

Форма № Н-9.02

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Розроблення САК технологічного процесу регулювання в'язкості
випарної установки**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Михненко О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи «Розроблення САК технологічного процесу регулювання в'язкості випарної установки»

Робота містить 46 сторінок, 26 ілюстрацій, 4 таблиць, 16 використаних джерел.

Ключові слова: випарна установка, насос, електропривод, контролер, перехідний процес.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є технологічний процес регулювання в'язкості випарної установки.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є дослідження можливості розробки САК технологічного процесу регулювання в'язкості випарної установки.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є автоматизація каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості, шляхом застосування сучасних засобів автоматизації технологічного процесу (мікропроцесорні програмовані контролери, промислові комп'ютери, пристрої віддаленого збору та передачі інформації тощо).

В роботі передбачається регулювання в'язкості та тиску. Сигнали поточних значень в'язкості продукту на виході випарної установки та відведення вторинної пари знімаються за допомогою датчика в'язкості та датчика тиску відповідно. Сигнал управляючого впливу формується за сигналом неузгодженості поточного значення технологічної змінної від заданого значення відповідно до закону регулювання.

Розроблена автоматична система регулювання в'язкості випарної установки характеризується наступними параметрами:

- перерегулювання $\delta = 17,2\%$;
- час регулювання $T_{\text{рег}} = 65 \text{ с}$.

Робота має практичну цінність і її результати після більш детальної доробки можуть бути розглянуті для використання на підприємствах різних галузей.

ABSTRACT

qualification work "Development of an automatic control system for the technological process of viscosity regulation of an evaporation plant"

The work contains 46 pages, 26 illustrations, 4 tables, 16 sources used.

Keywords: evaporation plant, pump, electric drive, controller, transient process.

The subject of the bachelor's qualification work is the technological process of viscosity regulation of an evaporation plant.

The object of the bachelor's qualification work is to study the possibility of developing an automatic control system for the technological process of viscosity regulation of an evaporation plant.

The purpose of the bachelor's qualification work is to automate a cascade automatic viscosity regulation system by using modern means of automation of the technological process (microprocessor programmable controllers, industrial computers, devices for remote collection and transmission of information, etc.).

The work involves regulation of viscosity and pressure. The signals of the current values of the viscosity of the product at the outlet of the evaporation unit and the secondary steam outlet are taken using a viscosity sensor and a pressure sensor, respectively. The control signal is formed by the signal of the discrepancy between the current value of the technological variable and the set value in accordance with the control law.

The developed automatic system for regulating the viscosity of the evaporation unit is characterized by the following parameters:

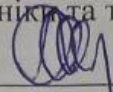
- overregulation $\delta = 17,2\%$;
- regulation time $T_{\text{per}} = 65 \text{ c.}$

The work has practical value and its results after more detailed development can be considered for use at enterprises in various industries.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій


О.В. Шефер
«01» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Михненку Олександр Михайловичу

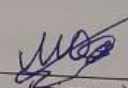
1. Тема роботи «Розроблення САК технологічного процесу регулювання в'язкості випарної установки»
керівник роботи Єрмілова Наталя Василівна, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2025 року
№ 306/1-ф,а.
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Технічна документація на випарну установку. Номінальна напруга 380/220В, частота мережі 50 Гц. Розробити сучасну систему автоматичного регулювання в'язкості в SCADA-системі. Забезпечити перерегулювання у межах 30%, час регулювання не більше 1 сек.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Призначення та принцип роботи випарної установки. Визначення змінних, які підлягають контролю, регулюванню та сигналізації. Розробка функціональної схеми АСР. Формулювання вимог до системи автоматизації. Вибір та обґрунтування КВП, виконавчих механізмів та засобів автоматизації. Розробка структурної схеми системи автоматизації випарної установки. Розробка алгоритма управління. Структурно-параметричний синтез каскадної АСР. Розробка графічного інтерфейса регулювання в'язкості в SCADA-системі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) актуальність, мета та задачі розроблення;
 - 2) загальний вигляд випарної установки;
 - 3) структурна схема системи автоматизації випарної установки;
 - 4) алгоритм управління;
 - 5) структурна схема каскадної АСР;
 - 6) функціональна схема каскадної АСР;

- 7) динамічні характеристики регулювання в'язкості;
 8) графічний інтерфейс регулювання в'язкості в SCADA-системі;
 9) висновки.
6. Дата видачі завдання 01.04.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

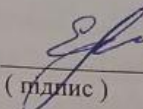
Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата	Квартал	Відсоток	
1	Призначення та принцип роботи випарної установки. Визначення змінних, які підлягають контролю, регулюванню та сигналізації. Аналіз недоліків. Постановка задач на кваліфікаційну роботу.	22.04.25	I	20%	Пл. 1
2	Розробка функціональної схеми АСР. Формулювання вимог до системи автоматизації	08.05.25		40%	Пл. 2,3
3	Вибір та обґрунтування КВП, виконавчих механізмів та засобів автоматизації. Розробка структурної схеми системи автоматизації випарної установки. Розробка алгоритма управління.	22.05.25	II	60%	Пл. 4,5
4	Структурно-параметричний синтез каскадної АСР. Розробка графічного інтерфейса регулювання в'язкості в SCADA-системі.	30.05.25		80 %	Пл. 6,7
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.25	III	100%	Пл. 8,9

Студент


(підпис)

Михненко О.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Єрмілова Н.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ В ВИПАРНИХ УСТАНОВКАХ	
1.1 Аналіз технологічного процесу випарювання в однокорпусних випарних установках	8
1.2 Аналіз існуючої системи автоматичного регулювання в'язкості в випарній установці	10
1.3 Визначення параметрів для контролю, регулюванню, сигналізації, блокуванню	12
1.4 Вимоги до інформаційно-керуючої системи автоматизації випарної установки	14
2. ВИБІР КОМПЛЕКСУ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ САК	
2.1 Вибір та обґрунтування контрольних-вимірювальних приладів	17
2.2 Вибір та обґрунтування виконавчих механізмів	20
2.3 Вибір та обґрунтування контролера, модулів введення/виведення	25
2.4 Розробка схеми структурної інформаційно-керуючої системи автоматизації	29
3. СИНТЕЗ САК ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ	33
3.1 Складання схеми структурної каскадної САК	33
3.2 Визначення оптимальних налаштувань безперервних регуляторів, цифрових регуляторів, рекурентні алгоритми	35
3.3 Визначення динамічної характеристики основної технологічної змінної	39
3.4 Розробка графічного інтерфейсу регулювання основної технологічної змінної в SCADA-системі TRACE MODE	41
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТОК А	48

ВСТУП

Актуальність роботи. В умовах сучасного виробництва все більшого поширення набуває автоматизований електропривод. Основними причинами є: швидке реагування на аварійну ситуацію, дуже висока якість виробництва за такої ж високої продуктивності, а також широке коло можливостей, не підвладних людині. Але оскільки дуже високими темпами розвиваються мікроелектроніка, силова перетворювальна техніка, системи керування електроприводами та інші галузі науки і техніки, то такі темпи розвитку призводять до того, що електрообладнання так само швидко морально старіє і вимагає модернізації.

Тому **метою кваліфікаційної роботи бакалавра** є автоматизація каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості, шляхом застосування сучасних засобів автоматизації технологічного процесу (мікропроцесорні програмовані контролери, промислові комп'ютери, пристрої віддаленого збору та передачі інформації тощо).

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є дослідження можливості розробки САК технологічного процесу регулювання в'язкості випарної установки.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є технологічний процес регулювання в'язкості випарної установки.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання:**

- розробити функціональну систему автоматизації;
- вибрати комплекс програмно-технічних засобів інформаційно-керівної системи автоматизації;
- виконати структурно-параметричний синтез каскадної автоматичної системи регулювання основної технологічної змінної.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ В ВИПАРНИХ УСТАНОВКАХ

1.1 Аналіз технологічного процесу випарювання в однокорпусних випарних установках

Розпочинаючи аналіз технологічного процесу випарювання, доцільно детально розглянути саме поняття випарювання. Отже, випарюванням називають процес концентрування розчинів, що містять практично нелеткі або малолеткі речовини, у рідких летких розчинниках. Цьому процесу піддають розчини твердих речовин, а також рідини з високою температурою кипіння, які мають при температурі випарювання дуже низький тиск пари.

Під час випарювання зазвичай відбувається часткове видалення розчинника з усього обсягу розчину при його температурі кипіння. Таким чином, випарювання суттєво відрізняється від процесу, відомого як випаровування, яке відбувається з поверхні розчину при температурах нижче температури кипіння. У деяких випадках випарений розчин підлягає подальшій кристалізації в спеціально пристосованих для цього випарних апаратах [1].

Відзначимо, що для випарювання можна використовувати різні теплоносії, які застосовуються для нагрівання. Проте в більшості випадків як гріючий агент використовують водяну пару, яка називається первинною. Пару, що утворюється в процесі випарювання киплячого розчину, зазвичай називають вторинною.

Підраховано, що економія первинної пари та пального може бути досягнута в однокорпусних випарних установках з тепловим насосом. У таких системах вторинна пара, що виходить з апарату, стискається за допомогою теплового насоса до тиску, який відповідає температурі

первинної пари. Після цього вона знову подається в апарат для випарювання розчину [2].

Однокорпусна випарна установка складається з єдиного випарного апарату, безпосередньо корпусу. Принципова схема такого апарату з природною циркуляцією розчину, що має внутрішню центральну циркуляційну трубу, представлена на рисунку 1.1.

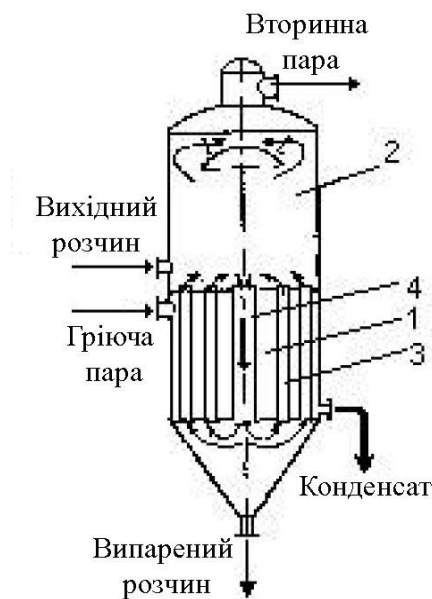


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд однокорпусної випарної установки

Вищерозглянутий апарат складається з теплообмінного пристрою, що включає нагрівальну камеру 1 та сепаратор 2. Ці елементи можуть бути інтегровані в один пристрій (рис. 1.1) або камера може бути розташована окремо та з'єднана з сепаратором за допомогою труб. Нагрівання камери зазвичай здійснюється за рахунок водяної насиченої пари, яка подається в міжтрубний простір. Конденсат відводиться з нижньої частини камери [3].

Піднімаючись по трубах 3, розчин, що випаровується, нагрівається та закипає з утворенням вторинної пари. Відділення пари від рідини відбувається в сепараторі 2. Звільнена від бризок та крапель вторинна пара видаляється з верхньої частини сепаратора.

Частина рідини спускається по циркуляційній трубці 2 до нижніх трубних ґрат камери нагріву. Завдяки різниці щільностей розчину в трубці 4 та

парорідкісної емульсії в трубах 3, рідина циркулює по замкнутому контуру. Випарений розчин виводиться через штуцер у днищі апарату.

Якщо випарювання здійснюється під вакуумом, вторинна пара відводиться до конденсатора, який з'єднаний з вакуумним насосом. Випарений розчин виводиться з кінцевого днища апарату.

1.2 Аналіз існуючої системи автоматичного регулювання в'язкості в випарній установці

У нашій роботі представлено схему автоматизації каскадної автоматичної системи для регулювання рівня в'язкості у випарній установці. Функціональна схема по факту включає в себе: датчик в'язкості, вторинний прилад для показу та реєстрації в'язкості, регулятор в'язкості продукту, датчик тиску пари, вторинний прилад для контролю та реєстрації тиску, регулятор тиску продукту, насосний двигун, частотний перетворювач, кнопковий пост керування двигуном, відсічний клапан та кнопковий пост керування клапаном.

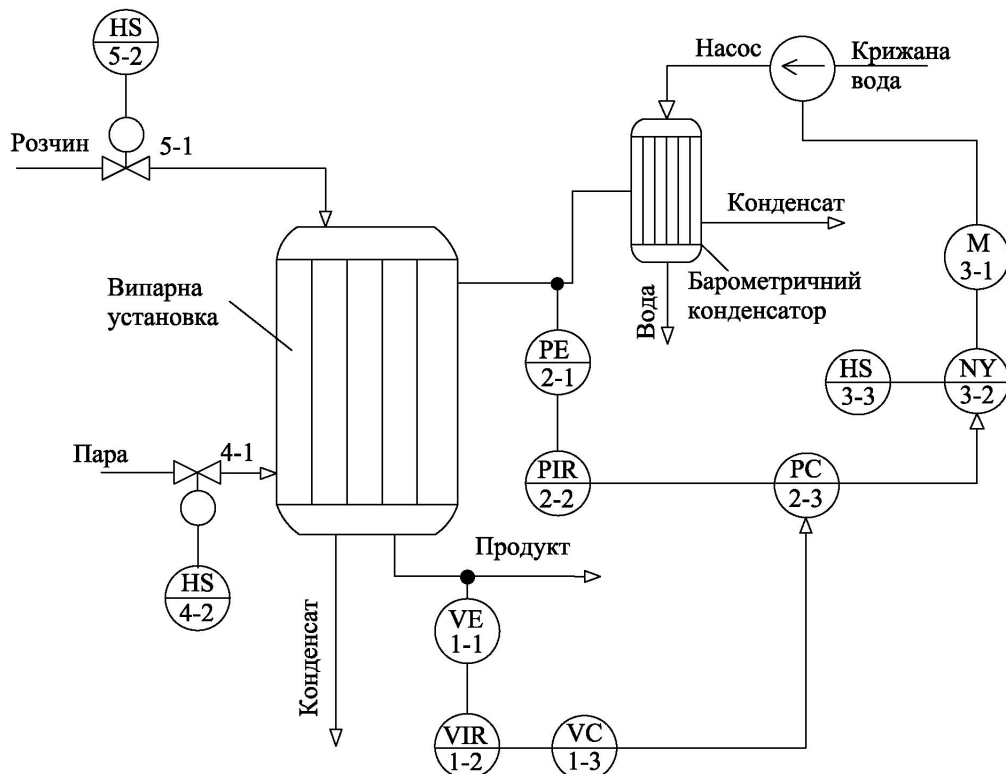


Рисунок 1.2 – Функціональна схема існуючої автоматизації каскадної автоматичної системи рівня регулювання в'язкості у випарній установці

У системі необхідно регулювати в'язкість для досягнення заданого значення. Розчин та пара подаються в установку через клапани 5-1 і 4-1 відповідно. Під впливом температури пари та швидкості її відведення в конденсатор, на виході отримуємо готовий продукт. Під час процесу випарювання також утворюється конденсат та вторинна пара, які відводяться з установки. Вторинна пара надходить у барометричний конденсатор, куди холодна вода перекачується насосом, що приводиться в дію двигуном М (3-1). Після цього з конденсатора відводяться вода та конденсат.

Зауважимо, що регулювання продуктивності насоса виконується за допомогою частотного перетворювача NY (3-2). Автоматичний контроль в'язкості забезпечується датчиком в'язкості VE (1-1) та регулятором в'язкості VC (1-3). Отже, кількість вихідного продукту контролюється за допомогою вторинного показу та реєструючого приладу контролю в'язкості VIR (2-1).

