

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Підвищення якості автоматизації технологічних процесів промислових

КОТЕЛЕНЬ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДЕА-А23мг
спеціальності : 174 Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(код і найменування спеціальності)

_____ / Костянтин ШОРКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ / Геннадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ / Павло БУДАНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____ / Геннадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ / Євген КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / Євген КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Завідувач кафедри

« » 2024 p.

на кваліфікаційну роботу магістерського рівня вищої освіти

(ім'я, прізвище)

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал). 1) Функціональна схема автоматизації каскадної автоматичної системи регулювання температури продукту на виході теплообмінника; 2) Алгоритм

підпрограми запуску двигуна 3) Структурна схема каскадної автоматичної системи регулювання; 4) Блок-схема системи протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ) та автоматичної сигналізації (АС); 5) Графічний інтерфейс автоматизованої системи

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання “ 12_” жовтня 2024 р.

Керівник

(підпис)

Геннадій КАНЮК
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Костянтин ШОРКО
(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Вступ	жовтень	виконано
2	Огляд літературних джерел та постановка завдань дослідження	жовтень	виконано
3	Структурно-параметричний синтез каскадної автоматичної системи регулювання основної технологічної змінної	жовтень-листопад	виконано
4	Вибір комплекту програмно-технічних засобів автоматизації інформаційно-керуючої системи	листопад	виконано
5	Розробка графічного інтерфейсу регулювання основної технологічної змінної у SCADA-системі	листопад	виконано
9	Висновки і оформлення кваліфікаційної роботи	листопад	виконано

Студент

(підпис)

Костянтин ШОРКО
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Євген КЛЮЧКА
(ім'я, прізвище)

Костянтин ШОРКО

**Підвищення якості автоматизації технологічних процесів
промислових котелень**

Кваліфікаційна робота складається з 61 сторінок тексту, 5 аркушів креслень формату А1 та 22 джерел літератури.

Робота направлена на підвищення якості рівня автоматизації технологічного процесу підігріву теплоносія в теплообміннику шляхом удосконалення систем регулювання температури в теплообмінниках промислових котелень. Це досягається шляхом застосування сучасних засобів автоматизації (мікропроцесорні програмовані контролери, промислові комп'ютери, пристрої віддаленого збору та передачі інформації та ін.).

Розроблена інформаційно-керуюча система автоматизації теплообмінника дозволяє вести автоматичне керування технологічним процесом за допомогою мікропроцесорного керування. Система дозволяє використовувати відносно недорогий персональний комп'ютер та його периферійні пристрої для створення комплексної автоматизованої системи керування кількома різними технологічними процесами, об'єднаними місцезнаходженням.

Ключові слова: промислова котельня, теплообмінник, автоматична система регулювання, температура

Konstantyn SHORKO

**Increasing the quality of automation of technological processes of
industrial boiler houses**

The qualification work consists of __61__ pages of text, __5__ sheets of drawings in A1 format and __22__ sources of literature.

The work is aimed at improving the level of automation of the technological process of heating the coolant in the heat exchanger by improving the temperature control systems in the heat exchangers of industrial boiler houses. This is achieved by using modern means of automation (microprocessor programmable controllers, industrial computers, devices for remote collection and transmission of information, etc.).

The developed information and control system of automation of the heat exchanger allows automatic control of the technological process using microprocessor control. The system allows you to use a relatively inexpensive personal computer and its peripheral devices to create a complex automated control system for several different technological processes united by location.

Key words: industrial boiler house, heat exchanger, automatic regulation system, temperature

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	12
2.1 Призначення та принцип роботи технологічної установки	12
2.2 Визначення змінних, що підлягають контролю, регулюванню, сигналізації, блокуванню з урахуванням контролю стану виконавчих механізмів	14
2.3. Розробка алгоритму керування технологічної установки	16
РОЗДІЛ 3. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ КАСКАДНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ОСНОВНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЗМІННОЇ	20
3.1 Упорядкування схеми структурної каскадної АСР та схема функціональна каскадної АСР, реалізованої з урахуванням мікропроцесорної техніки та ЕОМ	20
3.2 Визначення оптимальних налаштувань безперервних регуляторів, цифрових регуляторів, рекурентні алгоритми	23
3.3 Визначення динамічної характеристики основної технологічної змінної	32
РОЗДІЛ 4. ВИБІР КОМПЛЕКТУ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ	34
4.1 Вибір та обґрунтування контрольно-вимірювальних приладів, опис принципу дії, технічних характеристик	34
4.2 Вибір та обґрунтування виконавчих механізмів, засобів контролю їх стану, опис технічних характеристик	37

4.3. Вибір та обґрунтування контролера, модулів введення виводу	41
4.4 Вибір та обґрунтування комп'ютера	43
4.5. Вибір та обґрунтування програмного забезпечення, інтерфейсу	46
4.6. Розробка блок-схеми системи протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ) та автоматичної сигналізації (АС), визначення їх уставок	48
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ГРАФІЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ РЕГУЛЮВАННЯ ОСНОВНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЗМІННОЇ У SCADA-СИСТЕМІ	50
5.1. Загальні відомості про SCADA-системи	50
5.2. Реалізація графічного інтерфейсу автоматизованої системи теплообмінника у SCADA-системі	52
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ	59

ВСТУП

Електропривод є невід'ємною частиною багатьох агрегатів та комплексів, що використовуються у різних галузях господарства, науки та техніки. Поруч із тенденцією автоматизації технологічних і виробничих процесів з урахуванням обчислювальної техніки, сучасний електропривод став найпоширенішим різновидом систем автоматичного управління технічними об'єктами. В даний час техніка розвивається такими швидкими темпами, що кожного року з'являється багато нових приладів та датчиків, які можуть допомогти людині в обслуговуванні технологічних процесів. Такі темпи розвитку призводять до того, що електроустаткування швидко морально старіє та потребує модернізації.

Тому дана робота направлена на підвищення якості рівня автоматизації технологічного процесу підігріву теплоносія в теплообміннику шляхом удосконалення систем регулювання температури в теплообмінниках промислових котелень. Це досягається шляхом застосування сучасних засобів автоматизації (мікропроцесорні програмовані контролери, промислові комп'ютери, пристрої віддаленого збору та передачі інформації та ін.).

В умовах повномасштабного вторгнення і російської військової агресії особливу актуальність набуває розвиток енергоефективних технологій для забезпечення роботи промислових котелень.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основним обладнанням промислових котелень є теплообмінні апарати, тому підвищення якості автоматизації технологічних процесів регулювання температури в них є актуальною науково-промисловою задачею. Удосконалення систем регулювання температури в теплообмінниках промислових котелень може значно сприяти досягненню кількох Цілей сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй (ООН). Способи, як ці вдосконалення можуть вплинути на кожную з них:

Ціль 7: Доступна та чиста енергія

Удосконалення систем регулювання температури дозволяє зменшити втрати енергії та покращити коефіцієнт корисної дії (ККД) котелень, що сприяє більш ефективному використанню енергоресурсів.

Ціль 9: Промисловість, інновації та інфраструктура

Використання сучасних автоматизованих систем управління, адаптивних алгоритмів і новітніх матеріалів для теплообмінників стимулює розвиток інновацій у промисловості.

Ціль 11: Сталий розвиток міст та громад

Оптимізація роботи котелень через ефективне регулювання температури знижує споживання палива і, відповідно, викиди забруднюючих речовин, сприяючи більш чистому повітрю в містах.

Ціль 12: Відповідальне споживання та виробництво

Поліпшення систем регулювання температури сприяє більш раціональному використанню енергії та ресурсів, зменшуючи витрати і вплив на довкілля.

Ціль 13: Боротьба зі зміною клімату

Підвищення енергоефективності котелень зменшує викиди CO₂ та інших парникових газів, що сприяє боротьбі зі зміною клімату.

Ціль 8: Гідна праця та економічне зростання

Енергоефективні технології та системи управління знижують витрати на енергію, що сприяє економічному зростанню і створенню нових робочих місць у галузі відновлюваної енергетики та інновацій.

Ціль 6: Чиста вода та санітарія

Ефективні системи регулювання можуть зменшити потребу в охолоджувальній воді та знизити ризик забруднення водних об'єктів відпрацьованими теплоносіями.

Таким чином, удосконалення систем регулювання температури в теплообмінниках промислових котелень має прямий вплив на кілька ключових аспектів сталого розвитку, сприяючи зменшенню енергоспоживання, зниженню викидів та покращенню якості життя. Інтеграція цих технологій не тільки підвищує ефективність роботи промислових об'єктів, але й сприяє досягненню глобальних цілей сталого розвитку [1-3].

Огляд літератури свідчить про наявність багатьох досліджень, присвячених різним аспектам оцінки якості [4-9], однак технічна складова саме для промислових котелень у цих роботах не розглядається. Підвищення якості та енергоефективності роботи промислових котелень – це постійний процес, який вимагає поєднання технологічних оновлень, операційних удосконалень і зобов'язань щодо сталого розвитку.

Загальні принципи роботи промислових котелень представлені у роботах [10-13].

Особливості регулювання і автоматизації технологічних процесів, що характерні для парових котлів і цілому та роботі промислових котелень, детально розглянуто в джерелах [14-18].

Автоматизація промислових котельні може бути інтегрована з іншими системами управління, такими як системи управління виробництвом або системи управління енергопостачанням. Таким чином координується робота котельні з іншими виробничими процесами для забезпечення оптимального використання енергії.

В цілому, автоматизація промислових котельні може значно поліпшити їх функціональність, зменшити споживання палива, підвищити безпеку та надійність роботи, а також зменшити витрати на обслуговування та експлуатацію.

Метою даної роботи є підвищення якості автоматизації технологічного процесу регулювання температури в теплообмінниках промислових котелень.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені наступні **завдання**:

1. Проаналізувати стан питання на основі літературних джерел.
2. Розглянути характеристику технологічної установки як об'єкт керування.
3. Виконати структурно-параметричний синтез каскадної автоматичної системи регулювання основної технологічної змінної.
4. Обґрунтувати вибір комплексу програмно-технічних засобів інформаційно-керуючої системи
5. Розробити графічний інтерфейс регулювання основної технологічної змінної у SCADA-системі.

Об'єкт дослідження – теплообмінник промислового котла.

Предмет дослідження - система автоматичного регулювання (САР) температури в теплообмінниках промислових котелень.

Новизна роботи полягає у проведенні комплексного аналізу САР температури в теплообмінниках промислових котелень, обґрунтуванню вибору комплексу програмно-технічних засобів інформаційно-керуючої системи та розробці графічного інтерфейсу регулювання основної технологічної змінної у SCADA-системі.

Практичне значення отриманих результатів заключається в підвищенні якості технологічного процесу систем регулювання температури в теплообмінниках промислових котелень за допомогою сучасних інформаційно-керуючих засобів, що особливо актуально в умовах військового стану.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Призначення та принцип роботи технологічної установки

Вирішуються такі основні питання: автоматичне дистанційне керування каскадною автоматичною системою рівня регулювання температури в теплообміннику в зблокованому режимі, автоматичне регулювання подачі гарячої води в теплообмінник, автоматичне регулювання заданого значення температури продукту в теплообміннику $\dot{Q}_{\text{зад}} = (84 \pm 2)^\circ \tilde{N}$, забезпечення протиаварійного автоматичного захисту ($\dot{Q}_{\text{min I AC}} = 78^\circ \tilde{N}$) та автоматичної сигналізації ($\dot{Q}_{\text{min AN}} = 80^\circ \tilde{N}$), а також ручне дистанційне керування технологічною установкою.

Функціональна схема технологічної установки представлена на рисунку 2.1.

