

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ**  
**ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“Автоматизація технологічного процесу випарювання кавового екстракту”**

Виконав: студент гр. Акт-42 сп  
Спеціальності 151 – „Автоматизація та  
комп’ютерно-інтегровані технології”  
(шифр і назва)

Біда Валентин Юрійович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Лиса О.В.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: д.т.н., проф. Власовець В.М.  
(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
Спеціальність 151 – „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту

Біда Валентин Юрійович

1. Тема роботи: Автоматизація технологічного процесу випарювання кавового екстракту

Керівник роботи Лиса Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 27 листопада 2023 року № 641/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 14.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта процесу випарювання кавового екстракту; 2. Функціональні ознаки технологічного процесу випарювання кавового екстракту; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу випарювання кавового екстракту як об'єкта керування.

2. Розробка функціональної схеми автоматизації і обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації.

3. Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання технологічного процесу випарювання кавового екстракту.

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проекрованої системи автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел.

Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу Тема, автор, керівник роботи; Схема двоступеневої вакуум-випарної установки Технологічна карта процесу; Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами та факторами, що впливають на роботу вакуум-випарної установки; Спрощена функціональна схема автоматизації вакуум-випарної установки для згущення кавового екстракту; Схема функціонального блоку SFB 41/FB 41 "CONT C"; Схема під'єднання фронтальних з'єднувачів X11 та X12 в CPU 314C-2DP; Схема під'єднання давача рівня до фронтального з'єднувача X11; Схема під'єднання масового витратоміра до модуля SM 331( AI8x12Bit).; Структурна схема моделювання САР, реалізована в середовищі SIMULINK; Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах ПІ-регулятора при зміні завдання регулятора на 5 мм.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Лиса О.В., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2023 р.

### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	28.11.23-21.01.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	23.01.24-01.03.24	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	02.03.24-01.04.24	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці</i>	02.04.24-21.04.24	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	22.04.24-06.05.24	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	07.05.24-22.05.24	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	23.05.24-14.06.24	

Студент \_\_\_\_\_ Біда В.Ю.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Лиса О.В.  
(підпис)

## УДК 631.365.2

Автоматизація технологічного процесу випарювання кавового екстракту.  
Біда В.Ю. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій  
– Дубляни, ЛНУП, 2024.

78 с. текст. част., 26 рис., 5 табл., 18 літ. джерел, 3 додатки.

Текстова частина включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел.

У вступі висвітлено суть процесу випарювання кавового екстракту, обгрунтовано необхідність його автоматизації.

В першому розділі викладено теоретичні основи технологічного процесу випарювання кавового екстракту в окремих технологічних апаратах і машинах, наведено основні технологічні характеристики, матеріальний та тепловий баланси і визначено параметри, які потрібно регулювати.

В другому розділі проведено вибір технічних засобів автоматизації, в тому числі програмованого логічного контролера Siemens Simatic S7-30. Описано програму функціонування контролера Simatic S7-300 для автоматизації вакуум-випарної установки.

У третьому розділі досліджено систему автоматичного регулювання рівня екстракту в другому корпусі вакуум-випарної установки, здійснено вибір автоматичного регулятора та визначено його оптимальні параметри настроювання. Досліджено перехідні процеси, та визначені їх показники якості, описано схеми автоматизації, подано специфікацію засобів автоматизації.

У четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього середовища.

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, мікропроцесорний контролер, закон регулювання, моделювання, крива розгону, Matlab.

## АНОТАЦІЯ

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи автоматичного керування процесом випарювання кавового екстракту.

В роботі описано процес випарювання кавового екстракту, наведено основні технологічні характеристики, матеріальний та тепловий баланси і визначено параметри, які потрібно регулювати. Визначено вхідні, вихідні та збурюючі величини, які впливають на перехідний процес і побудовано структурні схеми взаємозв'язків, аналіз якої дає змогу обґрунтувати вибрану функціональну схему автоматизації.

Проведено вибір технічних засобів автоматизації, в тому числі програмованого логічного контролера Siemens Simatic S7-300. Описано програму функціонування контролера Simatic S7-300 для автоматизації вакуум-випарної установки.

Досліджено систему автоматичного регулювання рівня екстракту в другому корпусі вакуум-випарної установки, здійснено вибір автоматичного регулятора та визначено його оптимальні параметри настроювання. Досліджено перехідні процеси, та визначені їхні показники якості.

Описані заходи з охорони праці і пожежної безпеки при роботі даної установки. Розрахована економічна ефективність проектованої системи автоматизації випарювання кавового екстракту.

## ABSTRACT

The purpose of the qualification work is to develop a system for automatic control of the coffee extract evaporation process.

The work describes the process of evaporation of coffee extract, gives the main technological characteristics, material and heat balances, and defines the parameters that need to be regulated. The input, output, and disturbing values that affect the transition process are determined and the structural diagrams of relationships are constructed, the analysis of which makes it possible to justify the selected functional automation scheme.

A selection of technical means of automation was made, including the Siemens Simatic S7-30 programmable logic controller. The operating program of the Simatic S7-300 controller for the automation of a vacuum evaporation plant is described.

The system of automatic adjustment of the extract level in the second case of the vacuum evaporation unit was investigated, the automatic regulator was selected and its optimal setting parameters were determined. Transient processes were studied, and their quality indicators were determined.

Occupational health and fire safety measures during the operation of this installation are described. Calculated economic efficiency of the designed automation system of coffee extract evaporation.

## ЗМІСТ

<b>Вступ.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Аналіз технологічного процесу випарювання кавового екстракту як об'єкта керування.....</b>	<b>7</b>
1.1. Опис технологічного процесу випарювання кавового екстракту.....	7
1.2. Теоретичні основи технологічного процесу випарювання кавового екстракту в окремих технологічних апаратах і машинах.....	10
1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта.....	13
1.4. Визначення і аналіз факторів, що впливають на технологічний процес.....	15
1.5. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта.....	17
<b>2. Розробка функціональної схеми автоматизації і обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації.....</b>	<b>18</b>
2.1. Визначення об'єму автоматизації технологічного процесу.....	18
2.2. Опис технічних засобів автоматизації.....	22
2.3. Опис характеристик мікропроцесорного контролера Siemens Simatic S7-300.....	29
2.4. Опис програми функціонування контролера SimaticS7-300 для автоматизації вакуум-випарної установки.....	35
2.5. Опис принципової електричної схеми підключень.....	42
<b>3. Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання технологічного процесу випарювання кавового екстракту.....</b>	<b>47</b>
3.1. Вибір структури моделі та розрахунок параметрів математичної моделі об'єкта регулювання.....	47
3.2. Знаходження числових значень параметрів моделі об'єкта чисельним методом...	50
3.3. Розрахунок оптимальних настроювальних параметрів автоматичного ПІ-регулятора.....	52
3.4. Моделювання системи автоматичного регулювання рівня екстракту в другому корпусі вакуум-випарної установки.....	57
3.5. Опис функціональної схем автоматизації.....	61
3.6. Специфікація засобів автоматизації.....	63
<b>4. Охорона праці .....</b>	<b>67</b>
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці.....	67
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці.....	68
4.3. Пожежна безпека.....	72
<b>5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації.....</b>	<b>73</b>
<b>Висновок.....</b>	<b>77</b>
<b>Список використаних джерел.....</b>	<b>79</b>

## Вступ

Одним із шляхів науково-технічного прогресу є автоматизація, спрямована на застосування саморегульованих технічних засобів, математичних, економічних і економічних методів і систем управління. Ці методи звільняють людей від участі в процесах отримання, перетворення, передачі та використання енергії, матеріалів чи інформації або значно мінімізують ступінь такої участі або складність виконуваних операцій. Фраза «автоматизований» використовується в поєднанні з поняттям «автоматизований», що підкреслює порівняно високий рівень участі людини в процесі.

Автоматизація звільняє від необхідності керувати механікою безпосередньо. У автоматизованому процесі виробництва роль людини зводиться до налагодження, регулювання, обслуговуванні засобів автоматизації і спостереженню за їхньою дією. Якщо механізація полегшує фізичну працю людини, то автоматизація має на меті полегшити так само і розумову працю. Експлуатація засобів автоматизації вимагає від обслуговуючого персоналу високої техніки кваліфікації.

Автоматизація технологічних процесів дає значні переваги:

- 1) забезпечує зменшення чисельності робочого персоналу, тобто підвищення продуктивності його праці;
- 2) приводить до зміни характеру праці обслуговуючого персоналу;
- 3) підвищує безпеку праці і надійність роботи устаткування;

Одним з найважливіших технологічних та теплотехнічних елементів кавового виробництва є багатокорпусна випарна установка (БКВУ) . Для економії палива при випарюванні використовують принцип багатократного використання тепла граючої пари. Рух розчину, що випарюється та сокових парів здійснюється в результаті зменшення тиску з першого до останнього корпусу, який підтримується за допомогою вакуум-насосу та пластинчастого конденсатора.

Оскільки процес випарювання в БКВУ відбувається безперервно, а кількість екстракту, який надходить, його густина та відбір пари з апаратів та інші параметри змінюються з часом, до автоматизації процесу випарювання пред'являються ряд

вимог, серед яких: довготривала підтримка заданої кінцевої густини екстракту; стійке забезпечення вторинною парою зовнішніх теплових користувачів; мінімальна можлива витрата технологічної пари, яка визначається прийнятою на заводі схемою виробництва.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи автоматичного керування процесом випарювання кавового екстракту.

Об'єктом дослідження є процес випарювання кавового екстракту.



# **1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ КАВОВОГО ЕКСТРАКТУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ**

## **1.1. Опис технологічного процесу випарювання кавового екстракту**

У сучасних випарних установках використовується багато контрольно-вимірювальних приладів для теплотехнічного контролю за роботою обладнання. Вони призначені для автоматичного повернення всієї випарної станції до заданого стану. За показами цих приладів ведуть оптимальний експлуатаційний режим роботи випарних агрегатів, їх випробування й налагодження, а також стежать за надійністю і економічністю роботи установки. Контрольно-вимірювальні прилади мають винятково важливе значення для нормальної роботи процесу видалення надлишку води, тому що являються надійним засобом відтворення та обробки інформації про технологічні й теплотехнічні процеси, що протікають у випарній установці.

Для нормального протікання технологічного процесу випарювання екстракту кавопродуктів у випарній установці обов'язковою умовою є дотримання заданих параметрів рівня по корпусах випарної станції. У зв'язку з цим, до точності підтримки заданого значення рівня пред'являються дуже високі вимоги і від якості регулювання рівня залежить якість роботи випарної станції.

В випарній установці гріюча пара подається лише в перший корпус, а гріючим середовищем наступних є сокова пара (вторинна) яка утворюється під час випарювання надлишку води з екстракту, і служить як гріюча для камери наступного корпусу. Цим забезпечується економія умовного палива. Але така пара буде з меншим потенціалом, меншою температурою і тиском. Ось чому по корпусах випарної установки має бути різний тиск. Впровадження системи автоматизації для даного параметра забезпечить надійність технологічного режиму.

Регулювання розрідження на випарній установці відбувається в пластинчастому конденсаторі. Якщо розрідження знаходиться в заданих межах, то випарна установка працює без перебоїв, відбувається нормальне перетікання соку

по корпусах та нормальний температурний режим. Система автоматизації дає можливість точного контролю та регулювання розрідження на випарній установці.

Для нормального теплового режиму роботи випарної установки необхідно своєчасно відводити конденсат з випарних камер.

Тому, враховуючи вище зазначені особливості випарної установки, необхідно з особливою увагою підходити до питання його автоматизації, а саме вибір засобів автоматизації, з урахуванням економічного ефекту.

В кавовій промисловості зокрема для згущення екстракту кавопродуктів використовують вакуум-випарну установку (ВВУ) швейцарської фірми Альфа Лаваль. Продукт згущується внаслідок неперервного відведення пари від киплячого продукту. По фізичній суті це масообмінний процес, що відбувається при підведенні теплоти.

Випарний апарат, який використовують в кавовій промисловості, працює під вакуумом, що дозволяє знизити температуру кипіння і таким чином запобігти фізико-хімічним змінам, що можуть відбутися в кавопродуктах.

Конструктивно вакуум-випарний апарат має типові елементи: підігрівач-теплообмінник для попереднього підігріву продукту; калоризатор (теплообмінник) трубчастий або пластинчастий, в якому проходить кипіння продукту і випаровування води; паросепаратор — для розділення пари і крапель продукту, ежектор, конденсатор, вакуумний насос — для відсмоктування вторинної пари та несконденсованих газів і створення вакууму, система насосів для відведення згущеного продукту і конденсату. Калоризатор і паросепаратор складають так звану ступінь, або корпус установки.

Принципова схема двоступеневої вакуум-випарної установки показана на рис.1.1. Вхідний екстракт насосом 1 подається в теплообмінник 2 (де підігрівається конденсатом до певної температури), а потім - у перший корпус 3 випарної установки. Попередній підігрів екстракту підвищує інтенсивність кипіння в випарному апараті 3.

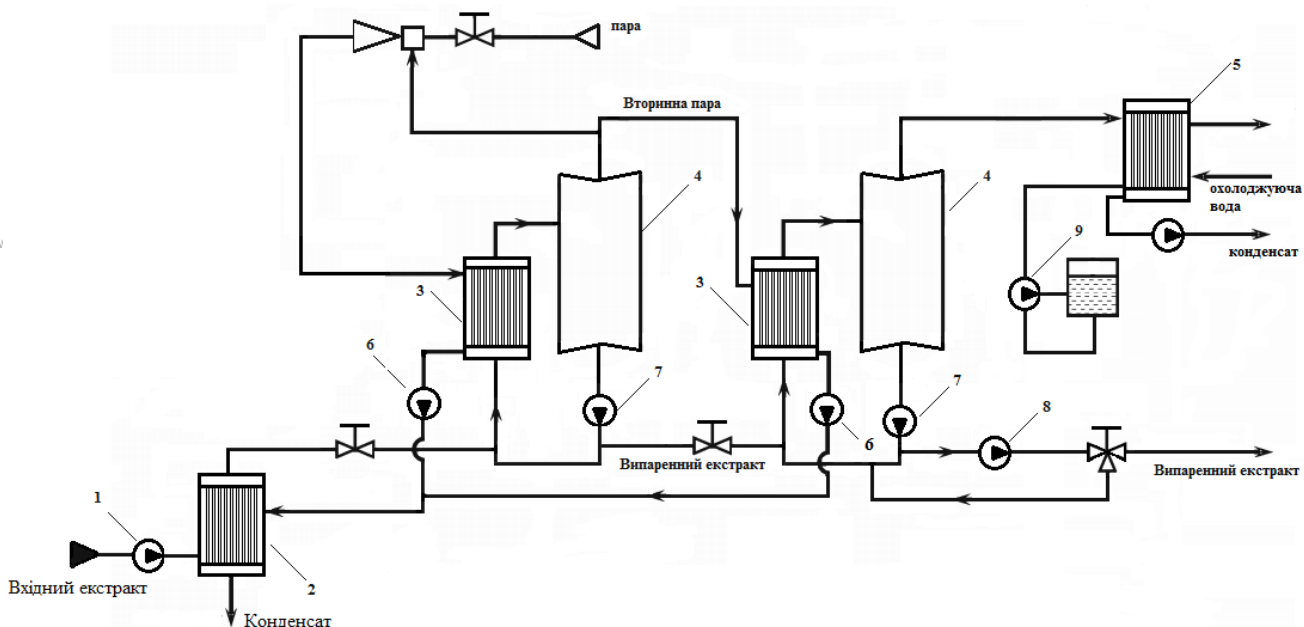


Рис. 1.1. Схема двоступеневої вакуум-випарної установки: 1-насос для подачі екстракту; 2 - теплообмінник для попереднього нагріву екстракту; 3- пластинчастий випарний апарат; 4 – паросепаратор; 5 – пластинчастий конденсатор; 6-насос для відкачування конденсату; 7 – циркуляційний насос; 8 – насос для відкачування продукту; 9 – вакуум-насос

Перший корпус обігрівается свіжою водяною парою. Вторинна пара, яка утворилася при згущенні екстракту в першому корпусі, направляється як гріюча пара в другий корпус 3 випарної установки.

Новоутворена парорідинна суміш з пластинчастого випарного апарату 3 прямує в паросепаратор 4, де відбувається поділ рідкої і парової фаз. Вторинна пара, пройшовши паросепаратор і бризкоуловлювач, звільняється від крапель, а розчин повертається по циркуляційній трубі в гріючу камеру.

Мимовільний перетік екстракту і вторинної пари в наступні корпуси можливий завдяки загальному перепаду тисків, що виникає в результаті створення вакууму конденсацією вторинної пари останнього корпусу в пластинчастому конденсаторі змішування 5 (де заданий тиск підтримується подачею охолоджувальної води і відсмоктуванням несконденсованих газів вакуум-насосом 9). Утворений в другому корпусі згущений екстракт безперервно відвантажується насосом 8.

Конденсат відкачується насосами 6, які працюють безперервно.

## 1.2. Теоретичні основи технологічного процесу випарювання кавового екстракту в окремих технологічних апаратах і машинах

### *Пластинчастий випарний апарат*

Пластинчастий випарний апарат AlfaVar (рис. 1.2) має два невеликі отвори 1 для подачі продукту і один широкий 2- для виходу пари і концентрату. Для подачі гріючої пари в апараті використовується один широкий отвір 3, а для видалення конденсату - два невеликі виводи 4.

В установці AlfaVar використовуються попарно зварені пластини 5 (касети). Гріюча пара конденсується в середині касет 5, тоді як екстракт проходить випарювання в каналах між двома касетами, які з'єднані між собою через прокладку 6.

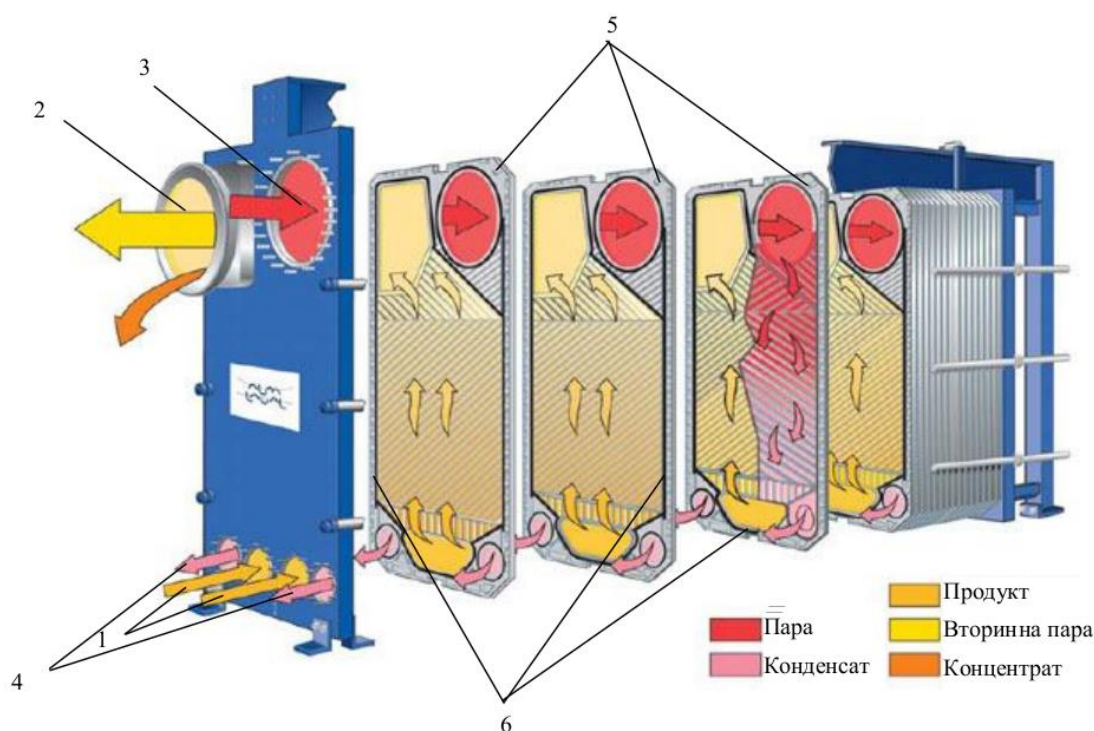


Рис. 1.2. Пластинчастий випарний апарат AlfaVar швейцарської фірми Альфа Лаваль

Переваги AlfaVar:

- *Висока ефективність теплопередачі*

Висока турбулентність, що досягається завдяки спеціальній формі поверхні пластини, призводить до того, що коефіцієнт теплопровідності значно вище, ніж в кожухотрубчастих випарних апаратах. Ефективність застосування AlfaVar особливо висока при упарюванні висококонцентрованих і густих продуктів .

Установка AlfaVar дає можливість роботи навіть при низькій різниці температур, нижче 3-4 °С. Це є великою перевагою при використанні AlfaVar в системах з механічною і термічною компресією.

• *Збільшення продуктивності*

Винятковою особливістю установки AlfaVar є можливість збільшення або зниження продуктивності установки шляхом додавання або зняття касет з використанням однієї існуючої рами. Така можливість регулювання продуктивності є величезною перевагою пластинчастих випарних систем в порівнянні з кожухотрубними випарниками, для яких продуктивність фіксована і визначається в процесі установки.

