

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**на тему: “ Автоматизація системи миття пастеризаторів молока
реалізована контролером Unitronics Vision V570 ”**

Виконав: студент гр. Акт-41

Спеціальності 151 – „Автоматизація та
комп’ютерно-інтегровані технології”
(шифр і назва)

Залєсов Олександр Олександрович

(Прізвище та ініціали)

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

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

ЛЬВІВ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ ____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Залесов Олександр Олександрович

1. Тема роботи: «Автоматизація системи миття пастеризаторів молока
реалізована контролером Unitronics Vision V570»

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

Затверджені наказом по університету від 25 лютого 2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 16.06.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта процесу миття пастеризаторів
молока; 2. Функціональні ознаки технологічного процесу миття пастеризаторів
молока; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу миття ємностей готової стерильної
молочної продукції як об’єкта керування

2. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації

3. Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання
технологічного процесу

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проекрованої системи
автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу: Тема, автор, керівник роботи. Технологічна схема процесу миття стерильних ємностей. Технологічна карта процесу миття стерильних ємностей Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу миття ємностей. Конфігурація аналогових входів контролера. Конфігурація дискретних виходів контролера. Програма для контуру миття ємності кислотою. Програма для регулювання рівня кислоти ємності. Програма для регулювання концентрації розчину кислоти. Масштабування вхідного сигналу контуру регулювання температури. Конфігурація ПІД-регулятора та пауза на І-складову.

6. Консультанти з розділів:

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

7. Дата видачі завдання 8 вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При мітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	08.09.24-25.12.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	26.12.24-01.02.25	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	02.02.25-11.04.25	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці</i>	12.04.25-21.04.25	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	22.04.25-21.05.25	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	22.05.25-01.06.25	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	02.06.25-16.06.25	

Студент _____ Залесов О.О.
(підпис)

Керівник роботи _____ Лиса О.В.
(підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація системи миття пастеризаторів молока реалізована контролером Unitronics Vision V570. Залєсов О. О. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Львів, ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького, 2025.

64 с. текст. част., 40 рис., 10 табл., 23 літ. джерел.

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

В даній бакалаврській роботі розроблено систему автоматизації миття ємностей готової стерильної молочної продукції.

У першому розділі наведений опис технологічного процесу роботи системи миття за допомогою спеціальної машини типу AlCIP-10. Розроблено оптимальну систему автоматизації процесу миття ємностей (танків) для обробки стерильної продукції.

У другому розділі для автоматизації даної системи застосовано мікропроцесорний контролер VisionV570 фірми Unitronics. Розроблена програма реалізації контролера в системі миття ємностей та принципова електрична схема зовнішніх під'єднань контролера із вибраними технічними засобами автоматизації.

У третьому розділі проведено розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури миючих розчинів після теплообмінника. Наведено опис контурів регулювання технологічних параметрів та специфікацію на технічні засоби автоматизації.

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

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

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

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

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено систему автоматизації миття ємностей готової стерильної молочної продукції. Наведений опис технологічного процесу роботи системи миття за допомогою спеціальної машини типу AlCIP-10. Розроблено оптимальну систему автоматизації процесу миття ємностей (танків) для обробки стерильної продукції. Для автоматизації даної системи застосовано мікропроцесорний контролер VisionV570 фірми Unitronics. Для даного мікропроцесора розроблена програма реалізації контролера в системі миття ємностей та принципова електрична схема зовнішніх під'єднань контролера із вибраними технічними засобами автоматизації. Проведено розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури миючих розчинів після теплообмінника. Наведено опис контурів регулювання технологічних параметрів та специфікацію на технічні засоби автоматизації.

THE SUMMARY

In the bachelor's qualification work, an automation system for washing containers of finished sterile dairy products has been developed. A description of the technological process of the washing system using a special machine of the AlCIP-10 type has been given. An optimal system for automating the process of washing containers (tanks) for processing sterile products has been developed. The VisionV570 microprocessor controller from Unitronics has been used to automate this system. For this microprocessor, a program for implementing a controller in a tank washing system and a schematic electrical diagram of the controller's external connections with selected technical means of automation have been developed. A system for automatic temperature control of washing solutions after the heat exchanger has been analyzed and simulated. A description of the control circuits for technological parameters and a specification for technical means of automation have been given.

