

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ „ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ ТА СИСТЕМ КЕРУВАННЯ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:

**АВТОМАТИЗАЦІЯ БАГАТОСТУПЕНЕВОЇ ВОДОДИСТИЛЯЦІЙНОЇ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ СТЕРИЛЬНОЇ АПРОГЕННОЇ ВОДИ
AUTOMATION OF MULTI-STAGE WATER DISTILLATION UNIT FOR
OBTAINING THESTERILE PYROGENFREE WATER**

Студент групи АВ-43 Бойчук Олександр Олександрович
(шифр, прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник роботи: _____ / к. т. н. Василь Варищук /
Консультанти: Охорона праці _____ / доц. Юрій КІТ /
Економіка _____ / доц. Наталія МИХАЙЛИК /
Моделювання _____ / доц. Ганна КРИХ /
Мікропроцесорних засобів
автоматизації _____ / доц. Ігор КОСТИК /
Завідувач кафедри: _____ / д. т. н., проф. Федір МАТІКО /

Львів 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Інститут ЕСК Кафедра АВКТ
Спеціальність 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри АВКТ
д.т.н., проф. Федір МАТІКО
“ ” 20 р.

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Бойчук Олександр Олександрович

(прізвище, ім’я, по батькові)

- Тема роботи: Автоматизація багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води
затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р., № 1766-4-08
- Термін здачі студентом закінченої роботи “ 13 ” червня 2025 р.
- Вихідні дані для роботи:
 - Технологічна схема
 - Опис технологічного процесу
- Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які належить розробити):

Вступ

 - Аналіз технологічного процесу, як об’єкта керування
 - Техніко-економічне обґрунтування функціональної схеми автоматизації
 - Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації
 - Розроблення та опис розгорнутої функціональної схеми автоматизації
 - Програмне забезпечення системи автоматизації
 - Принципові електричні схеми з’єднань засобів автоматизації
 - Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання рівня в першій вододистиляційній колоні
 - Охорона праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації
 - Обґрунтування економічної доцільності впровадження системи автоматизації

Висновки
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень):
 - Функціональна схема автоматизації
 - Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації
 - Принципова електрична схема з’єднань засобів автоматизації
 - Моделювання системи автоматичного регулювання рівня у першій вододистиляційній колоні

6. Консультанти роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економіки</i>	<i>доц. Михайлик Н.І.</i>		
<i>Охорони праці</i>	<i>доц. Кім Ю. В.</i>		
<i>Моделювання</i>	<i>доц. Крих Г.Б.</i>		
<i>Мікропроцесорних програмованих засобів автоматизації</i>	<i>доц. Костик І.В.</i>		

7. Дата видачі завдання: 19 травня 2025 р.Керівник роботи: _____ / к.т.н. Василь ВАРИЩУК /
(підпис)Завдання прийняв до виконання: _____ / Олександр БОЙЧУК /
(підпис)

Календарний план

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ</i>	<i>21.05.2025р.</i>	
2.	<i>Аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування</i>	<i>21.05.2025р.</i>	
3.	<i>Техніко-економічне обґрунтування функціональної схеми автоматизації</i>	<i>22.05.2025р.</i>	
4.	<i>Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації</i>	<i>23.05.2025р.</i>	
5.	<i>Розроблення та опис розгорнутої функціональної схеми автоматизації</i>	<i>26.05.2025р.</i>	
6.	<i>Програмне забезпечення системи автоматизації</i>	<i>28.05.2025р.</i>	
7.	<i>Принципові електричні схеми з'єднань засобів автоматизації</i>	<i>30.05.2025р.</i>	
8.	<i>Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання рівня в першій вододистильційній колоні</i>	<i>02.06.2025р.</i>	
9.	<i>Охорона праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації</i>	<i>05.06.2025р.</i>	
10.	<i>Обґрунтування економічної доцільності впровадження системи автоматизації</i>	<i>10.06.2025р.</i>	
11.	<i>Висновки</i>	<i>12.06.2025р.</i>	

Студент: _____ / Олександр БОЙЧУК /
(підпис)Керівник роботи: _____ / к.т.н. Василь ВАРИЩУК /
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Обсяг пояснювальної записки – 104 сторінок, кількість ілюстрацій – 47, кількість таблиць – 12, кількість використаних джерел – 31, кількість графічних плакатів – 4.

Об'єктом дослідження бакалаврської кваліфікаційної роботи є процес отримання стерильної апірогенної води методом дистиляції.

Предметом дослідження є система автоматичного керування багатоступеневою вододистиляційною установкою для отримання стерильної апірогенної води.

Метою дослідження є проектування автоматизованої системи керування багатоступеневою вододистиляційною установкою для отримання стерильної апірогенної води з використанням сучасних засобів автоматизації.

У першому розділі проведено аналіз технологічного процесу, досліджено фактори які впливають на перебіг процесу дистиляції, складено матеріальні та теплові баланси, обґрунтовано параметри технологічного процесу.

У другому розділі здійснено аналіз взаємозв'язків між параметрами об'єкта керування, вибір координат регулювання та контролю технологічних параметрів та розроблено спрощену функціональну схему автоматизації.

У третьому розділі підібрано контрольно-вимірвальні засоби та виконавчі механізми, а також проведено конфігурацію програмованого логічного контролера.

У четвертому розділі розроблено повну функціональну схему автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води.

У п'ятому розділі розроблено алгоритми та програму функціонування контурів системи керування на основі мікропроцесорного засобу автоматизації для реалізації розглянутої системи керування.

У шостому розділі розроблено принципову електричну схему з'єднань засобів автоматизації.

У сьомому розділі проведено моделювання контуру регулювання рівня в першій вододистиляційній колоні, отримано модель даного контуру та знайдено

оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора.

У восьмому розділі розглянуто головні аспекти охорони праці та пожежної безпеки для модернізації, обслуговування та експлуатації багатоступеневої вододистиляційної установки. Запропоновано технічні рішення для забезпечення безпечних умов праці.

У дев'ятому розділі проведено обґрунтування економічної ефективності впровадження системи автоматизації.

Результати роботи показують, що реалізувавши автоматизовану систему керування багатоступеневою установкою можна значно скоротити витрати зменшивши кількість обслуговуючого персоналу. Також автоматизація підвищить якість готової продукції шляхом зменшення впливу людського фактору. Реалізована система реєстрації основних технологічних параметрів дозволить відстежувати кожен момент часу роботи установки та зберігати інформацію про перебіг технологічного процесу, що є обов'язковим для сучасної фармацевтичної галузі.

ANNOTATION

The volume of the explanatory note – 104 pages, number of illustrations – 47, number of tables – 12, number of references – 31, number of graphical posters – 4.

The object of the bachelor's qualification thesis is the process of obtaining the sterile pyrogen-free water by distillation. The subject of the research is the automation of multi-stage water distillation unit for obtaining the sterile pyrogen-free water.

The aim of the study is to design an automated control system for the automation of multi-stage water distillation unit for obtaining the sterile pyrogen-free water using modern automation tools.

The first chapter presents an analysis of the technological process, examines the factors influencing the distillation process, develops material and heat balances, and substantiates the parameters of the technological process.

The second chapter analyzes the interrelations between the parameters of the control object, selects the control and monitoring coordinates of technological parameters, and develops a simplified functional automation diagram.

The third chapter selects measuring instruments and actuators, as well as performs the configuration of the programmable logic controller.

The fourth chapter develops the complete functional automation diagram of the multi-stage water distillation unit for obtaining the sterile pyrogen-free water.

The fifth chapter develops control algorithms and software for the control loops based on a microprocessor automation device for the implementation of the proposed control system.

The sixth chapter presents the development of the principal electrical connection diagram for the automation equipment.

The seventh chapter includes modeling of the level control loop in the first distillation column, develops the model of the loop, and determines the optimal PI-controller tuning parameters.

The eighth chapter considers the main aspects of occupational health and fire safety related to the modernization, maintenance, and operation of the multi-stage water distillation unit. Technical solutions are proposed to ensure safe working conditions.

The ninth chapter provides an economic justification for the implementation of the automation system.

The results of the study show that the implementation of the automated control system for the automation of multi-stage water distillation unit can significantly reduce costs by decreasing the number of service personnel. Moreover, automation improves the quality of the final product by reducing the impact of the human factor. The implemented system for recording key technological parameters allows tracking each moment of the unit's operation and storing information about the process, which is essential in the modern pharmaceutical industry.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ....	15
1.1 Опис технологічного процесу.....	15
1.2 Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах.....	16
1.3 Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта.....	17
1.4 Визначення і аналіз факторів що впливають на технологічний процес.....	18
1.5 Технологічна карта.....	18
1.6 Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта	19
2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	21
2.1 Аналіз характеристик взаємозв'язку між параметрами об'єкта керування	21
2.2 Обґрунтування і вибір координат вимірювання, контролю, сигналізації, дистанційного керування, захисту, блокування та регулювання.....	22
2.3 Визначення функціональних ознак систем автоматизації	23
2.4 Порівняльний аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу отримання води для ін'єкцій. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта.....	24
3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	27
3.1 Вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми.....	27
3.1.1 Обґрунтування вибору вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів.....	27

	10
3.1.2 Технічні характеристики вибраних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів	30
3.2 Мікропроцесорний програмований засіб автоматизації	39
3.2.1 Обґрунтування вибору мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації та опис його технічних характеристик.....	39
3.2.2 Концепція вибору компонентів мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації	41
3.2.3 Конфігурація та налаштування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації	42
3.3 Специфікація засобів автоматизації	43
4. РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗГОРНУТИМ СПОСОБОМ ТА ЇЇ ОПИС	48
5. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	52
5.1 Алгоритми функціонування контурів системи автоматизації	52
5.2 Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації	57
6. РОЗРОБКА ТА ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ З'ЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	63
7. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ У ПЕРШІЙ ВОДОДИСТИЛЯЦІЙНІЙ КОЛОНІ.....	67
7.1 Складання математичної моделі та розрахунок основних параметрів технологічного об'єкта керування.....	67
7.1.1 Вибір структури моделі об'єкта керування	68
7.1.2 Знаходження числових значень параметрів моделі	69
7.1.3 Перевірка адекватності динамічної моделі	71

7.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування автоматичного регулятора 72

7.3 Дослідження перехідних процесів САР рівня в першій вододистиляційній колоні 77

8. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 81

8.1 Технічне рішення щодо безпечної експлуатації засобів автоматизації 82

8.2 Виробнича санітарія та гігієна праці 83

8.2.1 Мікроклімат 83

8.2.2 Склад повітря робочої зони..... 88

8.2.3 Виробниче освітлення 88

8.2.4 Виробничий шум..... 89

8.2.5 Виробничі вібрації 89

8.2.6 Виробничі випромінювання..... 90

8.3 Пожежна безпека..... 90

8.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі 91

8.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту 91

9. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 93

9.1 Розрахунок основних затрат на автоматизацію..... 93

9.2 Розрахунок амортизаційних витрат..... 95

9.3 Розрахунок чисельності основних робітників бригади 96

9.4 Розрахунок фонду заробітної плати (основних робітників) 96

9.5 Розрахунок експлуатаційних витрат на автоматизацію..... 98

9.6 Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності 99

ВИСНОВКИ 101

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	102
--------------------------------------	------------

ВСТУП

Вода для ін'єкцій (ВДІ) є критично важливим компонентом у фармацевтичній промисловості, зокрема для виробництва ін'єкційних препаратів, розчинів для інфузій, а також для миття ємностей, стерилізації обладнання та інших технологічних операцій. Її якість суворо регламентується міжнародними та національними стандартами, включаючи монографії Європейської фармакопеї, Державної фармакопеї України та інші нормативні документи. Згідно з вимогами, ВДІ повинна мати надзвичайно низький рівень мікробіологічного забруднення, бути вільною від ендотоксинів, органічних і неорганічних домішок, що обумовлює складність і відповідальність процесу її отримання.

Існують кілька основних методів виробництва води для ін'єкцій, серед яких найбільш поширеними є дистиляція та оборотне осмосне очищення у поєднанні з електродіалізом або ультрафільтрацією. У країнах ЄС з 2017 року офіційно дозволено використовувати зворотний осмос як альтернативу дистиляції, за умов наявності відповідного контролю мікробіологічної безпеки. Водночас, дистиляційний метод залишається найнадійнішим і стабільнішим з точки зору забезпечення якості та стерильності, особливо в умовах виробництва на підприємствах, де перевага надається термічним способам знезараження.

Одним із ефективних технічних рішень для забезпечення безперервного та надійного отримання води для ін'єкцій є багатоступенева вододистиляційна установка. Такий тип обладнання забезпечує повторне використання теплової енергії шляхом каскадного передавання пари від одного ступеня до іншого, що дозволяє досягти високої енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат. Проте ефективність функціонування подібної установки значною мірою залежить від ступеня автоматизації її роботи.

Автоматизація багатоступеневої вододистиляційної установки дозволяє:

- забезпечити стабільну якість отриманої ВДІ за всіма регламентованими показниками;
- знизити людський фактор у критичних технологічних операціях;
- забезпечити віддалений моніторинг і керування;

- інтегрувати установку в загальну автоматизовану систему управління підприємства (SCADA, DCS).

Зважаючи на актуальність підвищення якості лікарських засобів та зростання вимог до стерильності, тема автоматизації процесу отримання води для ін'єкцій є надзвичайно актуальною. У дипломній роботі буде розглянуто структуру і принцип роботи багатоступеневої установки, проведено аналіз її енергетичних характеристик, розроблено алгоритм автоматизованого керування та підібрано відповідне обладнання. Особлива увага приділяється вибору контрольно-вимірювальних приладів, виконавчих механізмів та програмного забезпечення, що забезпечують надійну та безпечну роботу технологічного процесу.

Таким чином, автоматизація багатоступеневої вододистиляційної установки є ключовим етапом на шляху до забезпечення стабільного, енергоощадного та високоякісного виробництва води для ін'єкцій у фармацевтичній промисловості.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технологічного процесу

Розглянутий об'єкт – це багатоступенева вододистиляційна установка, призначена для отримання стерильної апірогенної води – води для ін'єкцій. Принцип її дії ґрунтується на багатоступеновому енергоефективному очищенні знесоленої води. Схематичне зображення процесу наведено на рис. 1.1.

Нагрівання здійснюється лише у першій колоні (K01), куди подається зовнішня пара. Після конденсації ця пара по замкнутому конденсатопроводу повертається до парового котла.

Живильна вода за допомогою теплообмінника W01 попередньо підігривається до температури, необхідної для подачі в першу колону. В процесі конденсації у K01 утворена чиста пара передає теплову енергію наступній колоні (K02), де відбувається аналогічний процес. Перегрітий дистилат послідовно використовується в наступних ступенях установки, що забезпечує поетапну передачу тепла з поступовим зниженням тиску та температури в кожній наступній колоні.

Пара, що утворюється в останній колоні (K05), проходить конденсацію в теплообміннику W01, передаючи частину теплової енергії живильній воді. Конденсат, разом із дистилатом з колон K02–K05, у теплообміннику W02 за допомогою охолоджуючої води охолоджується до встановленої температури. [1]

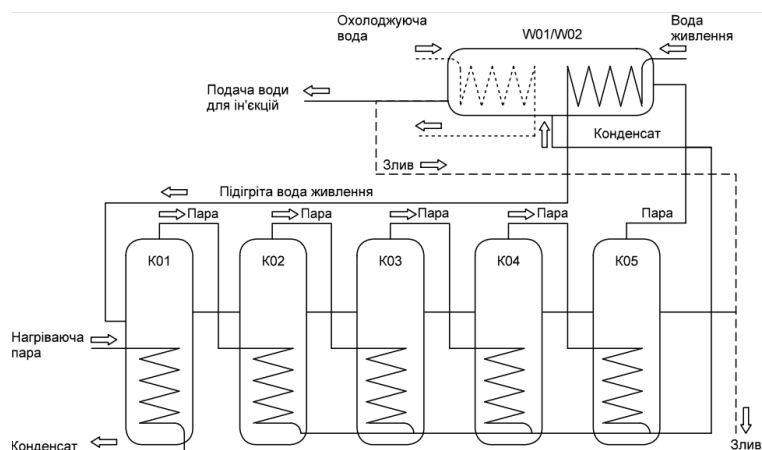


Рис. 1.1. Схеми процесу отримання апірогенної води з допомогою багатоступеневої вододистиляційної установки

Спосіб розділення від пірогенів у дистиляційній установці базується на повному розділенні води живлення і утвореної пари.

У випадку невідповідності показників провідності вода для ін'єкцій автоматично відключається від продуктопроводу та направляється в злив.

Подальше проектування відбувається на основі технічних характеристик установки виробництва "Pharmatec" з продуктивністю 3100 л/год при тиску гріючої пари 8 бар.

Для виробництва 3100 л/год води для ін'єкцій необхідно:

- | | |
|--------------------------------|---------------|
| - Вода для живлення (15-20 °С) | – 3545 л/год |
| - Охолоджуюча вода (15-20 °С) | – 9475 л/год |
| - Гріючої пара | – 1014 кг/год |

1.2 Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах.

Основним фізико-хімічним процесом, на якому базується метод очистки води в багатоступеневій вододистиляційній установці є метод дистиляції.

Суть методу полягає в нагріві очищеної води до температури, при якій відбувається фазове перетворення рідини в пару, при якому розчинені солі, що не здатні випаровуватись залишаються розчиненими в залишковій рідині, а отримана чиста пара конденсується, в результаті чого отримується вода, вільна від будь-яких нелетких речовин. В такому випадку, єдиним можливим джерелом пірогенів в кінцевому продукті можуть стати краплі початкової рідини, занесені потоком пари при активному кипінні. Для уникнення таких випадків необхідно передбачити в конструкції відповідні сепаратори.

В промислових масштабах отримання дистильованої води методом одноступеневої дистиляції є неефективним, оскільки для конденсації отриманої пари необхідно відвести від теплообмінника значну кількість тепла, що є марною витратою енергоресурсів. Для підвищення ефективності використовують установки з кількома дистиляційними колонами, в яких вторинна пара утворена в

попередній колоні, поступає в теплообмінник наступної колони, де в якості нагрівника віддає тепло для пароутворення у відповідній колоні, водночас конденсуючись в кінцевий продукт. [2]

1.3 Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта

Матеріальний баланс базується на законах збереження маси речовин і полягає в тому, що у всякій замкнутій системі маса речовини залишається постійною, незалежно від того, які зміни зазнають речовини в цій системі. Сума приходів компонентів має дорівнювати сумі витрати, незалежно від складу продукту при вході і виході, тобто незалежно від того, яким змінам вони піддалися в цьому апараті.

Для розглянутої багатоступеневої вододистиляційної установки матеріальний баланс матиме наступний вигляд:

$$M_{\text{ВЖ.ВХ}} = M_{\text{ВДІ.ВИХ}} + M_{\text{КВ.ВИХ}}$$

$M_{\text{ВЖ.ВХ}}$ – маса води живлення на вході в апарат

$M_{\text{ВДІ.ВИХ}}$ – маса отриманої води для ін'єкцій

$M_{\text{КВ.ВИХ}}$ – маса відходів з високим рівнем домішок

Тепловий баланс – кількісна рівність приходу і витрат теплоти в будь-якому тепловому процесі. На відміну від матеріального балансу, в основі рівнянь теплового балансу лежить закон збереження енергії, згідно з яким кількість теплоти, що надходить в даний процес, дорівнює кількості теплоти, що виділяється

$$Q_{\text{ГП.ВХ}} + Q_{\text{ВЖ.ВХ}} = Q_{\text{ВДІ.ВИХ}} + Q_{\text{ВО.ВИХ}} + Q_{\text{КВ.ВИХ}}$$

$Q_{\text{ГП.ВХ}}$ – теплота, що надходить в апарат з гріючою парою

$Q_{\text{ВЖ.ВХ}}$ – теплота, що надходить в апарат з водою живлення

$Q_{\text{ВДІ.ВИХ}}$ – тепло, що виноситься з дистильованою водою

$Q_{\text{ВО.ВИХ}}$ – тепло, що виноситься з водою охолодження

$Q_{\text{КВ.ВИХ}}$ – тепло, що виноситься з концентрованими відходами

1.4 Визначення і аналіз факторів що впливають на технологічний процес

Технологічний процес отримання очищеної води шляхом багатоступеневої дистиляції є досить простим, однак є низка факторів що впливають на хід процесу. Нижче наведено кілька таких факторів.

1. Тиск гріючої пари. В залежності від значення цього параметра змінюється продуктивність всієї установки, оскільки він визначає швидкість випаровування в першій колоні, яка в свою чергу впливає на хід процесу у всій установці.
2. Якість живильної води. У випадку недостатнього очищення живильної води на стінках теплообмінника швидшими темпами утворюється накип, що призводить до погіршення теплопередачі, отже продуктивність знижується
3. Конструктивні особливості. Зі збільшенням кількості ступенів дистиляції підвищується енергоефективність процесу. Також зниження тиску в колонах зменшує температуру кипіння, отже кількість тепла яке потрібно теж знизиться.

1.5 Технологічна карта

Таблиця 1

Технологічна карта

№ n/n	Назва параметру	Одиниця виміру	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	2	3	4	5
1	Тиск гріючої пари	бар	8	3-8
2	Температура води живлення	°C	18	15-20
3	Рівень води в першій колоні	м	1.1	0.9-1.3
4	Температура в першій колоні	°C	130	110-135

1	2	3	4	5
5	Температура води для ін'єкцій	°C	90	60-95
6	Провідність води для ін'єкцій	мкС/см	0.7	0-2.7*
7	Витрата води для ін'єкцій	л/год	3100	2500-3100
8	Температура води охолодження	°C	18	15-20
9	Тиск води охолодження	бар	3	2-4
10	Тиск води живлення	бар	4.5	4-6

*Згідно з настановою міністерства охорони здоров'я СТ-Н МОЗУ 42-3.7:2024 [3] чинними критеріями якості води для ін'єкцій є ті, що зазначені у монографії Ph. Eur. «Water for Injections» («Вода для ін'єкцій») (0169) [4]. Згідно з даним документом, граничне допустиме значення провідності при температурі 90 °C становить 2.7 мкС/см

1.6 Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта

На рис. 1.2. зображено структурну схему взаємозв'язку між технологічними параметрами дистилятора.

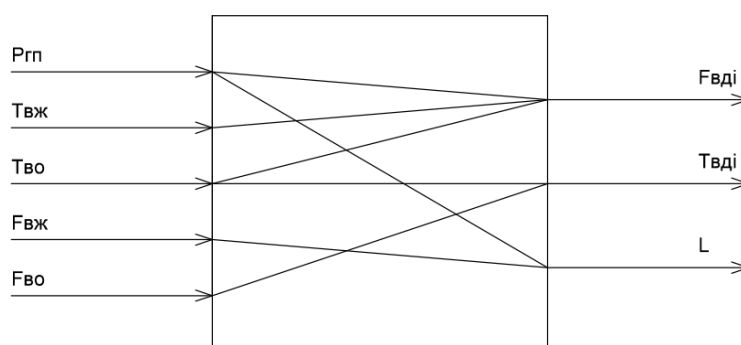


Рис. 1.2. Схема взаємозв'язку технологічних параметрів дистилятора

Вхідні параметри технологічного об'єкту:

$P_{грп}$ – тиск гріючої пари в першій колоні;

$T_{вж}$ – температура води живлення на вході в об'єкт;

$T_{во}$ – температура води охолодження на вході в теплообмінник;

$F_{вж}$ – витрата води живлення на вході в об'єкт;

$F_{во}$ – витрата води охолодження в теплообміннику.

Вихідні параметри технологічного об'єкту:

$F_{вді}$ – витрата води для ін'єкцій на виході з теплообмінника;

$T_{вді}$ – температура води для ін'єкцій на виході з теплообмінника;

L – рівень рідини в першій колоні.

Висновок: в першому розділі розглянуто принцип роботи багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води, досліджено теоретичні основи процесу дистиляції як методу отримання води для ін'єкцій. Проаналізувавши отримані дані визначено основні фактори, що впливають на перебіг процесу, здійснено розробку технологічної карти та визначено характер взаємозв'язків деяких параметрів об'єкта.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Аналіз характеристик взаємозв'язку між параметрами об'єкта керування

З урахуванням опису технологічного процесу, що наведено в розділі 1 та структурної схеми взаємозв'язку технологічних параметрів багатоступеневої вододистиляційної установки (рис. 1.2.) проведемо аналіз впливу відповідних параметрів на хід технологічного процесу.

Одним з основних параметрів роботи багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води є продуктивність, значний вплив на яку здійснює температура в першій колоні. В свою чергу, температура залежить від тиску гріючої пари, що поступає в теплообмінник першої колони. Даний параметр повинен регулюватись самою системою, однак необхідно забезпечити таке значення тиску до регулюючого органу, яке відповідатиме максимальній допустимій температурі в першій колоні.

Також важливим вихідним параметром є температура отриманої стерильної води, яка залежить від витрати та температури води охолодження. Відповідно система повинна забезпечити регулювання витрати води охолодження для усунення можливого перегріву продукту.

Важливим параметром безпосередньо технологічного процесу є рівень води в першій колоні, який залежить від температури в колоні, тобто від тиску пари, та витрати води живлення. Оскільки регулюванням тиску відбувається підтримання необхідної температури, забезпечення рівня повинно відбуватись регулюванням витрати води живлення на вході в установку.

Головним параметром якості отриманої води для ін'єкцій є значення електропровідності. У випадку перевищення визначеного значення необхідно забезпечити ізоляцію споживача від неякісної продукції шляхом перемикання напрямку потоку отриманої води в злив.

Отже, для реалізації технологічного процесу отримання стерильної апірогенної води методом багатоступеневої дистиляції необхідно розробити контури регулювання, які будуть забезпечувати технологічні параметри в допустимих межах згідно з технологічною картою.

2.2 Обґрунтування і вибір координат вимірювання, контролю, сигналізації, дистанційного керування, захисту, блокування та регулювання

Зважаючи на перелічені фактори, для ефективної та безперебійної роботи багатоступеневої установки для отримання стерильної апірогенної води необхідно забезпечити наступні контури регулювання:

- автоматичне регулювання температури в першій колоні;
- автоматичне регулювання рівня води в першій колоні;
- автоматичне регулювання температури води для ін'єкцій.