Відзначимо, що автоматичний контроль тиску здійснюється за допомогою спеціального датчика тиску PE (2-1) та регулятора тиску PC (2-3). Тиск пари контролюється за допомогою вторинного показуючого та реєструючого спеціального приладу PIR (2-1).

Таблиця 1.1 – Позиційне позначення елементів

Позиційне позначення	Найменування	Літерне позначення
1-1	Датчик в'язкості	VE
1-2	Вторинний показуючий та реєструючий прилад контролю в'язкості	VIR
1-3	Регулятор в'язкості	VC
2-1	Датчик тиску пари	PE
2-2	Вторинний показуючий та реєструючий прилад контролю тиску	PIR
2-3	Регулятор тиску	PC
3-1	Двигун насосу	M
3-2	Частотний перетворювач	NY
3-3	Кнопковий пост керування двигуна М	HS
4-1	Клапан відсічний	

4-2	Кнопковий пост керування клапана 4-1	HS
5-1	Клапан відсічний	
5-2	Кнопковий пост керування клапаном 5-1	HS

1.3 Визначення параметрів для контролю, регулюванню, сигналізації, блокуванню

У сучасній сушильній установці передбачено регулювання в'язкості та тиску. У цій схемі регулюванню підлягають такі параметри, як в'язкість V продукту за допомогою контролю та регулювання тиску P вторинної пари.

Для аналізованої установки необхідно задати та підтримувати необхідне значення в'язкості продукту ($V_{\text{зад}}=120 \text{ Па}\cdot\text{с}$) за допомогою регулятора тиску РС (2-3) та регулятора в'язкості ВС (1-3). Відповідно при зміні в'язкості необхідно регулювати подачу крижаної води.

Контроль тиску в трубопроводі виконується за допомогою датчика тиску (РЕ 7-6). Швидкість двигуна М1 (3-1) контролюється за допомогою датчика швидкості (SE 7-5). Для моніторингу положення клапанів (4-1, 5-1, 6-4, 7-1) використовуються кінцеві вимикачі на закриття та відкриття: GE (4-3), GE (5-3), GE (5-4), GE (6-2), GE (6-3), GE (7-2), GE (7-3).

Контроль в'язкості продукту виконується за допомогою датчика в'язкості (VE 1-1), а контроль тиску – за допомогою датчика тиску (РЕ 2-1).

Для гарантування безпечного функціонування системи слід впровадити протиаварійний автоматичний захист (ПАЗ) з максимальним рівнем в'язкості продукту ($V_{\text{maxПАЗ}}=130 \text{ Па}\cdot\text{с}$) та автоматичну сигналізацію (АС), яка спрацюватиме при досягненні в'язкості позначки максимального рівня ($V_{\text{maxАС}}=120 \text{ Па}\cdot\text{с}$).

Детальна розгалужена схема автоматизації каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості у випарній установці, що включає всі необхідні датчики, представлена на рисунку 1.3. Позиції всіх елементів наведені у таблиці 1.2.

Запуск та, відповідно, зупинка насоса здійснюються за допомогою кнопкового поста HS (8-1) для запуску та HS (9-1) для зупинки. Для переходу

з ручного режиму в автоматичне керування потрібен перемикач HS (10-1). Керування перетворювачем частоти NY (3-2) реалізується через проміжне реле NS (3-4), яке подає сигнал для його включення.

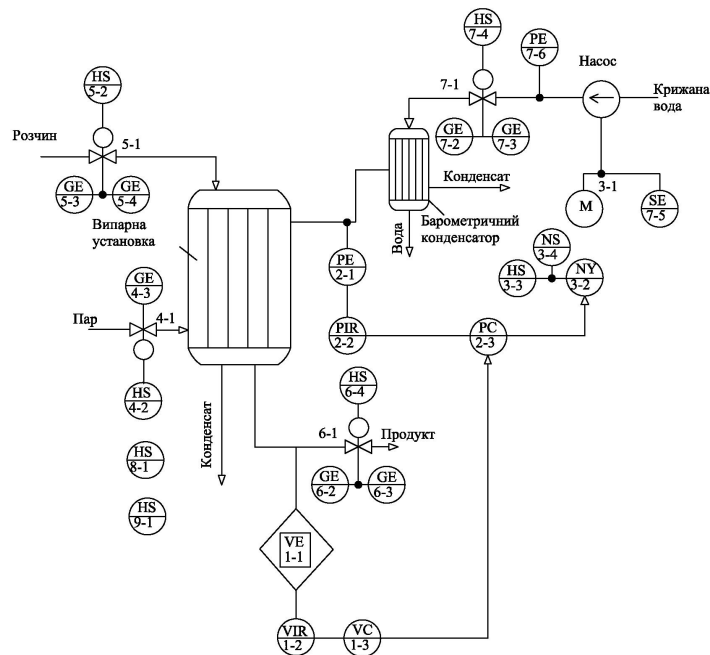


Рисунок 1.3 – Функціональна схема автоматизації каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості у випарній установці

Таблиця 1.2 – Позиційне позначення елементів

Позиційне позначення	Найменування	Літерне позначення
1	2	3
1-1	Датчик в'язкості	VE
1-2	Вторинний показуючий та реєструючий прилад контролю в'язкості	VIR
1-3	Регулятор в'язкості	VC
2-1	Датчик тиску пари	PE
2-2	Вторинний показуючий та реєструючий прилад контролю тиску	PIR
2-3	Регулятор тиску	PC
3-1	Двигун насосу	M
3-2	Частотний перетворювач	VY
3-3	Кнопковий пост керування двигуна M	HS
3-4	Магнітний пускач	HS
4-1	Клапан відсічний	
4-2	Кнопковий пост керування клапана 4-1	HS
4-3	Кінцевий вимикач на закриття клапана 4-1	GS

5-1	Клапан відсічний	
1	2	3
5-2	Кнопковий пост керування клапаном 5-1	HS
5-3	Кінцевий вимикач для відкриття клапана 5-1	GS
5-4	Кінцевий вимикач на закриття клапана 5-1	GS
6-1	Клапан відсічний	
6-2	Кінцевий вимикач для відкриття клапана 5-1	GS
6-3	Кінцевий вимикач на закриття клапана 5-1	GS
6-4	Кнопковий пост керування клапаном 6-1	HS
7-1	Клапан відсічний	
7-2	Кінцевий вимикач для відкриття клапана 5-1	GS
7-3	Кінцевий вимикач на закриття клапана 5-1	GS
7-4	Кнопковий пост керування клапана 7-1	HS
7-5	Датчик швидкості	SE
7-6	Датчик тиску	PE
8-1	Кнопковий пост «пуск»	HS
9-1	Кнопковий пост «стоп»	
10-1	Кнопковий пост «вибір режиму роботи»	HS

1.4 Вимоги до інформаційно-керуючої системи автоматизації випарної установки

У сучасному світі управлінська організація в автоматизованій системі керування (АСУ) технологічним процесом (ТП) потребує отримання інформації про перебіг технологічного процесу та визначення оптимальних режимів функціонування об'єкта. Це передбачає реалізацію виявлених оптимальних впливів на технологічний об'єкт керування (ТОК).

Основними інформаційними функціями АСУ ТП є:

- вимірювання та реєстрація на ЕОМ рівня в'язкості продукту, що виходить з випарної установки. Робоче значення 120 ± 2 Па. с;
- регулювання витрати продукту;
- сигналізація крайніх положень виконавчого механізму (клапанів);
- сигналізація стану двигуна насоса на ЕОМ.
- керування включенням та відключенням насоса.

Керуючі функції АСУ ТП охоплюють дії, спрямовані на формування та реалізацію керуючих впливів на ТОК.

Основними керуючими функціями є:

- стабілізація параметрів ТП на рівнях, визначених технологічним регламентом;
- програмне керування за заданими алгоритмами, включаючи запуск та зупинку окремих машин та апаратів;
- формування та реалізація керуючих впливів, які забезпечують досягнення оптимального режиму за технологічними або техніко-економічними критеріями.

Для досягнення необхідного рівня автоматизації розглянутої системи потрібно впровадження трирівневої системи супервізорного керування з використанням локального мікропроцесорного контролера (Micro-PC) та промислового комп'ютера (PC).

Верхній рівень реалізовано на промисловому комп'ютері. Цей комп'ютер виконує функції показуючого та реєструючого пристрою, який відображає хід технологічного процесу у графічному форматі, зрозумілому для користувача, з можливістю внесення коригувань [4].

Середній рівень системи реалізується за допомогою інтегрованого процесорного модуля Micro-PC. Цей модуль забезпечує регулювання технологічних змінних, програмно-логічне керування, а також сигналізацію та блокування. Зв'язок з датчиками та виконавчими елементами здійснюється через підключені модулі, такі як модуль дискретного введення, модуль аналогового вводу, модуль релейної комутації та модуль аналогового виведення. Крім того, процесорний модуль оснащений інтерфейсними роз'ємами: RS-485 для зв'язку з частотним перетворювачем, VGA для підключення місцевого дисплея та Ethernet для зв'язку з комп'ютером PC.

На нижньому рівні розміщені датчики та виконавчі механізми. Запропонована у нашому дослідженні структура керування має унікальну особливість: верхній та середній рівні керування можуть взаємозамінювати

один одного у випадку виходу з ладу одного з них. Якщо комп'ютер отримує відмову, процес можна завершити за допомогою мікропроцесорного контролера та пульта дистанційного керування, або ж провести відповідний ремонт. У разі будь-яких збоїв на середньому рівні комп'ютер здатен самостійно управляти процесом. Автоматизований технологічний комплекс інтегрований в загальний інформаційний простір з комп'ютерами вищого рівня через відповідні інтерфейси зв'язку.

Висновки за розділом

Проаналізували структуру однокорпусної випарної установки. Виявили недоліки в існуючій системі автоматизації та визначили параметри для контролю, регулюванню, сигналізації, блокуванню. Сформулювали вимоги до проектованої САК.

2. ВИБІР КОМПЛЕКСУ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ САК

2.1 Вибір та обґрунтування контрольно-вимірювальних приладів

До контрольно-вимірювальних приладів відноситься датчик в'язкості VE (1-1). У нашій роботі оберемо датчик в'язкості FVM (Fork Viscosity Meter) від компанії «Emerson SRL» виробництва Румунії. Цей пристрій призначений для вимірювання в'язкості рідини, щільності та температури в умовах, що вимагають високої точності вимірювань [5].

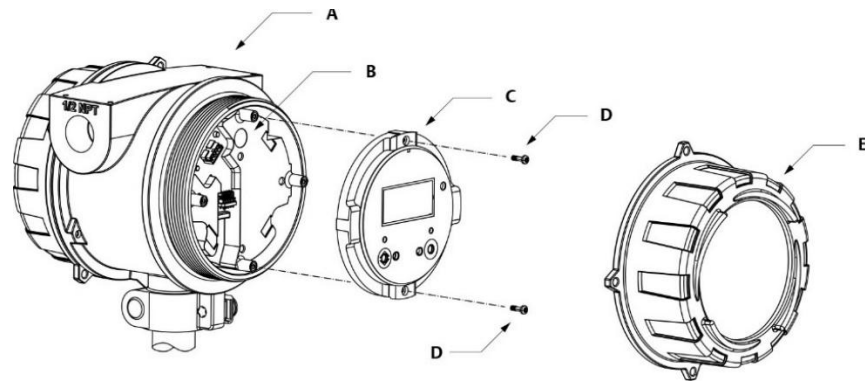


Рисунок 2.1 – Загальний вид датчика в'язкості FVM

А – корпус перетворювача; В – внутрішній жолоб; С – модуль дисплею;

Д – гвинти дисплею; Е – кришка дисплею

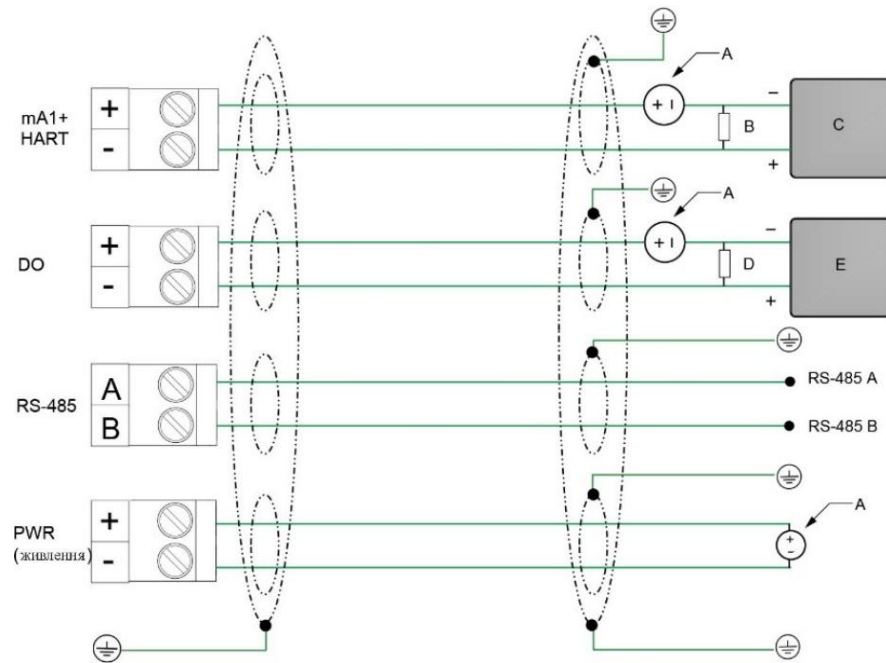


Рисунок 2.2 – Схема підключення датчика в'язкості FVM

Виокремимо технічні характеристики датчика в'язкості FVM:

- робочий діапазон густини - 0–3000 кг/м³;
- робочий діапазон в'язкості - 0,5 – 20000 сП;
- вбудований введення/виведення HART;
- аналоговий вихід - 4-20 мА.

Обраний нами датчик тиску PE (2-1,7-6) оснащений стрілочним манометром АДМ-100.1.0,4 24В. Цей манометр призначений для візуального відображення вимірюваного надлишкового тиску рідин, парів та газів, а також для перетворення значення тиску в сигнал постійного струму 4-20 мА, з можливістю видачі дискретних сигналів для нижньої та верхньої межі. Прилад використовується в житлово-комунальному господарстві, в системах централізованого контролю та керування технологічними процесами на об'єктах тепло-, водо-, нафто- та газопостачання, а також у розподільчих мережах та локальних системах автоматизації насосного, компресорного та іншого спеціального обладнання [6].



Рисунок 2.3 – Будова датчика тиску АДМ-100.1



Рисунок 2.4 – Схема підключення датчика тиску АДМ-100.1

Розглянемо детально технічні характеристики датчика тиску PE (2-1,7-6):

- верхня межа виміру - до 0,400 кПа;
- вихідний сигнал - 4-20 мА;
- напруга живлення- від 12 до 24 В;
- клас точності - 1,5.



Рисунок 2.5 – Загальний вид датчика швидкості SG780 [7]

Зробимо вибір датчика швидкості SE (8-4), а саме датчик стеження за обертанням двигуна SG780 спеціалізованої фірми «Стартсенсор». Він призначений для визначення частоти, швидкості обертання та кута повороту вісі двигуна. Принцип дії – безконтактний. На торець вісі обертання встановлюється магнітний елемент. При обертанні вісі відбувається обертання вектора намагніченості, яке вловлюється магніточутливими елементами, встановленими на деякому віддаленні від магнітного елемента. Вбудована електроніка посилює вихідні сигнали та за допомогою мікроконтролера визначає кут повороту вісі, частоту і швидкість обертання.