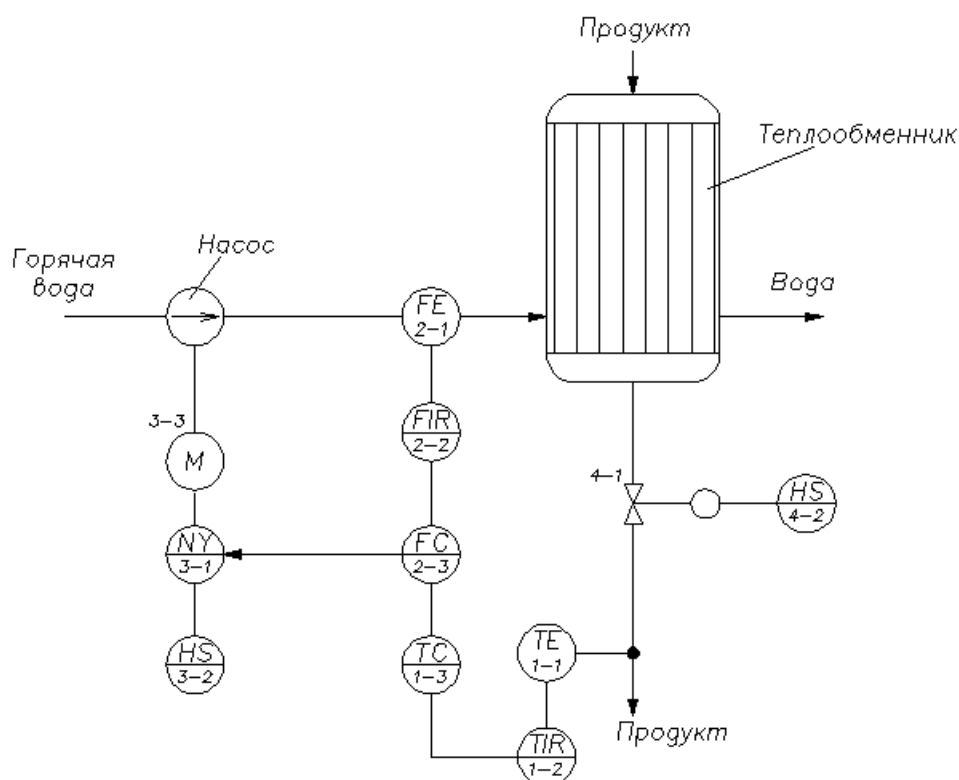


Рис. 2.1. Функціональна схема технологічної установки

У таблиці 2.1 наведені засоби автоматизації наявні на початковому етапі проєктування, задані за завданням.

Таблиця 2.1.

Засоби автоматизації

Позиційне позначення	Найменування	Літерне позначення	Вид сигналу
Елементи контролю			
1–1	Датчик температури	TE	Аналоговий
2–1	Датчик витрати гарячої води	FE	Аналоговий
Командні елементи			
3–2	Кнопковий пост керування двигуна М	HS	Дискретний
4–2	Кнопковий пост управління відсічного клапана 4–1	HS	Дискретний
Виконавчі елементи			
3–1	Частотний перетворювач	NY	Аналоговий
3–3	Двигун М насоса	М	P=55 кВт, U = 380 В, I = 106 А, n =740 обр/хв.
4–1	Клапан відсічний		Дискретний

Далі розглянемо принцип роботи технологічної установки.

Спочатку теплообмінник складається з двох ємностей, ємність по якій проходить продукт, знаходиться всередині основної ємності, в яку проводиться подача гарячої води і видалення відпрацьованої води, гаряча

вода в свою чергу взаємодіє з ємністю по якій проходить продукт, омиваючи її і віддаючи тепло, у результаті і відбувається підігрів продукту. Подача готового продукту здійснюється через клапан відсічної 4-1, на виході клапана стоїть датчик температури 1-1 TE, необхідний для вимірювання температури готового продукту, з датчика температури сигнал подається на вторинний показуючий і реєструючий прилад контролю температури 1-2 TIR і подається на регулятор температури 1-3 TC, який формує сигнал відхилення заданої температури від необхідної та передає його на регулятор витрати гарячої води 2-3 FC. На трубопроводі подачі гарячої води стоїть датчик витрати гарячої води 2-1 FE, з датчика витрати гарячої води сигнал подається на вторинний показуючий і реєструючий прилад контролю витрат гарячої води 2-2 FIR, і подається на регулятор витрати гарячої води 2-3 FC, якому формується сигнал рознесення, температури продукту на виході та витрати гарячої води, формуючи сигнал завдання і передає його на частотний перетворювач 3-1 NY, в якому відбувається формування закону управління двигуном насоса 3-3 M, тобто змінює частоту обертання у більшу або меншу бік, регулюється подача гарячої води. Кнопковий пост керування двигуном M 3-2 HS, призначений для ручного дистанційного керування частотним перетворювачем та двигуном. Кнопковий пост 4-2 HS керування клапаном 4-1, здійснює ручне дистанційне керування відсічним клапаном.

2.2 Визначення змінних, що підлягають контролю, регулюванню, сигналізації, блокуванню з урахуванням контролю стану виконавчих механізмів

У даній технологічній установці контролю та регулюванню підлягає температура продукту на виході теплообмінника зі значенням $\dot{Q}_{\text{càa}} = (84 \pm 2)^\circ \tilde{N}$. Контроль температури здійснюється за допомогою датчика температури 1-1

ТЕ, а регулювання, як і описувалося вище, здійснюється подачею гарячої води в теплообмінник насосом, згідно із законом регулювання частотного перетворювача 3–1 NY.

Технологічна установка передбачає наявність автоматичної сигналізації (АС) при значеннях температури продукту $\dot{O}_{\min \dot{A}\tilde{N}} = 80^{\circ}\tilde{N}$, а також забезпечення протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ) при значеннях температури продукту $\dot{O}_{\min \dot{I} \dot{A}\tilde{C}} = 78^{\circ}\tilde{N}$.

До цієї схеми технологічної установки необхідно передбачити контроль стану механізмів (клапанів, двигунів), стабілізацію основної технологічної змінної за допомогою регульованого електроприводу.

Для контролю двигуна насоса 3-3 М, на вал встановимо пристрій контролю циркуляції з контактним виходом, датчик швидкості 3-4 SE, також на трубопроводі подачі гарячої води, після насоса, встановимо датчик тиску 3-5 PE і відсічний клапан 3-6. Для контролю стану положення клапана 3-6, встановимо кінцеві вимикачі 3-8 GS і 3-9 GS, також для ручного дистанційного керування відсічним клапаном 3-6 встановлюємо пост кнопки 3-7 HS. Для контролю стану положення відсікового клапана 4-1 встановимо кінцеві вимикачі 4-3 GS та 4-4 GS.

Доопрацьована функціональна схема технологічної установки представлена на рис. 2.2.

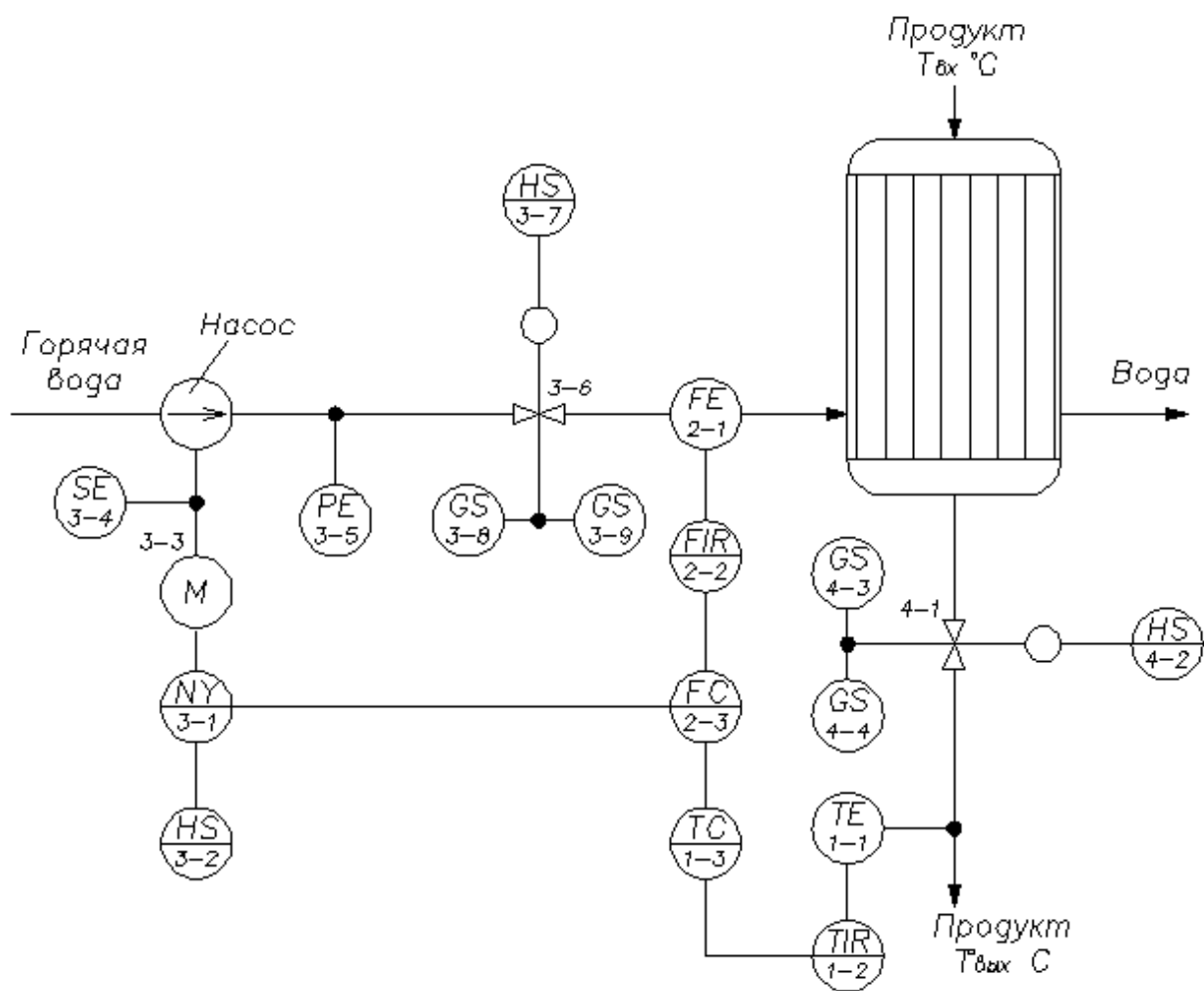


Рис. 2.2. Доопрацьована функціональна схема технологічної установки

2.3. Розробка алгоритму керування технологічної установки

Алгоритм управління – це сукупність правил докладання керуючих впливів до виконавчих елементів об'єкта управління, що забезпечують його функціонування з метою вирішення поставленого перед об'єктом завдання.

Для відображення операцій та послідовності їх виконання будемо використовувати стандартні символи:

- а) початку (закінчення) програми;
- б) виконання певної операції;
- в) циклу з умовою;
- г) переходу в іншу сторінку.

Метою управління є отримання високоякісного продукту з необхідними показниками, зумовленими технологічним процесом.

Для керування установкою в автоматичному режимі необхідно використовувати мікроконтролер або промисловий комп'ютер.

При керуванні установкою в автоматичному режимі всі команди подаються керуючим пристроєм. На нього заводяться сигнали з датчиків, встановлених на технологічній установці, а з виходу видаються керуючі сигнали на виконавчі пристрої, що здійснюють регулювання та контроль усіх технологічних параметрів.

Робота установки починається з підключенням її до електромережі, після чого проводиться опитування стану відсікового клапана 4-1, яке має бути закрите. Якщо він не закритий, подається команда на закриття клапана 4-1 з перевірочним опитуванням стану кінцевого вимикача 4-3 GS, якщо клапан не закрився, то спрацьовує сигналізація «Установка несправна». Якщо клапан 4-1 закрито, алгоритм ТП продовжується.