Для уникнення появи аварійних ситуацій, а також некоректної роботи системи необхідно забезпечити наступні контури вимірювання, реєстрації та сигналізації:

- тиску гріючої пари;
- тиску води живлення;
- тиску води охолодження;
- провідності води для ін'єкцій;
- витрати води для ін'єкцій.

Також для проведення робіт з технічного обслуговування, необхідно передбачити можливість спустошення всіх дистиляційних колон шляхом зливу води з них в каналізацію.

2.4 Порівняльний аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу отримання води для ін'єкцій. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта

Для аналізу існуючих схем автоматизації багатоступневих вододистиляційних установок, призначених для отримання стерильної апірогенної води використано інформацію з джерел [5] та [6].

Однією з основних відмінностей в побудові системи керування багатоступневою вододистиляційною установкою є реалізація регулювання рівня в системі. У випадку [5] регулювання рівня відбуваються шляхом зливу надлишковою води в першій колоні в злив, що є неефективним використанням ресурсів, оскільки частина тепла разом з водою втрачається. Можливим рішенням є повернення даної води зі зливу до подачі її на вхід у випарну установку, однак в такому випадку зростає вартість всієї установки, оскільки необхідна більша кількість трубопроводів та встановлення додаткового насоса й елементів управління ним.

У системі керування [6] регулювання відбувається шляхом подачі попередньо підігрітої води живлення до першої колони. У такому випадку не відбувається втрата матеріальних та теплових ресурсів, що збільшує показник ефективності роботи установки. Для реалізації такої системи необхідна менша кількість елементів, що забезпечує меншу вартість реалізації та вищу надійність.

Для попередження виникнення аварійних ситуацій внаслідок відхилення технологічних параметрів передбачено сигналізацію про вихід контрольованого параметру за допустимі межі

При створенні функціональної схеми автоматизації багатоступневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води необхідно передбачити наступні контури вимірювання, регулювання та сигналізації:

Контур 1. Вимірювання, індикація, реєстрація, регулювання та сигналізація тиску грюючої пари.

Контур 2. Вимірювання, індикація, реєстрація, регулювання та сигналізації рівня води в першій колоні

Контур 3. Вимірювання, індикація та сигналізація тиску живильної води.

Контур 4. Вимірювання, індикація, реєстрація, регулювання та сигналізації температури в першій колоні.

Контур 5. Дискретне керування електромагнітними клапанами для зливу води з колон при проведенні технічних робіт.

Контур 6. Вимірювання, індикація, реєстрація та сигналізації провідності води для ін'єкцій.

Контур 7. Вимірювання, індикація, реєстрація, регулювання та сигналізація температури води для ін'єкцій.

Контур 8. Вимірювання, індикація та сигналізація тиску води охолодження.

Контур 9. Вимірювання, індикація та реєстрація витрати води для ін'єкцій.

Висновок: у другому розділі проаналізовано взаємозв'язки технологічних параметрів, що дозволило визначити основні координати для побудови системи керування. На основі отриманих даних визначено основні функціональні ознаки системи керування та розроблено спрощену функціональну схему автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води, яку зображено на рис. 2.

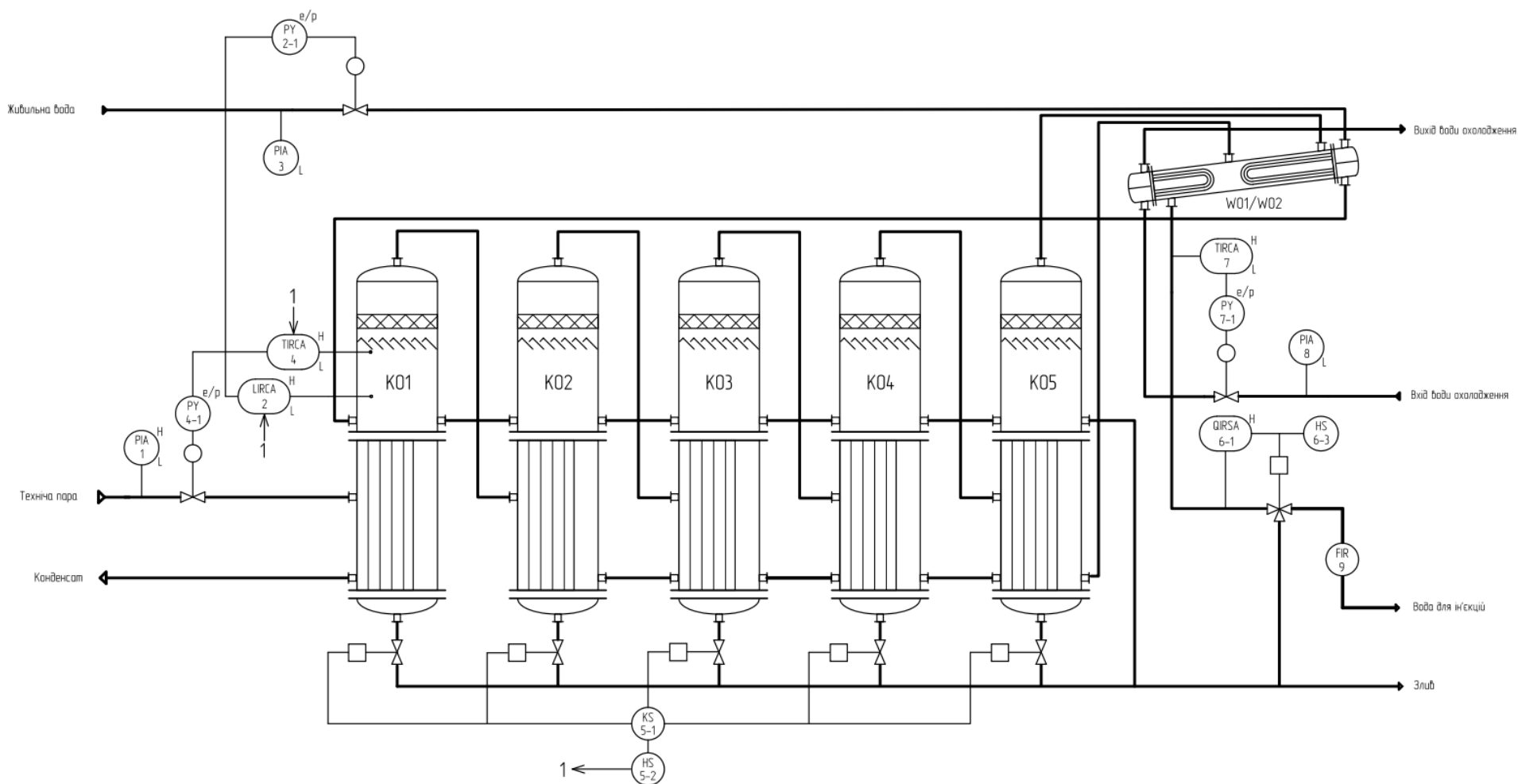


Рис. 2 Спрощена функціональна схема автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води, де K01-K05 вододистиляційні колони, W01 та W02 теплообмінники

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми

3.1.1 Обґрунтування вибору вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

Контур 1. Вимірювання, індикація та сигналізація тиску гріючої пари.

Для вимірювання тиску гріючої пари на вході в першу колону використовую давач тиску Wika SA-11 (діапазон вимірювання 0-16 бар), вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300, де виміряне значення порівнюється з аварійними межами 3 та 10 бар.

У випадку виходу значення тиску за задані межі, вихідний дискретний сигнал 24 В поступає на відповідні сигнальні лампи Schneider XB7EV04BP червоного кольору світіння.

Контур 2. Вимірювання, індикація, реєстрації, регулювання та сигналізації рівня води в першій колоні.

Для вимірювання рівня використовую ємнісний рівнемір з тросовим зондом VEGACAL 65 (діапазон вимірювання 0-2 м) вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300.

При відхиленні вхідного параметра від заданого значення ПЛК згідно алгоритму функціонування формує регулюючу дію, яка поступає на аналоговий вхід електропневматичного позиціонера Sipart PS2 виробництва корпорації Siemens, який здійснює перетворення уніфікованого струмового сигналу 4-20 мА в пневматичний, який в свою чергу поступає на пневматичний привід RTK ST 6135.B6-6G який переміщує регулюючий орган RTK PV 6211 у відповідне положення.

У випадку виходу значення тиску за задані межі, вихідний дискретний сигнал 24 В поступає на відповідні сигнальні лампи Schneider XB7EV04BP червоного кольору світіння.

Контур 3. Вимірювання, індикація та сигналізація тиску живильної води.

Для вимірювання тиску живильної води використано мембранний манометр з перемикаючими контактами WIKА PGS43.100 з двома релейними виходами. При падінні тиску до 4 бар, контакти в манометрі замикаються, що подає живлення на сигнальну лампу.

Для сигналізації використано сигнальні лампи Schneider XB7EV04BP червоного кольору світіння з напругою живлення 24 В.

Контур 4. Вимірювання, індикація, реєстрації, регулювання та сигналізації температури в першій колоні.

Для вимірювання температури в першій колоні використано термометр опору IFM TA1605 (діапазон вимірювання -50...200 °С) вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300.

При відхиленні вхідного параметра від заданого значення ПЛК згідно алгоритму функціонування формує регулюючу дію, яка поступає на аналоговий вхід електропневматичного позиціонера Sipart PS2 виробництва корпорації Siemens, який здійснює перетворення уніфікованого струмового сигналу 4-20 мА в пневматичний, який в свою чергу поступає на пневматичний привід RTK ST 6135.B6-6G який переміщує регулюючий орган RTK PV 6211 у відповідне положення.

У випадку виходу значення температури за задані межі, вихідний дискретний сигнал 24 В поступає на відповідні сигнальні лампи Schneider XB7EV04BP червоного кольору світіння.

Контур 5. Увімкнення електромагнітних клапанів для зливу води з колон при проведенні технічних робіт.

При спрацюванні ручного перемикача дискретний сигнал 24В поступає на вхід ПЛК Simatic S7-300, після чого спрацьовує дискретний вихід, сигнал з якого

поступає на електромеханічне реле Schneider Electric RXG22BDPV яке подає 24 В на котушки для електромагнітних клапанів Danfoss BB024DS 018F6757.

Контур 6. Вимірювання, індикації, реєстрації та сигналізації провідності води для ін'єкцій.

Для вимірювання провідності використано кондуктивний давач електропровідності IFM LDL101 (діапазоном вимірювання 0.04-1000 мкС/см) вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300.

При перевищенні вхідним параметром значення в 2.7 мкС/см вихідний дискретний сигнал з ПЛК поступає на пневморозподільник Festo VUVS-LK20-M32C-AD-G18-1C1 пневматичний сигнал з якого поступає на 3-ходовий клапан VZBA-1"-GGG-63-32L-F0405-V4V4T-PS30-R-90-4-C з пневмоприводом який переводить потік води для ін'єкцій в злив.

Для сигналізації використано сигнальні лампи Schneider XB7EV04BP червоного кольору світіння з напругою живлення 24 В.

Контур 7. Вимірювання, індикація, реєстрації, регулювання та сигналізації температури води для ін'єкцій.

Для вимірювання температури води для ін'єкцій використано термометр опору IFM TA1605 (діапазон вимірювання -50...200 °С) вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300.

При відхиленні вхідного параметра від заданого значення ПЛК згідно алгоритму функціонування формує регулюючу дію, яка поступає на аналоговий вхід електропневматичного позиціонера Sipart PS2 виробництва корпорації Siemens, який здійснює перетворення уніфікованого струмового сигналу 4-20 мА в пневматичний, який в свою чергу поступає на пневматичний привід RTK ST 6135.B6-6G який переміщує регулюючий орган RTK PV 6211 у відповідне положення.

У випадку виходу значення температури за задані межі, вихідний дискретний сигнал 24 В поступає на відповідні сигнальні лампи Schneider XB7EV04BP червоного кольору світіння.

Контур 8. Вимірювання, індикація та сигналізація тиску води охолодження.

Для вимірювання тиску води охолодження використано мембранний манометр з перемикаючими контактами WIKA PGS43.100 з двома релейними виходами. При падінні тиску до 2 бар, контакти в манометрі замикаються, що подає живлення на сигнальну лампу.

Для сигналізації використано сигнальні лампи Schneider XB7EV04BP червоного кольору світіння з напругою живлення 24 В.

Контур 9. Вимірювання та індикація витрати води для ін'єкцій.

Для вимірювання витрати води для ін'єкцій використано ротаметр Kohnet H250 з діапазоном вимірювання 400-4000 л/год.

3.1.2 Технічні характеристики вибраних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

Первинний вимірювальний перетворювач температури типу TA1605 компанії IFM [7]

Первинний вимірювальний перетворювач температури типу TA1605 компанії IFM застосовується для вимірювання температури рідин та газів у харчовій та хімічній промисловості. Діапазон вимірювання від -50 до 200 °С, вихідним сигналом з перетворювача є аналоговий струмовий сигнал 4-20 мА. Похибка визначається за наступною формулою

$$\Delta = \pm 0.3 + (\pm 0.1\% * VM) \quad (3.1)$$

де VM – виміряне значення

Максимальна допустима похибка складатиме 0.5 °С за температури 200 °С.

Для діапазону температур середовища 130-140 °С, максимальна допустима похибка складатиме 0.315 °С

На рис. 3.1. наведено зовнішній вигляд та клеми приєднання первинного вимірювального перетворювача температури типу TA1605 компанії IFM

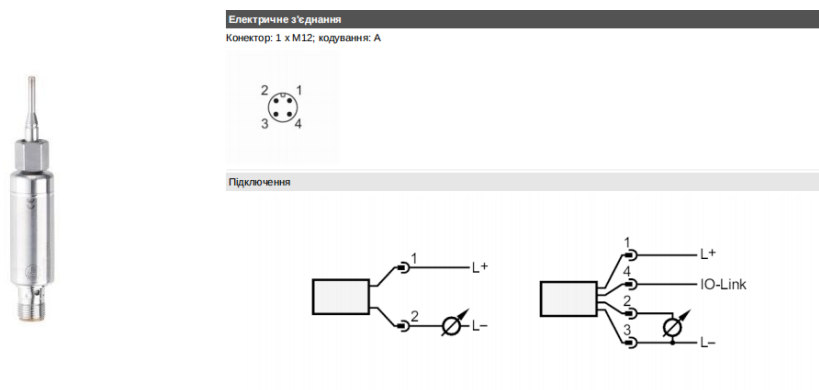


Рис. 3.1. первинний вимірювальний перетворювач температури типу TA1605 компанії IFM

Первинний вимірювальний перетворювач тиску типу SA-11 компанії WIKA [8]

Первинний вимірювальний перетворювач тиску типу SA-11 компанії WIKA розроблений для вимірювання тиску за температур технологічного процесу до 150°C. Діапазон вимірювання від 0 до 16 бар, вихідним сигналом з перетворювача аналоговий струмовий сигнал 4-20 мА. Похибка <math><0.5\%</math> від діапазону вимірювання.

На рис. 3.2. наведено зовнішній вигляд та клеми приєднання первинного вимірювального перетворювача тиску типу SA-11 компанії WIKA.



Рис. 3.2. Первинний вимірювальний перетворювач тиску типу SA-11 компанії WIKA

Первинний вимірювальний перетворювач рівня типу VEGAFLEX 61 компанії VEGA [9]

Первинний вимірювальний перетворювач рівня VEGAFLEX 61 відноситься до класу радарних рівнемірів та використовується для вимірювання рівня за температур технологічного процесу до 200°C. Діапазон вимірювання визначається довжиною тросового зонду яку можна встановлювати довільною. Для розглянутого

в даній роботі рівнеміра, сконфігуровано діапазон вимірювання 2м. Вихідним сигналом з перетворювача є аналоговий струмовий сигнал 4-20 мА. Похибка вимірювання ± 3 мм.

На рис. 3.3. наведено зовнішній вигляд та клеми приєднання первинного вимірювального перетворювача рівня VEGAFLEX 61 компанії VEGA.

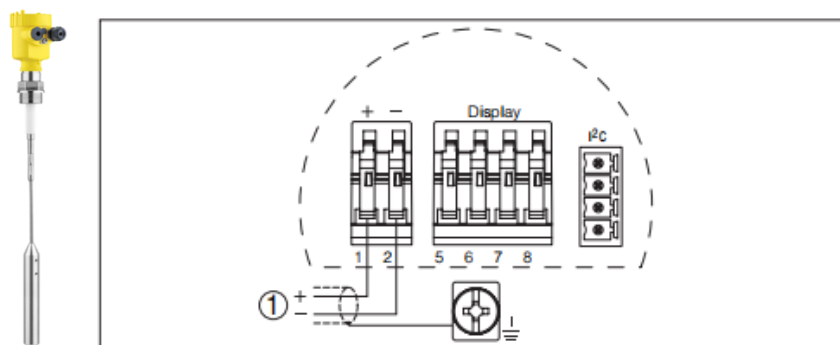


Рис. 3.3. Зовнішній вигляд та клеми приєднання ємнісного рівнеміра VEGAFLEX 61

Електропневматичний позиціонер типу Sipart PS2 6DR5010-0NG00-0AA0 компанії Siemens [10]

Електропневматичний позиціонер Sipart PS2 6DR5010-0NG00-0AA0 компанії Siemens використовується для перетворення вхідного аналогового струмового сигналу 4-20 мА в пневматичний сигнал, призначений для управління регулюючим клапаном з пневматичним приводом. Робочий тиск стиснутого повітря від 1.4 до 7 бар, діапазон ходу штоку від 3 до 130 мм. У випадку збою електроживлення відбувається скид тиску з приводу.

На рис. 3.4. наведено зовнішній вигляд та клеми приєднання електропневматичного позиціонера Sipart PS2 6DR5010-0NG00-0AA0.

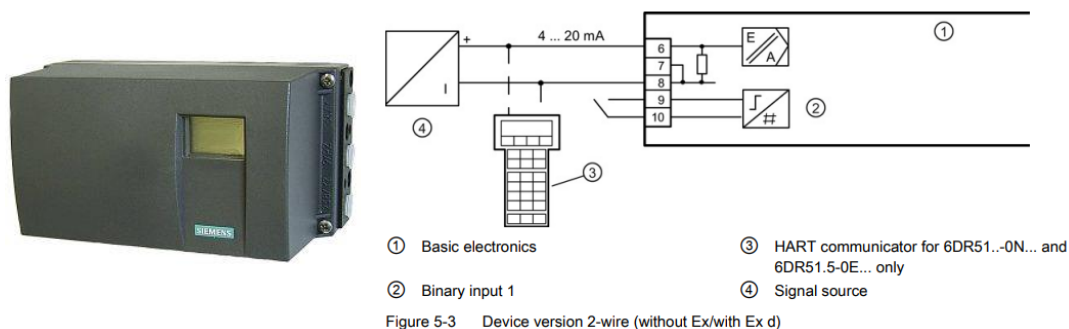


Рис. 3.4. Зовнішній вигляд та клеми приєднання електропневматичного позиціонер Sipart PS2 6DR5010-0NG00-0AA0

Первинний вимірювальний перетворювач електропровідності типу LDL101 компанії IFM[11]

Первинний вимірювальний перетворювач електропровідності типу LDL101 компанії IFM за методом вимірювання відноситься до кондуктометричних та використовується для вимірювання провідності надчистої води. Діапазон вимірювання від 0.04 мкС/см до 1000 мкС/см. Роздільна здатність для діапазону 0.04-9.999 складає 0.001, для діапазону 10-99.99 складає 0.01, а для діапазону 100-1000 складає 0.1. Вихідним сигналом з перетворювача є аналоговий струмовий сигнал 4-20 мА. Похибка визначається за наступною формулою

$$\Delta = 3\% \cdot VM \pm 0.03 \quad (3.2)$$

де VM – виміряне значення

При вимірюванні провідності в діапазоні від 0.04 до 5 мкС/см, максимальна допустима похибка складатиме 0.18 мкС/см

На рис. 3.5. наведено зовнішній вигляд та клеми приєднання первинного вимірювального перетворювача електропровідності типу LDL101 компанії IFM.

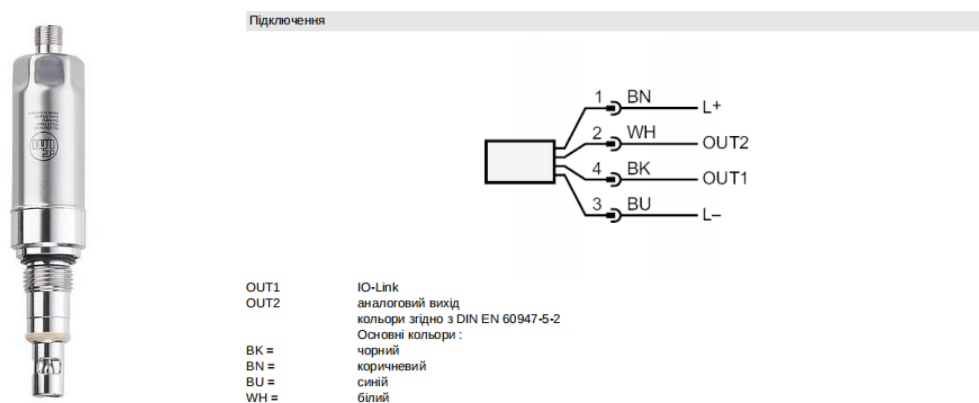


Рис. 3.5. Первинний вимірювальний перетворювач електропровідності типу LDL101 компанії IFM

Мембранний манометр з перемикаючими типу PGS43.100 821.1 компанії WIKA [12]

Мембранний манометр з перемикаючими типу PGS43.100 821.1 компанії WIKA застосовується для вимірювання тиску рідин та газів, з можливістю подачі дискретного сигналу в систему керування про досягнення встановленого значення

вимірюваного параметру. Діапазон вимірювання від 0 до 6 бар. Кількість вихідних сигналів – 2. Гістерезис в межах 3-5%.

На рис. 3.6. наведено зовнішній вигляд та клема приєднання манометра з перемикаючими контактами типу PGS43.100 821.1 компанії WİKA.

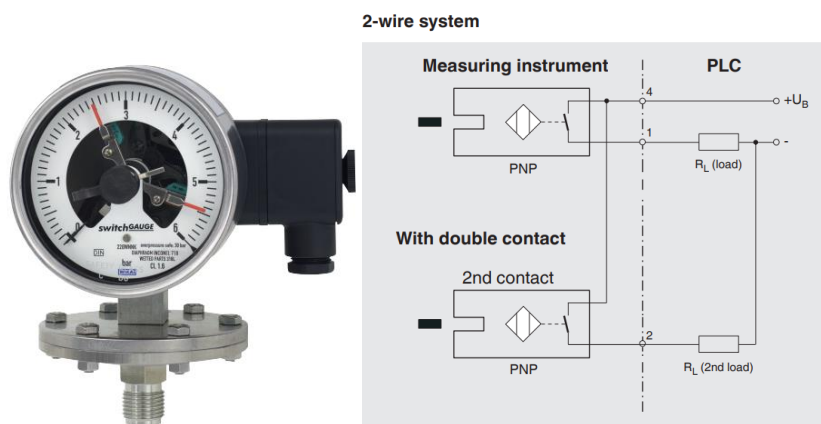


Рис. 3.6. Зовнішній вигляд та клема приєднання манометра з перемикаючими контактами WİKA PGS43.100 821.1

Регулюючий клапан PV 6211 [10] з пневматичним приводом ST 6135.B6-6G компанії RTK[13, 14]

Регулюючий клапан PV 6211 RTK призначений для регулювання витрати газів та рідин з температурою до 250 °С. Максимальна пропускна здатність (kvs) даного клапану 37 м³/год. Діапазон ходу штоку – 30мм. Для переміщення регулюючого органу використовується пневматичний привід ST 6135.B6-6G компанії RTK з можливістю виставлення ходу штоку до 35 мм. Робочий тиск стиснутого повітря від 3.2 до 6 бар.

На рис. 3.7. наведено зовнішній вигляд регулюючого клапану PV 6211 з пневматичним приводом ST 6135.B6-6G компанії RTK.



Рис. 3.7. Зовнішній вигляд регулюючого клапану PV 6211 з пневматичним приводом ST 6135.B6-6G компанії RTK

Електромагнітний клапан EV220B 032U1266 з котушкою BB024DS 018F6757 компанії Danfoss [15, 16]

В дистиляційній установці електромагнітний клапан EV220B 032U1266 компанії Danfoss використовується для реалізації функції повного злиття рідини з дистиляційних колон при проведенні робіт з технічного обслуговування. Такий клапан є нормально закритим, а його пропускну здатність складає 6000 м³/год.

Для керування даним клапаном використовується електромагнітна котушка BB024DS 018F6757, напругою керування якої є 24 В постійної напруги, а споживання 16 ватт.

На рис. 3.8. наведено зовнішній вигляд електромагнітного клапану EV220B 032U1266 та котушки BB024DS 018F6757 компанії Danfoss



Рис. 3.8. зовнішній вигляд електромагнітного клапану EV220B 032U1266 та котушки BB024DS 018F6757 компанії Danfoss

Пневморозподільник VUVS-LK20-M32C-AD-G18-1C1 компанії Festo [17]

Пневморозподільник VUVS-LK20-M32C-AD-G18-1C1 компанії Festo використовується для перетворення дискретного сигналу 24 В у пневматичний сигнал. Даний клапан є клапаном односторонньої дії, тобто при припиненні подачі електричного сигналу, він повертається в закритий стан самостійно. Згідно з пневматичною схемою, даний розподільник комутує одну пневматичну лінію (вхід 1 та вихід 2), а вихід 3 використовується для скидання повітря при перемиканні.

На рис. 3.9. наведено зовнішній вигляд та пневматична схема пневморозподільника VUVS-LK20-M32C-AD-G18-1C1 компанії Festo. Напругою

керування є 24 В постійної напруги, споживання 2.4 ватт, а робочий тиск від 1.5 до 8 бар.