Перелічимо технічні характеристики датчика швидкості SE (8-4):

- роздільна здатність датчика, імпульсів/оборот - 64, 128, 256;
- вихідний сигнал - імпульсний або цифровий;
- вихідні інтерфейси - RS-232, RS-485;
- напруга живлення - 5 В.

2.2 Вибір та обґрунтування виконавчих механізмів

Під час вибору виконавчих механізмів доцільно зупинитись на частотному перетворювачі NY (3-2). Обираємо частотний перетворювач CHF100A-011G/015P-4 від провідної компанії «INVT Power». Цей пристрій побудований на основі цифрового сигнального процесора та оснащений повністю оптимізованим векторним керуванням без використання датчика зворотного зв'язку, а також вольт-частотним керуванням. Крім того, він має інші вдосконалені функції, які підвищують стабільність роботи пристроїв цієї серії та розширюють їх можливості застосування. Ці перетворювачі підходять для керування двигунами вентиляторів та насосів, зокрема в тих сферах, де важливо точно контролювати швидкість в залежності від крутного моменту насоса, а також для низькочастотного виходу.

Виокремимо технічні характеристики частотного перетворювача CHF100A-011G/015P-4:

- номінальна вихідна потужність - 15 кВт;
- номінальний вихідний струм - 32 А;
- інтерфейси - RS-485.

Важливим буде правильній підбір вхідного та вихідного спеціальних фільтрів від провідної компанії «Веспер».

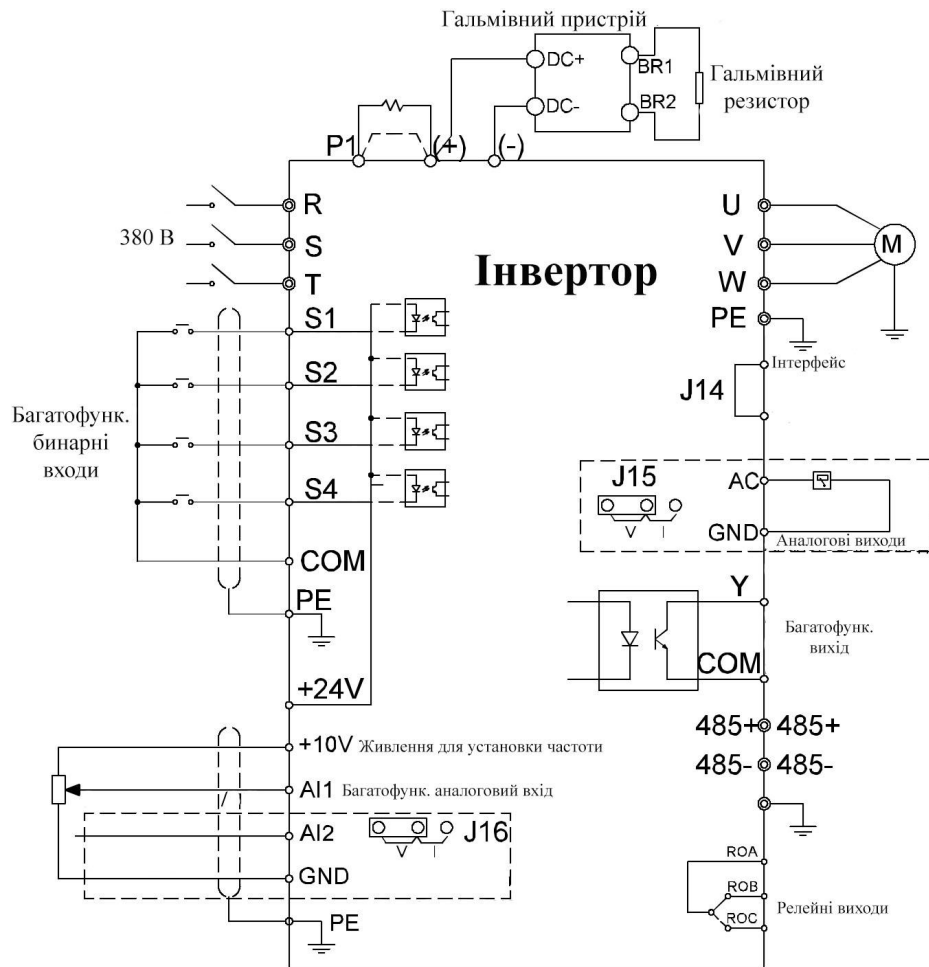


Рисунок 2.6 – Схема підключення перетворювача частоти
CHF100A-011G/015P-4

До технічних характеристик вхідного фільтра відносять:

- номінальна потужність ПЧ - 15 кВт;
- номінальний вхідний струм - 34 А.

До технічних характеристик вихідного фільтра відносять:

- номінальна потужність ПЧ - 15 кВт;
- номінальний вихідний струм - 34 А.

Далі є логічним вибір двигуна насоса М (3-1). Зупинимо наш вибір на асинхронному електродвигуну АІР160М6 сучасної фірми «Електромотор».

Технічні характеристики асинхронного електродвигуна АІР160М6 наступні:

- номінальна потужність - 15 кВт;
- номінальний струм - 31 А;

– номінальна частота обертання - 1000 об/хв.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд електродвигуна

Таблиця 2.1 – Параметри електродвигуна АІР160М6 [7]

Параметр	Значення
Потужність	15 кВт
Частота обертання	1000 об/хв
Коефіцієнт потужності	0,81
Співвідношення струмів	7,0
Рівень шуму	73дБ

Підбираємо клапани відсічні 4-1,5-1, 6-1,7-1. Виберемо клапани ВН1Н-4 фл. 220 В спеціалізованої фірми «Газовик». Вищенаведені клапани за типом можуть бути електромагнітні, двопозиційні, фланцеві, нормально-закриті.

Виділимо технічні характеристики клапана ВН1Н-4 фл. 220 В:

- напруга живлення - 220 В;
- споживаний струм - не більше 150 мА;
- частота включень за годину - не більше 1000;
- повний ресурс - не менше 1 000 000 включень;
- потужність - 25 Вт.



Рисунок 2.8 – Загальний вид відсічних клапанів ВН1Н-4

Щодо кінцевих вимикачів GE (4-3), GE (5-3), GE (5-4), GE (6-2), GE (6-3), GE (7-2), GE (7-3), то зупинимо свій вибір на кінцеві вимикачі L2K13MIM21 провідної фірми «Ema». По факту вони є роликowymi вимикачами у мініатюрних призматичних пластикових корпусах.



Рисунок 2.9 – Загальний вид кінцевого вимикача L2K13MIM21 [9]

Розглянемо технічні характеристики кінцевого вимикача L2K13MIM21:

- робоча напруга - 240 В;
- робочий струм - 3 А;
- механічний ресурс - 10 000 000. операцій;
- електричний ресурс - 1 000 000. операцій.

Не менш важливим кроком є підбір контактора NS (3-5). У своїй роботі виберемо модульний контактор ПМЛ2160ДМ. Контактор використовується

для комутації та керування освітлювальними, обігрівальними, вентиляційними системами та насосами.



Рисунок 2.10 – Загальний вид контактора ПМЛ2160ДМ [10]

Отже, маємо технічні характеристики модульного контактора ПМЛ2160ДМ:

- номінальний струм контактів - 32 А;
- напруга котушки керування - 380 В .

Наступним важливим кроком є вибір кнопкових постів HS (4-2), HS (5-2), HS (6-4), HS (7-4), HS (8-1), HS (9-1). У нашому випадку, це будуть натискні кнопки В100FY також фірми «Ems».



Рисунок 2.11 – Загальний вид кнопчного поста В100FY [11]

Перелічимо технічні характеристики натискних кнопок В100FY:

- номінальна напруга контактів - 250 В;
- номінальний струм контактів - 4 А;
- механічна стійкість - не менше 500 000 операцій;
- електрична стійкість - не менше 100 000 операцій.

Підбір перемикача HS(10-1) є ключовим у виборі виконавчих механізмів. Перемикач кулачковий ОМУЗРВР спеціалізованої фірми «АВВ» буде вдалим вибором.



Рисунок 2.12 – Загальний вигляд перемикача ОМУЗРВР

Виокремимо технічні характеристики перемикача кулачкового ОМУЗРВР:

- номінальна напруга - 250 В;
- номінальний струм - 10 А .

Зауважимо, що для забезпечення стабільної роботи перетворювача частоти важливо правильно обрати вхідні та вихідні фільтри. В якості вхідного та вихідного використовуємо фільтри вищезначеної компанії «Веспер».

2.3 Вибір та обґрунтування контролера, модулів введення/виведення

Вибір контролера має бути чітко обґрунтованим. У роботі обираємо програмований контролер ADAM-5510/TCP від провідної компанії «Advantech». По факту, ADAM-5510/TCP є PC-сумісним контролером, що підключається до мережі Ethernet та, відповідно, має Ethernet-інтерфейс. Цей контролер підтримує Ethernet та оснащений чотирма слотами для модулів введення/виведення. Основними перевагами ADAM-5510/TCP є можливість підключення до Ethernet та розширені функції введення/виведення.

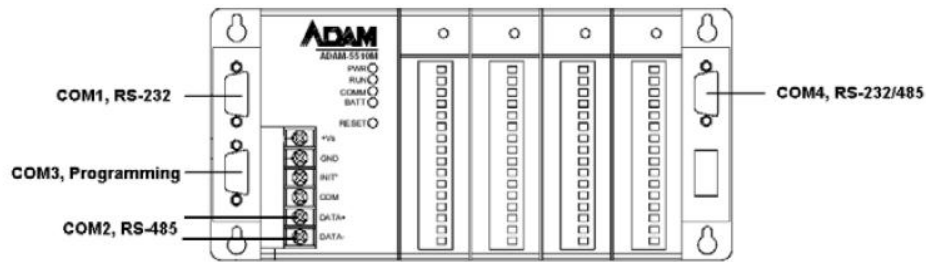


Рисунок 2.13 – Загальний вигляд програмованого контролера ADAM-5510/TCP

Згрупуємо основні технічні характеристики програмованого контролера ADAM-5510/TCP наступним переліком:

- 16-розрядний мікропроцесор;
- флеш-ПЗУ - 1,5 Мбайт;
- статичне ОЗУ - 640 кбайт;
- мережевий інтерфейс - Ethernet 10/100Base-T;
- послідовні порти - 1xRS-232, 1xRS-485, 1xRS-232/485, 1xRS-232 (прогр.).

Не менш виваженим кроком є підбір модуля аналогового введення. Наш вибір зупиняється на 8-канальному швидкодіючому модулі аналогового введення ADAM-5017H спеціалізованої фірми «Advantech».

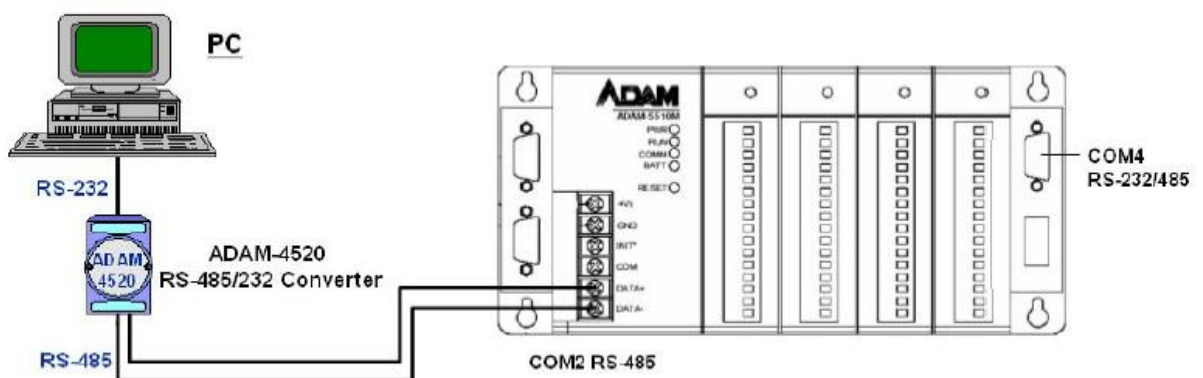


Рисунок 2.14 – Схема підключення ADAM-5510/TCP [13]

Маємо технічні характеристики модуля аналогового введення ADAM-5017H:

- ефективна роздільна здатність - 12 розрядів + знак;
- типи вхідного сигналу - напруга (мВ, В) та струм (мА);
- потужність - 1,75 Вт.

Аналогічно підбираємо модуль аналогового виводу. Обираємо 4-канальний модуль аналогового виведення ADAM-5024 тієї ж фірми «Advantech» [13].

Маємо технічні характеристики модуля аналогового виведення ADAM-5024:

- ефективний дозвіл - 12 розрядів;
- діапазони вихідного сигналу - 0 ... 20 мА, 4 ... 20 мА, 0 ... 10 В;
- потужність - 1,4 Вт.



Рисунок 2.15 – Загальний вигляд програмованого контролера ADAM-5024

Щодо модуля дискретного введення, то доцільним буде обрати 16-канальний модуль дискретного введення ADAM-5051 вищезначеної фірми «Advantech» [16].

Перелічимо технічні характеристики модуля дискретного введення ADAM-5051:

- рівень логічного 0 - не більше 1 В;
- рівень логічної 1 - від 3,5 до 30 В;
- потужність - 0,4 Вт.

У якості модуля релейної комутації, обираємо 8-канальний модуль релейної комутації ADAM-5069 спеціалізованої фірми «Advantech».

До технічних характеристик модуля релейної комутації ADAM-5069 відносять:

- кількість та тип каналів - 8 нормально розімкнених (SPST) типу А;
- електрична міцність контактів:
- по змінному струму -: 250 В при 5 А;
- по постійному струму - 30 В при 5 А.
- потужність - 0,25 Вт.

Але, ключовим буде все ж таки вибір та обґрунтування комп'ютера.

Для керування системою виберемо панельний комп'ютер TCP-1780H спеціалізованої фірми «Advantech».

До технічних характеристик панельного комп'ютера TCP-1780H відносяться:

- вбудований ЖК 17 TFT монітор;
- процесор - Intel Core 2 Duo L7400 1,5 ГГц;
- пам'ять - 2 ГБ SO-DIMM DDR2 SDRAM;
- порти - 2xEthernet, 3xRS-232, 4xUSB 2.0, 2xPS/2, VGA.

Далі обираємо та детально обґрунтовуємо вибір програмного забезпечення та інтерфейсу.

Зауважимо, що SCADA система TRACE MODE вже давно вийшла за межі традиційних функцій SCADA. Проте саме ця складова залишається найбільш затребуваною. Окрім стандартних функцій, характерних для будь-якої SCADA системи, TRACE MODE пропонує ряд унікальних особливостей, які вирізняють її серед інших програмних продуктів класу SCADA/HMI.

По-перше, це єдине інтегроване середовище розробки, яке об'єднує понад 10 різних редакторів для проектів АСК ТП та АСКП. Це середовище має безкоштовну версію. Функції SCADA/HMI в TRACE MODE настільки органічно поєднані з SOFTLOGIC системою програмування контролерів та

економічними модулями T-FACTORY (MES-EAM-HRM), що важко провести чітку межу між ними.

Унікальна технологія автобудування є незамінним інструментом для створення проектів у SCADA системі TRACE MODE. Вона дозволяє за кілька простих рухів миші встановлювати зв'язки між вузлами розподіленої системи керування (РСК), а також між джерелами даних SCADA та каналами. Крім того, можна створювати джерела даних на основі відомих конфігурацій контролерів. Система також включає безкоштовні драйвери для 2502 контролерів та УСО. Принцип єдиного проекту для розподіленої автоматизованої системи керування (АСК) дає змогу встановлювати прямі зв'язки між компонентами різних вузлів. Наприклад, можна відобразити значення одного каналу SCADA на екрані іншого, не створюючи при цьому додаткового каналу для їхнього зв'язку.