### *Паросепаратор*

Новоутворена парорідинна суміш з пластинчастого випарного апарату прямує в паросепаратор (рис.1.3.), де відбувається поділ рідкої і парової фаз. Вторинна пара, пройшовши паросепаратор і бризкоуловлювач, звільняється від крапель, а розчин повертається по циркуляційній трубі в гріючу камеру.



Рис. 1.3. Сепаратор

### *Пластинчастий конденсатор*

Пластинчастий конденсатор AlfaCond (рис.1.4) розроблений для конденсації пари за умов низького тиску/вакууму у випарних апаратах AlfaCond. Введення відпрацьованої пари в конденсатор здійснюється через широкий канал 1, а відведення конденсату - через два вузькі канали 2. Канали середнього розміру 3

для підведення охолоджуваної води, розташовані в центральній частині конденсатора. Пакет пластин установки AlfaCond складається з пар пластин, зварених разом в так звані касети 4. Канали в середині звареної касети 4, використовуються для конденсації пари, а канали між прокладками касет - для руху охолоджувальної води. Спеціальна форма пластин дозволяє проводити конденсацію в оптимальних умовах, причому двостороння форма одиначної пластини має асиметричну конфігурацію: з широкими проходами для парової фази і малими проходами для охолоджуваної води. Подібна конструкція пластини дозволяє створювати дуже малий перепад тиску по паровій стороні при збереженні високої швидкості і турбулентності по стороні руху охолоджувальної води, що в свою чергу приводить до високої ефективності використання тепла.

Продуктивності установок AlfaVar і AlfaCond, при необхідності, можуть бути легко змінені додаванням або зняттям пластин на настановній рамі. Це є однією з головних переваг пластинчастих апаратів в порівнянні з кожухотрубними системами, для яких продуктивність строго фіксується на момент установки.

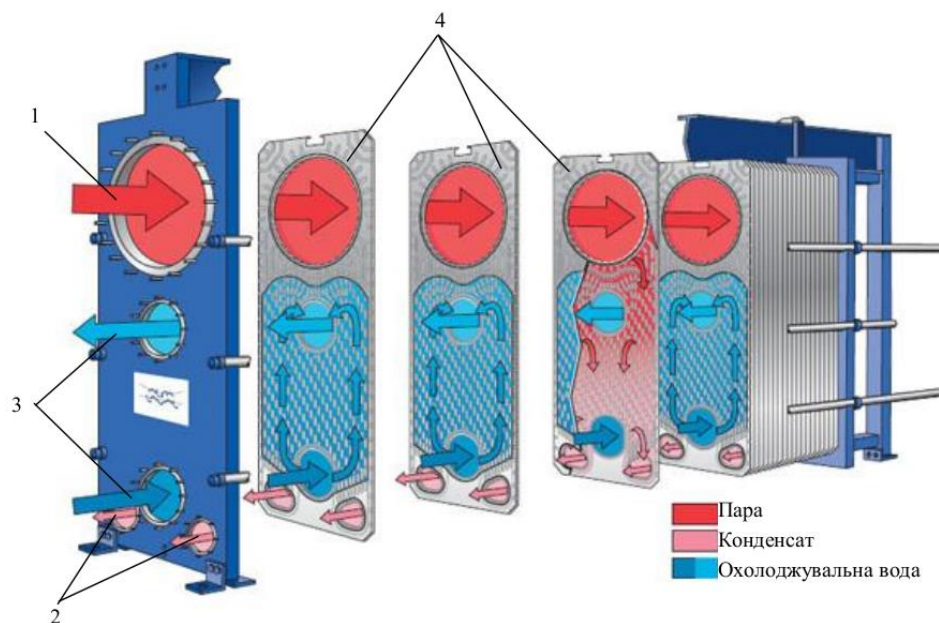


Рис. 1.4. Пластинчастий конденсатор AlfaCond  
швейцарської фірми Альфа Лаваль

Переваги AlfaCond:

- *Зниження витрат*

Завдяки компактній конструкції на виготовлення AlfaCond потрібно значно менше матеріалу, ніж на кожухотрубний конденсатор. Компактна конструкція AlfaCond дозволяє економити виробничі площі, витрати на установку та експлуатацію.

- *Зниження забруднень*

Висока турбулентність потоку охолоджуючої води, створювана спеціальною формою пластини, практично виключає утворення забруднень і відкладень.

### 1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта

Матеріальний баланс складається на основі закону збереження маси.

#### *Матеріальний баланс випарної установки*

Прийmemo:  $G_{II}$  – початкова витрата екстракту;  $G_i$  – витрата згущеного екстракту  $i$ -того корпусу;  $n$  – кількість корпусів;  $W$  – загальна кількість води, яку необхідно випарувати;  $W_i$  – кількість води, яку необхідно випарувати в  $i$ -тому корпусі;  $x_i$  – густина розчину в  $i$ -тому корпусі;

Загальна кількість випареної води в цьому випадку складає

$$W = \sum W_i \quad (1.1)$$

Розглядаючи багатокорпусну випарну установку як єдиний агрегат, подібний до однокорпусної, загальну (сумарну) кількість випареної води можна знайти за рівнянням (1.2) для однокорпусного випарювання, при цьому

$$W = G_{II} \left( 1 - \frac{x_n}{x_{II}} \right), \quad (1.2)$$

де  $G_{II}$  – початкова витрата екстракту, кг/с;

$x_n, x_{II}$  – початкова і кінцева густина розчину для багатокорпусної установки.

Масову витрату випареного розчину після кожного із корпусів БКВУ знаходять за залежністю (1.3):

$$G_{II} x_{II} = (G_{II} - W_1) x_1 = (G_{II} - W_1 - W_2) x_2 = \dots \quad (1.3)$$

$$G = G_1 + W_1 \quad G_{II} = G_n + W \quad G_{II} x_{II} = G_n x_n$$

Оскільки розчинена речовина є нелеткою і залишається в випареному розчині, то відповідно до матеріального балансу щодо розчиненої речовини можна

визначити густину випареного розчину на виході із кожного окремого корпусу, при цьому:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{G_{\Pi} x_{\Pi}}{G_{\Pi} - W_1}; & x_2 &= \frac{G_{\Pi} x_{\Pi}}{G_{\Pi} - W_1 - W_2}; \\ x_n &= \frac{G_{\Pi} x_{\Pi}}{G_{\Pi} - W_1 - \dots - W_n}. \end{aligned} \quad (1.4)$$

де  $x_1$ ,  $x_2$  - кінцева густина розчину після першого і другого корпусів БКВУ відповідно.

### *Тепловий баланс випарної установки*

Система рівнянь теплового балансу багатокорпусної випарної установки дозволяє визначити витрату гріючої пари для забезпечення нормальної роботи установки.

Тепловий баланс складемо на основі збереження енергії: теплові потоки, які входять в установку дорівнюють тепловим потокам, які з неї виходять.

Для першого корпусу,  $i=1$ :

$$Q_1 = D_1(I_{\delta 1} - c_{\delta 1} \theta_1) = G_{\Pi} c_{\Pi} (t_{\kappa 1} - t_{\Pi}) + W_1(I_{\delta 1} - c_{\delta 1} t_{\kappa 1}) + Q_{\text{конц}1} + Q_{\text{зам}1}, \quad (1.5)$$

де  $D_1$  - витрата гріючої пари для першого корпусу;  $I_{\delta 1} - c_{\delta 1} \theta_1$  - прихована теплота конденсації гріючої пари ( $\theta_1$  - температура конденсату);  $G_{\Pi} c_{\Pi} (t_{\kappa 1} - t_{\Pi})$  - теплота, яка йде на підігрів розчину до температури кипіння в першому корпусі;  $W_1(I_{\delta 1} - c_{\delta 1} t_{\kappa 1})$  - кількість теплоти, яка йде на випаровування в першому корпусі;  $Q_{\text{конц}1}$  - кількість теплоти, яка йде на згущення розчину в 1-му корпусі;  $Q_{\text{зам}1}$  - теплові втрати в першому корпусі.

Для другого корпусу,  $i=2$ :

$$Q_2 = (W_1 - E_1)(I_{\delta 2} - c_{\delta 2} \theta_2) = (G_{\Pi} - W_1) c_2 (t_{\kappa 2} - t_{\kappa 1}) + W_2(I_{\delta 2} - c_{\delta 2} t_{\kappa 2}) + Q_{\text{конц}2} + Q_{\text{зам}2}, \quad (1.6)$$

Втрати тепла в навколишнє середовище в кожному із корпусів складає 3-5% від теплового навантаження в кожному корпусі.

### *Визначення поверхні нагріву i-того корпусу*

Базується на основному рівнянні теплопередачі:

$$Q_1 = k_1 \Delta t_{\text{кор}1} F_1 \quad (1.7)$$

$$Q_2 = k_2 \Delta t_{\text{кор}2} F_2 \quad (1.8)$$



$$\Delta t_{\text{кор.}i} = t_{\text{конд.}i} - t_{\text{кип.}i} \quad (1.9)$$

де  $Q_i$  - теплове навантаження і-того корпусу, з рівняння теплового балансу;  $k_i$  - коефіцієнт теплопередачі і-того корпусу.

Таблиця 1.1.

### Технологічна карта процесу випарювання кавового екстракту

№ п/п	Назва параметра	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	Густина екстракту	1160 кг/м <sup>3</sup>	1160	±10
2	Рівень в I корпусі	м	0,1	±0,01
3	Рівень в II корпусі	м	0,1	±0,01
4	Тиск пари, яка подається на в перший корпус	кПа	50	±5
5	Розрідження в II корпусі	кПа	20	±5

### 1.3. Визначення і аналіз факторів, що впливають на технологічний процес

Випарні апарати із виносним кип'ятильником стійко працюють тільки в тому випадку, якщо її основні робочі параметри (швидкість потоку, рівень в апараті, тиск в апараті, тощо) не відхиляються суттєво від оптимальних робочих значень. Останнє досягається за допомогою автоматичного регулювання параметрів процесу.

Однією з необхідних умов нормальної роботи випарних апаратів є видалення з нагрівальної камери вмістимих в парі повітря та інших несконденсованих газів, так як навіть незначна кількість домішок несконденсованих газів в парі різко знижує коефіцієнт тепловіддачі. Крім того, необхідно видаляти несконденсовані гази з парового простору над нагрівальною камерою апарату. Повітря може потрапити сюди через нещільні з'єднання в трубопроводах та апаратах або з вихідним розчином; несконденсовані гази іноді утворюються в результаті реакцій, які можуть відбуватися в процесі випарювання.

Відкладення осаду (накипу), який має дуже малу теплопровідність, знижує величину коефіцієнта теплопередачі, що призводить до різкого зменшення інтенсивності роботи випарного апарату; відкладення накипу може також призвести до значного зменшення вільного перетину пластин і різкого зниження швидкості циркуляції рідини.

Як зазначалося вище, при роботі під вакуумом знижується температура кипіння екстракту, збільшується корисна різниця температур і, отже, підвищується інтенсивність випарювання. Тому досить важливо підтримувати в конденсаторі випарної установки максимально досяжний в даних умовах вакуум. Навіть незначне зниження тиску в конденсаторі випарної установки може призвести до істотного збільшення її продуктивності. Збільшення тиску гріючої пари, що надходить в перший корпус, також сприяє збільшенню продуктивності випарної установки.

На основі технологічного регламенту і аналізу досліджень процесу встановлені номінальні значення параметрів та їх допустимі відхилення. Ці значення є необхідні для ведення технологічного процесу з найкращими показниками якості.

Завдання систем автоматизації вакуум-випарної установки є підтримування заданого значення густини продукту.

При згущенні продукту ми регулюємо тиск гріючої пари в I корпусі, рівень екстракту в кожному корпусі, розрідження в другому корпусі, густину готового продукту. Також необхідно вимірювати розрідження та температуру кипіння в першому корпусі, температуру кипіння в другому корпусі.

Тиск гріючої пари в I корпусі становить 50кПа.

Рівень екстракту в корпусах випарної установки: 0.1 м.

Густина екстракту: 1160 кг/м<sup>3</sup>.

Розрідження в другому корпусі випарної установки: 20кПа.

## 1.5. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта

Густина екстракту залежить від витрати і температури вихідного розчину, витрати і тиску гріючої пари, тиску у випарних апаратах. У відповідності з метою управління схемою автоматизації передбачають регулювання густини екстракту.

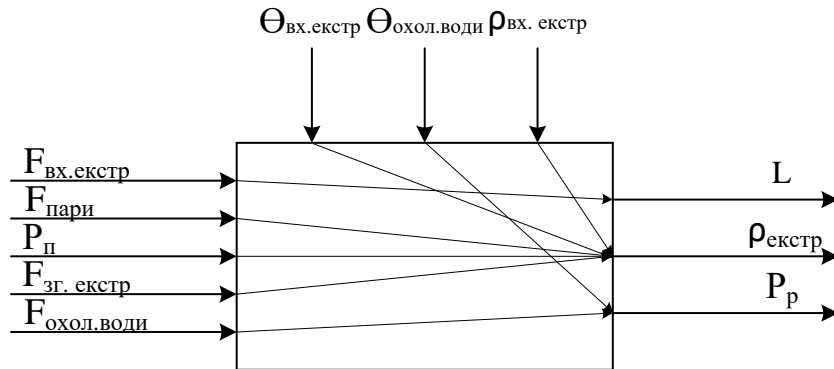


Рис 1.5. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами та факторами, що впливають на роботу вакуум-випарної установки.

### Вхідні величини:

$F_{\text{пари}}$  – витрата пари, що подається на установку;

$F_{\text{зг. екстр}}$  – витрата випареного екстракту на виході з установки;

$P_{\text{п}}$  – тиск пари, що подається на установку;

$F_{\text{вх. екстра}}$  – витрата свіжого екстракту;

$F_{\text{ох.води}}$  – витрата охолоджуючої води;

### Вихідні величини:

$\rho_{\text{екстр}}$  – густина екстракту.

$P_{\text{р}}$  – розрідження (вакуум) в випарному апараті;

$L$  – рівень в корпусах випарної установки;

### Збурюючі величини:

$\rho_{\text{вх. екстр}}$  – густина вхідного екстракту.

$\Theta_{\text{екст}}$  – температура охолоджуючої води;

$\Theta_{\text{вх.екстр}}$  – температура екстракту на вході в установку.

## **2. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ І ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

### **2.1. Визначення об'єму автоматизації технологічного процесу**

Процес випарювання можна проводити в однокорпусній випарній установці (просте випарювання), або в багатокорпусній установці (багатократне випарювання). В останньому випадку досягається зменшення енерговитрат в результаті використання вторинних парів в якості гріючої пари для другого і наступних корпусів.

Задана продуктивність установок циркуляційного типу зазвичай підтримується регулюванням тиску пари, що надходить на установку, вакууму в установці і рівня продукту в її корпусах. Вакуум-випарні установки працюють зазвичай в комплекті з теплообмінними апаратами для попереднього нагріву продукту.

Завдання регулювання процесу випарювання полягає в стабілізації густини упареного розчину на виході з останнього випарного апарату. Основними джерелами збурення служать коливання витрати і густина вихідного розчину, ентальпія гріючої пари і тепловтрати в навколишнє середовище. За цих умов в якості основного керуючого впливу для процесу випарювання вибирають зміну витрати гріючої пари. Для підтримки матеріального і теплового балансів передбачаються стабілізація рівня у всіх апаратах зміною витрати розчину на виході з апаратів, а також стабілізація тиску (розрідження) зміною подачі холодоагенту в конденсатор та відкачуванням неконденсованих газів вакуумним насосом .

Якщо вихідний розчин надходить на випарювання з проміжної ємності, в якості регулюючого впливу може бути вибрана витрата згущеного розчину, який буде встановлюватися залежно від вихідної густини розчину. Регулювання рівня в цьому випадку має проводитися зміною подачі розчину в кожний з апаратів.

На рис. 2.1 наведені приклади систем автоматизації двоступеневої установки: побудованої на основі одноконтурних АСР (а), комбінованої АСР (б) і каскадної АСР (в).

В установці виділяють кілька основних контурів регулювання технологічних параметрів: густину (концентрацію) випареного екстракту на виході з установки, рівень його в корпусах, вакуум в установці, тиск пари, що надходить в установку.

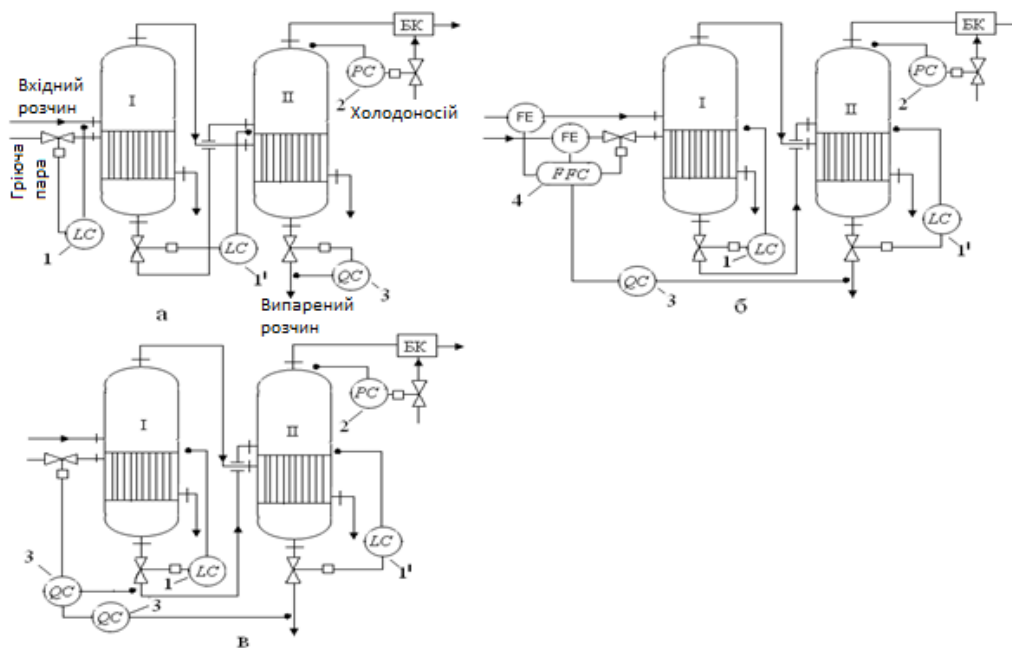


Рис.2.1. Приклади систем автоматизації двоступеневої вакуум-випарної установки

З вище сказаного було обрано одноконтурну систему автоматизації двоступеневої вакуум-випарної установки, в якій густина випареного екстракту, регулюється витратою випареного екстракту, а рівень в корпусах подачею свіжого екстракту. На основі виконаного аналізу технологічного об'єкту керування і враховуючи конкретні умови роботи синтезуємо схему, яка найкраще забезпечують функціональні, технічні, метрологічні вимоги до системи автоматизації, необхідні показники перехідного процесу в окремих контурах регулювання та функціональні ознаки проекрованої системи.

Система автоматизації установки забезпечує регулювання тиску пари, що подається на установку; рівня екстракту в кожному корпусі установки; розрідження в другому корпусі; дистанційний контроль теплових режимів роботи установки, витрати екстракту на установку (рис. 2.2).

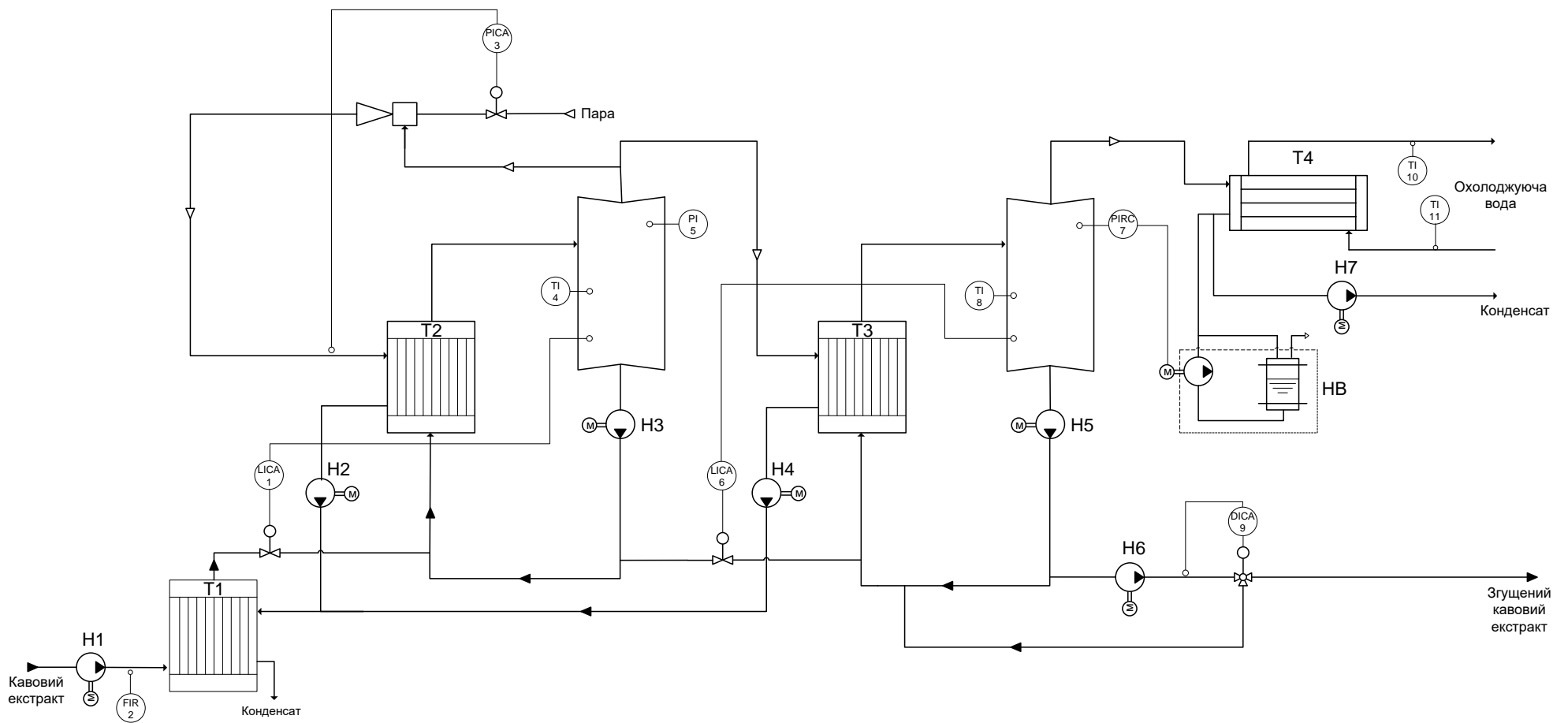


Рис.2.2. Спрощена функціональна схема автоматизації вакуум-випарної установки для згущення кавового екстракту

Схемою автоматизації вакуум-випарної установки (ВВУ) передбачені такі контури регулювання:

1,6 – контури регулювання, індикації та сигналізації рівня екстракту в корпусах випарної установки.