Зміст

Вступ.....	7
1. Аналіз технологічного процесу миття ємностей готової стерильної молочної продукції як об'єкта керування	9
1.1. Опис технологічного процесу миття ємностей готової стерильної молочної продукції	9
1.2. Теоретичні основи технологічного процесу миття ємностей стерильної молочної продукції в окремих технологічних апаратах і машинах	12
1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта	13
1.4. Аналіз технологічного процесу як об'єкту керування	15
1.5. Вибір та обґрунтування оптимальної для заданих умов структури системи автоматизації технологічного процесу	17
2. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації.....	20
2.1 Обґрунтування обраних засобів автоматизації та їх технічні характеристики	20
2.2. Вибір мікропроцесорного засобу автоматизації	21
2.3. Розробка конфігурації входів і виходів контролера	22
3. Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання технологічного процесу	36
3.1. Вхідні дані, необхідні для розрахунку контуру регулювання	36
3.2. Розрахунок параметрів налаштування регулятора.....	42
3.3. Опис функціональної схеми автоматизації.....	51
3.4. Специфікація на засоби автоматизації.....	56
4. Охорона праці	58
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці.....	58
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці...59	
4.3. Пожежна безпека.....	61
5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації.....	64
Висновок.....	69
Список використаних джерел.....	71

Вступ

Правильне та регулярне обслуговування технологічного обладнання, зокрема його санітарна обробка, миття й дезінфекція, відіграють ключову роль у забезпеченні високої якості молочної продукції. Своєчасне очищення поверхонь дозволяє ефективно усунути залишки продуктів, попередити розвиток небажаної мікрофлори, зменшити ризики мікробіологічного забруднення та забезпечити санітарно-гігієнічні вимоги згідно з ДСТУ 4161:2020 «Молочна промисловість. Гігієна виробництва та вимоги безпеки», [НАССР], а також чинною нормативно-технічною документацією (НТД) підприємства.

Конструктивні особливості технологічного обладнання, зокрема закритих ємностей (танків), трубопроводів, теплообмінників тощо, не дозволяють здійснювати ефективне миття вручну або звичайними методами. Саме тому для внутрішньої санітарної обробки таких об'єктів застосовують системи безрозбірного миття – СІР-мийки (від англ. *Cleaning in Place* – «очищення на місці»). Ця технологія забезпечує циркуляційне промивання внутрішніх поверхонь обладнання мийними та дезінфікуючими розчинами без потреби розбирання установок. Це дозволяє зменшити витрати часу, знизити ризики зараження продукції, а також гарантує сталість санітарно-гігієнічних режимів обробки.

Для реалізації ефективного СІР-процесу застосовують лужні, кислотні та комбіновані мийні засоби. Найбільш поширені з них: Карбонат натрію (кальцинована сода) — застосовується як лужний мийний засіб; Силікат натрію (рідке скло) — стабілізує розчини лугів; Фосфат натрію (тринатрій фосфат) — активатор мийної дії; Гідроксид натрію (каустична сода) — сильнодіючий луг; Азотна кислота — використовується для видалення мінеральних відкладень; Розчини хлорного вапна — застосовуються для дезінфекції в концентраціях 100–400 мг/л активного хлору. Також застосовуються дозволені синтетичні

мийні засоби, затверджені органами Міністерства охорони здоров'я України та зазначені в [Переліку дозволених дезінфекційних засобів МОЗ України].

Мийні суміші можуть бути готовими або виготовлятися безпосередньо на підприємстві шляхом змішування компонентів. Всі розчини готують у спеціальному хімічно стійкому або емальованому посуді, суворо дотримуючись вимог охорони праці та техніки безпеки, відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском».

Під час приготування розчинів особлива увага приділяється правильному дозуванню, температурному режиму, часу експозиції та концентрації згідно з інструкцією з миття та дезінфекції обладнання, яка повинна бути затверджена головним технологом або керівником виробництва.

Для ополіскування обладнання після завершення миття використовується водопровідна вода, яка повинна відповідати вимогам [ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролю»]. Контроль залишкової кількості мийних засобів проводиться за допомогою тестів на луг, кислоту або хлор, залежно від складу розчину.

Миття пластинчастих та трубчастих пастеризаторів, як і СІР-мийка танків та трубопроводів, вважається завершеним лише після повного видалення залишків кислот, лугів та нейтралізації залишкової хімії.