Отже, TRACE MODE – це перша інтегрована інформаційна система для керування промисловим виробництвом, яка об'єднує продукти класу SOFTLOGIC, SCADA, HMI, MES, EAM та HRM в єдине ціле.

Після проведення аналізу, ми обираємо програмне забезпечення SCADA – систему TRACE MODE. Вона складається з інструментальної системи та виконавчих (run-time) модулів. Інструментальна система використовується для розробки АСК, тоді як виконавчі модулі забезпечують запуск проектів у реальному часі, створених в інструментальній системі TRACE MODE.

2.4 Розробка схеми структурної інформаційно-керуючої системи автоматизації

Сучасні вимоги до вітчизняного промислового виробництва потребують впровадження досконаліших систем керування, ніж традиційні локальні автоматизаційні рішення. Серед переваг використання промислових інформаційно-керуючих обчислювальних систем можна виділити наступні:

- повна автоматизація процесу опитування та реєстрації вимірюваних параметрів;
- програмна та апаратна сумісність з персональними комп'ютерами;
- забезпечення високої надійності роботи в екстремальних умовах;
- висока швидкість опитування каналів;
- висока достовірність та точність обробки результатів вимірювань;
- безперервний моніторинг процесу на екрані та реєстрація вимірювальної інформації у зручному форматі для подальшої обробки за складними алгоритмами;
- архівування отриманих результатів.

Для досягнення необхідного рівня автоматизації розглянутої системи слід впровадити трирівневу систему супервізорного керування, яка використовує локальний мікропроцесорний контролер (MicroPC) та промисловий комп'ютер (PC).

На рисунку 2.16 візуалізована структурна схема автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСК ТП) для регулювання рівня рідини в ємності.

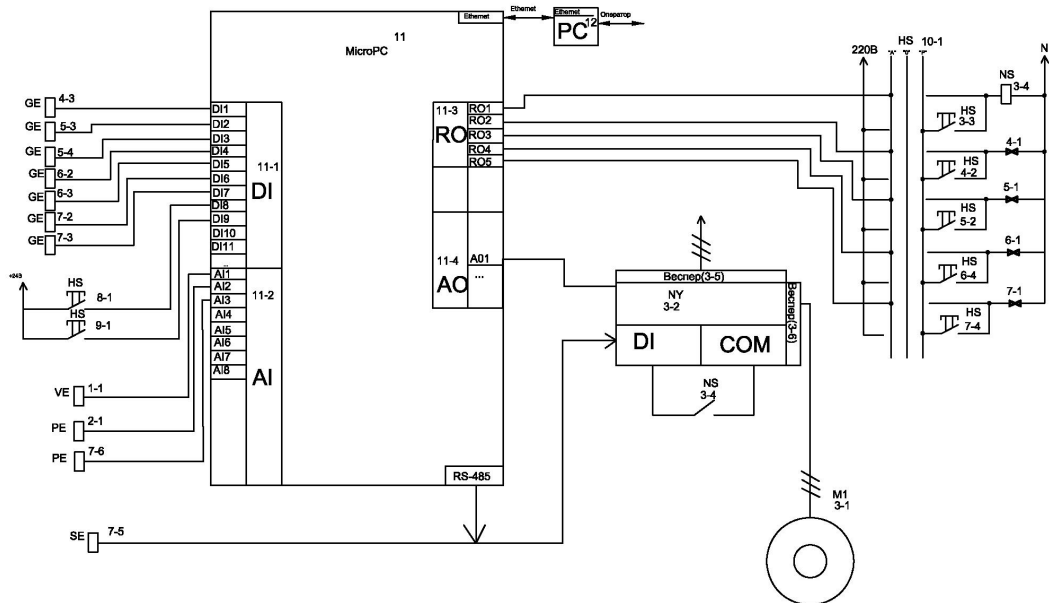


Рисунок 2.16 – Структурна схема АСК ТП регулювання рівня рідини в ємності

Отже, запропонована структура керування має унікальну особливість: верхній та середній рівні керування можуть взаємозамінювати один одного у випадку виходу з ладу одного з них. Якщо комп'ютер зазнає відмови, процес можна завершити за допомогою мікропроцесорного контролера та пульта дистанційного керування, або відремонтувати. У разі будь-яких збоїв на середньому рівні комп'ютер здатен самостійно управляти процесом. Автоматизований технологічний комплекс інтегрований в загальний інформаційний простір з комп'ютерами вищого рівня через інтерфейси зв'язку.

2.5 Розробка алгоритму керування технологічної установки

Метою керування є регулювання в'язкості продукту. На основі принципу роботи установки було розроблено алгоритм для керування технологічним процесом. Схема цього алгоритму детально представлена на рисунку 2.17.

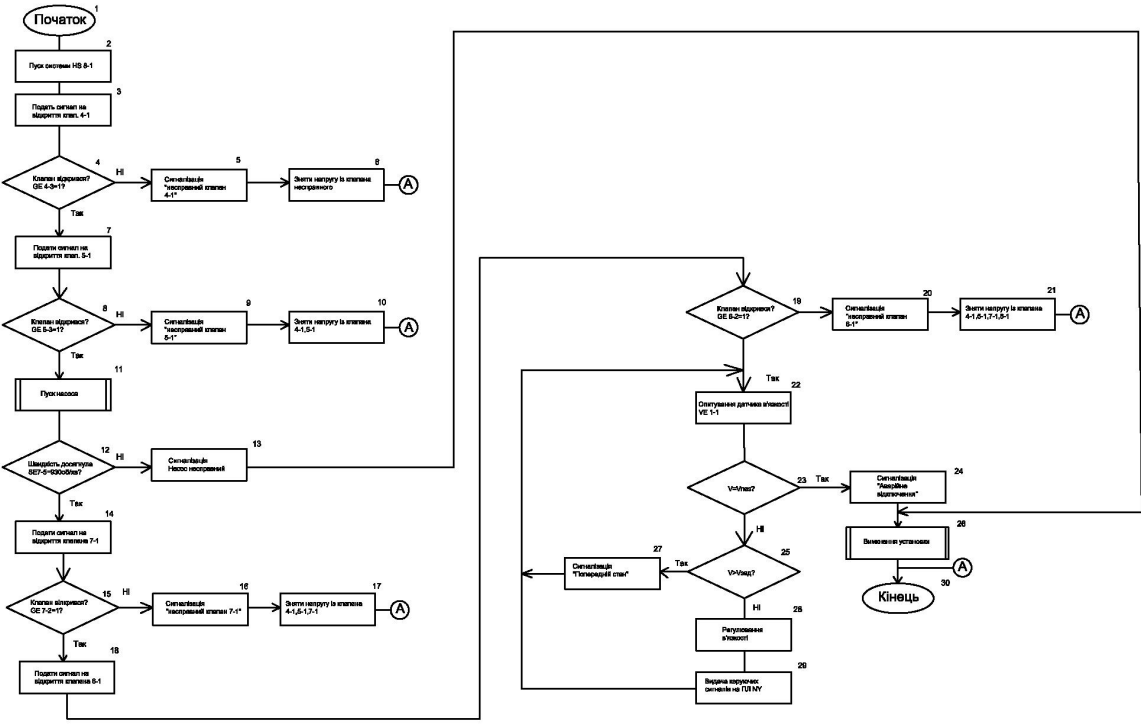


Рисунок 2.17 – Головний алгоритм керування технологічною установкою регулювання в'язкості продукту

Алгоритм базується на чергуванні включення та вимкнення обладнання в нормальних і аварійних режимах роботи.

Отже, алгоритм керування складається з основних етапів, а саме:

- головного алгоритму;
- підпрограми запуску насоса;
- підпрограми регулювання V ;
- підпрограми вимкнення установки.

Після активації системи в блоках 2-21, у блоці 22 відбувається опитування датчика в'язкості VE (1-1). Якщо отримане значення не відповідає заданому, виникає помилка концентрації. Якщо ж значення відповідає, система переходить у нормальний режим.

Зауважимо, що при виникненні помилки відбувається регулювання тиску. У блоці 28 керуючий вплив з регулятора в'язкості VC (1-3) передається на блок 29 ПЧ (нормальний режим роботи). У цей час у блоках 23 та 25 порівнюються значення датчика концентрації з $V_{\max\text{ПАЗ}}$ і $V_{\max\text{АС}}$. Якщо задане значення концентрації не досягає цих показників, система продовжує працювати в нормальному заданому режимі. В іншому випадку, у блоках 23 та 24 передбачені сигналізації, або ж у блоці 26 відбувається відключення установки.

Висновки за розділом

Вибрали контрольно-вимірювальні прилади, а саме датчик в'язкості, тиску, швидкості. Обрали виконавчі механізми, а саме перетворювач частоти, електродвигун, відсічний клапан, кнопочний пост, магнітний контактор. Також здійснили вибір контролера, модулів введення/виведення

3. СИНТЕЗ САК ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Складання схеми структурної каскадної САК

У сучасній промисловості каскадні автоматичні системи регулювання використовуються для автоматизації технологічних об'єктів керування, коли існує допоміжна технологічна змінна, яка чітко пов'язана з основним виходом об'єкта. У такому випадку в систему каскадного регулювання, як схематично показано на рисунку 3.1, входять два регулятори: основний (зовнішній) регулятор в'язкості $R(s)$, який відповідає за стабілізацію в'язкості основної технологічної змінної $V(s)$, та допоміжний (внутрішній) регулятор тиску вторинної пари $R_1(s)$, що регулює тиск допоміжної технологічної змінної $P(s)$, взятої з будь-якої точки об'єкта керування [14].

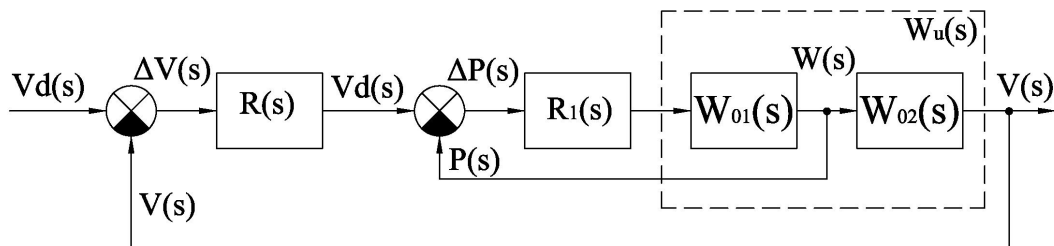


Рисунок 3.1 – Структурна схема каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості у випарній установці

де: $\Delta V(s)$ – сигнал неузгодженості по в'язкості ($V_{\text{Зад}} = (120 \pm 2) \text{ Па} \cdot \text{с}$);

$V_d(s)$ – задане значення в'язкості;

$P_d(s)$ – керуючий вплив для регулятора тиску;

$\Delta P(s)$ – сигнал неузгодженості по тиску;

$W_{01}(s)$ – передатна функція 1 ланки об'єкта керування допоміжного контуру регулювання:

$$W_{01}(s) = \frac{k_{01}}{V_{01}} \frac{1}{s+1} e^{-\tau_{01}s} = \frac{2,4}{25} \frac{1}{s+1} e^{-0,6s}; \quad (3.1)$$

$W_u(s)$ – передатна функція об'єкта керування:

$$W_u(s) = \frac{k_u}{V_u} \frac{1}{s+1} e^{-\phi_u s} = \frac{3,8}{65} \frac{1}{s+1} e^{-2 s}; \quad (3.2)$$

$W_{02}(s)$ – передатна функція об'єкта керування основного контуру регулювання:

$$W_{02}(s) = \frac{k_u (T_{01} S + 1)}{k_{01} (T_u S + 1)} e^{-(\phi_u - \phi_{01}) s} = \frac{4,8 (25S + 1)}{2,4 (65S + 1)} e^{-(2-1s)s} = \frac{120S + 4,8}{156S + 24} e^{-0,25s}; \quad (3.3)$$

$R(s)$ – передатна функція основного регулятора (регулятора в'язкості у випарній установці) [15]:

$$R(s) = k_{Popt} + \frac{1}{T_{uopt} s}; \quad (3.4)$$

$R_1(s)$ – передатна функція допоміжного регулятора (регулятора тиску пари):

$$R_1(s) = k_{PIopt} + \frac{1}{T_{u1opt} s}; \quad (3.5)$$

Функціональна схема каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості продукту у випарній установці зображена на рисунку 3.2.

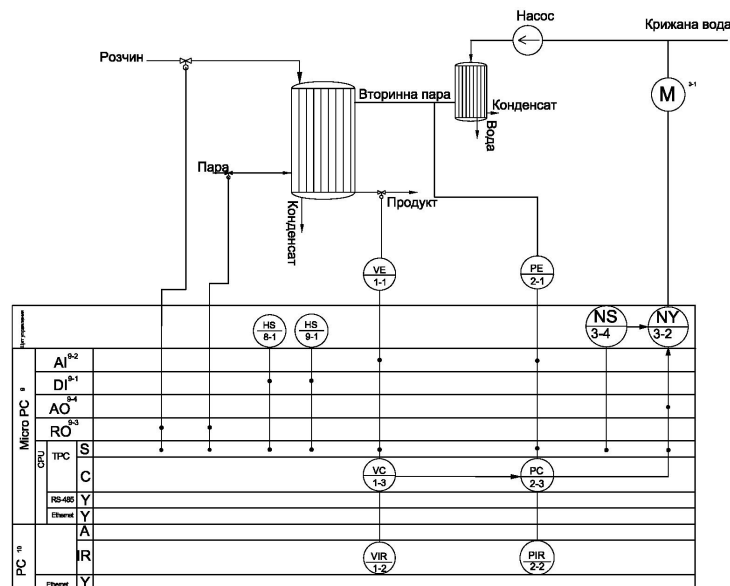


Рисунок 3.2 – Функціональна схема автоматизації каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості V у випарній установці на базі мікропроцесорного контролера

Маємо розуміти, що сигнали актуальних значень в'язкості продукту на виході випарної установки та відведення вторинної пари отримуються за допомогою датчика в'язкості VE (1-1) та датчика тиску PE (2-1) відповідно. Керуючий сигнал формується на основі різниці між поточним значенням технологічної змінної та її заданим значенням відповідно до закону регулювання.

3.2 Визначення оптимальних налаштувань безперервних регуляторів, цифрових регуляторів, рекурентні алгоритми

Цифровий регулятор формує керуючий вплив на кожному етапі регулювання u_k за допомогою рекурентних алгоритмів [15]:

$$Pd_k = Pd_{k-1} + q_0 \Delta V_k + q_1 \Delta V_{k-1}; \quad (3.6)$$

$$U_{k1} = U_{k1-1} + q_{01} \Delta V_{k1} + q_{11} \Delta V_{k1-1}; \quad (3.7)$$

де: Pd_k – завдання для ПІ-регулятора тиску;

U_{k1} – керуючий вплив ПІ-регулятора тиску;

Pd_{k-1} – завдання на попередньому кроці;

U_{k1-1} – керуючий вплив на попередньому етапі;

q_0, q_1 – налаштування цифрового регулятора в'язкості;

q_{01}, q_{11} – налаштування цифрового регулятора тиску.

$\Delta V_k, \Delta V_{k-1}, \Delta P_{k1}, \Delta P_{k1-1}$ – відхилення регульованої змінної від заданого значення на даному кроці регулювання, попередньому кроці регулювання.

q_0, q_1 – налаштування цифрового регулятора в'язкості.

q_{01}, q_{11} – налаштування цифрового регулятора витрати.