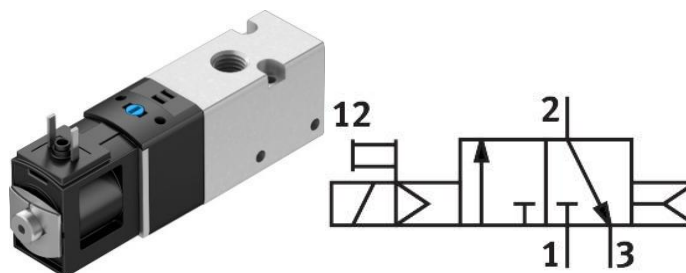


Рис. 3.9. Зовнішній вигляд та пневматична схема пневморозподільника Festo VUVS-LK20-M32C-AD-G18-1C1

3-ходовий клапан VZBA-1"-GGG-63-32L-F0405-V4V4T-PS30-R-90-4-C з пневмоприводом [18]

3-ходовий клапан VZBA-1"-GGG-63-32L-F0405-V4V4T-PS30-R-90-4-C з пневмоприводом використовується для перемикання технологічних потоків між різними трубопроводами. За відсутності сигналу перемикання, потік проходить крізь отвори, що розташовані навпроти одне одного й пропускна здатність клапану в такому випадку 22.4 м³/год. При перемиканні, потік поступає до отвору, що розташований під кутом 90° й пропускна здатність клапану в такому випадку 10.9 м³/год.

Пневмопривід є приводом односторонньої дії, тобто при припиненні подачі пневматичного сигналу, він повертається в основний стан самостійно. Робочий тиск стиснутого повітря від 6 до 8.4 бар.

На рис. 3.10. наведено зовнішній вигляд та схематичне зображення 3-ходового клапана VZBA-1"-GGG-63-32L-F0405-V4V4T PS30-R-90-4-C з пневмоприводом компанії Festo.

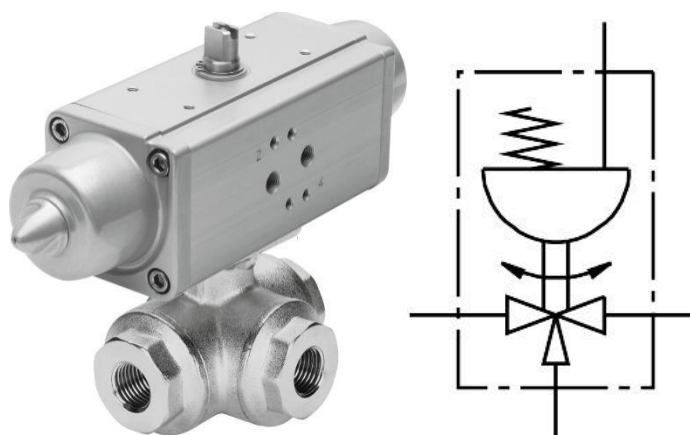
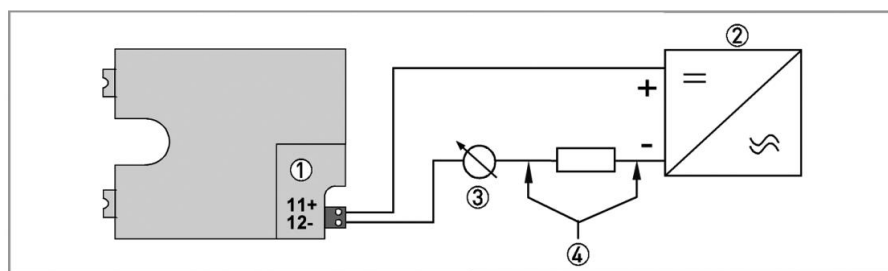


Рис. 3.10. Зовнішній вигляд та пневматична схема 3-ходового клапана VZBA-1"-GGG-63-32L-F0405-V4V4T-PS30-R-90-4-C з пневмоприводом компанії Festo

Витратомір H250/F/M9/ESK компанії Krohne [19]

Витратомір типу H250/F/M9/ESK є ротаметром із зовнішнім модулем індикації та призначений для вимірювання витрат рідин та газів температурою до 400 °С. В даному приладі наявна не лише аналогова індикація у вигляді шкали та стрілки індикації витрати, а й присутній вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА. Діапазон вимірювання складає від 400 л/год до 4000 л/год.

На рис. 3.11. наведено зовнішній вигляд та клема приєднання витратомір H250/F/M9/ESK компанії Krohne.



- ① ESK2A current transmitter
- ② Power supply 12...30 VDC
- ③ Measuring signal 4...20 mA
- ④ External load, HART® communication

Рис. 3.11. Зовнішній вигляд та клема приєднання витратоміра H250/F/M9/ESK компанії Krohne

Сигнальна лампа XB7EV04BP компанії Schneider Electric [20]

Сигнальна лампа XB7EV04BP компанії Schneider Electric використовується в системах керування для сигналізації про можливе відхилення технологічного

параметру. Діапазон напруги живлення від 18 до 30 В постійної напруги, а максимальне споживання струму не перевищує 27 мА. Колір – червоний.

На рис. 3.12. наведено зовнішній вигляд сигнальної лампи XB7EV04BP компанії Schneider Electric.



Рис. 3.12. Зовнішній вигляд сигнальної лампи XB7EV04BP компанії Schneider Electric

Електромеханічне реле RXG22BDPV компанії Schneider Electric [21]

Електромеханічне реле RXG22BDPV компанії Schneider Electric використовується для керування електричними колами зі змінною чи постійною напругою та струмом до 5 А. Напругою керування даного реле є 24 В постійної напруги. Кількість та тип контактів 2НЗ та 2НВ.

На рис. 3.13. наведено зовнішній вигляд та клему приєднання електромеханічного реле RXG22BDPV компанії Schneider Electric

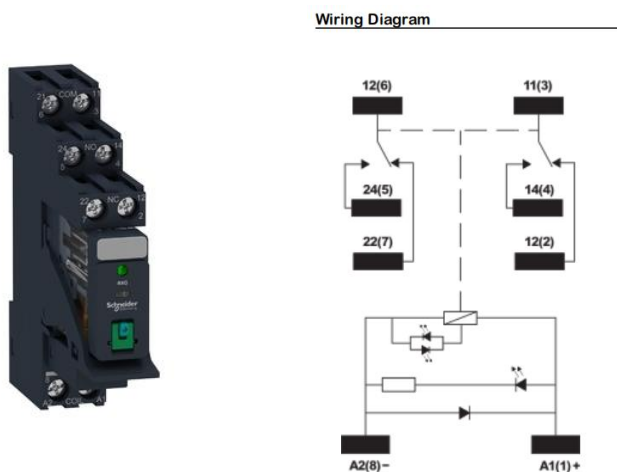


Рис. 3.13. Зовнішній вигляд та клему приєднання електромеханічного реле RXG22BDPV компанії Schneider Electric

3.2 Мікропроцесорний програмований засіб автоматизації

3.2.1 Обґрунтування вибору мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації та опис його технічних характеристик

Siemens Simatic S7-300 – програмований логічний контролер (ПЛК) сімейства S7, який призначений для створення автоматизованих систем керування технологічними процесами та об'єктами низького й середнього рівня складності.

В залежності від виконання та підтримуваних функцій, контролери S7-300 поділяються на такі групи: [22]

- Стандартні ПЛК – не мають вбудованих каналів вводу/виводу. Потребують використання додаткових модулів розширення;
- Компактні ПЛК (С) – мають вбудовані дискретні та\або аналогові канали вводу/виводу. Можуть використовуватись самостійно, без додавання модулів розширення;
- Технологічні ПЛК (Т(F)) - мають вбудовані дискретні канали вводу/виводу та призначені для побудови систем переміщення та позиціонування;
- ПЛК безпеки (F) – призначені для використання в системах, що вимагають підвищеної стійкості до відмов. Дозволяють продовжити роботу системи за умови виникнення несправностей за рахунок механізмів додаткових перевірок та дублюванні програмних й апаратних функцій.

В зв'язку з модульністю та особливостями конструкції, для побудови системи керування з використанням ПЛК S7-300 необхідно використовувати наступні компоненти: [23]

- *Монтажна рейка* – для кріплення модуля центрального процесору та модулів розширення, необхідно використовувати спеціалізовану алюмінієву монтажну рейку;
- *Блок живлення* – для живлення модуля центрального процесору та модулів розширення може використовуватись як спеціалізовані блоки

живлення типу PS305/PS307, так і блоки живлення сторонніх виробників, оскільки для підключення використовують зовнішні кабелі, а не внутрішня шина;

- *Модуль центрального процесора* – в залежності від технологічних вимог, протоколу комунікації із мережевими пристроями чи системою людино-машинного інтерфейсу обирається відповідний CPU;
- *Модулі розширення* – можуть включати в себе сигнальні модулі (SM), комунікаційні модулі (CP), функціональні модулі (FM) та інтерфейсні модулі (IM). Для їхнього під'єднання необхідно використовувати шинний з'єднювач;
- *Карта пам'яті* – для використання центральних процесорів серії S7-300 необхідно використовувати карти пам'яті (*memory card, MC*, для старіших поколінь) або мікро карти пам'яті (*micro memory card, MMC*, для новіших поколінь). Дані карти використовуються для зберігання програм та блоків даних.

На рис. 3.14. зображено загальний вигляд ПЛК Simatic S7-300 з центральним процесором та модулями розширення, а на рис 3.15. зображено схеми електричних з'єднань сигнальних модулів.



Рис. 3.14 Загальний вигляд ПЛК серії Simatic S7-300 виробництва корпорації Siemens

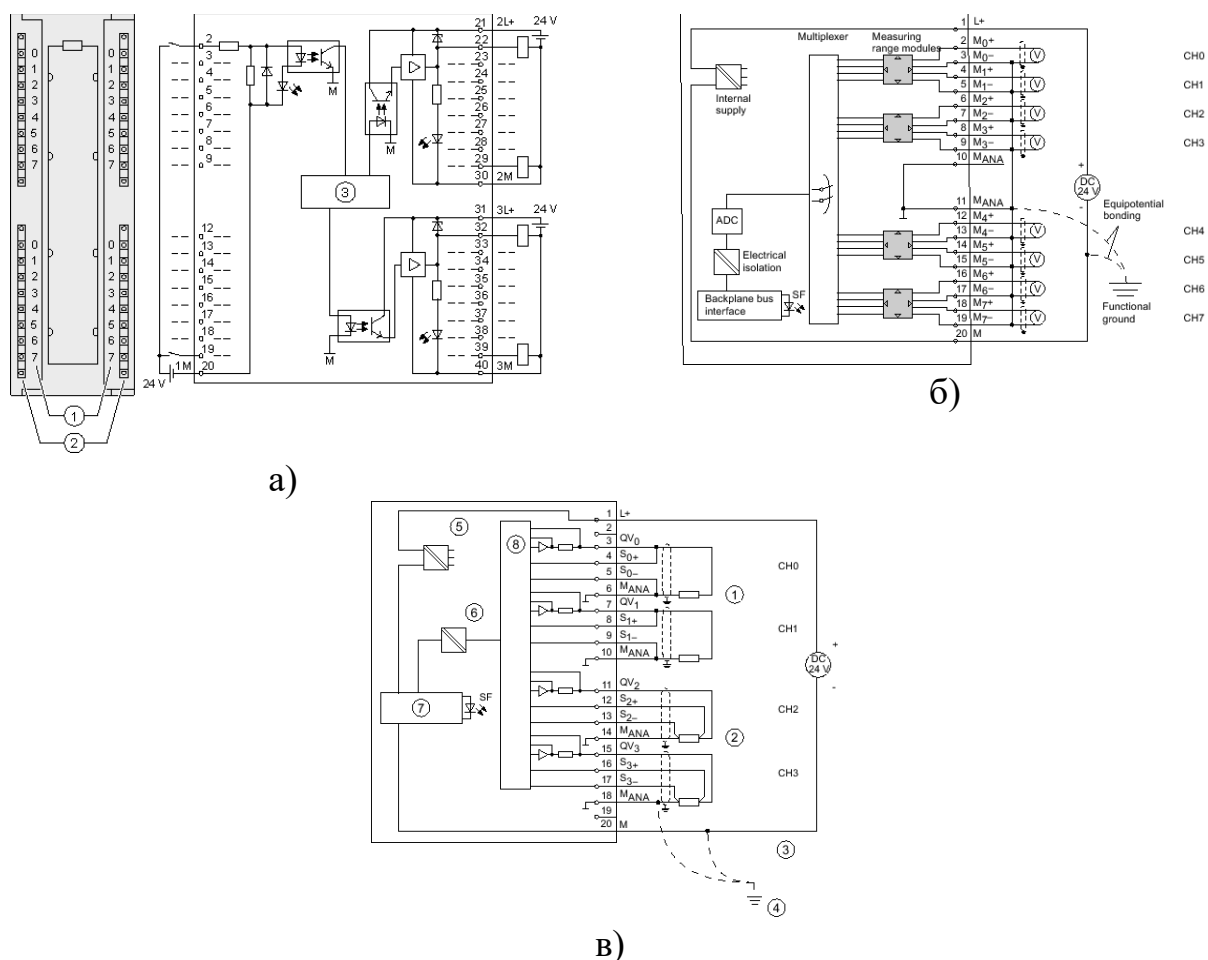


Рис. 3.15. Схеми електричних приєднань сигнальних модулів ПЛК серії Simatic S7-300 виробництва корпорації Siemens

а) модуль дискретних вхідних та вихідних сигналів SM 323 6ES7 323-1BL0-0AA0

б) модуль аналогових вхідних сигналів SM 331 6ES7 331-7HF01-0AB0

в) модуль аналогових вихідних сигналів SM 332 6ES7 332-5HD00-0AB0

3.2.2 Концепція вибору компонентів мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

У відповідності до функціональної схеми автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води, яка представлена на рис. 1.2. для реалізації автоматизованого керування необхідно забезпечити:

- дискретних вхідних сигналів: $DI_{\text{Зад}}=5$;
- дискретних вихідних сигналів: $DO_{\text{Зад}}=11$;

- аналогових вхідних сигналів: $A_{IN_{зАд}}=6$;
- аналогових вихідних сигналів: $A_{OUT_{зАд}}=3$.

Для забезпечення необхідної кількості вхідних та вихідних сигналів вибрано наступні компоненти мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації:

- мікропроцесорний програмований модуль керування типу CPU 312 (6ES7 312-1AE13-0AB0) – 1шт;
- блок живлення PS 307 (6ES7 307-1KA02-0AA0) $I_n=10A$, $U_n=230V$ AC – 1шт;
- модуль дискретних вхідних та вихідних сигналів типу SM 323 DI16/DO16xDC24V/0,5A (6ES7 323-1BL00-0AA0) – 1шт;
- модуль аналогових вхідних сигналів SM331 AI8x14Bit (6ES7 331-7HF01-0AB0) – 1шт;
- модуль аналогових вихідних сигналів SM332 AO4x12Bit (6ES7 332-5HD00-0AB0) – 1шт;

Ця конфігурація забезпечує наступну кількість вхідних/вихідних сигналів:

- дискретні вхідні сигнали: $DI=16 > DI_{зАд}=5$;
- дискретні вихідні сигнали: $DO=16 > DO_{зАд}=11$;
- аналогові вхідні сигнали: $A_{IN}=8 > A_{IN_{зАд}}=6$;
- аналогові вихідні сигнали: $A_{OUT}=4 > A_{OUT_{зАд}}=3$;

Як видно з порівняльної характеристики, вибрана конфігурація мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації відповідає заданим вимогам для реалізації системи автоматизованого керування багатоступеневою вододистиляційною установкою.

3.2.3 Конфігурація та налаштування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

У відповідності до наведених у попередньому розділі матеріалів створено новий проект для програмування ПЛК серії Simatic S7-300 використовуючи програмне забезпечення Simatic Step 7. Здійснено налаштування конфігурації ПЛК

(рис 3.16.) та налаштування каналів аналогового вводу/виводу для відповідних сигнальних модулів (рис. 3.17.)

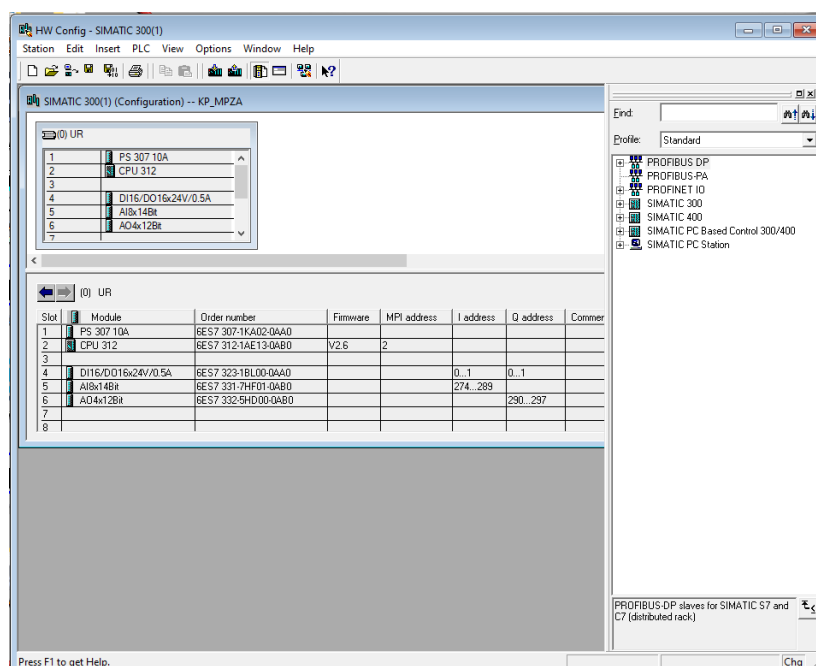


Рис. 3.16. Скріншот вікон програмних додатків NetPro – Configuring Networks та HW Config

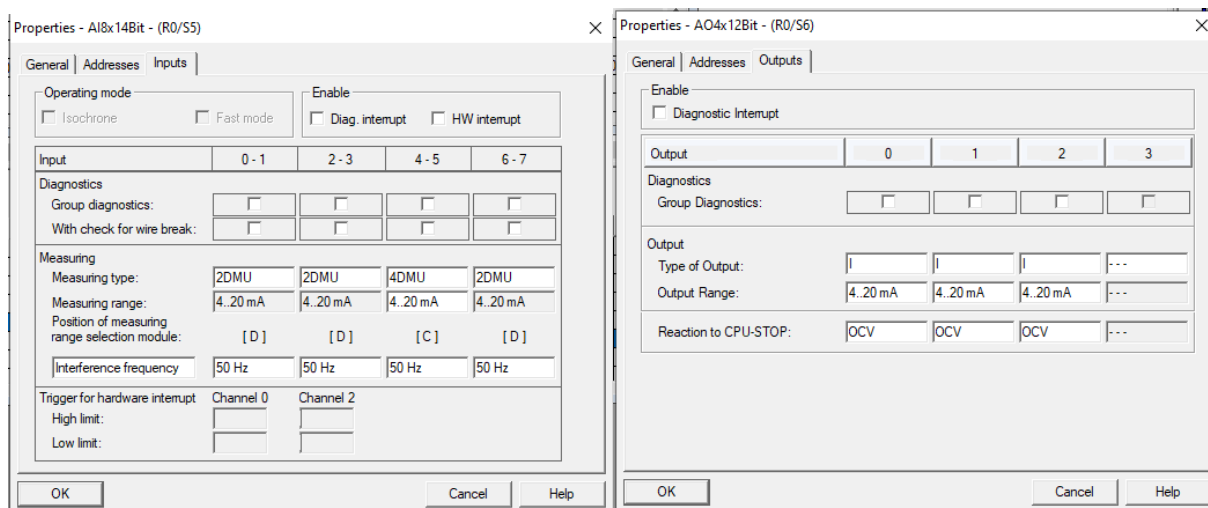


Рис. 3.17. Скріншоти вікон налаштування каналів аналогових входів та виходів для сигнальних модулів SM 331 та SM332 відповідно

3.3 Специфікація засобів автоматизації

У таблиці 3 наведено перелік та коротка характеристика приладів які потрібні для реалізації проекту на основі розробленої ФСА (рис. 2.)

Специфікація засобів автоматизації

Таблиця 3

№ п/п	№ поз	Назва параметра	Місце знаходження	Назва засобу та коротка характеристика	Тип	К-ть	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1-1	Тиск гріючої пари	По місцю	Давач тиску SA-11 компанії WİKA з діапазоном вимірювання 0-16 бар та вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА	WİKA SA-11	1	
2	2-1	Рівень води в першій колоні	По місцю	Ємнісний рівнемір з тросовим зондом з діапазоном вимірювання 0-2 м та вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА	VEGA VEGAFLEX 61	1	
3	2-2, 4-2, 7-2		По місцю	Електропневматичний позиціонер з вхідним аналоговим сигналом керування 4-20 мА, діапазоном ходу штоку від 3 до 130 мм.	SIEMENS Sipart PS2 6DR5010-0NG00-0AA0	3	
4	3	Тиск води живлення	По місцю	Електроконтактний манометр з діапазоном вимірювання 0-6 бар, двома нормально відкритими контактами, тиск спрацювання яких налаштовується індивідуально	WİKA PGS43.100 821.1	1	
5	4-1	Температура в першій колоні	По місцю	Давач температури з діапазоном вимірювання -50-200 °С та вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА	IFM TA1605	1	
6	5-1, 6-3		На щиті	Перемикач двопозиційний, контакти НВ	Schneider Electric XB5AD33	2	
7	5-2		На щиті	Електроконтактне реле з двома групами контактів 2НВ 2НЗ	Schneider Electric RXG22BDP V	1	

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8
8	6-1	Провідність води для ін'єкцій	По місцю	Давач провідності на основі кондуктометричного методу вимірювання, з діапазоном вимірювання 0.04-1000 мкС/см, точністю вимірювання 3% від виміряного значення ± 0.03 мкС/см	IFM LDL101	1	
9	6-2		По місцю	Пневморозподільник з механізмом односторонньої дії. Напруга керування 24 В постійної напруги, робочий тиск від 1.5 до 8 бар	Festo VUVS-LK20-M32C-AD-G18-1C1	1	
10	6-3		По місцю	3-ходовий клапан з пневмоприводом. Пропускна здатність прямого каналу 22.4 м ³ /год, L-подібного каналу 10.9 м ³ /год. Робочий тиск від 6 до 8.4 бар	Festo VZBA-1"-GGG-63-32L-F0405-V4V4T-PS30-R-90-4-C	1	
11	7-1	Температура води для ін'єкцій	По місцю	Давач температури з діапазоном вимірювання -50-200 °С та вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА	IFM TA1605	1	
12	2-3, 4-3, 7-3		По місцю	Пневматичний привід. Хід штоку до 35 мм, стиснутого повітря від 3.2 до 6 бар.,	RTK ST 6135.B6-6G	3	
13	2-4, 4-4, 7-4		По місцю	Регулюючий клапан , хід штоку 30 мм, пропускна здатність клапану 37 м ³ /год.	RTK 6211	3	
14	8	Тиск води охолодження	По місцю	Електроконтактний манометр з діапазоном вимірювання 0-6 бар, двома нормально відкритими контактами, тиск спрацювання яких налаштовується індивідуально	WIKA PGS43.100 821.1	1	

1	2	3	4	5	6	7	8
15	9	Витрата води для ін'єкцій	По місцю	Витратомір для рідин з діапазоном вимірювання 400-4000 л/год		1	
16	HL1 HL2 HL3 HL4 HL5 HL6 HL7 HL8 HL9 HL10 HL11		На щиті	Сигнальна лампа червоного кольору. Діапазон напруги живлення від 18 до 30 В постійної напруги, а максимальне споживання струму не перевищує 27 мА	Schneider Electric XB7EV04BP	11	
17			На щиті	Блок живлення з вихідною напругою 24 В постійної напруги, струмом до 10 А та вхідною напругою 230 В змінної напруги	Siemens PS307 (6ES7 307-1KA02-0AA0)	1	
18			На щиті	Модуль центрального процесора	Siemens CPU 312 (6ES7 312-1AE13-0AB0)	1	
19			На щиті	Модуль дискретних вхідних та вихідних сигналів Дискретних входів – 16 Дискретних виходів – 16	Siemens SM 323 (6ES7 323-1BL00-0AA0)	1	
20			На щиті	Модуль аналогових вхідних сигналів Аналогових входів - 8	Siemens SM331 (6ES7 331-7HF01-0AB0)	1	
21			На щиті	Модуль аналогових вихідних сигналів Аналогових виходів - 4	Siemens SM3326ES7 332-5HD00-0AB0)	1	

Висновок: у третьому розділі здійснено підбір периферійного обладнання для системи автоматизації, включаючи первинні вимірювальні перетворювачі, датчики, виконавчі механізми та регулюючі пристрої. Обґрунтовано доцільність

використання мікропроцесорного контролера Simatic S7-300 виробництва Siemens, а також виконано його конфігурацію відповідно до параметрів і особливостей технологічного процесу. За результатами аналізу сформовано специфікацію технічних засобів, необхідних для впровадження автоматизованої системи керування багатоступеневою вододистиляційною установкою, призначеною для отримання стерильної апірогенної води.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗГОРНУТИМ СПОСОБОМ ТА ЇЇ ОПИС

Функціональна схема автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води, розширений вигляд якої зображено на графічному плакаті №1 передбачає такі контури керування:

Контур 1. Вимірювання, індикація та сигналізація тиску гріючої пари.

Для вимірювання тиску гріючої пари на вході в першу колону використано давач тиску (1-1), вихідний аналоговий сигнал з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300, де виміряне значення порівнюється з аварійними межами 3 та 10 бар.

У випадку виходу значення тиску за задані межі, вихідний дискретний сигнал 24 В поступає на відповідні сигнальні лампи (HL1 та HL2) червоного кольору світіння.

Також на автоматизованому робочому місці реалізовано індикацію, сигналізацію та реєстрацію значення тиску гріючої пари

Контур 2. Вимірювання, індикація, реєстрації, регулювання та сигналізації рівня води в першій колоні.

Для вимірювання рівня використано ємнісний рівнемір з тросовим зондом (2-1) вихідний аналоговий сигнал з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300

При відхиленні вхідного параметра від заданого значення ПЛК згідно алгоритму функціонування формує регулюючу дію, яка поступає на аналоговий вхід електропневматичного позиціонера (2-2), який здійснює перетворення уніфікованого струмового сигналу в пневматичний, який в свою чергу поступає на пневматичний привід (2-3) який переміщує регулюючий орган (2-4) у відповідне положення.

У випадку виходу значення тиску за задані межі, вихідний дискретний сигнал поступає на відповідні сигнальні лампи (HL3 та HL4) червоного кольору світіння

Також на автоматизованому робочому місці реалізовано індикацію, сигналізацію та реєстрацію значення рівня води в першій колоні. Надано можливість керувати регулюючим органом в ручному режимі.

