 4...20 мА* у вибухонебезпечному виконанні.**

## **5.2 Вибір технічних засобів**

Датчик призначений для безперервного вимірювання температури в системах контролю і автоматичного регулювання різного призначення.

## Принцип дії:

Термометр опору - електронний прилад, призначений для вимірювання температури. Принцип дії заснований на залежності електричного опору металів, сплавів і напівпровідникових матеріалів від температури. При застосуванні напівпровідникових матеріалів його зазвичай називають термоопором, терморезистором або термістором.

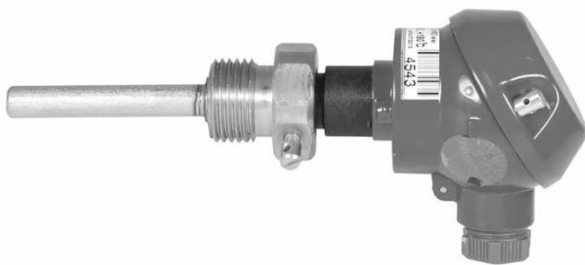


Рис 5.1  
Терра ТСП-У Pt100

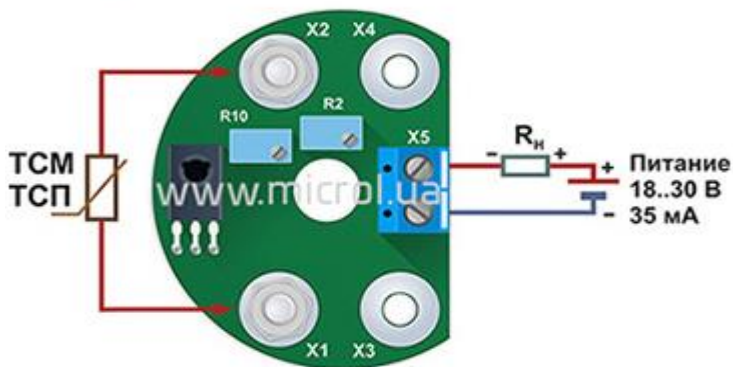


Рис. 5.2 Схема підключення уніфікованого датчика температури ТСП-У Pt100

## Технічні

характеристики:

Діапазон вимірювання -50 ... +180 °С

Клас допуску В

Ступінь захисту арматури IP 65

Ступінь вибухозахисту

0ExiallCT6...T1 X

(разрешен. зони: 0, 1, 2, 20, 21, 22)

Матеріал захисної

арматури нержавіюча сталь

12Х18Н10Т

Опір ізоляції не менше 100

МОм

Робочий струм 1 мА

Міжповірочний інтервал 4

роки

Схема підключення 3-х і 4-х дротова  
 Монтаж в трубопроводі без теплоізоляції датчиків ТСП-Н Pt100

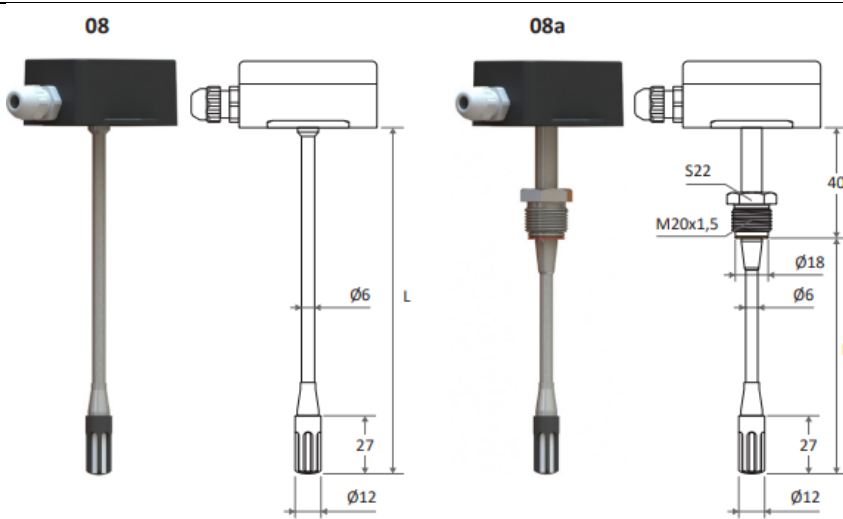


Рис. 5.3 Датчик вологи ТЕРА



Рис. Схемы подключения

Рис 5.4 Схема підключення Датчику вологи ТЕРА

-Високо-температурний пластик, IP65.  
 Ступінь вибухозахисту 0ExdПВТ4  
 Вихідний сигнал Аналоговий, 4-20 мА (НВ) або 2 х 4-20 мА (НВТ)/0-10 В (НВ) або 2 х 0-10 В (НВТ)  
 Підключення до лінії 4-20 мА  
 По 4-х, 3-х або 2-х провідних схемах підключення

	через роз'єм M12FA або M12FD Температура експлуатації перетворювача - 30 ... 60 ° C
--	---



Рис. 5.5 Виконавчий механізм *Belimo AVK24A*

**Схема підключення**

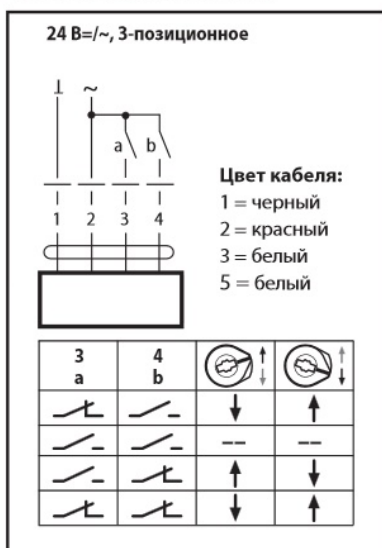


Рис 5.6 Схема підключення Виконавчий механізм

Напруга живлення 24 В ~, 50/60 Гц;  
24 В=  
Діапазон напруги  
живлення 19,2 ... 28,8 В ~ / 21,6 ...  
28,8 В =  
Розрахункова потужність 9,5 ВА  
Управляючий сигнал Y 0...10 = (при  
вхід. опорі 100 кОм)  
Встановлення точки  
спрацьовування  
охоронної функції Шток приводу  
втягується/висувається,  
настроюється поворотним  
регулятором POP  
Електричне підключення Клемна  
колодка (контакти 4 мм<sup>2</sup>) та кабель:  
1 м, 4 x 0,75 мм<sup>2</sup>  
Споживана потужність:

*Belimo AVK24A*

- під час руху 5 Вт

- при утриманні 2 Вт

Функціональні дані

Зусилля 2000 Н

Хід штока 32 мм

Час ходу штока 150 с/32 мм

Час спрацьовування охоронної  
функції (конденсатора) 35 с/32 мм

Рівень шуму 60 Дб(А)

Рівень шуму спрацьовування  
охоронної функції 60 Дб (А)

Індикація положення Механічний  
показчик 5...32 мм штока

Безпека

Клас захисту III (для низьких  
напруг)

Електромагнітна сумісність РЄ  
відповідно до 2004/108/ЄС

Ступінь захисту корпусу IP54

Номінальний імпульс

напруги 0,8 кВ

Температура експлуатації 0...+50°C

Температура зберігання -40 ... +80 °

С

Вологість довкілля 95% відн., без  
конденсації

Вага 4,46



Рис. 5.7 Реле тиску danfoss KP1

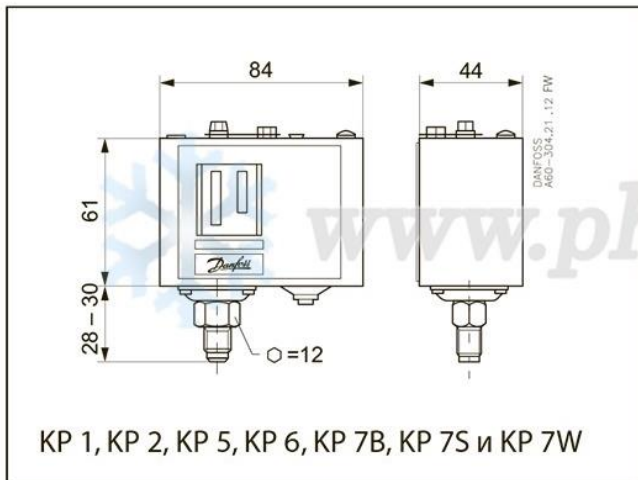


Рис 5.8 Схема Реле тиску danfoss KP1

Матеріал: Олов'яно-бронзовий сплав.

Ступінь захисту корпусу  
IP30/IP44

КР реле тиску, низький тиск

Температура навколишнього середовища:  $-40 - +65^{\circ}\text{C}$  ( $+80^{\circ}\text{C}$  протягом не більше 2 годин).

DIN-затверджених елементів.  $-40$

$- +65^{\circ}\text{C}$  ( $+80^{\circ}\text{C}$  протягом не більше 2 годин). < BR> Макс.

Робочий тиск = 17 бар

Макс. випробувальний тиск = 17 бар

Контактне навантаження, AC:

AC1: 16 А, 400 В

AC3: 16 А, 400 В

AC15: 10А, 400 В

Макс. пусковий струм (LR):

112А, 400 В

Контактне навантаження, DC:

DC13: 12 Вт, 220 В струм

управління

 <p data-bbox="284 661 722 703">hydro-maximum.com.ua</p> <p data-bbox="251 777 609 808"><b>Рис. 5.9 Реле тиску F4SP1/M3</b></p>  <p data-bbox="251 1039 698 1071"><b>Рис 5.10 Схема Реле тиску F4SP1/M3</b></p>	<p data-bbox="909 157 1388 199"><b>Характеристики F4SP1/M3:</b></p> <p data-bbox="909 220 1307 262">Матеріал корпусу: Сталь</p> <p data-bbox="909 283 1177 325">Тип: Поршневий</p> <p data-bbox="909 346 1469 451">Робоча температура: від -25 ° С до + 85 ° С</p> <p data-bbox="909 472 1226 514">Різьблення: G1 / 4 "</p> <p data-bbox="909 535 1461 640">Максимальний робочий тиск, бар: 300</p> <p data-bbox="909 661 1453 766">Діапазон перемикання тиску, бар: 1,0 - 12,0</p> <p data-bbox="909 787 1469 892">Частота перемикання, циклів / хв .: 90</p> <p data-bbox="909 913 1274 955">Тип коннектора: 30x30</p> <p data-bbox="909 976 1144 1018">Похибка: ± 4%</p> <p data-bbox="909 1039 1201 1081">Ущільнення: NBR</p> <p data-bbox="909 1102 1266 1144">Ступінь захисту IP: 65</p> <p data-bbox="909 1165 1144 1207">Вага, кг .: 0,06</p>
--	---

**Блок ручного управління (БРУ-7)**

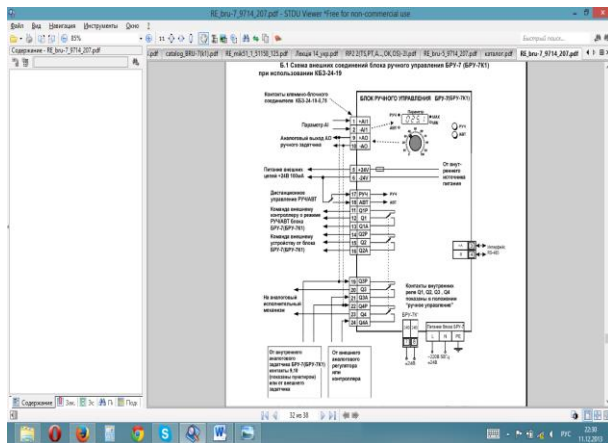
**Призначений для переключення ланцюгів керування виконавчими пристроями і механізмами, індикації режимів робіт, вимірювання та індикації одного технологічного параметра.**



БЛОК РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
БРУ-7

Рис. 5.11 – Блок ручного управління (БРУ-7)

Технічні характеристики:



Вхідний аналоговий сигнал	0-5мА ( $R_{вх}=400$ Ом), 0(4)-20 мА ( $R_{вх}=100$ Ом), 0-10В ( $R_{вх}=25кОм$ )
Вихідний аналоговий сигнал	0-5 мА ( $R_{н}<2кОм$ ), 0(4)-20 мА ( $R_{н2} кОм$ )
Максимальна похибка установки сигналу завдання	по цифровому індикатору $\pm 0,1\%$ (вихід задатчика та вхід індикатора) по лімбу потенціометра $\pm 2,0\%$
Діапазон зміни установки завдання	0-100%
Основна приведена похибка вимірювання	$\pm 0,2\%$

Рис. 5.12 – Схема підключення БРУ-7	Кількість розрядів цифрового індикатора	4
	Комутаційна здатність контактів реле з магнітною блокуванням	Постійний струм ... <34 В, <0,25 А Змінний струм ... <220 В, <0,25 А
	Температура навколишнього середовища	от -40°C

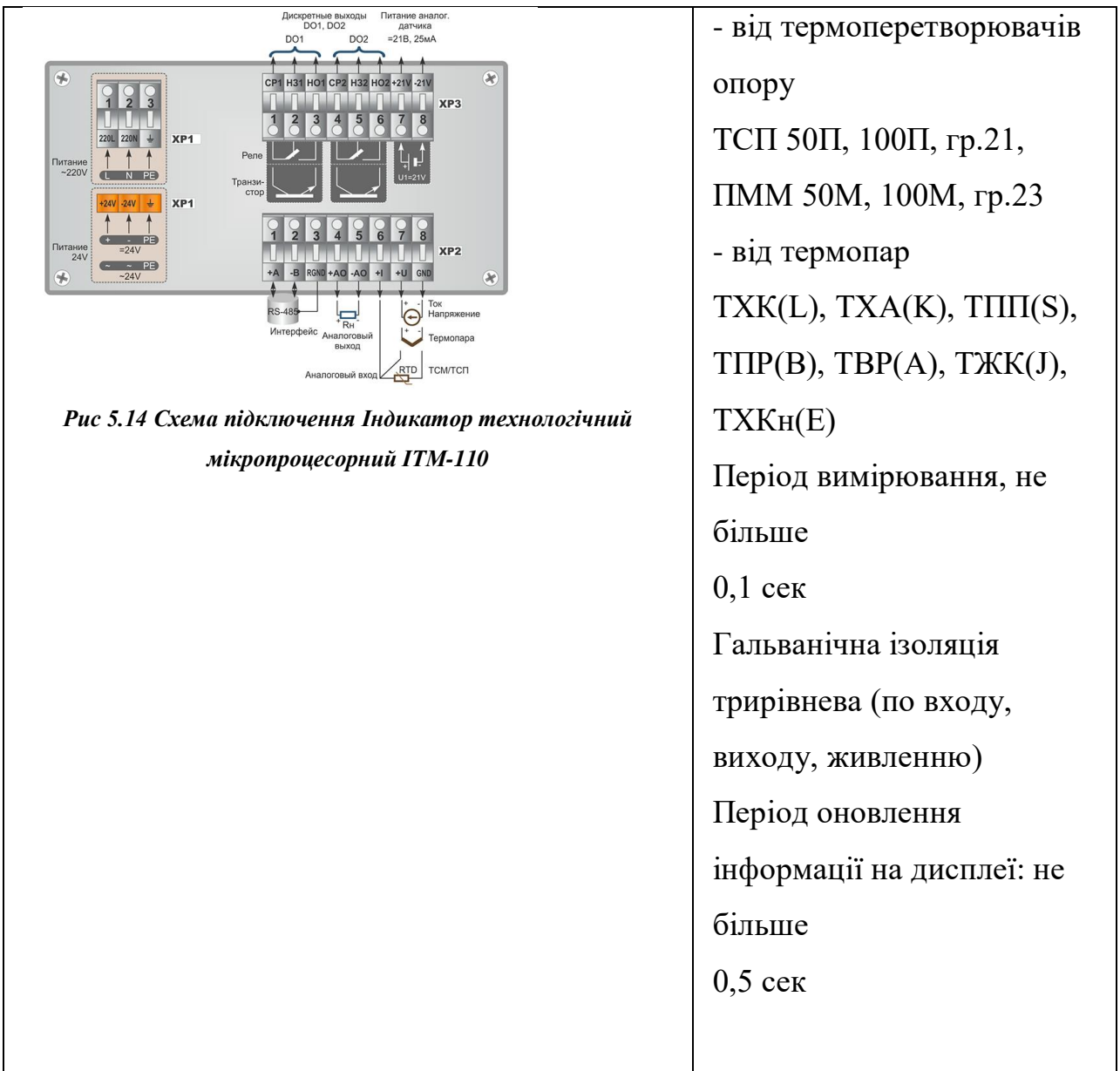


Рис. 5.13 Індикатор технологічний мікропроцесорний ІТМ-110

Кількість аналогових входів - 1

Діапазон зміни вхідного сигналу:

- уніфіковані  
0-5мА (R<sub>вх</sub>=400 Ом), 0(4)-20 мА (R<sub>вх</sub>=100 Ом), 0-10В (R<sub>вх</sub>>25кОм)
- напруги  
0-50мВ, 0-75мВ, 0-200мВ, 0-1В, 0-5В



- від термоперетворювачів  
опору

ТСП 50П, 100П, гр.21,  
ПММ 50М, 100М, гр.23

- від термопар

ТХК(L), ТХА(К), ТПП(S),  
ТПР(В), ТВР(А), ТЖК(І),  
ТХКн(Е)

Період вимірювання, не  
більше

0,1 сек

Гальванічна ізоляція  
трирівнева (по входу,  
виходу, живленню)

Період оновлення  
інформації на дисплеї: не  
більше

0,5 сек

Контактор - Двопозиційний електромагнітний апарат, призначений для частих дистанційних включень та вимкнень силових електричних ланцюгів у нормальному режимі роботи. Його призначенням є захист електродвигунів від можливого перегріву. Таким може бути обрив однієї з фаз або будь-які інші причини



Рис 5.15. Магнітний пускач Schneider Electric  
LC1K0610M7 3P 1НО 06А 220V

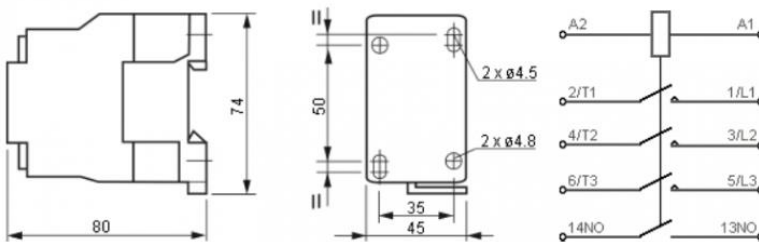


Рис 5.16. Схема підключення Магнітний  
пускач Schneider Electric LC1K0610M7 3P  
1НО 06А 220V

- Диапазон: TeSys
- Тип устройства или его аксессуаров:  
Контактор
- Наименование изделия: TeSys К
- Краткое название устройства: LC1K
- Область применения:  
Управление
- Применение контактора:  
Управление электродвигателем, Активная нагрузка
- Мощность (кВт)  
380/415 В АС3: 4
- Ток (А)  $\leq 440$  В АС3 ( $\leq 55^\circ\text{C}$ ): 9
- Ток термической стойкости (А) АС1 ( $I_{th}$ ) ( $\leq 55^\circ\text{C}$ ): 20
- Вспомогательный контакт: 1NC
- Силовая цепь: АС (переменный ток)

- Цепь управления:  
АС (переменный  
ток)



Рис 5.17. Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485

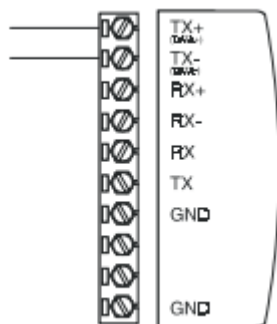


Рис 5.18. Схема підключення Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485

Сумісність зі стандартом USB v1.1  
 Інтерфейс мережі: USB  
 Послідовний: 3-провідний RS-232, RS-422, RS-485  
 Порти 1 x RS-232/422/485  
 Мережний роз'єм: роз'єм USB типу А (тип А – тип В кабель в комплекті)  
 Серійний номер: скручений дріт  
 Швидкість передачі від 50 біт/с до 115,2 кбіт/с  
 Біти парності Непарні, парні, відсутні  
 Біти даних 5, 6, 7, 8  
 Стоп-біти 1, 1.5, 2  
 Сигнали RS-232 Tx, Rx, GND  
 Захист від перенапруги 3000 В постійного струму (RS-485)

Захист ізоляції 3000 В  
постійного струму (RS-  
232/422/485)

Драйвер підтримує  
Windows®

98/2000/ME/XP, Linux®

Споживана потужність  
270 мА при 5 В (типове)  
300 мА при 5 В (макс.)

Макс. Відстань 15  
футів (4,6 м)

Корпус із АБС-  
пластику з

прикріпленням  
кріпленням

Монтаж на DIN-рейку,  
панельний монтаж,  
комбінований стек

Робоча температура 0 ~  
70° С (32 ~ 158° F)



Рис 5.19. Контролер програмований  
SIMATIC S7-300, CPU313C-2DP

Характеристики ЦПУ

Робоча пам'ять 64 Кб

Завантажувана пам'ять ММС макс. (в комплект не входить) 8 Мб

Час виконання операцій, логічний 0.1 мкс

Час виконання операцій з фіксованою точкою 2 мкс

Час виконання операцій з плаваючою точкою 3 мкс

Кількість прапорів/таймерів/лічильників в 2048 / 256 / 256

Вбудовані інтерфейси РtP, МРІ

Кількість активних комунікаційних з'єднань 8

Кількість вбудованих дискретних входів 16

Кількість вбудованих дискретних виходів 16

Вбудовані функції

Кількість вбудованих швидкісних лічильників 3 x 30 кГц

Імпульсні виходи 3 x 2.5 кГц

ПД-регулювання є

Конструктив Габарити

(ШxВxГ) 120x125x130 мм



Рис 5.20. Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485

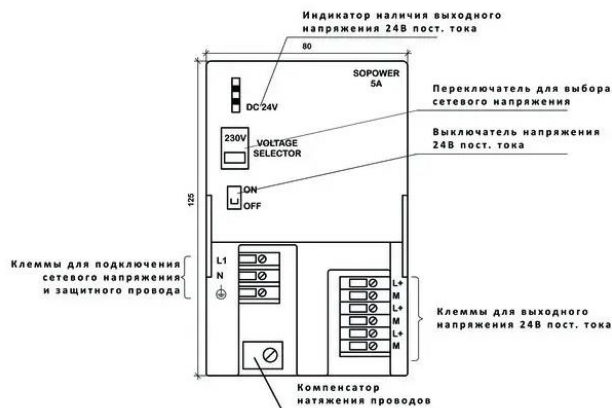


Рис 5.21. Схема підключення Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485

Вхід 1-фазний: АС  
 Напряга живлення  
 1 при номінальному  
 значенні змінного струму  
 2 при номінальному  
 значенні змінного струму

Примітка:

120 В 230 В

Автоматичний вибір  
 діапазону

Вхідна напруга 1 при  
 змінному струмі

2 при змінному струмі:

85 ... 132 В 170 ... 264 В

Стійкість до перенапруги:

2,3 × номінальний  $V_{in}$ , 1,3  
 мс

Буферизація мережі при  
 номінальному  $I_{out}$ , мін.: 20

мс; при  $V_{in} = 93/187$  В

Номінальна частота

мережі: 50 ... 60 Гц

Номінальний діапазон

ліній: 47 ... 63 Гц

Вхідний струм

при номінальній вхідній  
 напрузі 120 В

при номінальній вхідній  
напрузі 230 В: 2.3 А 1,2 А  
Обмеження струму  
включення (+25 °С), макс.:  
20 А  
Тривалість обмеження  
пускового струму при 25  
°С максимум: 3 мс  
 $I^2t$ , макс. 1.2:  $A^2 \cdot s$   
Вбудований вхідний  
запобіжник: Т 3,15 А/250 V  
(недоступний)  
Захист на вході живлення  
від мережі (IEC 898):  
Рекомендований  
мініатюрний автоматичний  
вимикач: від 6 А  
характеристика С  
Вихід:  
Вихід: контрольована,  
ізольована напруга  
постійного струму

Кінцеві або як їх ще називають шляхові вимикачі використовуються для зв'язування електричного ланцюга, наприклад, в електричних приладах та сигналізації



Рис 5.22. Вимикач кінцевий ME 8104 АСКО

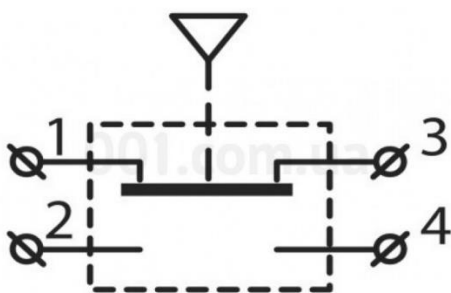


Рис 5.23 . Схема підключення ME 8104

Номінальна напруга,  
230/115  
Номінальний струм AC/DC, А  
5/0,4  
Вхідний діаметр гермовводу, мм  
6  
Максимальна частота включень  
30 циклів за хв.  
Механічна зносостійкість  
10000000 циклів  
Тип контакту  
1NO+1NC  
Ступінь захисту  
IP65

### 5.3 Висновок за розділом

В даному розділі було проведено вибір технічних засобів, за допомогою яких, оператору вдасться забезпечити якісне керування процесом кондиціонування повітря. Для кондиціонування повітря, усі класи точності та діапазони

відповідають нормам, тобто оператор буде отримуватиме дійсну інформацію щодо протікання процесу. За допомогою уніфікованих сигналів, досягається висока точність керування процесом. Усі виконавчі механізми відповідають вимогам технічного процесу.