2 – контур індикації та реєстрації витрати вхідного екстракту.

3 – контур регулювання, індикації та реєстрації тиску пари, що поступає на установку.

4,8– контур індикації температури в випарному апараті.

5 - контур індикації розрідження в першому корпусі випарного апарату.

7 - контур регулювання, індикації та реєстрації розрідження в другому корпусі випарної установки (регулювання зміною частоти обертання двигуна водокільцевого вакуумного насоса).

9 - контур індикації, реєстрації та сигналізації густини екстракту на виході з установки.

10,11 - контур індикації температури охолоджуючої води, яка поступає в конденсатор.

Функціональні ознаки системи автоматизації наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Таблиця функціональних ознак систем автоматизації**

№ п/п	Назва параметра	Обсяг авто-матизації											
		Показ	Реєстрація	Підсумовування	Усереднення	Визначення відхилення	Розрахунок техніко-економічних показників	Оптимізація	Сигналізація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання
1	Витрата вх. екстракту	+	+										
2	Тиск грюючої пари	+	+						+	+	+		+
3	Рівень в корпусах ВВУ	+	+						+	+			+
4	Температура в корпусах ВВУ	+	+										
5	Температура охолоджуючої води	+	+										
6	Розрідження в першому корпусі	+	+										
7	Розрідження в другому корпусі	+	+						+	+			+
8	Густина екстракту	+	+						+	+			+

## 2.2.Опис технічних засобів автоматизації

Схемою автоматизації вакуум-випарної установки передбачені наступні контури регулювання:

1. Автоматична стабілізація тиску пари, що подається на установку.
2. Автоматична стабілізація рівня екстракту в корпусах вакуум-випарної установки.
3. Автоматична стабілізація розрідження в другому корпусі вакуум-випарної установки.
4. Автоматична стабілізація густини екстракту на виході з вакуум-випарної установки.

Для регулювання цих технологічних параметрів використаю контролер SIMATICS7-300 фірми SIEMENS. За допомогою цього контролера здійснюється регулювання та сигналізація. Вхідні аналогові сигнали поступають на вхід модулів розширення, і передаються на контролер, який обробляє їх та подає вихідні сигнали. Якщо технологічні параметри виходять із допустимих максимальних або мінімальних відхилень тоді спрацьовує сигналізація.

Спрацювання сигналізації відбувається при:

- підвищенні або зниженні тиску пари, що подається на установку ;
- підвищенні рівня екстракту в корпусах вакуум-випарної установки;
- відхиленні густини екстракту від заданого значення.

Застосування АСК ТП дає можливість забезпечити ефективне керування технологічними процесами. Централізовані системи керування, в свою чергу, дозволяють підвищити вимоги до точності контролю і регулювання, реалізувати більш складні системи керування.

Для побудови автоматизованої системи вакуум-випарної установки вибрано наступні засоби: термоелектричні перетворювачі, перетворювач тиску, гідростатичі давачі рівня, пускові механізми, електро-пневмопозиціонери, частотний перетворювач, мікропроцесорний контролер SIMATICS7-300, а також додаткові модулі аналогових входів/виходів.





Рис.2.3. Густиномір Siemens SITRANS FC MASSFLO MASS2100

### Густиномір Siemens SITRANS FC MASSFLO MASS2100

Витратомір, що працює за принципом вимірювання сили Кориоліса, SITRANS FC MASSFLO , призначений для роботи з будь-якими рідинами і газами. Цей універсальний прилад забезпечує точне вимірювання масової витрати, об'ємної витрати, густини, температури і витрати фракцій.

#### Ключові характеристики

Вимірювання здійснюється незалежно від зміни таких умов і параметрів процесу як температура, щільність, тиск, в'язкість, провідність, профіль потоку.

Завдяки повторюваності вимірювань густини не гірше  $0,0001 \text{ г/см}^3$  забезпечується повна функціональність густиноміра.

Найвища точність при вимірюванні витрати, щільності і фракційної витрати досягається завдяки 4-проводовому вимірюванню температури Pt1000.

Використання з представлених на ринку аналогічних витратомірів, гарантує оптимальний термін служби, високу стійкість до корозії і високу стійкість до тиску.

#### Сфера застосування:

- харчова промисловість (молочні продукти, спирт, вино, пиво, безалкогольні напої, цукрометри/ареометри, фруктові соки і плодоягідне пюре і т.д) ;
- хімічна та фармацевтична промисловість (розчинники, хімікати, фармацевтичні продукти, кислоти, луги).

#### Технічні характеристики :

Приєднання до процесу: фланцеве DN3 - DN40 (або інше за замовленням);

Діапазон вимірювання масової витрати : 0 ... 52000 кг/год;

Точність вимірювання витрати :  $\leq 0,1 \%$  від витрати;

Діапазон вимірювання щільності : 0 ... 2,9 г/см<sup>3</sup>;

Точність вимірювання щільності :  $\leq 0,0005$  % г/см<sup>3</sup>;

Температура вимірюваної речовини : -50 ... +180 °С;

Максимальний тиск рідини в вимірювальній трубі : 105 ... 350 Бар (залежно від діаметра і матеріалу нерж.сталь/Hastelloy C -22) ;

Напруга живлення: 115 ... 230 V AC 50 ... 60 Гц (20 ... 30 В AC/DC вибухобезпечна версія);

Вихідні сигнали: 0/4 ... 20 мА; 1 релейний вихід; 1 частотний/імпульсний вихід; 1 цифровий вхід. Інтерфейс (опція) : Hart , ProfiBus PA , ProfiBus DP , ModBus RTU RS485 ;



Рис. 2.4. Гідростатичний рівнемір Deltapilot S DB 51 (Endress+Hauser)

Гідростатичний перетворювач рівня з вимірювальною коміркою CONTITE.

Сімейство давачів Deltapilot S розроблено для безперервного вимірювання рівня рідин і пастоподібних продуктів в хімічній, фармацевтичній і харчовій промисловості.

У поєднанні з вторинним перетворювачем застосовується для:

- Визначення рівня наповнення, обсягу, диференціального тиску, ваги продукту в ємності, щільності;
- Контролю кінцевих контактів;
- Інтегрування в різні системи мавтоматизації.

Особливості та переваги

- Вимірювальна комірка "CONTITE":

- герметична, з довготривалою стабільністю;
- висока степiнь лiнiйностi (не гiрше 0.1 % дiапазону );
- низький температурний коефiцiєнт(не гiрше 0.1 % на 10К ) .

- Компактне, стрижневе, кабельне виконання.

Варiант з роздiльною установкою корпусу та електронної вставки.

- Простота настройки електронних вставок.

*Основнi технiчнi данi*

Дiапазони вимiрювання:

0 ... 100 мбар; (0-1 м.вод.ст)

0 ... 400 мбар;

0 ... 1200 мбар;

Вихiдний сигнал: 4 ... 20 мА.

Основна похибка вимiрювання:  $\pm 1\%$ .

Пiдключення до процесу: DB 51, DB 52: рiзьбовi i фланцевi.

Температура процесу: DB 50 (L): -10 °С. .. +100 °С; DB 51 / DB 52 / DB 53: -10 °С. .. +80 °С.

### ***Вимiрювальнi перетворювачi тиску «Сафiр»***

Перетворювачi призначенi для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання та керування технологiчними процесами i забезпечують безперервне перетворення значення вимiрюваного параметра -тиску надлишкового, абсолютного, розрiдження, рiзницi тискiв нейтральних i агресивних середовищ в унiфiкований струмовий вихiдний сигнал дистанцiйної передачі.

Перетворювач «Сафiр» складається з вимiрювального блоку i електронного пристрою. Перетворювачi рiзних параметрiв мають унiфiкований електронний пристрiй i вiдрiзняються конструкцiєю вимiрювального блоку. Вимiрюваний параметр подається в камеру вимiрювального блоку i лiнiйно перетворюється в деформацiю чутливого елемента i в змiну електричного опору тензорезисторiв та тензоперетворювачiв. Електронний пристрiй перетворювача перетворює цю змiну опору в струмовий вихiдний сигнал 0-5 В або 4-20 мА.

### **Вимiрювальний перетворювач надлишкового тиску «Сафiр» 2140**

- діапазон вимірювання: від 0 до 100 кПа;
- основна похибкавимірювання:  $\pm 0,5\%$ ;
- вихідний сигнал: аналоговий уніфікований сигнал 4 – 20 мА;
- вимірювальне середовище: рідина, газ, пара.

### **Вимірювальний перетворювач розрідження «Сафір» 2230**

- діапазон вимірювання: від -40 до 0 кПа;
- основна похибкавимірювання:  $\pm 0,5\%$ ;
- вихідний сигнал: аналоговий уніфікований сигнал 4 – 20 мА;
- вимірювальне середовище: рідина, газ, пара.

### **Витратомір Promag 10H**

Електромагнітна вимірювальна система для вимірювання витрати рідин в харчовій, фармакологічній промисловості і інших виробництвах.

Витратоміри Promag готові запропонувати економічно ефективні рішення для вимірювання витрати. Високий ступінь точності дозволяє використовувати ці витратоміри для широкого спектру технологічних умов.

Універсальна концепція Prolain забезпечує:

- високий ступінь надійності і стабільності вимірювання;
- універсальність командних та оперативних рішень.

Надійний сенсор забезпечує:

- відсутність втрат тиску;
- нечутливість до промислових вібрацій;
- проста процедура монтажу і налагодження.

Області застосування:

- виробництво напоїв: пиво, соки, вино;
- молочні продукти, фруктові суміші;
- соляні розчини;
- кислоти, луги.

Технічні характеристики:

принцип вимірювання–електромагнітний;

діаметр умовного проходу - DN2 ... 100;

діапазон вимірювання - 0 ... 282м<sup>3</sup>/год;

температура процесу -20 ... 150°С;

тиск - PN16 ... 40;

похибка вимірювання - ± 0,5%.

Дисплей/Управління -двохрядковий/кнопкове..

Вихід: 4-20мА, імпульсний, вихід стану

Комунікація–Hart.

Переваги:

- Гарантована безпека застосувань.
- Зручний монтаж, спрощене обслуговування.

### **Частотний перетворювач Danfoss VLT Micro FC 51**

VLT Micro FC51 - класичний частотний перетворювач, що забезпечує високу надійність, зручність у користуванні, просту функціональність і легкий запуск в експлуатацію.

Незважаючи на компактні розміри і простоту пуску в експлуатацію, VLT Micro FC51 може бути налаштований на оптимальну роботу навіть з складних застосуваннях. Для цього можна використовувати більше 100 параметрів, які оптимізують роботу ПП і енергоспоживання.

Застосування:

- промисловість (системи опалення, вентиляції та кондиціонування);

- Нvac– системи;

- OEM (виробники устаткування);

Короткі технічні характеристики :

- однофазні, трифазні виконання;

- потужність 0,18 - 22 кВт;

- вихідна частота 0-200Гц (VVC + - режим векторного управління), 0-400Гц (U/f - вентиляторна характеристика);

- перевантаження по моменту: 150% протягом 1 хв;

- цифрові входи - 5 (PNP або NPN);

- імпульсні входи - 1 (20-5000Гц);

- аналогові входи - 2 (0-10В, 0 / 4-20mA);
- аналогові виходи - 1 (0 / 4-20mA);
- вихідне реле - 1 (240В, 2А);
- довжина кабелю - до 50м;
- знімна локальна панель (LCP) з потенціометром;
- вбудований фільтр радіочастотних перешкод;
- вбудований простий логічний контролер(можливість програмування нескладних алгоритмів роботи).

### **Електропневматичний позиціонер тип 4763**

Позиціонер забезпечує задану координацію положення клапана (регульована величина  $x$ ) і командного сигналу (задана величина  $w$ ). Він порівнює командний сигнал, що поступає від регулюючого або керуючого пристрою, з ходом виконавчого механізму і видає в якості вихідної величини пневматичний тиск виконавчого імпульсу ( $p_{st}$ ).

Вхідним є сигнал від 4 до 20 мА, а вихідний - пневматичний сигнал, наприклад 0,2 ... 1 бар або діапазони сигналів до 6 бар.

### **Пневматичний регулюючий клапан тип 3241-1(фірми Samson)**

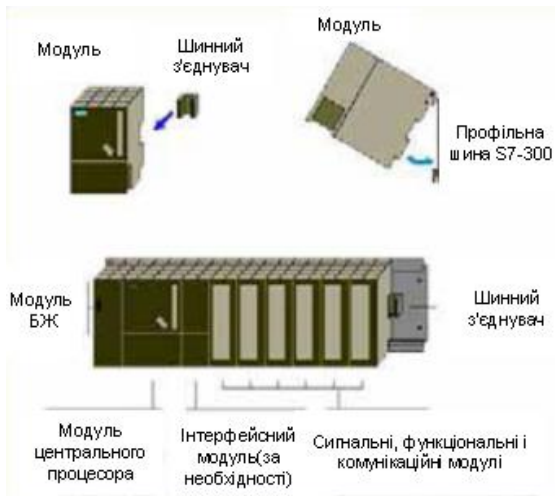
Конструкція:

Пневматичний регулюючий клапан типу 3241-1(фірми Samson) складається з односідлового прохідного клапана типу 3241 і пневматичного приводу типу 3271.

Завдяки збірці з уніфікованих вузлів забезпечується взаємозамінність приводів. Крім того, клапан нормального виконання може бути доукомплектований ізолюючою вставкою або металевим сильфоном шляхом додаткової установки відповідних вузлів.

Вхід регулюючого клапана 0,2 ... 1 бар.

## 2.3. Опис характеристик мікропроцесорного контролера Siemens Simatic S7-300



SIMATIC S7-300 - це модульний програмований контролер, призначений для побудови систем автоматизації низького і середнього ступеня складності. Контролер має модульну структуру, що дозволяє формувати потрібні комунікаційні можливості, можливості обробки входів/виходів та адаптувати контролер до задач автоматизації різних процесів.

Рис.2.5. Вигляд SIMATIC S7-300

Програмовані контролери S7 - 300 можуть включати до свого складу:

- Модуль центрального процесора (CPU). Залежно від міри складності вирішуваних завдань в програмованому контролері можуть використовуватися більше 20 типів центральних процесорів.
- Блоки живлення (PS) для живлення контроллера від мережі змінного або постійного струму.
- Сигнальні модулі (SM), призначені для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів, у тому числі FailSafe і модулі зі вбудованими Ex – бар'єрами. Підтримуються вітчизняні ГОСТ градування термометрів опору і термопар.
- Комунікаційні процесори (CP) - інтелектуальні модулі, що виконують автономну обробку комунікаційних завдань в промислових мережах AS, - Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, PROFINET і системах PtP зв'язку. Застосування завантажуваних драйверів для CP 341 дозволяє розширити комунікаційні можливості контроллера підтримкою обміну даними в мережах MODBUS RTU і Data Highway. Для організації модемного зв'язку у складі S7 - 300 можуть використовуватися комунікаційні модулі сімейства SINAUT ST7.

- Функціональні модулі (FM) - інтелектуальні модулі, оснащені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати завдання автоматичного регулювання, зважування, позиціонування, швидкісного рахунку, управління переміщенням і т.д. Цілий ряд функціональних модулів здатний продовжувати виконання покладених на них завдань навіть у разі зупинки центрального процесора.
- Інтерфейсні модулі (IM) для підключення стійок розширення до базового блоку контролера, що дозволяє використовувати в системі локального введення-виводу до 32 модулів різного на значення. Модулі IM 365 дозволяють створювати 2-, модулі IM 360 і IM 361 - 2-, 3 - і 4-рядні конфігурації.

Конструкція контролера відрізняється високою гнучкістю і зручністю обслуговування :

- Усі модулі встановлюються на профільну шину S7 - 300 і фіксуються в робочих положеннях гвинтами. Об'єднання модулів в єдину систему виконується за допомогою шинних з'єднувачів (входять в комплект постачання кожного модуля), що встановлюються на тильну частину корпусу.
- Довільний порядок розміщення модулів в монтажних стійках. Фіксовані посадочні місця займають тільки модулі PS, CPU і IM. Наявність знімних фронтальних з'єднувачів (замовляються окремо), модулів, що дозволяють виробляти швидку заміну, без демонтажу їх зовнішніх ланцюгів і операцій підключення зовнішніх ланцюгів модулів, що спрощують виконання. Механічне кодування фронтальних з'єднувачів унеможливорює виникнення помилок при заміні модулів.
- Застосування гнучких і модульних з'єднувачів TOP Connect, монтажних робіт, що істотно спрощують виконання, і що знижують час їх виконання.

Усі центральні процесори S7 - 300 характеризуються наступними показниками:

- висока швидкодія
- завантажувальна пам'ять у виді мікрокарти пам'яті MMC місткістю до 8 МБ



- розвинені комунікаційні можливості, одночасна підтримка великої кількості активних комунікаційних з'єднань
- робота без буферної батареї.

ММС використовується для завантаження програми, збереження даних при перебоях в живленні CPU, зберігання архіву проекту з символною таблицею і коментарі, а також для архівації проміжних даних. Центральні процесори CPU 3xxC і CPU 31xT-2 DP оснащені набором вбудованих входів і виходів, а їх операційна система доповнена підтримкою технологічних функцій, що дозволяє використовувати як готові блоки управління.

Типовий набір вбудованих технологічних функцій дозволяє вирішувати завдання швидкісного рахунку, виміри частоти або тривалості періоду, ПД-регулювання, позиціонування, переведення частини дискретних виходів в імпульсний режим. Усі центральні процесори S7 - 300 оснащені вбудованим інтерфейсом MPI, який використовується для програмування, діагностики і побудови простих мережевих структур. У CPU 317 перший вбудований інтерфейс має подвійне призначення і може використовуватися для підключення або до мережі MPI, або до мережі PROFIBUS DP.

Цілий ряд центральних процесорів має другий вбудований інтерфейс:

- CPU 31...-2 DP мають інтерфейс ведучого/веденого пристрою PROFIBUS DP;
- CPU 31...C - 2 PtP мають інтерфейс для організації PtP зв'язку;
- CPU 31...-...PN/DP оснащені інтерфейсом Industrial Ethernet, що забезпечує підтримку стандарту PRO FInet;
- CPU 31...T - 2 DP оснащені інтерфейсом PROFIBUS DP/Drive, призначеним для обміну даними і синхронізації роботи перетворювачів частоти, ведених DP пристроїв, що виконують функції.

Система команд центральних процесорів включає до свого складу більше 350 інструкцій і дозволяє виконувати:

- Логічні операції, операції зрушення, обертання, доповнення, операції порівняння, перетворення типів даних, операції з таймерами і лічильниками.

- Арифметичні операції з фіксованою і плаваючою точкою, витягання квадратного кореня, логарифмічні операції, тригонометричні функції, операції з дужками.
- Операції завантаження, збереження і переміщення даних, операції переходів, виклику блоків, і інші операції.

Для програмування і конфігурації S7 - 300 використовується пакет STEP 7.

Крім того, для програмування контролерів S7 - 300 може використовуватися також увесь набір програмного забезпечення Runtime, а також широкий спектр інструментальних засобів проектування.

Siemens SimaticS7-300 – Програмовані контролери SIMATIC S7-300 призначені для вирішення задач середньої потужності. Для побудови відносно простих і недорогих систем автоматичного керування і можуть використовуватися для заміни існуючих релейно-контактних схем.