Контур 3. Вимірювання, індикація та сигналізація тиску живильної води.

Для вимірювання тиску живильної води використано мембранний манометр з перемикаючими контактами (3) з двома релейними виходами. При падіння тиску до 4 бар, контакти в манометрі замикаються, що подає живлення на сигнальну лампу та на відповідний вхідний канал ПЛК, внаслідок чого процес зупиняється, а клапани подачі води та пари перекриваються.

Для сигналізації використано сигнальні лампи (HL5) червоного кольору світіння.

Контур 4. Вимірювання, індикація, реєстрації, регулювання та сигналізації температури в першій колоні.

Для вимірювання температури в першій колоні використано термометр опору (4-1) вихідний аналоговий сигнал з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300.

При відхиленні вхідного параметра від заданого значення ПЛК згідно алгоритму функціонування формує регулюючу дію, яка поступає на аналоговий вхід електропневматичного позиціонера (4-2), який здійснює перетворення уніфікованого струмового сигналу в пневматичний, який в свою чергу поступає на пневматичний привід (4-3) який переміщує регулюючий орган (4-4) у відповідне положення.

У випадку виходу значення температури за задані межі, вихідний дискретний сигнал поступає на відповідні сигнальні лампи (HL6 та HL7) червоного кольору світіння.

Також на автоматизованому робочому місці реалізовано індикацію, сигналізацію та реєстрацію значення температури в першій колоні. Надано можливість керувати регулюючим органом в ручному режимі.

Контур 5. Увімкнення електромагнітних клапанів для зливу води з колон при проведенні технічних робіт.

При спрацюванні ручного перемикача дискретний сигнал 24В поступає на вхід ПЛК Simatic S7-300, після чого спрацьовує дискретний вихід, сигнал з якого поступає на електромеханічне реле (5-2) яке подає живлення на котушки для електромагнітних клапанів (5-3...5-7). Запуск установки у випадку відкритих клапанів неможливий.

Контур 6. Вимірювання, індикації, реєстрації та сигналізації провідності води для ін'єкцій.

Для вимірювання провідності використано кондуктивний давач електропровідності (6-1) вихідний аналоговий сигнал з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300.

При перевищенні вхідним параметром значення в 2.7 мкС/см вихідний дискретний сигнал з ПЛК поступає на пневморозподільник (6-2) пневматичний сигнал з якого поступає на 3-ходовий клапан (6-4) з пневмоприводом який переводить потік води для ін'єкцій в злив. Також можливе відкриття даного клапану в ручному режимі використавши перемикач (6-3).

Для сигналізації використано сигнальні лампи (HL8) червоного кольору світіння з напругою живлення.

Також на автоматизованому робочому місці реалізовано індикацію, сигналізацію та реєстрацію значення рівня води в першій колоні.

Контур 7. Вимірювання, індикація, реєстрації, регулювання та сигналізації температури води для ін'єкцій.

Для вимірювання температури води для ін'єкцій використано термометр опору (7-1) вихідний аналоговий сигнал з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300.

При відхиленні вхідного параметра від заданого значення ПЛК згідно алгоритму функціонування формує регулюючу дію, яка поступає на аналоговий вхід електропневматичного позиціонера (7-2), який здійснює перетворення уніфікованого струмового сигналу в пневматичний, який в свою чергу поступає на

пневматичний привід (7-3) який переміщує регулюючий орган (7-4) у відповідне положення.

У випадку виходу значення температури за задані межі, вихідний дискретний сигнал поступає на відповідні сигнальні лампи (HL9 та HL10) червоного кольору світіння.

Також на автоматизованому робочому місці реалізовано індикацію, сигналізацію та реєстрацію значення температури води для ін'єкцій. Надано можливість керувати регулюючим органом в ручному режимі.

Контур 8. Вимірювання, індикація та сигналізація тиску води охолодження.

Для вимірювання тиску води охолодження використано мембранний манометр з перемикаючими контактами (8) з двома релейними виходами. При падіння тиску до 2 бар, контакти в манометрі замикаються, що подає живлення на сигнальну лампу та на відповідний вхідний канал ПЛК, внаслідок чого процес зупиняється, а клапани подачі води та пари перекриваються.

Для сигналізації використано сигнальні лампи (HL11) червоного кольору світіння.

Також на автоматизованому робочому місці реалізовано сигналізацію тиску води охолодження.

Контур 9. Вимірювання та індикація витрати води для ін'єкцій.

Для вимірювання витрати води для ін'єкцій використано ротаметр (9) з діапазоном вимірювання 400-4000 л/год вихідний аналоговий сигнал з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК Simatic S7-300.

На автоматизованому робочому місці реалізовано індикацію та реєстрацію значення витрати води для ін'єкцій.

Висновок: в четвертому розділі виконано розробку функціональної схеми автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води розширеним способом та виконано її опис.


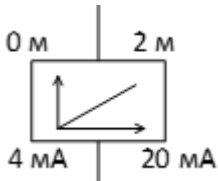
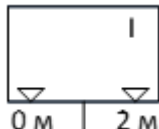
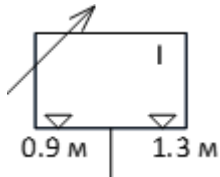

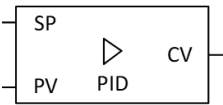
РОЗДІЛ 5

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

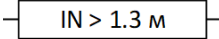
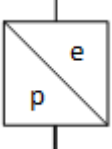
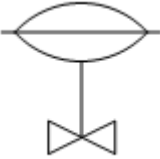
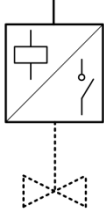
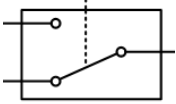
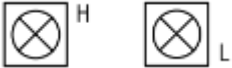

5.1 Алгоритми функціонування контурів системи автоматизації

Для розробки алгоритмів функціонування контурів системи керування багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води, що були описані в попередньому розділі використовую графічні елементи[24], перелік яких подано у таблиці 5.1

Таблиця 5.1

Графічне зображення функціонального елемента	Функціональне призначення
1	2
	первинний вимірювальний перетворювач, давач
	лінійне перетворення (масштабування) аналогового сигналу
	аналоговий індикатор технологічного параметру
	задавач аналогового сигналу з обмеженням по двох значеннях
	перемикач режимів роботи регулятора або схеми керування
	аналоговий пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор

Продовження таблиці 5.1

1	2
	елементи порівняння аналогового сигналу та заданого значення на більше/менше/рівність
	перетворювач електричного аналогового сигналу в пневматичний
	виконавчий механізм з аналоговим керуючим сигналом в комплекті з регулюючим органом
	електромагнітний клапан
	селектор аналогових або дискретних сигналів
	світло-сигнальний індикатор сигналізації по верхній або нижній межі
	виконавчий механізм з дискретним керуючим сигналом в комплекті з 3-ходовим краном

Алгоритми функціонування системи автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води наведено на рис. 5.1-5.7.

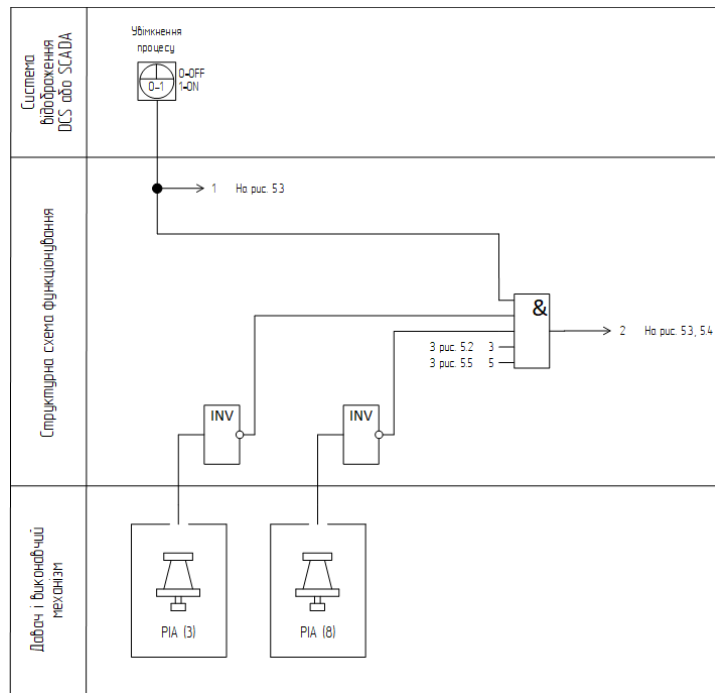


Рис. 5.1. Алгоритм формування сигналу дозволу на запуск та роботу установки

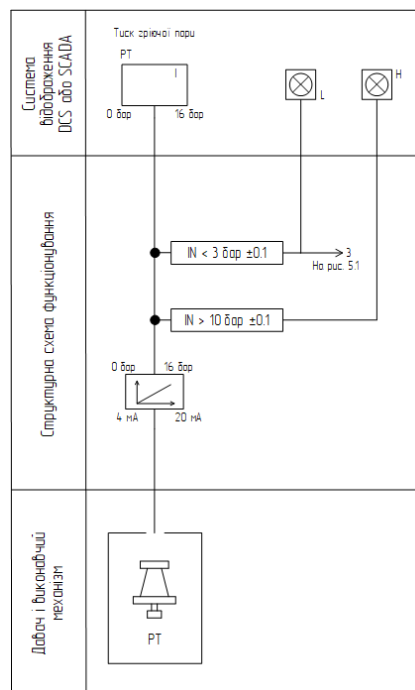


Рис. 5.2 Алгоритм функціонування контуру №1 «Вимірювання, індикація та сигналізація тиску зрідної пари.»

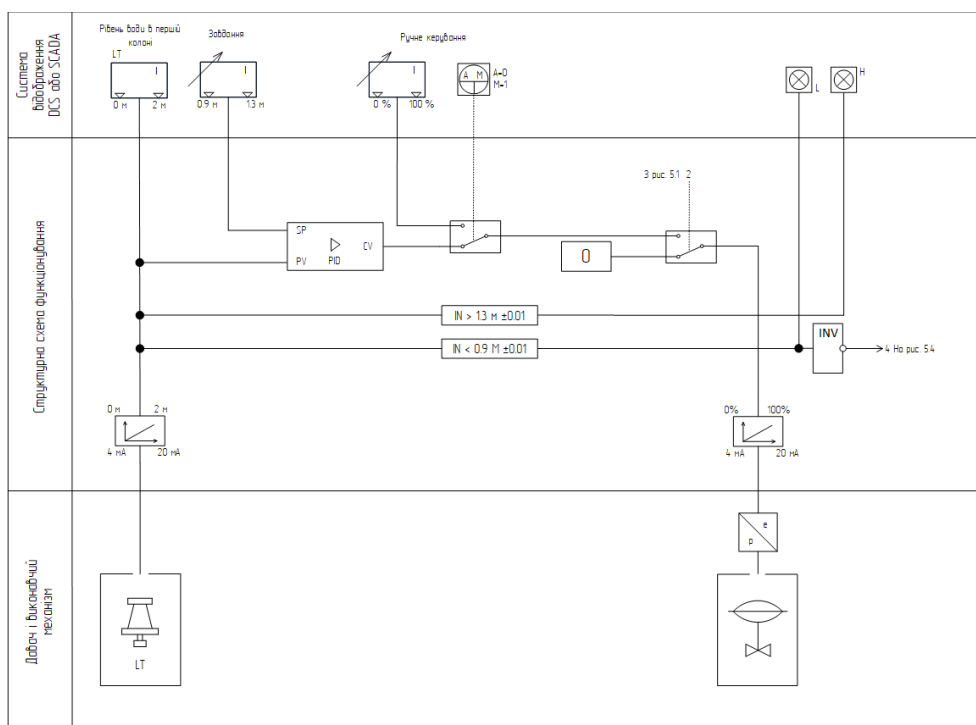


Рис. 5.3. Алгоритм функціонування контуру №2 «Вимірювання, індикація, реєстрації, регулювання та сигналізації рівня води в першій колоні».

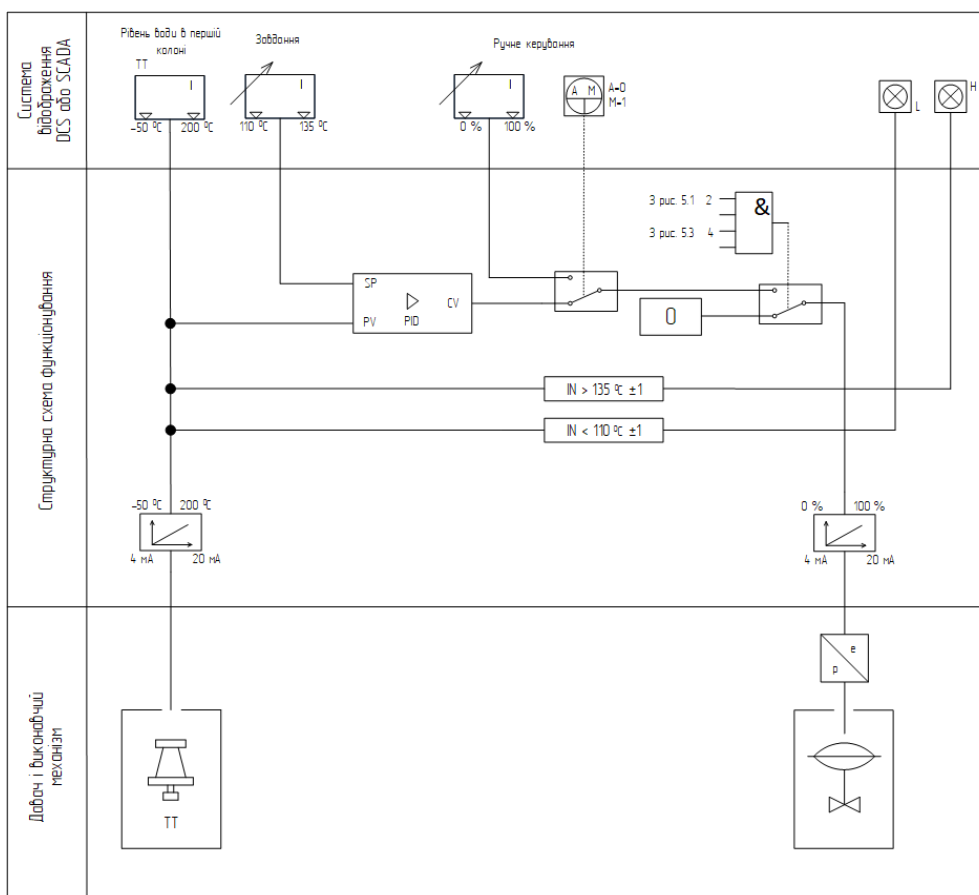


Рис. 5.4. Алгоритм функціонування контуру №4 «Вимірювання, індикація, реєстрації, регулювання та сигналізації температури в першій колоні»

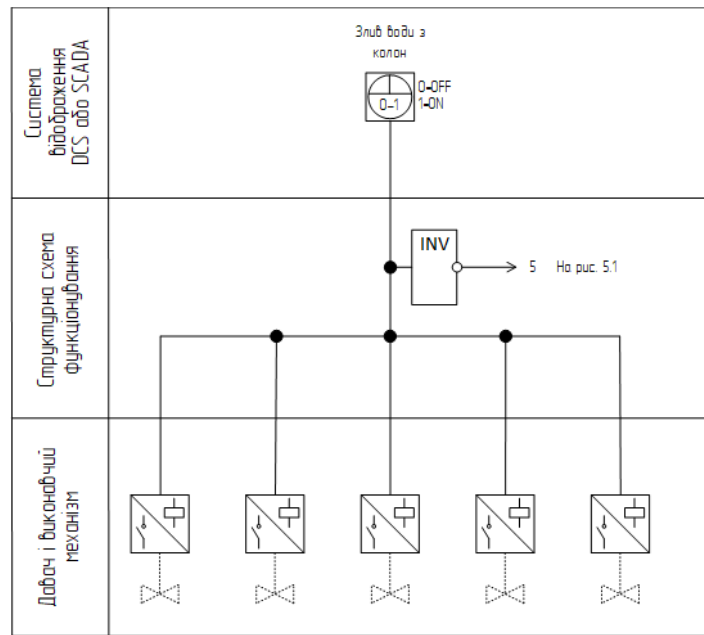


Рис. 5.5. Алгоритм функціонування контуру №5 «Дискретне увімкнення електромагнітних клапанів для зливу води з колон при проведенні технічних робіт»

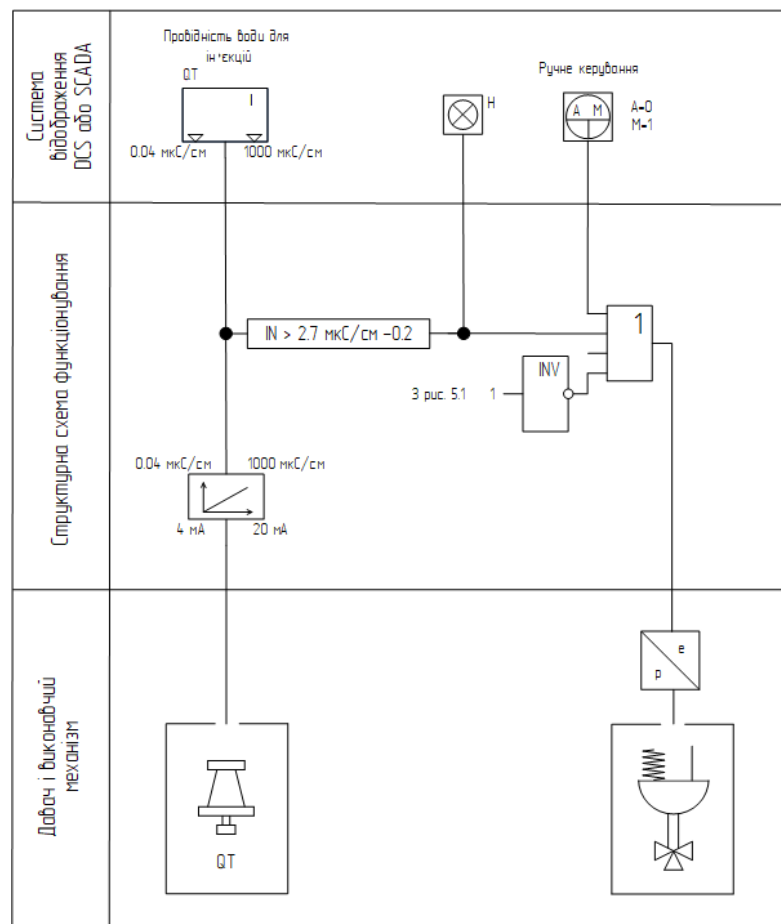


Рис. 5.6. Алгоритм функціонування контуру №6 «Вимірювання, індикації, реєстрації та сигналізації провідності води для ін'єкцій.»

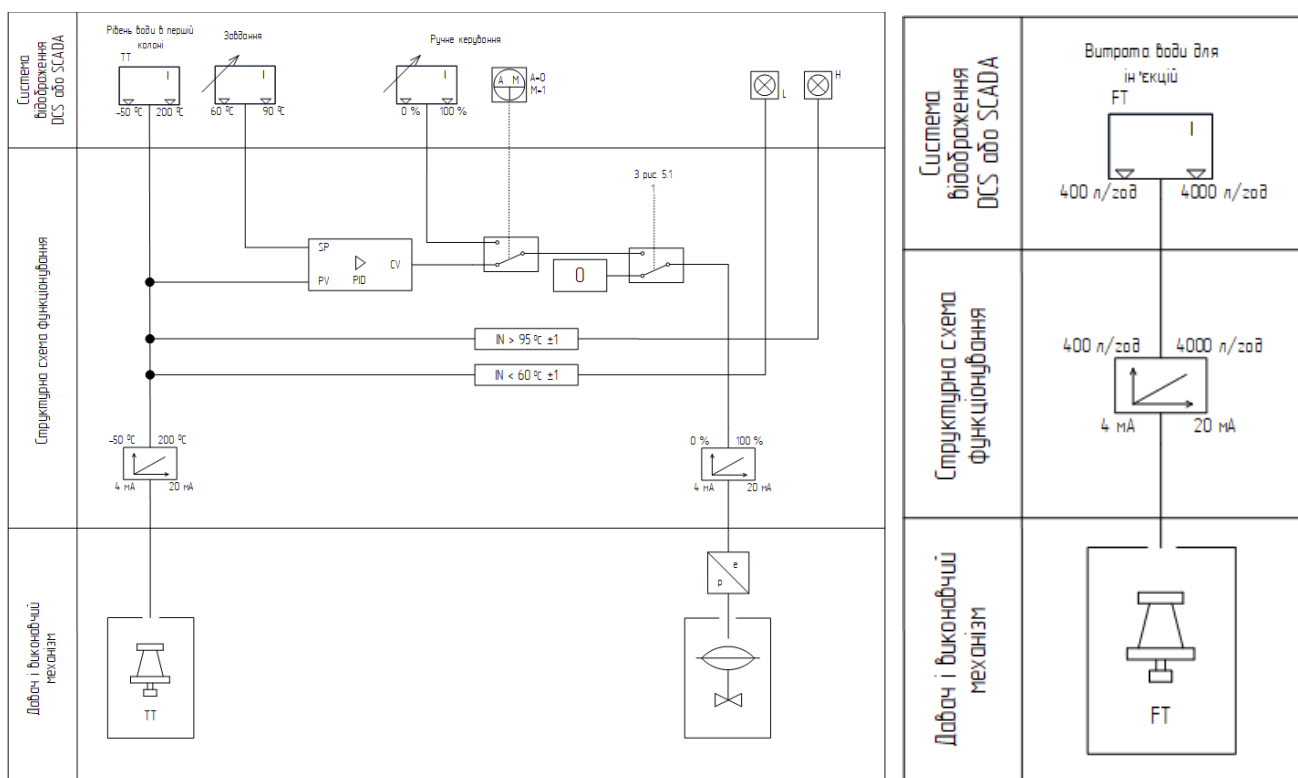


Рис. 5.7. Алгоритм функціонування контурів №7 «Вимірювання, індикація, реєстрації, регулювання та сигналізації температури води для ін'єкцій» та №9 «Вимірювання та індикація витрати води для ін'єкцій»

5.2 Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

На основі розроблених алгоритмів функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи керування багатоступеневою вододистиляційною установкою для отримання стерильної апірогенної води, що представлені в підрозділі 5.1, здійснюють розробку програми роботи мікропроцесорного програмного засобу автоматизації серії Simatic S7-300. Програма складається з набору типових підпрограм, таких як:

1. Обробка та масштабування вхідного аналогового сигналу за допомогою функції FC105 (рис. 5.8.), для якої необхідно задати межі вхідного аналогового сигналу (IN) по верхній (HI_LIM) та нижній (LO_LIM) межах. На виході (OUT) отримуємо перетворений та промасштабований вихідний сигнал.

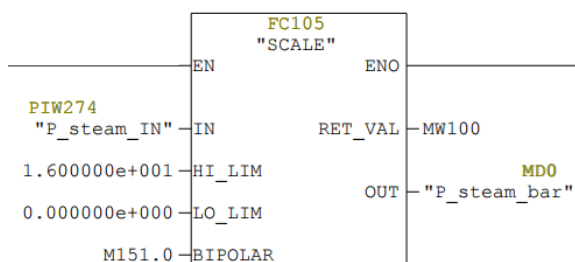


Рис. 5.8. Функція FC105 «Scale» для перетворення та масштабування вхідного аналогового сигналу

2. Сигналізація по нижньому та/або верхньому рівнях з гістерезисом, реалізована за допомогою попередньо створеного функціонального блоку FB1 (рис. 5.9.). На вхід IN поступає значення у форматі REAL, а для High_lim та Low_lim вказуються відповідні значення верхньої та нижньої аварійної межі при якій спрацьовують виходи HLH та HLL відповідно. Для ніжки Hysteresis вказуються значення гістерезиса, а для Mod, при необхідності, вказується режим роботи за допомогою введення значення 1 або 2 блока, при якому гістерезис враховуватиметься для руху параметра в обох напрямках чи лише в одному.