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

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

Виконавши аналіз системи автоматизації підготовки повітря для його подачі в приміщення, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Таблиця № 6.1 Список параметрів, що вводяться та виводяться з контролеру

№ пп	Найменування параметру	Умовне позначення	Вид сигналу A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролера
1	Вологість в приміщенні	M	A	I	(0-20 мА)
2	Температура в приміщенні	Te	A	I	(0-20 мА)

3	Температура охолодження повітря	To	A	I	(0-20 мА)
4	Тиск холодоагенту	Pf	D	I	24 V DC
5	Тиск холодної води	Pcw	D	I	24 V DC
6	Тиск гарячої води	Phw	D	I	24 V DC
7	Сигнал контролю стану АВ М1	m1SF	D	I	24 V DC
8	Сигнал контролю стану МП М1	m1KM	D	I	24 V DC
9	Сигнал контролю стану АВ М2	m2SF	D	I	24 V DC
10	Сигнал контролю стану МП М2	m2KM	D	I	24 V DC
11	Сигнал контролю стану АВ М3	m3SF	D	I	24 V DC
12	Сигнал контролю стану МП М3	m3KM	D	I	24 V DC

1 3	Керуючий вплив на клапан холодної води	U1	A	O	(4-20 мА)
1 4	Керуючий вплив на клапан гарячої води	U2	A	O	(4-20 мА)
1 5	Керуючий вплив на клапан холодоносія	U1	A	O	(4-20 мА)
1 6	Сигнал керування приводом М1	m1C	D	O	24 V DC
1 7	Сигнал керування приводом М2	m2C	D	O	24 V DC
1 8	Сигнал керування приводом М3	m3C	D	O	24 V DC
1 9	Сигнал керування звук.сигналізацією	signal	D	O	24 V DC

Кількість каналів вводу\виводу:

AI – 3, AO – 3, DI – 9, DO – 4

6.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

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

6.2.1 Перший варіант системи керування розробимо на базі контролера S7-300 фірми Siemens. Оскільки центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

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

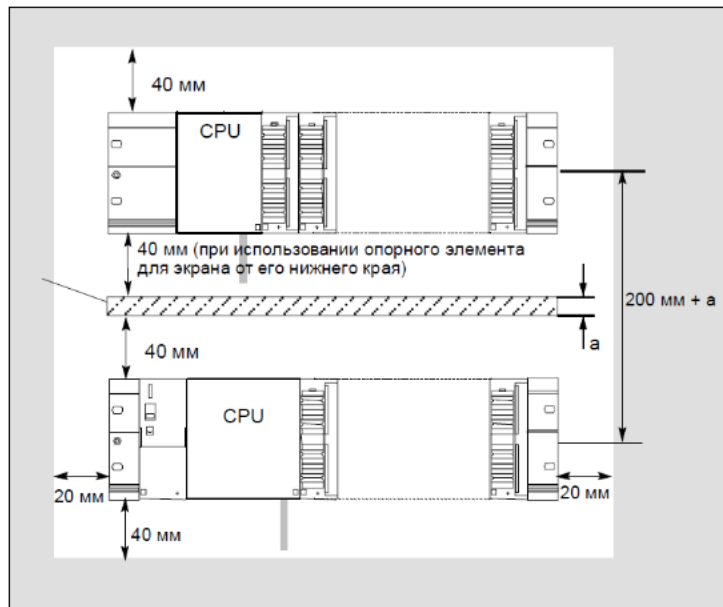


Рис. 6.1– Зазори при встановленні S7-300 у шафі

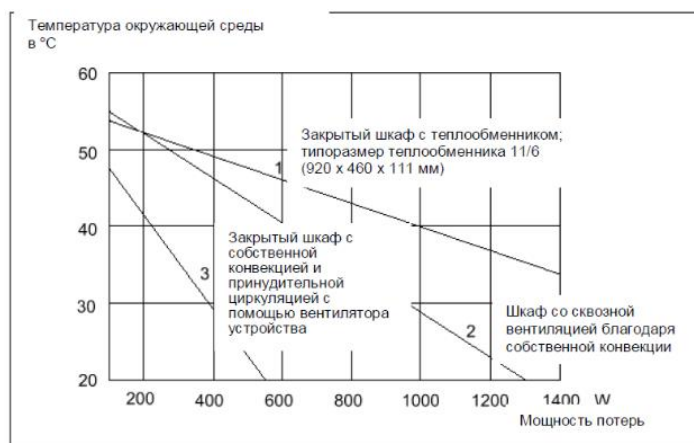


Рис. 6.2 – Діаграма припустимих потужностей розсіювання

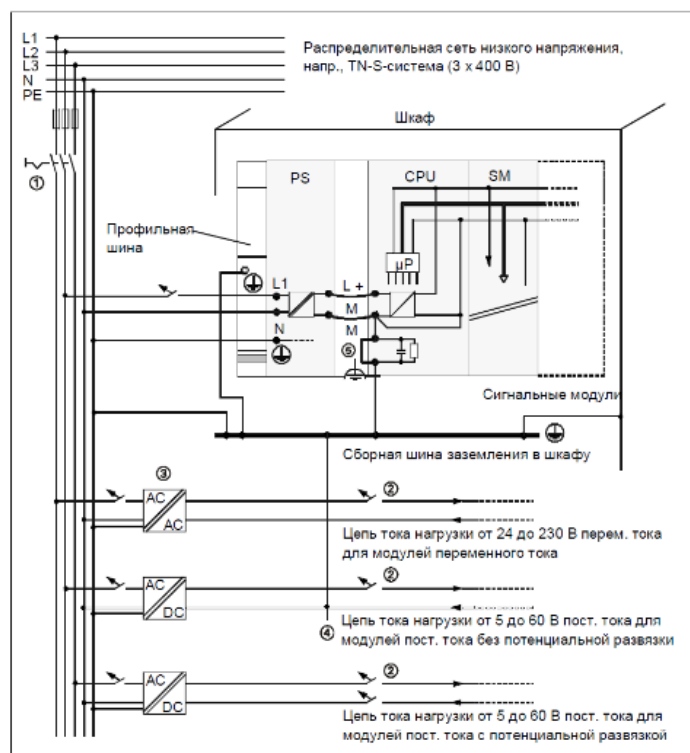


Рис. 6.3 – Схема заземлення в шафі

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

Фірма Siemens випускає найбільш широкую гаму устаткування з можливістю підключення по мережі PROFIBUS/MPI, тому доцільно вибрати CPU із

вбудованим портом PROFIBUS/MPI. Це дозволить при необхідності легко розширити функціональні можливості системи керування.

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

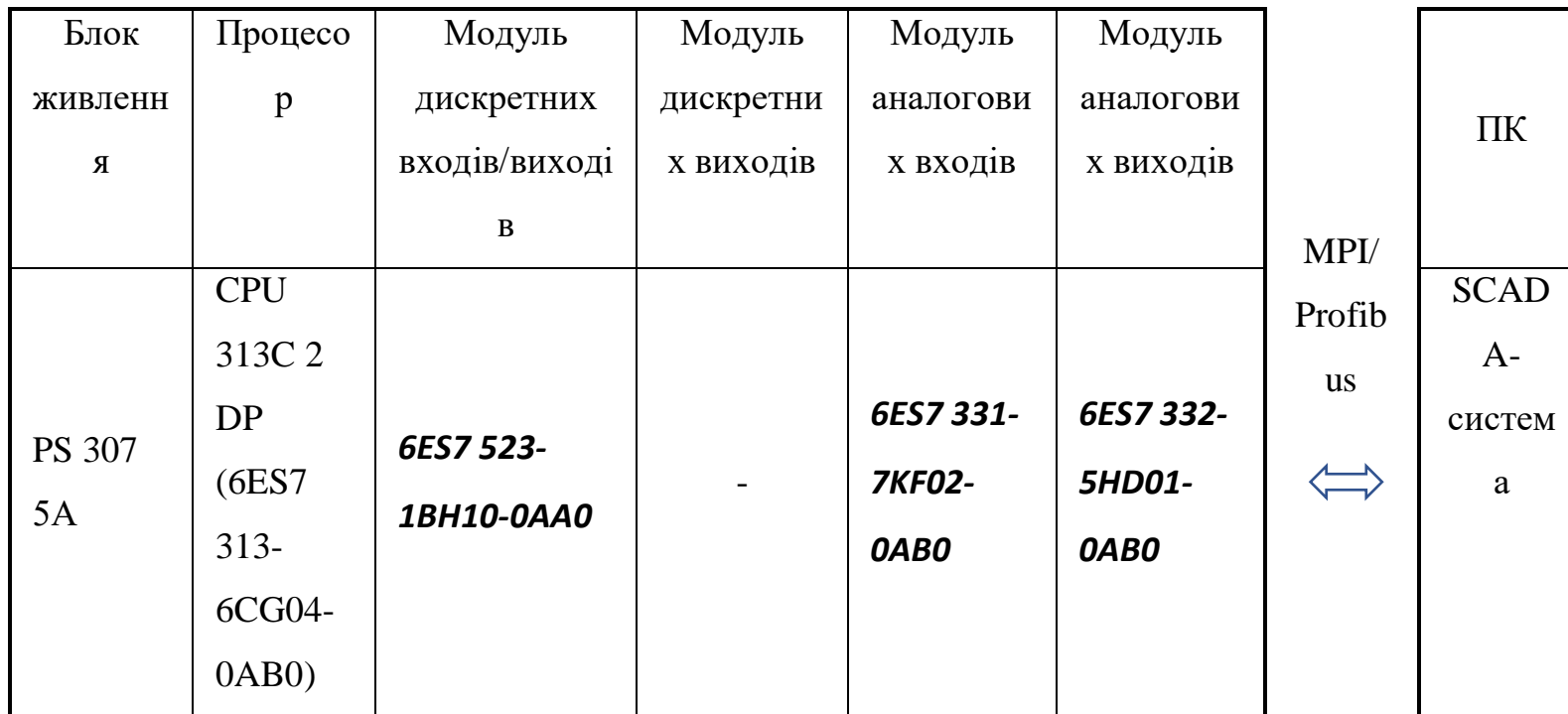


Рис. 6.4 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

### Вибір модулів системи

Виходячи з середньої складності алгоритмів керування, для реалізації системи управління скористаємося контролером CPU 313C-2DP



Компактний центральний процесор CPU 313C-2DP (6ES7 313-6CG04-0AB0) характеризується наступними показниками:

- Мікропроцесор; 100-200 нс на виконання бінарної інструкції.

Рис. 6.5 – Загальний вид  
CPU 313C-2DP

Робоча пам'ять об'ємом 64 Кбайт, RAM (приблизно 20 К інструкцій);  
для виконання завантаженої секції програми та зберігання оперативних даних.

- Гнучкі можливості розширення; підключення до 31 модуля S7-300 (4-рядна конфігурація).
- Інтерфейс MPI; дозволяє встановлювати одночасно до 8 з'єднань з програмованими контролерами S7-300/400, програматорами, комп'ютерами та панелями операторів.
- Набір вбудованих входів і виходів; 16 дискретних входів = 24В і 16 дискретних виходів = 24В/0.5А .

Для підключення дискретних входів/виходів застосовано цифровий модуль вводу/виводу SM 323; DI 8/DO 8 x DC 24.

Властивості SM 323; DI 8 / DO 8 x DC 24 V / 0.5 A:

- 8 входів, потенційно розв'язаних групами по 8
- 8 виходів, потенційно розв'язаних групами по 8
- Номінальна вхідна напруга 24 В пост. струму
- Номінальна напруга на навантаженні 24 В пост. струму
- Входи придатні для перемикачів і 2-, 3- і 4-провідних реле близькості (BERO)
- Виходи придатні для електромагнітних вентилів, контакторів постійного струму і індикаторних ламп

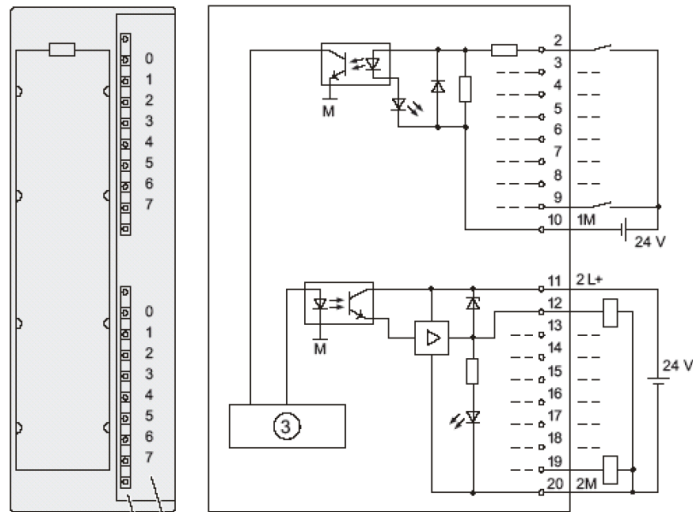


Рис. 6.6 – Схеми зовнішніх підключень SM 323; DI 8/DO 8 x DC 24

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

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



#### Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

К катушкам, обтекаемым постоянным током, параллельно подключаются, как показано на следующем рисунке, диод или стабилитрон.



Рис. 3-2. Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

⊕ с диодом  
⊕ со стабилитроном

Схема с диодом/стабилитроном обладает следующими свойствами:

- Можно полностью избежать перенапряжений, связанных с отключением. Стабилитрон допускает более высокие отключаемые напряжения.
  - Большая задержка отключения (в 8 – 10 раз больше, чем без защитной схемы).
- Схема со стабилитроном обеспечивает более быстрое отключение, чем схема с диодом.

#### Схемы защиты для катушек, обтекаемых переменным током

К катушкам, обтекаемым переменным током, параллельно подключается, как показано на следующем рисунке, варистор или RC-цепочка.



Рис. 3-3. Схемы защиты для катушек, обтекаемых переменным током

⊕ с варистором  
⊕ с RC-цепочкой

Схема с варистором обладает следующими свойствами:

- Амплитуда перенапряжения, возникающего при отключении, ограничивается, но не демпфируется.
- Крутизна перенапряжения остается той же самой.

• Задержка отключения незначительна.

Схема с RC-цепочкой обладает следующими свойствами:

- Уменьшаются амплитуда и крутизна напряжения, возникающего при отключении.
- Задержка отключения незначительна.

Рис. 6.7 – Рекомендації Siemens при підключенні дискретних виходів

Для вводу аналогових сигналів був обраний аналоговий модуль SM 331; AI 8 x 12 Bit; (6ES7331-7KF02-0AB0).

Характеристики:

- 8 входів в 4 групах каналів
- Вид вимірювання встановлюється на групу каналів  
Напруга; Струм; Опір; Температура
- Роздільна здатність встановлюється на групу каналів (9/12/14 бітів + знак)
- Вибір діапазону вимірювань на будь-яку групу каналів
- діагностика і діагностичне переривання
- Контроль граничних значень настраюється для 2 каналів
- апаратне переривання при порушенні регламенту
- Гальванічна розв'язка з CPU і напругою на навантаженні

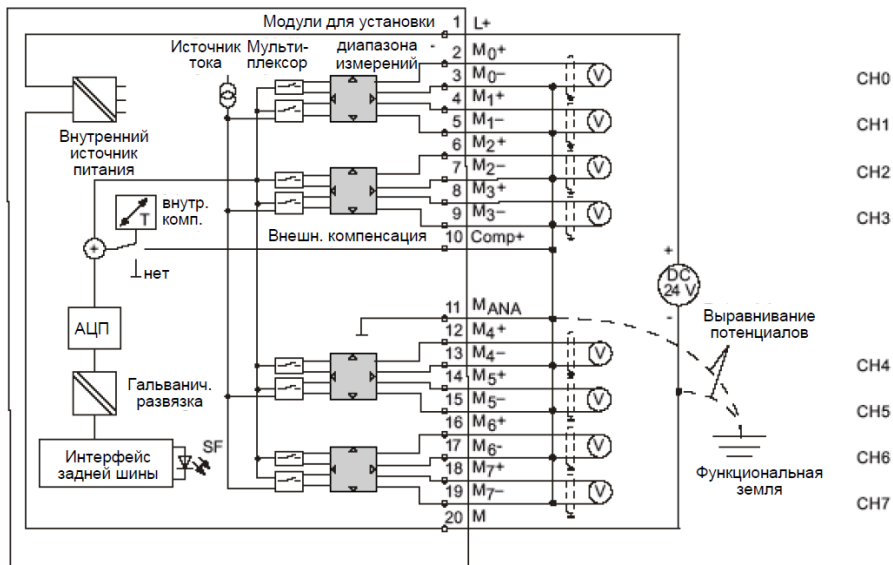


Рис. 6.8 – Схема підключення SM 331; AI 8 x 12 Bit

Для виводу аналогових сигналів був обраний аналоговий модуль SM 332; АО 4 x 12 Bit; (6ES7332-5HD01-0AB0).

Властивості:

- 4 виходи в одній групі
- окремі вихідні канали можуть бути параметризовані як потенційні виходи або струмові виходи
- Роздільна здатність 12 біт
- діагностика і діагностичне переривання
- Гальванічна розв'язка щодо інтерфейсу з задньої шиною і напруги на навантаженні.

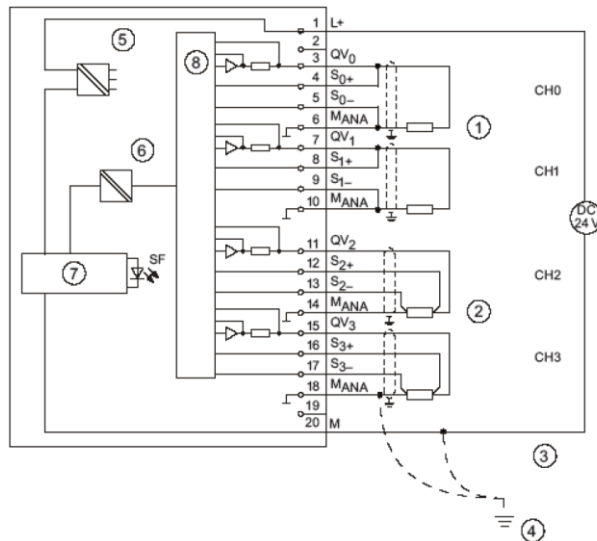


Рис. 6.9 – Схема підключення SM 332; АО 4 x 12 Bit.

6.2.2 Другий варіант системи керування розробимо на базі розподіленої системи WAGO I/O.

Виходячи із сформованої таблиці 6.1, для реалізації алгоритмів управління скористаємося контролером WAGO 750-881 з модулями ПЗО: АІ WAGO 750-453, АО WAGO 750-555, ДІ WAGO 750-430, ДО 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.6.10.

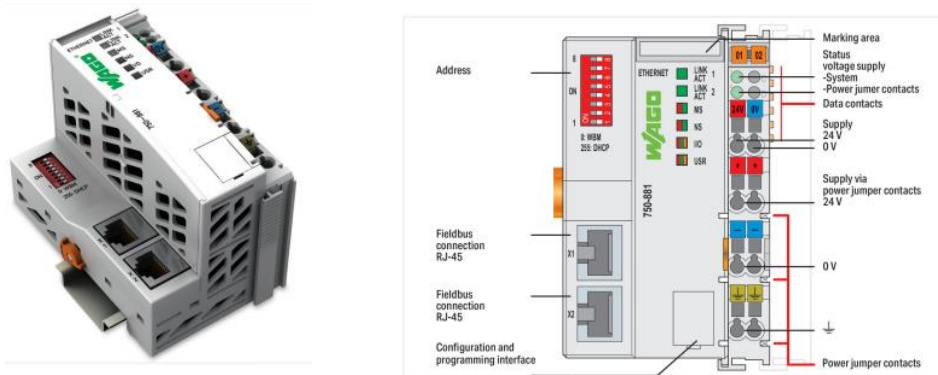


Рис. 6.10 – Контролер WAGO 750-881 – зовнішній вигляд.

підключення  
WAGO 750-  
Для  
аналогових  
контролер

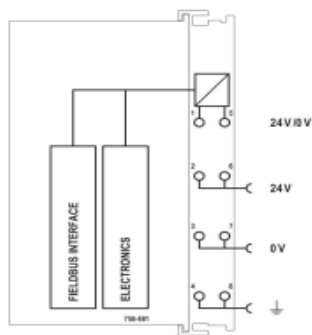
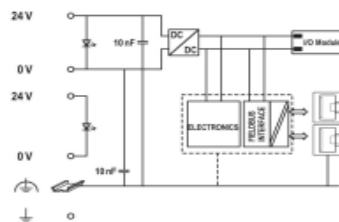
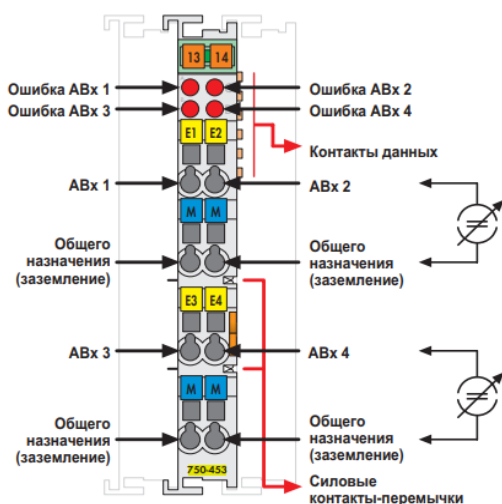


Рис.6.11 – Схема  
контролера  
881.

введення  
сигналів у  
будемо



використовувати 4-канальний модуль аналогового введення WAGO 750-453 (рис. 6.12).