Далі відпрацьовується підпрограма запуску двигуна насоса, наведена малюнку 2.4. Проводиться опитування стану відсічного клапана 3-6, яке має бути закрите. Якщо він не закритий, подається команда на закриття клапана 3-6 з перевірочним опитуванням стану кінцевого вимикача 3-8 GS, якщо клапан не закрився, то спрацьовує сигналізація «Установка несправна». Якщо клапан 3-6 закритий, алгоритм ТП продовжується і на частотний перетворювач 3-1 NY подається напруга живлення, відбувається пуск двигуна 3-3 М. Після запуску двигуна 3-3 М виконується опитування датчика тиску 3-5 PE, якщо тиск $P > P_0$, то алгоритм ТП продовжується, якщо ні, спрацьовує сигналізація «Установка несправна». Наступна операція полягає у поданні команди на відкриття клапана 3-6 з перевірочним опитуванням стану кінцевого вимикача 3-9 GS, якщо клапан не відкрився, то спрацьовує сигналізація "Установка несправна". Якщо клапан 3-6 відкритий, алгоритм ТП продовжується, закінчується підпрограма пуску двигуна.

Після завершення підпрограми пуску двигуна насоса проводиться опитування датчика швидкості 3–4 SE, якщо сигнал з датчика швидкості 3–4 SE=1, то алгоритм ТП триває, якщо ні, то виконується зняття напруги з двигуна 3–3 М, закриття клапана 3 –6 з перевірочним опитуванням стану кінцевого вимикача 3–9 GS, аналогічно до процесу описаного вище.

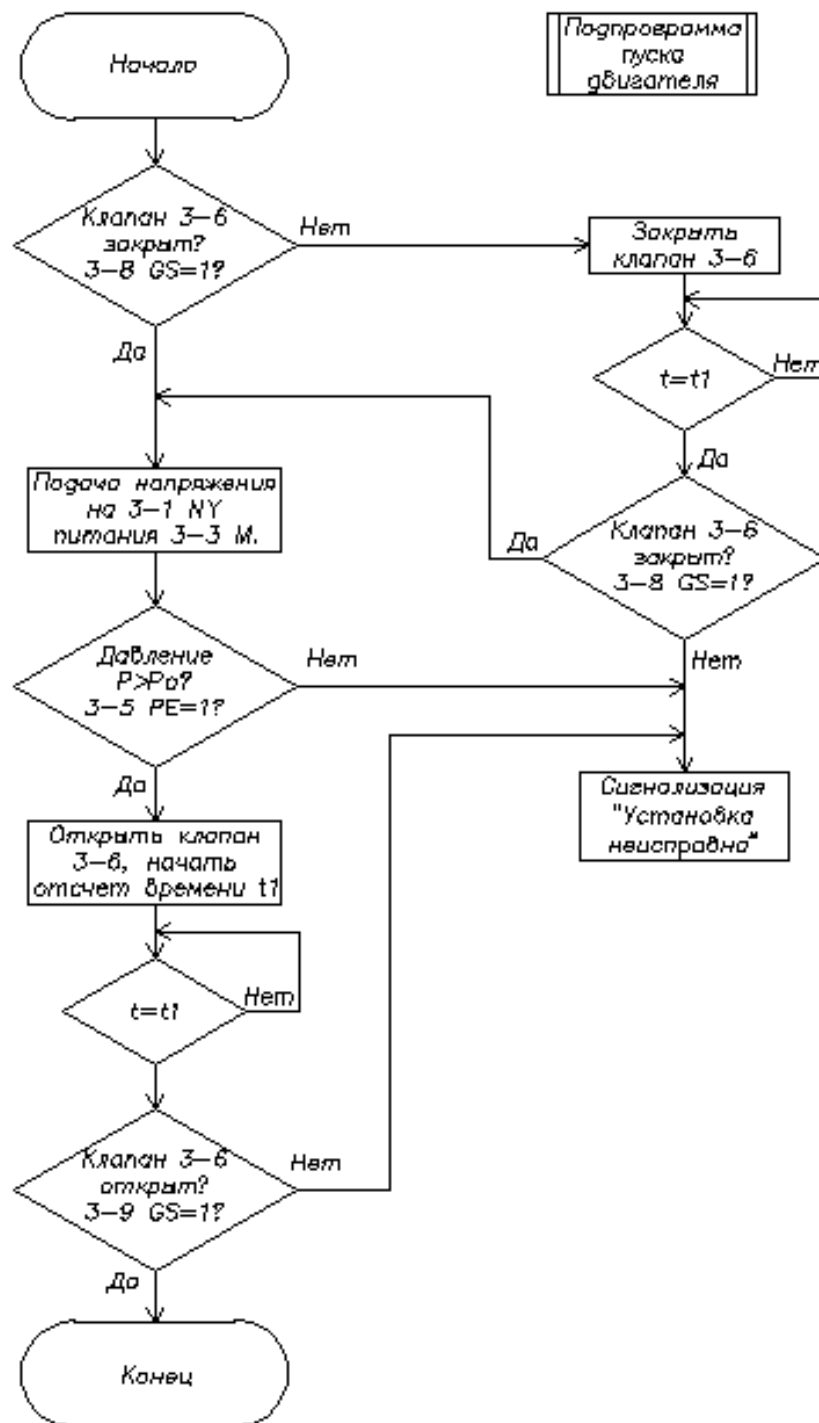


Рис. 2.3. Алгоритм підпрограми запуску двигуна

Якщо сигнал із датчика швидкості 3–4 SE=1, то подається команда на відкриття клапана 4–1, з перевірочним опитуванням стану кінцевого вимикача 4–4 GS, якщо клапан не відкрився, спрацьовує сигналізація «Установка несправна». Якщо клапан 4–1 відкрито, алгоритм ТП продовжується.

Подальший алгоритм ТП триває з опитування датчика температури 1-1 TE, в першу чергу проводиться порівняння температури і температури протиаварійного автоматичного захисту ($\dot{O}_{\min I AC} = 78^{\circ}\tilde{N}$), $T = T_{\min PAZ}$, якщо ця умова дотримується, то відпрацьовується підпрограма відключення установки наведеною на малюнку 1.5, якщо ні, то алгоритм ТП продовжується. Здійснюється порівняння температури і температури автоматичної сигналізації ($\dot{O}_{\min AN} = 80^{\circ}\tilde{N}$), $T = T_{\min AC}$, якщо ця умова дотримується, то спрацьовує сигналізація, після чого відбувається регулювання температури продукту, якщо умова не дотримується, процес регулювання починається без включення аварійної сигналізації. Далі проводиться порівняння встановленої температури та температурою завдання ($\dot{O}_{\text{зад}} = (84 \pm 2)^{\circ}\tilde{N}$), $T = T_{\text{зад}}$, якщо ні, відбувається зміна вихідного сигналу управління U_k подається на частотний перетворювач 3–1 NY, після чого процес опитування датчика температури 1–1 TE, порівняння встановленої температури продукту із зазначеними вище та її регулювання, повторюється до тих доки час t роботи ТУ стане рівним часу робочої зміни $T_{\text{смен}} - t = T_{\text{смен}}$. Після чого станеться повна зупинка технологічної установки.

РОЗДІЛ 3. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ КАСКАДНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ОСНОВНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЗМІННОЇ

3.1 Упорядкування схеми структурної каскадної АСР та схема функціональна каскадної АСР, реалізованої з урахуванням мікропроцесорної техніки та ЕОМ

Каскадні автоматичні системи регулювання застосовують для автоматизації технологічних об'єктів управління, якщо є допоміжна технологічна змінна, що однозначно пов'язана з основним виходом об'єкта.

В цьому випадку в систему каскадного регулювання, представлену на рис. 3.1, включають два регулятори: основний (зовнішній) регулятор $T(s)$, службовець для стабілізації основної технологічної змінної температури $T(s)$, допоміжний (внутрішній) регулятор $F(s)$, що здійснює регулювання допоміжної технологічної змінної - витрати $F(s)$. Завданням $F_d(s)$ для допоміжного регулятора є вихідний сигнал основного регулятора рівня.

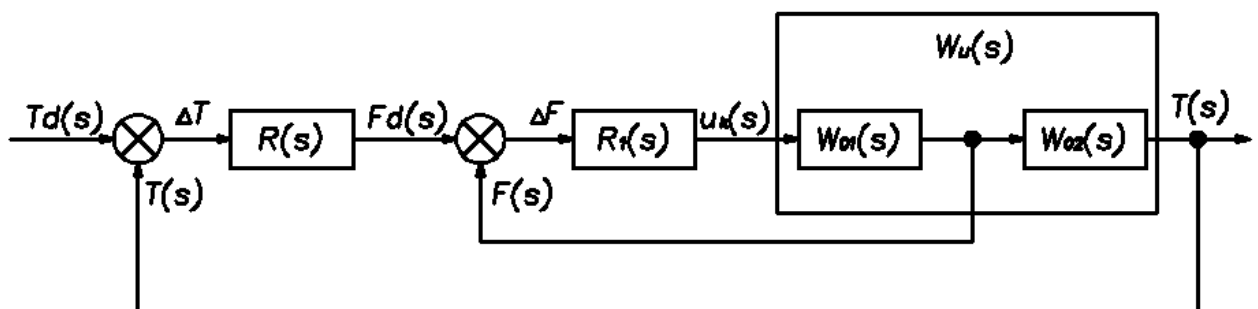


Рис. 3.1. Структурна схема каскадної автоматичної системи регулювання

де $T_d(s)=84 (\pm 2)^{\circ}\text{C}$ – сигнал завдання основної технологічної змінної (температури);

$F_d(s)$ - сигнал завдання допоміжної технологічної змінної (витрата гарячої води);

$T(s)$ – поточне значення температури;

$F(s)$ – поточне значення витрати;

$\Delta F(s)$ - керуючий сигнал на регулятор витрати;

$\Delta T(s)$ - керуючий сигнал на регулятор температури;

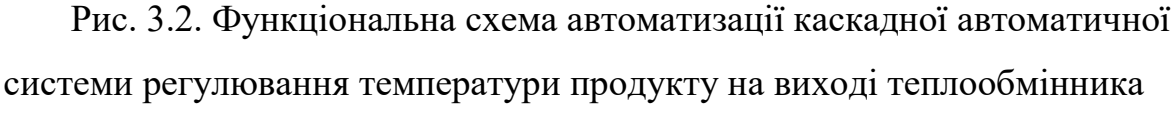
$u_k(s)$ – керуючий сигнал на об'єкт керування (теплообмінник);

$R_1(s)$ - Регулятор витрати,
$$R_1(s) = k_{1Dopt} + \frac{1}{T_{1uopt} \cdot s};$$

$R(s)$ - регулятор температури,
$$R(s) = k_{Dopt} + \frac{1}{T_{uopt} \cdot s}.$$

Функціональна схема каскадної автоматичної системи регулювання температури продукту на виході печі представлена на рис. 3.2.

Регулятор температури 1–3 коригує завдання регулятора витрати 2–3. Регулювання температури на виході з теплообмінника $T_{вих}$ здійснюється зміною витрати гарячої води за допомогою зміни частоти обертання двигуна насоса М 3-3 на який подається напруга живлення з перетворювача частоти 3-1, і відповідно на який подається керуючий вплив з внутрішнього регулятора витрати. Сигнали поточних значень температури $T_{вих}$ та витрати гарячої води знімаються за допомогою датчика температури 1–1 та датчика витрати гарячої води 2–1. сигнал керуючого впливу формується за сигналом неузгодженості поточного значення технологічної змінної від заданого значення відповідно до закону регулювання.