Контролери здатні працювати в реальному масштабі часі і можуть бути використані як для побудови вузлів локальної автоматики, так і систем розподіленого введення-виведення з організацією обміну даними через PPI (Point to Point Interface), MPI (Multi Point Interface), AS-Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, Internet, а також модемний зв'язок. Великою перевагою є те, що в нього є віддалені станції, які можуть бути розташовані на відстані до 1000м.

Характерні особливості сімейства SIMATIC S7-300:

- час виконання логічних інструкцій не перевищує 0.1 мс;
- наявність швидкісних лічильників зовнішніх подій;
- наявність швидкодіючих входів апаратних переривань;
- можливість нарощування кількості обслуговуваних входів-виходів;
- наявність імпульсних виходів (широтно- або частотно-імпульсна модуляція);
- годинник реального часу (вбудовані або встановлювані у вигляді знімного модуля);
- могутній набір інструкцій мови програмування;
- один або два порти RS 485 універсального призначення;

- функції ведучого і веденого пристрою PROFIBUS DP, які забезпечуються центральним процесором;
- функції обміну даними через Industrial Ethernet;
- дружня оболонка програмування STEP 7;
- трирівневий паролльний захист програм користувача;
- можливість роботи з пристроями людино-машинного інтерфейсу.

Потрібно обрати тип процесора, модуля введення-виведення дискретних сигналів та блоку живлення. Спершу виберу тип процесора. Для цього ознайомлюсь з їх конструктивними особливостями.

Центральні процесори сімейства S7-300 мають наступні конструктивні особливості:

- Наявність двох модифікацій центральних процесорів кожного типу, що відрізняються наявністю вбудованих аналогових і дискретних входів-виходів, і їх відсутністю. Ті що мають вбудовані входи-виходи позначаються буквою С (наприклад CPU314C-2DP).
- Універсальне призначення входів:
- Наявність шини розширення системи введення-виведення.
- Вбудовані швидкісні лічильники (60 кГц в CPU 316C-2DP).
- 4 імпульсних виходи (2,5 кГц в CPU 316C-2DP) у всіх моделях постійного струму.
- Перемикач вибору режимів роботи.
- Опціональний (у вигляді знімного модуля) або вбудований годинник реального часу.
- Додаткова пам'ять у вигляді карти пам'яті до 8 МБ.
- Можливість використання імітаторів вхідних сигналів для відлагодження програми.
- Робота без буферної батареї.
- Одночасне підтримання багатьох протоколів зв'язку.
- Позиціонування по одній осі.

*Блок живлення PS307/5A*

Блок живлення призначений для формування вихідної напруги  $=24\text{В}$ , необхідної для живлення центрального процесора та цілого ряду модулів контролера Simatic S7-300. Цей блок використовує для своєї роботи вхідну напругу  $\sim 120/230\text{В}$ . Блоки живлення усіх типів можуть використовуватися можуть застосовуватися як для живлення внутрішніх кіл процесора, так і для живлення його вхідних і вихідних кіл. Модуль монтується на стандартну профільну шину DIN S7-300 у крайній лівій позиції.

Справа від нього монтується модуль центрального процесора чи інтерфейсний модуль IM 361 (у стійках розширення). Підключення до центрального процесора чи інтерфейсного модуля IM 361 виконується з допомогою силової перемички, яка входить у комплект доставки кожного блоку живлення.

#### *Сигнальні модулі*

Сигнальні модулі призначені для вводу та виводу дискретних та аналогових сигналів контролера. Вони містять у своєму складі:

- модулі вводу дискретних сигналів;
- модулі виводу дискретних сигналів;
- модулі вводу/виводу дискретних сигналів;
- модулі вводу аналогових сигналів;
- модулі виводу аналогових сигналів;
- модулі вводу/виводу аналогових сигналів.

Сигнальні модулі випускаються в пластикових корпусах. На їх фронтальних панелях розміщені світлодіодні індикації. Кількість та призначення світлодіодів залежить від типу модуля. За захисною дверкою розташований роз'єм для встановлення фронтального з'єднувача. На зовнішній стороні захисних дверцят нанесена схема підключення зовнішніх кіл модуля, на фронтальній стороні розміщений паз для встановлення етикетки з маркуванням зовнішніх кіл.

Підключення до внутрішньої шини контролера здійснюється через шинні з'єднувачі, які входять у комплект доставки кожного модуля. По замовчуванню адресація входів визначається номером посадочного місця, на якому встановлений

модуль. Підключення вхідних кіл здійснюється до знімних фронтальних під'єднувачів, які закриваються захисними кришками.

З врахуванням того, що для керування системою вакуум випарної установки нам потрібні 13 аналогових входів та 5 аналогових виходів, для даного процесу нам підійде центральний процесор CPU 314C-2DP. Враховуючи що модуль CPU має лише 5 аналогових входів та 2 аналогових виходи, вибираємо додатково сигнальний модуль вводу аналогових сигналів SM331 AI 8x12Bit (6ES7 331 7KF02 0AB0), та модуль виводу аналогових сигналів SM332 AO 4x12Bit (6ES7322-5HD01-0AB0). Блок живлення вибираємо PS 307 5A, який має 3 виходи по 24В постійного струму.

#### **2.4. Опис програми функціонування контролера SimaticS7-300 для автоматизації вакуум-випарної установки**

Структурна схема програми на SIMATICS7-300 подана в Додатках.

Для роботи контролера потрібно:

- сконфігурувати контролер;
- задати комунікаційні параметри;
- ввести програму у програмному редакторі STEP7;
- переслати розроблену програму у контролер.

В середовищі STEP7 інтегровані редактори для написання програм трьома стандартними мовами програмування STL, LAD, FBD. Програмування в цих редакторах здійснюється за допомогою застосування елементів, що наявні в бібліотеках і реалізують типові функції керування. В цих методичних вказівках розглядаються елементи із таких під бібліотек STEP7:

- операції бітової логіки;
- операції з таймерами і лічильниками;
- операції порівняння;
- операції перетворення типів даних;
- арифметичні операції;
- алгоритми ПІД-регулювання.

**Функція CMP** – функції порівняння порівнюють значення двох числових змінних, що відносяться до типів даних INT, DINT і REAL, на предмет рівності, нерівності, більше, більше або рівно, менше, менше або рівно. Після операції порівняння видається її результат у вигляді двійкового значення. Функції порівняння можуть бути оформлені у вигляді блокових елементів, які виконують одну із операцій порівняння. Тип входів у функції порівняння залежить від цієї функції. Наприклад, у функції порівняння CMP >R (порівняння "більше" чисел REAL) входи мають тип REAL. Отже змінні, що подані на входи, мають бути типу REAL. При використанні операндів з абсолютними адресами розміри операндів повинні відповідати типам даних. Наприклад, можна використовувати операнд розміром в слово для типу даних INT. Порівняння між числами REAL не істинно, якщо один або обидва числа не є числами типу REAL. Також встановлюються біти стану OS і OV.

**Функціональний блок ПД-регулювання SFB 41/FB 41 "CONT\_C"**- SFB/FB "CONT\_C" (аналоговий регулятор) використовується в комплексі технічних засобів SIMATIC S7 програмованих логічних контролерів для регулювання технологічних процесів з аналоговими вхідними та вихідними змінними. Під час налаштування параметрів, ви можете включити або виключити підфункції ПД контролера, щоб адаптувати його до процесу.

Блок може застосовуватись як звичайний ПД-регулятор з фіксованим завданням або для багатоконтурного регулювання в каскадній системі регулювання; чи як регулятор співвідношення. Функції CONT\_C базуються на алгоритмах регулювання базового ПД-регулятора з аналоговим сигналом, який при необхідності може бути розширений включенням блоку генератора імпульсів, що формує імпульсний вихідний сигнал для роботи з дво- або три позиційними виконавчими механізмами постійної швидкості.

Блок SFB/FB має повний набір інструментів для ПД регулювання з неперервним вихідним сигналом і можливістю ручного управління.

**Обробка завдання.** Завдання подається на вхід SP\_INT у формі числа із плаваючою комою.

## **Обробка вхідної величини**

Значення змінних можуть вводитись за допомогою периферійного обладнання (I/O) або у системі з плаваючою комою. Функція CRP\_IN перетворює значення вхідної величини з периферійного обладнання PV\_PER в формат з плаваючою комою, від -100% до +100% згідно з наступною формулою:

$$\text{Вихід CRP\_IN} = \text{PV\_PER} * \frac{100}{27648}$$

Функція PV\_NORM нормує вихідний сигнал CRP\_IN згідно з наступною формулою:

$$\text{Вихід PV\_NORM} = (\text{вихід CRP\_IN}) * \text{PV\_FAC} + \text{PV\_OFF}$$

PV\_FAC по замовчуванню дорівнює 1, PV\_OFF по замовчуванню дорівнює 0.

## **Обробка розузгодження (Error Signal)**

Розузгодження формується як різниця між завданням і вхідною величиною. Щоб усунути малі постійні коливання що виникають внаслідок квантування вихідної величини (наприклад під час імпульсної модуляції функцією PULSEGEN), введено зону нечутливості (DEADBAND) до зміни розузгодження. Якщо DEADB\_W = 0, зона нечутливості відсутня.

## **Реалізація ПІД алгоритму**

Пропорційна, інтегральна (INT) і диференціальна складові з'єднані паралельно між собою і можуть бути включені або виключені індивідуально. Це дозволяє сконфігурувати П, ПІ, ПД і ПІД регулятори. Також можна сконфігурувати І та Д регулятори.

## **Ручне керування**

Є два режими керування – ручний і автоматичний. В ручному режимі регульованою величиною можна керувати вручну. В ручному режимі інтегратор (INT) встановлюється внутрішньо на значення LMN - LMN\_P – DISV, а диференціатор в 0. Це забезпечує безударне перемикання в автоматичний режим роботи.

## **Керуюча змінна (Manipulated Value)**

Керуюча змінна може бути обмежена до заданого значення за допомогою функції LMNLIMIT. Сигнальні біти відображають коли керуюча змінна перевищила обмежене значення.

LMN\_NORM – функція яка нормує вихідний сигнал LMNLIMIT згідно з наступною формулою:

$$LMN = (\text{вихід LMNLIMIT}) * LMN\_FAC + LMN\_OFF$$

LMN\_FAC по замовчуванню встановлене в 1, а LMN\_OFF в 0.

Керуюча змінна може також виводитися у периферійному форматі. Функція CPR\_OUT перетворює значення вихідної величини із форми з плаваючою комою в периферійну форму згідно з наступною формулою:

$$LMN\_PER = LMN * \frac{27648}{100}$$

Вихідна величина ПІД алгоритму може бути скоректована додаванням зміщення DISV.

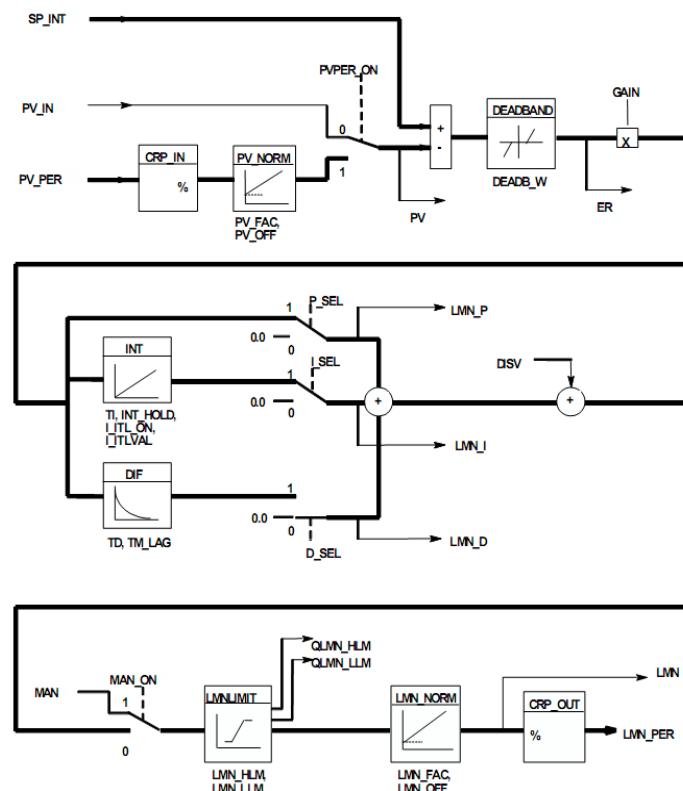


Рис.2.6. Схема функціонального блоку SFB 41/FB 41 "CONT\_C"

## Ініціалізація



SFB 41 «CONT\_C» має типовий порядок ініціалізації, який запускається при встановленні  $COM\_RST = TRUE$ .

Під час ініціалізації інтегратор встановлюється внутрішньо на початкове значення  $I\_ITVAL$ . Коли ініціалізація викликана циклічним перериванням, інтегратор продовжує працювати з цього значення.

Всі інші вихідні величини встановлюються по замовчуванню.

*Аналоговий контур регулювання та сигналізації рівня в другому корпусі (AB2)  
вакуум випарної установки*

Для обробки вхідного аналогового сигналу, за допомогою блоку  $I\_DI$  ми переводимо значення регістру аналогового входу  $PIW756$  з числового формату  $integer$  в  $double\ integer$  і зберігаємо в проміжній комірці  $MD106$ . Далі з допомогою блоку  $DI\_R$ , ми переводимо значення, що в комірці  $MD106$ , в числовий формат  $Real$ , для подальшої обробки і зберігаємо (перезаписуємо) в проміжній комірці  $MD106$ . Так як АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, тому для нормування діапазону потрібно поділити на число, значення якого будемо зберігати в регістрі  $MD110$  і результат запишемо в регістр  $MD114$ .

Вихідна величина з регістру  $MD114$  в форматі  $REAL$  подається на вхід аналогового регулятора  $PV\_IN$ . В регістрі  $MD118$  записане завдання контуру регулювання  $SP\_INT$ . Ручне завдання записується на вхід  $MAN$ , через регістр  $MD122$ . Для переведення регулятора з автоматичного в ручний режим і навпаки використовується дискретний сигнал  $M1.2$ . Щоб перевести регулятор з автоматичного режиму керування в ручний переписуємо значення з виходу регулятора (регістр  $MD126$ ) на вхід завдання (регістр  $MD122$ ). Вихід основного регулятора  $LMN$  подаємо на аналоговий вихід  $PQW756$ , який подається на електропневмопозиціонер типу 4763, що зв'язаний з пневматичним регулюючим органом типу 2141, який в залежності від сигналу регулятора регулює подачу свіжого екстракту в корпус вакуум випарної установки.

Блок алгоритму аналогового регулятора буде реалізувати відповідний закон регулювання, який формується відповідно до параметрів його настроювання, які задає оператор.

Сигналізацію здійснюємо за допомогою блоків порівняння – компараторів. В даному випадку, коли значення рівня (гідростатичного тиску) стане більше 1080 Па спрацює сигналізація і буде працювати до тих пір, поки значення рівня не стане менше 1025 Па. А також, коли значення рівня стане менше 880 Па спрацює сигналізація і буде працювати до тих пір, поки значення рівня не стане більше 935 Па. Зона неоднозначності (гістерезис) введена для запобігання частого спрацювання сигналізації.

*Аналоговий контур регулювання та сигналізації розрідження в другому корпусі (AB2) вакуум випарної установки*

Для обробки вхідного аналогового сигналу, за допомогою блоку *I\_DI* ми переводимо значення регістру аналогового входу *PIW758* з числового формату *integer* в *double integer* і зберігаємо в проміжній комірці *MD134*. Далі з допомогою блоку *DI\_R*, ми переводимо значення, що в комірці *MD134*, в числовий формат *Real*, для подальшої обробки і зберігаємо (перезаписуємо) в проміжній комірці *MD134*. Так як АЦП контролера *S7-300* має свою розрядність, тому для нормування діапазону потрібно поділити на число, значення якого будемо зберігати в регістрі *MD138* і результат запишемо в регістр *MD142*.

Вихідна величина з регістру *MD142* в форматі *REAL* подається на вхід аналогового регулятора *PV\_IN*. В регістрі *MD146* записане завдання контуру регулювання *SP\_INT*. Ручне завдання записується на вхід *MAN*, через регістр *MD150*. Для переведення регулятора з автоматичного в ручний режим і навпаки використовується дискретний сигнал *M1.3*. Щоб перевести регулятор з автоматичного режиму керування в ручний переписуємо значення з виходу регулятора (регістр *MD154*) на вхід завдання (регістр *MD150*). Вихід основного регулятора *LMN* подаємо на аналоговий вихід *PQW758*, який подається на частотний перетворювач, який відповідно до сигналу з регулятора збільшує або зменшує швидкість обертання двигуна водокільцевого вакуумного насоса. Таким чином даний цикл нам забезпечує регулювання розрідження.

Блок алгоритму аналогового регулятора буде реалізувати відповідний закон регулювання, який формується відповідно до параметрів його настроювання, які задає оператор.

Сигналізацію здійснюємо за допомогою блоків порівняння – компараторів. В даному випадку, коли значення розрідження стане більше 25 кПа спрацює сигналізація і буде працювати до тих пір, поки значення розрідження не стане менше 24 кПа. А також, коли значення розрідження стане менше 15 кПа спрацює сигналізація і буде працювати до тих пір, поки значення розрідження не стане більше 16 кПа. Зона неоднозначності (гістерезис) введена для запобігання частого спрацювання сигналізації.

*Аналоговий контур регулювання та сигналізації густини екстракту на виході з вакуум випарної установки*

Для обробки вхідного аналогового сигналу, за допомогою блоку *I\_DI* ми переводимо значення регістру аналогового входу *PIW256* з числового формату *integer* в *double integer* і зберігаємо в проміжній комірці *MD162*. Далі з допомогою блоку *DI\_R*, ми переводимо значення, що в комірці *MD162*, в числовий формат *Real*, для подальшої обробки і зберігаємо (перезаписуємо) в проміжній комірці *MD162*. Так як АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, тому для нормування діапазону потрібно поділити на число, значення якого будемо зберігати в регістрі *MD166* і результат запишемо в регістр *MD170*.

Вихідна величина з регістру *MD170* в форматі *REAL* подається на вхід аналогового регулятора *PV\_IN*. В регістрі *MD174* записане завдання контуру регулювання *SP\_INT*. Ручне завдання записується на вхід *MAN*, через регістр *MD178*. Для переведення регулятора з автоматичного в ручний режим і навпаки використовується дискретний сигнал *M1.4*. Щоб перевести регулятор з автоматичного режиму керування в ручний переписуємо значення з виходу регулятора (регістр *MD182*) на вхід завдання (регістр *MD178*). Вихід основного регулятора *LMN* подаємо на аналоговий вихід *PQW256*, який подається на електропневмопозиціонер типу 4763, що зв'язаний з пневматичним триходовим

регулюючим органом типу 3244, який в залежності від сигналу регулятора регулює витрату екстракту на виході з установки. Якщо густина екстракту досягла заданого значення, то екстракт відкачується насосом з ВВУ, якщо ні, то через байпасний трубопровід вертається назад на до випарювання.

Блок алгоритму аналогового регулятора буде реалізувати відповідний закон регулювання, який формується відповідно до параметрів його настроювання, які задає оператор.

Сигналізацію здійснюємо за допомогою блоків порівняння – компараторів. В даному випадку, коли значення густини стане більше  $1170 \text{ кг/м}^3$  спрацює сигналізація і буде працювати до тих пір, поки значення густини не стане менше  $1165 \text{ кг/м}^3$ . А також, коли значення густини стане менше  $1150 \text{ кг/м}^3$  спрацює сигналізація і буде працювати до тих пір, поки значення густини не стане більше  $1155 \text{ кг/м}^3$ . Зона неоднозначності (гістерезис) введена для запобігання частого спрацювання сигналізації.

## **2.5. Опис принципової електричної схеми підключень**

Розглянемо принципову електрична схема зовнішніх з'єднань контролера Simatic S7-300 фірми Siemens. Схема зовнішніх з'єднань показана на аркуші графічної частини.

Регулятор складається з блока живлення PS 307 5A і центрального процесора CPU 314C-2DP, який має 5 аналогових входів, 2 аналогових виходи, 24 дискретних входи та 16 дискретних виходів, додатково доставлений модуль вводу аналогових сигналів SM-331-7KF02, який має 8 аналогових входів та модуль виводу аналогових сигналів SM332 AO 4x12Bit (6ES7322-5HD01-0AB0).

Живлення контролера *Siemens S7-300* здійснюється напругою 24 В, яка надходить від блоку живлення PS 307 5A, який перетворює зміну напругу 220В, в постійну напругу 24В.

Розглянуто підключення наступних приладів:

- термоперетворювача опору Sitrans TH100;
- давач рівня Deltapilot S DB50.

- давач тиску Сафір 2140;
- масового витратоміра Sitrans FC MassfloMass 2100

До аналогових входів для сигналів по струму CPU 314C-2DP і модуля SM331(AI8x12Bit) приєднуються всі наші давачі (рис. 2.7-2.12).

До аналогових виходів для сигналів по струму контролера під'єднується частотний перетворювач Danfoss VLT Micro FC 51, який керує роботою двигуна вакуумного насоса, а також електро-пневмопозиціонери.

До дискретних виходів контролера під'єднується дискретний вихід частотного перетворювача, а також виходи для запуску двигунів.

Живлення Sitrans TH100, Deltapilot S DB50, Сафір 2230, Сафір 2140 здійснюється напругою 24 V DC.