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°C)	< ± 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®
Сечение	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 мм
Вес	51 г
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	в соотв. с EN 61000-6-2 (2005)
ЭМС СЕ - излучение помех	в соотв. с EN 61000-6-4 (2007)
ЭМС при применении в судостроении - помехоустойчивость	согласно Германскому Плайду (2003)
ЭМС при применении в судостроении - излучение помех	согласно Германскому Плайду (2003)

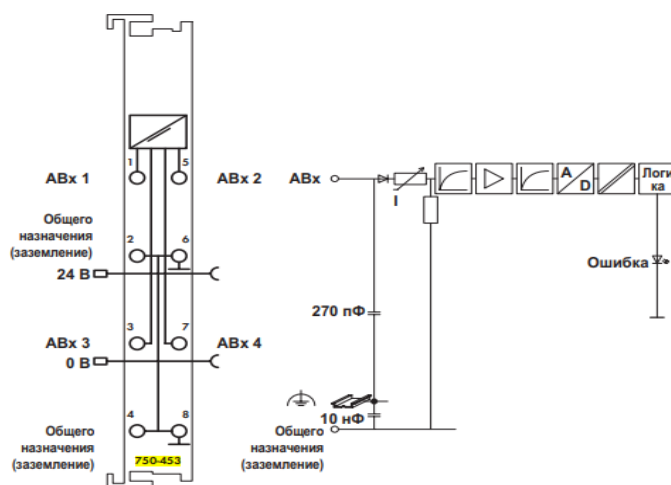
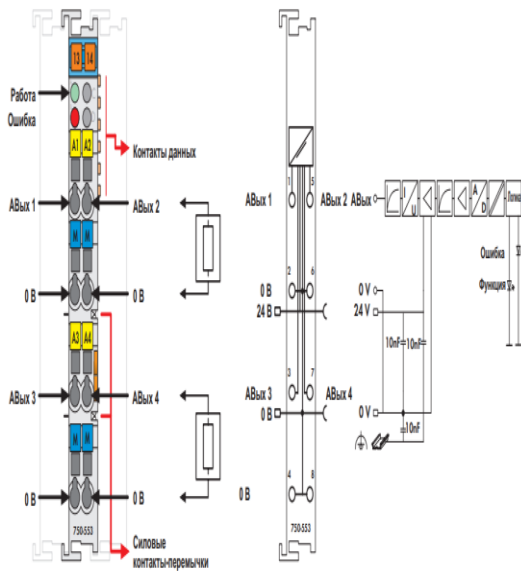


Рис. 6.12 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-453, його характеристики та схема підключення.

Для виведення аналогових сигналів з контролера (формування аналогових керуючих дій) будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового виводу WAGO 750-555 (рис. 6.13).



Технические данные	
Количество выходов	4
Потребление тока, тип. (внутреннее)	60 мА
Подача напряжения	через преобразователь постоянного тока сетевого напряжения
Ток сигнала	0 - 20 мА (750-553, 753-553) 4 - 20 мА (750-555, 753-555)
Полное сопротивление нагрузки	0 - 300 Ом или 300 - 600 Ом (используйте один и тот же диапазон полного сопротивления для всех нагрузок!)
Разрешение	12 бит
Время преобразования (тип.)	10 мс
Время восстановления (тип.)	100 мс
Ошибка измерения (25°C)	< ± 0,1 % 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 (опция)
Проводное соединение	CAGE CLAMP®
Сечения	0,08 mm <sup>2</sup> ... 2,5 mm <sup>2</sup> / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции, серия 750/753	8 ... 9 mm / 0.33 дюйма
Ширина	9 ... 10 mm / 0.37 дюйма
Вес	53,5 г
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	в соотв. с EN 61000-6-2 (2005)
ЭМС СЕ - излучение помех	в соотв. с EN 61000-6-4 (2007)
ЭМС при применении в судостроении - помехоустойчивость	согласно Германскому Ллойд (2003)
ЭМС при применении в судостроении - излучение помех	согласно Германскому Ллойд (2003)

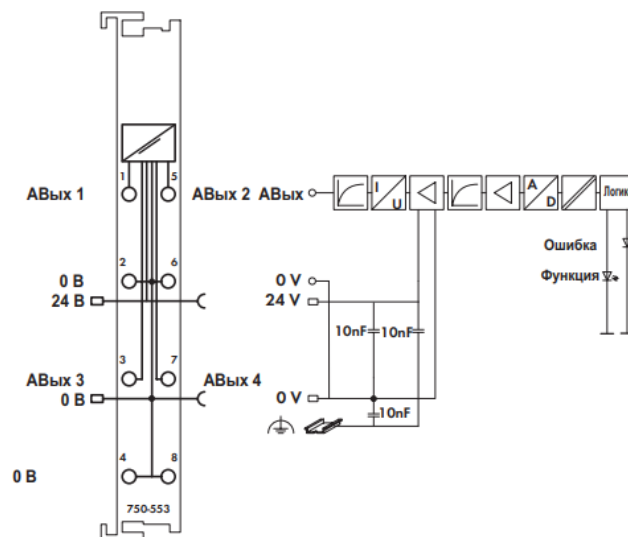
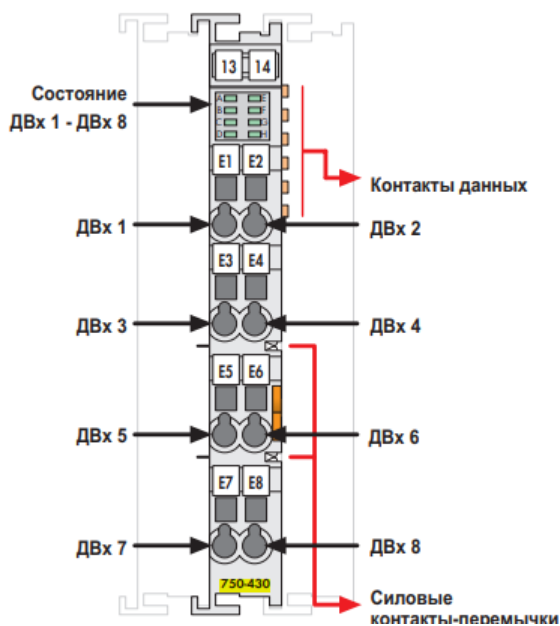


Рис. 6.13 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-555, його характеристики та схема підключення.

Для вводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного вводу WAGO 750-430 (рис. 6.14).



Технические данные	
Количество входов	8
Потребление тока (внутреннее)	17 мА
Напряжение через силовые контакты-переключки	24 В пост. тока (-25 - +30 %)
Напряжение сигнала (0)	-3 - +5 В пост. тока
Напряжение сигнала (1)	15 - 30 В пост. тока
Входной фильтр	3,0 мс (750-430 / 753-430) 0,2 мс (750-431 / 753-431)
Входной ток (тип.)	2,8 мА
Развязка	питания 500 В между системой и источником
Внутренняя битовая ширина	8 бит
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 9 ... 10 mm / 0.37 дюйма
Ширина	12 mm
Вес	48,5 г
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	в соотв. с EN 61000-6-2 (2005)
ЭМС СЕ - излучение помех	в соотв. с EN 61000-6-4 (2007)
ЭМС при применении в судостроении	
- помехоустойчивость	согласно Германскому Плейду (2003)
ЭМС при применении в судостроении	
- излучение помех	согласно Германскому Плейду (2003)

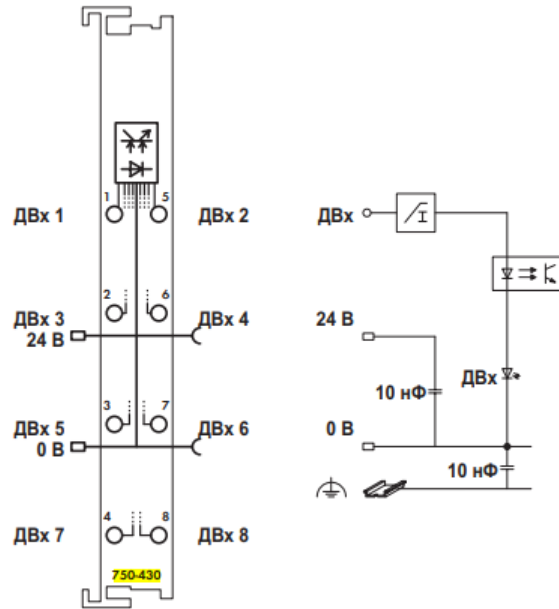
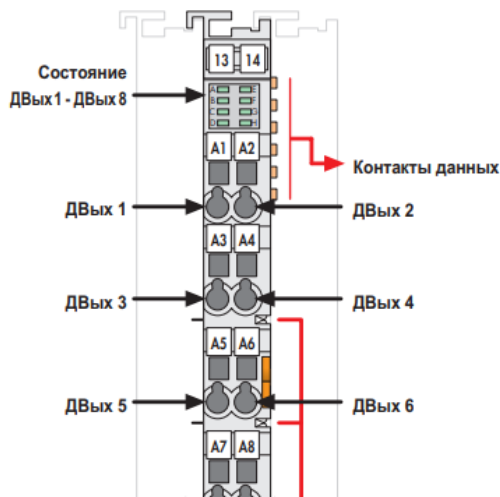


Рис. 6.14 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-430, його характеристики та схема підключення.

Для виводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного виводу WAGO 750-530 (рис. 6.15).



Технические данные	
Количество выходов	8
Потребление тока (внутреннее)	25 мА
Напряжение через силовые контакты-перемычки	24 В пост. тока (-25 - +30 %)
Тип нагрузки	резистивная, индуктивная, лампы
Макс. частота переключений	2 кГц
Выходной ток (макс.)	0,5 А, с защитой от короткого замыкания
Рассеяние энергии W при выключении индуктивной нагрузки (макс.)	0,9 Дж; $I_{\text{макс}} = 2 \times W_{\text{макс}} / I^2$
Потребление тока, тип. (полевой уровень)	15 мА + заряд
Развязка	500 В между системой и источником питания
Внутренняя битовая ширина	8 бит
Проводное соединение	CAGE CLAMP®
Сечения	0,08 mm <sup>2</sup> ... 2,5 mm <sup>2</sup> / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции, серия 750/753	8 ... 9 mm / 0.33 дюйма
Ширина	9 ... 10 mm / 0.37 дюйма
Вес	12 мм 48,5 г
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	в соотв. с EN 60000-6-2 (2005)
ЭМС СЕ - излучение помех	в соотв. с EN 61000-6-4 (2007)
ЭМС при применении в судостроении	
- помехоустойчивость	согласно Германскому Плейду (2003)
ЭМС при применении в судостроении	
- излучение помех	согласно Германскому Плейду (2003)

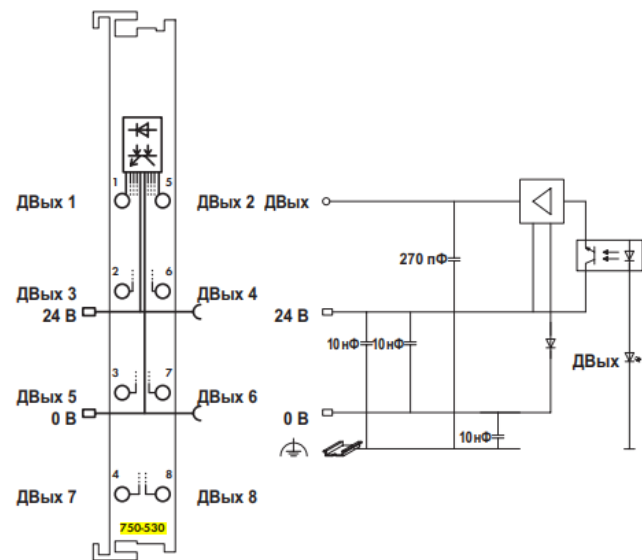


Рис. 6.15 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-430, його характеристики та схема підключення.

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 технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування прийме наступний вигляд. (рис. 6.16).

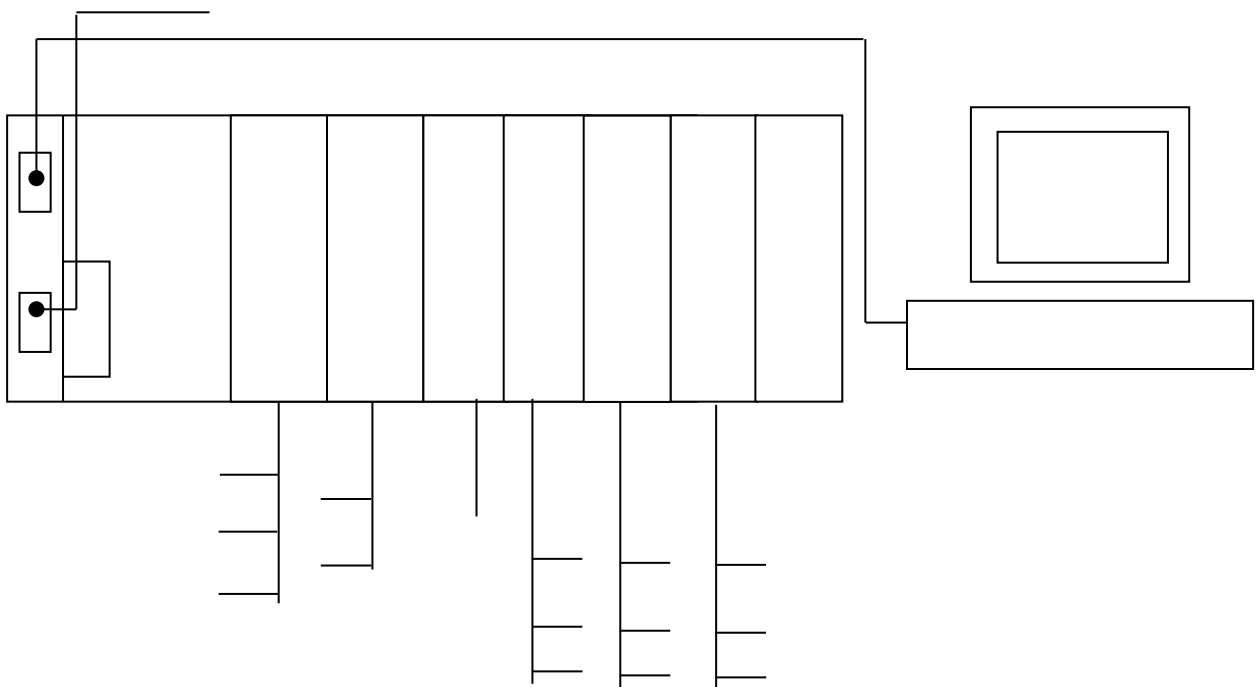


Рис. 6.16 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи управління процесом кондиціонування повітря.

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

6.3.1 Першим етапом проведено програмне конфігурування контролера та його модулів ПЗО у середовищі CoDeSys. На рис.6.17, 6.18 розкрита процедура конфігурування CPU контролера та його модулів ПЗО.

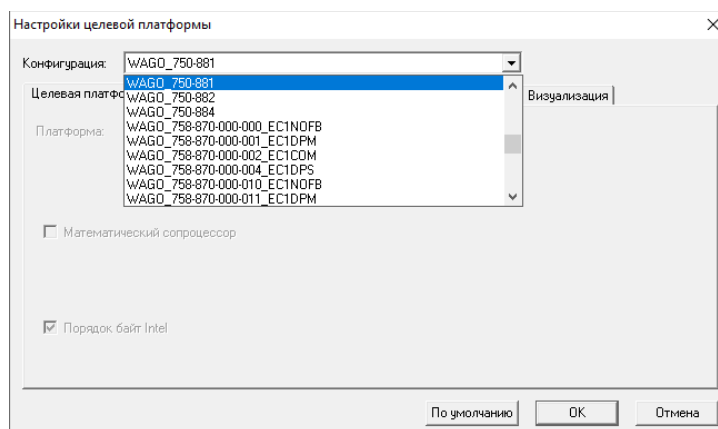
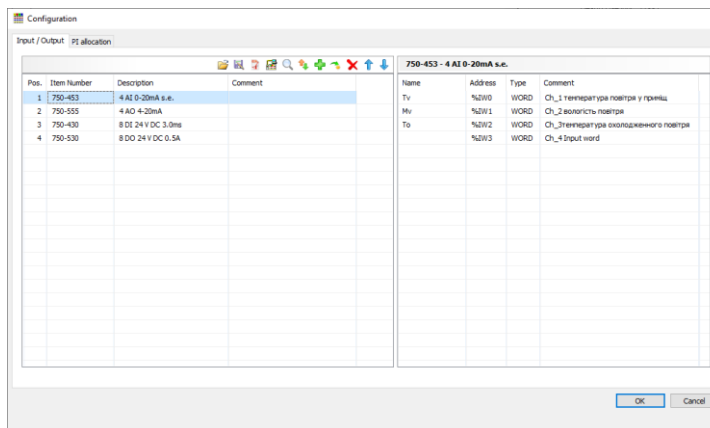


Рис.6.17 – Вікно вибору контролера у середовищі CoDeSys.



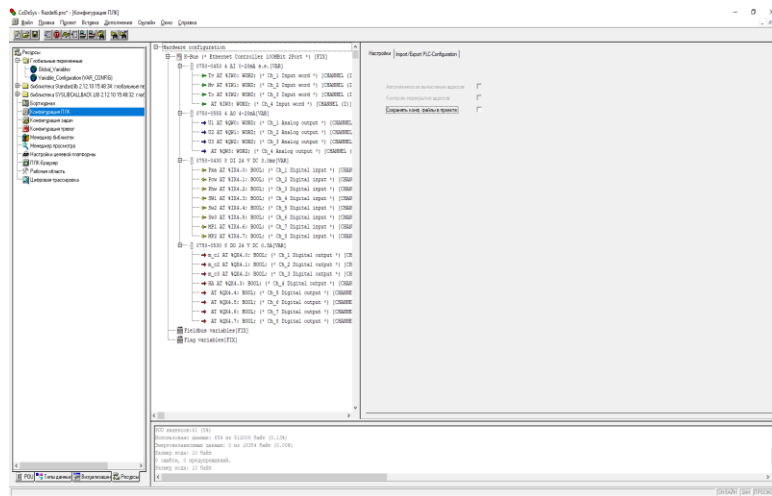


Рис. 6.18 – Фрагмент вікон конфігурування модулів ПЗО у середовищі CoDeSys.

### 6.3.2 Розробка типових функціональних блоків

До складу системи підготовки повітря входять три електроприводи вентиляторів. Для забезпечення їх функціонування доцільно розробити один типовий функціональний блок, який буде забезпечувати пуск, зупинку, аналіз станів електроприводу, що дасть змогу оператору експлуатувати це обладнання в автоматичному, дистанційному та місцевому режимах. Приклад реалізації функціонального блоку керування двигуном наведено на рис.6.19 і 6.20.

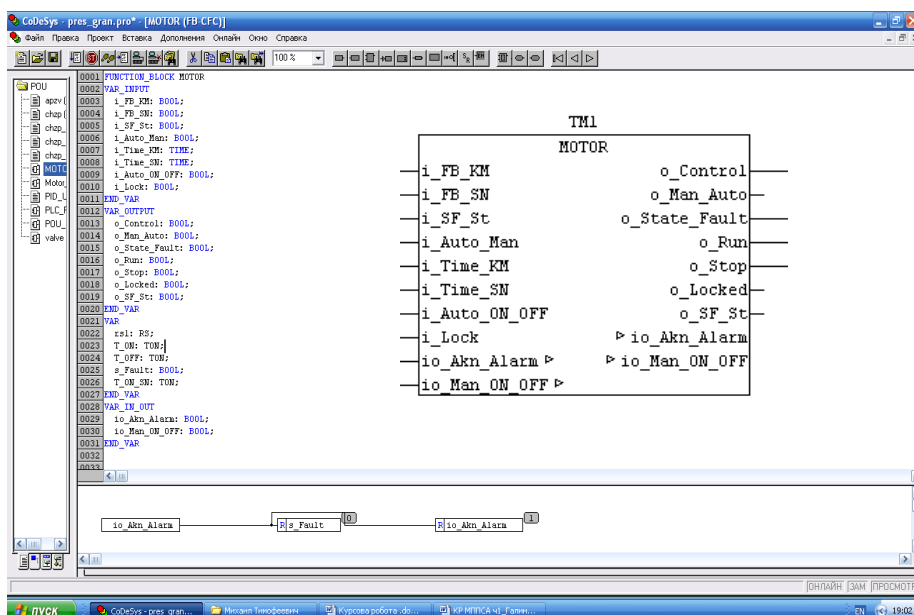


Рис.6.19 – Загальний вигляд блоку керування двигуном та список змінних підпрограми що його реалізує.

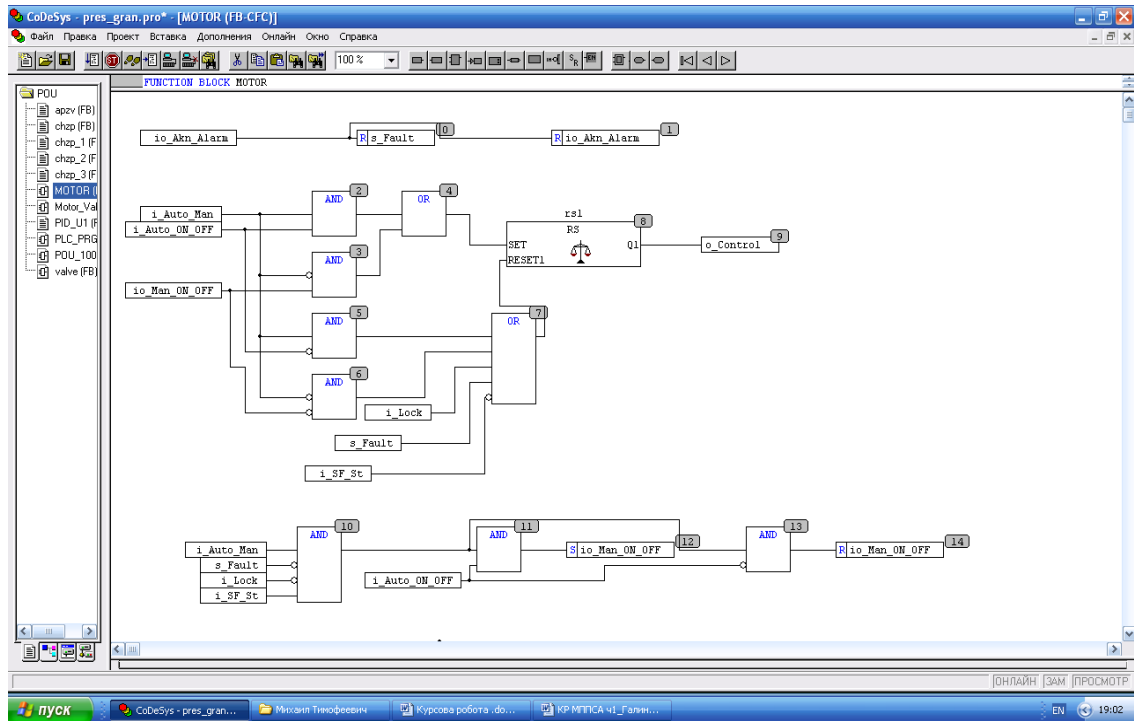


Рис.6.20 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном (початок).

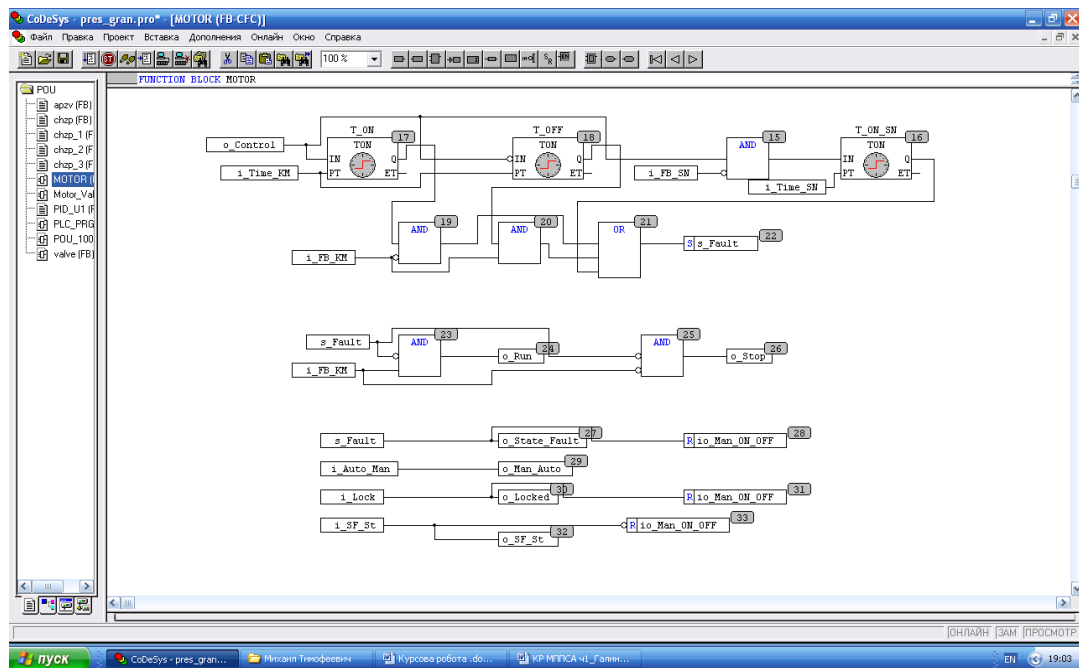


Рис.6.20 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном (кінець).