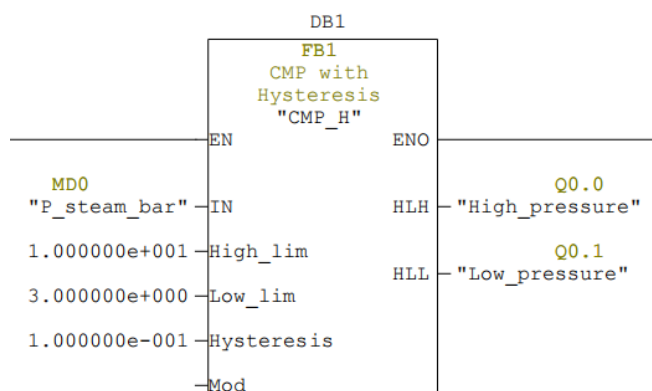


Рис. 5.9. Функціональний блок FB1 «CMP with Hysteresis» для сигналізації по нижньому та/або верхньому рівнях з гістерезисом

Даний блок функціонує наступним чином:

На вхід High_lim поступає значення у форматі REAL від якого, за допомогою функціонального елемента SUB_R, віднімається значення гістерезиса та присвоюється отримане значення проміжній змінній H_LL, яка відповідає за значення, при якому на вихід HLH припинить поступати сигнал після його

спрацювання. Наступним кроком відбувається порівняння значення в полі Mod за допомогою CMP == з значенням 1 або 2, для визначення режиму функціонування даного блоку. У випадку Mod=1 (значення за замовчуванням) до проміжної змінної H_HL, яка відповідає за значення, при якому на вихід HLH почне подаватися сигнал, записується значення отримане додаванням змінних High_lim та Hysteresis за допомогою елемента ADD_R. У випадку Mod=2, до проміжної змінної H_HL записується значення High_lim без урахування гістерезиса. Фрагмент програми наведено на рис.5.10

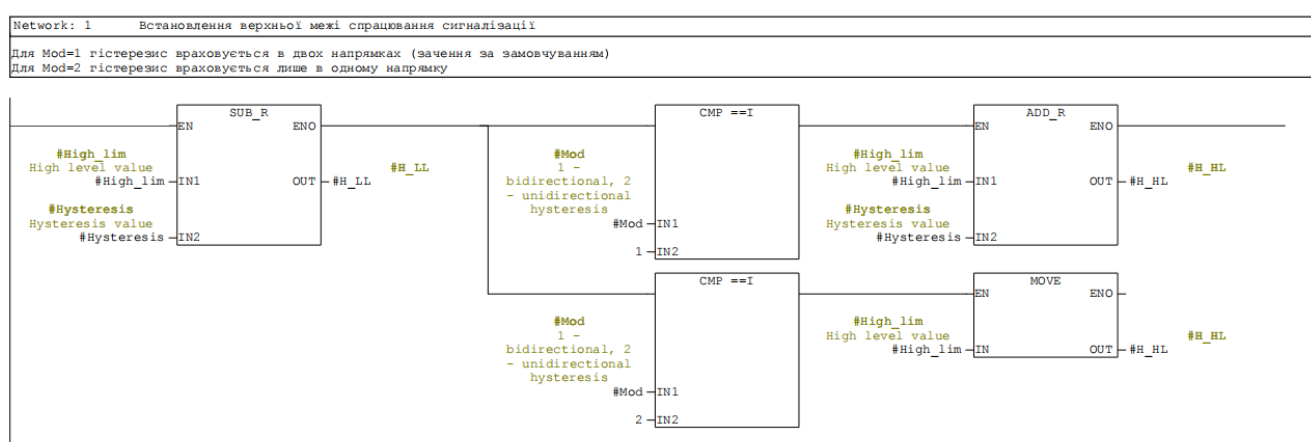


Рис. 5.10. Фрагмент програми функціонування компаратора з гістерезисом, а саме розрахунків для верхнього аварійного значення

За аналогічним алгоритмом встановлюються значення для нижньої межі. До значення Low_lim за допомогою елемента ADD_R додається значення гістерезиса та присвоюється отримане значення проміжній змінній L_HL, яка відповідає за значення, при якому на вихід HLL припинить поступати сигнал після його спрацювання. Наступним кроком відбувається порівняння значення в полі Mod за допомогою CMP == з значенням 1 або 2, для визначення режиму функціонування даного блоку. У випадку Mod=1 (значення за замовчуванням) до проміжної змінної L_LL, яка відповідає за значення, при якому на вихід HLL почне подаватися сигнал, записується значення отримане відніманням від змінної Low_lim значення Hysteresis за допомогою елемента SUB_R. У випадку Mod=2, до проміжної змінної L_LL записується значення Low_lim без урахування гістерезиса. Уривок програми наведено на рис.5.11.

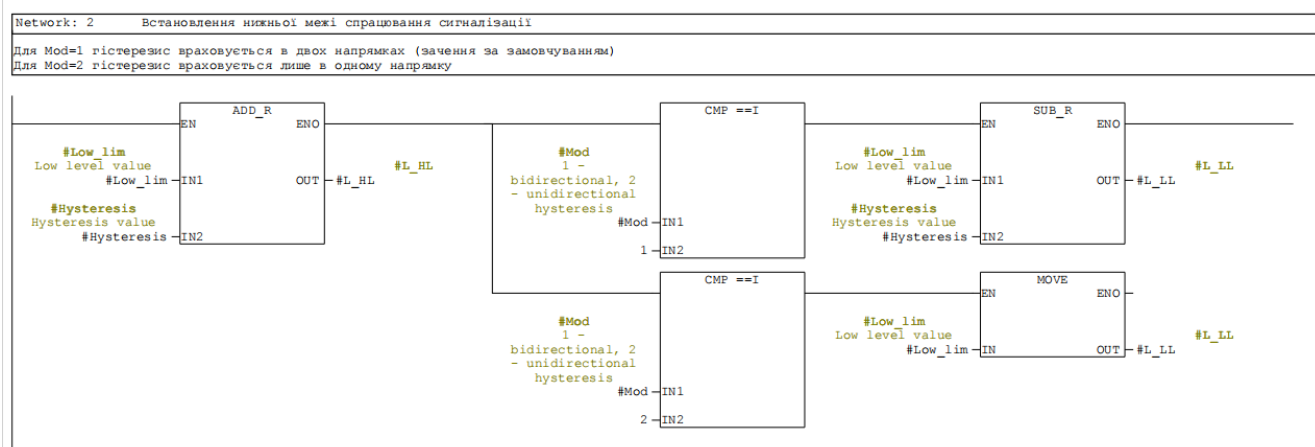


Рис. 5.11. Фрагмент програми функціонування компаратора з гістерезисом, а саме розрахунків для нижнього аварійного значення

Отримані на попередніх етапах функціонування програми результати використовуються для реалізації сигналізації по верхній та/або нижній межі з врахуванням гістерезиса. Для цього використовуються функціональні елементи порівняння які порівнюють виміряне значення з розрахованими та при виконанні умов подаються сигнали на відповідні виходи HLH та HLL. Фрагмент програми наведено на рис.5.12.

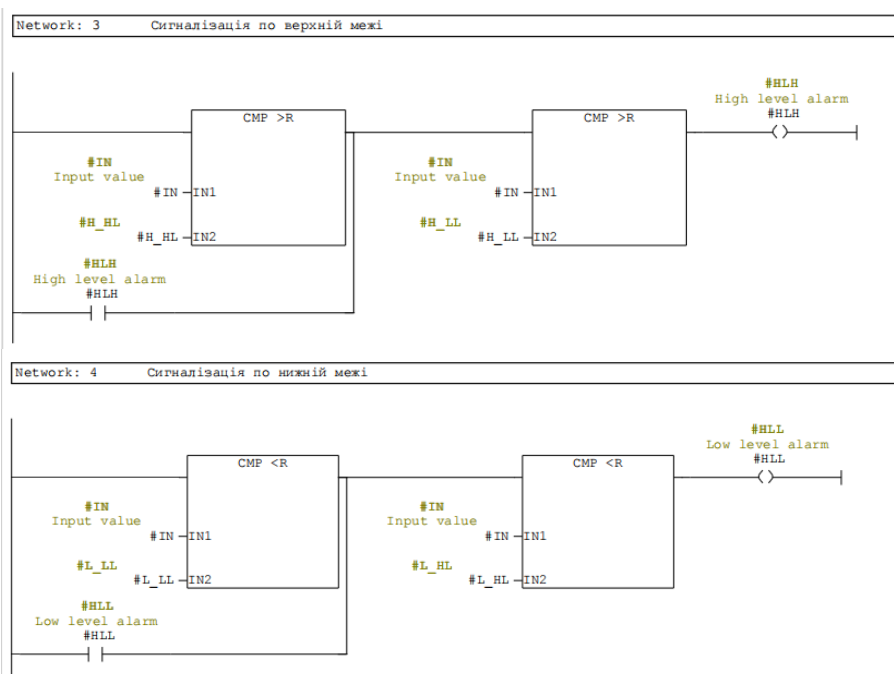


Рис. 5.12. Фрагмент програми функціонування компаратора з гістерезисом, а саме спрацювання виходів HLH та HLL при виконанні умов

3. Процедура формування ПД-закону регулювання з використанням функціонального блоку FB41 CONT-C (рис. 5.13), який реалізовує аналогове керування.

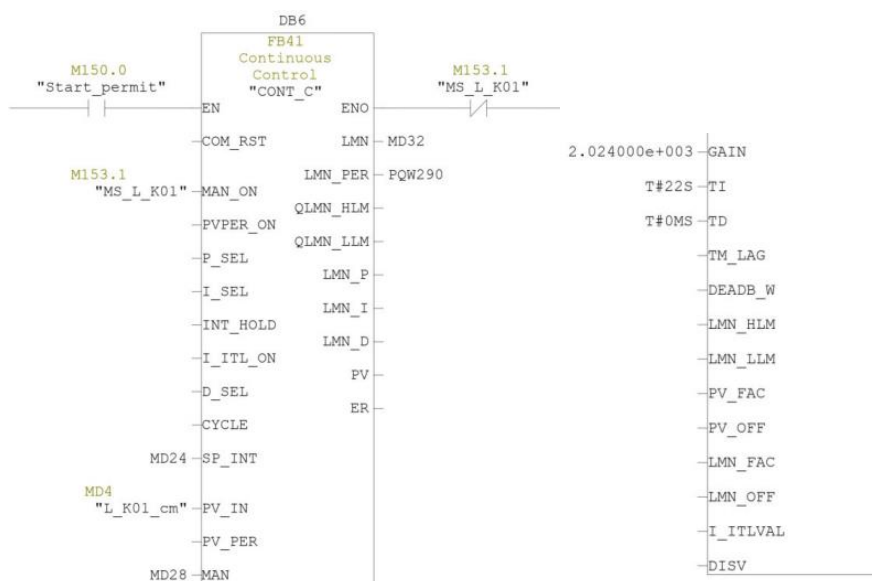


Рис. 5.13. Функціональний блок FB41 CONT-C для реалізації аналогового ПД-закону регулювання

Для реалізації алгоритмів функціонування розроблених в підрозділі 5.1. необхідно вказати наступні параметри:

MAN_ON – перехід в ручний режим керування (BOOL);

SP_INT – внутрішнє задане значення (REAL);

PV_IN – вхід змінної процесу (REAL);

MAN – числове значення керуючої дії для ручного режиму керування (REAL);

LMN – керуюча змінна у форматі (REAL);

LMN_PER – керуюча змінна для системи I/O (INT);

Параметри налаштування ПД-закону наступні:

Gain – коефіцієнт підсилення;

TI – час інтегрування;

TD – час диференціювання.

Для уникнення різких змін регулюючої дії внаслідок переходу до ручного режим керування реалізовано безударний перехід використовуючи функціональний

елемент MOVE для присвоєння значення регулюючої дії з ніжки LMN до ніжки MAN під час роботи системи в автоматичному режимі.

Також реалізовано перекриття регулюючих органів у випадку вимкнення процесу чи виникненні умов, за яких відповідний клапан повинен бути перекритим, наприклад перекриття подачі води в колону при відкритих зливних клапанів. Для цього при виникненні згаданих ситуацій зв'язок з блоком переривається, а відповідному виходу контролера присвоюється значення 0.

Загальна програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації серії Simatic S7-300 для реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи керування багатоступеневою вододистиляційною установкою для отримання стерильної апірогенної води, представлено на графічному плакаті №2.

Висновок: у п'ятому розділі розроблено алгоритми та програму функціонування контурів системи керування багатоступеневою вододистиляційною установкою на основі мікропроцесорного засобу автоматизації Simatic S7-300.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ТА ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ З'ЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

З урахуванням функціональної схеми автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки, виконаної розгорнутим способом у розділі 4, а також враховуючи особливості використання ПЛК серії S7-300 та алгоритми функціонування контурів системи автоматизації, розроблено принципову електричну схему з'єднань технічних засобів автоматизації та програмованого логічного контролера.

Електрична схема з'єднань складається з:

1. Електричної схеми живлення модулів вводу/виводу і центрального процесору ПЛК та технічних засобів автоматизації (рис. 6.1.)

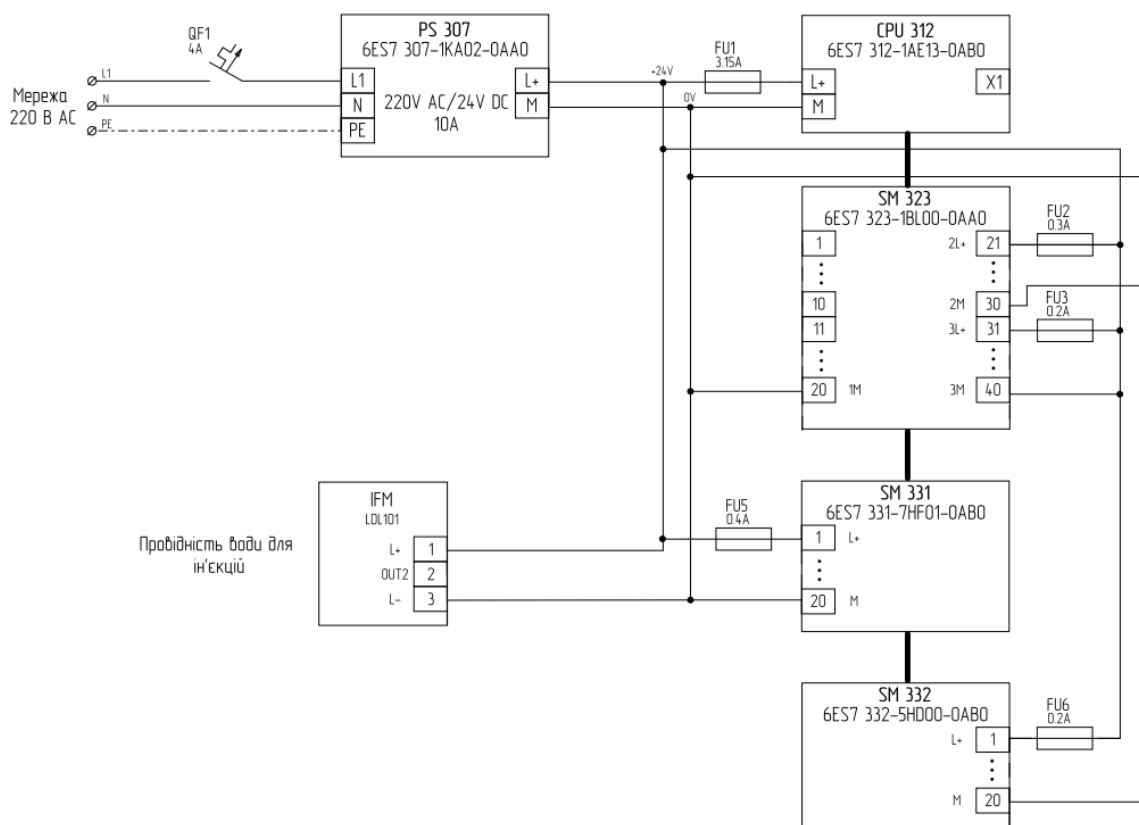


Рис. 6.1. Принципова електрична схема живлення модулів мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації серії Simatic S7-300 та технічних засобів автоматизації

2. Схема приєднання первинних вимірювальних перетворювачів до каналів аналогового вводу ПЛК (рис. 6.2.), зокрема

- ПВП тиску Wika SA-11, приєднаний по двопровідній схемі;
- ПВП рівня з тросовим зондом VEGAFLEX 61, приєднаний по двопровідній схемі;
- ПВП температури IFM TA1605, приєднаний по двопровідній схемі;
- ПВП електропровідності IFM LDL101, приєднаний по чотирипровідній схемі;
- ПВП витрати KROHNE H250/M9/ESK приєднаний по двопровідній схемі.

Оскільки обраний сигнальний модуль вхідних аналогових сигналів має вбудоване джерело живлення (рис. 3.3 б), то до каналів аналогового вводу можуть підключатися як активні, так і пасивні датчі, однак тип під'єднання необхідно вказати при конфігуруванні каналів в програмному середовищі.

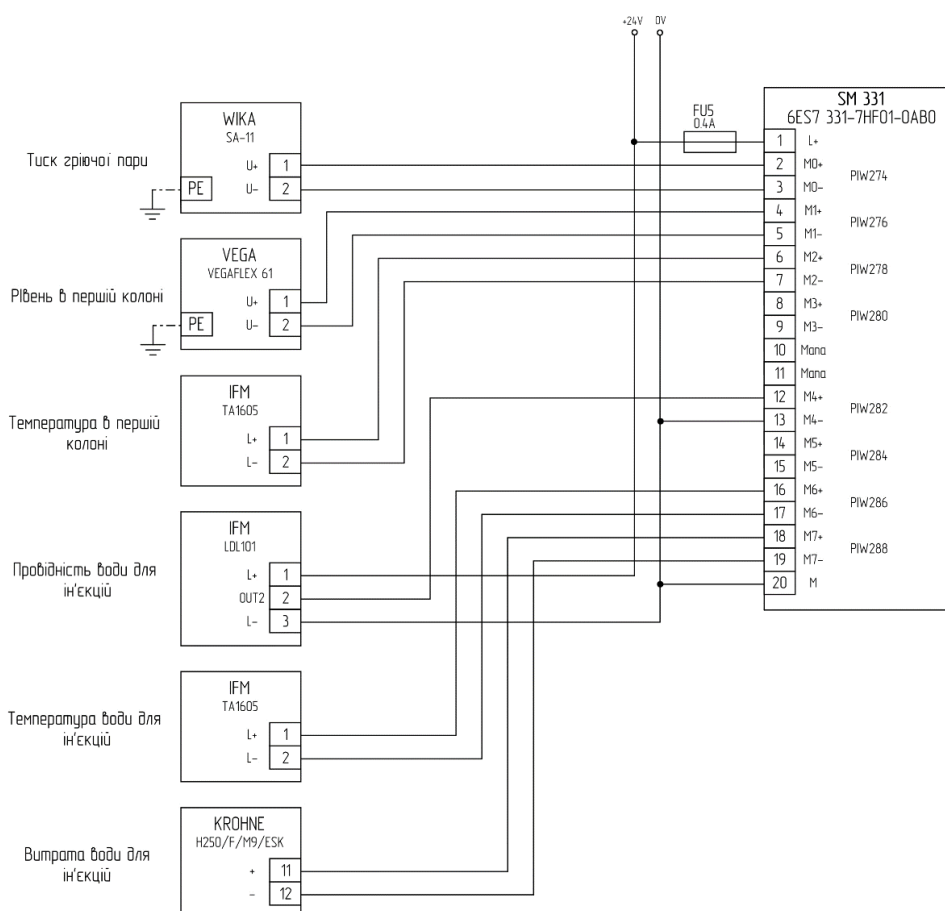


Рис. 6.2. Фрагмент електричної схеми приєднання первинних вимірювальних перетворювачів до каналів аналогового вводу сигнального модуля типу SM331

3. Схема приєднання, перемикачів, виконавчих механізмів та світлової сигналізації (рис 6.3., рис 6.4.), зокрема:

- Електропневматичних позиціонерів Sipart PS2 6DR5010-0NG00-0AA0;
- Електромеханічного реле Schneider Electric RXG22BDPV;
- Пневморозподільника Festo VUVS-LK20-M32C-AD-G18-1C1+GL-S;
- Котушки для електромагнітних клапанів Danfoss BB024DS 018F6757;
- Сигнальних ламп Schneider Electric XB7EV04BP;
- Мембранних манометрів з перемикаючими контактами WIKA PGS43.100 821.1.

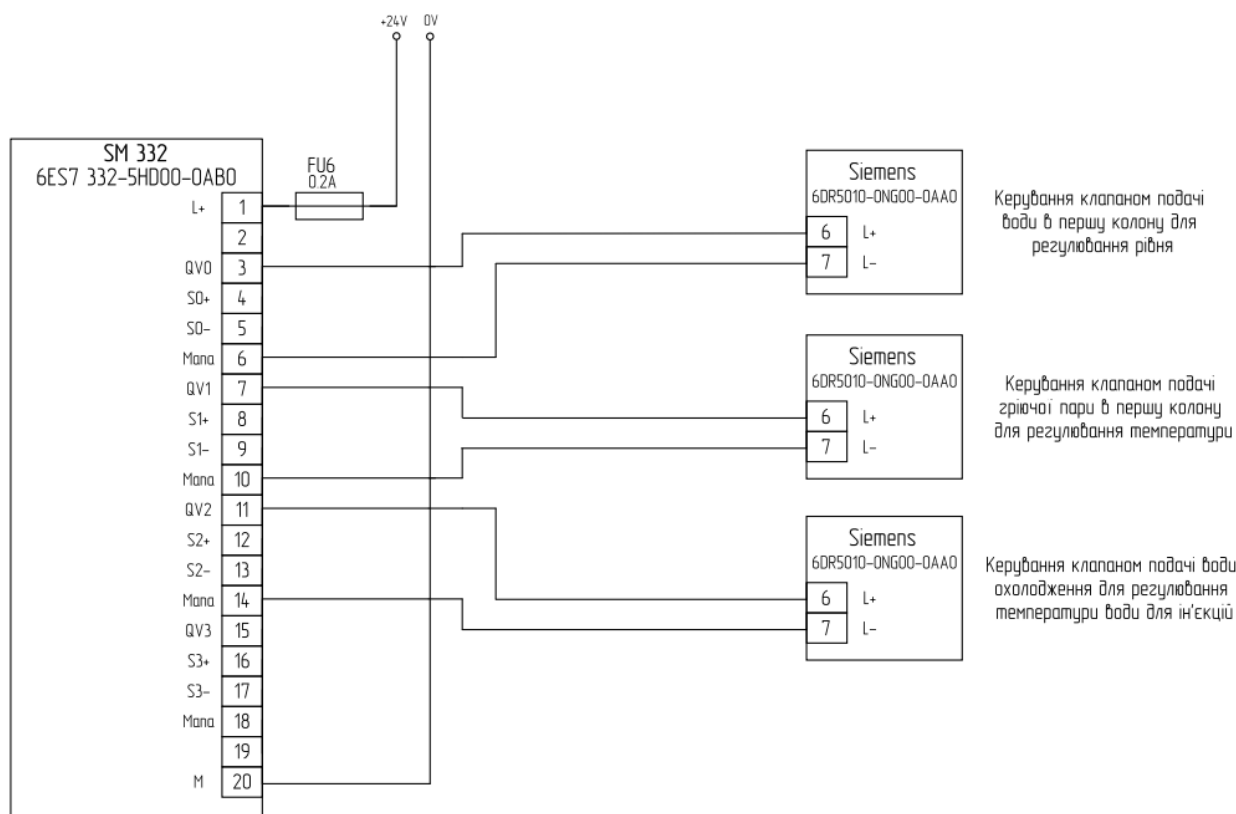
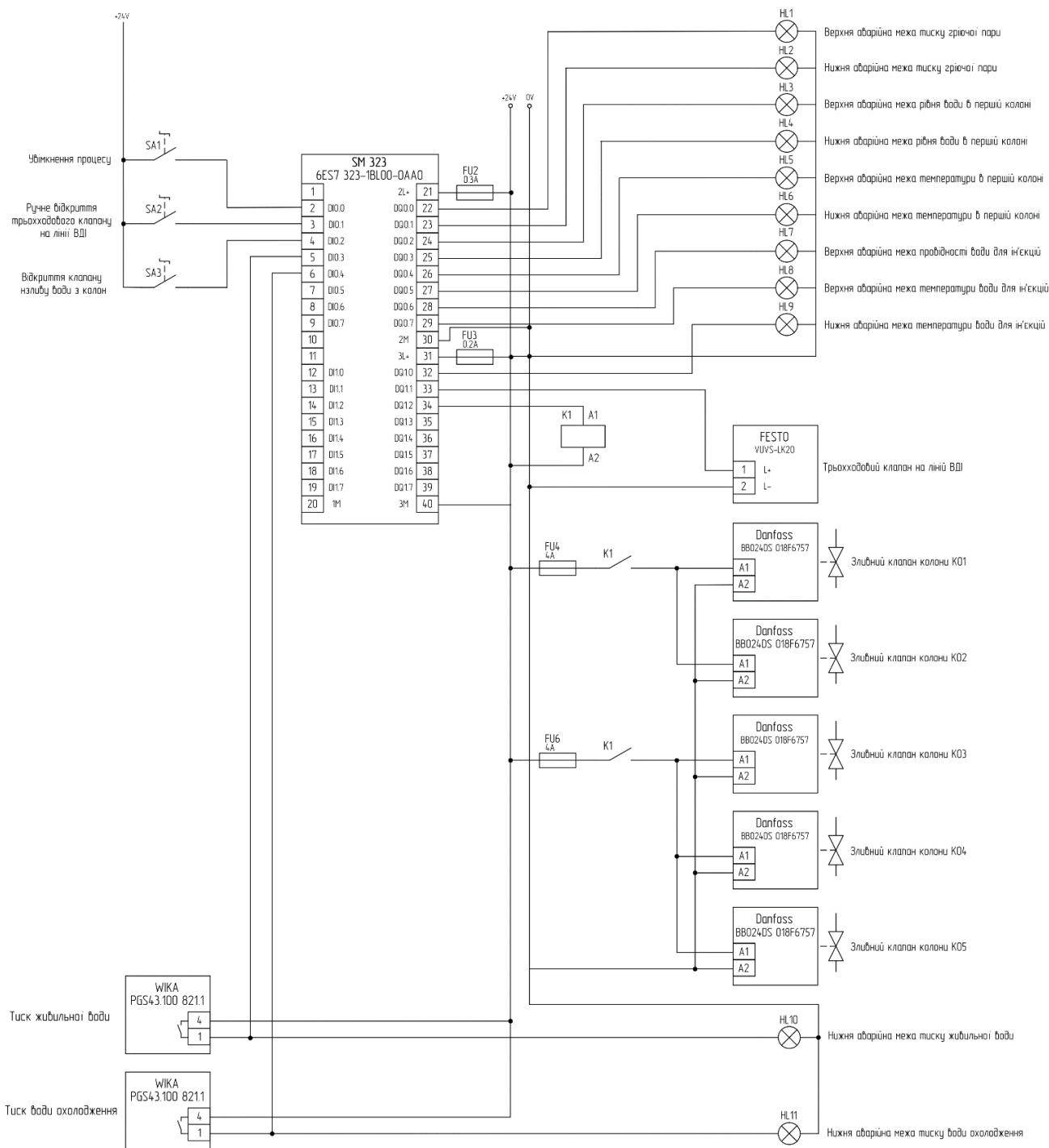


Рис. 6.3. Фрагмент електричної схеми приєднання виконавчих пристроїв до сигнального модуля типу SM332



РОЗДІЛ 7

РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ У ПЕРШІЙ ВОДОДИСТИЛЯЦІЙНІЙ КОЛОНІ

В даному розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи проводиться дослідження системи автоматичного регулювання рівня води у першій вододистиляційній колоні. Регулювання даного параметра відбувається шляхом зміни витрати води живлення на вході у колону за допомогою встановленого на трубопроводі регулюючого органу. Знаходження математичної моделі об'єкта відбуватиметься на основі кривої розгону, отриманої внаслідок зміни положення регулюючого органу на 11% від ходу.

Таблиця 7.1

Експериментальні дані кривої розгону

Рівень, м	1.1000	1.1007	1.1017	1.1032	1.1053	1.1074	1.1098	1.1123
Час, t	0	9	16	24	30	37	45	52
Рівень, м	1.1150	1.1173	1.1198	1.1224	1.1252	1.1276	1.1305	1.1331
Час, t	60	67	73	81	88	96	102	109
Рівень, м	1.1461							
Час, t	145							

Для коректної роботи багатоступеневої установки для отримання стерильної апірогенної води, система автоматичного керування повинна забезпечувати наступні показники якості процесу регулювання:

1. Максимальне допустиме динамічне відхилення $A_{\max} = 0.08$ м;
2. Допустима похибка регулювання $\Delta = 0.01$ м;
3. Допустимий час регулювання $t = 210$ с.