Знаючи динамічні параметри об'єкта керування, налаштування ПІ-регулятора в'язкості можна визначити таким чином:

$$q_0 = k_{\text{Porpr}} \left(1 + \frac{DT}{2 T_{\text{Uopr}}}\right); \quad (3.8)$$

$$q_1 = -k_{\text{Porpr}} \left(1 - \frac{DT}{2 T_{\text{Uopr}}}\right); \quad (3.9)$$

де: $k_{P\text{Iopr}}$, $T_{U\text{Iopr}}$ – оптимальні коефіцієнт посилення і постійна часу регулятора в'язкості;

ΔT – період квантування.

Якість цифрового регулятора наближається до якості аналогового, якщо $\Delta T \ll T_U$. Тому поставимо $\Delta T=0,1$ $T_U=0,1$ $0,65=6,5$.

Виходячи з динамічних параметрів об'єкта керування, можна встановити налаштування ПІ-регулятора ваги наступним чином [14]:

$$q_{01} = k_{P\text{Iopr}} \left(1 + \frac{\Delta T}{2 T_{U\text{Iopr}}}\right); \quad (3.10)$$

$$q_{01} = -k_{P\text{Iopr}} \left(1 - \frac{\Delta T}{2 T_{U\text{Iopr}}}\right); \quad (3.11)$$

де: $k_{P\text{Iopr}}$, $T_{U\text{Iopr}}$ – оптимальні коефіцієнт посилення і постійна часу регулятора ваги.

Визначимо оптимальні налаштування внутрішнього допоміжного регулятора, обравши аперіодичний характер перехідного процесу. Тоді маємо:

$$k_{P\text{Iopr}} = \frac{1}{k_{01} \frac{\phi_{01}}{T_{01}}}; \quad (3.12)$$

$$k_{P\text{Iopr}} = \frac{1}{2,4 \frac{1,8}{25}} = 5,787.$$

$$T_{U\text{Iopr}} = 1 \phi_{01}; \quad (3.13)$$

$$T_{U\text{Iopr}} = 1 \cdot 1,8 = 1,8.$$

$$R(s) = 5,787 + \frac{1}{18 s}; \quad (3.14)$$

Оптимальні налаштування основного регулятора визначимо за допомогою методу РАФЧХ. Для цього спочатку розрахуємо передатну функцію еквівалентного об'єкта керування:

$$W_E(s) = \frac{R_1(s) W_U(s)}{1 + R_1(s) W_{01}(s)}; \quad (3.15)$$

РАФЧХ еквівалентного об'єкта керування $W_E(m, w)$ визначаємо, замінивши в передавальній функції $W_E(s)$ $s = -mw + jw$. Попередньо задаємо значенням коливання $m=0,366$, що відповідає ступеню згасання коливань $\gamma\Phi=0,95$.

Визначення оптимальних налаштувань основного регулятора концентрації k_{opt} та T_{opt} проведемо за методом РАФЧХ. Скористаємося виразом для передавальної функції еквівалентного об'єкта керування [14]:

$$W_E(s) = \frac{R_1(s) W_U(s)}{1 + R_1(s) W_{01}(s)} = (5,787 + \frac{1}{1,8 s}) \frac{3,8}{65 s + 1} e^{-25} =$$

$$1 + (5,787 + \frac{1}{1,8 s}) \frac{2,4}{25 s + 1} e^{-0,65}; \quad (3.16)$$

РАФЧХ основного регулятора знайдемо з наступного виразу:

$$R(m, jw) = \frac{1}{W_E(0,366, jw)} =$$

$$\frac{1 + 5,787 + \frac{1}{1,8 (-0,366w + jw)} \frac{2,4}{25 (-0,366w + jw) + 1} e^{-0,6(-0,366w + jw)}}{5,78 + \frac{1}{1,8 (-0,366w + jw)} \frac{3,8}{65 (-0,366w + jw) + 1} e^{-2(-0,366w + jw)}} =$$

$$= R_e (R(m, jw)) + j \text{Im} (R(m, jw));$$

де: $R_e(R(m, jw)) + j \text{Im}(R(m, jw))$ – дійсна частина РАФЧХ регулятора;

$\text{Im}(R(m, jw))$ – уявна частина РАФЧХ регулятора.

Основний регулятор можна налаштувати, використовуючи відповідні формули:

$$K_U(m, w) = w (1 + w^2) \text{Im} (R(m, w)); \quad (3.17)$$

$$K_P(m, w) = m \text{Im} (R(m, w)) = R_e (R(m, w)); \quad (3.18)$$

Задавши значеннями $w=0,01$ в $p \dots 3w p$ будемо графік рівного значення ступеня коливання $m k_U(m, w) = f(k_p(m, w))$, при цьому:

$$W_p = \frac{p}{\Phi_u + T_u}; \quad (3.19)$$

$$W_p = \frac{3,14}{2 + 65} = 0,047.$$

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків

Re (R (m, w))	Im (R (m, w))	k_U (m, w)	k_P (m, w)
0,013	0,014	0,579	1,075
$7,491 \cdot 10^{-3}$	0,021	0,578	1,078
$1,329 \cdot 10^{-3}$	0,027	0,577	1,08
$-5,931 \cdot 10^{-3}$	0,033	0,576	1,082
-0,014	0,039	0,574	1,083
-0,024	0,045	0,573	1,085
-0,034	0,051	0,571	1,086
-0,046	0,058	0,569	1,087
-0,058	0,065	0,566	1,088
-0,071	0,073	0,564	1,089
-0,084	0,082	0,561	1,089
-0,098	0,091	0,558	1,09
-0,112	0,101	0,555	1,09
-0,127	0,112	0,552	1,09
-0,041	0,123	0,548	1,089

Оптимальні налаштування обираємо в точці, що розташована трохи лівіше від максимуму k_U . Графік, що ілюструє рівне значення ступеня коливання m , наведений на рисунку 3.3.

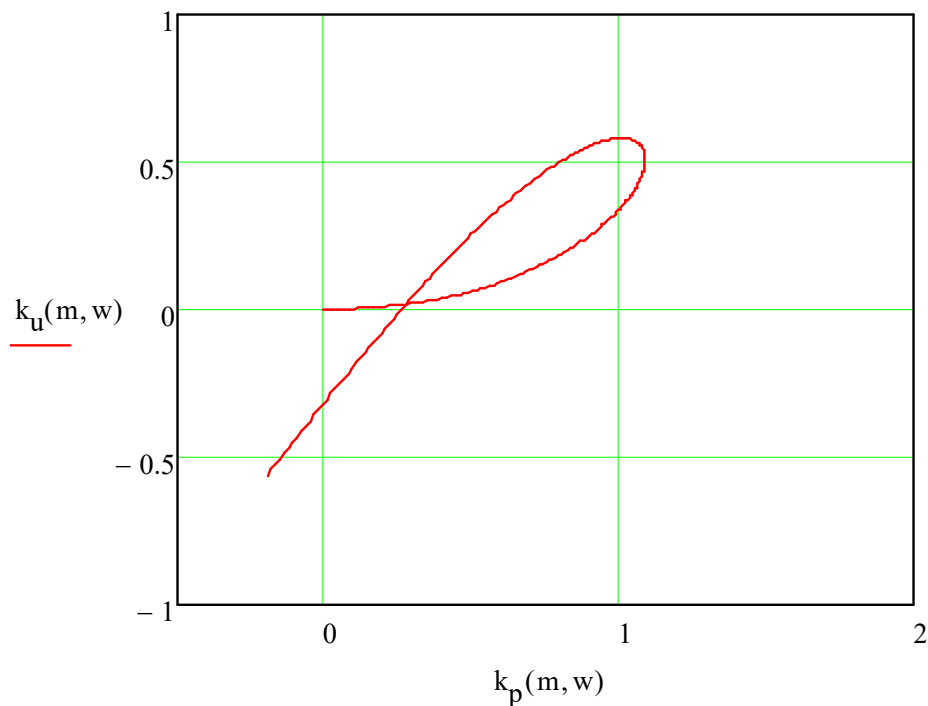


Рисунок 3.3 – Графік рівного значення ступеня коливання m

З рисунку 3.1, прийmemo наступні значення $k_{\text{порп}}=1,09$, $k_{\text{уопт}}=0,55$ для налаштування основного регулятора. Визначимо $T_{\text{Уопт}}$:

$$T_{\text{Уопт}} = \frac{1}{T_{\text{Уопт}}} = 0,917 \text{ с.}; \quad (3.20)$$

Таким чином, основний регулятор матиме такий вигляд:

$$R(s) = k_{\text{порп}} + \frac{1}{T_{\text{Уопт}} s} = 0,55 + \frac{1}{0,917 s}; \quad (3.21)$$

3.3 Визначення динамічної характеристики основної технологічної змінної

На рисунку 3.4 схематично показано математичну модель, яка використовується для аналізу динамічної характеристики основної технологічної змінної $V(t)$ в середовищі MATLAB [15].

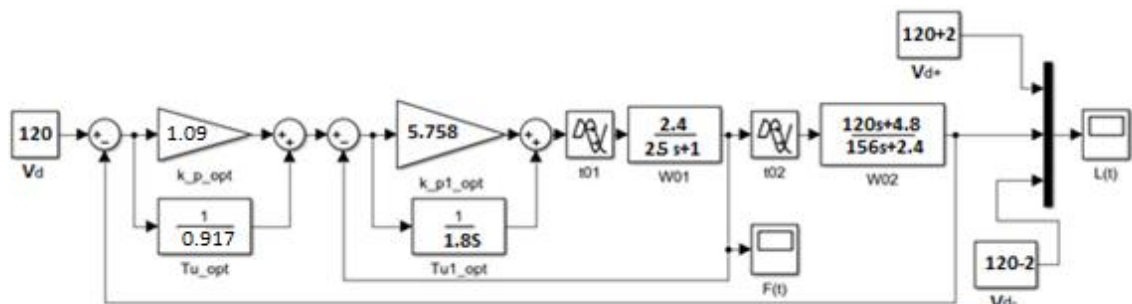


Рисунок 3.4 – Математична модель на дослідження динамічної характеристики $V(t)$

Графік перехідного процесу основної технологічної змінної в'язкості, отриманої у результаті моделювання, у випарній установці $V(t)$ представлений рисунку 3.5.

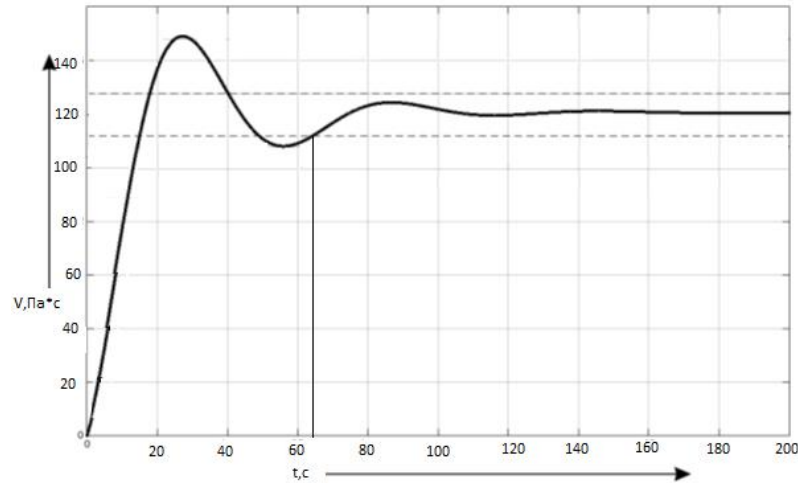


Рисунок 3.5 – Графік перехідного процесу основної технологічної змінної $T(t)$

Показники якості системи регулювання:

- час регулювання $T_{\text{рег}} = 65$ с;
- перерегулювання $\sigma = 17,2$ %.

Отримані показники відповідають вимогам завдання по якості.

Виходячи з динамічних параметрів об'єкта керування, можна встановити налаштування ПІ-регулятора в'язкості:

$$q_0 = k_{\text{Porpr}} \left(1 + \frac{DT}{2 T_{\text{Uopr}}}\right); \quad (3.22)$$

$$q_0 = 1,09 \left(1 + \frac{6,5}{2 \cdot 0,9}\right) = 5,026.$$

$$q_1 = -k_{\text{Porpr}} \left(1 - \frac{DT}{2 T_{\text{Uopr}}}\right); \quad (3.23)$$

$$q_1 = -1,09 \left(1 - \frac{6,5}{2 \cdot 0,9}\right) = 2,846.$$

$$q_{01} = k_{\text{PIopr}} \left(1 + \frac{DT}{2 T_{\text{UIopr}}}\right); \quad (3.24)$$

$$q_{01} = 5,7 \left(1 + \frac{6,5}{2 \cdot 1,8}\right) = 15,9.$$

$$q_{11} = -k_{PIopr} \left(1 - \frac{DT}{2 T_{UIopr}}\right); \quad (3.25)$$

$$q_{11} = -5,7 \left(1 - \frac{6,5}{2 \cdot 1,8}\right) = 4,5.$$

3.4 Розробка графічного інтерфейсу регулювання основної технологічної змінної в SCADA-системі TRACE MODE

У нашій роботі обираємо програмне забезпечення SCADA – системи TRACE MODE. TRACE MODE включає інструментальну систему та виконавчі (run-time) модулі. Інструментальна система використовується для розробки АСК, тоді як виконавчі модулі призначені для запуску проектів, створених в інструментальній системі TRACE MODE [15].

Розробка графічного інтерфейсу для операторських станцій виконується в редакторі подання даних. У цей редактор імпортується структура проекту, яка була створена в редакторі бази каналів.

Обравши потрібний вузол проекту, можна редагувати його графічну базу. Ця база містить усі графічні елементи, які відображаються на моніторі відповідної операторської станції.

Першим кроком є створення вузлів проекту. Було створено РС-контролер та операторську станцію (АРМ). Після цього перейшли до автоматичного формування бази каналів контролера, підключивши канали аналогового та дискретного введення/виведення [14].

Необхідно, щоб лінії зв'язку, які використовуватимуться для обміну даними (локальна мережа, послідовний інтерфейс, комутовані телефонні лінії тощо), підтримувалися всіма підключеними вузлами. Для цього перейдемо до автоматичного зведення бази каналів для обміну даними з іншими вузлами проекту.

Програма FBD для PI-регулятора підключена до каналів контролера. У редакторі представлення даних було розроблено графічний інтерфейс для

цього проекту. Щоб створити та редагувати графічні екрани, спочатку потрібно завантажити структуру проекту, а також завантажити або створити графічну базу для будь-якого вузла, що входить до запланованого проекту. Налаштування регулятора в графічному інтерфейсі зображено на рисунку 3.6.