Для реалізації системи регулювання розроблені типові функціональні блоки ПД-регулятора та динамічних ланок: ланки запізнення та інерційної ланки першого порядку. Ці блоки розроблені мовою ST На рис. 6.21 представлена внутрішня структура регулятора.

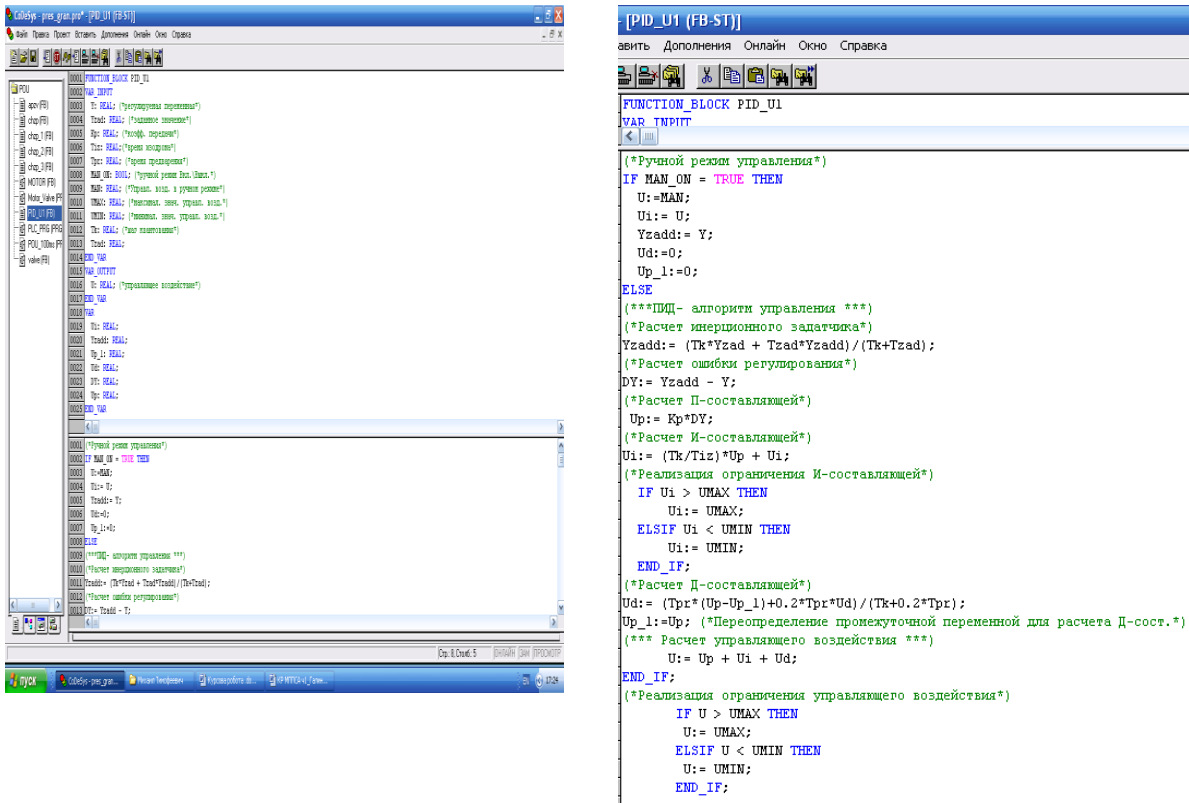


Рис. 6.21 – Код программы ПД - регулятора.

Для реалізації моделі об'єкта керування використовувались спеціально розроблені функціональні блоки динамічних ланок: ланки запізнення та статичної аперіодичної інерційної ланки першого порядку. На рис. 6.22 та 6.23 представлені фрагменти програм реалізації цих ланок мовою ST.

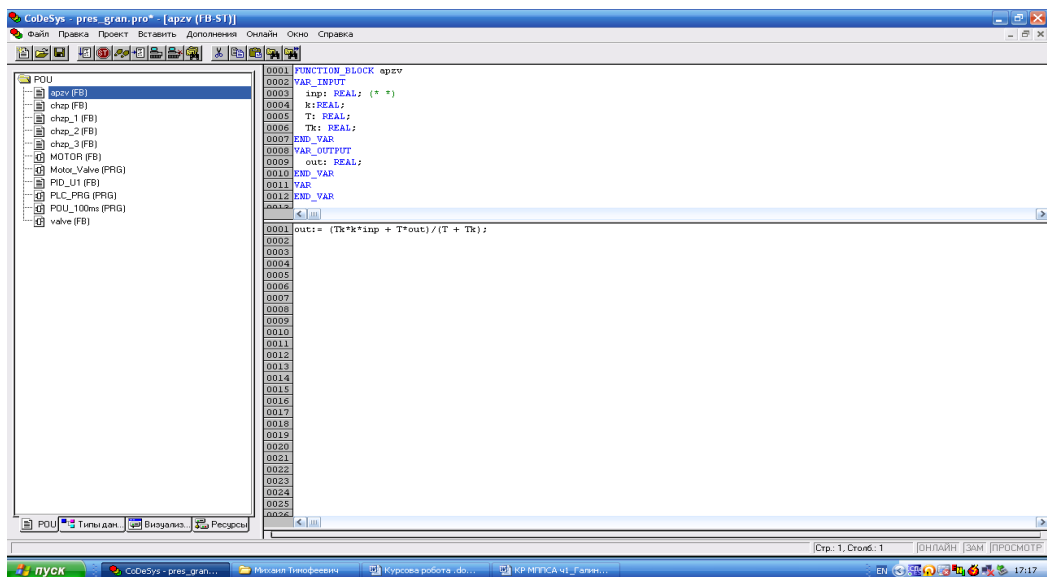


Рис. 6.22 – Фрагмент програми, яка реалізує статичну аперіодичну інерційну ланку першого порядку.

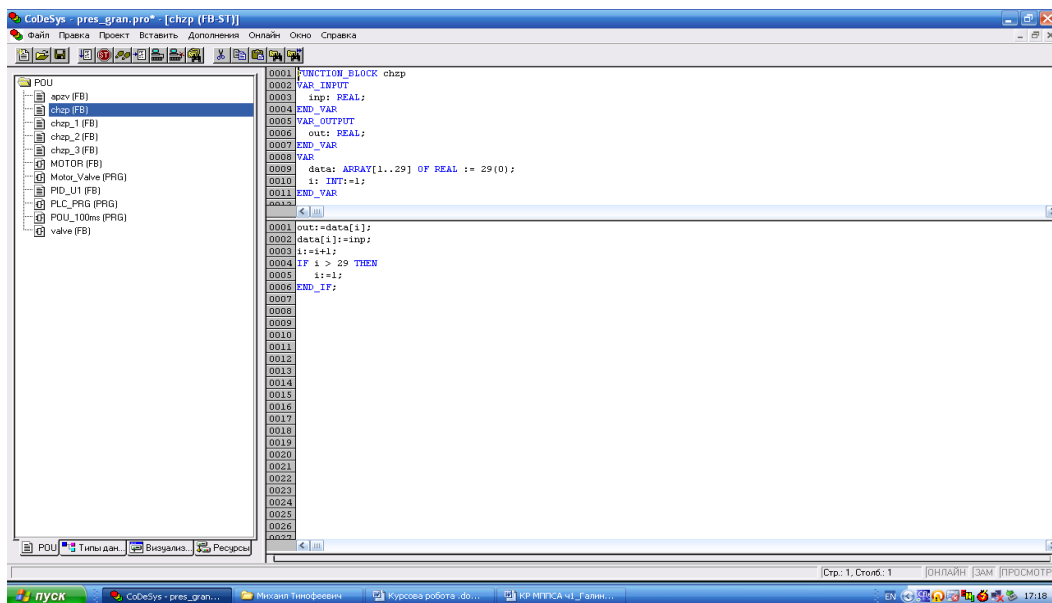


Рис. 6.23 – Фрагмент програми, яка реалізує ланку запізнення.

### 6.3.3 Розробка програм, які реалізують алгоритми логічного керування

До складу цих програм входять PRG циклічного опитування стану електроприводів та їх автоматичного пуску-зупинки.

Алгоритми логічного керування були розроблені в 4-му розділі. Дані алгоритми забезпечують пуск, зупинку та роботу складових системи підготовки повітря.

Програма реалізації алгоритмів логічного керування потребує попередньо визначення стану обладнання, що забезпечує програма PRG Motor\_Valve. В цій програмі циклічно опитуються виходи FB Motor і подаються інформація від оператора та зворотних зв'язків.

Програма PLC\_PRG забезпечують пуск та зупинку обладнання в автоматичному режимі роботи системи керування.

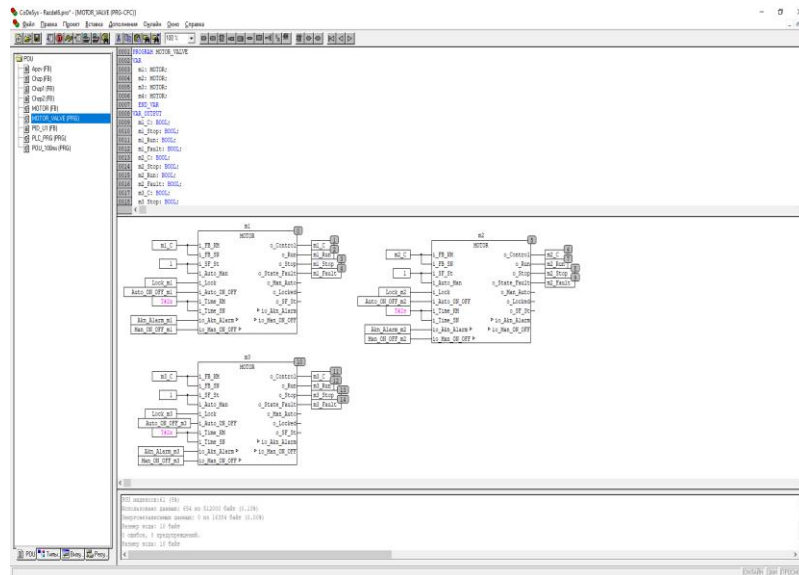


Рис.6.24 – Внутрішня структура програмного модуля Motor\_Valve.

Викликається програма Motor\_Valve у програмному модулі PLC\_PRG (рис. 6.25)



Модель САР запрограмована з використанням типових функціональних блоків динамічних ланок FB arzv, FB chzr і регулятора FB PID\_U1, налаштування для яких були визначені в 3-му розділі. Виклик цих функціональних блоків здійснюється в програмі PRG POU\_100ms.

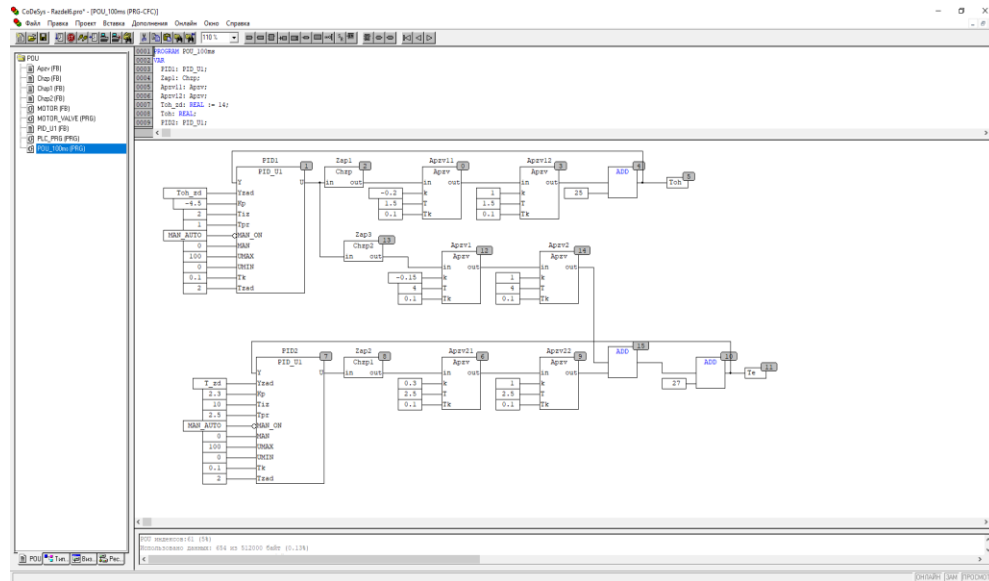


Рис. 6.27 – Фрагмент програми POU\_100ms, яка реалізує модель САР.

Для коректної роботи програми, яка реалізує САР, необхідно забезпечити фіксований крок її виклику. Це можна зробити у конфігураторі задач системи CoDeSys.

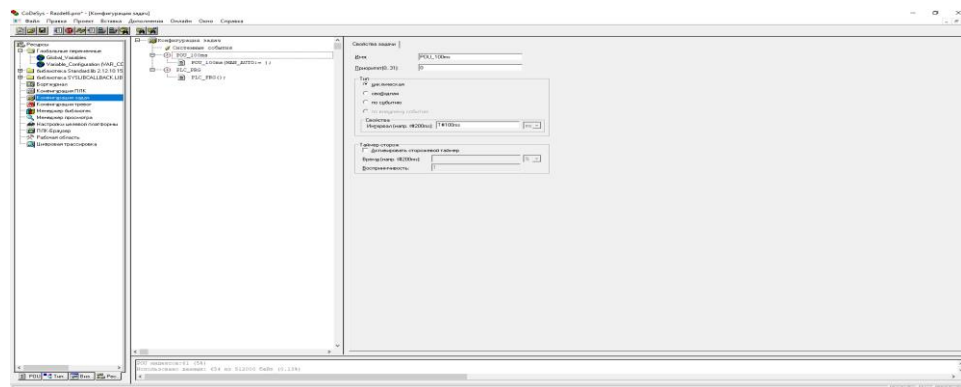


Рис. 6.28 – Загальний вигляд вікна проекту при конфігуруванні задач.

6.3.5 Розробка системи візуалізації в середовищі CoDeSys та тестування програми.

Для перевірки роботоспроможності програм доцільно розробити систему візуалізації, яка забезпечить оператору можливість запускати програми та бачити результати їх роботи. Результати тестування програми у режимі емуляції контролеру, що реалізує управління пуском та остановом наведені на рис. 6.29 та 6.30.

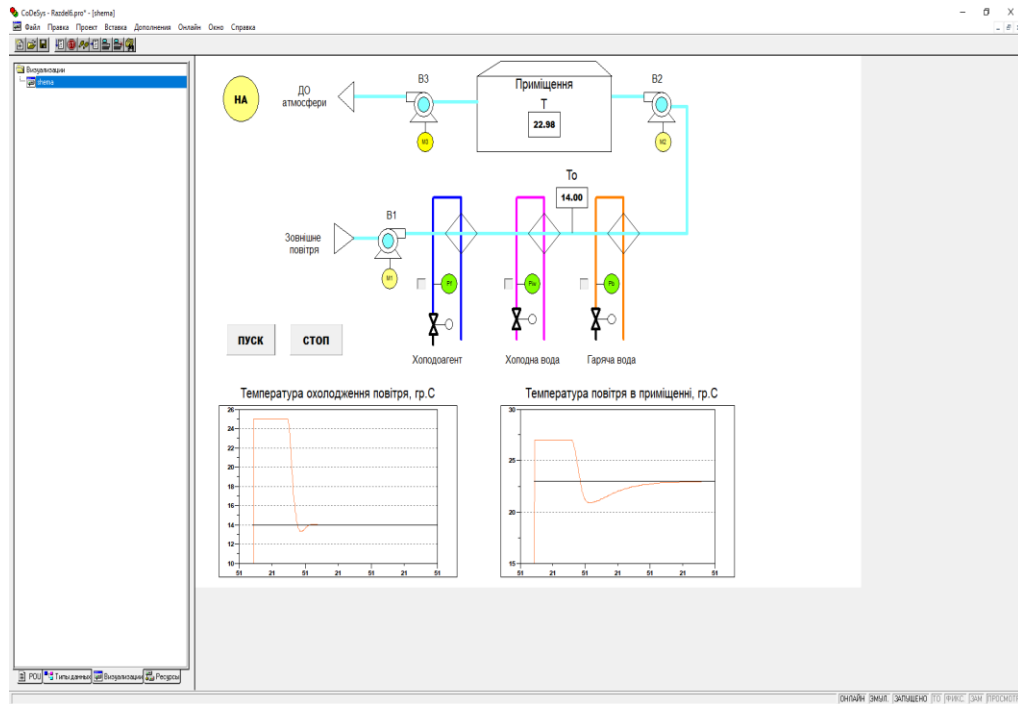


Рис.6.29 – Загальний вид візуалізації і працюючої програми.

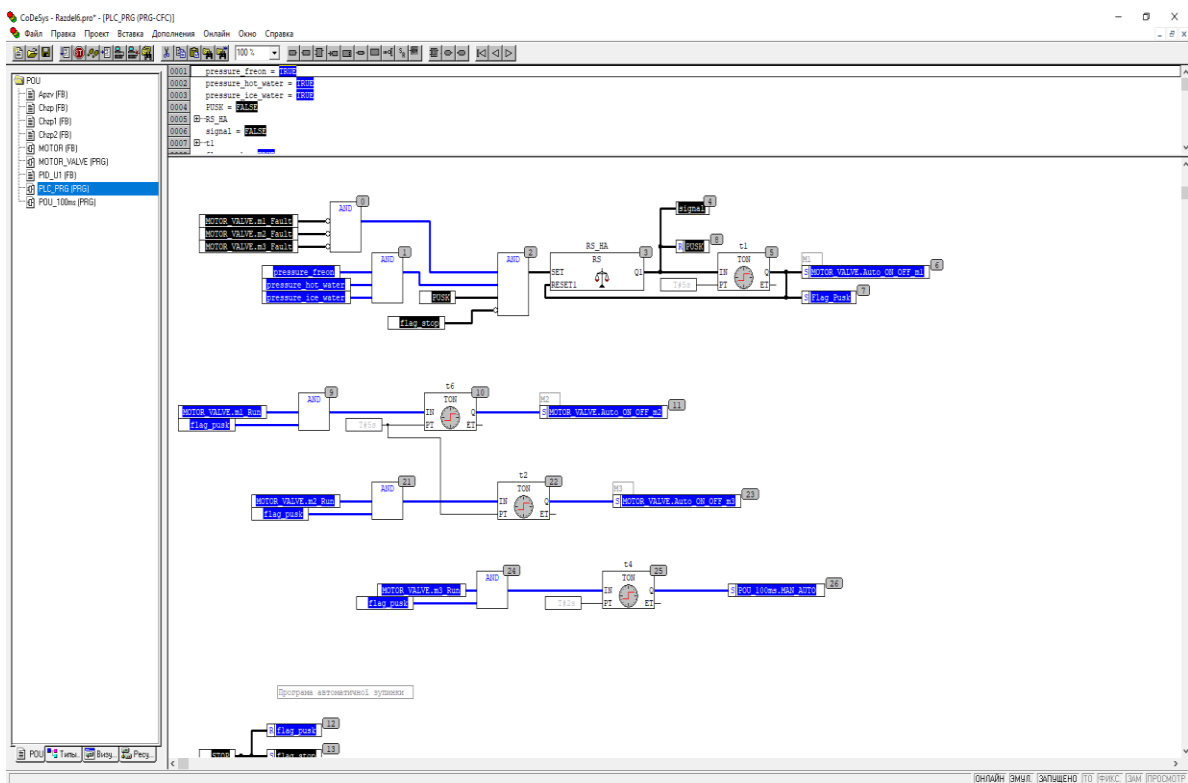


Рис.6.30 – Результати тестування програми, що реалізує управління пуском та останом процесу кондиціонування повітря.

Результати тестування програми у режимі емуляції контролера, що реалізує управління пуском та останом ділянки гранулювання підтверджують коректність реалізації програми моделі САР та програми логічного керування.

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

Взаємодія автоматизованого робочого місця (АРМ) та мережі контролерів з допомогою OPC - сервер розглянемо на прикладі реалізації зв'язку засобами пакету CoDeSys 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 символічного файлу (рис. 6.31).

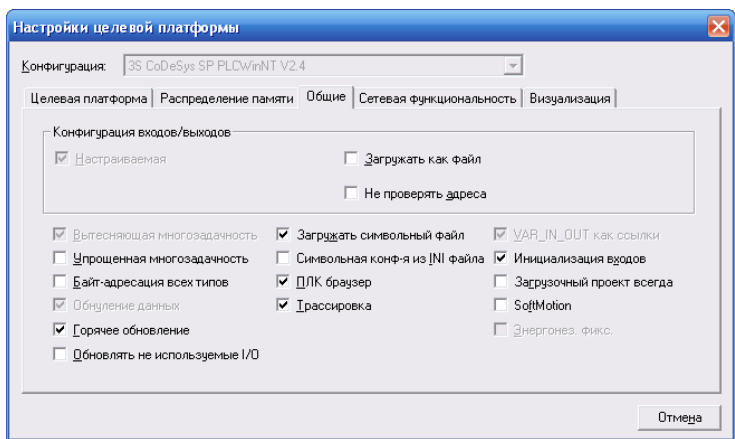


Рис.6.31 – Загальний вигляд вікна вибору цільової платформи.

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.6.32) та налаштовуємо параметри мережевого зв'язку (рис 6.33). В мережевий обмін включаємо регульовані змінні та їхні задані значення.

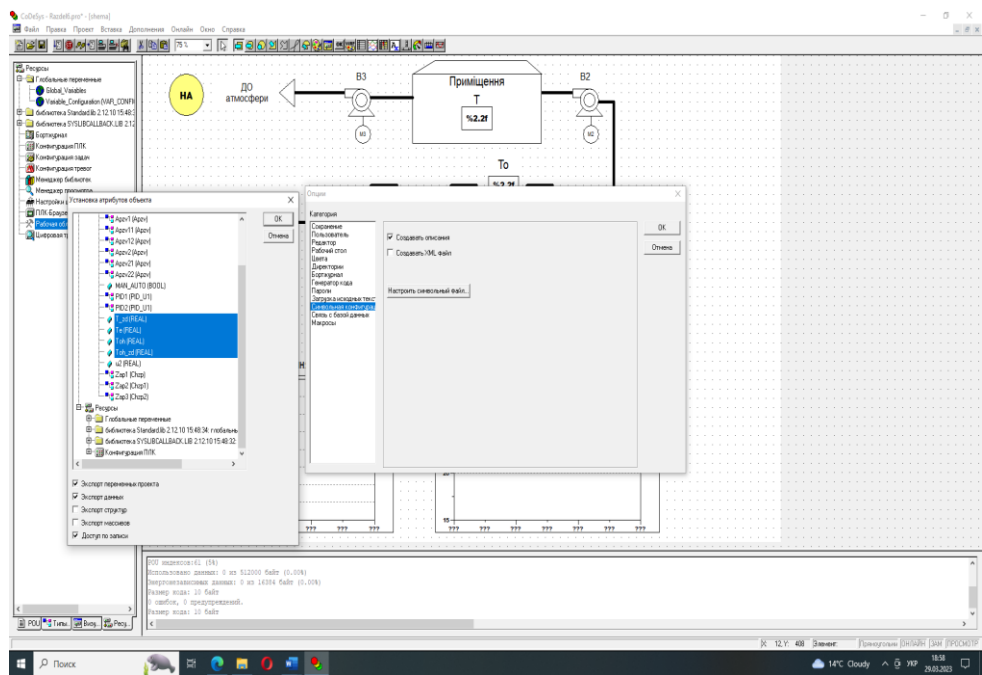


Рис. 6.32 – Фрагмент налаштування символічного файлу для обміну даними з використанням OPC - сервера.