7.1 Складання математичної моделі та розрахунок основних параметрів технологічного об'єкта керування

Для розрахунку системи автоматичного регулювання рівня води у першій

вододистиляційній колоні першочергово необхідно записати об'єкт у вигляді математичних функцій чи рівнянь, що описуватимуть зміну вихідної величини в часі під дією різних вхідних величин. Система таких рівнянь утворює математичну модель об'єкта регулювання.

На практиці, для побудови математичної моделі здебільшого використовують експериментальний метод, що позбавляє необхідності у детальному вивченні внутрішніх процесів об'єкта, оскільки в такому випадку всю необхідну інформацію отримують шляхом визначення вихідної величини за умови, що відомі зміни всіх вхідних величини.

В даному дослідженні системи керування, для отримання необхідних для побудови математичної моделі значень, використовують метод кривої розгону. Метод полягає у подачі стрибкоподібної зміни вхідної величини в момент перебування об'єкта у стані рівноваги. Інші вхідні параметри в цей час повинні залишатися незмінними.

Побудову математичної моделі на основі отриманих даних необхідно виконувати в такі три етапи:

1. Вибір структури моделі й передавальної функції об'єкта в загальному вигляді;
2. Знаходження числових значень параметрів моделі;
3. Перевірка точності апроксимації шляхом порівняння експериментальної та теоретичної кривих

7.1.1 Вибір структури моделі об'єкта керування

На основі експериментальної кривої розгону (рис. 7.1) отриманої внаслідок зміни положення регулюючого органу на 11% від ходу, роблю припущення, що об'єкт може бути представленим у вигляді паралельно з'єднаних інтегральної та аперіодичної ланок. [25]

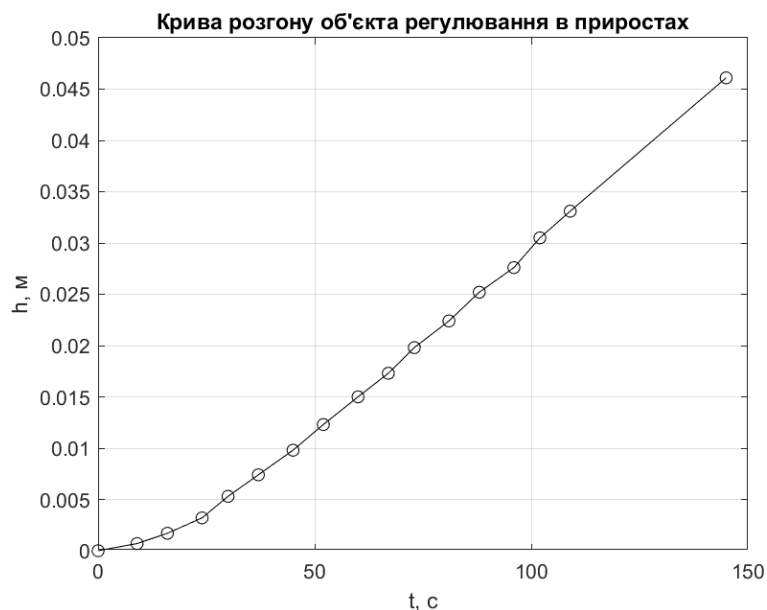


Рис. 7.1. Експериментальна крива розгону об'єкта в приростах, отримана при стрибкоподібній зміні положення регулюючого органу $Y = 11\%$

Модель такого об'єкта матиме наступний вигляд

$$W(p) = \frac{v_i}{p} - \frac{k_a}{Tp + 1}, \quad (7.1)$$

де v_i – швидкість розгону інтегруючої ланки; k_a – передавальний коефіцієнт аперіодичної ланки; T – стала часу.

7.1.2 Знаходження числових значень параметрів моделі

Для знаходження параметрів моделі (7.1) необхідно побудувати пряму, що проходить через точку $t=0$ та є паралельною до асимптоти експериментальної кривої. В такому випадку, отриману пряму можна розглядати як криву розгону інтегруючої ланки. Від ординат $y_i(t)$ отриманої ланки необхідно відняти ординати досліджуваної кривої розгону після чого апроксимувати кривою розгону аперіодичної ланки першого порядку. За таких умов, експериментальну криву досліджуваного об'єкта можна подати як різницю кривих розгону інтегруючої та аперіодичної ланки (7.2).

$$y^e(t) = y_i(t) - y_a(t) \quad (7.2)$$

В результаті отримав графік, зображений на Рис. 7.1

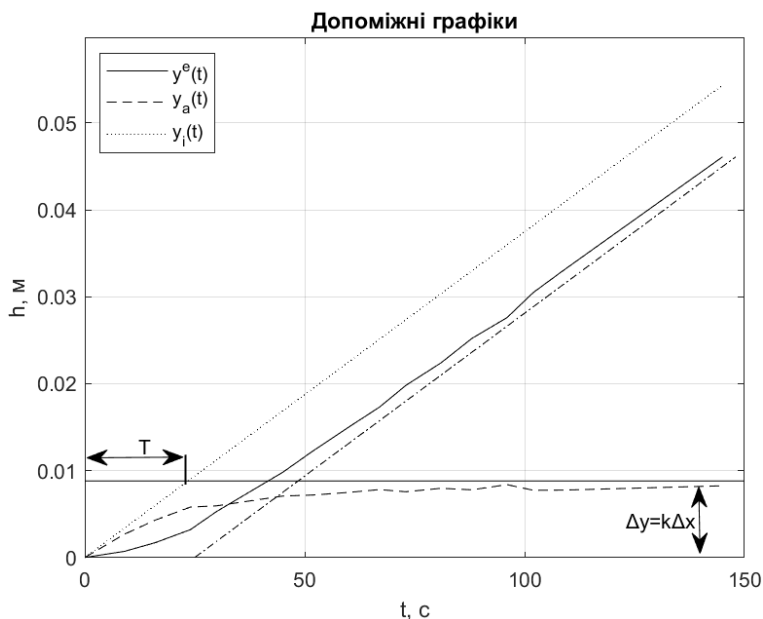


Рис. 7.1 Побудова допоміжних графіків для знаходження параметрів математичної моделі об'єкта регулювання без самовирівнювання

Якщо при знаходженні швидкості розгону v_i за формулою (7.3)

$$v_i = \frac{y_i(t_j)}{t_j \Delta x} \quad (7.3)$$

де Δx – значення стрибкоподібної зміни вхідної величини; $y_i(t_j)$ – значення кривої розгону в момент часу t_j ;

обрати момент часу t_j рівним T , то формула (7.3) набуде наступного вигляду

$$v_i = \frac{k_a}{T} \quad (7.4)$$

а передавальна функція (7.1) матиме вигляд (7.5)

$$W(p) = \frac{k_a}{T_p(T_p+1)}, \quad (7.5)$$

Для пошуку параметра k_a скористаюсь формулою (7.6)

$$\Delta y = k_a \Delta x \quad (7.6)$$

де Δy – максимальна зміна вихідної величини; Δx – значення стрибкоподібної зміни вхідної величини.

$$K_a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{0.0088 \text{ м}}{11 \%} = 0.0008 \frac{\text{м}}{\%}$$

Стала часу визначається з графіку на рис. 7.1 та рівна $T = 23.5$ с.

7.1.3 Перевірка адекватності динамічної моделі

Для об'єктів без самовирівнювання критерієм прийнятності точності апроксимації слід прийняти максимальну абсолютну похибку, яка визначається виразом (7.7)

$$\Delta_a = |y(t) - y^e(t)|_{\max} \quad (7.7)$$

та не повинна перевищувати заданого значення точності регулювання.

Для розрахунку значень теоретичної кривої розгону використовується формула (7.8)

$$y(t) = k_a \Delta x \left(\frac{t}{T} - 1 + e^{-t/T} \right) \quad (7.8)$$

Графік порівняння експериментальної та теоретичної кривих розгону в приростах наведено на рис. 7.2

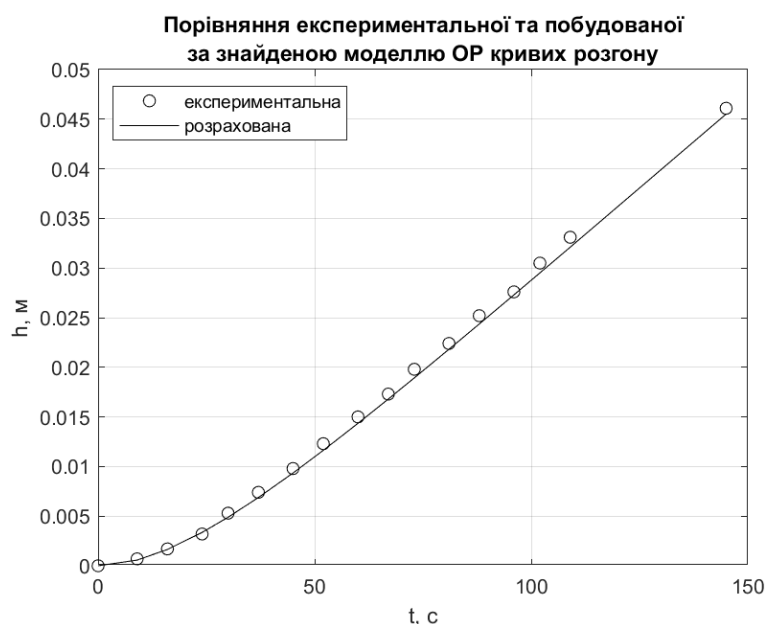


Рис. 7.2. Порівняння експериментальної та теоретичної кривих розгону в приростах

Програма для побудови графіку порівняння експериментальної та теоретичної кривих розгону й для розрахунку максимальної абсолютної похибки:

```
%Побудова експериментальної кривої розгону
clear all; clc;
t=[0 9 16 24 30 37 45 52 60 67 73 81 88 96 102 109 145];
```

```

h=[1.1000 1.1007 1.1017 1.1032 1.1053 1.1074 1.1098 1.1123
1.1150 1.1173 1.1198 1.1224 1.1252 1.1276 1.1305 1.1331 1.1461];
h0=1.1;
dh=h-h0;
%Перевірка на адекватність
ka=0.0008;
dx=11; T=23.5;
ytd=ka*dx*(t/T-1+exp(-t/T));
yt=ytd;
delta_l = abs(yt - dh);
dh_max = max(delta_l)*1000,
figure(1)
plot(t,dh,"Ok",t,yt,"k");
grid
xlabel('t, c');
ylabel('h, м');
title({'Порівняння експериментальної та побудованої' ; 'за
знайденою моделлю ОР кривих розгону'});
legend('експериментальна', 'розрахована', 'Location',
'northwest')

```

В результаті розрахунків, максимальна абсолютна похибка склала $\Delta_a = 9.9785e-04$ м = 0.9978 мм, що є значно меншим за допустиму похибку регулювання $\Delta_{\text{доп}} = 10$ мм, отже точність апроксимації можна вважати задовільною.

Отже, передавальна функція об'єкту регулювання матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{0.0008}{23.5p(23.5p+1)} \quad (7.9)$$

7.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування автоматичного регулятора

Зважаючи на недолік регуляторів з пропорційним законом регулювання, а саме наявність можливої статичної похибки регулювання, та неможливість використати регулятор з інтегральним законом регулювання, оскільки розглянутий об'єкт без самовирівнювання прийнято рішення про використання регулятора з пропорційно-інтегральним законом регулюванням, в якому відсутні згадані недоліки. Загальний вигляд функції передачі ПІ-регулятора наступний

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{is}} \cdot \frac{1}{p} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{is}p} \right), \quad (7.10)$$

де k_p – коефіцієнт передачі регулятора; T_{is} – час іздрому.

Першим кроком для знаходження оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора є знаходження частот ω^* та ω^{**} , що відповідають параметрам налаштування І- та П-регуляторів відповідно. [25] Знайти ці значення можна розв'язавши графічним методом рівняння (7.10) та (7.11)

$$\varphi_{OP}(m, \omega^*) = -\frac{\pi}{2} + \text{arctg}(m) \quad (7.11)$$

$$\varphi_{OP}(m, \omega^{**}) = -\pi \quad (7.12)$$

Для цього потрібно побудувати графік розширеної фазочастотної характеристики ОР (рис. 7.3.) та знайти значення ω^{**} яке відповідатиме $\varphi_{OP}(m, \omega^{**}) = -\pi$. В результаті отримано значення $\omega^* = 0$; $\omega^{**} = 0.059$ рад/с

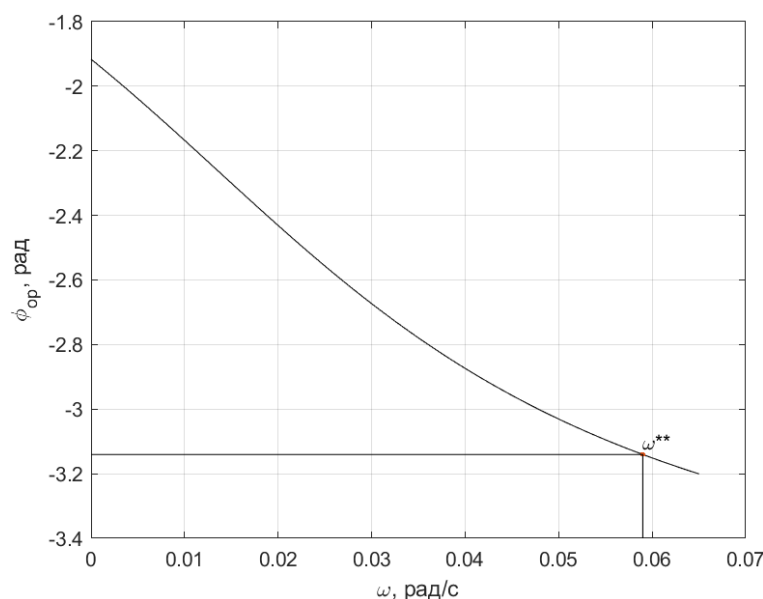


Рис. 7.3 Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання

Наступним кроком розраховую значення параметрів налаштування ПІ-регулятора за формулами (7.12) в діапазоні частот знайденими на попередньому етапі.

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{i3}} = -\frac{\omega(m^2+1) \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)} \\ k_p = \frac{-\cos \varphi_{op}(m, \omega) - m \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)} \end{cases} \quad (7.13)$$

За отриманими результатами будую границю області запасу стійкості системи з ПІ-регулятором (рис. 7.4.)

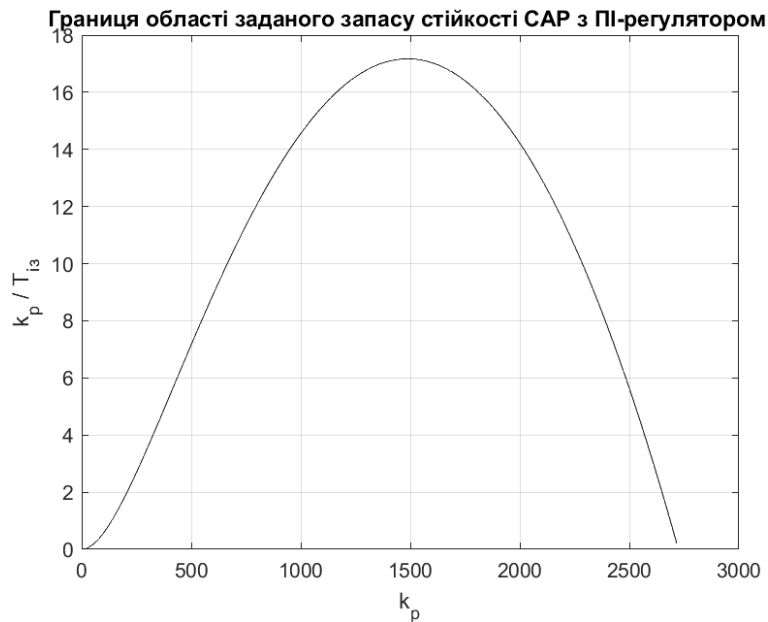


Рис. 7.4. Границя області запасу стійкості САР з ПІ-регулятором

Критерієм оптимальності параметрів налаштувань я обрав забезпечення мінімального значення другої інтегральної оцінки за збуренням, що знаходиться за формулою (7.13)

$$J_2 = \int_0^t [y(t) - y_{зад}(t)]^2 dt \quad (7.14)$$

де $y(t)$ - крива розгону замкнутої САР; $y_{зад}$ - задане значення регульованої величини.

Програма для розрахунку оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора:

```
clc; clear all; close all;
m = 0.36; Ti = 23.5; i = 1; k=0.0008;
w0 = 0; w_end = 0.059; MaxStep = 100;
```

```

Fi1 = - pi / 2 - atan(m);
for w1 = w0: 0.0001: w_end
    if w1 <= 1/(Ti*m)
        Fi2(i) = -atan(Ti*w1/(1-Ti*w1*m));
    else
        Fi2(i) = -pi/2-atan((Ti*w1*m-1)/(Ti*w1));
    end
    w(i) = w1; i = i + 1;
end
Fi_OP = Fi1 + Fi2;
A1 = 1 ./ (Ti * w * sqrt(m^2 + 1));
A2 = k./sqrt((1-Ti*w*m).^2+(Ti*w).^2);
A_OP = A1 .* A2;
kp_Tiz = -(w * (m^2 + 1) .* sin(Fi_OP)) ./ A_OP;
kp = (-cos(Fi_OP) - m .* sin(Fi_OP)) ./ A_OP;
t_dop = 0: 1000;
for j = 1: length(w)
    W_OP = tf(0.0008, [Ti^2 Ti 0]);
    W_AP = tf(kp(j), 1) + tf(kp_Tiz(j), [1 0]);
    W_Z1 = tf(0.000025, [1 0]);
    W_Z2 = tf(0.0002, [14 1]);
    W_Z3 = tf(1,1,'InputDelay',1);
    W_Z = (W_Z1 - W_Z2) * W_Z3;
    W_CAP = W_Z / (1 + W_OP * W_AP);

    y = step(W_CAP, t_dop) * MaxStep;
    y = y.^2;
    J2 = trapz(t_dop, y);
    z(j) = J2;
end
[J2min j] = min(z);
W = w(j);
if W <= 1/(Ti*m)
    Fi2 = -atan(Ti*W/(1-Ti*W*m));
else
    Fi2 = -pi/2-atan((Ti*W*m-1)/(Ti*W));
end
Fi_OP = Fi1 + Fi2;
A1 = 1 ./ (Ti * W * sqrt(m^2 + 1)); A2 = k./sqrt((1-
Ti*m*W).^2+Ti^2*W.^2);
A_OP = A1 .* A2;
kp_Tiz_opt = -(W * (m^2 + 1) .* sin(Fi_OP)) ./ A_OP,
kp_opt = (-cos(Fi_OP) - m .* sin(Fi_OP)) ./ A_OP,
figure(1);
plot(kp, kp_Tiz, 'k-', kp_opt, kp_Tiz_opt, 'k',
'linewidth', 1.5); grid;
xlabel('k_p'); ylabel('k_p / T_i_z');
title({'Границя області заданого запасу стійкості CAP'; 'з
ПІ-регулятором при оптимальних його налаштуваннях'});

```

```

figure(2);
plot(kp, z, 'k-', kp_opt, J2min, 'k*', 'linewidth', 1.5);
grid;
xlabel('k_p'); ylabel('J_2');
title({'Залежність інтегральної оцінки від'; 'коефіцієнта
передачі ПІ-регулятора'});
figure(3);
plot(kp, kp_Tiz, 'k-'); grid;
xlabel('k_p'); ylabel('k_p / T_i_з');
title({'Границя області заданого запасу стійкості САР з ПІ-
регулятором '});

```

За результатами виконання даної програми, оптимальні параметри налаштування регулятора такі

$$k_p=2030.7; \frac{k_p}{T_{i3}}=13.8504.$$

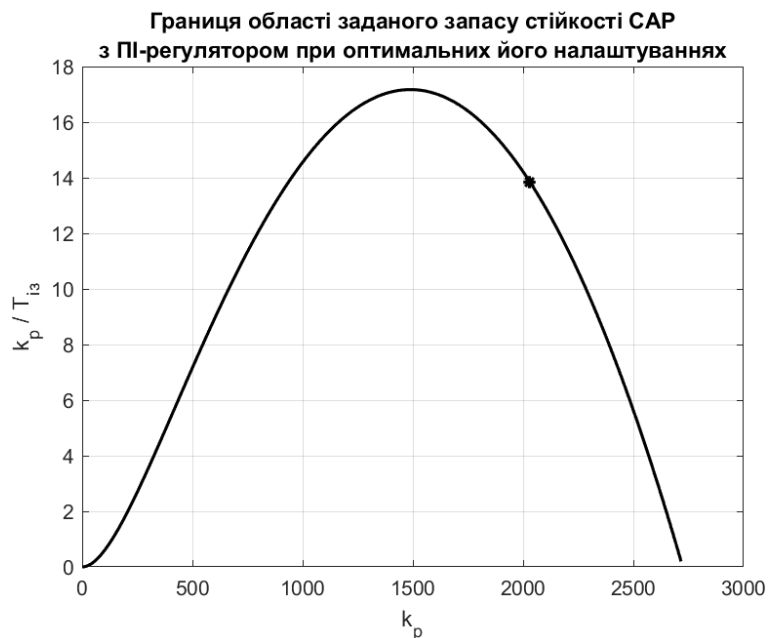


Рис 7.5 Границя області заданого запасу стійкості САР рівня з ПІ-регулятором з налаштуваннями, які забезпечують мінімальну другу інтегральну оцінку

Для інформативнішого представлення графіка залежності інтегральної оцінки від коефіцієнта передачі звужив межі дослідження.

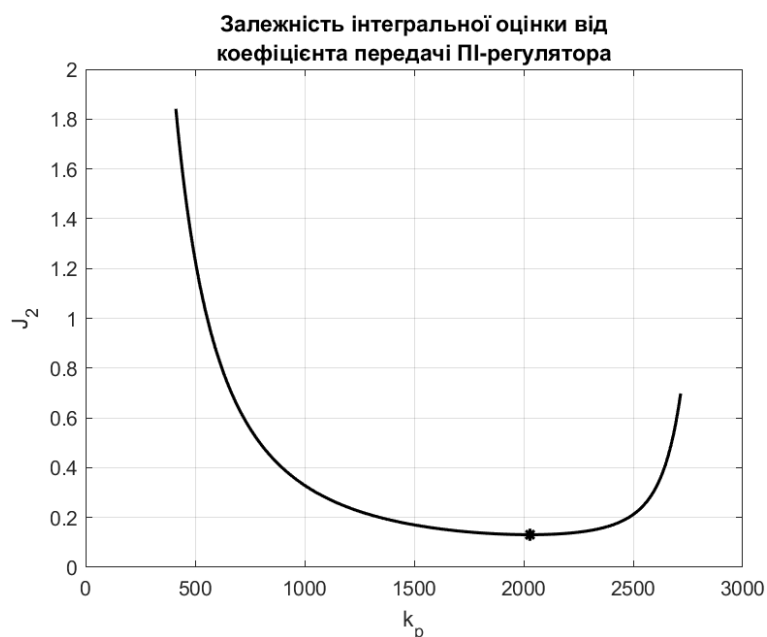


Рис. 7.6 Залежність другої інтегральної оцінки (J_2) від коефіцієнта передачі ПІ-регулятора

Отже, передавальна функція ПІ-регулятора матиме такий вигляд

$$W_{AP}(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{із}p} = 2030.7 + \frac{13.8504}{p}$$

7.3 Дослідження перехідних процесів САР рівня в першій вододистиляційній колоні

Для дослідження перехідних процесів в програмному середовищі Simulink змодельовано САР рівня в першій вододистиляційній колоні (рис. 7.7.)

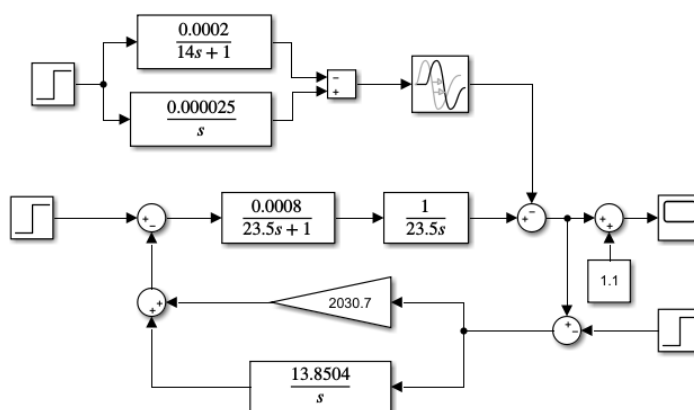


Рис. 7.7. Структурна схема САР регулювання рівня в першій вододистиляційній колоні з ПІ-регулятором з каналами регулювальної, збурюючої та керуючої дії.

При стрибкоподібній зміні положення РО на 30% отримано результати, які зображено на графіку (рис. 7.8.)