Живлення контролера CPU 314C-2DP здійснюється напругою 24 V DC.

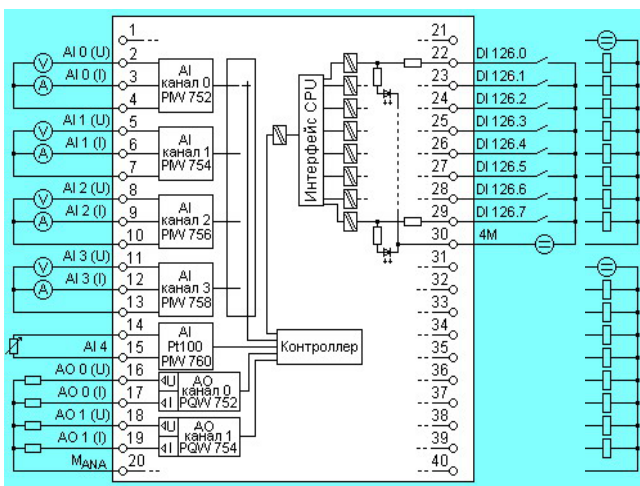


Рис. 2.7. Схема під'єднання фронтальних з'єднувачів X11 та X12 в CPU 314C-2DP

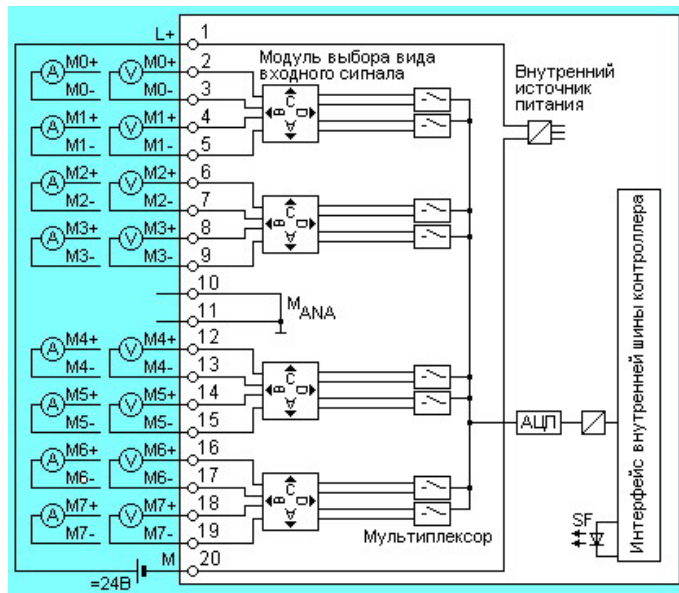


Рис. 2.8. Схема під'єднання зовнішніх кіл до модуля SM 331(AO8x12Bit)

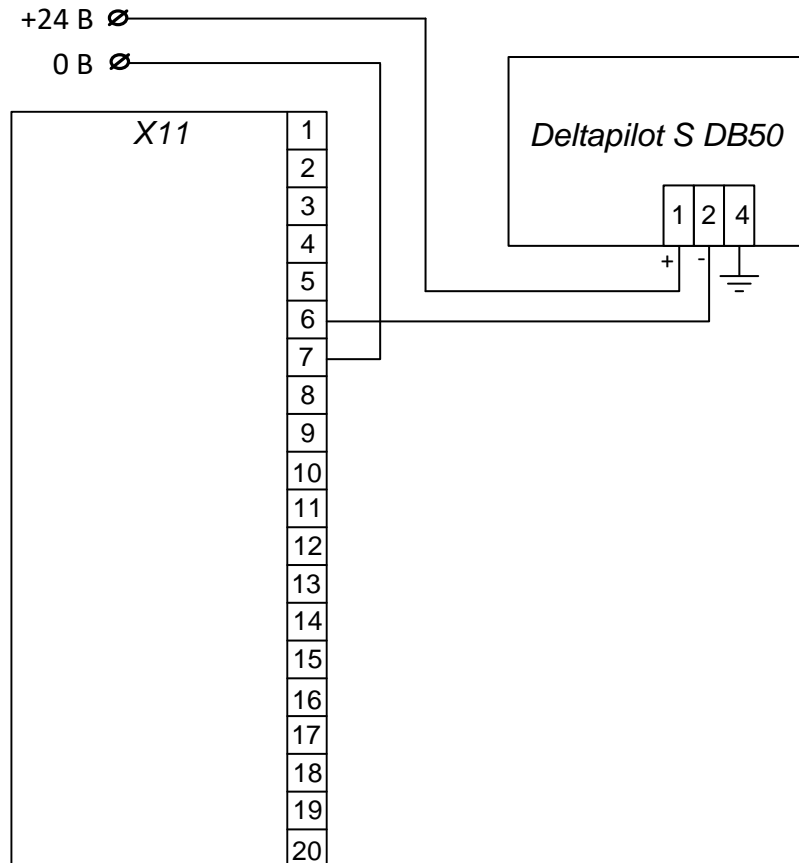


Рис. 2.9. Схема під'єднання датчика рівня до фронтального з'єднувача X11.

По такій самій схемі, яка зображена на рис. 2.9, під'єднуються датчики надлишкового тиску та розрідження.

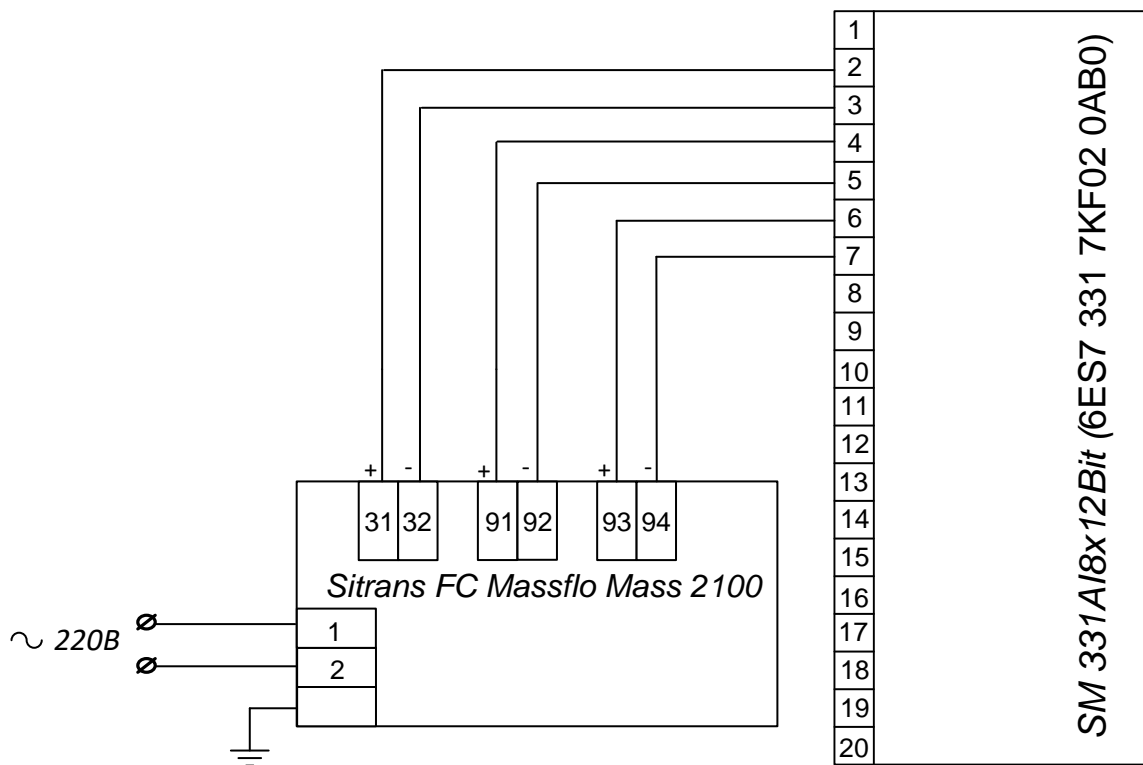


Рис. 2.10. Схема під'єднання масового витратоміра до модуля SM 331( AI8x12Bit).

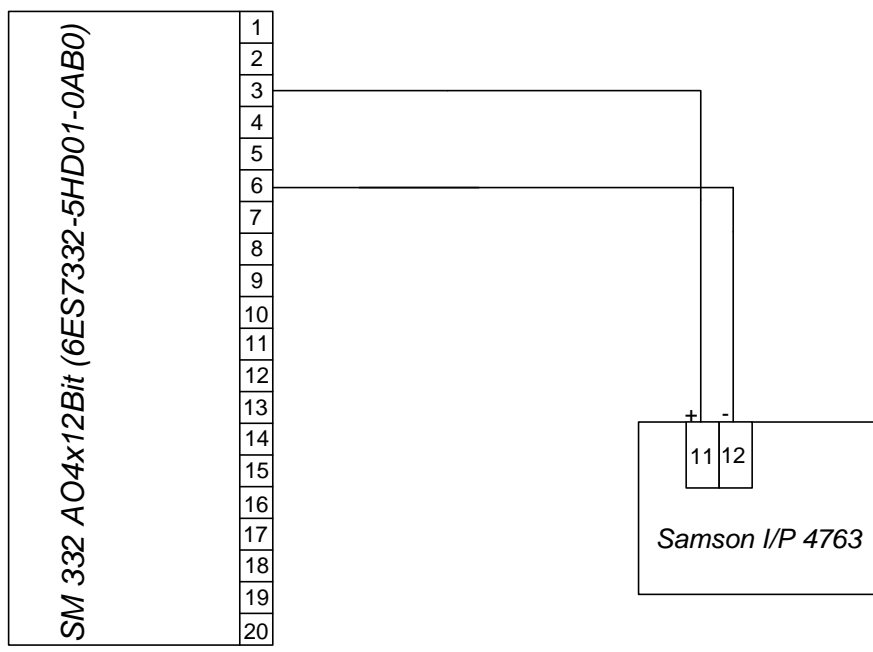


Рис. 2.11. Схема під'єднання електро-пневмопозиціонера до модуля SM 332(AO4x12Bit).

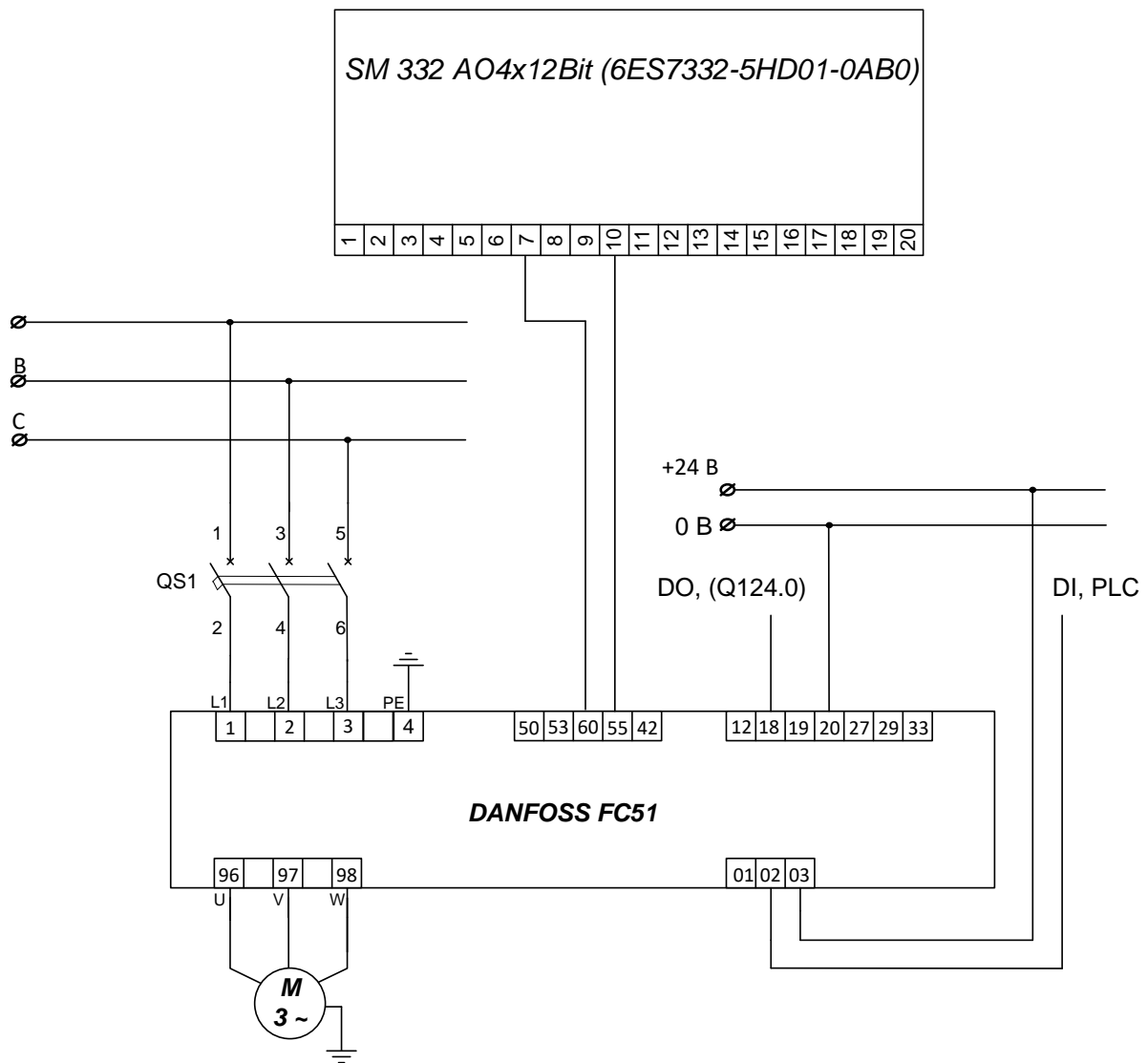


Рис. 2.12. Схема під'єднання частотного перетворювача до модуля SM 332(AO4x12Bit).



### 3. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ КАВОВОГО ЕКСТРАКТУ

#### 3.1. Вибір структури моделі та розрахунок параметрів математичної моделі об'єкта регулювання

Об'єктом регулювання є вакуум-випарна установка. Вихідною величиною даного об'єкта регулювання є рівень екстракту в другому корпусі вакуум-випарної установки, вхідною - переміщення регулюючого органу на трубопроводі свіжого екстракту, а збурюючою – витрата екстракту на виході з вакуум-випарної установки.

- Номінальне значення рівня екстракту становить 100 мм.
- Максимальна стрибкоподібна зміна регулюючої дії  $Y_{\text{макс}} = 20\%$  ходу РО;
- Зміна завдання регулятора – 5 мм;
- Збурення: стрибкоподібна зміна витрати екстракту на вході з ВВУ на 15%;
- Функція передачі каналом збурюючої дії:  $W(p) = \frac{1}{110p}$ ;

Вихідними даними для побудови моделі ОР каналом регулюючої дії є експериментальна крива розгону по рівню екстракту в другому корпусі, отримана стрибкоподібною зміною переміщення РО на 10%. Вихідні дані занесені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

Експериментальна крива розгону

Час, t с	0	8	14	19	28	37	47	57	68	77	89	100
Рівень, L мм	100	100,1	100,4	100,9	101,8	102,8	103,9	105	106,2	107,2	108,6	110

Вимоги до якості процесу регулювання:

1. Допустиме максимальне динамічне відхилення  $A_1 = 3$  мм;
2. Допустима похибка регулювання  $\Delta = 1$  мм;
3. Допустимий час регулювання  $t_p = 60$  с;
4. Ступінь коливальності:  $m = 0.3$ ;

Щоб розрахувати систему автоматичного регулювання даного контуру визначаємо математичну модель об'єкту. Математичну модель об'єкта регулювання для розрахунків оптимальних параметрів настройки регулятора знаходимо у вигляді функції передачі.

Побудуємо математичну модель за наявності експериментальної знятої на об'єкті кривої розгону, яка відображає зміну рівня екстракту в корпусах ВВУ від зміни положення регулюючого органа подачі свіжого екстракту на 10 %.

Щоб розрахувати систему автоматичного регулювання даного контуру визначаємо математичну модель об'єкту. Експериментальна крива розгону об'єкту регулювання рівня в корпусах ВВУ представлена на рис.3.1.

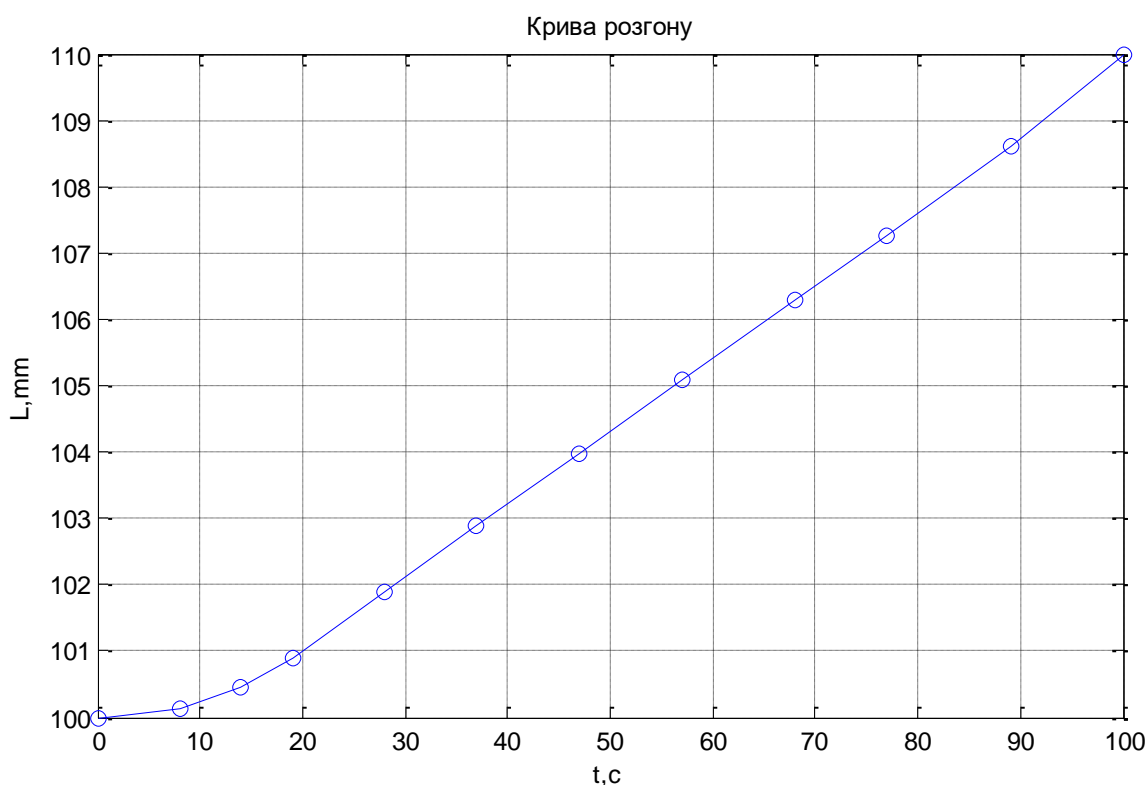


Рис.3.1. Експериментальна крива розгону, яка відображає зміну рівня екстракту в другому корпусі ВВУ від зміни положення регулюючого органа подачі свіжого екстракту на 10 %.

Для побудови експериментальної кривої розгону створюю програму в середовищі Matlab:

```

L_e=[100.0 100.135 100.461 100.909 101.895 102.882 103.979 105.075
106.281 107.265 108.612 110];
t_e=[0 8 14 19 28 37 47 57 68 77 89 100];
plot(t_e, L_e, '-o'); grid
xlabel('t,c'); ylabel('L,mm'); title('Криварозгону')

```

Щоб знайти математично модель об'єкта за його експериментальною кривою розгону, необхідно:

1. Виходячи з характеру експериментальної кривої розгону і беручи до уваги відомі залежності між функціями передачі і перехідними функціями, вибрати передбачувану структуру моделі об'єкта і відповідну до неї функцію передачі в загальному вигляді.

2. Обрати методику та знайти числові значення параметрів моделі об'єкта і отримати конкретну функцію передачі об'єкта.

3. Знайти розрахункові значення перехідної функції обраної моделі і перевірити точність апроксимації, порівнюючи теоретичну криву розгону з визначеною експериментально.