Контроль якості та режиму миття здійснюється згідно з чинною інструкцією із санітарної обробки обладнання, яка розробляється підприємством у відповідності до санітарних правил і норм.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення автоматизованої системи СІР-миття ємностей, призначених для зберігання стерильної готової молочної продукції.

Об'єктом дослідження є процес санітарної обробки внутрішніх поверхонь технологічних ємностей для молочних продуктів, що передбачає контрольоване миття, дезінфекцію та ополіскування з дотриманням вимог харчової безпеки та гігієни.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МИТТЯ ЄМНОСТЕЙ ГОТОВОЇ СТЕРИЛЬНОЇ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Опис технологічного процесу миття ємностей готової стерильної молочної продукції

На рисунку 1.1 зображена технологічна схема процесу миття танку стерильної молочної продукції.

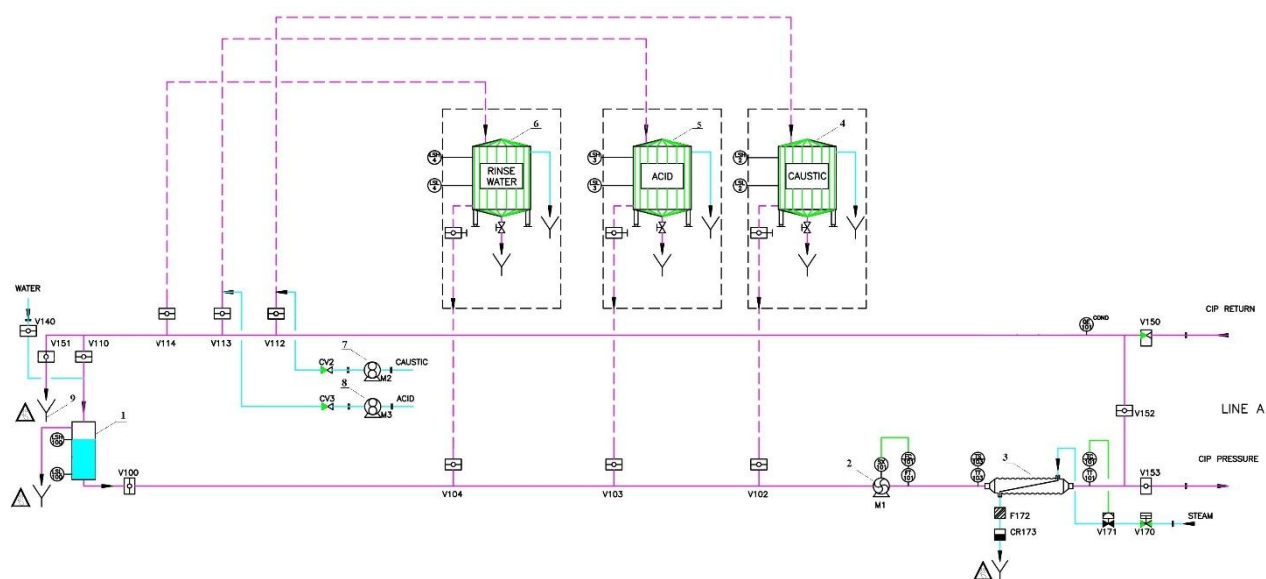


Рис.1.1. Технологічна схема процесу миття стерильних ємностей:

1- балансний бачок; 2 – нагнітаючий насос; 3 – трубчастий теплообмінник; 4 – ємність підготовки розчину лугу; 5– ємність підготовки розчину кислоти; 6 – ємність використаної води; 7 - дренаж

Дана машина працює за покроковим принципом, що забезпечує поетапне виконання всіх операцій. Першим етапом у процесі миття є підготовка миючих розчинів із точно визначеними концентраціями. Зокрема, кислотний розчин повинен мати концентрацію кислоти 1,3%, а лужний розчин — концентрацію лугу 1,75%. Підготовка цих розчинів здійснюється безпосередньо в контурі CIP-системи, що забезпечує автоматизоване дозування, змішування та циркуляцію реагентів для досягнення необхідних параметрів очищення.