Вихідні дані:

$\tau_u = 8,3$ с, $k_u = 9$, $T_u = 100$ с – час запізнення, коефіцієнт посилення та постійна часу технологічного об'єкта управління з передатною функцією $W_u(s)$:

$$W_u(s) = \frac{k_u}{T_u \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_u \cdot s} = \frac{9}{100 \cdot s + 1} \cdot e^{-8,3 \cdot s}, \quad (3.1)$$

$\tau_{01} = 6,4$ с, $k_{01} = 6$, $T_{01} = 45$ с – час запізнення, коефіцієнт посилення та постійна часу технологічного об'єкта управління з передатною функцією $W_{01}(s)$:

$$W_{01}(s) = \frac{k_{01}}{T_{01} \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_{01} \cdot s} = \frac{6}{45 \cdot s + 1} \cdot e^{-6,4 \cdot s}, \quad (3.2)$$

$m = 0,366$ – ступінь коливання;

$$W_{02}(s) = \frac{1,5 \cdot (45 \cdot s + 1) \cdot e^{-1,9s}}{100 \cdot s + 1}, \quad (3.3)$$

$$k_{P1opt} = \frac{0,6}{k_{01} \cdot \frac{\tau_{01}}{T_{01}}} = \frac{0,6}{6 \cdot \frac{6,4}{45}} = 0,703 \quad T_{u1opt} = 0,6 \cdot \tau_{01} = 0,6 \cdot 6,4 = 3,84 \text{ с}$$

- Оптимальні налаштування внутрішнього допоміжного ПІ-регулятора з передатною функцією $FC(s)$ отримані по таблиці 2 для аперіодичного перехідного процесу.

Для визначення оптимальних налаштувань основного ПІ – регулятора з

функцією передавання $R(s) = k_{Dopt} + \frac{1}{T_{uopt} \cdot s}$ скористаємося виразом для передавальної функції еквівалентного об'єкта управління:

$$W_{\dot{Y}}(s) = \frac{R_1(s) \cdot W_u(s)}{1 + R_1(s) \cdot W_{01}(s)}, \quad (3.4)$$

Визначення оптимальних налаштувань $k_{\text{пор}}$ і $T_{\text{пор}}$ проведемо за методом РАФЧХ.

РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління $W_{\dot{Y}}(m, j\omega)$ визначаємо, замінивши в передавальній функції $W_{\dot{Y}}(s)$ $s \rightarrow -m \cdot \omega + j \cdot \omega$:

$$W_{\dot{Y}}(m, j\omega) = \frac{\dot{A}_x(m, \omega) \cdot e^{j\phi_x(m, \omega)}}{\dot{A}_{\dot{Y}}(m, \omega) \cdot e^{j\phi_{\dot{Y}}(m, \omega)}} = \dot{A}_{\dot{Y}}(m, \omega) \cdot e^{j\phi_{\dot{Y}}(m, \omega)} = \text{Re}_{\dot{Y}}(m, \omega) + j \text{Im}_{\dot{Y}}(m, \omega), \quad (3.5)$$

де $\dot{A}_x(m, \omega)$, $\phi_x(m, \omega)$, $\dot{A}_{\dot{Y}}(m, \omega)$, $\phi_{\dot{Y}}(m, \omega)$ – модуль та аргумент чисельника та знаменника РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління;

$\dot{A}_{\dot{Y}}(m, \omega)$, $\phi_{\dot{Y}}(m, \omega)$ – модуль та аргумент РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління;

$\text{Re}_{\dot{Y}}(m, \omega)$, $\text{Im}_{\dot{Y}}(m, \omega)$ – дійсна та уявна частини РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління.

Для визначення РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління знайдемо РАФЧХ $W_u(s)$, $W_{01}(s)$, $R_1(s)$:

Визначимо РАФЧХ $W_u(m, j\omega)$:

$$W_u(m, j\omega) = \frac{9 \cdot e^{-8,3(-m \cdot \omega + j \cdot \omega)}}{100 \cdot (-m \cdot \omega + j \cdot \omega) + 1} = \text{Re}_u(m, \omega) + j \text{Im}_u(m, \omega) = A_u(m, \omega) \cdot e^{j\phi_u(m, \omega)}, \quad (3.6)$$

$$A_u(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_u^2(m, \omega) + \text{Im}_u^2(m, \omega)}, \quad (3.7)$$

$$\phi_u(m, \omega) = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{Im}_u(m, \omega)}{\operatorname{Re}_u(m, \omega)} \right). \quad (3.8)$$

де $\operatorname{Re}_u(m, \omega)$, $\operatorname{Im}_u(m, \omega)$, - дійсна і уявна частини РАФЧХ технологічного об'єкта управління;

$\dot{A}_u(m, \omega)$, $\varphi_u(m, \omega)$, - модуль і аргумент РАФЧХ технологічного об'єкта управління.

Визначимо РАФЧХ внутрішнього допоміжного регулятора з функцією передавання $R_1(s)$:

$$R_1(m, j\omega) = 0,703 + \frac{1}{3,84 \cdot (-m \cdot \omega + j \cdot \omega)} = \operatorname{Re}_{R_1}(m, \omega) + j \operatorname{Im}_{R_1}(m, \omega) = A_{R_1}(m, \omega) \cdot e^{j\varphi_{R_1}(m, \omega)}, \quad (3.9)$$

$$A_{R_1}(m, \omega) = \sqrt{\operatorname{Re}_{R_1}^2(m, \omega) + \operatorname{Im}_{R_1}^2(m, \omega)}, \quad (3.10)$$

$$\varphi_{R_1}(m, \omega) = \operatorname{arctg} \left(-\frac{\operatorname{Im}_{R_1}(m, \omega)}{\operatorname{Re}_{R_1}(m, \omega)} \right). \quad (3.11)$$

де $\operatorname{Re}_{R_1}(m, \omega)$, $\operatorname{Im}_{R_1}(m, \omega)$ - дійсна та уявна частини РАФЧХ внутрішнього допоміжного регулятора;

$\dot{A}_{R_1}(m, \omega)$, $\varphi_{R_1}(m, \omega)$ - модуль та аргумент РАФЧХ внутрішнього допоміжного регулятора.

Визначимо РАФЧХ технологічного об'єкта управління внутрішнього допоміжного контуру регулювання технологічної змінної FC з передавальною функцією $W_{01}(s)$:

$$W_{01}(m, j\omega) = \frac{6 \cdot e^{-6,4(-m \cdot \omega + j \cdot \omega)}}{45 \cdot (-m \cdot \omega + j \cdot \omega) + 1} = \text{Re}_{01}(m, \omega) + j \text{Im}_{01}(m, \omega) = A_{01}(m, \omega) \cdot e^{j\varphi_{01}(m, \omega)}, \quad (3.12)$$

$$A_{01}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{01}^2(m, \omega) + \text{Im}_{01}^2(m, \omega)} \quad (3.13)$$

$$\varphi_{01}(m, \omega) = \arctg\left(\frac{\text{Im}_{01}(m, \omega)}{\text{Re}_{01}(m, \omega)}\right) \quad (3.14)$$

де $\text{Re}_{01}(m, \omega)$, $\text{Im}_{01}(m, \omega)$ – дійсна та уявна частини РАФЧХ технологічного об'єкта управління W01 (s) внутрішнього допоміжного контуру регулювання технологічної змінної R1 (s);

$A_{01}(m, \omega)$, $\varphi_{01}(m, \omega)$ – модуль та аргумент РАФЧХ технологічного об'єкта управління W01 (s) внутрішнього допоміжного контуру регулювання технологічної змінної R1 (s).

Визначимо чисельник РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління у показовій формі запису:

$$A_x(m, \omega) = A_u(m, \omega) \cdot A_{R_1}(m, \omega), \quad (3.15)$$

$$\phi_x(m, \omega) = \phi_u(m, \omega) + \phi_{R_1}(m, \omega). \quad (3.16)$$

Визначимо знаменник РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління, попередньо розрахувавши проміжні змінні:

$$A_*(m, \omega) = A_{FC}(m, \omega) \cdot A_{01}(m, \omega), \quad (3.17)$$

$$\phi_*(m, \omega) = \phi_{01}(m, \omega) + \phi_{R_1}(m, \omega). \quad (3.18)$$

Тоді дійсна та уявна частини знаменника РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління відповідно дорівнюють:

$$\operatorname{Re}_{3H}(m, \omega) = 1 + A_*(m, \omega) \cdot \cos[\varphi_*(m, \omega)], \quad (3.19)$$

$$\operatorname{Im}_{3H}(m, \omega) = A_*(m, \omega) \cdot \sin[\varphi_*(m, \omega)]. \quad (3.20)$$

Отримаємо модуль та аргумент знаменника РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління відповідно:

$$A_{3H}(m, \omega) = \sqrt{\operatorname{Re}_{3H}^2(m, \omega) + \operatorname{Im}_{3H}^2(m, \omega)}, \quad (3.21)$$

$$\phi_{3H}(m, \omega) = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{Im}_{3H}(m, \omega)}{\operatorname{Re}_{3H}(m, \omega)} \right). \quad (3.22)$$

Модуль та аргумент РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління відповідно дорівнюють:

$$A_{\dot{Y}}(m, \omega) = \frac{A_x(m, \omega)}{A_{\dot{Q}}(m, \omega)}, \quad (3.23)$$

$$\phi_{\dot{Y}}(m, \omega) = \phi_x(m, \omega) - \phi_{\dot{Q}}(m, \omega). \quad (3.24)$$

Дійсна та уявна частини РАФЧХ еквівалентного об'єкта управління відповідно дорівнюють:

$$\operatorname{Re}_{\dot{Y}}(m, \omega) = A_{\dot{Y}}(m, \omega) \cdot \cos[\varphi_{\dot{Y}}(m, \omega)], \quad (3.25)$$

$$\operatorname{Im}_{\dot{Y}}(m, \omega) = A_{\dot{Y}}(m, \omega) \cdot \sin[\phi_{\dot{Y}}(m, \omega)] \quad (3.26)$$

Для отримання інверсних значень використовуємо формули:

$$\operatorname{Re}_{\dot{Y}}^*(m, \omega) = \frac{\operatorname{Re}_{\dot{Y}}(m, \omega)}{\operatorname{Re}_{\dot{Y}}^2(m, \omega) + \operatorname{Im}_{\dot{Y}}^2(m, \omega)}, \quad (3.27)$$

$$\operatorname{Im}_{\dot{Y}}^*(m, \omega) = \frac{-\operatorname{Im}_{\dot{Y}}(m, \omega)}{\operatorname{Re}_{\dot{Y}}^2(m, \omega) + \operatorname{Im}_{\dot{Y}}^2(m, \omega)}. \quad (3.28)$$

Налаштування основного регулятора розраховуємо за формулами:

$$k_u(m, \omega) = \frac{1}{T_u} = \omega \cdot (1 + m^2) \cdot \operatorname{Im}_{\dot{Y}}^*(m, \omega), \quad (3.29)$$

$$k_D(m, \omega) = m \cdot \operatorname{Im}_{\dot{Y}}^*(m, \omega) - \operatorname{Re}_{\dot{Y}}^*(m, \omega). \quad (3.30)$$

Задавши значеннями $\omega = 0, 2\omega_\pi, 4\omega_\pi, \dots, 1, 5\omega_\pi$, будемо графік лінії рівного значення ступеня коливання $m k_u(k_P)$, при цьому:

$$\omega_\pi = \frac{\pi}{\tau_u + T_u}. \quad (3.31)$$

Змінюючи значення ω при заданому значенні m , будемо за таблицею 3.1 розрахункових значень, графік рівного значення ступеня коливання (рисунок 3.3).

Усі розрахунки виконуються за допомогою прикладного пакета MathCAD.

Таблиця 3.1.