За виглядом кривої розгону, визначено, що дана крива може бути послідовним з'єднанням інтегруючої та аперіодичної ланки першого порядку.

$$W(p) = \frac{1}{T_i p} \cdot \frac{k}{Tp + 1}, \quad (3.1)$$

де,  $T_i$  – стала часу інтегрування,  $T$  – стала часу,  $k$  – коефіцієнт передачі аперіодичної ланки

З кривою розгону інтегруючої ланки знаходять швидкість розгону  $v_i$  за формулою

$$v_i = \frac{dy_i(t)}{dt} \Big/ \Delta x = \frac{y_i(t_j)}{t_j \Delta x}, \frac{[\text{розмірність вихідної величини}]}{[\text{розмірність часу} \cdot \text{розмірність вхідної величини}]} \quad (3.2)$$

де  $\Delta x$  – значення стрибкоподібної зміни вхідної величини, при якому одержана крива розгону;  $y_i(t_j)$  – значення, знайдене з кривої розгону інтегруючої ланки у довільний момент часу  $t_j$ .

$$v_i = \frac{dy_i(t)}{dt} \Big/ \Delta x = \frac{y_i(t_j)}{t_j \Delta x} = \frac{9.1}{81 \cdot 10} = 0.011 \frac{\text{мм}}{\text{с} \cdot \%} T_i = \frac{1}{v_i} = \frac{1}{0.011} = 89,28 \quad (3.3)$$

## 3.2. Знаходження числових значень параметрів моделі об'єкта чисельним методом

При чисельному методі знаходження параметрів моделі зручно скористатись пакетом Matlab, в якому є програми, що дозволяють створювати функції передачі різної структури, знаходити їх перехідні функції, вирішувати оптимізаційні задачі. Параметри обраної моделі можна знайти, застосовуючи функцію *fminsearch*. Головна програма записана у *script*-файлі використовує функцію *suma*, в якій описано функцію  $s = J(a)$  суму квадратів відхилення між експериментальними та розрахунковими значеннями перехідних функцій. В основній програмі викликається функція *fminsearch*, яка знаходить такі значення параметрів моделі, при яких забезпечується мінімум функції *suma*. Пошук параметрів моделі здійснюється ітераційно за алгоритмом Нелдера-Міда. Знайдені за допомогою *fminsearch* параметри, записані в змінну *x*, і є шуканими параметрами заданої функції передачі.

*Програма в середовищі Matlab для знаходження параметрів моделі та побудови графіка порівняння експериментальної та розрахованої кривих розгону:*

```
clc; clear;
%W(p)=1/(Ti*p)*1/(T2*p+1);
dx=10;
L_e=[100 100.135 100.461 100.909 101.895 102.882 103.979 105.075
106.281 107.265 108.612 110];
t_e=[0 8 14 19 28 37 47 57 68 77 89 100];
t=[0:5:100];
L_e1=interp1(t_e,L_e,t);
x0=[1 1];
x=fminsearch('summ',x0);
Ti=89.28;
k=x(1), T2=x(2),
n1=1; d1=[Ti 0];
n2=k; d2=[T2 1];
W1=tf(n1,d1);
W2=tf(n2,d2);
W=W1*W2;
L_r=step(W,t)*dx+100.0;
figure(1); plot(t,L_r,'-',t,L_e1,'ok');grid;
title('Porivnjannjakruxrozhoxy');
xlabel('t,c');
ylabel('L, mm');
sigma=sqrt(sum((L_r'-L_e1).^2)/length(L_e1))
del=max(abs(L_r'-L_e1))
```

Програма в середовищі Matlab (функція) для знаходження параметрів моделі:

```
function s=summ(x);
dx=10;
%W(p)=1/(T1*p)*1/(T2*p+1);
L_e=[100.0 100.135 100.461 100.909 101.895 102.882 103.979 105.075
106.281 107.265 108.612 110];
t_e=[0 8 14 19 28 37 47 57 68 77 89 100];
t=[0:5:100];
L_e1=interp1(t_e,L_e,t);
Ti=89.28;
k=x(1); T2=x(2);
n1=1; d1=[Ti 0];
n2=k; d2=[T2 1];
W1=tf(n1,d1);
W2=tf(n2,d2);
W=W1*W2;
L_r=step(W,t)*dx+L_e(1);
s=sum((L_r'-L_e1).^2);
```

Результати виконання програми (рис. 3.2):

$k=1.02; T2=12.9; del=0.1485; sigma=0.0586$

Підставляючи отримані значення параметрів у рівняння (3.1), отримуємо остаточну функцію передачі об'єкта регулювання:

$$W(p) = \frac{1}{89.28p} \cdot \frac{1.02}{12.9p+1} \quad (3.4)$$

Мірою точності апроксимації можна вважати максимальне значення абсолютної похибки  $\Delta_a = \left| y(t) - y^e(t) \right|_{max}$ , де  $y(t)$ ,  $y^e(t)$  - теоретична та експериментальна криві розгону, яка не повинна перевищувати заданого значення точності регулювання.

Розрахунок максимальної абсолютної похибки  $\Delta$  здійснюємо за допомогою тієї ж програми в середовищі Matlab. Результатом виконання програми є:

$$\Delta = 0.1485 \text{ мм}$$

Максимальна абсолютна похибка  $\Delta = 0.1485 \text{ мм}$  не перевищує допустиму похибку регулювання  $\Delta_{дон.} = 1 \text{ мм}$ , отже можна зробити висновок, що знайдена модель адекватна заданій експериментальній кривій розгону.

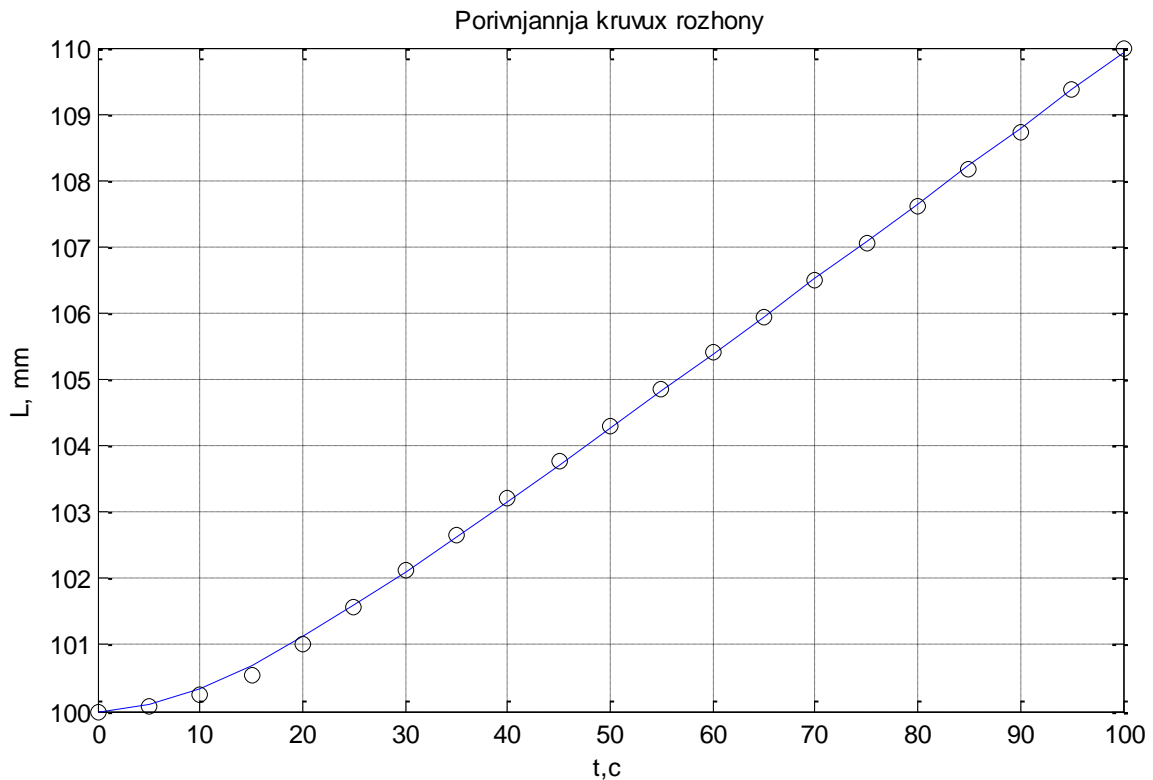


Рис.3.2. Експериментальна та розрахована криві розгону по рівню екстракту в другому корпусі ВВУ  
 — - розрахована; о – експериментальна

### 3.3. Розрахунок оптимальних настроювальних параметрів автоматичного ПІ-регулятора

Розглядаю одноконтурну САР (рис.3.3) з функцією передачі розрахованою вище у прямому зв'язку, і з автоматичним регулятором у від'ємному зворотному зв'язку. Для знайденої функції передачі об'єкта регулювання і заданих функції передачі по збуренню та зміною завдання керуючої дії підбираю й розраховую параметри настроювання автоматичного регулятора.

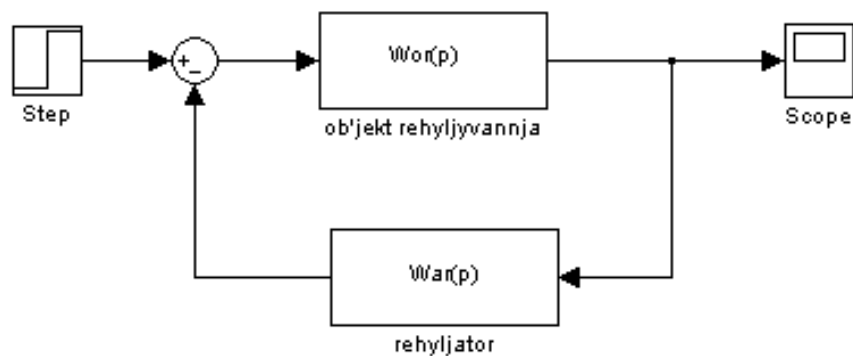


Рис.3.3. Структурна схема САР з від'ємним зворотним зв'язком.

Значення параметрів настроювання регулятора наближено можуть бути знайдені за спрощеною методикою, яка ґрунтується на припущенні про можливість описання об'єктів регулювання через функції передачі типу: аперіодична ланка першого порядку, інтегруюча ланка, диференційна ланка, ланка запізнення та інші. Зрозуміло, що ця методика не може бути застосована для об'єктів, які не описуються функціями передачі цих ланок. Тому для знаходження оптимальних значень параметрів настроювання регулятора необхідно застосувати спеціально розроблені теоретично обґрунтовані методи: метод розширених частотних характеристик, метод розрахунку параметрів за показником коливальності  $M$ . Для розрахунку САР, яка знаходиться під дією випадкових процесів, застосовують дисперсійний метод.

Розрахунок оптимальних параметрів настроювання за методом розширених частотних характеристик базується на амплітудо-фазовому критерії стійкості, який можна інтерпретувати як критерій запасу стійкості, якщо замість звичайних частотних характеристик застосувати розширені частотні характеристики.

Розширена частотна характеристика елемента з відомою функцією передачі визначаються заміною в ній оператора Лапласа

$$p = -m\omega \pm i\omega, \quad (3.5)$$

де  $\omega$  – кругова частота;  $m = \alpha / \beta$  - ступінь коливальності, який характеризує запас стійкості;  $\alpha$  – абсолютне значення дійсної частини комплексного кореня характеристичного рівняння;  $\beta$  - значення уявної частини комплексного кореня характеристичного рівняння.

Умова забезпечення заданого запасу стійкості формулюється на основі амплітудно-фазового критерію стійкості Найквіста, в якому застосовуються розширені частотні характеристики розімкнутої системи автоматичного регулювання

$$W_{pc}(m, i\omega) = W_{op}(m, i\omega)W_p(m, i\omega) = -1 \quad (3.6)$$

де  $W_{op}(m, i\omega)$  - розширена амплітудно-фазова характеристика (АФХ) об'єкта регулювання,  $W_p(m, i\omega)$  - розширена АФХ регулятора.

### Розрахунок параметрів настроювання ПІ-регулятора

Вибираю ПІ-регулятор. Пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор) є паралельним з'єднанням пропорційної та інтегральної ланок, функція передачі якого має вигляд

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{із}} \cdot \frac{1}{p} = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_{із}p} \right), \quad (3.7)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт передачі регулятора;  $T_{із}$  – час ізодрому.

Розрахунок параметрів настроювання ПІ-регулятора здійснюється в два етапи:

1) в площині параметрів настроювання регулятора  $\left( k_p, \frac{k_p}{T_{із}} \right)$  знаходять границю області заданого запасу стійкості САР;

2) із знайденої границі області заданого запасу стійкості вибирають оптимальні значення параметрів настроювання регулятора. Під *оптимальними* розуміють такі значення параметрів настроювання, які при заданому запасі стійкості САР забезпечують мінімальне значення обраного критерію оптимальності. В практичних розрахунках звичайно критерієм оптимальності обирають інтегральну оцінку.

Значення параметрів настроювання ПІ-регулятора:

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{із}} = -\frac{\omega(m^2 + 1) \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)}; \\ k_p = \frac{-\cos \varphi_{op}(m, \omega) - m \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)}. \end{cases} \quad (3.8)$$

Змінюючи частоту в діапазоні  $\omega^* \leq \omega \leq \omega^{**}$  ( $\omega^*$ ,  $\omega^{**}$  – частоти, що відповідають параметрам настроювання відповідно І- та ПІ-регуляторів, за рівняннями системи



(5.8) розраховують значення параметрів настроювання ПІ-регулятора, що відповідають границі заданого запасу стійкості.

Для заданого  $m$  в площині параметрів  $k_p, \frac{k_p}{T_{iz}}$  будую границю області запасу

стійкості, з якої визначаю оптимальні значення параметрів настроювання

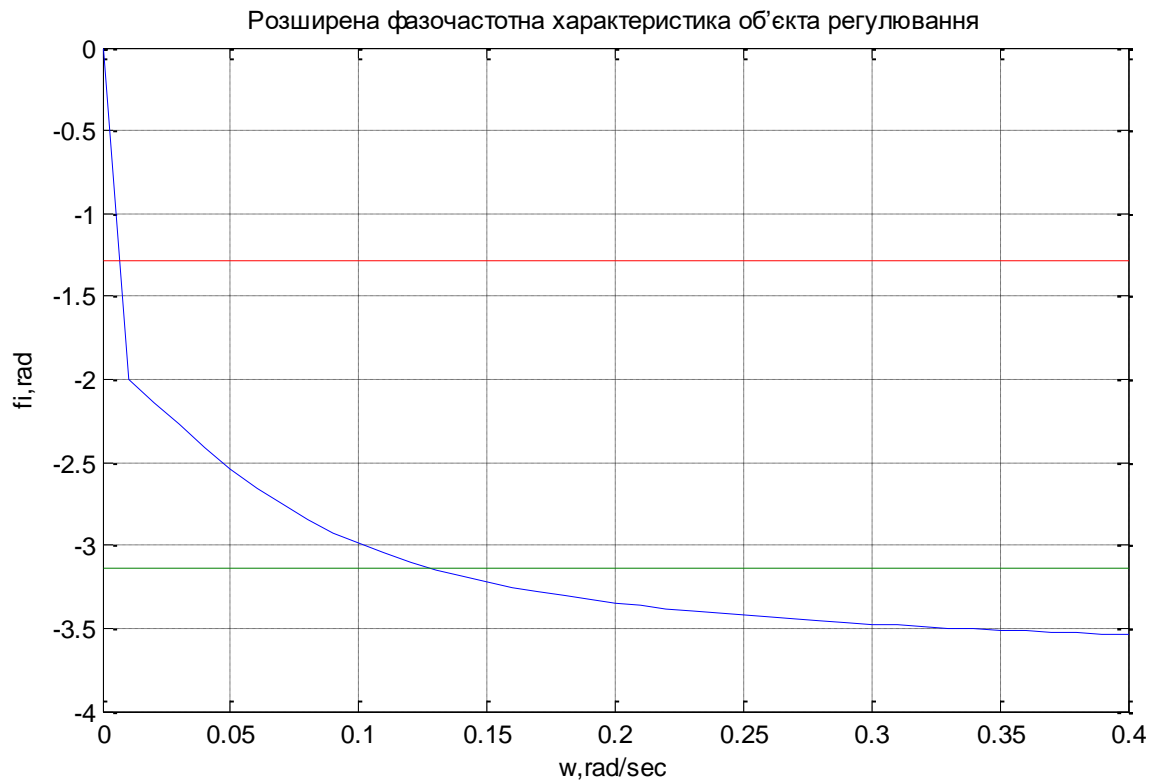
$$(k_p)_{\text{опт}}, \left(\frac{k_p}{T_{iz}}\right)_{\text{опт}}.$$

Для побудови розширеної фазочастотної характеристики складаю програму в середовищі Matlab:

```
clear
w=[0:0.01:0.4]
m=0.3; T1=89.28; T2=12.9; k=1.02;
p=-m*w+i*w;
w1=1./(T1*p);
w2=k./(T2*p+1);
Wop=w1.*w2;
fi=phase(Wop);
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
b(j)=-pi/2+atan(m);
figure(1)
plot(w,fi,w,a,w,b); grid;
xlabel('w, rad/sec');
ylabel('fi, rad');
title('Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання');
```

Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання зображена на рис. 3.4.

Для заданого  $m$  в площині параметрів  $k_p, \frac{k_p}{T_{iz}}$  будую границю області запасу стійкості САР, з якої визначаю оптимальні значення параметрів настроювання.



*Рис. 3.4 Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання*  
 $W^* = 0.006$  рад/сек.  $W^{**} = 0.129$  рад/сек

Програма в середовищі Matlab для знаходження оптимальних параметрів

настроювання регулятора:

```
clear; clc;
clc;clear
w=[0.006:0.0001:0.129];
m=0.3; T1=89.28; T2=12.9; k=1.02;
p=-m*w+i*w;
W1=1./(T1.*p);
W2=k./(T2.*p+1);
Wop=W1.*W2;
fi=phase(Wop);
Aop=abs(Wop);
kp_Tiz=-((m^2+1).*sin(fi).*w)./Aop;
kp=(-cos(fi)-m*sin(fi))./Aop;
figure(1)
[kp_TizMAXs]=max(kp_Tiz);
kpM=kp(s);
w0=w(s);
plot(kp,kp_Tiz,kpM,kp_TizMAX,'o'),grid;
xlabel('kp');
ylabel('kp/Tiz');
```

В результаті виконання програми отримуємо графік ,наведений на рисунку 3.5.

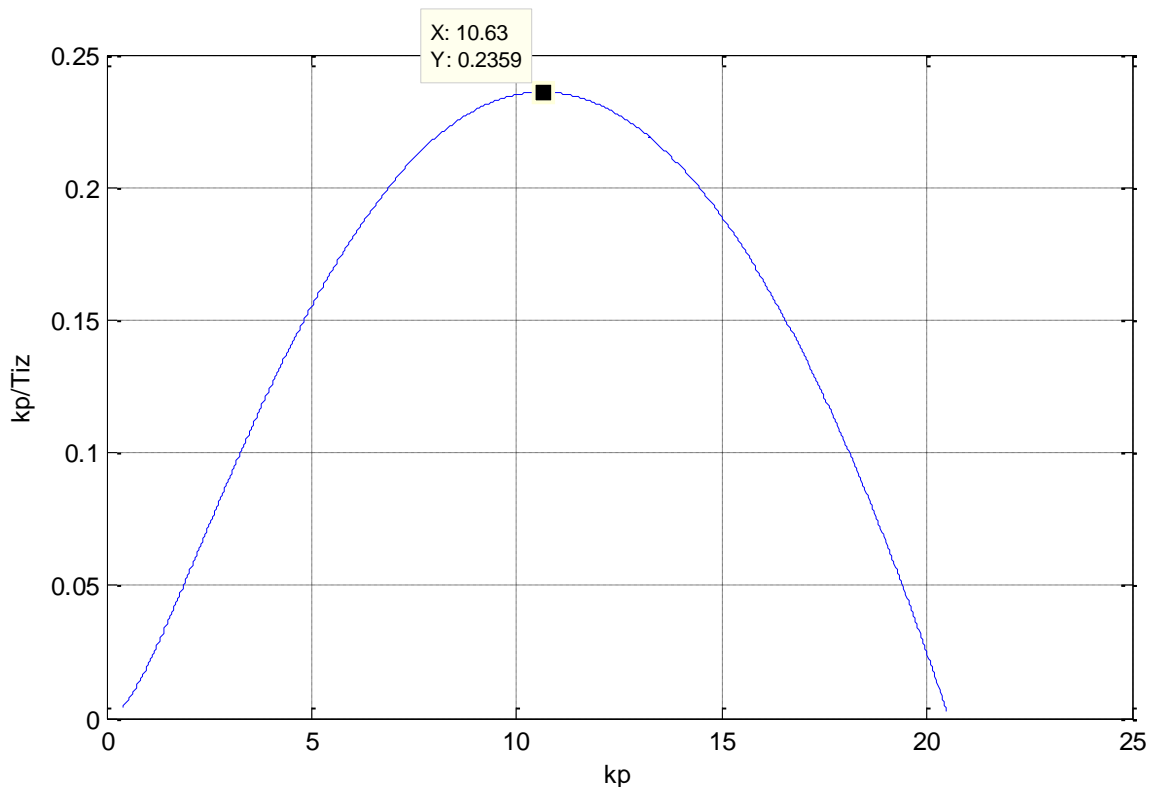


Рис. 3.5 Границя області заданого запасу стійкості САР тиску з ПІ-регулятором  
 Значення оптимальних параметрів ПІ-регулятора наближено визначаю за  
 максимальним значенням  $\frac{k_p}{T_{iz}}$  із отриманої області заданого запасу стійкості САР.

$$k_p = 10.63 \frac{\% \text{ ходу РО}}{\text{мм}}, \frac{k_p}{T_{iz}} = 0.236 \frac{\% \text{ ходу РО}}{\text{мм} \cdot \text{с}}.$$

Підставляючи отримані значення параметрів настроювання у рівняння (3.7),  
 отримую ФП ПІ-регулятора:

$$W(p) = 10.63 + \frac{0.235}{p} \quad (3.9)$$

### 3.4. Моделювання системи автоматичного регулювання рівня екстракту в другому корпусі вакуум-випарної установки

Моделювання автоматичної системи регулювання рівня екстракту в другому  
 корпусі вакуум-випарної установки здійснюється за допомогою ЕОМ,  
 застосовуючи метод структурного моделювання. Моделювання САР проводиться з  
 допомогою програмного пакету Matlab. Синтез системи регулювання здійснюється  
 шляхом використання типових структурних ланок.