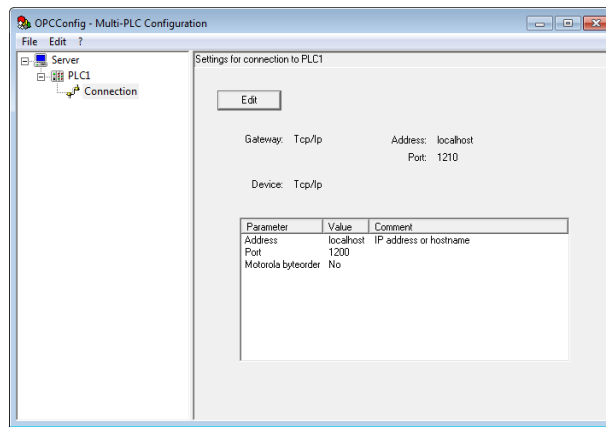


Рис. 6.33 – Вікно налаштування параметрів мережевого зв'язку для OPC - сервера.

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. 6.34 та 6.35 представлені вікна налаштування мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys та створення тегів пов'язаних з OPC сервером в SCADA системі WinCCFlexible.

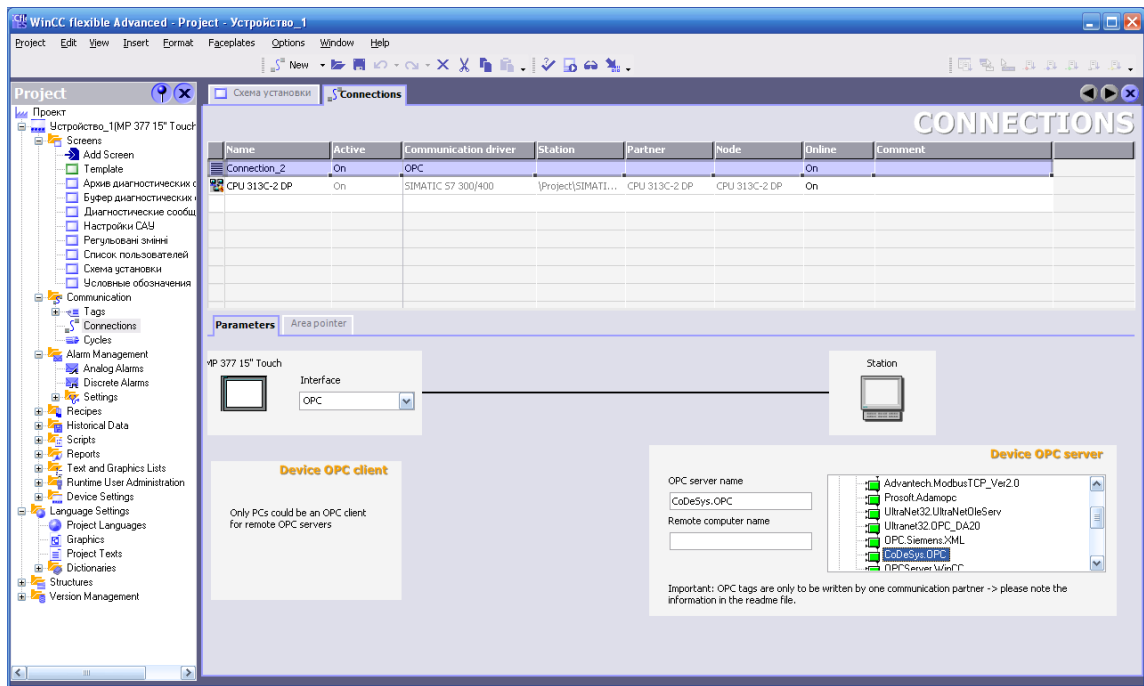


Рис. 6.34 – Вікно створення мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys в SCADA системі WinCCFlexible.

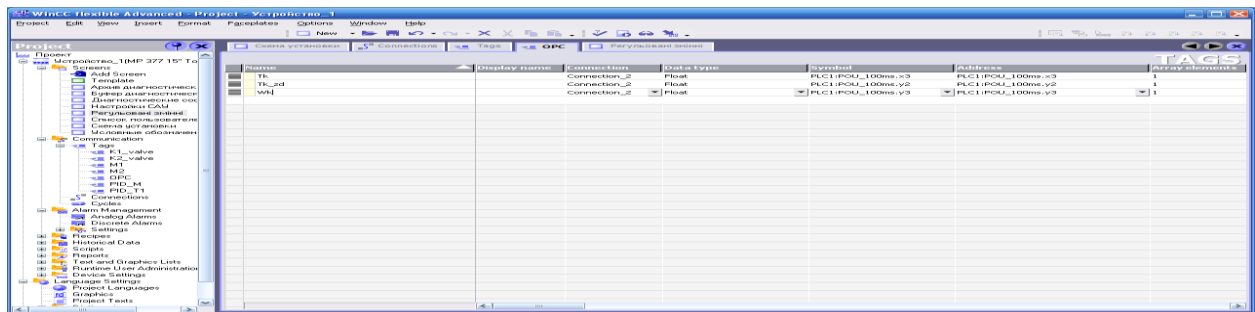


Рис. 6.35 – Вікно створення тегів пов'язаних з OPC сервером CoDeSys в SCADA системі WinCCFlexible.

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

### 6.5 Висновки за розділом

В даному розділі була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування процесом кондиціонування

повітря, здійснений вибір промислового процесора 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 і структури екранів АРМ оператора-технолога.

Робоче місце оператора-технолога системи має передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують виконання його професійних обов'язків. З урахуванням цього АРМ оператора-технолога повинна передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

- контролювати значення технологічних параметрів процесу таких як температура повітря в приміщенні та рівень відносної вологості і задавати режими управління;

- контролювати стан обладнання установки (включена, вимкнена, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів установки;

- управляти запуском і зупинкою установки в ручному та автоматичному режимах управління

-управляти окремим обладнанням установки в ручному режимі;  
контролювати виникнення порушень в роботі обладнання установки і оперативно реагувати на них.

Виходячи з перерахованого вище, в проєкті, для реалізації АРМ оператора-технолога передбачені наступні екрани:

1) Схема установки. Основний екран із зображенням схеми установки дозволяє контролювати хід процесу, цим пристроєм установки (двигуни вентилятора, насосу, і клапанами) міняти режими, контролювати виникнення порушень в роботі установки.

2) Регульовані зміни. Екран призначений для відображення графіків зміни температур і вологості

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.

5) Налаштування САУ. Екран з настройками регуляторів САУ, відображенням часів звукової сигналізації, затримки на включення / вимикання двигунів і клапанів.

7.2. Розробка екранів АРМ оператора - технолога  
Шаблон екранів.

Шаблон екранів створюється в окремому підрозділі графічного редактора екранів SCADA-системи WinCC Flexible. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проєкт.

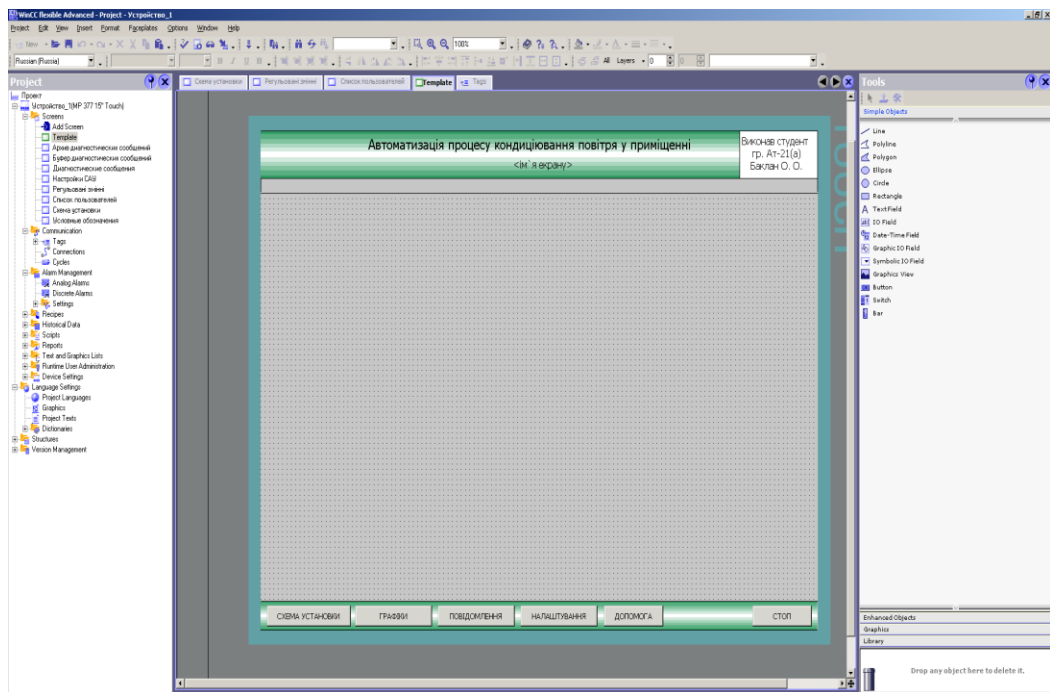


Рис. 7.1 – Загальний вигляд шаблону вікон. (Template)

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикання екранів АРМ. Тема екрану створена з використанням типових елементів графічного редактора системи WinCC Flexible.

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. Підпрограма викликається з системного події - «Change screen».

```

Схема установки | DisplayCurrentScreenName
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 сис
3 'Для вызова справки об объекте нажми <Alt> <Стрелка вправо>.
4 'Проектируй сложные сценарии, используя основные возможности языка программирования VBScript и тэги
5
6 Dim o
7 Set o = HmiRuntime.Screens ("OverView").ScreenItems ("Text_Field")
8 o.Text = HmiRuntime.BaseScreenName

```

Рис. 7.2 – Вихідний код підпрограми відображення назви активного вікна.

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

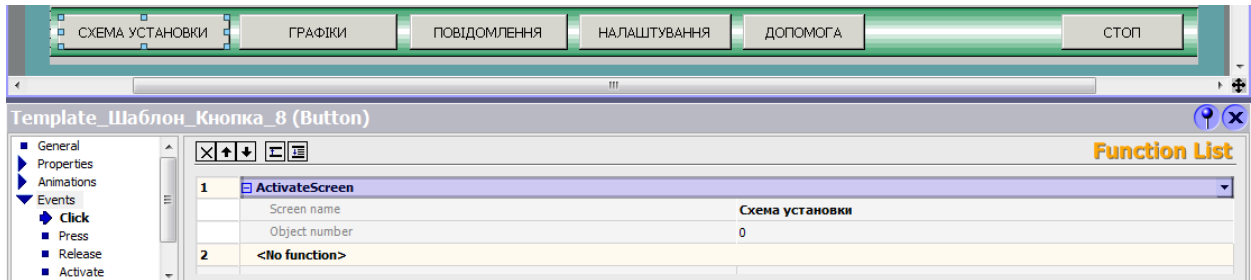


Рис. 7.3 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикавання екранів графічного інтерфейсу.

В меню перемикавання екранів також відображається ім'я поточного активного користувача. Ім'я користувача виводиться в текстовому полі за допомогою функції «GetUserName», викликаній по системній події «Change user». Під ім'ям користувача розташована невидима кнопка, натискання на яку викликає вікно реєстрації користувача.

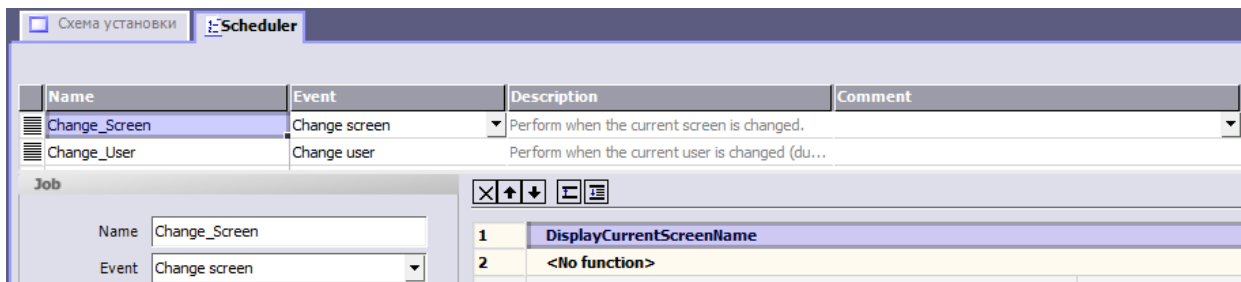
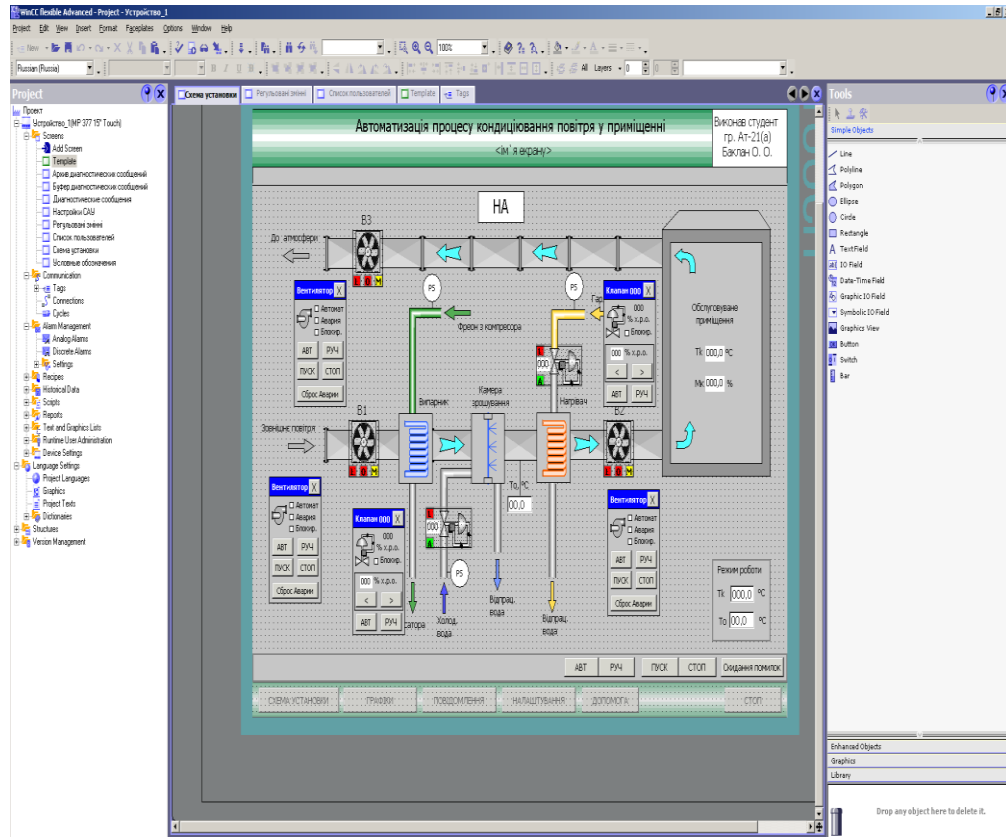


Рис. 7.4 – Вікно налаштування обробки системних подій в планувальнику задач «Scheduler».

### 7.2.1. «Схема установки».

Основне вікно «Схема установки» містить схематичне зображення системи технологічного процесу з нанесеними на нього елементами відображення і управління. Зображення системи створене в графічному редакторі SCADA -

системи WinCCFlexible з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також цим пристроєм системи.



7.5 - «Схема установки».

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

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

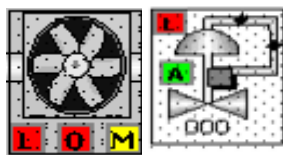


Рис. 7.6.— Екранні форми для контролю стану вентилятора і клапанів.

Екранні форми підключаються до відповідних тегів в контролері і відображають стан і режим роботи устаткування. Управляти двигунами і клапанами оператор може з використанням спеціальних екранних форм управління.

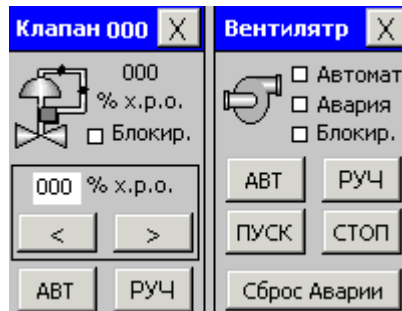


Рис. 7.7. – Екранні форми для управління двигунами і клапанами.

Екранні форми управління також прив'язуються до тегам контролера і дозволяють оператору змінювати режим роботи (АВТ / РУЧ) клапана або двигуна, управляти їх станом, скидати помилки при їх виникненні.

Створено екранні форми згруповані в спеціальній бібліотеці та можуть використовуватися при створенні інших проектів.

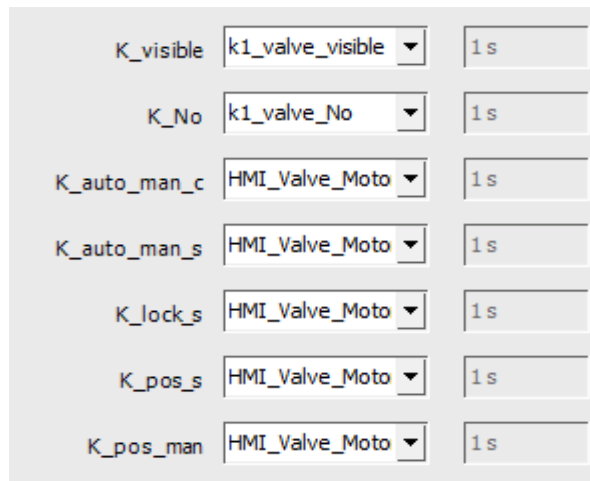
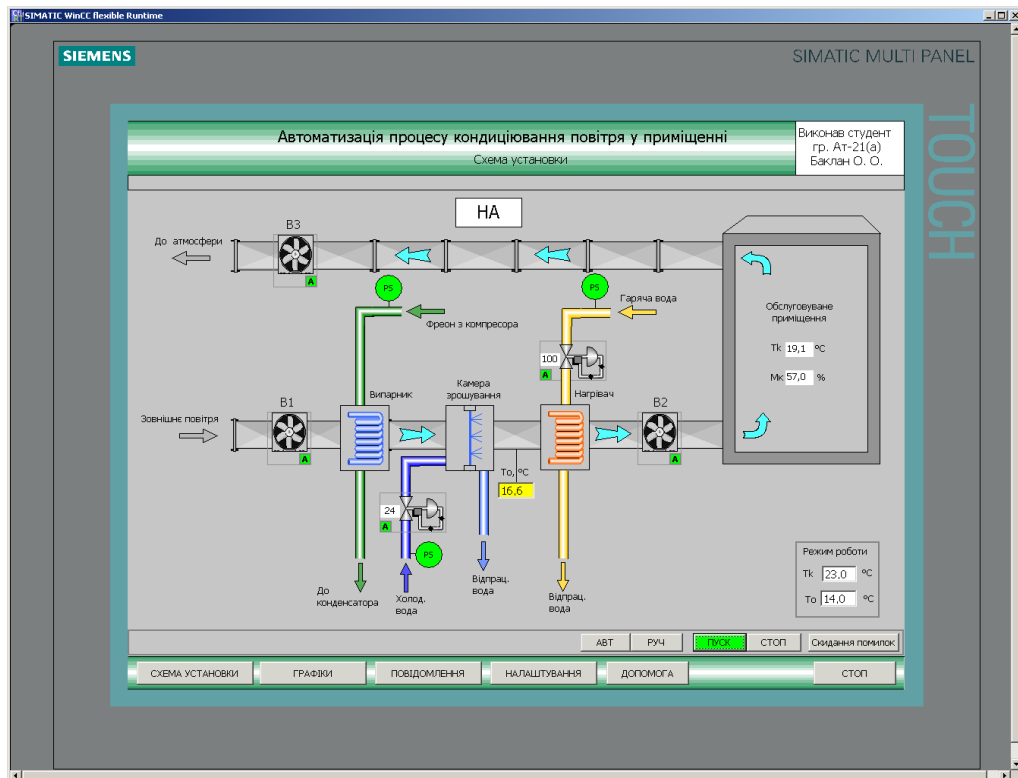


Рис. 7.8 – Фрагмент вікна прив'язки тегів до екранної форми управління клапаном.

На малюнку 7.9 представлений екран «Схема установки» при працюючій в автоматичному режимі установці без порушень режиму роботи та справному обладнанні. Детальну інформацію про екранних формах контролю стану двигунів з розшифровкою їх станів оператор може отримати в екранній формі «Умовні позначення» (Рис. 1.10)



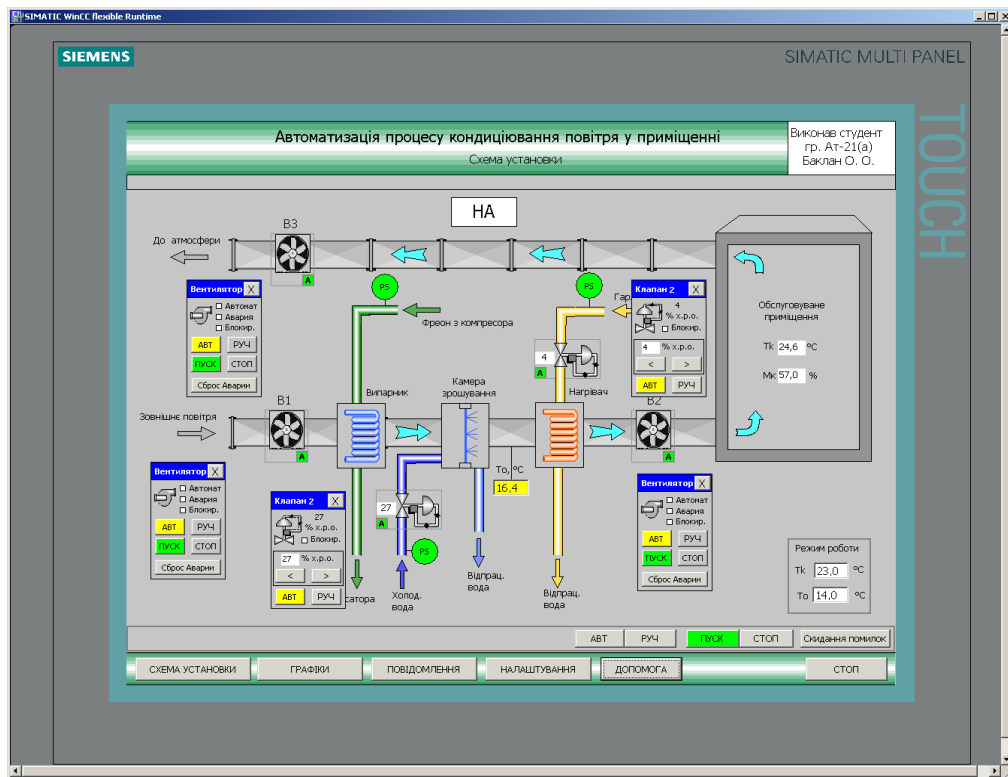


Рис. 7.9 – Загальний вигляд екрану «Схема установки» при нормальній роботі

### 7.2.2. "Умовні позначення".

Екран «Умовні позначення» розроблений як вікно допомоги оператору (Рис. 7.10). На цьому екрані розшифровані умовні позначення, кольору і буквені позначення, які використовуються в основному екрані «Схема установки».