Розрахункові значення

$k_u(m, \omega)$	$k_D(m, \omega)$
2,6	1,538
2,666	2,082
2,68	2,558
2,641	3,046
2,545	3,444
2,392	3,772
2,184	4,022
1,923	4,189
1,615	4,27
1,265	4,262
0,882	4,168
0,473	3,99
0,048	3,733

З рис. 3.3 видно, що точка оптимальних параметрів настройки регулятора знаходиться трохи правіше максимуму графіка рівного значення ступеня коливності та відповідають значенням:

$$k_{opt} = 4,27 ,$$

$$k_{uopt} = 1,615 ,$$

$$T_{uopt} = \frac{1}{k_{uopt}} = \frac{1}{1,615} = 0,619 \quad (3.32)$$

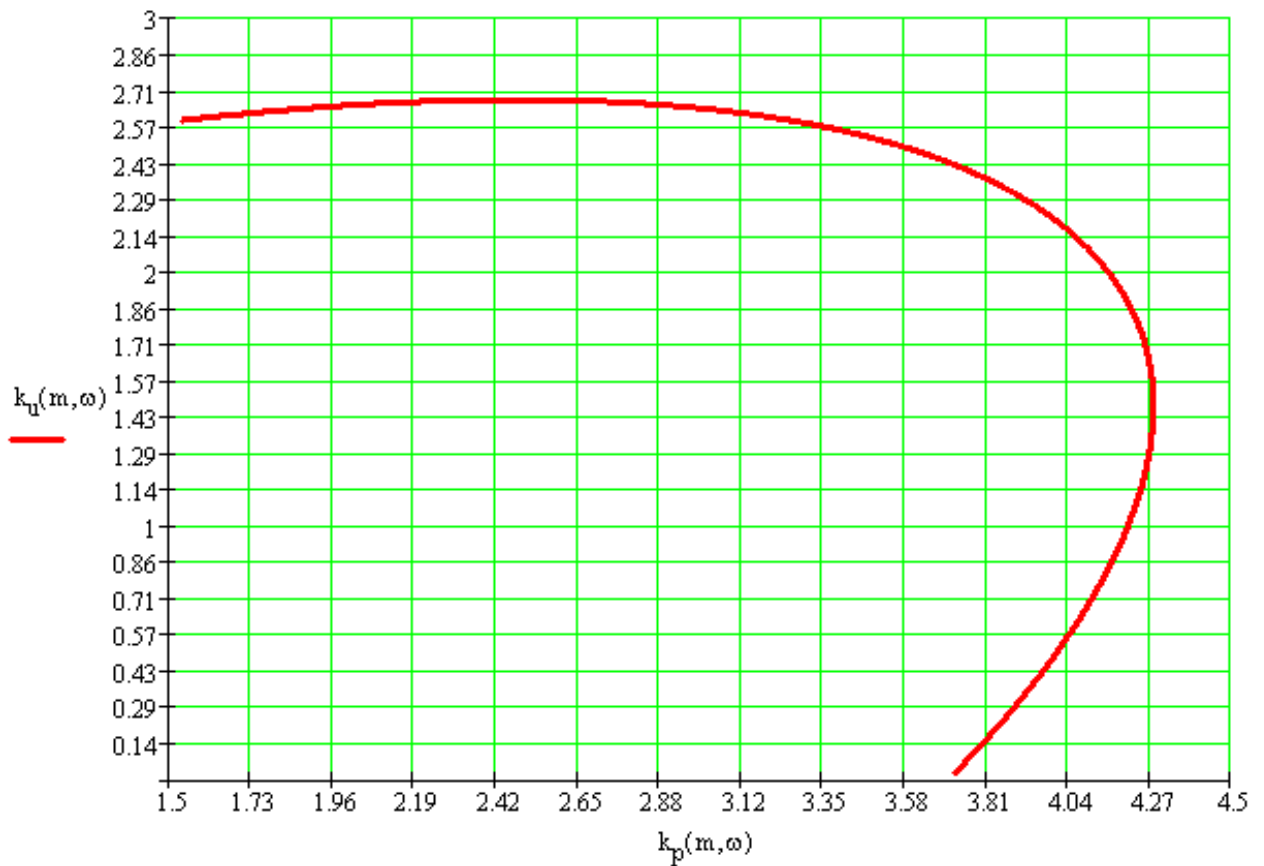


Рис. 3.3. Графік рівного значення ступеня коливання m

Таким чином, передавальні функції регуляторів виглядають так:

$$R(s) = k_{popt} + \frac{1}{T_{uopt} \cdot s}, \quad (3.33)$$

$$R(s) = 4,27 + \frac{1}{0,619 \cdot s}$$

Цифровий регулятор формує керуючий вплив на кожному кроці регулювання u_k за допомогою рекурентних алгоритмів:

$$u_k = u_{k-1} + q_0 \cdot \Delta y_k + q_1 \cdot \Delta y_{k-1}, \quad (3.34)$$

де u_{k-1} – керуючий вплив на попередньому етапі регулювання;

$\Delta y_k, \Delta y_{k-1}$ – відхилення регульованої змінної від заданого значення на цьому етапі регулювання, попередньому етапі регулювання;

q_0, q_1 – налаштування цифрового регулятора.

Керуюча дія, що формується регулятором температури R:

$$Fd_k = Fd_{k-1} + q_0 \cdot \Delta T_k + q_1 \cdot \Delta T_{k-1}, \quad (3.35)$$

Керуючий вплив, що формується регулятором витрати гарячої води R1:

$$u_k = u_{k-1} + q_0 \cdot \Delta F_k + q_1 \cdot \Delta F_{k-1}, \quad (3.36)$$

3.3 Визначення динамічної характеристики основної технологічної змінної

На рис. 3.4 представлена математична модель дослідження динамічної характеристики основний технологічної змінної $T(t)$ серед MATLAB.

На рис. 3.5 показано графік перехідного процесу з цими налаштуваннями.

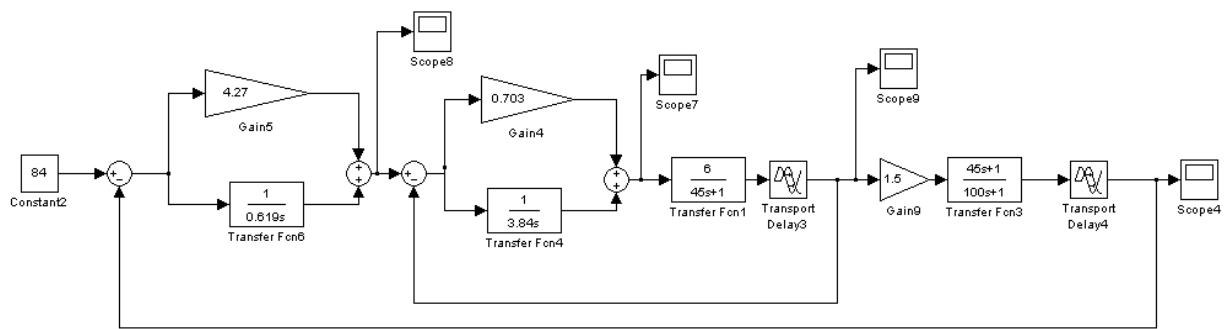


Рис. 3.4. Математична модель дослідження динамічної характеристики $T(t)$

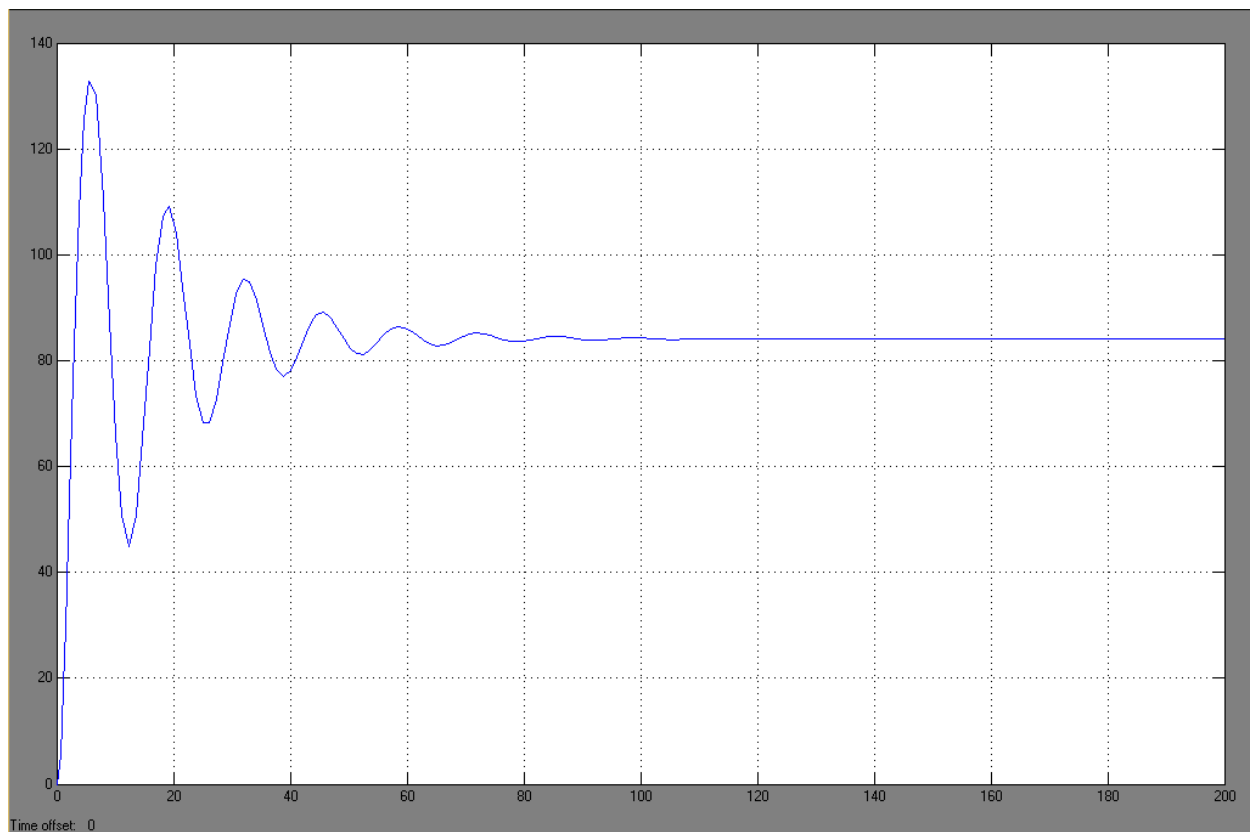


Рис. 3.5. Графік перехідного процесу температури на виході теплообмінника

Показники якості регулювання.

При визначенні перерегулювання використовуватимемо формулу:

$$\sigma\% = \frac{h_{\max} - h_{\text{оїо}}}{h_{\text{оїо}}} \cdot 100\% = \frac{133 - 84}{84} \cdot 100\% = 58.33\% \quad (3.37)$$

де $h_{\text{оїо}} = 84$ – значення значення керованої величини після завершення перехідного процесу;

$h_{\max} = 133$ - максимальне значення керованої величини.

Час регулювання $t_{\text{оїа}}$ визначається як час, що протікає від моменту застосування на вхід одиничного стрибка до моменту, після якого має місце нерівність:

$$h(t) - h_{\text{оїо}} \leq \Delta \cdot h_{\text{оїо}} \quad (3.38)$$

де Δ – задана мала постійна величина, що є зазвичай припустиму помилку, 5% від величини сигналу на виході, що дорівнює 4,2.

Виходячи з цього час регулювання:

$$t_{\text{оїа}} = 47 \text{ с}.$$

РОЗДІЛ 4. ВИБІР КОМПЛЕКТУ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ

4.1 Вибір та обґрунтування контрольно-вимірювальних приладів, опис принципу дії, технічних характеристик

При виборі комплексу технічних засобів автоматизації необхідно враховувати їхню вартість, продуктивність та надійність.

Для вимірювання температури продукту на виході теплообмінника вибираємо датчик температури –термоелектричний перетворювач фірми Siemens, пряма термopара DIN 43 733 з сполучною голoвкою, з наступними технічними характеристиками:

- діапазон вимірюваних температур від 0 до 1250 °C;
- сенсор типу K (Ni Cr/Ni) за DIN EN 60584 (IEC 584);
- захисна трубка із високоякісної сталі;
- сполучна голoвка: форма A DIN 43 729, кабельне введення Pg 16;
- ступінь захисту IP54.