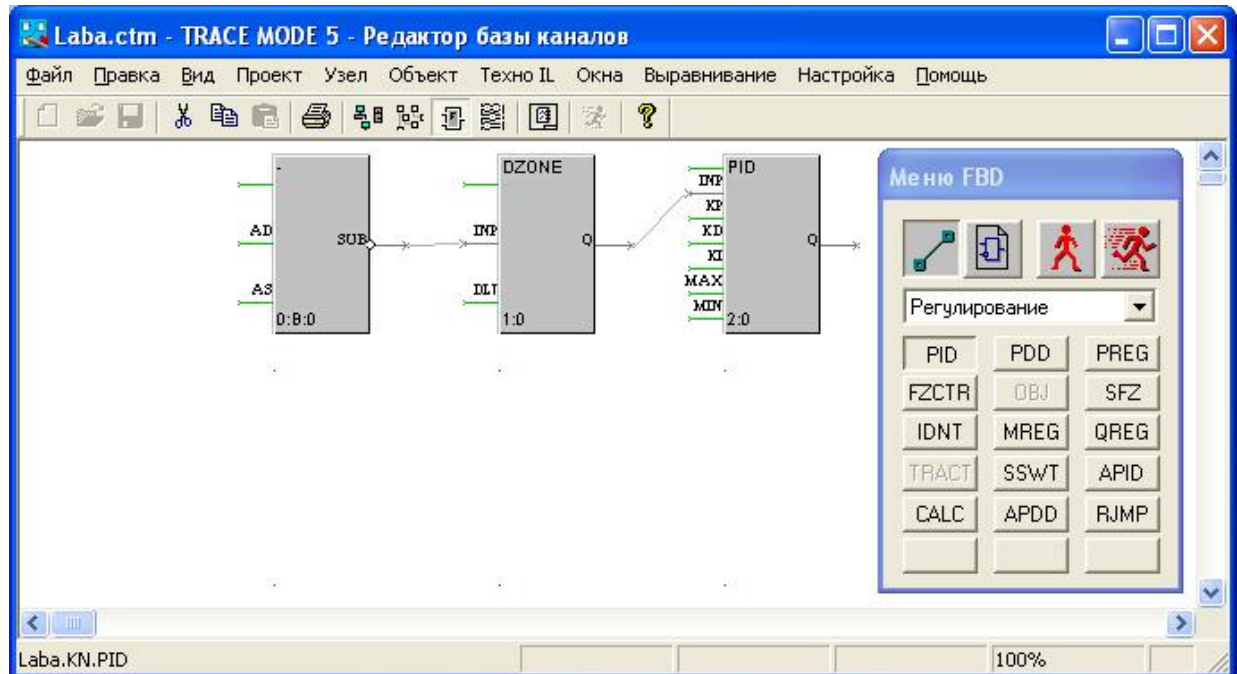


Рисунок 3.6 - Налаштування регулятора в графічному інтерфейсі

Обмін даними відбувається через послідовний інтерфейс протоколу ModBus. Було розроблено FBD-програму, яка реалізує PI-регулятор. У цій програмі обчислюється відхилення між параметром і заданим значенням, а також формуються величини керуючого впливу відповідно до PI-закону, з урахуванням обмежень, встановлених заданими межами.

Вхідний вплив PID регулятора описується такими входами:

$$KP = 1,09; KD=0; KI = 0,55.$$

де KP, KD, KI – налаштування цифрового регулятора;

MAX - максимум керування = 15.7;

AD – завдання регулятора 120 Па;

Q – вихід регулятора;

DLT – зона нечутливості;

AS – вхід регулятора;

MIN – мінімум керування.

$Q_{min}=0$

Висновки за розділом

Склали структурну та функціональну схеми автоматизації випарної установки. Сигнали актуальних значень в'язкості продукту на виході випарної установки та відведення вторинної пари отримуються за допомогою датчика в'язкості та датчика тиску відповідно. Показники якості системи регулювання відповідають вимогам завдання.

ВИСНОВКИ

Мета кваліфікаційної робота бакалавра досягнута, а саме розроблено систему автоматизації каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості, шляхом застосування сучасних засобів автоматизації технологічного процесу (мікропроцесорні програмовані контролери, промислові комп'ютери, пристрої віддаленого збору та передачі інформації тощо).

У першому розділі проаналізували структуру однокорпусної випарної установки. Виявили недоліки в існуючій системі автоматизації та визначили параметри для контролю, регулюванню, сигналізації, блокуванню. Сформулювали вимоги до проектованої САК.

У другому розділі вибрали контрольно-вимірювальні прилади, а саме датчик в'язкості, тиску, швидкості. Обрали виконавчі механізми, а саме перетворювач частоти, електродвигун, відсічний клапан, кнопочний пост, магнітний контактор. Також здійснили вибір контролера, модулів введення/виведення.

У третьому розділі склали структурну та функціональну схеми автоматизації випарної установки. Сигнали актуальних значень в'язкості продукту на виході випарної установки та відведення вторинної пари отримуються за допомогою датчика в'язкості та датчика тиску відповідно. Показники якості системи регулювання відповідають вимогам завдання.

Для автоматизації інформаційно-керуючої системи регулювання рівня технологічної ємності було застосовано систему з допомогою мікропроцесорного контролера і комп'ютера промислового виконання. Верхній рівень був реалізований на комп'ютері промислового виконання та периферійних пристроях вводу/виводу. Середній рівень був реалізований за допомогою мікропроцесорного контролера, що забезпечує регулювання технологічних змінних, програмно-логічне керування, а також сигналізацію та блокування. На нижньому рівні були розташовані модулі пристрою зв'язку з об'єктом, первинні датчики та виконавчі механізми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Процеси та обладнання хімічних технологій – 1. Базові принципи теорії теплообміну: лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. А.Р. Степанюк, С.В. Гулієнко.– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 69 с. – Назва з екрана. Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25282>
2. Онищук О.О., Кормош Ж.О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій / Онищук Оксана Олександрівна, Жолт Олександрович Кормош. - Луцьк : Вежа-Друк, 2020 – 155 с.
3. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія – К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.
4. Автоматизований електропривод ч. 2 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.І. Теряєв. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 204 с.
5. Каталог перетворювачів в'язкості. – Режим доступу: https://www.testrite.com.ua/micro_motion_density_meater_fvm.html
6. Каталог перетворювачів частоти. - Режим доступу: <https://chastotnik.ua/invt-r-che100-011g-015p>
7. Каталог електродвигунів. - Режим доступу: <https://systemax.ua/ua/elektrodvigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodvigateli/air/air160m6--15-kvt-1000-ob-min>
8. Каталог відсічних клапанів. - Режим доступу: <https://vodomir.in.ua/ua/p1448811496-klapan-gazovij-vn1n.html>

9. Каталог кінцевих вимикачів. - Режим доступу:
<https://tdelectric.com.ua/p64429611-vyklyuchatel-kontsevoj-plastikovym.html>
10. Каталог контакторів. - Режим доступу:
<https://etal.ua/ru/product/kontaktor-pml-2160dm-o4b-220v/>
11. Каталог кнопочних постів. - Режим доступу:
<https://axiomplus.com.ua/knopki/product-83887>
12. Каталог програмованих контролерів. - Режим доступу:
<https://www.proxis.ua/uk/product/programmable-controller-Advantech-ADAM-5510>
13. Каталог модулів введення/виведення. - Режим доступу:
<https://www.proxis.ua/uk/product/input-output-modules-Advantech-ADAM-5000>
14. SCADA-системи. Практикум. Частина 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник для ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. М. Лісовець, В. Г. Здоренко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 84 с.
15. SCADA-системи. Практикум. Частина 2 [Електронний ресурс] : навчальний посібник для ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології) і освітньо-професійною програмою «Інформаційні вимірювальні технології» спеціальності 175 Інформаційновимірювальні технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. Г. Здоренко, С. М. Лісовець. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 52 с.
16. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
– Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – 18 с

Додатки

ДОДАТОК А
CHAPTER 1
ANALYSIS OF THE EVAPORATION PROCESS IN EVAPORATORS

1.1 Analysis of the evaporation process in single-shell evaporators

Starting the analysis of the evaporation process, it is advisable to consider the concept of evaporation in detail. So, evaporation is the process of concentrating solutions containing practically non-volatile or low-volatile substances in liquid volatile solvents. This process is applied to solutions of solids, as well as liquids with a high boiling point, which have a very low vapor pressure at the evaporation temperature.

During evaporation, the solvent is usually partially removed from the entire volume of the solution at its boiling point. Thus, evaporation differs significantly from the process known as evaporation, which occurs from the surface of the solution at temperatures below the boiling point. In some cases, the evaporated solution is subject to further crystallization in specially adapted evaporators.

Note that for evaporation, various heat carriers used for heating can be used. However, in most cases, water vapor, which is called primary, is used as the heating agent. The vapor formed during the evaporation of a boiling solution is usually called secondary.

It has been estimated that savings in primary vapor and fuel can be achieved in single-shell evaporation plants with a heat pump. In such systems, the secondary vapor leaving the apparatus is compressed by a heat pump to a pressure corresponding to the temperature of the primary vapor. After that, it is fed back into the apparatus for evaporation of the solution.

The above-mentioned apparatus consists of a heat exchange device, which includes a heating chamber 1 and a separator 2. These elements can be integrated into one device (Fig. 1) or the chamber can be located separately and connected to the separator by pipes. The chamber is usually heated by water-saturated steam,

which is supplied to the intertube space. Condensate is removed from the lower part of the chamber.

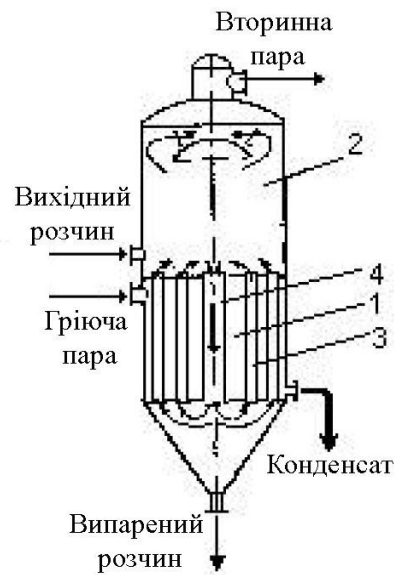


Figure 1.1 – General view of a single-shell evaporation plant

Rising through the pipes 3, the evaporating solution is heated and boils with the formation of secondary steam. The separation of steam from the liquid occurs in the separator 2. The secondary steam, freed from splashes and drops, is removed from the upper part of the separator.

Part of the liquid descends through the circulation pipe 2 to the lower pipe grids of the heating chamber. Due to the difference in density of the solution in pipe 4 and the vapor-liquid emulsion in pipes 3, the liquid circulates in a closed circuit. The evaporated solution is discharged through a fitting in the bottom of the apparatus.

If evaporation is carried out under vacuum, the secondary vapor is discharged to a condenser, which is connected to a vacuum pump. The evaporated solution is discharged from the conical bottom of the apparatus.

1.2 Analysis of the existing automatic viscosity control system in an evaporation plant

Our work presents an automation scheme for a cascade automatic system for regulating the viscosity level in an evaporation plant. The functional scheme actually includes: a viscosity sensor, a secondary device for displaying and recording viscosity, a product viscosity regulator, a vapor pressure sensor, a secondary device for monitoring and recording pressure, a product pressure regulator, a pump motor, a frequency converter, a push-button motor control post, a shut-off valve and a push-button valve control post.

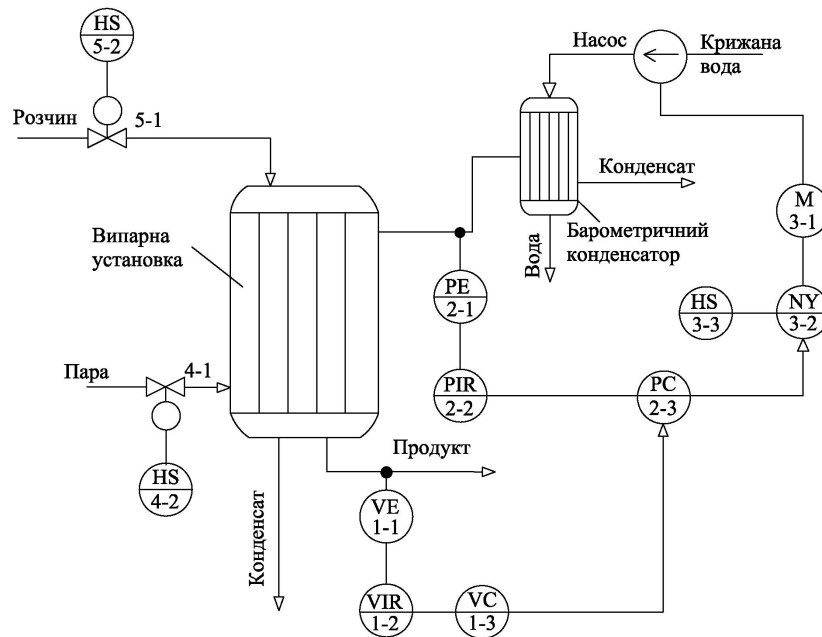


Figure 1.2 – Functionality of the existing automation of the cascade automatic viscosity control system in the evaporation plant

The system needs to regulate the viscosity to achieve the set value. The solution and steam are fed into the plant through valves 5-1 and 4-1, respectively. Under the influence of the steam temperature and the speed of its discharge into the condenser, we obtain the finished product at the output. During the evaporation process, condensate and secondary steam are also formed, which are discharged from the plant. The secondary steam enters the barometric condenser, where cold water is pumped by a pump driven by the M motor (3-1). After that, water and condensate are discharged from the condenser.

Note that the pump performance is regulated using a frequency converter NY (3-2). Automatic viscosity control is provided by a viscosity sensor VE (1-1)

and a viscosity controller VC (1-3). Therefore, the amount of the initial product is controlled by means of a secondary indicating and recording device for viscosity control VIR (2-1).

It should be noted that automatic pressure control is carried out by means of a special pressure sensor PE (2-1) and a pressure regulator PC (2-3). The vapor pressure is controlled by means of a secondary indicating and recording special device PIR (2-1).

Table 1.1 – Positional designation of elements

Positional notation	Name	Letter designation
1-1	Viscosity sensor	VE
1-2	Secondary viscosity display and recorder	VIR
1-3	Viscosity regulator	VC
2-1	Steam pressure sensor	PE
2-2	Secondary pressure indicating and recording device	PIR
2-3	Pressure regulator	PC
3-1	Pump motor	M
3-2	Frequency converter	NY
3-3	Push-button engine control post M	HS
4-1	Shut-off valve	
4-2	Pushbutton control post valve 4-1	HS
5-1	Shut-off valve	
5-2	Pushbutton valve control post 5-1	HS

1.3 Determination of parameters for control, regulation, signaling, blocking

A modern drying plant provides for viscosity and pressure regulation. In this scheme, parameters such as the viscosity V of the product are subject to regulation by controlling and regulating the pressure P of the secondary steam.

For the analyzed plant, it is necessary to set and maintain the required value of the product viscosity ($V_{back}=120 \text{ Pa s}$) using the pressure regulator PC (2-3) and the viscosity regulator VC (1-3). Accordingly, when the viscosity changes, it is necessary to regulate the supply of ice water.

The pressure in the pipeline is controlled using a pressure sensor (PE 7-6). The speed of the engine M1 (3-1) is controlled using a speed sensor (SE 7-5). To monitor the position of the valves (4-1, 5-1, 6-4, 7-1), limit switches for closing and opening are used: GE (4-3), GE (5-3), GE (5-4), GE (6-2), GE (6-3), GE (7-2), GE (7-3).

The viscosity of the product is controlled using a viscosity sensor (VE 1-1), and the pressure is controlled using a pressure sensor (PE 2-1).

To ensure safe operation of the system, an automatic emergency protection (PAZ) with a maximum viscosity level of the product ($V_{maxPAZ}=130 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) and an automatic alarm (AS) should be implemented, which will be triggered when the viscosity reaches the maximum level mark ($V_{maxAC}=120 \text{ Pa}\cdot\text{s}$).

A detailed branched automation diagram of the cascade automatic viscosity control system in the evaporation plant, including all the necessary sensors, is presented in Figure 1.2. The positions of all elements are given in Table 1.2.

The pump is started and, accordingly, stopped using the HS (8-1) push-button station for starting and HS (9-1) for stopping. To switch from manual mode to automatic control, the HS (10-1) switch is required. The frequency converter NY (3-2) is controlled via the NS (3-4) intermediate relay, which sends a signal to turn it on.