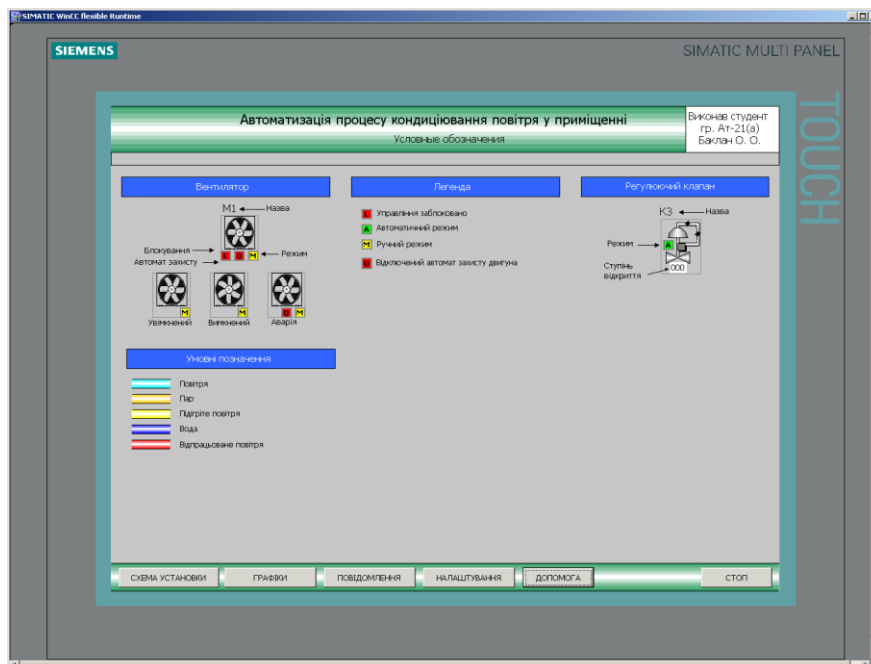


Рис.7.10 – Загальний вигляд екрану «Умовні позначення».

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

### 7.2.3. «Регульовані змінні»

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проекті передбачено вікно побудови графіків зміни температур. Для побудови графіків використовується елемент «Trend View» з стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCC Flexible. На малюнку 7.11 представлений приклад вікна реєстрації температури повітря у приміщенні і температури охолодженого повітря, а на малюнку 7.12 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегам контролера.

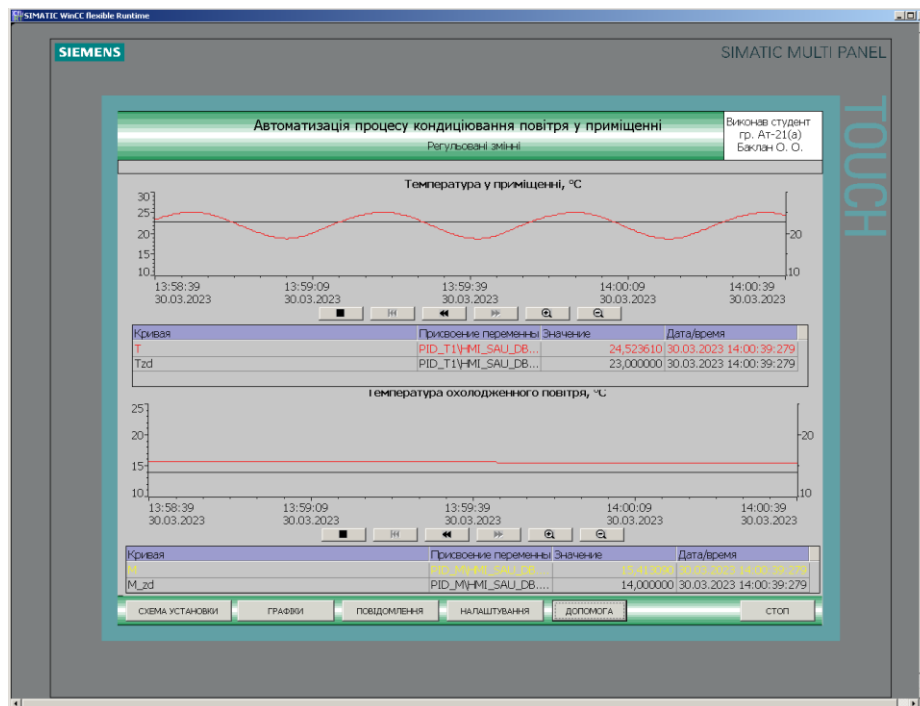


Рис. 7.11 – Екран реєстрації температур.

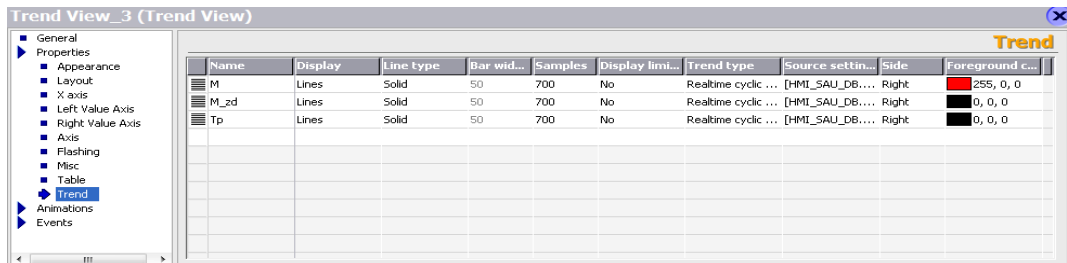
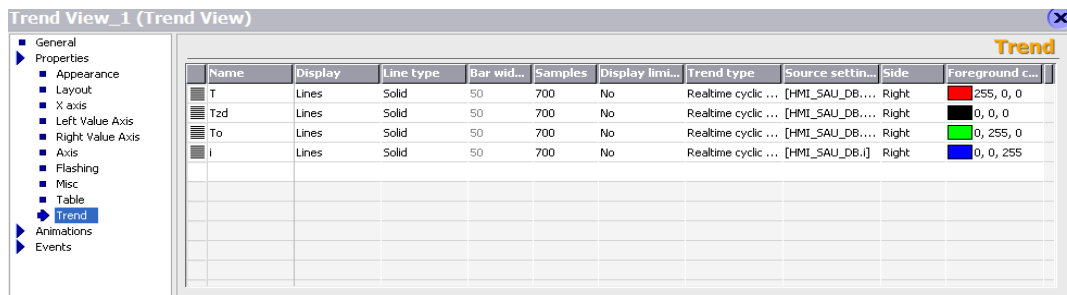


Рис. 7.12 – Налаштування елемента «Trend View».

#### 7.2.4. «Діагностичні повідомлення»

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і події виникають з обладнанням установки в проекті створена система повідомлень з використанням відповідного редактора SCADA - системи WinCC Flexible. Система повідомлень включає повідомлення, визначені користувачем, і системні повідомлення. Повідомлення, які визначаються користувачем, розділені на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і Errors»(помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стану і заносяться в архів. Фрагменти списків дискретних і аналогових повідомлень, класів повідомлень представлені на малюнках 7.13 - 7.15.

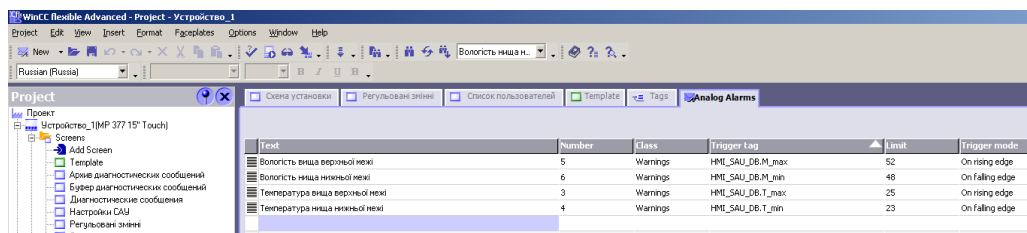
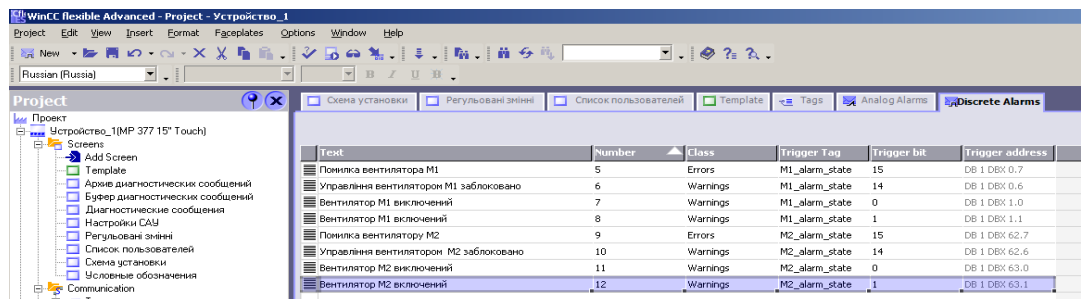


Рис. 7.13 – Фрагмент вікна редактора дискретних та аналогових повідомлень

Name	Display name	Acknowledgment	Log	E-mail address	C color	CD color	CA color	CDA color
Diagnosis Events	S7	Off	<No log>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Errors		On "activated"	Alarm_log_1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
System	\$	Off	<No log>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Warnings		Off	<No log>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рис. 7.14 – 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 7.15 представлений приклад екрану з елементами «Alarm View» налаштованими на висновок поточних активних робочих повідомлень і повідомлень про несправності, а на іншому малюнку представлено вікно властивостей елемента «Alarm View», налаштованого на висновок поточних активних повідомлень про несправності, що відносяться до класу «Errors».

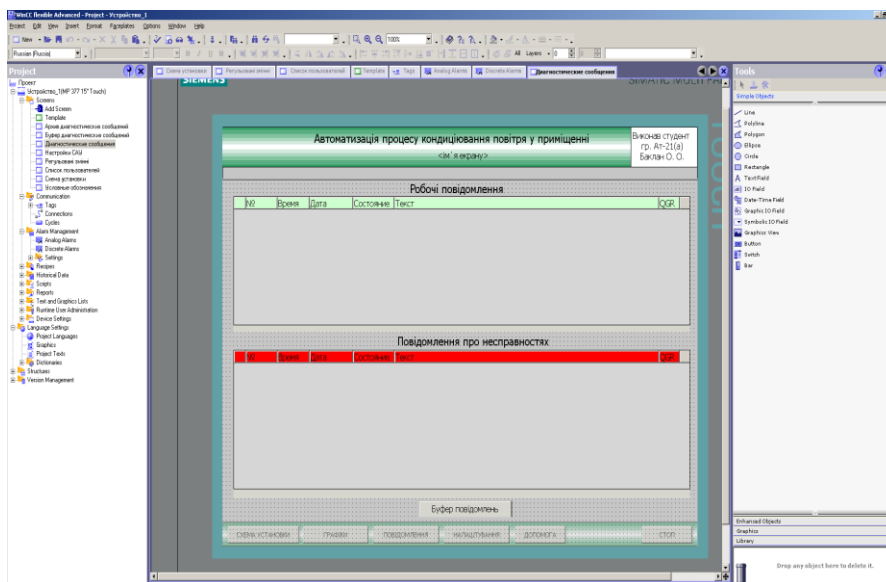


Рис. 7.15 – Загальний вигляд виведення поточних активних діагностичних повідомлень.

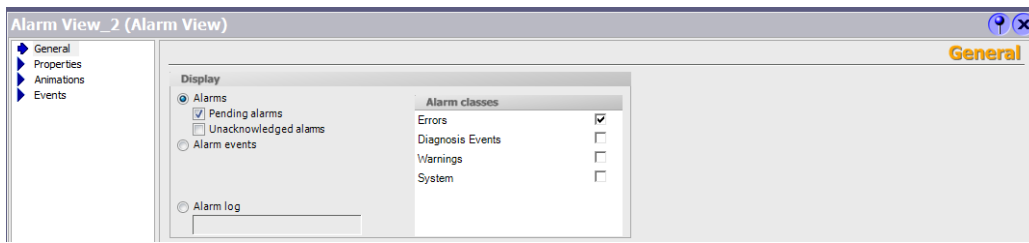


Рис. 7.16 – Загальний вигляд вікна настройки властивостей элемента вывода сообщения «Alarm View».

Приклади екранів, призначених для виведення буфера повідомлень і вмісту архіву повідомлень, представлені на малюнках 1.17, 1.18.

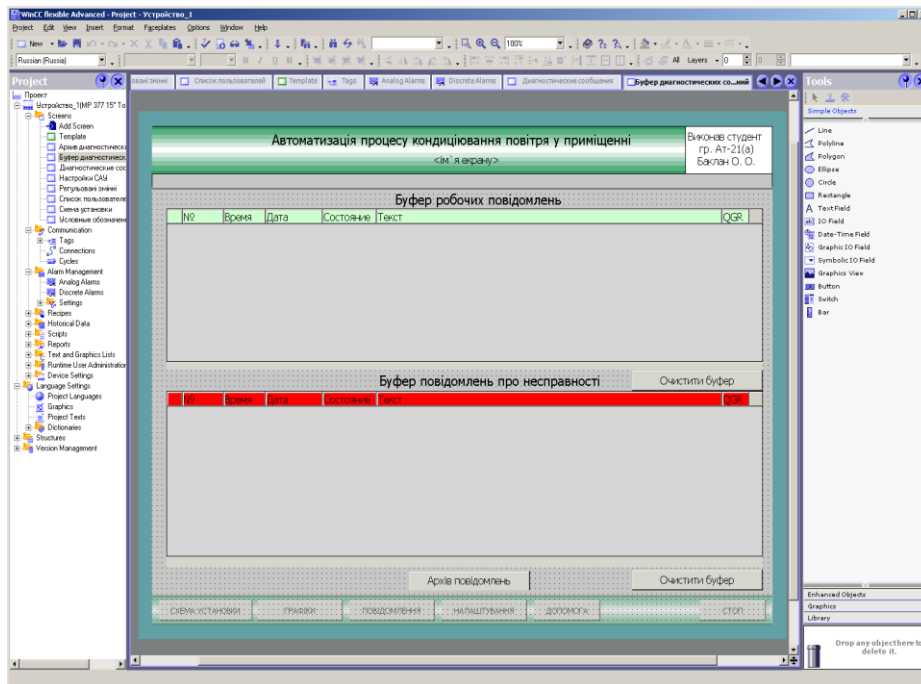


Рис. 7.17 – Загальний вигляд вікна відображення буфера діагностичних повідомлень

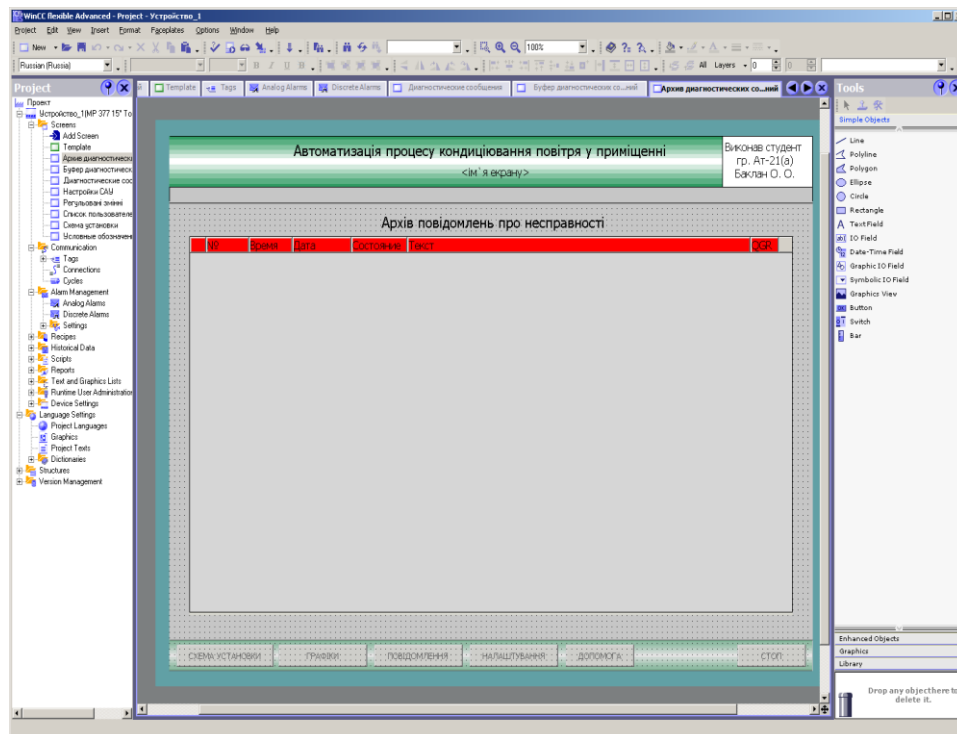


Рис. 7.18 – Приклад налаштування елемента змісту вмісту архіву з повідомленнями про несправності.

На малюнках 7.19 - 7.21 представлені екрани, що демонструють роботу системи повідомлень, що визначаються користувачем. Робота з системними повідомленнями буде розглянута в наступному розділі.

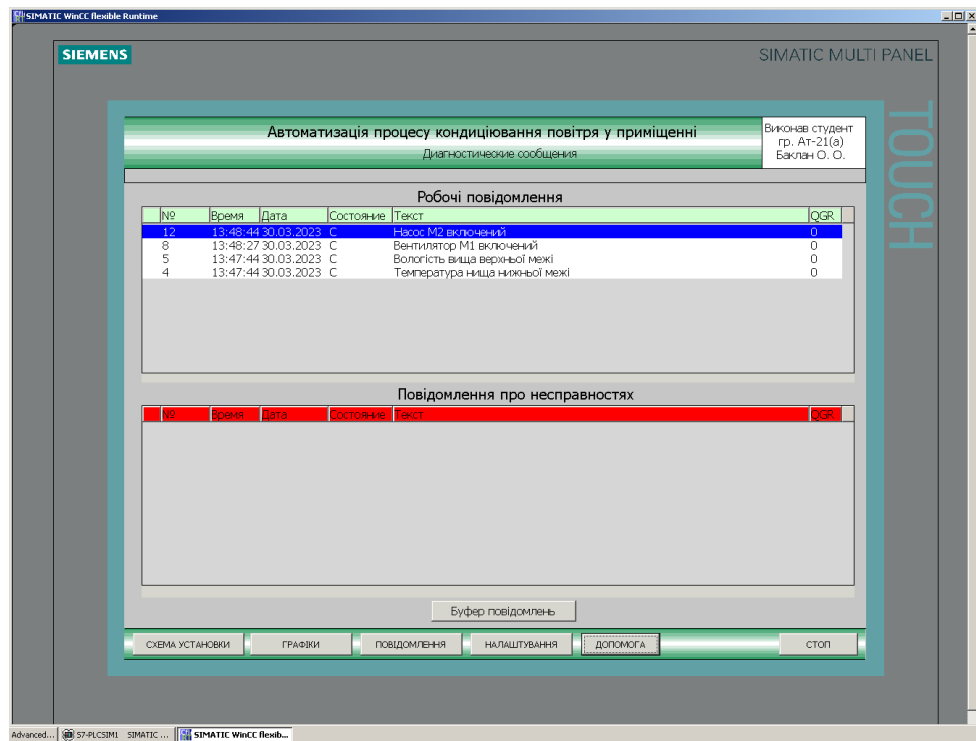


Рис. 7.19 – Загальний вигляд екрану з поточними повідомленнями

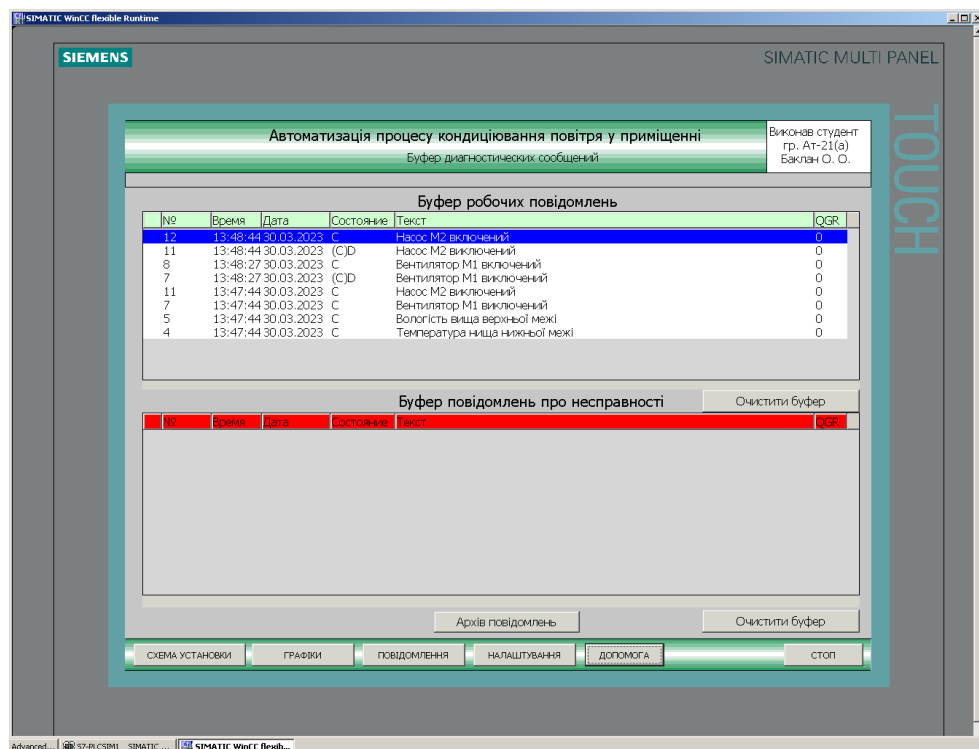


Рис. 7.20 – Загальний вигляд екрану з відображенням буфера повідомлень

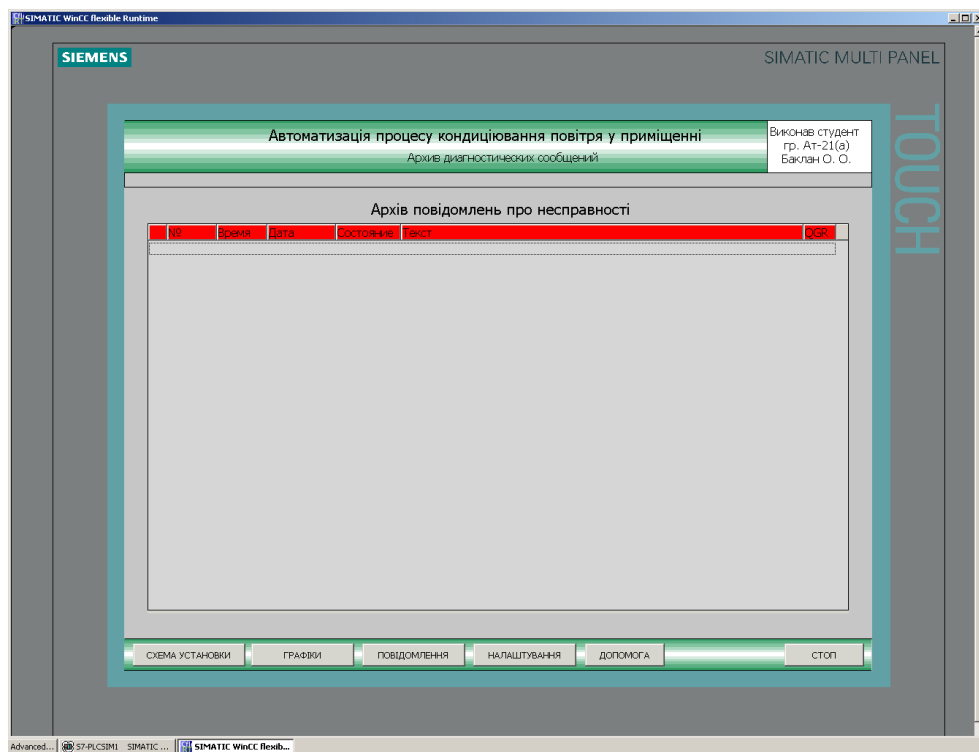


Рис. 7.21 – Загальний вигляд екрану з відображенням архіву повідомлень про несправності.