Функція передачі об'єкту регулювання:

$$W_{OP}(p) = \frac{1}{89.28p} \cdot \frac{1.02}{12.9p+1}$$

Функція передачі за збуренням:

$$W(p) = \frac{1}{110p}$$

Функція передачі ПІ-регулятора:

$$W_{III}(p) = 10.63 + \frac{0.235}{p}$$

Змоделюємо структурну схему САР в Simulink при знайдених оптимальних параметрах (рис. 3.6):

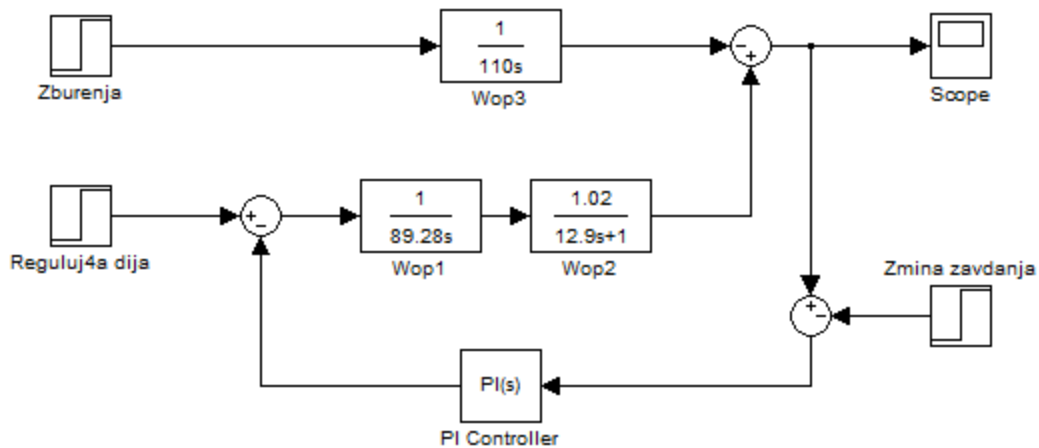


Рис.3.6 Структурна схема САР, реалізована в середовищі SIMULINK

Графік перехідного процесу САР із оптимальними параметрами ПІ-регулятора при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 20% ходу РО зображено на рис. 3.7.

Максимальне динамічне відхилення  $A_1=2.03\text{мм}$ , не перевищує допустимого ( $A_{1\text{задане}}=3\text{ мм}$ )

Час регулювання  $t_p=49\text{с}$  з заздалегідь встановленою похибкою  $\Delta=\pm 1\text{мм}$  задовольняється ( $t_{p\text{задане}}=60\text{с}$ ).

Коефіцієнт зникання  $\psi=(2.03-0.31)/2.03=0.85$ .

Отже, вимоги до якості процесу регулювання виконуються.

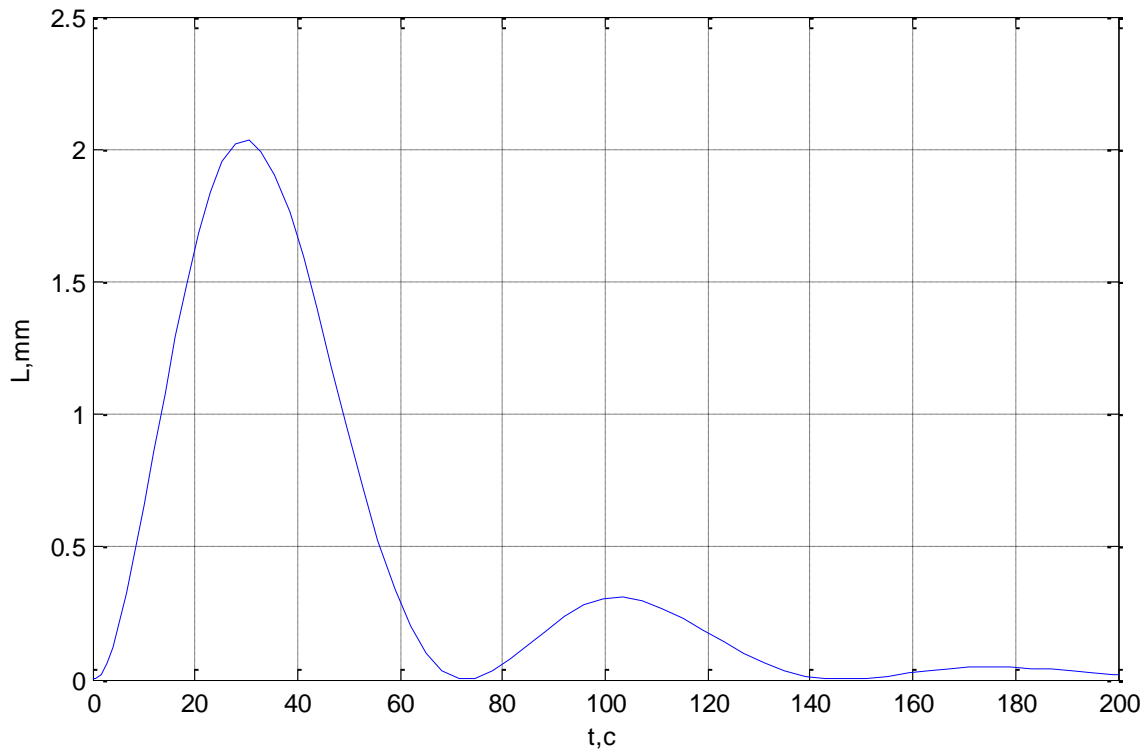


Рис.3.7 Графік перехідного процесу САР із оптимальними параметрами ПІ-регулятора при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 20% ходу РО

. Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах ПІ-регулятора при збуренні 15% відвитрати екстракту на виході з ВВУ зображено на рис. 3.8.

Максимальне динамічне відхилення  $A_1=1.59$  мм, не перевищує допустимого ( $A_{1\text{задане}}=3$  мм).

Час регулювання  $t_p=33$  с із заздалегідь встановленою похибкою  $\Delta=\pm 1$  мм задовольняється ( $t_{p\text{задане}}=60$ с).

Коефіцієнт зникання  $\psi=(1.59-0.24)/1.59=0,85$ .

Отже, вимоги до якості процесу регулювання виконуються.

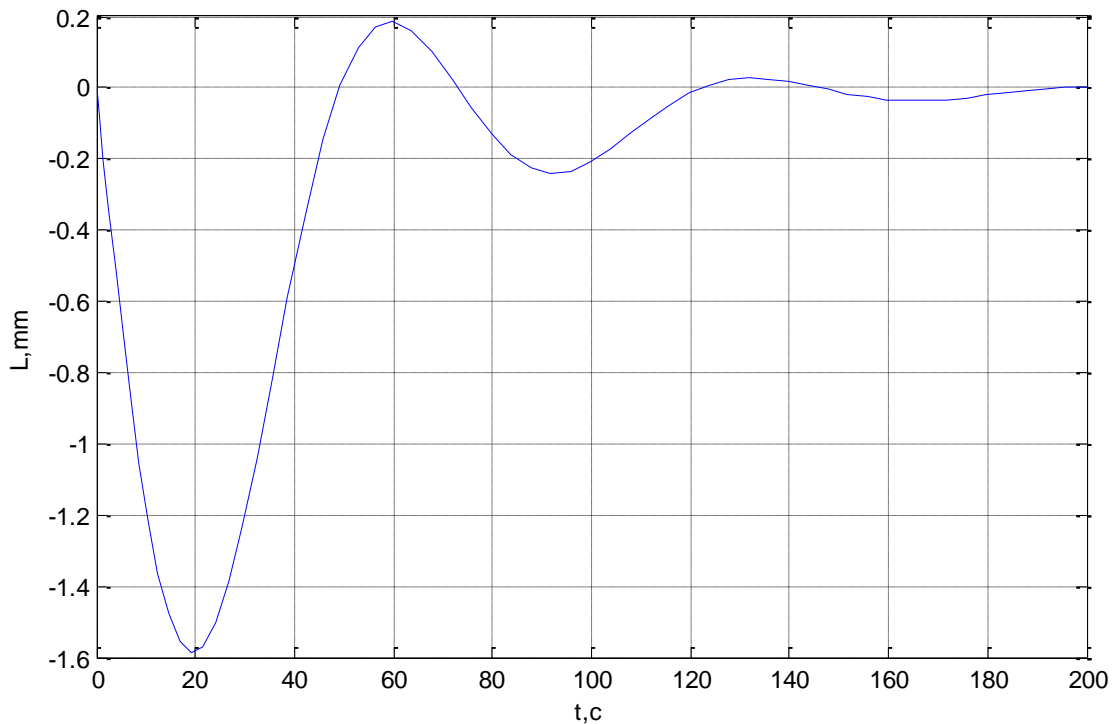


Рис.3.8. Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах ПІ-регулятора при збуренні 15% від витрати екстракту на виході з ВВУ

Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах ПІ-регулятора при зміні завдання регулятора на 5 мм зображено на рис. 3.9.

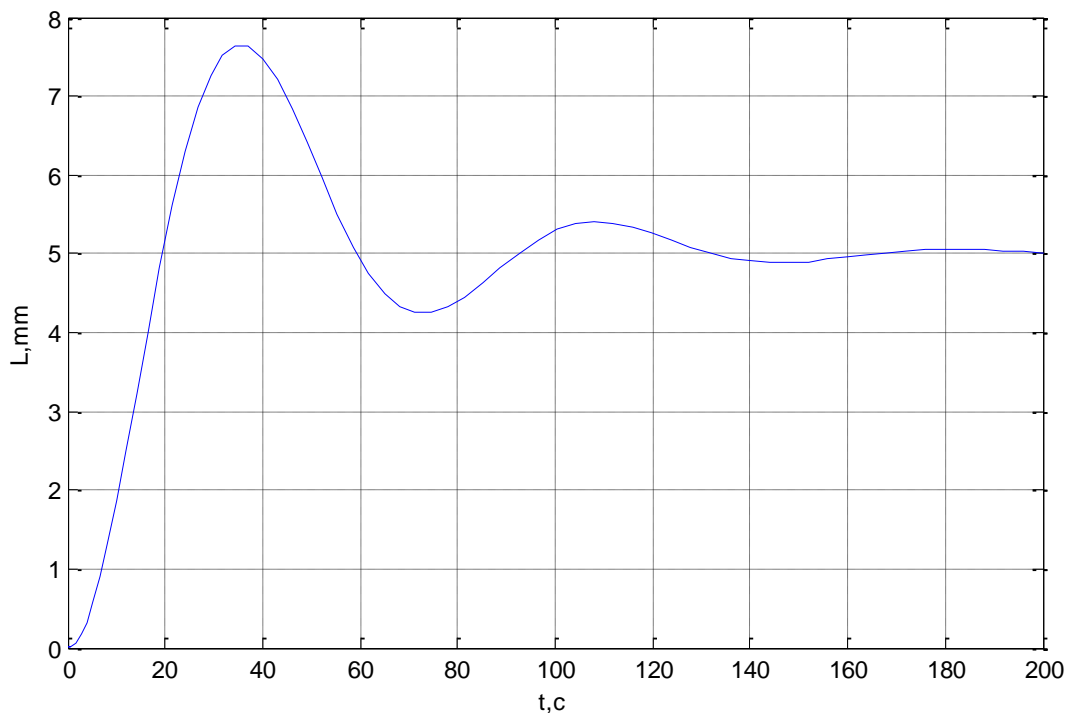


Рис. 3.9. Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах ПІ-регулятора при зміні завдання регулятора на 5 мм.

Максимальне динамічне відхилення  $A_1=2.64$  мм, не перевищує допустимого ( $A_{1\text{задане}}=3$  мм).

Час регулювання  $t_p=52$  с із заздальгідь встановленою похибкою  $\Delta=\pm 1$  мм задовольняється ( $t_{p\text{задане}}=60$ с).

Коефіцієнт заникання  $\psi=(2.64-0.4)/2.64=0,85$ .

Отже, вимоги до якості процесу регулювання виконуються.

### 3.5. ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### *Контур регулювання тиску пари, що поступає в перший корпус вакуум-випарної установки*

Тиск гріючої пари вимірюється з допомогою давача тиску (3-1) «Сафір» 2140 з уніфікованим вихідним струмовим сигналом 4-20 мА, діапазон вимірювання  $0\div 100$ кПа. Сигнал від давача тиску поступає на вхід контролера Siemens S7-300 де відбувається його обробка та регулювання. Сигнал з виходу регулятора подається на електро-пневматичний позиціонер (3-2) Samson тип 4763, який перетворює електричний сигнал від регулятора в пневматичний сигнал 20 ... 100 кПа, що поступає на пневматичний регулюючий клапан для харчової промисловості Samson тип 3241-1 (3-3, 3-4).

#### *Контур регулювання рівня в першому корпусі вакуум-випарної установки*

Рівень в першому корпусі вакуум випарної установки вимірюється за допомогою перетворювача гідростатичного тиску (1-1) Deltapilot SDB 50 фірми Endress+Hauser з уніфікованим вихідним струмовим сигналом 4-20 мА, діапазон вимірювання  $0\div 1$  м вод. ст. Сигнал від перетворювача гідростатичного тиску поступає на вхід контролера Siemens S7-300 де відбувається його обробка та регулювання. Сигнал з виходу регулятора подається на електро-пневматичний позиціонер (1-2) Samson тип 4763, який перетворює електричний сигнал від регулятора в пневматичний сигнал 20 ... 100 кПа, що поступає на пневматичний регулюючий клапан для харчової промисловості Samson тип 3241-1 (1-3, 1-4).

#### *Контур регулювання рівня в другому корпусі вакуум-випарної установки*

Рівень в другому корпусі вакуум випарної установки вимірюється за допомогою перетворювача гідростатичного тиску (6-1) Deltapilot SDB 50 фірми Endress+Hauser з уніфікованим вихідним струмовим сигналом 4-20мА, діапазон вимірювання  $0 \div 1$  м вод. ст. Сигнал від перетворювача гідростатичного тиску поступає на вхід контролера Siemens S7-300 де відбувається його обробка та регулювання. Сигнал з виходу регулятора подається на електро-пневматичний позиціонер (6-2) Samson тип 4763, який перетворює електричний сигнал від регулятора в пневматичний сигнал 20 ... 100 кПа, що поступає на пневматичний регулюючий клапан для харчової промисловості Samson тип 3241-1 (6-3, 6-4).

*Контур регулювання розрідження в другому корпусі вакуум-випарної установки*

Розрідження в другому корпусі вакуум-випарної установки вимірюємо за допомогою інтелектуального перетворювача розрідження (7-1) «Сафір» 2230 з уніфікованим вихідним струмовим сигналом 4-20 мА, діапазон вимірювання -40 – 0 кПа. Сигнал від перетворювача розрідження поступає на вхід контролера Siemens S7-300 де відбувається його обробка та регулювання. Сигнал з виходу регулятора подається на частотний перетворювач (7-2) Danfoss FC 51, який керує двигуном водокільцевого вакуумного насоса.

*Контур регулювання густини екстракту на виході з вакуум-випарної установки*

Густину екстракту вимірюємо за допомогою масового витратоміра Siemens SITRANS FC MASSFLO MASS2100, вихідний уніфікований сигнал 4-20 мА. Діапазон вимірювання густини : 0 ... 2900 кг/м<sup>3</sup>, основна похибка вимірювання густини :  $\pm 0,5$  % кг/м<sup>3</sup>. Сигнал від масового витратоміра (9-1) поступає на вхід контролера Siemens S7-300 де відбувається його обробка та регулювання. Сигнал з виходу регулятора подається на електро-пневматичний позиціонер (9-2) Samson тип 4763, який перетворює електричний сигнал від регулятора в пневматичний сигнал 20 ... 100 кПа, що поступає на пневматичний регулюючий клапан для харчової промисловості Samson тип 3244-7 (9-3, 9-4). Якщо густина екстракту досягла заданого значення, то клапан відкривається на вивантаження продукту із



випарної установки, якщо густина екстракту не досягла заданого значення, то клапан через байпасний трубопровід повертає екстракт назад у корпус на довипарювання.

#### *Контур індикації температури*

Температура вимірюється за допомогою платинового термометра опору (4-1, 8-1, 10-1, 11-1) типу ТСП-1088 з діапазоном вимірювання -200 до +500 °С. Перетворювач (4-2, 8-2, 10-2, 11-2) SITRANS TH100 перетворює вихідний сигнал термометра опору в уніфікований струмовий сигнал 4 – 20 мА. Сигнал з термоперетворювача опору поступає на вхід контролера Siemens S7-300 де відбувається його обробка.

#### *Контур індикації витрати вхідного екстракту*

Для вимірювання витрати вхідного екстракту виберемо електромагнітний витратомір (2-1) Promag 10H фірми Endress+Hauser. Вихідний сигнал 4-20 мА поступає на вхід контролера Siemens S7-300 де відбувається його обробка.

### **3.6. СПЕЦИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

*Таблиця 3.2*

#### **Специфікація засобів автоматизації**

№ п/п	№ позиції	Технологічний параметр, його номінальне значення	Місце встановлення ТЗА	Назва та коротка технічна характеристика ТЗА	Тип	Кіл-сть	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1-1, 6-1	Рівень в корпусах випарної установки 0,1 м	по місцю	Гідростатичний перетворювач рівня з вимірювальною коміркою contite. Діапазон вимірювання: 0-1 м вод.ст. Вихідний сигнал: 4...20 мА Основна похибка вимірювання: ± 0,2%	Deltapilot S DB 50	2	
2	1-2 3-2 6-2 9-2		по місцю	Електро-пневматичний позиціонер Вхідний сигнал від 4 до 20 мА. Вихідний пневматичний сигнал 20 ... 100 кПа.	Samson тип 4763	4	

3	1-3, 1-4 3-3, 3-4 6-3, 6-4		по місцю	Пневматичний регулюючий клапан для харчової промисловості з пневматичним приводом типу 3271. Вхідний сигнал клапана 20 ... 100 кПа.	Samson тип 3241-1	3	
4	2-1 2-2	Витрата вхідного екстракту	по місцю	Електромагнітний витратомір Основна похибка вимірювання: $\pm 0,5\%$ Забезпечує максимальну стійкість до агресивних середовищ і температурних впливів до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вихідний сигнал: 4 ... 20 мА.	Promag 10 Н	1	
5	3-1	Тиск гріючої пари, що подається на установку 50 кПа	на трубопроводі подачі пари	Давача надлишкового тиску з діапазоном вимірювання від 0 до 100 кПа. Основна похибка вимірювання: $\pm 0,5\%$ . Вихідний сигнал 4 – 20 мА.	«Сафір» модель 2140	1	
6	4-1 8-1 10-1 11-1	Температура	по місцю	Термометр опору Діапазон вимірювання температури: $-200 \dots +500\text{ }^{\circ}\text{C}$ Клас допуску А. Тиск середовища: 10 МПа. Довжина монтажної частини: L=80 мм. НСХ - 100П. Показник теплової інерції – 30с.	ТСП-1088	4	
7	4-2 8-2 10-2 11-2		по місцю	Вимірювальний перетворювач сигналу термометра опору 100П Вихідний сигнал: 4-20 мА	Sitrans TH100	3	
8	5-1 7-1	Розрідження в корпусах -30 кПа -20 кПа	по місцю	Тензорезисторний перетворювач розрідження. Діапазон вимірювання від -40 до 0 кПа. Основна похибка вимірювання $\pm 0,5\%$ . Вихідний сигнал 4 – 20 мА.	«Сафір» модель 2230	2	

9	7-2		по місцю	Частотний перетворювач. Трифазний. - Потужність 0,18 - 22 кВт - Вих.частота 0-400Гц. - Імпульсні входи - 1 (20-5000Гц). - Аналогові входи - 2 (0-10В, 0/4-20mA). - Аналогові виходи - 1 (0/4-20mA). - Вихід на реле - 1 (240В, 2А).	Danfoss VLT Micro FC 51	1	
10	9-1	Густина екстракту 1160 кг/м <sup>3</sup>	по місцю	Універсальний прилад забезпечує точне вимірювання масової витрати, густини, температури екстракту. Діапазон вимірювання густини : 0 ... 2900 кг/м <sup>3</sup> Основна похибка вимірювання густини: ≤ ±0,5 % кг/м <sup>3</sup> Вихідні сигнали: 0 / 4 ... 20 мА.	Siemens SITRANS F C MASSFLO MASS2100	1	
11	9-3, 9-4		по місцю	Триходовий клапан тип 3244-7 з пневмоприводом тип 3277 . Характеристики: Умовний діаметр Ду 15...150 Умовний тиск P <sub>y</sub> 10...40 Для температур від -10 до +220 °С	Samson Тип 3244-7	1	
12	12-1 13-1 14-1 15-1 16-1 17-1 18-1		по місцю	Контактор-пускач. 3-полюсний + 1 додатковий. Номінальний струм основного контакту – 12А, номінальна напруга – 660 В. Потужність двигуна, що підключається 5,5 кВт/400 В Номінальна напруга керування – 24 В.	3RT2017- 1BB41	7	
14			Монтажна рейка	Модуль центрального процесора ПЛК Simatic S-300	CPU 314C- 2DP	1	
15			Монтажна рейка	Блок живлення ПЛК Simatic S-300	PS 307 5A	1	

16			Монтажна рейка	SM331 модуль розширення 8 аналогових входів. Живлення 24В.	6ES7 331-7HF01-0AB0	1	
17			Монтажна рейка	SM332 модуль розширення 4 аналогових виходів. Живлення 24В.	6ES7 322-5HD01-0AB0	1	

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

Техніка безпеки являє собою комплекс технічних і організаційних заходів, які спрямовані на попередження обслуговуючого персоналу від травматизму, шкідливого впливу, які викликані умовами праці.