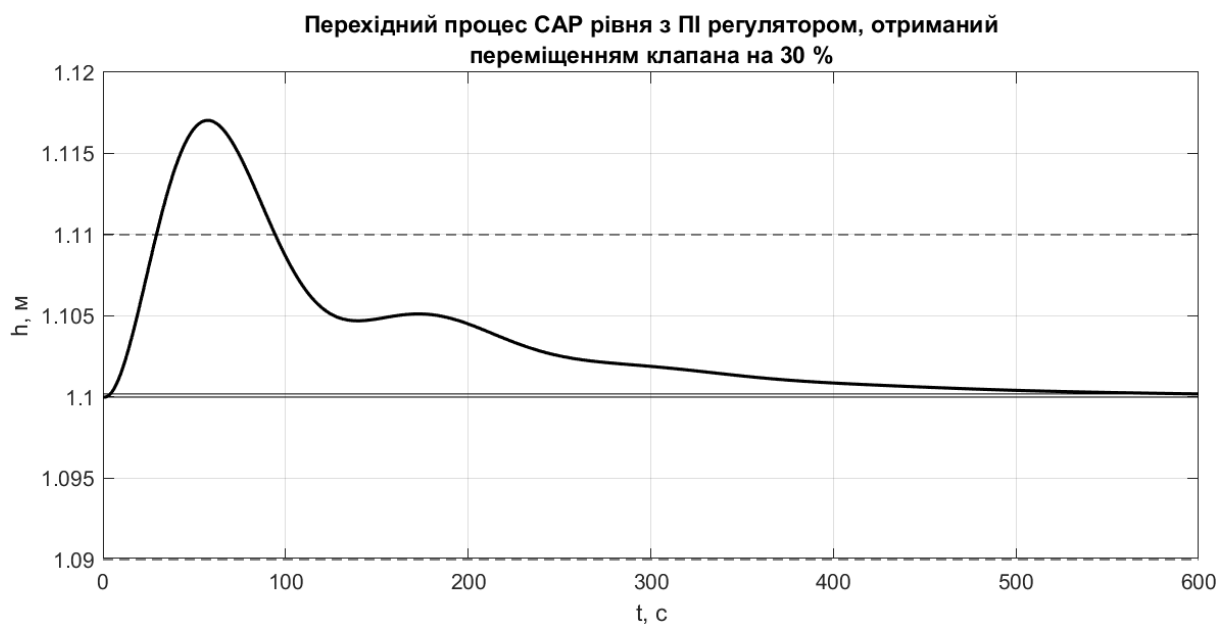


Рис 7.8. Перехідний процес в САР рівня в першій вододистиляційній колоні, отриманий переміщенням клапана на $x_{\max}=30\%$

При зміні витрати гріючої пари на 90 кг/год отримано результати, які зображено на графіку (рис. 7.9.)

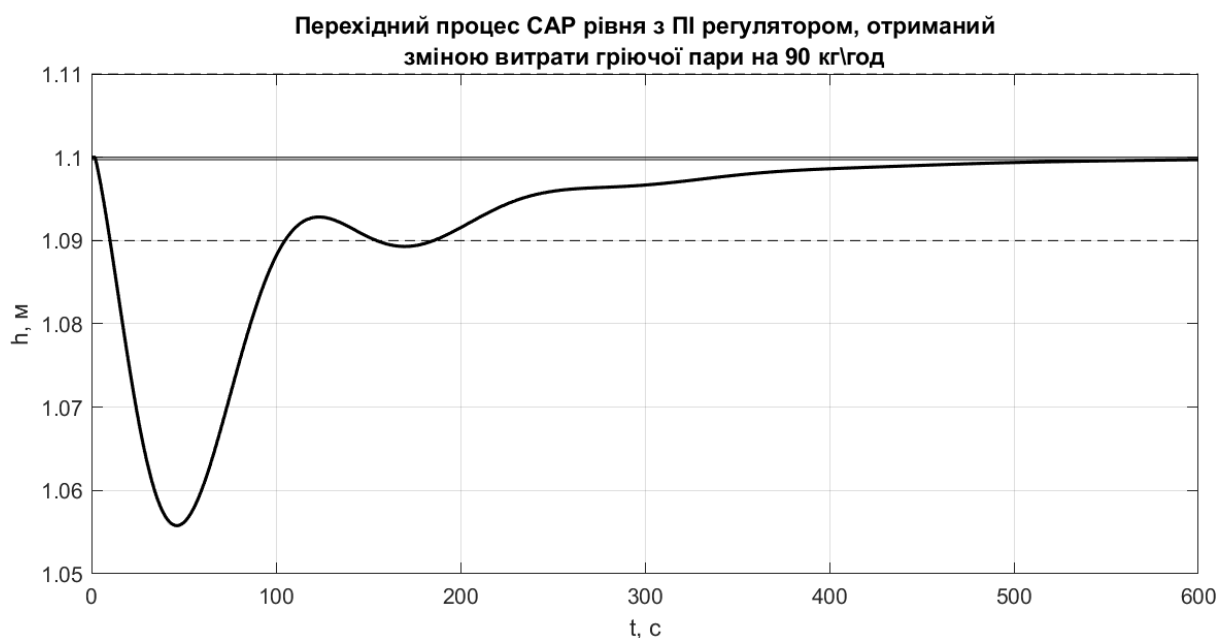


Рис 7.9. Перехідний процес в САР рівня в першій вододистиляційній колоні, отриманий зміною витрати гріючої пари на 90 кг/год

При зміні заданого значення рівня на 0.1 м отримано результати, які зображено на графіку (рис. 7.10.)

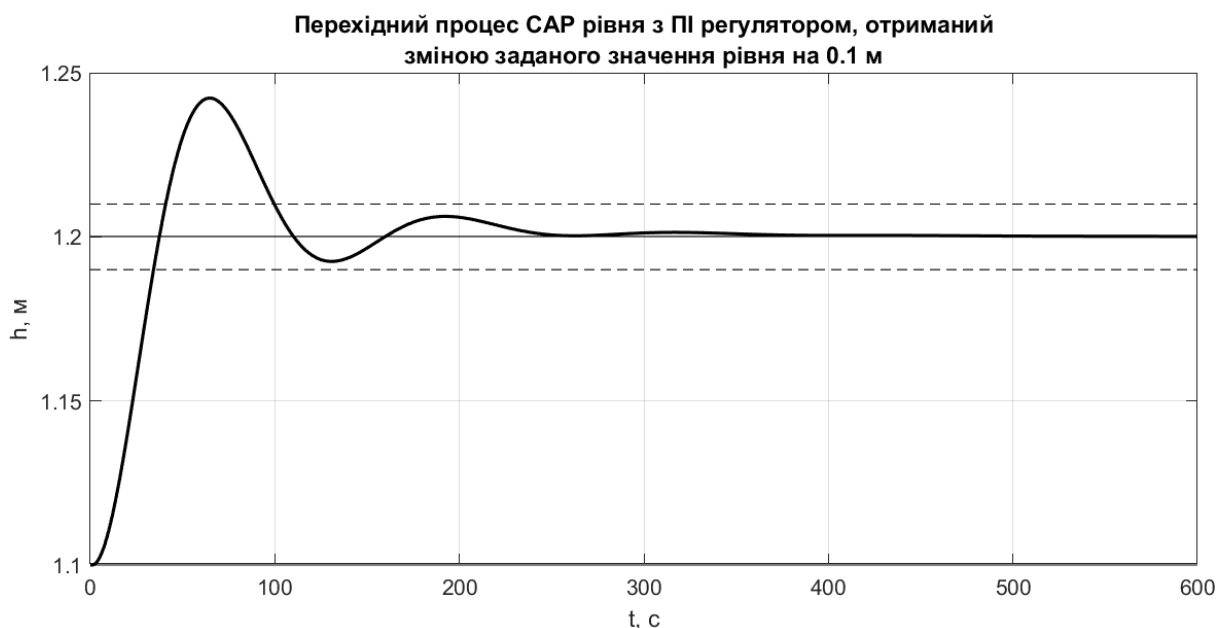


Рис 7.10. Перехідний процес в САР рівня в першій вододистиляційній колоні, отриманий зміною заданого значення рівня на 0.1 м

Для порівняльного аналізу отриманих показників якості із заданими, представлю результати у вигляді таблиці 7.2

Таблиця 7.2

**Показники якості процесу регулювання в САР рівня в першій
вододистиляційній колоні**

Показник якості	Переміщення клапана на 30%	Зміна витрати гріючої пари на 90 кг/год	Зміна заданого значення рівня на 0.1 м	Вимоги до якості регулювання
$A_{\text{max}}, \text{ м}$	0.0170	0.0437	0.0423	0.08
$\Delta, \text{ м}$	0	0	0	0.01
$t, \text{ с}$	94.3	190.2	99.7	210

Висновки: за результатами проведеного в даному розділу дослідження:

- отримано передавальну функцію для системи автоматичного регулювання рівня в першій вододистиляційній колоні каналом регулювальної дії:

$$W(p) = \frac{0.0008}{23.5p(23.5p+1)}$$

- розраховано оптимальні параметри налаштування автоматичного регулятора, що забезпечують мінімальне значення інтегральної оцінки;
- досліджено якість регулювання САР під дією збурюючої величини, при зміні регулюючої дії та заданого значення рівня. А саме: зміні витрати грюючої пари у теплообміннику першої вододистиляційної колони на 90 кг/год; при зміні положення клапана подачі води в першу вододистиляційної колону на 30%; зміні заданого значення рівня в колоні.

Отримані показники якості показали, що розрахована система автоматичного регулювання рівня у першій вододистиляційній колоні забезпечує вимоги до якості перехідного процесу й допускається до застосування в системі автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки.

РОЗДІЛ 8

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Вступна частина

Охорона праці є важливим фактором забезпечення благополуччя населення як в соціальному, так і економічному розрізі. Забезпечення дотримання вимог, що визначені нормативними документами галузі охорони праці позитивно впливає на фізичний та психоемоційний стан працівників, що в свою чергу підвищує продуктивність праці і прибутки відповідно. Незабезпечення даних вимог може призвести до травматизації або ж цілковитої втрати робочого персоналу, що негативно впливає як на суспільні настрої, так і на фінансові показники. Втрата працездатності спричиняє матеріальні труднощі сім'ям постраждалих, збільшує навантаження на галузь охорони здоров'я та соціального захисту. Для роботодавця такі випадки це не лише фінансові втрати на виплату компенсацій постраждалим, а й причина підвищення рівня недовіри до компанії з боку суспільства.

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розглядається багатоступенева вододистиляційна установка для отримання стерильної апірогенної води.

Основним обладнанням розглянутої технологічної установки є вододистиляційні колони та здвоєний теплообмінник призначений для конденсації залишкової пари та для охолодження перегрітого дистилляту. Складовими ж частинами є трубопроводи, датчики та регулюючі пристрої.

Установка призначена для експлуатації в технічних приміщеннях, захищених від потенційного впливу погодних умов та таких, що забезпечують доступ персоналу для проведення необхідних робіт.

Небезпечними факторами є висока температура окремих частин технологічного обладнання, а також високий тиск в трубопроводах та в елементах установки.

Вододистиляційна установка використовує для своєї роботи трубопроводи пари з тиском до 10 бар, а в першій дистиляційній колоні тиск вторинної пари може

сягати 5 бар, отже даний об'єкт відноситься до обладнання, що працює під тиском. [26]. Тому при проведенні робіт з модернізації, планово-попереджувальних роботах та звичайній експлуатації необхідно дотримуватись додаткових заходів безпеки. Для розглянутої установки, як для обладнання, що працює під тиском необхідно передбачити:

- встановлення запобіжних клапанів;
- перевірку контрольно-вимірювальних приладів, а саме манометрів, показників рівня та запобіжних клапанів не рідше одного разу на зміну;
- зовнішній і внутрішній огляд обладнання не рідше одного разу на 4 роки, а трубопроводів пари та гарячої води не рідше одного разу на 3 роки;
- гідростатичне випробування з тиском 1.25 від максимально допустимого тиску за експлуатаційних умов та витримкою часу 10 хв не рідше одного разу на 8 років для колон та теплообмінників;
- маркування обладнання з вказанням дозволеного тиску та температури, а також датою наступного огляду і гідростатичного випробування.

8.1 Технічне рішення щодо безпечної експлуатації засобів автоматизації

Багатоступенева вододистиляційна установка для отримання стерильної апірогенної води є повністю автоматизованим устаткуванням та не потребує постійної участі людини в процесі нормальної експлуатації. Постійним місцем перебування персоналу в такому випадку можуть слугувати приміщення щитових або кабіни керування.

За необхідності, постійне робоче місце персоналу може знаходитись в одному приміщенні з установкою за умови забезпечення необхідної гігієни праці та виробничої санітарії. Для цього потрібно забезпечити регламентовані значення таких основних показників як: мікроклімат; склад повітря; виробничі освітлення, шум, вібрації та випромінювання.

Для створення безпечних та комфортних умов експлуатації розглянутого технічного обладнання, необхідно розробити такі технічні рішення:

- використання приміщень щитових та кабін керування в якості місць постійного перебування персоналу;
- у випадку розміщення робочих місць поряд з технологічним обладнанням, необхідно забезпечити нормовані параметри мікроклімату;
- мінімізувати можливість контакту обслуговуючого персоналу з гарячими поверхнями обладнання та трубопроводів;

Шафа керування живиться від однофазної електричної мережі змінної напруги 220В, однак подальше живлення контрольно-вимірювальних приладів та інших систем автоматики відбувається постійною напругою 24В, яка є безпечною у випадку контакту з людиною. В зв'язку з цим необхідно вжити наступні заходи з електробезпеки:

- використання сертифікованої кабельної продукції яка забезпечує якісну ізоляцію провідників для підведення живлення в систему керування;
- маркування кіл живлення з напругою 220В;
- використання контурного захисного заземлення.

8.2 Виробнича санітарія та гігієна праці

8.2.1 Мікроклімат

Згідно з державними санітарними нормами, параметрами, що характеризують мікрокліматичні умови є наступні:

- температура повітря;
- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря;
- потужність теплового випромінювання.

За умови проведення робіт, що відповідають категорії середньої важкості Па необхідно забезпечити оптимальні та допустимі параметри мікроклімату, які наведено в таблиці 8.1 [27]

Параметри мікроклімату

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с	t, °C	W, %	V, м/с
Холодний	19-21	60-40	0.2	17-23	до 75	до 0.3
Теплий	23-25	60-40	0.3	18-27	до 65	0.4-0.2

Багатоступенева вододистиляційна установка в процесі своєї роботи виділяє велику кількість тепла, що негативно впливає на показники температури повітря у виробничому приміщенні. Для забезпечення оптимальних умов необхідно застосувати вентиляційну систему, розрахунок якої наведено нижче.

Для розрахунку необхідної кількості припливного повітря використовується наступна формула

$$L = \frac{Q_{\text{надл}}}{[c \cdot \rho (t_{\text{вн.}} - t_{\text{зовн.}})]} \quad (8.1)$$

де L – необхідна кількість припливного повітря для поглинання надлишкового тепла, м³/год; c – питома теплоємність повітря і рівна $c = 1$ кДж/(кг·град) = 0.239 ккал/(кг·град); ρ – густина зовнішнього повітря кг/м³; $t_{\text{вн.}}$ і $t_{\text{зовн.}}$ – температура внутрішнього та припливного повітря відповідно; $Q_{\text{надл}}$ – надлишкове тепло, що є різницею тепла яке надходить в приміщення ($Q_{\text{надх}}$) та втрачається з приміщення ($Q_{\text{відх}}$), ккал/год.

$$Q_{\text{надл}} = Q_{\text{надх}} - Q_{\text{відх}} \quad (8.2)$$

В свою чергу, $Q_{\text{надх}}$ визначається сумою тепла з різних джерел (8.3)

$$Q_{\text{надх}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (8.3)$$

- Q_1 – надходження тепла від техніки й визначається формулою (8.4)

$$Q_1 = 860 \cdot k \cdot N_1 \cdot n \quad (8.4)$$

де k – коефіцієнт втрат; N_1 – потужність техніки, кВт; n – кількість одиниць техніки.

- Q_2 - надходження тепла від світильників й визначається формулою (8.5)

$$Q_2 = 860 \cdot k \cdot N_2 \cdot n \quad (8.5)$$

де k – коефіцієнт втрат (0.4-0.6 для люмінесцентних ламп); n – кількість світильників; N_2 – споживання світильників, кВт. $N_2 = p_{\text{п}} \cdot S$, $p_{\text{п}}$ – питома потужність освітлення, Вт/м²; S – площа приміщення, м².

- Q_3 – надходження тепла від людей й визначається формулою (8.6)

$$Q_3 = 860 \cdot n \cdot q_{\text{люод}} \quad (8.6)$$

де n – кількість працюючих; $q_{\text{люод}}$ – надходження тепла від однієї людини, Вт.

- Q_4 – надходження тепла від сонячної радіації через вікна й визначається формулою (8.7)

$$Q_4 = m \cdot S \cdot k \cdot q_{\text{скл}} \quad (8.7)$$

де m – число вікон; S – площа одного вікна, м²; k – коефіцієнт матеріалу віконного переплетення (для подвійних вікон $k=0.9$); $q_{\text{скл}}$ – надходження тепла через 1 м² вікна в залежності від орієнтації вікон (для орієнтації вікон на захід $q_{\text{скл}} = 60$ ккал/(м³·год)).

В свою чергу, $Q_{\text{відх}}$ визначається формулою (8.8)

$$Q_{\text{відх}} = \lambda \cdot S \cdot (t_{\text{вн.}} - t_{\text{зовн.}}) / \delta \quad (8.8)$$

де λ – теплопровідність стін, ккал/(год·град·м²), (для будівель з силікатної цегли $\lambda = 0.75$); S – площа стін, м²; δ – товщина стін, м, (для будівель першої групи $\delta = 0.25$ м).

Використовуючи формулу (8.4) значення N_1 приймаю рівне 600 кВт (розрахунок потужності виконувався за витрати гріючої пари 1000 кг, температурою 140 °С). Значення коефіцієнта втрати k приймаю рівним 0.03, оскільки установка ефективно використовує теплову енергію за рахунок конструкції та додаткової теплоізоляції. Надходження тепла від техніки становитиме

$$Q_1 = 860 \cdot 0.03 \cdot 600 \cdot 1 = 15480 \text{ ккал/год}$$

При застосуванні формули (8.5) використаю такі вхідні дані: $k=0.4$ оскільки використовуються люмінесцентні світильники; $p_{\text{п}}=17.0$ Вт/м² для

приміщення площею $S=40 \text{ м}^2$, висотою підвісу світильника 4 м при нормованому освітленні 200 лк. [28]

$$Q_2 = 860 \cdot 0.4 \cdot 17.0 \cdot 40 \cdot 0.001 \cdot 2 = 468 \text{ ккал/год}$$

При застосуванні формули (8.6) використаю такі вхідні дані: $n=1$; $q_{\text{люд}} = 203 \text{ Вт}$ при виконанні робіт середньої важкості за температури $20 \text{ }^\circ\text{C}$. [28].

$$Q_3 = 860 \cdot 1 \cdot 203 \cdot 0.001 = 175 \text{ ккал/год}$$

При застосуванні формули (8.7) використаю такі вхідні дані: кількість вікон $m=2$ площею кожного $S = 4 \text{ м}^2$; $k=0.9$ оскільки встановлено подвійні вікна; $q_{\text{скл}} = 60 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$ при орієнтації вікон на захід.

$$Q_4 = 2 \cdot 4 \cdot 60 = 480 \text{ ккал/год}$$

При застосуванні формули (8.8) використаю такі вхідні дані: $\lambda = 0.75 \text{ ккал}/(\text{год} \cdot \text{град} \cdot \text{м}^2)$ оскільки матеріалами стін слугує силікатна цегла; $S = 96 \text{ м}^2$ за умови ширини приміщення 5 м, довжини 8 м та висоти 4 м; $t_{\text{вн.}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{зовн.}} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$Q_{\text{відх}} = 0.75 \cdot 96 \cdot (20-14) = 432 \text{ ккал/год}$$

Визначимо загальну кількість надлишкового тепла

$$Q_{\text{надл}} = 15480 + 175 + 480 - 432 = 15703 \text{ ккал/год}$$

Тепер розрахуємо необхідну кількість припливного повітря яке потрібно для поглинання такої кількості тепла

$$L = \frac{15703}{[0.239 \cdot 1.205(20-14)]} = 9087 \text{ м}^3/\text{год}$$

Для визначення необхідного перерізу повітропроводу скористаюся формулою (8.9). Розрахунок проведу за умови швидкості повітря в повітропроводі $v_p = 10 \text{ м/с}$.

$$f_p = \frac{L}{3600 \cdot v_p} = \frac{9087}{3600 \cdot 10} = 0.25 \text{ м}^2 \quad (8.9)$$

Обираю круглий повітропровід з діаметром 600 мм зі стандартного ряду [28].

Фактична швидкість повітря в обраному трубопроводі розраховується за формулою (8.10)

$$v_{\phi} = \frac{L}{3600 \cdot f_p} = \frac{9087}{3600 \cdot 0.3117} = 8.1 \text{ м/с} \quad (8.10)$$

Далі необхідно розрахувати втрати тиску на тертя (8.11) та місцевих опорах (8.12)

$$P_{\text{тр}} = R \cdot l \quad (8.11)$$

де R – питома втрата тиску на 1 метр довжини повітропроводу, Па/м; l – довжина ділянки

$$Z = \sum \xi \frac{v_{\phi}^2 \cdot \gamma}{2g} = (2 \cdot 0.15 + 2 \cdot 0.11 + 0.25) \cdot \frac{8.1^2 \cdot 1.205 \cdot 9.81}{2 \cdot 9.81} = 30.438 \text{ Па} \quad (8.12)$$

де ξ – коефіцієнт місцевих опорів, що визначається за довідковими даними (для засувки $\xi=0.15$, для повороту на 90° $\xi=0.11$, для засувки $\xi=0.25$); v_{ϕ} – фактична швидкість повітря в повітропроводі м/с; γ – густина повітря, Н/м³; g – прискорення вільного падіння м/с ($g=9.81$ м/с).

Для визначення втрати тиску на тертя, необхідно розрахувати значення питомої втрати тиску R (8.13)

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v_{\phi}^2 \cdot \gamma}{2g} = \frac{0.02}{0.6} \cdot \frac{8.1^2 \cdot 1.205 \cdot 9.81}{2 \cdot 9.81} = 1.318 \text{ Па/м} \quad (8.13)$$

де λ – коефіцієнт опору тертя ($\lambda=0.02$ для сталевих повітропроводів); d – діаметр повітропроводу, м.

Загальна втрата тиску визначається за формулою (8.14)

$$H = R \cdot l + Z = 1.318 \cdot 15 + 30.438 = 50.208 \text{ Па} \quad (8.14)$$

Отримавши всі необхідні дані, можна перейти до розрахунку необхідної потужності електродвигуна (8.15) та вибору відповідного обладнання

$$N_{\text{вент}} = \frac{L \cdot H \cdot K}{3600 \cdot 102 \eta} = \frac{9087 \cdot 50.208 \cdot 1.4}{3600 \cdot 102 \cdot 0.65} = 2.68 \text{ кВт}$$

де K – коефіцієнт запасу; η – коефіцієнт корисної дії

Зі стандартного ряду номінальних потужностей електродвигунів обираю двигун з потужністю 3 кВт. Згідно з переліком технічних характеристик вентиляторів ВЦ 4-75 [28], для забезпечення необхідної продуктивності вентиляційної установки потрібно використати електродвигун з номінальною

потужністю 3.0 кВт при використанні вентилятора з типорозміром ВЦ 4-75-8,0, або потужністю 4.0 кВт при використанні вентилятора з типорозміром ВЦ 4-75-6,3. Перевагою першої конфігурації є більша продуктивність (11.2 тис м³/год проти 9.4 тис м³/год) при меншому споживанні електроенергії та менший рівень шуму оскільки частота обертання робочого колеса складатиме 690 об/хв, проти 1425 об/хв для другої конфігурації. Недоліком є зменшення повного тиску такої установки до значення 440 Па, але це значення значно більше за втрату тиску в розрахованій установці яке рівне 50 Па.

Отже, для забезпечення відповідних умов, що стосуються мікроклімату виробничих приміщень необхідно застосувати такі технічні рішення:

1. Використання вентиляційної установки яка забезпечить необхідний об'єм припливного повітря для відведення надлишкового тепла;

2. Використання систем кондиціонування для забезпечення необхідної температури та вологості припливного повітря;

1. Встановлення теплоізоляційних екранів для зниження рівня теплового випромінювання.

8.2.2 Склад повітря робочої зони

В процесі роботи багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води не використовуються та не виділяються речовини, що можуть забруднювати повітря. Тому додаткових заходів щодо забезпечення складу повітря в робочій зоні вживати не потрібно.

8.2.3 Виробниче освітлення

Для штучного освітлення нормується значення освітленості E, одиниці вимірювання – люкси (лк). Для IVв розряду зорової роботи значення освітленості згідно з нормативним документом [29] повинно складати 200 лк у випадку створення постійного робочого місця поряд з обладнанням та 150 лк у випадку періодичного перебування людей у цьому приміщенні.

Для забезпечення вказаного значення E необхідно застосувати наступні технічні рішення:

1. Встановлення люмінесцентних ламп;
2. Встановлення додаткових розеток для використання портативних джерел освітлення у разі необхідності.

8.2.4 Виробничий шум

В розглянутій установці відсутні рухомі деталі, насоси чи інші механічні джерела шуму. Потенційними джерелами шуму можуть виступати гріюча технічна пара при переміщенні трубопроводами й теплообмінниками. Даний шум можна класифікувати як постійний широкополосний.

Для постійного шуму параметром, що нормується є рівень звукового тиску L який визначається формулою $L=20\lg P_i/P_0$, дБ, де P_i – середньоквадратичне значення звукового тиску за розглянутий період часу, Па; P_0 – вихідне значення звукового тиску, Па. [30]

Для розглянутих в роботі умов допустиме значення звукового тиску на постійному робочому місці складатиме 82 дБ в октавній смузі 250 Гц. Допустимий рівень шуму 80 дБА.

Очікуваний рівень шуму в приміщенні з багатоступеневою вододистиляційною установкою складатиме 70 дБА.

Для забезпечення допустимих рівнів шуму необхідно застосувати наступні технічні рішення:

1. Використання шумопоглинаючих матеріалів в конструкції приміщення;
2. Використання звукоізоляційних конструкцій для розмежування зони з обладнанням та працюючим персоналом.

8.2.5 Виробничі вібрації

В процесі роботи багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води відсутні виробничі вібрації. Тому додаткових заходів щодо забезпечення складу повітря в робочій зоні вживати не потрібно.

8.2.6 Виробничі випромінювання

В розглянутих у роботі умовах можливим видом випромінювання є теплове опромінення, джерелом якого є відкриті частини технологічного обладнання та трубопроводів.

Нормованим значенням є інтенсивність опромінення, що вимірюється у Вт/м². Допустимим значенням є 35 Вт/м² при опроміненні 50% чи більше поверхні тіла. [27]

Для забезпечення допустимого значення інтенсивності опромінення необхідно застосувати наступні технічні рішення:

1. Встановлення тепловідбивних екранів з листів металу покритих білою фарбою;
2. Використання теплоізоляційних рукавів для трубопроводі подачі пари до відведення продукту.