### 7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САУ

Робоче місце наладчика системи автоматичного управління повинне 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 і задані значення регульованих змінних;
  - Відображати поточні значення керуючих впливів;
  - Змінювати значення налагоджувальних параметрів регуляторів;
  - Змінювати задані значення регульованих змінних;

- Перемикати режими роботи регуляторів АВТ / РУЧ і формувати керуючі впливи в ручному режимі.

2. Задавати значення затримок часу для таймерів, використовуваних в алгоритмах пуску і зупинки.

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.

Виходячи з перерахованого вище, в проекті, для реалізації АРМ наладчика передбачені наступні екрани:

1. Налаштування САУ.

2. Список користувачів.

3. Буфер системних повідомлень.

Програмна реалізація цих екранів в SCADA - системі WinCC Flexible представлена в наступному пункті.

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САУ

7.4.1. «Налаштування САУ»

Для виконання завдань налаштування контурів регулювання, таймаутів на спрацьовування датчиків положення, тимчасових затримок для алгоритмів управління пуском і зупинкою, граничних значень технологічних параметрів у проекті передбачено екран зміни налаштувань САУ (Рис. 2.1).

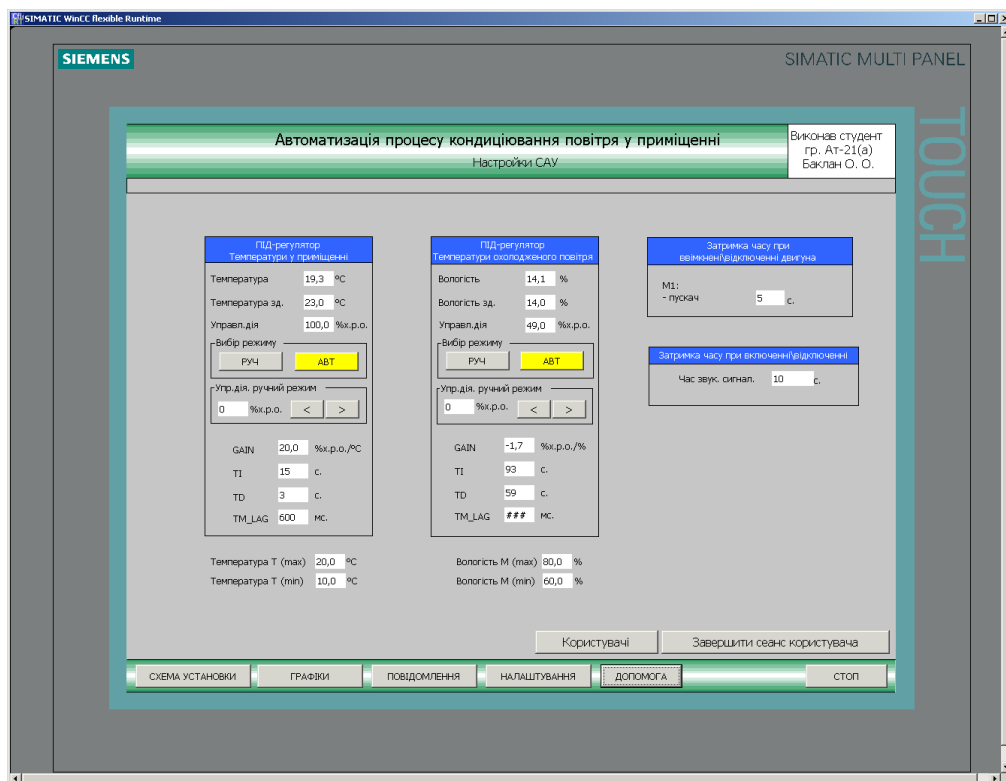


Рис. 7.22 – Загальний вигляд екрану «Налаштування САУ».

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

#### 7.4.2. «Список користувачів»

Екран «Список користувачів» (Рис. 7.23) надає настройщик можливість виконувати роботу зі списком користувачів. Змінювати імена, паролі, групи існуючих користувачів. Додавати і видаляти користувачів системи. Реалізовано екран на основі елемента «User View».

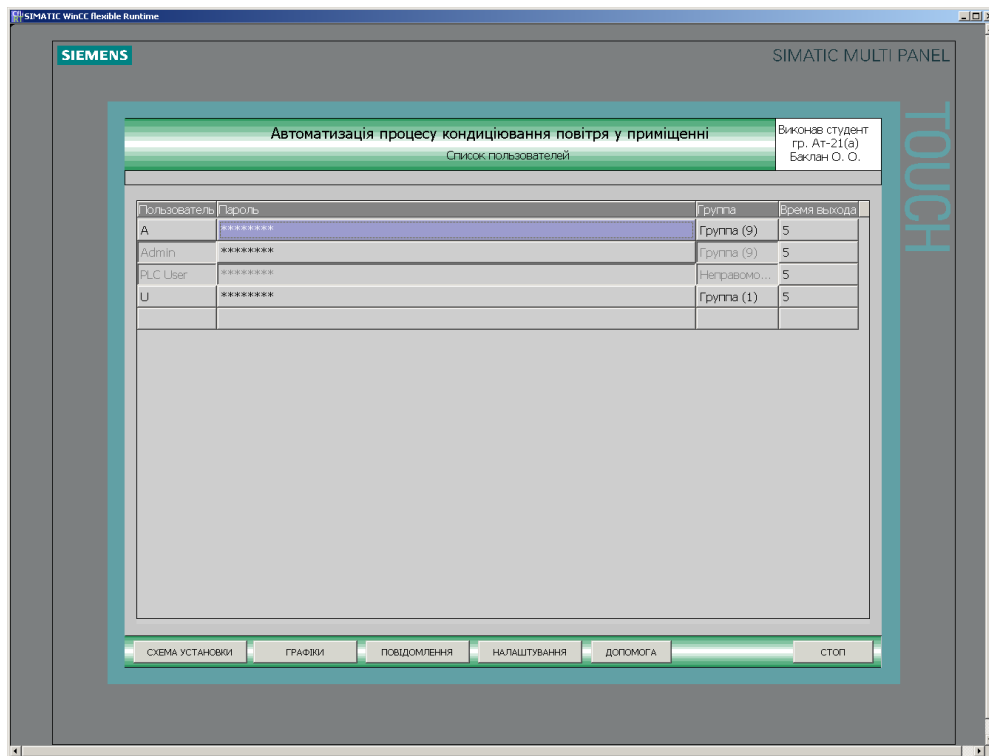


Рис. 7.25 – Загальний вигляд екрану «User View» при роботі програми.

### 7.5 Висновок за розділом

При виконанні даного розділу в середовищі SCADA-системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САУ технологічного процесу кондиціонування повітря в робочому приміщенні. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу сушіння ковбаси, 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

Також були отримані навички по інтеграції розробленого ПО з мережею PC-base контролерів через технологію OPC на прикладі контролера CoDeSys SP PLCWinNT V2.4. На прикладі інтеграції з мережею контролерів SIMATIC S7-300.

## РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САК ТА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 8.1. Характеристика технологічного об'єкта управління

В якості об'єкта модернізації системи автоматизації був обраний технологічний процес кондиціонування повітря

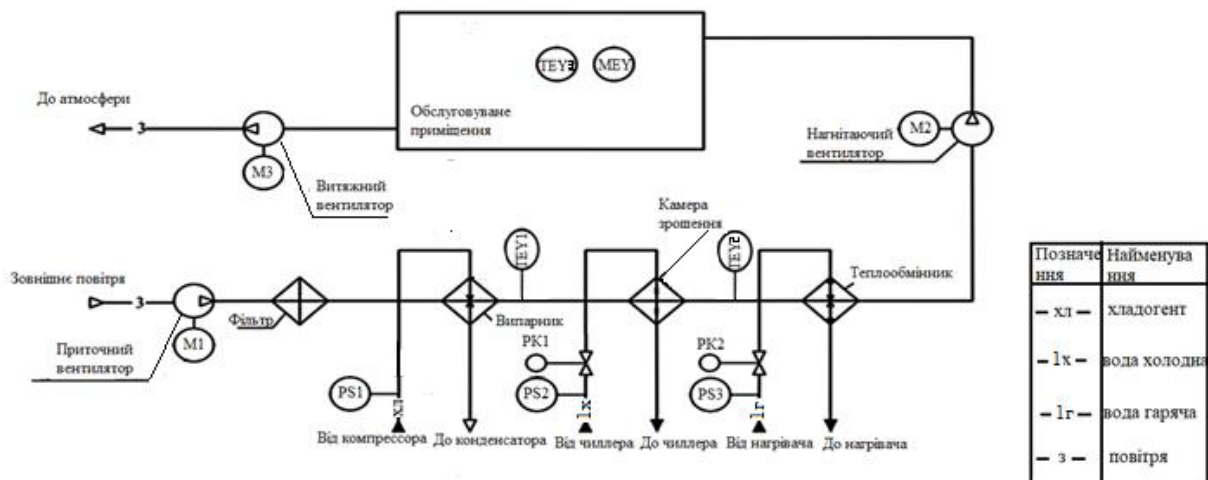


Рис. 1 – Апаратурно-технологічна схема процесу кондиціонування повітря

Перелік основних параметрів процесу та похибка їх вимірювання наведені у табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номинальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
						Величина	Величина
1	Температура повітря в приміщенні	$\theta$	$^{\circ}\text{C}$	23	$\pm 0,5$	$\pm 2$	250с
2	Температура охолодження повітря	$\theta_0$	$^{\circ}\text{C}$	14	$\pm 0,5$	$\pm 1$	100с

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

PK1 -  $u_1$  – положення регулюючого органу подачі холодної води, % ;

PK2 -  $u_2$  – положення регулюючого органу подачі гарячої води, %.

Системи кондиціонування можна класифікувати наступним чином:

- за ступенем забезпечення метеорологічних умов в обслуговуваному приміщенні системи кондиціонування поділяються на три класи, першого, другого і третього;
- за призначенням об'єкту застосуванням - технологічні та комфортні;
- за наявністю джерел тепла та холоду автономні і неавтономні;
- за принципом розміщення системи кондиціонування відносно об'єкту, що обслуговується - центральні і місцеві;
- за кількістю приміщень, що обслуговуються - однозональні та багатозональні;
- за типом об'єктів, що обслуговуються - побутові, напівпромислові та промислові.

Системи кондиціонування першого класу забезпечують необхідні для технологічного процесу параметри відповідно до нормативних документів; другого класу - санітарно-гігієнічні норми або необхідні технологічні норми, третього - допустимі, якщо вони не можуть бути забезпечені вентиляцією в теплий період року без вживання штучного охолодження повітря.

Автономні СКВ у своєму складі мають весь комплекс обладнання, що дозволяє провести необхідну обробку повітря відповідно до нормативних вимог по очищенню, нагріванню, охолодженню, осушенню, зволоженню, переміщенню і розподілу повітря, а також засоби автоматичного контролю та управління. Для їх роботи необхідно подати лише електроенергію. До автономних СКВ відносяться моноблочні віконні, шафові кондиціонери, спліт-системи. Неавтономні СКВ не мають вбудованих агрегатів, які є джерелами тепла або холоду. До них теплоносій подається від інших джерел тепло- та холодопостачання.

Центральні СКВ являють собою неавтономні агрегати, розташовані поза обслуговуваних приміщень. В агрегатах проводиться підготовка повітря з подальшим його розподілом по приміщеннях за допомогою повітропроводів.

Місцеві СКВ випускаються на базі автономних і неавтономних кондиціонерів та встановлюються в обслуговуваному приміщенні. Багатозональні СКВ застосовуються для обслуговування декількох приміщень або приміщення з нерівномірним розподілом тепло- і вологовиділення.

## 2. Основні технічні рішення

Необхідно розробити комплект графічної і текстової документації.

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему контролю й керування;
- 3 – принципову електричну схему живлення.

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів;
- пояснювальна записка до проекту.

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

Контролер, що реалізує основні функції контролю та регулювання лінії CPU-313C-2DP фірми "Siemens", обраний з програмованих моделей, оснащений інтерфейсами MPI та PROFIBUS.

Всі модулі вводу/виводу серії SIEMENS SIMATIC S7-300 та CPU монтуються на профільній шині Siemens 122мм, як окрема конструкція в щиті оператора. Вони використовуються для підтримки регламентних значень, передачу даних на робочу станцію на базі IBM PC сумісного комп'ютера, встановленого також в ОП. Контролери даної фірми серії SIMATIC S7-300 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:

- прийом і дешифрацію команд по каналу RS 485;
- введення й нормалізацію аналогових сигналів (струм, напруга);
- опитування стану дискретних входів;
- фільтрацію аналогових і дискретних вхідних сигналів;
- виводи аналогових сигналів управління;

виводи дискретних сигналів, через релейні виходи.

Взаємодія контролера й комп'ютера здійснюється за допомогою модуля інтерфейсного зв'язку (модуль PC ADAPTER), що перетворює сигнали стандарту RS 485 в стандарт USB.

Для керування термокамерою 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 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 і регулятор МІК112) 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 наведені на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

1-3 – управління та контроль станів електроприводів вентиляторів;

4 – контроль (адреса лінії зв'язку –4), стабілізація (адреса лінії зв'язку –5) температури в приміщенні

5 – контроль (6), стабілізація (7) вологи в приміщенні;

6 – контроль (8) температури після випарника;

- 7 – контроль (9) температури після камери зрошення;
- 8 – сигналізація (10) тиску хладогенту;
- 9– сигналізація (11) тиску холодної води;
- 10– сигналізація (12) тиску гарячої води;

В контурі 11 реалізована функції автоматичного пуску та останову лінії, а в контурі 12 функція передпускової сигналізації. В контурі 13 реалізована функція перетворення інтерфейсних зв'язків між ПК, МПК.

У контурах керування приводами (1,...,3) встановлені для кожного ланцюга управління 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 (4,5) управління виконавчими механізмами аналогової (4, 5) дії, для кожного контуру на щиті встановлені багатофункціональні прилади типу БРУ-7. На лицевій панелі корпусу БРУ-10 можна побачити та змінити задане значення параметру (0 – 100%), переключити режим управління контуру (ручне – автоматичне), побачити на цифровому індикаторі поточне значення регульованої змінної та сигналізацію її граничних відхилень.

Розглянемо дію контуру 4. Від термометру з уніфікованим перетворювачем 4а сигнал струму (4-20мА) подається на БРУ-7 (4б), через який подається на вхід АІ (SM 331 6es7331-7KF02-0AB0) МПК. Вихідний сигнал (аналогове управління) з МПК (АО SM332 6es7 332-5NB01-0AB0) подається на БРУ-7 (4б), звідки в автоматичному режимі роботи БРУ сигнали (аналоговий сигнал) подаються привід регулюючого клапана(4в).

В ручному (дистанційному) режимі сигнали на привід регулюючого клапана(4в) подаються оператором з БРУ-7.

Розглянемо дію контуру 5. Від датчика вологи з уніфікованим перетворювачем 5а сигнал струму (4-20мА) подається на БРУ-7 (5б), через який подається на вхід AI (SM 331 6es7331-7KF02-0AB0) МПК. Вихідний сигнал (аналогове управління) з МПК (АО SM332 6es7 332-5NB01-0AB0) подається на БРУ-7 (5б), звідки в автоматичному режимі роботи БРУ сигнали (аналоговий сигнал) подаються привід регулюючого клапана(5в).

В ручному (дистанційному) режимі сигнали на привід регулюючого клапана(5в) подаються оператором з БРУ-10.

Контур 6 забезпечує контроль температури за допомогою термометру з уніфікованим перетворювачем 6а сигнал подається до приладу ITM-110 та за допомогою аналогового входу AI подається на МПК.

Контур 7 забезпечує контроль температури за допомогою термометру з уніфікованим перетворювачем 6а сигнал подається до приладу ITM-110 та за допомогою аналогового входу AI подається на МПК.

Контур 8, реле тиску(7а), забезпечує контроль наявності тиску хладагенту в системі.

Контур 9, реле тиску(8а), забезпечує контроль наявності тиску холодної води в системі.

Контур 10 ,реле тиску(9а), забезпечує контроль наявності тиску гарячої води в системі.

У додатку А1 наведена специфікація приладів та засобів, що використані в схемі автоматизації.

### 8.3 Опис принципової електричної схеми

На принциповій електричній схемі (5 листів в додатку) показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частини. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення

поставлених функціональних завдань. 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.

Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування, є те, що відповідно до Керівних матеріалів ВНДПКІ "Харчопромавтоматика", вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

При необхідності пуску електродвигуна в дистанційному режимі при включеному 1-*QF*, ключ 1-*SA* переводять у положення 1, після чого натисканням кнопки «Пуск» (замикаючої) 1-*SB3* забезпечують подачу живильної напруги (220 В фаза – нейтральний провід) на котушку контактора 1-*KM*, що замикає головні контакти 1-*KM* і двигун починає обертатися. Додатковий контакт 1-*KM* (замикаючий), який шунтує кнопку 1-*SB3*, також замикається в момент подачі напруги на котушку, що забезпечує так назване «самопідхоплення» роботи електродвигуна і дозволяє операторові відпустити пускову кнопку, через 1-3 секунди після натискання. Факт роботи електродвигуна перевіряється при наявності світлової сигналізації по зміні світіння індикатора.

Подібне рішення, є захистом від провалля і повторної подачі напруги (захист від мінімальної напруги), тому що виключає можливість пуску електродвигуна, неконтрольованого оператором.

При необхідності зупинити електродвигун, натискають кнопку «Стоп» (що розмикає) 1-*SB2*, розташовану на щиті оператора або аналогічну кнопку 1-

*SBI*, розташовану по місцю (поблизу електропривода). При знеструмленні контактора *I-KM*, його головні контакти розмикаються, і двигун зупиняється.

При роботі в автоматичному режимі ключ вибору *I-SA* переводять у положення 3, при цьому при спрацьовуванні контакту *K* автоматичного пристрою (реле) котушка *I-KM* магнітного пускача одержує живлення (220 В), у результаті чого спрацьовують головні контакти пускача і двигун починає обертатися. Зупинка двигуна відбувається при розмиканні контакту *K*, а також, при необхідності, оператор має можливість самостійно його зупинити використовуючи кнопку «Стоп» та ключ *I-SA* – перевод в положення 2.

Для полегшення читання таких схем на них приводять діаграму роботи ключа вибору режиму.

Розглянемо роботу контуру стабілізації рівня температури повітря у приміщенні (контур 4).

На схемі показано підключення аналогового сигналу від датчика температури (4а), дискретного сигналу стану (режиму) блока ручного управління (АВТ-ДИСТ), а також вихідного аналогового сигналу для управління виконавчого механізму (ВМ 4в). При реалізації уведення аналогового сигналу використаний той же принцип струмової петлі.

Вихідний аналоговий сигнал подається від клем 03+ та 06- модуля SM 332 бес7332-5НВ01-0АВ0 дротами 4-5 через контакти "12", "13" поступає на дріт 4-4 (в автоматичному режимі) та по ньому на клему 3 приводу регулюючого клапана, і з клеми 4 на 902 («-») , аналогічно в дистанційному режимі аналоговий сигнал подається від ручного задатчика БРУ-7 від кл.9 через контакти, що переключають (кл.11 та 12) на дріт 4-4.

Розглянемо роботу контуру стабілізації рівня вологи повітря у приміщенні (контур 5).

На схемі показано підключення аналогового сигналу від датчика температури (5а), дискретного сигналу стану (режиму) блока ручного управління

(АВТ-ДИСТ), а також вихідного аналогового сигналу для управління виконавчого механізму (ВМ 5в). При реалізації уведення аналогового сигналу використаний той же принцип струмової петлі.

Вихідний аналоговий сигнал подається від клем 07+ та 09- модуля SM 332 бес7332-5НВ01-0АВ0 дротами 5-5 через контакти "12", "13" поступає на дріт 5-4 (в автоматичному режимі) та по ньому на клему 3 приводу регулюючого клапана, і з клем 4 на 902 («-»), аналогічно в дистанційному режимі аналоговий сигнал подається від ручного задатчика БРУ-7 від кл.9 через контакти, що переключають (кл.11 та 12) на дріт 5-4.

Розглянемо роботу контуру контролю температури на випарнику(контур б).

На схемі показане підключення аналогового сигналу температури на випарювачі (від датчика ба). При реалізації введення аналогового сигналу використаний принцип струмової петлі, тобто "+" від датчика ба (дріт 61) підключений до клем 27" (+U) ІТМ-110 для відображення поточного значення на цифровому міліамперметрі, який вбудований в ІТМ-110, із клем 28 (GND) дротом 6-2 сигнал подається на аналоговий вхід (06+) модуля 331 бес7331-7KF02-0АВ0, а замикається петля з'єднанням аналогового входу (07-) модуля 331 бес7331-7KF02-0АВ0 з "-" джерела живлення проводом 902.

Живлення усіх датчиків і щитових приладів здійснюється від джерел показаних на схемі електроживлення.

Схема звукової передпускової сигналізації (дзвоник *НА*) включає ключ *11-СА* та реле *11К*. Переводом в положення 1 ключа оператор подає сигнал у дистанційному режимі, а в положенні 3 включає автоматичний режим, в положенні 2 сигналізація відключена.

На схемі відображено також підключення до ПК, через перетворювач інтерфейсів 13, пристроїв, що мають інтерфейсний зв'язок: МПК, ІТМ110

У додатку наведена специфікація електроприладів та засобів, що використані в схемі принциповій електричній.

#### 8.4. Розробка принципів електричних схем живлення

Схема електрична принципова живлення розробляється з урахуванням необхідності безперебійного живлення найбільш відповідальних споживачів системи автоматизації електроенергією, зокрема 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 приладів, перетворювачів, ПК і контролера. Уведення живлення здійснюється від розподільного пункту живлення (існуючого силового щита). У системі зроблений вузол для зручності та безпеки виконання ремонтних робіт (розетки з живленням 36 В) та освітлення, які живляться напругою до головного автоматичного вимикача *SF1*. У щиті передбачена установка вхідного автомата *SF1*, лампи освітлювальної *EL* та розетки для електроінструмента (36В). В ланцюгах лампи, трансформатору *TV* (220/36В) установлені вимикачі *SA1*, *SA2* та для *TV* запобіжники з плавкими вставками *FU1*, *FU2*.

Живлення датчиків, розташованих по місцю здійснюється від блоку стабілізованого живлення MeanWELL DR 120-24(120Вт,24В,5А) . Живлення щитових приладів типу БРУ-7, блоків живлення G3 (220/24 В), напругою 220 В.

Для запобігання з'єднання лінії індивідуального заземлення із заземленням корпусів електрообладнання необхідно забезпечити ізолювання корпусів джерел живлення G1, G2,.

Живлення комплекту ПК здійснюється напругою 220 В від UPS. Ланцюги живлення (220В) приладів захищені автоматичними вимикачами, установленими в щиті оператора *SF1*,..., *SF3*, на ланцюг живлення приладів БРУ-7 встановлений

вимикач SA3 та запобіжник FU3, ланцюги живлення (24В) приладів вимикачами SA4, SA5, SA6 та запобіжниками з плавкими вставками FU4,...,FU8.

У схемі передбачений принцип маркування проводів (по рекомендаціях "ВНДПКІ" "Харчопромавтоматика"), що передбачає: дроти зі змінною напругою 220В, 36В маркірувати номерами 8XX, а дроти з постійною напругою 24В, 36В маркірувати номерами 9XX. У додатку наведена принципова електрична схема живлення та специфікація для неї.