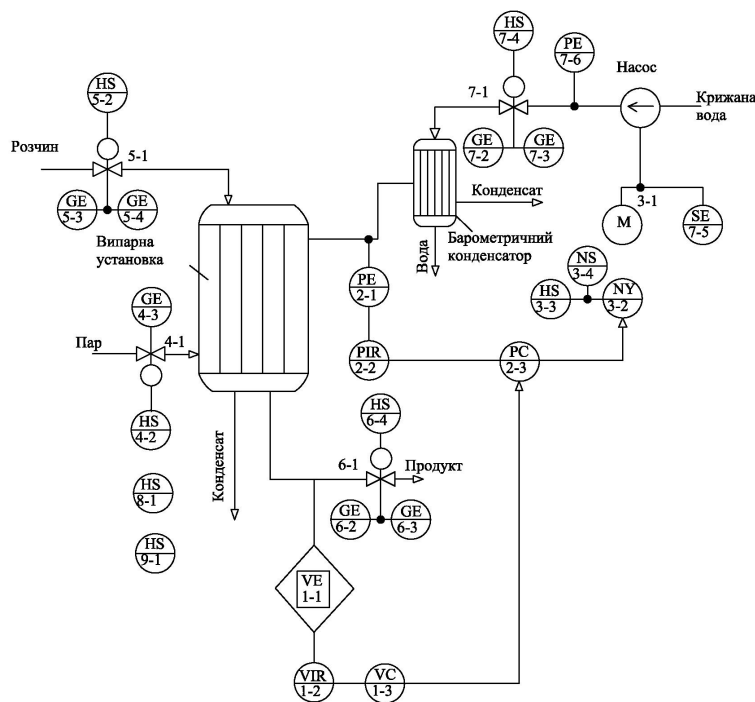


Figure 1.3 – Functional diagram of automation of cascade automatic viscosity control system in an evaporation plant

Table 1.2 – Positional designation of elements

Positional notation	Name	Letter designation
1–1	Viscosity sensor	VE
1–2	Secondary viscosity display and recorder	VIR
1–3	Viscosity regulator	VC
2–1	Steam pressure sensor	PE
2–2	Secondary pressure indicating and recording device	PIR
2–3	Pressure regulator	PC
3–1	Pump motor	M
3–2	Frequency converter	VY
3–3	Push-button engine control post M	HS
3–4	Magnetic starter	HS
4–1	Shut-off valve	
4–2	Pushbutton control post valve 4-1	HS
4–3	Valve closing limit switch 4-1	GS
5–1	Shut-off valve	
5–2	Pushbutton valve control post 5-1	HS
5–3	Limit switch for opening valve 5-1	GS
5–4	Valve closing limit switch 5-1	GS
6–1	Shut-off valve	
6–2	Limit switch for opening valve 5-1	GS
6–3	Valve closing limit switch 5-1	GS
6–4	Pushbutton valve control post 6-1	HS
7–1	Shut-off valve	
7–2	Limit switch for opening valve 5-1	GS
7–3	Valve closing limit switch 5-1	GS
7–4	Valve push-button control post 7-1	HS
7–5	Speed sensor	SE
7–6	Pressure sensor	PE
8–1	Push-button post "start"	HS
9–1	Button post "stop"	
10–1	Push-button post "operating mode selection"	HS

1.4 Requirements for the information and control system of the automation of the evaporation plant

In the modern world, the management organization in the automated control system (ACS) of the technological process (TP) needs to obtain information about the course of the technological process and determine the optimal operating modes of the object. This involves the implementation of the identified optimal influences on the technological control object (TOU).

The main information functions of the ACS TP are:

measurement and registration on the computer of the viscosity level of the product leaving the evaporation plant. The operating value is 120 ± 2 Pa. s;

product flow rate regulation;

signaling of the extreme positions of the actuator (valves);

signaling the state of the pump motor on the computer.

control of the pump on and off.

The control functions of the ACS TP include actions aimed at the formation and implementation of control influences on the TOU.

The main control functions are:

stabilization of TP parameters at levels determined by technological regulations;

program control according to specified algorithms, including starting and stopping individual machines and devices;

formation and implementation of control influences that ensure the achievement of the optimal mode according to technological or technical and economic criteria.

To achieve the required level of automation of the system under consideration, it is necessary to implement a three-level supervisory control system using a local microprocessor controller (Micro-PC) and an industrial computer (PC).

The upper level is implemented on an industrial computer. This computer performs the functions of a display and recording device that displays the course of the technological process in a graphical format understandable to the user, with the possibility of making adjustments.

The middle level of the system is implemented using an integrated Micro-PC processor module. This module provides regulation of technological variables, program-logic control, as well as signaling and blocking. Communication with sensors and actuators is carried out through connected modules, such as a discrete input module, an analog input module, a relay switching module and an analog output module. In addition, the processor module is equipped with interface connectors: RS-485 for communication with a frequency converter, VGA for connecting a local display and Ethernet for communication with a PC computer

The sensors and actuators are located at the lower level. The control structure proposed in our study has a unique feature: the upper and middle control levels can replace each other in the event of a failure of one of them. If the computer fails, the process can be completed using a microprocessor controller and a remote control, or appropriate repairs can be carried out. In the event of any failures at the middle level, the computer is able to independently control the process. The automated technological complex is integrated into a common information space with higher-level computers through the appropriate communication interfaces.

Conclusions by section

The structure of a single-shell evaporation plant was analyzed. Deficiencies in the existing automation system were identified and parameters for control, regulation, signaling, and blocking were determined. Requirements for the designed AAC were formulated.

ДОДАТОК Б

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Розроблення САК технологічного процесу регулювання в'язкості випарної установки

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

студент 401МЕ групи

Керівник:

к.т.н, доцент

Михненко О.М.

Єрмілова Н.В.

Полтава 2025

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра є автоматизація каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості, шляхом застосування сучасних засобів автоматизації технологічного процесу (мікропроцесорні програмовані контролери, промислові комп'ютери, пристрої віддаленого збору та передачі інформації тощо).

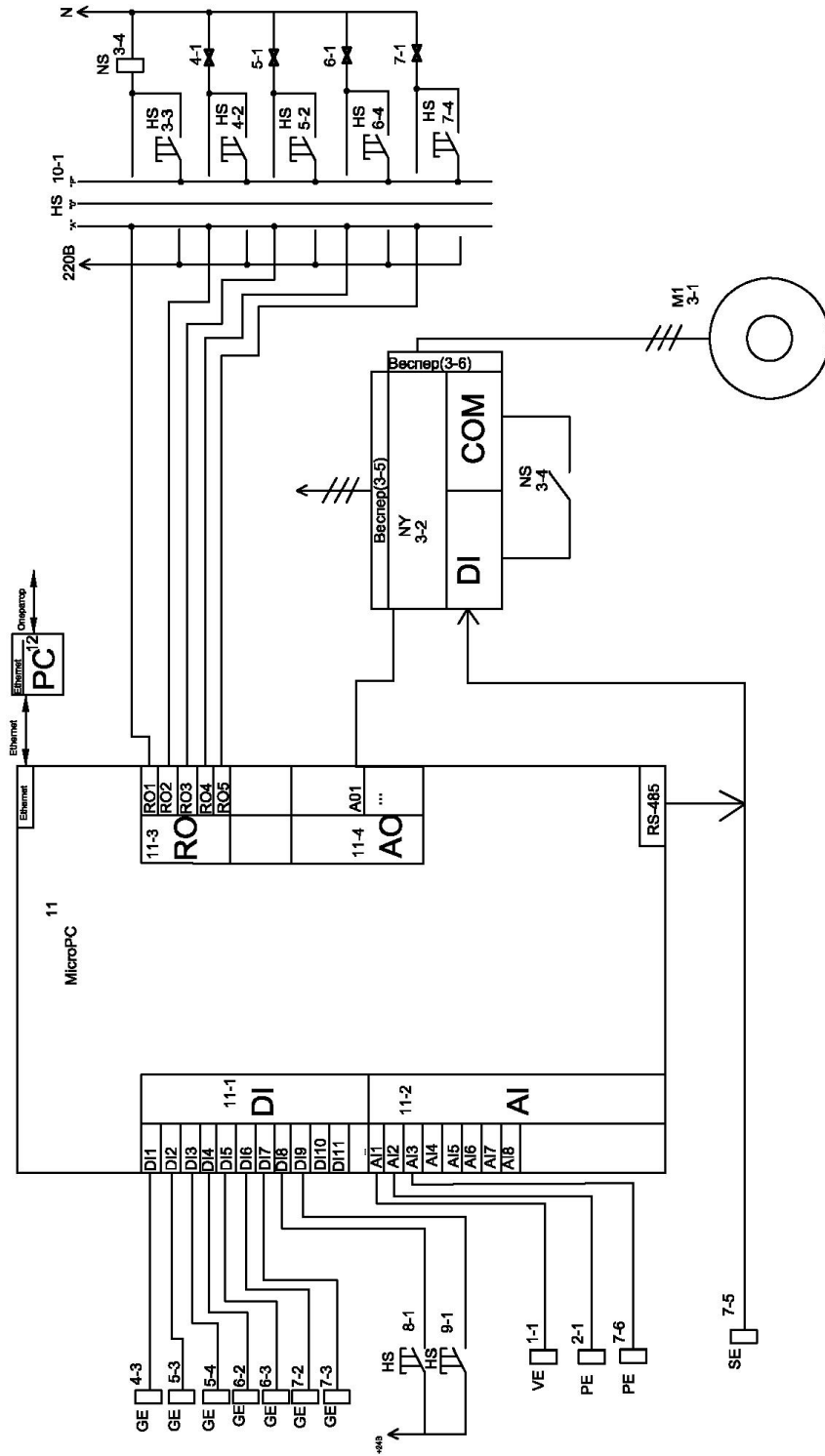
Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є дослідження можливості розробки САК технологічного процесу регулювання в'язкості випарної установки.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є технологічний процес регулювання в'язкості випарної установки.

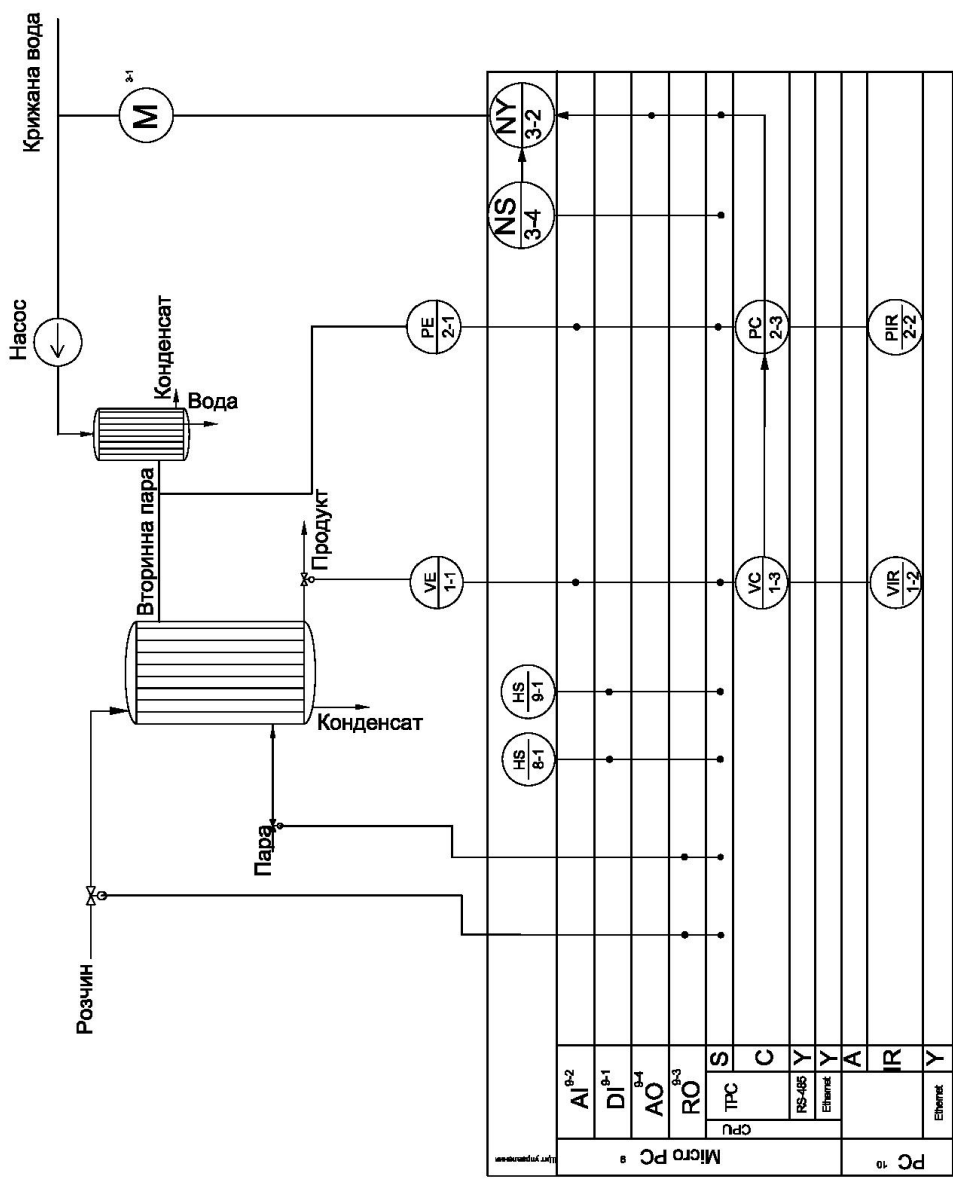
Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- розробити функціональну систему автоматизації;
- вибрати комплекс програмно-технічних засобів інформаційно-керівної системи автоматизації;
- виконати структурно-параметричний синтез каскадної автоматичної системи регулювання основної технологічної змінної.