Для вимірювання витрати гарячої води вибираємо датчик витрати гарячої води типу PF2W511, (виробник SMC (Італія)) з такими технічними характеристиками:

- вимірює моментальний та накопичений витрати;
- 2 дискретні (PNP/NPN) виходи (при використанні контролера PF2W300);
- Аналоговий вихід (1 ~ 5 В або 4 ~ 20 мА);

– перенастроювані режими включення-вимикання вихідного сигналу (вікно чи гістерезис);

- Виконання для гарячої води до 90 ° C (за запитом);
- Напруга живлення 12 ~ 24 V DC (коливання напруги $\pm 10\%$);
- споживання струму, 20мА;
- Ступінь захисту IP65.

Для вимірювання швидкості обертання двигунів вибираємо датчик швидкості аналоговий тахогенератор типу GMP 1,0, виробник Baumer Hübner GmbH. Тахогенератори дозволяють вимірювати швидкість і напрямок обертання за допомогою сигналу вихідної напруги. Величина цієї напруги пропорційна швидкості обертання валу. Тахогенератори Baumer Hubner мають такі характеристики: міцний корпус з легкого сплаву, висока точність сигналу та довгий термін служби завдяки запатентованій технології LongLife, вимірювання швидкості та напрямки обертання в реальному часі, висока точність вимірювань при малих обертах, додаткове джерело живлення не потрібне. Його основні технічні характеристики такі:

- напруга – 40 – 175 (мВ/хв-1);
- Потужність - 30 Вт;
- Маса - близько 4,5 кг;
- Момент інерції - 4,5 кг * см²;
- Клас захисту - IP 55.

Вибір датчикатиску 3-5 PE.

Для вимірювання тиску в трубопроводі гарячої води, що нагнітається насосом, вибираємо датчик тиску SITRANS P серії Z, фірми Siemens. Датчики цієї серії можуть бути використані для вирішення завдань, що не вимагають високої точності вимірювання, а також перебудови діапазону

вимірювання у процесі експлуатації. Вони призначені для вимірювання відносного та абсолютного тиску газів, рідин та пари в енергетичній та машинобудівній індустрії, системах водопостачання тощо. Датчик складається з тонкоплівкового вимірювального осередку з керамічною мембраною та електронної схеми, які вбудовані в корпус з нержавіючої сталі. Зовнішнє монтажне різьблення – G1/2A, внутрішнє – G1/8A. Електричне приєднання здійснюється через кутове штепсельне з'єднання типу А відповідно до DIN 43650, що має кабельний сальник Pg9.

Технічні характеристики:

- діапазон виміру: від 0 до 400 атм;
- Вихідний сигнал: 4_20 мА;
- Напруга живлення: від 10 до 36 В пост. струму;
- максимальна похибка виміру: не більше 0,25% від повної шкали;
- Діапазон робочих температур: -25 ... +85 ° С;
- температура зберігання: -50 ... +100 ° С;
- температура контрольованого середовища: -30 ... +120 ° С;
- матеріал вимірювального елемента: Al₂O₃_96%;
- матеріал вимірювальної камери: нержавіюча сталь;
- Маса: близько 0,25 кг;
- Ступінь захисту корпусу IP65.

В експлуатації перетворювачі не потребують технічного обслуговування, окрім періодичної перевірки нуля діапазону.

Вибірджерела живлення датчиків.

Для живлення датчиків вибираємо промислове джерело живлення ACE-540A, (виробництва компанії ICP Electronics Inc) який має такі технічні характеристики:

- Вихідна потужність: 48 Вт;
- Вихідні напруги: +24 В;
- максимальне навантаження 2 А;
- Номінальне навантаження 1.7 А;
- Вхідна змінна напруга 85 ... 264 В, частота 47 ... 62 Гц і струм 0.6 А;
- Тип перетворення - AC-DC імпульсне;
- Вихідні характеристики:
- пульсації та шуми 240 мВ;
- Стабільність від входу -1 ... +1%;
- Стабільність від виходу -1 ... +1%.

4.2 Вибір та обґрунтування виконавчих механізмів, засобів контролю їх стану, опис технічних характеристик

Вибір асинхронного електродвигуна 3-3 М.

Вибираємо асинхронний електродвигун для приводу насоса AIP280S8 з такими технічними характеристиками:

- Потужністю $P = 55\text{кВт}$;
- частота обертання $n=740$ обр/хв;
- Струм при напрузі 380В- 106А;
- ККД = 93,9%;
- Коефіцієнт потужності - 0,85;

- Ступінь захисту - IP54.

Вибір частотного перетворювача 3-1 NY

Для регулювання швидкості обертання двигуна та підтримки її із заданою точністю в ході технологічного процесу вибираємо частотний перетворювач MICROMASTER 430, (фірми Siemens) з такими технічними характеристиками:

- вихідна потужність – 55кВт;
- Вихідна частота - 0 Гц ... 650 Гц;
- мережна напруга та 3 АС 380 В... 480 В $\pm 10\%$;
- Закони управління лінійна залежність U/f; квадратична U/f залежність; програмована залежність U/f; пряме керування потоком (FCC); має режим енергозбереження, контроль навантаження (визначення "сухого ходу" насоса), каскадний запуск двигуна;
- Цифрові входи - 6 параметровані, потенційно розв'язані; PNP/NPN, що перемикаються;
- аналогові входи - 2 параметрованих, 0 В ... 10 В, 0 мА ... 20 мА і -10 В ... +10 В Вхід 1 (AIN1); 0 В... 10 В та 0 мА... 20 мА Вхід 2 (AIN2); можуть використовуватися як 7 і 8 цифрові входи;
- релейний вихід – 3, що параметруються, DC 30 В/5 А (омічне навантаження), АС 250 В/2 А (індуктивне навантаження);
- аналоговий вихід – 2, що параметруються (0/4 мА... 20 мА);
- Послідовний інтерфейс - вбудований RS-485, опціонально RS-232;
- Ступінь захисту IP20.

Вибір клапана відсічного 3–6 та 4–1

Вибираємо клапан відсічного одного типу в кількості двох штук – ARI-STEVI 405 (виробник ARI-Armaturen Albert Richter GmbH & Co. KG Німеччина) з такими технічними характеристиками:

- Номінальний діаметр: DN25;
- Номінальний тиск: PN16;
- Робоча температура: -60С ... +450С;

- види приєднання: фланцеве;
- Електропривод ARI-AUMA.

Вибір електроприводу відсічного клапана 3–6 та 4–1

У комплекті для клапана є виконавчий електропривод ARI-PREMIO (виробник ARI-Armaturen Albert Richter GmbH & Co. KG Німеччина) з наступними технічними характеристиками:

- Потяг 5кН;
- Напруга живлення електродвигуна 3-х фазне 230 В;
- Споживана потужність 52,9 ВА;
- Швидкість ходу 1,0 мм / с;
- Кінцевий вимикач: 2 шт., Комутаційна здатність 10А, 250В;
- Ступінь захисту IP65;
- Наявність маховика ручного управління.

Вибір кнопкового посту 3–2 HS

Для керування двигуном М вибираємо кнопковий пост типу К2 з кнопками СТАРТ-СТОП ST22K2\02 (виробник Електро-Світ ТОВ) з наступними технічними характеристиками:

- максимальна напруга змінного струму частотою 50 або 60 Гц, 660В;
- максимальна сила струму, 10А;
- частота включень за годину – 1200;
- кнопки: 1. з потаємним штовхачем зеленим (KZ); 2. з потаємним штовхачем червоним (КС).

Вибір кнопкового посту 3–7 HS та 4–2 HS

Для керування відсічними клапанами 3–6 та 4–1 вибираємо кнопковий пост, у кількості двох штук, типу К3 з кнопками СТАРТ I – СТОП – СТАРТ II ST22K3\02 (виробник Електро-Світ ТОВ) з наступними технічними характеристиками:

- максимальна напруга змінного струму частотою 50 або 60 Гц - 660В;
- максимальна сила струму- 10А;
- частота включень за годину – 1200;

- кнопки: 1. з потаємним штовхачем зеленим (KZ), 2. з потаємним штовхачем червоним (KC), 3. з потайним штовхачем зеленим (KZ).

Вибір кінцевих вимикачів 3–8 GS, 3–9 GS, 4–3 GS та 4–4 GS

Вибираємо кінцеві вимикачі для контролю стану відсікових клапанів у кількості чотирьох штук. Вибираємо кінцевий вимикач важільний регульований з роликом KP L2 S11 (виробник LOVATO Electric) з такими технічними характеристиками:

- кількість та тип контактів: 1НО+1НЗ швидкого перемикавання;
- Номінальний тепловий струм I_{th} : 5А.

4.3. Вибір та обґрунтування контролера, модулів введення виводу

Модулі серії ADAM-6000 призначені для побудови інтелектуальних розподілених систем збирання даних та керування на основі інтерфейсу Ethernet. Використання Ethernet дозволяє легко інтегрувати системи на основі модулів ADAM_6000 у мережі Інтернет/інтранет шляхом організації Web-доступу в реальному часі до даних модулів за допомогою вбудованого в кожний модуль збору даних Web-сервера. Для організації взаємодії зі SCADA-системами верхнього рівня в модулях реалізовано підтримку протоколу ModBus/TCP та обмін даними відбувається через OPC-сервер. Крім того, з модулями постачаються відповідні DLL-драйвери та ActiveX-компоненти, а також утиліта для конфігурування та налаштування модулів. Для налаштування вбудованої в модулі Web-сторінки передбачена можливість віддаленого завантаження JAVA-апплетів. Виробник фірми Advantech.

Як контролер вибираємо програмований комунікаційний контролер із вбудованою ОС Windows CE.NET ADAM-6501. Виробник фірма Advantech.

- Процесор: Intel XScale 400 МГц;
- флеш-диск: 32 Мбайт у ADAM-6501;

- ОЗУ: 32 Мбайт;
- інтерфейс Ethernet: 10/100Base-T;
- Послідовні інтерфейси: 1.RS-232, 1.RS-232/485;
- Гніздо для картки CompactFlash;
- Будований WEB сервер.

Вибір модулів

ADAM-6018. Модуль аналогового введення для підключення термопар.

Виробник фірма Advantech.

- ефективний дозвіл АЦП: 16 розрядів;
- Кількість каналів: 8 диференціальних;
- типи підтримуваних термопар: J, K, T, E, R, S, B;
- Напруга ізоляції: 2000 В;
- 8 каналів дискретного виведення (30 В/100 мА).

ADAM-6024. Універсальний модуль введення-виводу. Виробник фірма Advantech.

- 6 диференціальних каналів аналогового введення (0/4...20 мА, 0...10 В);
- 2 канали аналогового виведення (0/4...20 мА, 0...10 В);
- 2 канали дискретного введення (підтримка ланцюгів із «сухим» контактом);
- 2 канали дискретного виведення («відкритий колектор», 30 В/0,1 А).

ADAM-6052. Модуль дискретного введення-виводу з потужними виходами(Додаток А ст. 55). Виробник фірма Advantech.

- 8 каналів дискретного введення (підтримка ланцюгів із «сухим» контактом);
- 8 каналів дискретного виведення (до 35 В/1 А);
- Напруга ізоляції: 2000 В.

Нижче наведено таблицю 4.1 аналогових та дискретних сигналів із символічною прив'язкою цих сигналів до датчиків та виконавчих механізмів.

Таблиця 4.1.