#### 8.5 Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-300.

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

Поз. позначення	Найменування	К - сть.	Примітка
	<b><u>Перелік приладів на схемі автоматизації</u></b>		
	Прилади за місцем		
4а	Датчик температури ТЕРА (ТСП-У 2-10м-Рt100), живл.24 В, вих.4-20мА, 0-100 °С, потужність перетворювача 0,8 Вт	1	
5а	Датчик вологи ТЕРА (DVT-UT-2-01- TC-SHT-100-У), живл.24 В, вих.4-20мА, 0...100%, потужність перетворювача 3,6 Вт	1	

6а	Датчик температури ТЕРА (ТСП-У 2-8а-100П), живл.24 В, вих.4-20мА, 0-100 °С, потужність перетворювача 0,8 Вт	1	
4б	Виконавчий механізм Belimo AVK24A-MP-RE, 24 В, кер.0-10В	1	
5б	Виконавчий механізм Belimo SVC24A-SZ-TPC,24 В, кер.0-10В	1	
7а	Реле тиску danfoss KP1, -40 - +65 ° С (+80°С протягом не більше 2 годин). Макс. Робочий тиск = 17 бар	1	
8а,9а	Реле тиску Fox F4SP1/М3, Робоча температура: від -25°С до +85°С, Діапазон перемикання тиску, бар: 1,0 - 12,0	2	
	<b><u>Прилади на щиті оператора</u></b>		
46,5б	Блок ручного управління БРУ-7, жив. 220 В, вх. сигн. 4-20 мА, з КБЗ -24-19, потужн. 7Вт	2	
6б	Індикатор технологічний мікропроцесорний ITM-110, жив 24В, , вх. сигн. 4-20 мА, потужність 4.32Вт	1	
12	Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485	1	
МПК	Контролер програмований SIMATIC S7-300, CPU313C-2DP	1	
	<b><i>Модуль аналогового вводу SM 331-7KF02-0AB0</i></b>	1	8AI
	Модуль аналогового виводу SM 332-5HB01-0AB0	1	2AO

	Модуль дискретного вводу-виводу SM 323-1BH01-0AB0	1	16DI/ 16DO
	Блок живлення PS 307, AC100/240V, DC 24V,5A	1	
11	PC ADAPTER USB A2 (SM USB to MPI) , USB CABLE 5M INCLUDED MPI KABEL, 0,3M (6GK1571-0BA00-0AA0)	1	з каб. 5м
	<b><u>Технічні засоби в операторському пункті</u></b>		
ПК	Персональний комп'ютер в комплекті	2	
			1

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	<b><u>Перелік приладів на принциповій електричній схемі</u></b>		
	<b>Прилади за місцем</b>		
1KM-3KM	Магнітний пускач Schneider Electric LC1K0610M7 3P 1NO 06A 220V	3	існуючі
1SB1,3SB1	Кнопки КМЕ 4201, 1 р	3	
4R,5R	Резистор змінний високоточний 2,2 кОм, СП5	2	
HA	Дзвоник електричний UWE 24В, 0,06А	1	
	<b>Прилади в силовому щиті</b>		

1QF-3QF	Автоматичний вимикач триполюсний HagerNCN340, 6А	3	існуючі
	з додатковим контактом		
1FU, 3FU	<i>Запобіжник із плав. вставкою ВПТ, струм 3А</i>	7	існуючі
	<b><u>Прилади на щиті оператора</u></b>		
1SA, 3SA,11 SA	Перемикач ELFIN 22 на 3 положення,	7	
1SB3-3SB3	Кнопка ELFIN 22, 1з, зелений штовкач, (Пуск)	7	
10SB1, 10SB2			
1SB2-3SB2	Те ж, 1р, червоний штовкач, (Стоп)	2	
1К-3К ,11К	Реле проміжне, Weidmuller PS 35836971, 24В, (одногрупне)	4	
1VD-3VD, 7VD-9VD	Світлосигнальна арматура у сборі ELFIN 22, 24В пост.	6	
РГЗ №1з ПСА	Специфікація до принципової електричної схеми		Лист т 2,3, 4,5

Поз. позначення	Найменування	К- сть	Приміт- ка
	<b><u>Перелік приладів на схемі</u></b>		
	<b><u>принципової електричної живлення</u></b>		
SF1	Вимикач автоматичний ВА47-29М, 10А	1	

SF2	Те ж, 1А	1	
SF3	Те ж, 5А	2	
EL	Патрон косий настінний Е27 ФнП-03	1	
XS1	Розетка РШ-0-2- двополюсна, 5А	2	
XS2, XS3	Розетка РШ-0-3- триполюсна, 10А	2	
SA1, ..., SA 5	Вимикач, ПВ-1-16, 16А	5	
FU1	Запобіжник із плавкою вставкою, ПТ, 2А	1	
FU2	Те ж, 12А	1	
FU3	Запобіжник із плавкою вставкою, ПК-30, 0,15А	1	
FU4	Запобіжник із плавкою вставкою, ПК-30, 0,25А	1	
FU5	Те ж, 0.5А	1	
FU6	Те ж, 0,5А		
FU7	Те ж, 0,25А	1	
FU8	Те ж, 1 А	1	
FU9	Те ж, 0,15А	1	
G1	Блок живлення стабілізований MeanWELL DR 120-24(120Вт,24В,5А)	1	
G2	Джерело безперебійного живлення (UPS) Power Must 800VA	1	
РГЗ №1з ПСА	Специфікація до принципової електричної схеми живлення	Лист	
		6	

**РОЗДІЛ 9 ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ  
ДОЦІЛЬНОСТІ  
ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЕКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації за її обраним варіантом.

В даному розділі буде розглянута доцільність впровадження обраного варіанту розробленої системи автоматизації, з економічної точки зору. Для розрахунку економічних показників обраного варіанту нової розробленої САК буде враховано ціни на закупівлю комплексу технічних засобів, а саме: кабельної продукції, датчиків температури, тиску, частотного перетворювача.

Використані прилади	К - сть.	Ціна
Датчик температури ТЕРА (ТСП-У 2-10м- Pt100), живл.24 В, вих.4-20мА, 0-100 °С, потужність перетворювача 0,8 Вт	1	843
Датчик вологи ТЕРА (DVT-UT-2-01- TC-SHT-100-Y), живл.24 В, вих.4-20мА, 0...100%, потужність перетворювача 3,6 Вт	1	843
Датчик температури ТЕРА (ТСП-У 2-8а-100П), живл.24 В, вих.4-20мА, 0-100 °С, потужність перетворювача 0,8 Вт	1	843
Виконавчий механізм Belimo AVK24A-MP-RE, 24 В, кер.0-10В	1	39712
Виконавчий механізм Belimo SVC24A-SZ-TPC,24 В, кер.0-10В	1	19059

Реле тиску danfoss KP1, -40 - +65 ° C (+80°C протягом не більше 2 годин). Макс. Робочий тиск = 17 бар	1	3250
Реле тиску Fox F4SP1/M3, Робоча температура: від -25°C до +85°C, Діапазон перемикання тиску, бар: 1,0 - 12,0	2	2552
Блок ручного управління БРУ-7, жив. 220 В, вх. сигн. 4-20 мА, з КБЗ -24-19, потужн. 7Вт	2	21334
Індикатор технологічний мікропроцесорний ІТМ-110, жив 24В, , вх. сигн. 4-20 мА, потужність 4.32Вт	1	3100
Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485	1	4703
Контролер програмований SIMATIC S7-300, CPU313C-2DP	1	35518
Модуль аналогового вводу SM 331-7KF02-0AB0	1	32777
Модуль аналогового виводу SM 332-5HB01-0AB0	1	33888
Модуль дискретного вводу-виводу SM 323-1BH01-0AB0	1	25766
Блок живлення PS 307, AC100/240V, DC 24V,5A	1	1467
PC ADAPTER USB A2 (SM USB to MPI) , USB CABLE 5M INCLUDED MPI KABEL, 0,3M (6GK1571-0BA00-0AA0)	1	1500
Персональний комп'ютер в комплекті	2	16000

Магнітний пускач Schneider Electric LC1K0610M7 3P 1НО 06А 220V	3	2316
Кнопки КМЕ 4201, 1 р	3	276
Резистор змінний високоточний 2,2 кОм, СП5	2	770
Дзвоник електричний UWE 24В, 0,06А	1	290
Автоматичний вимикач триполюсний HagerNCN340, 6А	3	2422
<b>Запобіжник із плавкою вставкою ВПТ, струм 3А</b>	7	168
Перемикач ELFIN 22 на 3 положення,	7	5642
Кнопка ELFIN 22, 1з, зелений штовкач, (Пуск)	7	3346
Те ж, 1р, червоний штовкач, (Стоп)	2	715
Реле проміжне, Weidmuller PS 35836971, 24В, (одногрупне)	4	816
Світлосигнальна арматура у сборі ELFIN 22, 24В пост.	6	240

Вимикач автоматичний ВА47-29М, 10А	1	177
Те ж, 1А	1	177
Те ж, 5А	2	354
Патрон косий настінний Е27 ФнП-03	1	11
Розетка РШ-0-2- двополюсна, 5А	2	134
Розетка РШ-0-3- триполюсна, 10А	2	152
Вимикач, ПВ-1-16, 16А	5	595
Запобіжник із плавкою вставкою, ПТ, 2А	1	40
Те ж, 12А	1	40
Запобіжник із плавкою вставкою, ПК-30, 0,15А	1	27

Запобіжник із плавкою вставкою, ПК-30, 0,25А	1	27
Те ж, 0.5А	1	27
Те ж, 0,5А	1	27
Те ж, 0,25А	1	27
Те ж, 1 А	1	27
Те ж, 0,15А	1	27
Блок живлення стабілізований MeanWELL DR 120-24(120Вт,24В,5А)	1	1115
Джерело безперебійного живлення (UPS) Power Must 800VA	1	2800

Загальна сума модернізації: 266573 грн

Табл. 9.1 Оціночна грошова вартість придбання засобів автоматизації.

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

Як результат, після модернізації САК кондиціонера, очікується зниження розходу води у процесі виробництва приблизно на 12,4%. Нове значення використання теплового ресурсу (пари), становить: 0.035Гкал/т (розхід пари до розробки нового технічного забезпечення становила – 0.04 Гкал/т). А також, зменшення витрат на електроенергію, приблизно на 8,56%. Нове значення використання енергетичного ресурсу (електроенергії), становить: 32кВт/т (розхід електроенергії до розробки нового технічного забезпечення становив – 35 кВт/т).

- Вартість 1 куб води = 16.16 грн;
- Вартість 1 кВт/ч = 1,68 грн
- Продажна вартість САР –266573 грн.
- Річний об'єм виробництва – 10 000 т.

1. Визначимо величину початкових інвестицій в нову, розроблену САР.

Первинна вартість придбання нової техніки розраховується за формулою:

$$IC\text{ САР} = /(\text{Цпрсар} + \text{Цпрсар} \cdot K_m + \text{Цпрсар} \cdot \text{Нт}/100 + \text{Цпрсар} \cdot \text{Нтр}/100) +$$

$$+(\text{Цпрсар} + \text{Цпрсар} * \text{Н}_T/100 + \text{Цпрсар} * \text{Н}_{\text{тр}}/100) * \text{Н}_{\text{зс}}/100 = \text{Цпрсар} * 1,165 = 266573 * 1,165 = 310557.545 \text{ грн}$$

де  $K_M$  – коефіцієнт монтажних робіт, ( $K_M=0,1$ );

$\text{Н}_T$  – нормативні відрахування на тару та упаковку, ( $\text{Н}_T=0,25\%$ );

$\text{Н}_{\text{тр}}$  – транспортні расходи, ( $\text{Н}_{\text{тр}}=5\%$ );

$\text{Н}_{\text{зс}}$  – нормативні відрахування на заготівельно-складські затрати, ( $\text{Н}_{\text{зс}}=1,2\%$ );

Визначимо величину зміни витрат на експлуатацію та підтримку роботи обладнання:

$$\Delta \text{Васар} = \text{IC CAP} \cdot \text{Н}_{\text{рау}} = 310557.545 * 0,5 = 155278.7725 \text{ грн}$$

$\text{Н}_{\text{рау}}$  - норма річних амортизаційних відрахувань для засобів автоматизації, яка дорівнює 50%;

2. Визначимо витрати на воду до впровадження модернізації:

$$\text{З}_{\text{вод1}} = \text{ОВ}_Г * \text{Н}_{\text{р.вод1}} * \text{Ц}_{\text{од.вод}} = 10000 * 0,04 * 16.16 = 6464 \text{ грн}$$

3. Визначимо витрати на воду після впровадження модернізації:

$$\text{З}_{\text{вод2}} = \text{ОВ}_Г * \text{Н}_{\text{р.вод2}} * \text{Ц}_{\text{од.вод}} = 10000 * 0,035 * 16.16 = 5656 \text{ грн}$$

4. Визначимо зміну витрат на воду:

$$\Delta \text{З}_{\text{вод}} = \Delta \text{З}_{\text{вод2}} - \Delta \text{З}_{\text{вод1}} = 6464 - 5656 = -808 \text{ грн}$$

5. Визначимо витрати на електроенергію до модернізації:

$$\text{З}_{\text{ел.ен.1}} = \text{ОВ}_Г * \text{Н}_{\text{р.ел.ен.1}} * \text{Ц}_{\text{од.ел.ен.}} = 10000 * 35 * 1.68 = 538000 \text{ грн}$$

6. Визначимо витрати на електроенергію після модернізації:

$$\text{З}_{\text{ел.ен.2}} = \text{ОВ}_Г * \text{Н}_{\text{р.ел.ен.2}} * \text{Ц}_{\text{од.ел.ен.}} = 10000 * 32 * 2 = 537600 \text{ грн}$$

7. Визначимо зміну затрат на електроенергію:

$$\Delta \text{З}_{\text{ел.ен.}} = \Delta \text{З}_{\text{ел.ен.2}} - \Delta \text{З}_{\text{ел.ен.1}} = 537600 - 538000 = -400 \text{ грн}$$

8. Визначимо зміну повної собівартості продукції за рахунок впровадження CAP:

$$\Delta \text{СП} = \Delta \text{З}_{\text{ел.ен.}} + \Delta \text{З}_{\text{вод}} + \Delta \text{Васар} = -400 - 808 + 155278.7725 = 154070.7725 \text{ грн}$$

9. Визначимо приріст прибутку підприємства за рахунок модернізації:

$$\Delta \text{П} = -\Delta \text{СП} = 154070.7725 \text{ грн}$$

10. Визначимо приріст чистого прибутку підприємства:

$$\Delta\text{ЧП} = (\Delta\text{П} - \Delta\text{Васар}) \cdot (1 - \text{Пп}) = (154070.7725 - 155278.7725) * (1 - 0,18) = -990.56 \text{ грн}$$

Пп - податок на прибуток, який дорівнює на 01.01.2018 р. - 18%.

11. Визначимо розмір чистого грошового потоку:

$$\text{ЧГП} = \Delta\text{ЧП} + \Delta\text{Васар} = 990.56 + 155278.7725 = 156269.3325 \text{ грн}$$

### 9.3 Висновок за розділом

Отже, чистий грошовий потік за період реалізації данного проекту є більшим за нуль, а саме: 156269.3325 грн. Однак, даний проект є інвестиційно ризиковим, адже виходячи з розрахунків, ми бачимо що його чистий прибуток є меншим за 0, а саме: -990.56 грн. Це означає, що вибрані нами варіації технічних засобів є інвестиційно привабливими, однак ризиковими, і дозволять нам провести модернізацію, результатом якої став отриманий прибутковий чистий грошовий потік.

## Висновок:

В даній дипломній роботі, було розглянуто технологічний процес кондиціонування повітря. Як об'єкт, було кондиціонер марки FSM-30 . Розроблено його параметризовану та параметричну схему. Після цього було конкретизовано основні його основні регламенти, розроблено його моделі як об'єкта регулювання. Було розроблено і параметрично оптимізовано його алгоритми регулювання. Сконкретизовано задачі і розроблено алгоритми логічного керування даним технологічним процесом. Вибрано та використано набір технічних засобів, за рахунок яких можна провести модернізацію обладнання. Окремо розроблено та перевірено за допомогою моделювання - контролерно-комп'ютерні мережі. Також було досягнуто певних успіхів у розробці SCADA для автоматизованого місця технолога і наладчика САК. Враховуючі пророблену роботу, було складено фрагментів документації технічного забезпечення САК. Як на останок, було представлено і попередньо обгрунтовано інвестиційні витрати на дану модернізацію системи автоматизації за її обраним варіантом, які показали нам, що модернізація даної САК, є доцільною, оскільки за допомогою неї, ми змогли досягти зменшення затрат не енергетичні ресурси, а також отримали позитивний чистий грошовий потік.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу «Мікропроцесорні і програмні засоби автоматизації» для бакалаврів 6.050202 денної та заочної форми навчання / Укладачі: В. М. Левінський, А.І. Павлов, М.Т. Степанов. – Одеса: ОНАХТ, 2011р. – 13.с
2. Каталог S7-300 «SIMATIC ST70 ». – Siemens AG, 2007. – 232 с.
3. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій по дисципліні «Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2016р
4. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій по дисципліні «Теорія автоматичного керування» для студентів спеціальності 7.092501 денної і заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2007. – 87 с.
5. Муратов В.Г. «Метрологія та основи вимірювання. Конспект лекцій». Частина 1,2,3. - Одеса: ОНАХТ, 2012р.
6. Методичні вказівки до виконання комплексного курсового проекту з дисципліни «Метрологія та технологічні вимірювання галузі»/ Скл. Муратов В.Г. - Одеса: ОНАХТ, 2012р.

7. Методичні вказівки до виконання КП по курсу "Проектування систем автоматизації" для студентів спеціальності 6.050202 денної та заочної форм навчання / Скл. Ю.М. Скаковській, В.І. Старичков. - Одеса:ОГАПТ, 2016. 35
8. *Методические указания по выполнению и оформлению курсовой работы по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов спец. 2103 дневной и заочной форм обучения / Сост. В.А. Хобин. – Одесса: ОТИПП, 1992 г. – 15 с.*
9. *Павлов А.И. Системы логического управления. Сборник задач с решениями. – Одесса, 2002. – 78 с.*
10. *Муратов В.Г. Метрология и основы измерений. Конспект лекций. Части 1, 2, 3. – Одесса: ОГАПТ, 2000.*

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. позначення	Найменування	К - сть.	Примітка
	<b><u>Перелік приладів на схемі автоматизації</u></b>		
	<b>Прилади за місцем</b>		
4а	Датчик температури ТЕРА (ТСП-У 2-10м-Рt100), живл.24 В, вих.4-20мА, 0-100 °С, потужність перетворювача 0,8 Вт	1	
5а	Датчик вологи ТЕРА (DVT-UT-2-01- TC-SHT-100-У), живл.24 В, вих.4-20мА, 0...100%, потужність перетворювача 3,6 Вт	1	
6а	Датчик температури ТЕРА (ТСП-У 2-8а-100П), живл.24 В, вих.4-20мА, 0-100 °С, потужність перетворювача 0,8 Вт	1	
4б	Виконавчий механізм Velimo AVK24A-MP-RE, 24 В, кер.0-10В	1	
5б	Виконавчий механізм Velimo SVC24A-SZ-TPC,24 В, кер.0-10В	1	
7а	Реле тиску danfoss KP1, -40 - +65 ° С (+80°С протягом не більше 2 годин). Макс. Робочий тиск = 17 бар	1	

8а,9а	Реле тиску Fox F4SP1/M3, Робоча температура: від -25°C до +85°C, Діапазон перемикання тиску, бар: 1,0 - 12,0	2	
	<b><u>Прилади на щиті оператора</u></b>		
46,56	Блок ручного управління БРУ-7, жив. 220 В, вх. сигн. 4-20 мА, з КБЗ -24-19, потужн. 7Вт	2	
6б	Індикатор технологічний мікропроцесорний ITM-110, жив 24В, , вх. сигн. 4-20 мА, потужність 4.32Вт	1	
12	Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485	1	
МПК	Контролер програмований SIMATIC S7-300, CPU313C-2DP	1	
	<b><i>Модуль аналогового вводу SM 331-7KF02-0AB0</i></b>	1	8AI
	Модуль аналогового виводу SM 332-5HB01-0AB0	1	2AO
	Модуль дискретного вводу-виводу SM 323-1BH01-0AB0	1	16DI/ 16DO
	Блок живлення PS 307, AC100/240V, DC 24V,5A	1	
11	PC ADAPTER USB A2 (SM USB to MPI) , USB CABLE 5M INCLUDED MPI KABEL, 0,3M (6GK1571-0BA00-0AA0)	1	з каб. 5м
	<b><u>Технічні засоби в операторському пункті</u></b>		
ПК	Персональний комп'ютер в комплекті	2	

		1
--	--	---

Додаток Б

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до схеми принципової електричної

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	<b><u>Перелік приладів на принциповій електричній схемі</u></b>		
	<b>Прилади за місцем</b>		
1KM-3KM	Магнітний пускач Schneider Electric LC1K0610M7 3P 1НО 06А 220V	3	існуючі
1SB1,3SB1	Кнопки КМЕ 4201, 1 р	3	
4R,5R	Резистор змінний високоточний 2,2 кОм, СП5	2	
HA	Дзвоник електричний UWE 24В, 0,06А	1	
	<b>Прилади в силовому щиті</b>		
1QF-3QF	Автоматичний вимикач триполюсний HagerNCN340, 6А	3	існуючі
	з додатковим контактом		
1 FU, 3FU	<b>Запобіжник із плавкою вставкою ВПТ, струм 3А</b>	7	існуючі
	<b><u>Прилади на щиті оператора</u></b>		

1SA, 3SA,11 SA	Перемикач ELFIN 22 на 3 положення,	7	
1SB3-3SB3	Кнопка ELFIN 22, 1з, зелений штовкач, (Пуск)	7	
10SB1, 10SB2			
1SB2-3SB2	Те ж, 1р, червоний штовкач, (Стоп)	2	
1K-3K ,11K	Реле проміжне, Weidmuller PS 35836971, 24В, (однорупне)	4	
1VD-3VD, 7VD-9VD	Світлосигнальна арматура у сборі ELFIN 22, 24В пост.	6	
	Специфікація до принципової електричної схеми		Лис т
			2,3, 4,5

### Додаток В

Таблиця В – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми живлення

Поз. позначення	Найменування	К- сть	Приміт- ка
	<b><u>Перелік приладів на схемі</u></b>		
	<b><u>принципової електричної живлення</u></b>		
SF1	Вимикач автоматичний ВА47-29М, 10А	1	
SF2	Те ж, 1А	1	
SF3	Те ж, 5А	2	
EL	Патрон косий настінний Е27 ФнП-03	1	
XS1	Розетка РШ-0-2- двополюсна, 5А	2	

XS2, XS3	Розетка РШ-0-3- триполюсна, 10А	2	
SA1, ..., SA 5	Вимикач, ПВ-1-16, 16А	5	
FU1	Запобіжник із плавкою вставкою, ПТ, 2А	1	
FU2	Те ж, 12А	1	
FU3	Запобіжник із плавкою вставкою, ПК-30, 0,15А	1	
FU4	Запобіжник із плавкою вставкою, ПК-30, 0,25А	1	
FU5	Те ж, 0.5А	1	
FU6	Те ж, 0,5А		
FU7	Те ж, 0,25А	1	
FU8	Те ж, 1 А	1	
FU9	Те ж, 0,15А	1	
G1	Блок живлення стабілізований MeanWELL DR 120-24(120Вт,24В,5А)	1	
G2	Джерело безперебійного живлення (UPS) Power Must 800VA	1	
РГЗ №13 ПСА	Специфікація до принципової електричної схеми живлення	Лист	
		6	