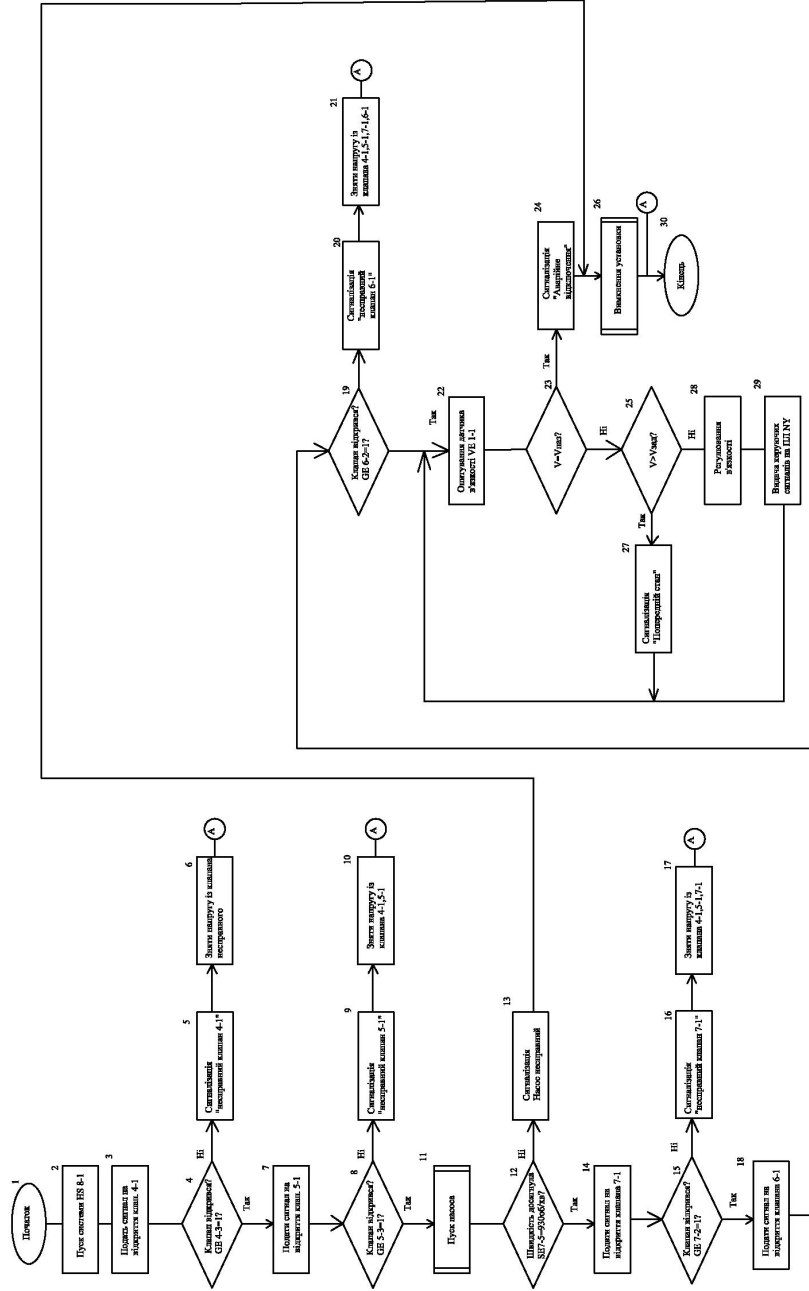
Схема структурна випарної установки



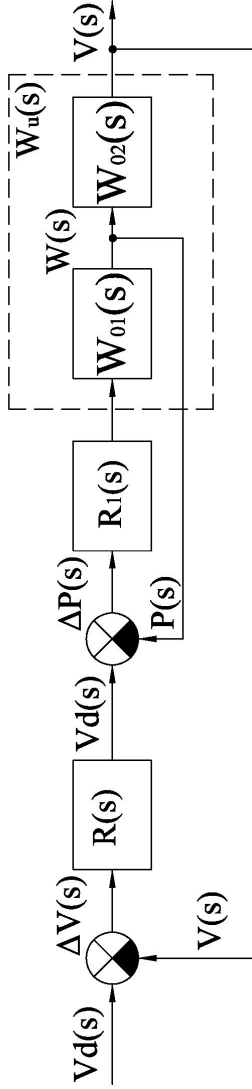
Функціональна схема автоматизації випарної установки



Алгоритм керування випарною установкою



Структурна схема каскадної САК випарної установкою



$$W_{01}(s) = \frac{k_{01}}{V_u \cdot S + 1} \cdot e^{-\tau_{01} \cdot s} = \frac{2,4}{25 \cdot S + 1} \cdot e^{-0,6s};$$

$W_u(s)$ – передатна функція об'єкта управління;

$$W_u(s) = \frac{k_u}{V_u \cdot S + 1} \cdot e^{-\tau_u \cdot s} = \frac{3,8}{65 \cdot S + 1} \cdot e^{-2s};$$

$W_{02}(s)$ – передатна функція об'єкта управління основного контуру регулювання;

$$W_{02}(s) = \frac{k_u \cdot (T_{01} \cdot S + 1)}{k_{01} \cdot (T_u \cdot S + 1)} \cdot e^{-(\tau_u - \tau_{01}) \cdot s} = \frac{4,8 \cdot (25S + 1)}{2,4 \cdot (65S + 1)} \cdot e^{-(2-l)s} = \frac{120S + 4,8}{156S + 24} \cdot e^{-0,25s};$$

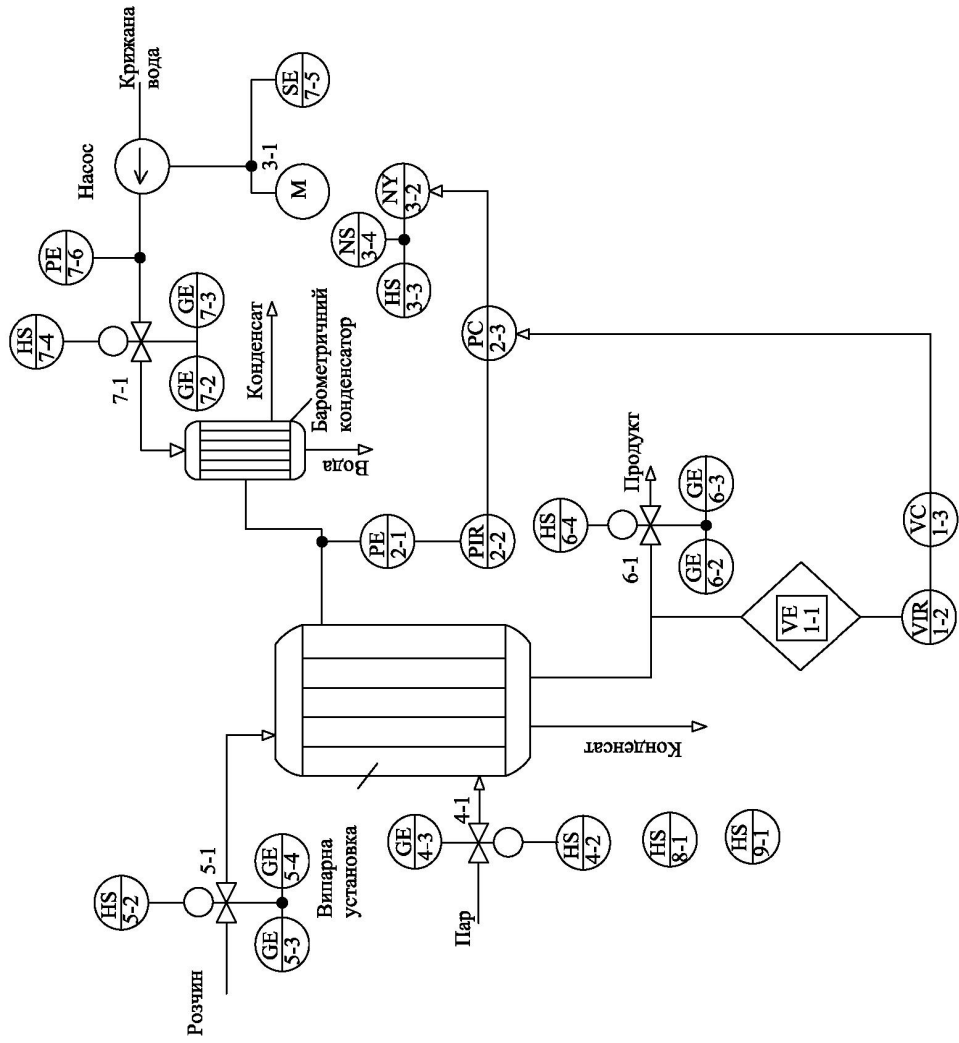
$R(s)$ – передатна функція основного регулятора (регулятора в'язкості у випарній установці):

$$R(s) = k_{\text{Рopt}} + \frac{1}{T_{\text{цopt}} \cdot S};$$

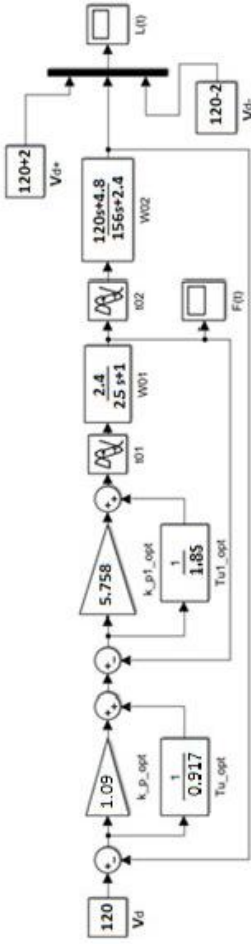
$R_1(s)$ – передатна функція допоміжного регулятора (регулятора тиску пари):

$$R_1(s) = k_{\text{Р1opt}} + \frac{1}{T_{\text{ц1opt}} \cdot S};$$

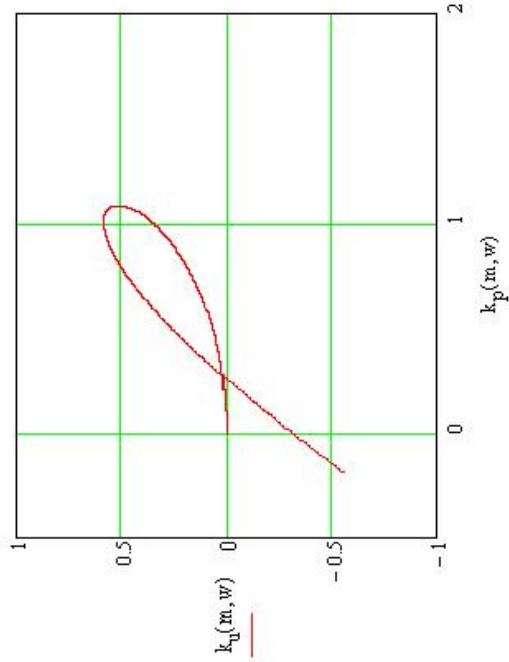
Функциональная схема каскадной САК випарною установкою



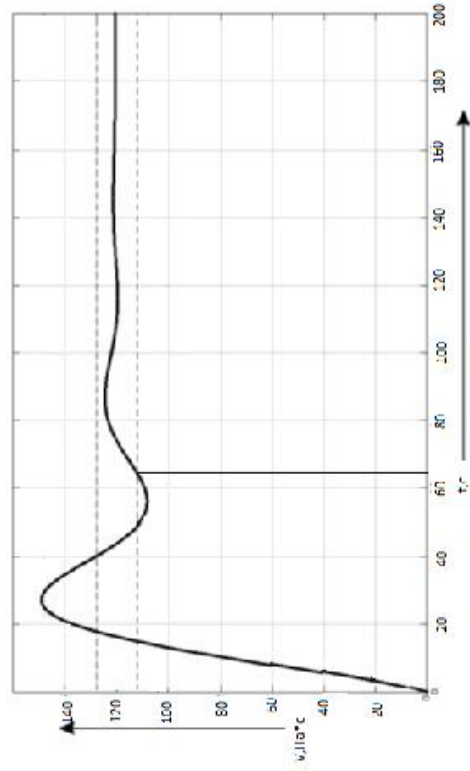
Динамічні характеристики регулювання в'язкості



Математична модель на дослідження динамічної характеристики $V(t)$

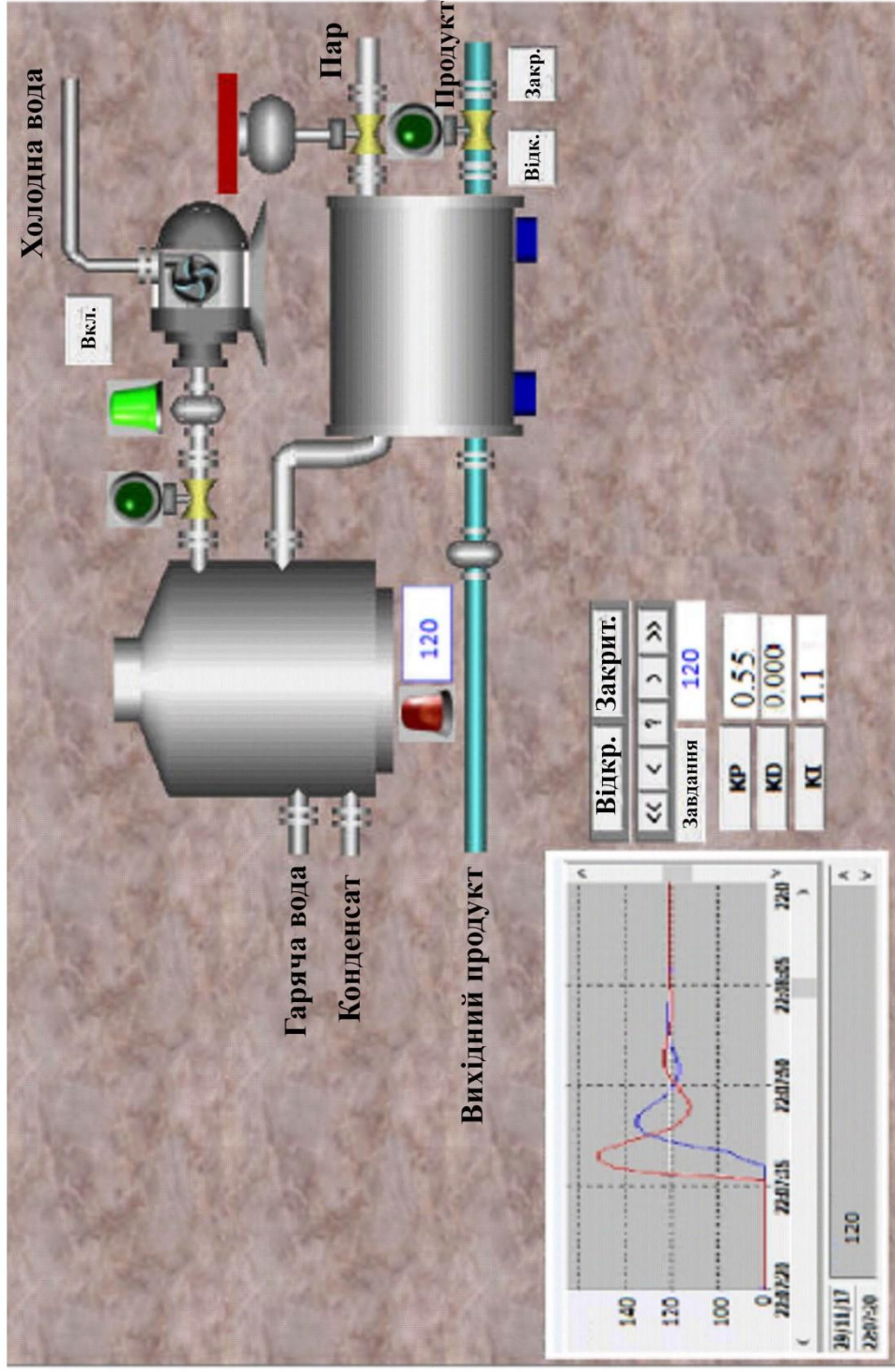


Графік рівного значення ступеня коливання m



Графік перехідного процесу основної технологічної змінної $V(t)$

Графічний інтерфейс регулювання в'язкості в SCADA-системі



Висновки

Мета кваліфікаційної робота бакалавра досягнута, а саме розроблено систему автоматизації каскадної автоматичної системи регулювання в'язкості, шляхом застосування сучасних засобів автоматизації технологічного процесу (мікропроцесорні програмовані контролери, промислові комп'ютери, пристрої віддаленого збору та передачі інформації тощо).

У першому розділі проаналізували структуру однокорпусної випарної установки. Виявили недоліки в існуючій системі автоматизації та визначили параметри для контролю, регулюванню, сигналізації, блокуванню. Сформулювали вимоги до проектованої САК.

У другому розділі вибрали контрольно-вимірювальні прилади, а саме датчик в'язкості, тиску, швидкості. Обрали виконавчі механізми, а саме перетворювач частоти, електродвигун, відсічний клапан, кнопочний пост, магнітний контактор. Також здійснили вибір контролера, модулів введення/виведення.

У третьому розділі склали структурну та функціональну схеми автоматизації випарної установки. Сигнали актуальних значень в'язкості продукту на виході випарної установки та відведення вторинної пари отримуються за допомогою датчика в'язкості та датчика тиску відповідно. Показники якості системи регулювання відповідають вимогам завдання.

Дякую за увагу!