Підключення датчиків виконавчих механізмів до модулів
введення/виводу

Позначення СА	Позиція СА щодо специфікації	Позначення каналів введення / виводу	Тип модуля введення / виводу	Кількість модулів
TE	1–1	AI1	ADAM-6018	1
FE	2–1	AI1	ADAM-6024	1
SE	3–4	AI2		
PE	3–5	AI3		
NY	3–1	AO1		
GS	3–8	DI1	ADAM-6052	1
GS	3–9	DI2		
GS	4–3	DI3		
GS	4–4	DI4		
HS	3–2	DI5		
HS	3–7	DI6	ADAM-6052	1
HS	4–2	DI7		
-	3–6	DO1		
-	4–1	DO2		

4.4 Вибір та обґрунтування комп'ютера

На верхньому рівні АСУТП вибираємо модульний мультимедійний панельний промисловий комп'ютер ІРРС 9150, що представляє собою повнофункціональні промислові панельні ПК, виконані на базі процесорів Pentium III (до 850 МГц) або Celeron (до 700 МГц) і 15, дюймового

кольорового TFT ЖК, дисплей. IPPC, 9120/9150 спеціально розроблений для застосування в найважчих промислових умовах і має шасі з нержавіючої сталі та герметичну (ступінь захисту IP65) алюмінієву передню панель із загартованим склом для захисту РК-дисплея. У корпусі панельного ПК є два слоти розширення для встановлення плат із шиною ISA/PCI. Наявність спеціальних монтажних комплектів полегшує інтеграцію IPPC 9150 будь-яке промислове обладнання. Виробник фірми Advantech. Технічні характеристики:

- Конструкція: шасі з нержавіючої сталі, алюмінієва (товщина 10 мм) передня панель зі ступенем захисту IP65

- дисплей: 12,1» VGA/15» XGA TFT РК-дисплей;

- 1) процесор: Intel Pentium III 850 МГц, S370;

- Пам'ять ОЗУ: до 256 Мбайт SDRAM, 1 DIMM;

- відсік для дисководів: може вміщати один малогабаритний 3,5» НГМД, один 2,5» НЖМД та один малогабаритний CD-ROM (CD-ROM та НЖМД встановлюються на замовлення);

- Контролер Ethernet 10/100Base, T;

- паралельний порт: конфігурується як LPT1, LPT2, LPT3 або вимкнений, підтримує режими SPP/EPP/ECP;

- послідовні порти: три порти RS-232 та один порт RS-232/422/485 (COM2);

- шина USB: 2 порти USB;

- місце для встановлення 2 плат розширення з шиною PCI або 1 PCI та 1 ISA половинного розміру;

- Сенсорний екран (на замовлення);

- Габаритні розміри: 402x302x127 мм;

- Маса: 10 кг.

На комп'ютері цієї фірми встановлена операційна система Microsoft Windows NT 4.0 Russian Edition, тому вони мають достатню швидкодію, великий запас міцності і надійності. Операційна система Windows NT

забезпечує багатозадачний режим роботи прикладних програм, здійснює підтримку розширеного керування живленням та роботою підключеного до неї джерела безперебійного живлення.

Вибираємо джерело безперебійного живлення (ДБЖ) сімейства Back-UPS Pro BP420SI (виробник Schneider Electric), який забезпечить нормальну роботу обладнання під час короткочасного відключення електроживлення, дозволяючи зберегти дані без відключення комп'ютера. У разі тривалої відсутності електроживлення Back-UPS Pro використовує програму PowerChute plus із функцією WorkSafe™ для збереження файлів та коректного завершення роботи комп'ютера. Високопродуктивний мережевий фільтр перенапруг захищає комп'ютер від електричних перешкод та небезпечних сплесків напруги. Back-UPS Pro гарантує живлення для процесора та монітора від 7 до 10 хвилин, а також необхідний мережевий захист каналів усіх ліній передачі даних системи. Крім того, користувачеві надаються додаткові програмні інструментальні засоби для збереження даних та керування живленням. Дозволяє вимкнути комп'ютер, якщо користувач відсутній на робочому місці та має такі характеристики:

- Потужність: $420 \text{ В} \cdot \text{А}$ (260 Вт),
- Час автономної роботи при половинному/повному навантаженні: 18/5 хв,
- Габаритні розміри: 368.168.119 мм.

Вибір клавіатури

Клавіатуру PCA-6302. Виробник фірми Advantech:

- 101 клавіша з тактильним ефектом;
- ресурс понад 20 млн. натискань;
- Габаритні розміри: 400.188.40 мм;
- Можливе покриття захисною плівкою.

Вибір принтера

Принтер лазерний HP LaserJet1010. Виробник HP:

- Формат друку А4;

- Роздільна здатність друку 600x600 dpi;
- обсяг оперативної пам'яті 8Mb;
- швидкість друку 12 стор/хв (ч/б А4);
- інтерфейс підключення USB.

Вибір шафи для встановлюваної апаратури

Промисловий комп'ютер встановлюється у шафі серії PROLINE артикул PRL12U45. Виробник Estap:

- Ширина = 600 мм, глибина = 450 мм;
- ступінь захисту від впливів навколишнього середовища – IP55 (пиловологозахищені) та IP22 (комунікаційні);
- несучий каркас підвищеної міцності;
- допустиме статичне навантаження до 500 кг;
- розміщення отворів кріплення з кроком 25 мм по всіх трьох осях забезпечує небувалу зручність монтажу, наприклад, можливість встановлення монтажної панелі на довільній глибині без додаткових підтримуючих деталей.

4.5. Вибір та обґрунтування програмного забезпечення, інтерфейсу

GeniDAQ – програмне забезпечення для побудови систем збирання, аналізу, візуалізації даних та управління, що працює під керуванням операційних систем Windows. Спеціальна оболонка для побудови додатків користувача значно скорочує час їх розробки і максимально полегшує цей процес. При цьому немає необхідності написання програмного коду, і весь процес розробки зводиться до малювання системи на екрані з наступною прив'язкою до фізичних каналів введення-виведення. Для побудови комплексних систем та організації складних алгоритмів обробки даних є можливість використання програм Visual Basic. Відкрита архітектура

GeniDAQ дозволяє легко інтегрувати його з іншими програмами через механізми OLE, DDE, ODBC. GeniDAQ забезпечує:

- Легкий для освоєння людино-машинний інтерфейс;
- Об'єктно-орієнтовану графіку;
- Історичні тренди;
- Можливість генерації звітів;
- Можливість вбудовування програм на Visual Basic;
- багатозадачний режим роботи;
- Підтримку механізмів DDE, OLE, ODBC, технології OPC;
- Легку інтеграцію з системами програмування MEK 61131, у тому числі з UltraLogik.

GeniDAQ має низку ключових відмінностей від розробленого раніше широко відомого програмного продукту аналогічного призначення Genie, що забезпечує вирішення ширшого кола завдань на новому рівні. Висока продуктивність та реалізація багатозадачного режиму роботи GeniDAQ є 32-розрядним додатком та забезпечує паралельне сканування завдань для підвищення ефективності операцій введення-виведення, оновлення графічної інформації на екрані та діалог з оператором. Це призводить до успішного виконання критичних за часом завдань.

Підтримка специфікації OPC. Технологія OPC забезпечує можливість використання в системах на базі GeniDAQ обладнання інших виробників (зокрема будь-яких PLC-контролерів). Для цього достатньо мати відповідні OPC-сервери. Підтримка протоколу TCP/IP. Використання протоколу TCP/IP забезпечує можливість роботи з даними технологічного процесу в реальному часі з будь-якого вузла мережі, а також дистанційне керування процесом.

Підтримка різних платформ у межах одного програмного пакета. При використанні GeniDAQ не потрібно придбати будь-які додаткові програмні пакети для роботи на будь-яких НМІ-платформах фірми Advantech з розміром екрана від 5,7 до 15» по діагоналі. Є також можливість розробки додатків у середовищі Windows і їх виконання.

Вибираємо інтерфейс OPC (OLE for process control), який є стандартним інтерфейсом для зв'язку між програмним забезпеченням SCADA та різними контролерами та пристроями введення-виведення. OPC-сервери (драйвери) фірми Advantech повністю відповідають специфікації OPC та дозволяють підключати контролери ADAM-4000/5000/6000/8000 до широкого кола HMI/SCADA-програм різних виробників. Будь-яке програмне забезпечення, яке відповідає специфікації OPC-клієнта, може отримувати дані з OPC-серверів Advantech.

Характеристики:

- робота серед Microsoft Windows;
- сумісність із будь-якими додатками, що відповідають специфікації OPC-клієнта;
- Відповідність специфікації OPC v. 2.0a;
- Інтерфейс, що конфігурується;
- сумісність із Microsoft Visual C++, Visual Basic, Inprise Delphi і 3++.

4.6. Розробка блок-схеми системи протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ) та автоматичної сигналізації (АС), визначення їх уставок

Для оцінки точності каналів керування та захисту необхідно обчислити похибку каналу вимірювання:

$$\delta\% = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2}, \quad (4.1)$$

де S_i – похибка елемента каналу;

n – загальна кількість елементів.

Для каналу вимірювання температури речовини:

- Похибка модуля аналогового введення - 0,05%;

- Похибка перетворювача - 0,05%;
- Похибка датчика температури - 0,0025%.

Тоді:

$$\delta\% = \sqrt{S_{\text{аа} \delta \delta \pm \epsilon \epsilon}^2 + S_{\text{еі і о} \delta.}^2 + S_{\text{і} \delta \text{аі} \text{а} \delta}^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,05^2 + 0,0025^2} = 0,07\%$$

Відхилення від заданого значення визначається за такою формулою:

$$\pm \Delta = \frac{\delta\% \cdot N}{100}, \quad (4.2)$$

де N - діапазон шкали 1250.

$$\pm \Delta = \frac{0,07 \cdot 1250}{100} = 0,875$$

Розрахунок уставок ведеться так:

$$T_{\text{оно} \min \text{І АС}} = T_{\min \text{І АС}} + \Delta = 78 + 0,875 = 79 \text{ } ^\circ \tilde{\text{N}}, \quad (4.3)$$

$$T_{\text{оно} \min \text{АН}} = T_{\min \text{АН}} + \Delta = 80 + 0,875 = 81 \text{ } ^\circ \tilde{\text{N}} \quad (4.4)$$

Таким чином задана межа спрацювання АС за мінімальною температурою 80° АС повинна спрацювати за величиною більшої межі АС на величину абсолютної помилки каналу вимірювання. Приймаємо уставку АС за рівнем 81°.

Заданий кордон спрацювання ПАЗ за мінімальною температурою 78 °С. Приймаємо уставку ПАЗ за мінімальною температурою 79 °С.

Блок-схему системи протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ) та автоматичної сигналізації (АС) наведено на рис. 4.1. У даній блок-схемі задіяні датчик температури ТЕ 1-1 для вимірювання діючого значення

температури. Датчик швидкості SE 3-4 для контролю обертання двигуна 3-3 М. відсічні клапани 3-6 і 4-1, які в свою чергу відсікають подачу гарячої води та вихідного продукту. Кінцеві вимикачі GS 3-8 та GS 4-3 контролюють закритий стан відсікових клапанів 3-6 та 4-1.