Створенням, налагодженням і монтажем систем автоматизації на підприємстві займається відділ КВП і А, який складається з двох підрозділів: операторів і слюсарів-ремонтників.

При проведенні технологічного процесу, а також роботі в операторному приміщенні можна виділити наступні можливі види небезпек:

1) для слюсарів-ремонтників КВП і А:

- пожежо- та вибухонебезпека (при аваріях в пічних агрегатах, трубопроводах подачі газу;
- можливість отримання опіків;
- негативний вплив підвищення рівнів шуму та вібрацій (при роботі різних видів конвеєрів);
- отруєння шкідливими речовинами;
- ураження електричним струмом;
- небезпеки, пов'язані з можливістю травмування робітників відкритими та рухомими частинами обладнання;
- небезпеки, пов'язані з роботою на висоті;
- небезпеки, пов'язані з незадовільними метеорологічними умовами.

2) для операторів КВП і А:

- зорове перенапруження;
- небезпеки, пов'язані з низькою рухливістю;
- небезпеки, пов'язані з незадовільними ергономічними і метеорологічними умовами;
- пожежо- та вибухонебезпечні умови.

Для зменшення ризиків виникнення нещасних випадків в дипломному проекті

необхідно передбачити заходи з охорони праці.

#### **4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці**

Згідно статті 13 закону України про охорону праці «Управління охороною праці та обов'язки роботодавця», третього розділу «Організація охорони праці», роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Згідно статті 6 закону України про охорону праці «Права працівників на охорону праці під час роботи», другого розділу «Гарантії прав на охорону праці», умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Відповідно до статті 8 закону України про охорону праці «Забезпечення працівників спецодягом, іншими засобами індивідуального захисту, мийними та знешкоджувальними засобами» на роботах із шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими метеорологічними умовами, працівникам видаються безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкоджувальні засоби.

Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Норми виробничого мікроклімату регламентують державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6-042-99.

Показниками, що характеризують мікроклімат є температура повітря; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря та теплове навантаження.

Приміщення підприємства повинні розміщатись відповідно до вимог, затверджених у встановленому порядку будівельних норм і правил, санітарних і протипожежних норм проектування.

### *Вентиляція та опалення*

Необхідно, щоб повітря робочої зони виробничих приміщень відповідало вимогам ДСН 3.3.6.042-99.

Під час перевищення у приміщеннях норм концентрації шкідливих газів і пилу, що передбачаються санітарними нормами, необхідно негайно вивести людей в безпечну зону та вжити заходів щодо ліквідації загазованості та запиленості повітря.

Для локалізації пиловиділень необхідно передбачати герметизацію та аспірацію устаткування, застосування зволоження, сигналізацію про заповнення бункерів, регулярне прибирання приміщень.

Всмоктуючі та видувні отвори вентиляторів повинні бути загороджені решітками.

Відбір зовнішнього повітря не повинен виконуватись на висоті менше ніж 2 м від землі і в місцях, забруднених різними шкідливими речовинами.

Для опалення приміщень повинні бути передбачені системи, теплоносії і пристрої, які не створюють додаткових виробничих шкідливих факторів.

Системи опалення будинків і споруд підприємства необхідно вибирати з урахуванням вимог ДСП 173-96 і СНіП 2.04.05-91.

Температура повітря в приміщеннях в холодну пору року не повинна бути нижче 14°C при легкій фізичній роботі, 12°C при роботі середньої важкості і 8°C при важкій роботі.

### *Вібрації та шум*

Рівні вібрації та шуму, що впливають на працівників, повинні відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99, Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України.

Вентилятори, повітродувки, рівні шуму яких перевищують допустимі норми, необхідно розташовувати у звукоізолювальних камерах або у звукоізолювальних кожухах (укриттях), обладнувати глушниками шуму з боку

всмоктування та нагнітання, а також засобами віброізоляції, що запобігають передачі вібрацій трубопроводам і фундаментам.

Для усунення шкідливого впливу на працівників підвищеного рівня шуму повинні застосовуватись засоби індивідуального захисту.

### *Освітлення*

Робоче освітлення повинно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість і яскравість відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд» та ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від. Джерела живлення аварійного освітлення повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів.

Улаштування, монтаж і експлуатація силового та освітлювального устаткування необхідно провадити з дотриманням вимог НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.32-01 та інших чинних нормативно-правових актів.

Показники освітлення території підприємства, допоміжних приміщень і робочих місць у цехах повинні відповідати встановленим нормам. У структурних підрозділах підприємства необхідно застосовувати робоче, аварійне та евакуаційне освітлення.

Робоче освітлення повинно забезпечувати освітленість і яскравість на робочих поверхнях не нижче нормативної.

Аварійним освітленням необхідно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість не менше 5% від нормативної, установленної для цих поверхонь.

Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати освітленість на підлозі основних шляхів пересування працівників, на східцях сходів не менше 3 лк (люксів).

Світильники повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.32-01 і розміщуватися таким чином, щоб забезпечити надійність їх кріплення, безпеку та зручність обслуговування.



Оскільки в технологічному процесі використовується природний газ, то можливе накопичення вибухонебезпечної метано-повітряної суміші, тому системи електроосвітлення повинні бути зроблені у вибухобезпечному виконанні.

### *Заходи безпеки*

У приміщеннях з підвищеним забрудненням пилом електропроводка та електропускові пристрої необхідно виконувати таким чином, щоб забезпечувалася можливість вологого прибирання приміщень. В електромашинних приміщеннях необхідно передбачати прибирання пилу з електроустаткування пилососом.

На роботах, що пов'язані з небезпекою ураження електричним струмом, повинні застосовуватися засоби захисту відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21-98, Правил безпечної експлуатації електроустановок, Правил експлуатації електрозахисних засобів, НПАОП 40.1-1.07-01.

Органи керування на пульті та на щиті повинні розташовуватись в послідовності запуску і зупинки обладнання. Кнопки запуску повинні бути втоплені на 3-5 мм за габарити пускової коробки, а кнопки зупинки повинні бути червоного кольору і виступати на 3 мм.

Органи керування на пульті або на щиті повинні розташовуватись на відстані не більше ніж 800 мм від вертикальної осі сидіння.

Електричні прилади та щити необхідно заземлювати відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів.

Контрольно-вимірювальні прилади повинні освітлюватися відповідно до норм освітленості.

Стан і робота приладів, засобів автоматизації, сигналізації, дистанційного керування та пристроїв захисних блокувань повинні постійно контролюватися.

Регулювання та ремонт приладів і засобів автоматизації повинні виконувати тільки працівники служби контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

На всіх засобах вимірювання, що контролюють граничні значення параметрів технологічного процесу, червоною фарбою повинні помічатися гранично допустимі значення параметра, що вимірюється.

### 4.3. Пожежна безпека

Технічні рішення системи запобігання пожежі.

Проектом передбачене наступне:

- всі елементи, які можуть у процесі роботи іскритися, встановлюються у вогнетривких шафах. Застосовуються іскрогасящі діоди;
- кабелі прокладаються на відстані 1 м від нагрітих поверхонь або захищаються екранами з неспалених матеріалів. Всі елементи кабельного господарства прокладаються в коробах, захисних трубах;
- при аварійних ситуаціях передбачене використання аварійного захисту, що відключає встаткування;
- для захисту від короткого замикання застосовуються плавкі запобіжники й автоматичні вимикачі;
- для запобігання згоряння всі деталі й елементи виготовляються з неспалених і важко спалених матеріалів (в основному металеві конструкції).

Технічні рішення системи протипожежного захисту. Для виявлення початкової стадії пожежі, повідомлення про місце його виникнення й включення установок пожежогасіння відповідно до проекту застосовують наступні установки пожежної сигналізації на базі автоматичних пожежних оповіщувачів.

Установка електричної пожежної сигналізації відповідно складається з оповіщувачів - датчиків (у даному проекті - датчик комбінованого типу КМ-1, що реагує на дим і підвищення температури), встановлених у приміщеннях, що захищають, ліній зв'язку й прийомної станції СДПУ-1 з живленням від мережі змінного струму 220В встановлюваний у приміщенні щитової. У випадку виникнення пожежі за допомогою світлових і звукових сигналів буде вироблятися оповіщення обслуговуючого персоналу й пожежної команди.

Приміщення обладнане первинними засобами пожежогасіння - вогнегасником 2БР2МА (вуглекислотний). При пожежі в електроустановках, які перебувають під напругою.

Для гасіння пожеж використається вода. Приміщення обладнане протипожежним водопроводом.

## 5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Проведення великої кількості операцій із застосуванням ручної праці зумовлює зниження якості продукції і наявність браку. Тому поряд із заміною обладнання доцільно здійснити заміну старої системи автоматизації, яка була побудована на локальних регулюючих і контролюючих засобах, на нову систему з використанням сучасної мікропроцесорної техніки. Хоча нові мікропроцесорні засоби є дорогими, але завдяки їх багатofункціональному призначенню є можливість виключити проміжні прилади та здійснювати різні додаткові операції.

Для техніко-економічного обґрунтування вибраної системи автоматизації використаємо дані підприємства, наведені в табл. 5.1.

*Таблиця 5.1*

### Вихідні дані для порівняння варіантів

Показники	Умовне познач.	Одиниця вимірюв.	Варіант	
			базовий	запроектов.
Річна програма випуску продукції	Q	т	5380,6	5649,6
Термін використання КВП і А	T <sub>вик</sub>	років	5	5
Кількість відмов КВП і А	N <sub>над</sub>	%	3	0.5
Похибка КВП і А	P <sub>пох</sub>	%	2,5	0,5
Чисельність робітників основних допоміжних	Ч <sub>осн</sub> Ч <sub>доп</sub>	людей	32	22
		людей	14	10
Вартість системи автомазації	K <sub>0</sub>	грн	94193,58	139161,87
Собівартість продукції	C	грн/т	469,54	465,48
Сума приведених затрат	K <sub>пр</sub>	грн/т	474,49	470,18

Одноразові капітальні витрати включають в себе вартість контрольно-вимірювальних і регулюючих приладів та засобів автоматизації, монтажних, будівельних і налагоджувальних робіт, втрати від ліквідації звільненої техніки.

Згідно заводських даних вартість виробів, апаратів, засобів автоматизації і приладів складає 109741,63 грн. транспортно-заготівельні витрати враховуються в розмірі 8 % від купівельної ціни засобів автоматизації і складають 8779,33 грн.

Витрати на монтаж системи автоматизації визначаються вартістю матеріалів, які витрачаються при проведенні монтажних робіт і витратами, пов'язаними з заробітною платою робітників. Згідно заводських даних витрати на монтаж системи автоматизації складають 2154,5 грн.

Вартість налагодження апаратури згідно даних підприємства складає 10 % купівельної вартості засобів автоматизації і становить 10974,16 грн.

Вартість будівельних робіт  $C_6$ , пов'язаних з реконструкцією приміщень і влаштуванням фундаментів під щити, визначають за залежністю:

$$C_6 = V \cdot C_v \left( 1 + \frac{C}{100} \right), \text{ де}$$

$V$  – об'єм будівлі, який підлягає реконструкції; за проектом  $V=25 \text{ м}^3$ ;  $C_v$  – ціна за  $1 \text{ м}^3$  об'єму приміщення, що підлягає реконструкції; за даними підприємства  $C_v = 195$  грн;  $C$  – витрати на роботи по опаленню, освітленню, каналізації. За даними підприємства ці витрати складають 10 %. Тоді вартість будівельних робіт рівна:  $C_6 = 25 \times 195 (1 + 0,1) = 5362,5$  грн.

Витрати на санітарно-технічні роботи згідно даних підприємства становить 20 % вартості будівельних робіт і складають 1072,5 грн.

Витрати на демонтаж існуючої системи автоматизації згідно даних заводу є рівними 50 % вартості монтажних робіт і чисельно складають 1077,25 грн.

Загальні капітальні витрати на впровадження запроєктованої системи автоматизації:  $C = 109741,63 + 8779,33 + 2154,5 + 10974,16 + 5362,5 + 1072,5 + 1077,25 = 139161,87$  грн.

Затрати на амортизацію становлять 25% від вартості засобів автоматизації

$$V_{\text{аморт}} = 109741,63 \times 0,25 = 27435,4 \text{ грн в рік.}$$

Затрати на планові ремонти обладнання закладені у розмірі:

$$V_{\text{пл.рем}} = 6500 \text{ грн}$$

Отже, експлуатаційні витрати на автоматизацію становлять :

$$V = 27435,4 + 6500 = 33935,4 \text{ грн.}$$

Річну виробничу потужність обладнання неперервної дії можна визначити за формулою:  $V = N \cdot n_r \cdot (T - T_0)$ , де

$N$  – кількість однорідних апаратів;  $n_r$  – продуктивність одиниці обладнання за годину;  $T_0$  – регламентовані зупинки одного апарата, годин;  $T$  – календарний час, годин.

Для проведення розрахунків собівартість запроєктованого і базового варіантів повинна визначатися за єдиною методикою при однакових цінах на сировину, матеріали, електроенергію, рівних обсягах виробництва. Тому з врахуванням різниці в річному випуску продукції розраховують додаткові капітальні вкладення з допомогою показника питомих капітальних вкладень за формулою:

$$K_d = \left( \frac{K_2}{Q_2} - \frac{K_1}{Q_1} \right) \cdot Q_2, \text{ де}$$

$K_1, K_2$  – капітальні вкладення відповідно в базовий і запроєктований варіанти;  $Q_1, Q_2$  – річний випуск продукції відповідно в базовому і запроєктованому варіанті.

$$K_d = \left( \frac{13916187}{5649,6} - \frac{9419358}{5380,6} \right) \cdot 5649,6 = 40258,21 \text{ грн.}$$

Економію за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів розрахуємо за даними підприємства за формулою:

$$E_m = (V_1 C_1 - V_2 C_2) Q_2, \text{ де}$$

$V_1, V_2$  – обсяг сировини, матеріалів, які витрачаються на виробництво одиниці продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації;  $C_1, C_2$  – відповідно ціна одиниці сировини, матеріалів.

Загальна економія за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів складе:

$$E_3 = 103747,69 \text{ грн.}$$

Зміни у витратах на електроенергію розраховуються за даними підприємства за формулою:  $E_e = (m_1 - m_2) C_2 Q_2$ , де

$m_1, m_2$  – витрати електроенергії на одиницю продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації;  $C_2$  – ціна одиниці енергії.

Тоді за даними підприємства

$$E_e = (0,018 - 0,0229) \times 5649,6 = -129,19 \text{ грн.}$$

Тобто, додаткові витрати на електроенергію складуть 129,19 грн . Необхідно зауважити, що витрати електроенергії зростають не за рахунок збільшення енергоємності обладнання, а із-за суттєвого розширення його бази.

Економію по заробітній платі робітників визначають у відповідності зі зміною чисельності основних і допоміжних робітників і їх середньорічної заробітної плати.

Явочна чисельність чергових слюсарів буде рівною:

$$Ч_{\text{ячсл}} = \frac{(15 \times 15 + 23 \times 10 + 20 \times 1 + 120 \times 5) \cdot 1,1}{480} = 2,46 \text{ чоловік.}$$

Згідно даних підприємства, на заводі застосовується чотирибригадний графік з тривалістю зміни 7,8 години.

Річний економічний ефект визначаємо за формулою :

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{\text{заг}} - E_n * K ;$$

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \varepsilon_i - B ;$$

де  $\varepsilon_{\text{заг}}$ - загальна умовно-річна економія за рахунок різноманітних джерел;

$\varepsilon_i$  - економія за рахунок і-го джерела (палива, енергії, зарплати);

$E_n * K$  - капітальні затрати на автоматизацію (згідно кошторису) ;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ( $E_n = 0.15$ );

$B$  - експлуатаційні затрати на автоматизацію.

Таким чином,  $\varepsilon_i = 210993,94$  грн.  $B = 33935,4$  грн.  $K = 139161,87$  грн.

$$\varepsilon_{\text{заг}} = 210993,94 - 33935,4 = 177058,54 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект :

$$\varepsilon_p = 177058,54 - 0.15 * 139161,87 = 156184,26 \text{ грн.}$$

Термін окупності визначимо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = K / \varepsilon_{\text{заг}} = 139161,87 / 177058,54 = 0,786 \text{ року} = 287 \text{ днів.}$$

Коефіцієнт ефективності  $\varepsilon = \varepsilon_{\text{заг}} / K = 1 / T_{\text{ок}} = 1 / 0,786 = 1,27$ .

Річний економічний ефект від запровадження автоматизації даного технологічного процесу 156184,26 грн. Термін окупності – 0,786 року.

Запровадження запропонованої системи автоматизації дає річний економічний ефект в сумі 156184,26 гривень, а термін окупності становить 0,786 року.

## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі, було досліджено технологічний процес випарювання кавового екстракту з допомогою вакуум-випарної установки та ознайомлено з технологічним обладнанням.

Для нормального протікання технологічного процесу випарювання екстракту кавопродуктів у випарній установці обов'язковою умовою є дотримання заданих параметрів рівня по корпусах випарної станції. У зв'язку з цим, до точності підтримки заданого значення рівня пред'являються дуже високі вимоги і від якості регулювання рівня залежить якість роботи випарної станції.

В випарній установці гріюча пара подається лише в перший корпус, а гріючим середовищем наступних є сокова пара (вторинна) яка утворюється під час випарювання надлишку води з екстракту, і служить як гріюча для камери наступного корпусу. Цим забезпечується економія умовного палива. Але така пара буде з меншим потенціалом, меншою температурою і тиском. Ось чому по корпусах випарної установки має бути різний тиск. Впровадження системи автоматизації для даного параметра забезпечить надійність технологічного режиму.

Регулювання розрідження на випарній установці відбувається в пластинчастому конденсаторі. Якщо розрідження знаходиться в заданих межах, то випарна установка працює без перебоїв, відбувається нормальне перетікання соку по корпусах та нормальний температурний режим. Система автоматизації дає можливість точного контролю та регулювання розрідження на випарній установці.

Для нормального теплового режиму роботи випарної установки необхідно своєчасно відводити конденсат з випарних камер.

Засвоївши принципи побудови та програмування систем автоматизації з використанням мікропроцесорних засобів, було розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації вакуум-випарної установки та відповідні засоби автоматизації, розроблено програму функціонування мікропроцесорного контролера Siemens S7-300 та розроблено принципову електричну схему зовнішніх

з'єднань мікропроцесорного контролера із обраними засобами автоматизації. Застосування програмного регулювання з допомогою мікропроцесорної техніки дозволяє скоротити витрати людської праці та електроенергії, а також зменшити вплив людського фактору.

Проведено розрахунок та моделювання системи регулювання рівня екстракту в другому корпусі вакуум-випарної установки. Дослідивши перехідний процес САР із ПІ-регулятором, показано, що він забезпечує оптимальне протікання технологічного процесу із вибраними критеріями якості.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Автоматизація виробничих процесів/ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський О.К., Ляшук О.Л .- Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011.-344 с.
3. Автоматизація виробничих процесів/І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед.- К.:Ліра, 2015.- 340 с.
4. Л.М. Артюшин, О.А. Машков,Б.В. Дурняк, М.С. Сівов. Теорія автоматичного керування. — Львів: Видавництво УАД, 2004.
5. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації, Ч. 2 «Регульовальні і виконавчі пристрої»/А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2003.– 658 с.
6. Бабіченко А.К. Практикум з вимірювань та технічних засобів автоматизації / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, І.Л. Красніков та ін. – Х.: НТУ «ХП», 2009. – 114 с.
7. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник / О.В. Барало, П.Г. Самойленко, СЄ. Гранат, В.О. Ковальов. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
8. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
9. В.А. Домарецький Технологія солоду та пива – Київ “Урожай”,1999 – 554с.
10. Каталог вимірювальних приладів фірми Siemens.
11. Каталог фірми "Siemens". [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://adventa.su/price-list-simatic-S7-300/400>– Назва з екрану.
12. Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості.- К.: Аграрна освіта, 2001.- 224 с.
13. Малежик І.Ф., Циганков П.С. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник. К.:НУХТ, 2003. – 400 с.: іл.
14. Нелінійні та дискретні системи автоматичного керування. Курс лекцій : навчальний посібник / укладачі : Б. І. Приймак. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.
15. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
16. Стенцель Й. І. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 2013. – 320 с.
17. Siemens [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller> Назва з екрану.
18. <http://t-life.com.ua/catalog/insetes/884>