8.3 Пожежна безпека

Вихідні дані

Для забезпечення пожежної безпеки багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води необхідно проаналізувати потенційні загрози виникнення та підтримання пожежі.

У конструкції установки основним матеріалом є нержавіюча сталь з якої виконано корпуси вододистиляційних колон, внутрішні теплообмінники, зовнішні теплообмінники для охолодження ВДІ, а також всі трубопроводи. Даний матеріал не володіє горючими властивостями.

Робочою рідиною установки є очищена вода, а теплоносієм технічна пара, що також є негорючими матеріалами.

Потенційно небезпечними матеріалами можуть стати неякісні теплоізоляційні матеріали, кабельна продукція в рамках системи керування установкою, кабельна продукція та матеріали виконання самого приміщення.

На основі проаналізованих даних класифіковано приміщення за вибухо- та пожежонебезпекою на такі категорії та класи:

Категорія Д – пожежобезпечні [31]. Критерієм присвоєння даної категорії є відсутність горючих у холодному стані матеріалів чи речовин.

Клас П-Па – зони приміщень, в яких присутні тверді речовини, які здатні підтримувати горіння. Даний клас присвоєно розглянутому приміщенню в зв'язку з присутністю потенційно горючих матеріалів у конструкції приміщення.

8.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Завданням системи запобігання пожежі є створення умов, за яких ризик виникнення пожежі є мінімальним. Для забезпечення таких умов потрібно виключити наявність хоча б одного з наступних трьох чинників виникнення пожежі: наявність горючої речовини, окисника та джерела запалювання.

Технічними рішеннями системи запобігання пожежі є:

1. Використання негорючих матеріалів для теплоізоляції обладнання та трубопроводів;
2. Використання негорючих матеріалів в конструкції приміщення;
3. Використання кабельної продукції, що не підтримує горіння.

8.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Завданням системи протипожежного захисту є: обмеження розповсюдження пожежі; захист персоналу від небезпечних факторів, що виникають під час пожежі; захист матеріальних цінностей від знищення; створення сприятливих умов для ліквідації пожежі та її наслідків.

Технічними рішеннями системи протипожежного захисту є:

1. Встановлення систем виявлення пожеж та автоматичного визначення його осередків, наприклад встановлення датчиків диму, чадного газу та температури;
2. Встановлення систем автоматичного пожежогасіння з використанням порошкових зарядів;
3. Забезпечення шляхів евакуації для обслуговуючого персоналу.

Висновок: в даному розділі було досліджено основні аспекти забезпечення умов охорони праці при розробці та експлуатації багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної води. За

результатами аналізу можливих шкідливих та небезпечних чинників які можуть виникати в ході експлуатації обладнання було розроблено ряд технічних тішень для забезпечення належних умов праці, зокрема

1. Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату розраховано систему вентиляції з урахуванням виділення надлишкового тепла в процесі роботи обладнання;

2. Для забезпечення належного рівня освітленості виробничого приміщення передбачено встановлення люмінесцентних ламп та додаткових розеток для забезпечення можливості увімкнення додаткових джерел освітлення;

3. Для забезпечення мінімального рівня шуму передбачено встановлення шумоізолюючих конструкцій для розмежування зон встановлення виробничого обладнання та перебування персоналу; використання шумопоглинаючих матеріалів в конструкції обладнання.

4. Для зниження рівня теплового опромінення передбачено встановлення тепловідбивних екранів з листів металу покритих білою фарбою та ізоляція трубопроводів якими переміщується пара та готовий продукт.

5. Для забезпечення пожежної безпеки передбачено використання негорючих матеріалів в конструкція обладнання, зокрема системи керування та конструкції приміщення; встановлення систем виявлення та усунення пожеж.

РОЗДІЛ 9

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Впровадження системи автоматизованого управління багатоступеневою вододистиляційною установкою для отримання стерильної апірогенної води дозволяє не лише забезпечити належну якість готової продукції та безпечні умов праці для персоналу, а й підвищити показники економічної ефективності.

Досягається даний ефект шляхом:

- оптимізації процесу дистиляції в зв'язку з використання мікропроцесорних засобів, що дозволяє підтримувати значення технологічних параметрів на оптимальному рівні;
- зменшення кількості працюючого персоналу, що дозволить не лише зменшити витрати на заробітну плату, а й зменшити час простою обладнання внаслідок зменшення впливу людського фактору.

9.1 Розрахунок основних затрат на автоматизацію

Сума затрат на автоматизацію складається з: вартості контрольно-вимірювальних приладів; виконавчих механізмів; мікропроцесорних засобів; затрат на монтажні роботи; на налагоджувальні роботи; транспортних витрат.

Вартість всіх засобів КВПіА необхідних для реалізації проекту наведено у таблиці 9.1

Таблиця 9.1

Вартість засобів автоматизації

№	Назва приладу	Тип приладу	К-сть	Вартість одного приладу, грн	Загальна вартість, грн
1	2	3	4	5	6
1	Первинний вимірювальний перетворювач температури	IFM TA1605	2	11300	22600
2	Первинний вимірювальний перетворювач тиску	WIKA SA-11	1	2400	2400
3	Первинний вимірювальний перетворювач рівня	VEGA VEGAFLEX61	1	46700	46700

Продовження таблиці 9.1

1	2	3	4	5	6
4	Електропневматичний позиціонер	Siemens Sipart PS2 6DR5010 0NG00-0AA0	3	36000	108000
5	Первинний вимірвальний перетворювач електропровідності	IFM LDL101	1	41600	41600
6	Мембранний манометр з перемикаючими контактами	WIKA PGS43.100 821.1	2	15000	30000
7	Регулюючий клапан	RTK 6211	3	31000	93000
8	Пневматичний привід	RTK ST 6135.B6-6G	3	25000	75000
9	Електромагнітний клапан	Danfoss EV220B 032U1266	5	5900	29500
10	Катушка електромагнітного клапану	Danfoss BB024DS 018F6757	5	1600	8000
11	3-ходовий клапан з пневмоприводом	Festo VZBA-1"-GGG- 63-32L-F0405- V4V4T-PS30-R- 90-4-C	1	37000	37000
12	Пневморозподільник	Festo VUVS-LK20- M32C-AD-G18- 1C1	1	1500	1500
13	Витратомір для рідин	Krohne H250/F/M9/ESK	1	66300	66300
14	Сигнальна лампа	Schneider Electric XB7EV04BP	11	140	1540
15	Електромеханічне реле	Schneider Electric RXG22BDPV	1	700	700
16	Двопозиційний перемикач	Schneider Electric XB5AD33	3	470	1410

Продовження таблиці 9.1

1	2	3	4	5	6
17	Блок живлення	Siemens PS307 6ES7 307- 1KA02-0AA0	1	6600	6600
18	Модуль центрального процесору	Siemens CPU 312 6ES7 312- 1AE13-0AB0	1	20000	20000
19	Модуль дискретних вхідних та вихідних сигналів	Siemens SM 323 6ES7 323- 1BL00-0AA0	1	13000	13000
20	Модуль аналогових вхідних сигналів	Siemens SM331 6ES7 331- 7HF01-0AB0	1	21000	21000
21	модуль аналогових вихідних сигналів	Siemens SM332 6ES7 332- 5HD00-0AB0	1	20000	20000
Разом, грн:					645 850

Вартість монтажних робіт включає витрати на основну та додаткову заробітну плату, витрати на матеріали та інші ресурси які використано в процесі проведення робіт та може сягати 45% від вартості засобів автоматизації.

Отже вартість монтажних робіт становитиме $645850 \cdot 0.45 = 290263.5$ грн.

Розмір транспортних витрат становитиме 25% від вартості засобів автоматизації, тобто $645850 \cdot 0.25 = 161462.5$ грн.

Отже, загальна сума витрат необхідних для реалізації проекту з автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки становитиме $645850 + 290263.5 + 161462.5 = 1097576$ грн.

9.2 Розрахунок амортизаційних витрат

Розрахунок амортизаційних витрат відбувається на основі балансової вартості основних фондів (КВПіА) та норми амортизації, яка складає 40% від вартості засобів автоматизації.

Отже, річна сума амортизації складатиме $645850 \cdot 0.40 = 258\,340$ грн

9.3 Розрахунок чисельності основних робітників бригади

Розрахунок економії на заробітній платі здійснюється з урахуванням змін у чисельності як основного, так і допоміжного персоналу, а також їх середньорічного доходу.

Завдяки впровадженню автоматизованих технологій з'являється можливість оптимізувати кількість працівників, які безпосередньо беруть участь у виробничому процесі. При цьому необхідно враховувати специфіку технологічного процесу та характеристики обладнання для раціонального розподілу завдань між працівниками у зміні, а також визначення відповідних тарифних розрядів.

Явочна кількість працівників визначається на основі розстановочного плану та режиму змінності. Для переведення явочної чисельності у спискову необхідно розрахувати відповідний коефіцієнт переходу.

Зокрема, для працівників, які працюють у безперервному режимі, цей коефіцієнт обчислюється як відношення календарного фонду часу (T_k) до ефективного ($T_{еф}$):

$$K_n = T_k / T_{еф} = 365 / 233 = 1,5 \quad (9.1)$$

$$Ч_c = Ч_я \cdot K_n = 4 \cdot 1,5 = 6 \quad (9.2)$$

Щоб визначити ефективний фонд робочого часу, складається баланс для одного середньооблікового працівника, з урахуванням особливостей графіку роботи.

У разі зменшення кількості основного персоналу в результаті автоматизації, знижуються витрати на заробітну плату. Економія на охороні праці обчислюється як добуток кількості звільнених працівників на середньорічні витрати за кожною відповідною статтею.

9.4 Розрахунок фонду заробітної плати (основних робітників)

Розрахунок фонду заробітної плати проводиться відповідно до положень Закону України «Про оплату праці» та базується на тарифній системі оплати, враховуючи категорії працівників.

Структура заробітної плати характеризується такими складовими:

- фонд основної заробітної плати;
- фонд додаткової заробітної плати;
- Інші заохочувальні і компенсаційні виплати.

Річний фонд заробітної плати дорівнює сумі фонду основної ($\Phi ЗП_{осн}$) і фонду додаткової ($\Phi ЗП_{дод}$) заробітних плат.

Для погодинної системи оплати $\Phi ЗП_{осн}$ визначається за наступною формулою:

$$\Phi ЗП_{осн} = C_{сер} + T_{сер} \cdot n \quad (9.3)$$

де $C_{сер}$ – тарифна ставка (годинна або денна); $T_{сер}$ – ефективний час роботи

$$\Phi ЗП_{осн} = 60 \cdot 1864 \cdot 6 = 671\,040 \text{ грн}$$

До $\Phi ЗП_{дод}$ в свою чергу входять :

- доплати у вигляді премій ($D_{пр}$)

$$D_{пр} = \Phi ЗП_{осн} \cdot P_{пр} = 671\,040 \cdot 0.25 = 167\,760 \text{ грн} \quad (9.4)$$

- доплати у вечірній та нічний час

$$D_{в} = 671\,040/4 \cdot 0.2 = 33\,552 \text{ грн} \quad (9.5)$$

$$D_{н} = 671\,040/4 \cdot 0.4 = 67\,104 \text{ грн} \quad (9.6)$$

- доплати за роботу в святкові дні

$$D_{н} = 12 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 60 = 12\,960 \text{ грн} \quad (9.7)$$

$$\Phi ЗП_{дод} = 167760 + 33554 + 67104 + 12960 = 281\,378 \text{ грн}$$

Виплата за дні щорічної основної відпустки ($\Phi ЗП_{від}$) розраховується як добуток середньоденного заробітку на кількість календарних днів відпустки. Середньоденний заробіток визначається шляхом ділення суми основного фонду заробітної плати разом із відповідними доплатами на ефективний фонд робочого часу в днях.

$$\Phi ЗП_{від} = (671040 + 281378)/233 \cdot 24 = 98\,103 \text{ грн} \quad (9.8)$$

$$\Phi ЗП_{р} = \Phi ЗП_{осн} + \Phi ЗП_{дод} + \Phi ЗП_{від} = 671040 + 281378 + 98103 = 1050521 \text{ грн} \quad (9.9)$$

Середньомісячна зарплата дорівнює $= 1050521/(12 \cdot 6) = 14\,590,57 \text{ грн}$

Таблиця 9.2

Показники фонду робочого часу

№ п/п	Показники	Неперервне виробництво 8-годинний робочий день, чотирьох бригадний графік
1	Календарний фонд часу, днів	365
3	Вихідних та святкових днів	104
4	Номінальний фонд робочого часу, днів	261
5	Відсутність на роботі, днів:	
	чергова відпустка	24
	по хворобі	3
	виконання державних обов'язків;	1
6	Всього відсутність на роботі, днів	28
7	Ефективний час роботи, днів	233
8	Середня тривалість робочого дня, годин	8
9	Ефективний час роботи, годин	1864

Таблиця 9.3

Розрахунок явкової кількості основних робітників

№	Назва професії	Тарифний розряд	Розстановочний штат у зміну	Кількість змін	Явкової кількості осіб на добу
1	2	3	4	5	5
1	Оператор	VI	1	3	4
2	Оператор	V	1	3	4

У зв'язку з тим, що до впровадження автоматизації на одну зміну було задіяно 4 працівники, а після — достатньо лише одного оператора, виникає економія, пов'язана зі зменшенням чисельності обслуговуючого персоналу.

$$E_3 = Z_{\text{роб}} \cdot 12 \cdot n = 14590,57 \cdot 12 \cdot 3 = 525\,258,84 \text{ грн} \quad (9.10)$$

9.5 Розрахунок експлуатаційних витрат на автоматизацію

Експлуатаційні витрати на автоматизацію включають:

- Витрати енергоресурсів на живлення приладів і засобів автоматизації

Сумарна витрата спожитої електроенергії живленням засобів автоматизації становитиме 1210 кВт · год на рік.

Вартість спожитої електроенергії буде:

$$Z_1 = 1210 \cdot 9,366 = 11\,332,86 \text{ грн} \quad (9.11)$$

- Витрати на утримання робітника для обслуговування КВПіА:

$$Z_2 = Z_{\text{роб}} \cdot 12 \cdot 1 \cdot n = 14590,57 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 3 = 525\,258,84 \text{ грн} \quad (9.12)$$

- Витрати на амортизацію:

$$Z_3 = 258\,340 \text{ грн}$$

- Витрати на охорону праці нових робітників для обслуговування КВПіА:

$$Z_4 = 8000 \text{ грн/рік}$$

- Витрати на ремонт КВПіА:

$$Z_5 = 30000 \text{ грн/рік}$$

- Єдиний соціальний внесок та військовий збір:

$$Z_{\text{есв}} = (0.22 + 0.05) \cdot Z_2 = 30\,714,39 \text{ грн} \quad (9.13)$$

Загальна сума експлуатаційних витрати становитиме:

$$Z_e = 11332,86 + 525258,84 + 258340 + 8000 + 30000 + 30714,39 = 863\,646,09 \text{ грн/рік}$$

9.6 Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

Визначимо річний економічний ефект за формулою:

$$E_p = E_{\text{заг}} - K \cdot E = 525\,258,84 - 1097576 \cdot 0.15 = 360\,621,60 \text{ грн} \quad (9.14)$$

Термін окупності :

$$T_{\text{ок}} = K / E_{\text{заг}} = 1097576 / 525\,258,84 = 2.1 \text{ (роки)} \quad (9.15)$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = 1 / T_{\text{ок}} = 1 / 2.1 = 0.48 \quad (9.16)$$

У таблиці 9.4 подано основні техніко-економічні показники

Основні техніко-економічні показники

№	Показник	Одиниці вимірювання	Величина
1	2	3	4
1	Витрати на автоматизацію	грн.	1097576
2	Чисельність робітників в день (3 зміни)	чол.	3
3	Середньорічна заробітна плата на одного працівника	грн.	14590,57
4	Річний економічний ефект	грн.	360 621,60
5	Термін окупності	роки	2.1
6	Коефіцієнт економічної ефективності	-	0.48

Висновок: завдяки автоматизації багатоступеневої вододистиляційної установки для отримання стерильної апірогенної воли вдасться досягнути економічного ефекту завдяки зменшенню кількості обслуговуючого персоналу. При вартості впровадження автоматизованої системи керування 1097576 грн термін окупності становить 2.1 роки, а коефіцієнт економічної ефективності 0.48. Отже, проект з автоматизації даної установки є економічно доцільним.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено автоматизовану систему керування багатоступеневою вододистиляційною установкою для отримання стерильної апірогенної води.

Для побудови системи проведено аналіз літературних джерел та нормативної документації з тематики водопідготовки для фармацевтичного виробництва, особливостей процесу дистиляції, вимог до якості води для ін'єкцій, а також сучасних підходів до автоматизації.

На основі аналізу технологічного процесу розроблено матеріальні та теплові баланси, обґрунтовано технологічні параметри, визначено фактори, що впливають на ефективність дистиляції. Побудовано структурну схему взаємозв'язку між параметрами об'єкта керування, сформовано функціональну схему автоматизації.

Обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, включаючи первинні вимірювальні перетворювачі, виконавчі механізми та регулюючі органи. В якості мікропроцесорного програмного засобу автоматизації обрано контролер Simatic S7-300 виробництва Siemens, виконано його конфігурацію відповідно до потреб об'єкта.

Розроблено алгоритми керування технологічними контурами, програму функціонування системи, а також принципову електричну схему з'єднань елементів автоматизації.

Проведено моделювання контуру регулювання рівня в першій вододистиляційній колоні з визначенням передавальної функції каналом регулюючої дії та знайдено оптимальні параметри ПІ-регулятора. Проведено дослідження знайденої моделі на забезпечення показників якості процесу регулювання з допомогою програмного середовища Simulink.

Опрацьовано питання охорони праці та пожежної безпеки під час впровадження і експлуатації системи керування. Обґрунтовано економічну доцільність впровадження системи автоматизації, яка дозволяє зменшити витрати та підвищити якість готової продукції, забезпечуючи відповідність фармацевтичним стандартам.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. High Purity Media Systems for Generation, Storage and Distribution URL: https://www.syntegon.com/hubfs/05_website/Content/1-Solutions/1-Pharma/1-Technology-pages/01-Membrane-based-pure-media-systems/Pharmatec_Brochure_HighPurityMedia_EN.pdf
2. Конспект лекцій з дисципліни «Асептика біотехнологічних виробництв» освітньо- професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» усіх форм навчання / Укл.: Головей О.П. , Гуляєв В.М. – Кам'янське, ДДТУ, 2017 р., 140 с.
3. СТ-Н МОЗУ 42-3.7:2024 «ЛІКАРСЬКІ ЗАСОБИ НАСТАНОВА ЩОДО ЯКОСТІ ВОДИ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ У ФАРМАЦІЇ»
4. *Ph. Eur. «Water for Injections»*. Монографія Європейської фармакопеї «Вода для ін'єкцій» (0169)
URL: <http://www.uspbper.com/ep60/water%20for%20injections%200169e.pdf>
5. Best Technology Of WFI Generation And Distribution Plant » Flair Pharma The Knowledge Kit. *Flairpharma*. URL: <https://flairpharma.com/wfi-generation-and-distribution-plant/>
6. WFI generation & distribution system -chemion engineering - 08048035055, Pune. *CHEMION ENGINEERING - 08048035055 in Pune*.
URL: <https://www.chemionengg.com/products/wfi-generation-distribution-system/10>
7. Термометр опору типу TA1605 компанії IFM. Електронний ресурс.
URL: <https://www.ifm.com/restservices/de/en/assets/c3VwcGxpZXJzL2lmbS9kb2N1bWVudHMvcHJvZHVjdC9UQTE2MDUtMDAvcGFldHRlci9UQTE2MDUtMDBfRU4tR0IucGRm?v=50>
8. Давач тиску SA-11 компанії WIKA. Електронний ресурс.
URL: https://www.wika.ua/upload/DS_PE8180_uk_ua_114202.pdf
9. Ємнісний рівнемір з тросовим зондом VEGAFLEX 61 Електронний ресурс.
URL: <https://able.co.uk/media/2013/12/vegaflex-61-iom.pdf>
10. Електропневматичний позиціонер Sipart PS2 6DR5010-0NG00-0AA0 Електронний ресурс. URL: <https://docs.rs-online.com/fb52/0900766b8145c803.pdf>

11. Кондуктивний давач електропровідності IFM LDL101. Електронний ресурс. .

URL:<https://www.ifm.com/restservices/de/en/assets/c3VwcGxpZXJzL2lmbS9kb2N1bWVudHMvcHJvZHVjdC9MREwxMDEtMDAvZGF0ZW5ibGFldHRlci9MREwxMDEtMDBfRU4tR0IucGRm?v=122>

12. Мембранний манометр з перемикаючими контактами WIKA PGS43.100 821.1. Електронний ресурс.

URL: https://www.wika.be/upload/DS_PV2403_en_co_14972.pdf

13. Пневматичний привід RTK ST 6135.B6-6G. Електронний ресурс.

URL:https://florijnshippares.com/server/multimediaserve/1076/6100_7010?hash=57ffe8a0bb737923fe2a85425e56c8e6431aabf535e076fe9f262bcbc4f71b90

14. Регулюючий орган RTK PV 6211. Електронний ресурс.

URL:https://florijnshippares.com/server/multimediaserve/2265/mv5200_pv6200?hash=8bfd8eb1fa2eb73bd03c1fe43b6e3d605629ba5fc8aac7cb9c06c91f884c69b8

15. Котушка для електромагнітного клапана Danfoss BB024DS 018F6757.

Електронний ресурс.

URL:https://www.reld.com.ar/Archivos_productos/603860026.pdf

16. Електромагнітний клапан Danfoss EV220B 032U1266. Електронний ресурс.

URL: <https://www.cse-distributors.co.uk/sites/admin/plugins/elfinder/files/cse/NewFolder/danfoss-ev220b-6-22.pdf>

17. Пневморозподільник Festo VUVS-LK20-M32C-AD-G18-1C1

Електронний ресурс. . URL: <https://www.festo.com/ua/uk/a/download-document/datasheet/8043213>

18. 3-ходовий клапан VZBA-1"-GGG-63-32L-F0405-V4V4T-PS30-R-90-4-C з пневмоприводом. Електронний ресурс.

URL: <https://www.festo.com/ua/uk/a/download-document/datasheet/1915547>

19. Витратомір Krohne H250/F/M9/ESK Електронний ресурс. URL: <https://www.instrumart.com/assets/Krohne->

H250_manual.pdf?srsItd=AfmBOoqYqKycX78fZ9Y6FGeGh9-GzoV9P1jUEwWu3hRL9yVc6T89Q4PA

20. Сигнальна лампа Schneider Electric XB7EV04BP. Електронний ресурс.

URL: https://www.se.com/ua/uk/product/download-pdf/XB7EV04BP?filename=Schneider+Electric_Harmony-XB7_XB7EV04BP.pdf

21. Електромеханічне реле Schneider Electric RXG22BDPV. Електронний ресурс. URL: https://www.se.com/ua/uk/product/download-pdf/RXG22BDPV?filename=Schneider+Electric_Harmony-Relay-%25D0%25B4%25D0%25BB%25D1%258F-%25D0%25BB%25D0%25B0%25D0%25BD%25D1%2586%25D1%258E%25D0%25B3%25D1%2596%25D0%25B2-%25D1%2583%25D0%25BF%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25B2%25D0%25BB%25D1%2596%25D0%25BD%25D0%25BD%25D1%258F_RXG22BDPV.pdf

URL: https://www.se.com/ua/uk/product/download-pdf/RXG22BDPV?filename=Schneider+Electric_Harmony-Relay-%25D0%25B4%25D0%25BB%25D1%258F-%25D0%25BB%25D0%25B0%25D0%25BD%25D1%2586%25D1%258E%25D0%25B3%25D1%2596%25D0%25B2-%25D1%2583%25D0%25BF%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25B2%25D0%25BB%25D1%2596%25D0%25BD%25D0%25BD%25D1%258F_RXG22BDPV.pdf

URL: https://www.se.com/ua/uk/product/download-pdf/RXG22BDPV?filename=Schneider+Electric_Harmony-Relay-%25D0%25B4%25D0%25BB%25D1%258F-%25D0%25BB%25D0%25B0%25D0%25BD%25D1%2586%25D1%258E%25D0%25B3%25D1%2596%25D0%25B2-%25D1%2583%25D0%25BF%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25B2%25D0%25BB%25D1%2596%25D0%25BD%25D0%25BD%25D1%258F_RXG22BDPV.pdf

URL: https://www.se.com/ua/uk/product/download-pdf/RXG22BDPV?filename=Schneider+Electric_Harmony-Relay-%25D0%25B4%25D0%25BB%25D1%258F-%25D0%25BB%25D0%25B0%25D0%25BD%25D1%2586%25D1%258E%25D0%25B3%25D1%2596%25D0%25B2-%25D1%2583%25D0%25BF%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25B2%25D0%25BB%25D1%2596%25D0%25BD%25D0%25BD%25D1%258F_RXG22BDPV.pdf

22. Central processing units - SiePortal - Siemens Ukraine. *Welcome - Industry Mall - Siemens WW.*

URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ua/Catalog/Products/5000039>

23. S7-300 Automation System, Hardware and Installation: CPU 312IFM - 318-2 DP
URL: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/415/15390415/att_41918/v1/S7-](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/415/15390415/att_41918/v1/S7-300_IHB_e.pdf)

[300_IHB_e.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/415/15390415/att_41918/v1/S7-300_IHB_e.pdf)

24. Інформаційні матеріали лекційного заняття №2 з дисципліни: «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації». Електронний навчально-методичний комплекс віртуального навчального середовища НУ «Львівська політехніка». URL: <https://vns.lpnu.ua/course/view.php?id=8364#section-4>;

25. Методичні вказівки для самостійної роботи та виконання курсової роботи з дисципліни “Теорія автоматичного керування” для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології / уклад. Г.Б. Крих, Ф.Д. Матіко. Львів : Національний університет “Львівська Політехніка”, 2024. 31 с.;

26. НПАОП 0.00-1.81-18 Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском;

27. ДСН 3.3.6.042-99. «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»;
28. Розрахунок систем вентиляції. Методичні вказівки до виконання практичної роботи для студентів інженерно-технічних спеціальностей. Укладачі: С.С.Левуш, В.П.Скачко – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка“, 2011. – 21 с.
29. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» К., Мінрегіон України, 2018.
30. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»
31. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» К., Мінрегіон України, 2016.