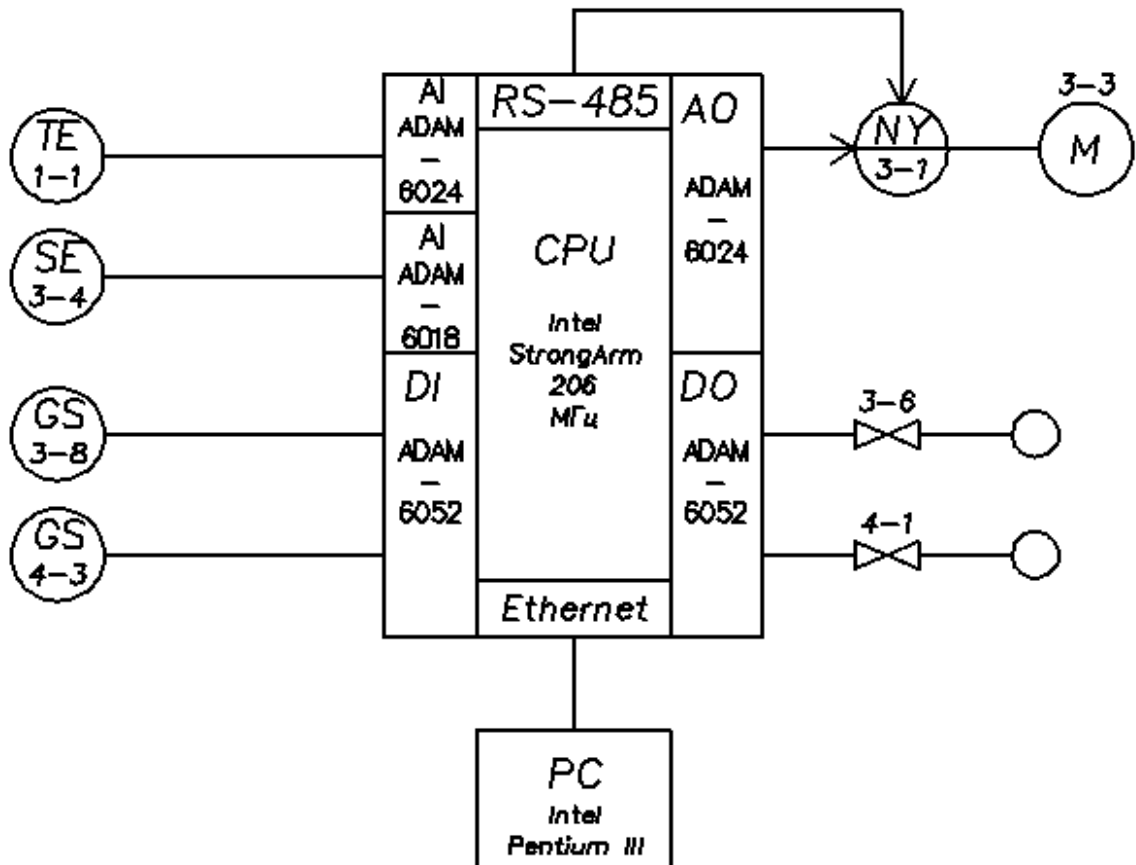


Рис. 4.1. Блок-схема системи протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ) та автоматичної сигналізації (АС).

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ГРАФІЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ РЕГУЛЮВАННЯ ОСНОВНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЗМІННОЇ У SCADA-СИСТЕМІ

5.1. Загальні відомості про SCADA-системи

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системи є потужними інструментами для моніторингу та управління промисловими процесами. Вони забезпечують централізоване управління і збирання даних з різних частин виробничого об'єкту, дозволяючи операторам ефективно контролювати і оптимізувати роботу систем.

Основні компоненти SCADA системи:

1. Датчики та виконавчі механізми.

Датчики збирають дані про різні параметри (температура, тиск, рівень рідини, витрата тощо). Виконавчі механізми виконують команди управління (клапани, насоси, двигуни тощо).

2. Програмовані логічні контролери (PLC) та RTU (Remote Terminal Units):

PLC виконують локальне управління процесом, збирають дані з датчиків і передають їх на верхній рівень системи. RTU виконують аналогічні функції, але часто використовуються в більш розподілених системах.

3. Комунікаційна мережа - протоколи передачі даних та мережеве обладнання.

Протоколи передачі даних: Modbus, DNP3, Ethernet/IP тощо забезпечують зв'язок між польовими пристроями і центральною системою. Мережеве обладнання: Маршрутизатори, комутатори, модеми тощо.

4. Сервери SCADA:

Сервери збору даних збирають та зберігають дані з датчиків та виконавчих механізмів. Сервери додатків виконують обробку даних, аналітику та управління.

5. Людино-машинний інтерфейс (HMI): інтерфейс для операторів - візуалізація даних, керування процесами, сигналізація та тривоги.

Основні функції SCADA систем

1. Моніторинг в реальному часі:

Збір даних з датчиків та їх відображення на екранах операторів у реальному часі. Виявлення та повідомлення про відхилення від нормальних умов роботи.

2. Управління процесами:

Відправка команд на виконавчі механізми для регулювання процесів. Автоматичне виконання сценаріїв управління на основі заздалегідь визначених умов.

3. Збирання та зберігання даних:

Запис історичних даних для подальшого аналізу та звітування. Використання даних для прогнозування та оптимізації процесів.

4. Система тривоги і сигналізації:

Виявлення аварійних ситуацій та негайне повідомлення операторів. Логування подій для аналізу і покращення безпеки.

5. Аналіз та звітування:

Створення звітів та графіків для оцінки ефективності роботи системи. Використання даних для довгострокового планування і оптимізації.

Переваги SCADA систем

1) Покращення оперативної ефективності:

Забезпечення централізованого контролю і координації всіх процесів. Швидке виявлення та усунення проблем.

2) Зниження витрат:

Зменшення потреби в ручному моніторингу і управлінні.

Оптимізація використання ресурсів.

3) Підвищення безпеки:

Автоматичне виявлення небезпечних умов і вжиття заходів для їх усунення.

Запобігання аварійним ситуаціям завдяки системам тривоги і сигналізації.

4) Покращення якості продукції:

Забезпечення стабільності технологічних параметрів.

Моніторинг та управління якістю на всіх етапах виробництва.

5) Підтримка прийняття рішень:

Надання точних і актуальних даних для прийняття обґрунтованих рішень.

Аналітика і звітування для довгострокового планування.

Отже, SCADA системи є важливими інструментами для автоматизації та управління промисловими процесами. Вони забезпечують високу ефективність, безпеку та надійність роботи систем, дозволяючи операторам оптимізувати процеси і знижувати витрати. Інтеграція сучасних SCADA систем є ключовим елементом для підвищення конкурентоспроможності підприємств у сучасному промисловому середовищі.

5.2. Реалізація графічного інтерфейсу автоматизованої системи теплообмінника у SCADA-системі

Вибираємо програмне забезпечення SCADA – системи TRACE MODE. TRACE MODE складається з інструментальної системи та виконавчих (run-time) модулів. За допомогою інструментальної системи здійснюється розробка АСУ. Виконавчі модулі служать для запуску в реальному часі проектів, розроблених інструментальною системою TRACE MODE.

Розробка графічного інтерфейсу для операторських станцій в редакторі представлення даних. У нього завантажується структура проекту, створена редакторі бази каналів.

Вибравши потрібний вузол проекту, можна редагувати його графічну базу. Ця база включає всі графічні фрагменти, які виводяться на монітор даної операторської станції.

Першим етапом слід створити вузли проекту. Були створені РС-контролер та операторська станція (АРМ). Потім перейшли до авто-побудови бази каналів контролера. Підключили канали аналогового та дискретного введення/виведення контролера.

Потрібно, щоб лінії зв'язку, за якими здійснюватиметься обмін даними (локальна мережа, послідовний інтерфейс або телефонні лінії, що комутуються), підтримувалися всіма зв'язаними вузлами. Для цього перейдемо до автобудування бази каналів для обміну даними з іншими вузлами проекту. Обмін даними здійснюється за послідовним інтерфейсом протоколу ModBus.

Послідовно було створено FBD-програму, що реалізує РІ-регулятор. У цій програмі обчислюється неузгодженість параметра та завдання, формуються величини керуючого впливу за РІD-законом та обмеження цієї величини заданими межами.

FBD-програма РІD регулятора підключена до каналів вузла контролера.

У редакторі представлення даних зроблено розробку графічного інтерфейсу для даного проекту. Для створення та редагування графічних екранів необхідно спочатку завантажити структуру проекту та завантажити або створити графічну базу будь-якого вузла, що є у проекті.

Розробка графічного інтерфейсу полягає у розміщенні на екранах графічної бази статичних елементів малювання та динамічних форм відображення. Графічні елементи вибираються за допомогою інструментальних панелей. При цьому на екран виводиться діалог налаштування їх атрибутів (колір тла, прив'язка до каналів тощо).

Для перевірки функціонування розміщених на екранах форм відображення слід перейти в режим емуляції.

Розроблений графічний інтерфейс автоматизованої системи теплообмінника М представлений рис. 5.1.

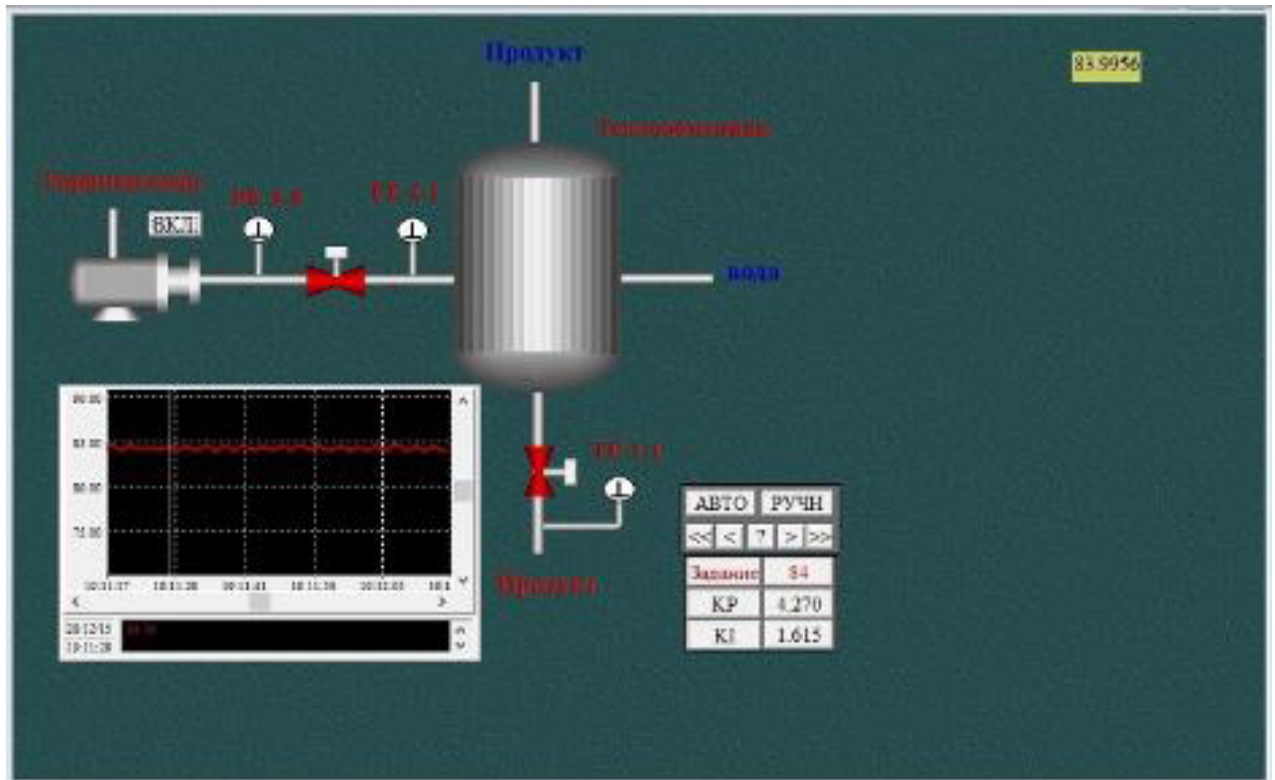


Рис. 5.1. Графічний інтерфейс автоматизованої системи

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи були вирішені наступні завдання:

1. Проаналізовано стан питання на основі літературних джерел.
2. Розглянуто характеристику технологічної установки як об'єкта керування.
3. Виконано структурно-параметричний синтез каскадної автоматичної системи регулювання основної технологічної змінної.
4. Обґрунтовано вибір комплексу програмно-технічних засобів інформаційно-керуючої системи
5. Розроблено графічний інтерфейс регулювання основної технологічної змінної у SCADA-системі.

Розроблена інформаційно-керуюча система автоматизації теплообмінника дозволяє вести автоматичне керування технологічним процесом за допомогою мікропроцесорного керування. Система дозволяє використовувати відносно недорогий персональний комп'ютер та його периферійні пристрої для створення комплексної автоматизованої системи керування кількома різними технологічними процесами, об'єднаними місцезнаходженням.

На екрані монітора при відповідному програмному забезпеченні можна спостерігати всі стадії технологічного процесу, стежити за зміною всіх параметрів системи, робити необхідні поправки та виключати аварійні ситуації. Правильне програмування таких систем робить виробництво таким, що виключає присутність у ньому людини, що економічно вигідно з точки зору підприємства, що отримує прибуток.