В початковий момент перевіряється рівень рідини в ємностях миючих розчинів (4, 5, 6). Якщо він не є достатній для початку процесу, то ємності треба наповнити. Наповнення відбувається очищеною водою з станції підготовки води. Для цього потрібно відкрити нормально закриті клапани V140(4-9), V100(4-1), V152(4-11) та клапан, що розташований на вхідній трубі вибраної для наповнення ємності V112(4-5), V113(4-6), V114(4-7) для ополіскуючої води, кислоти та лугу відповідно. По спрацюванню реле верхнього рівня в ємності можна починати підготовку розчинів.

Крок 1: приготування розчину кислоти

Для початку приготування на контролер має поступити сигнал готовності контуру. Контур для приготування кислоти складається так: закриваються нормально відкриті клапани V153(4-13) та V151(4-12); відкриваються нормально закриті клапани V152(4-11), V113(4-6) та V103(4-3). За допомогою насоса (2) через байпас розчин з ємності кислоти починає циркулювати в утвореному контурі. В трубопроводі цього контуру встановлений давач електричної провідності, за яким визначають концентрацію циркулюючого розчину. Якщо вона не є достатньою, то дозувальному насосу 8(3-3) дається сигнал на вприскування в контур певної дози концентрату кислоти, яка змішується в ємності з рештою розчину. При досягненні необхідної концентрації кислоти в розчині закривається клапан V103(4-3), а миючий розчин, через V140(4-9) та V100(4-1), витісняється з трубопроводу водою в ємність (5). Залишки розчину з недостатньою концентрацією витісняються через V151(4-12) в дренаж. По завершенню приготування розчину відбувається ополіскування системи водою до повного видалення залишків розчину.

Крок 2: приготування розчину лугу

Відбувається аналогічно до приготування розчину кислоти, але включається в роботу насос 7, а не 8, і замість клапанів V113 і V103 спрацьовують відповідно V112 та V102.

Крок 3: ополіскування об'єкта миття

З ємності води (6) через клапан V104 в мережу СІР подається вода для ополіскування, яка при проходженні через теплообмінник має нагрітися до температури 300 С. Зазвичай вода з ємності(6) має температуру близько 20 °С, тому вона циркулюватиме в контурі до нагрівання, після чого закривається клапан V152 , а V153 відкривається і пропускає воду на об'єкт миття. Використана вода повертається з об'єкта через V150 і через V114 витісняється в ємність (6) , після чого відправляється на станцію очистки і після очистки знову подається в заводську водяну мережу.

Крок 4: миття об'єкту кислотою

Після ополіскування об'єкт готовий до промивання розчином кислоти. Для цього відкривається клапан V103 і V113, розчин кислоти циркулює в контурі СІР до нагріву його до температури миття (60°С), після чого розчин через V153 подається на об'єкт і циркулює між ним і контуром миття протягом заданого періоду часу. Після завершення циклу промивання закривається клапан V103 і відбувається витіснення кислоти водою в ємність (5). Витіснення відбувається до тих пір, поки концентрація витісненого розчину відповідає нормі. Якщо давач провідності показує зниження концентрації розчину нижче норми, то клапан V113 закривається, відкривається V151 і рештки розчину змиваються в дренаж до повного видалення часток розчину.

Крок 5: миття об'єкта лугом

Після кроку 4 Об'єкт готовий до промивання розчином лугу, який через V112 та V102 циркулюватиме в контурі СІР до нагрівання до температури миття. Для лугу дана температура складає 80 °С. Після нагріву розчину через клапан V153 він подається на об'єкт і циркулюватиме між об'єктом і установкою СІР протягом заданого періоду часу. По завершенню заданого періоду часу закривається клапан V103 і відбувається витіснення розчину в ємність (4) мережевою водою. Якщо давач провідності повідомляє про зниження концентрації розчину нижче норми, то клапан V112 закривається, відкривається V151 і залишки розчину змиваються в дренаж до повного видалення часток розчину.

1.2. Теоретичні основи технологічного процесу миття ємностей стерильної молочної продукції в окремих технологічних апаратах і машинах

Необхідно враховувати, що розчини якими оперує система миття представляють хімічну загрозу, адже вони містять каустичну соду або азотну кислоту, а ці хімікати можуть викликати серйозні опіки шкіри та очей. Тому при роботі з ними слід користуватися захисними одягом та окулярами.

Перед початком роботи установки треба виконати такі підготовчі роботи.

1. Всі ємності з робочими мийними рідинами повинні бути заповнені до верхнього рівня.

2. Концентрація розчинів має бути перевірена титруванням. Відбір проб проводиться після перемішування через пробовідбірні крани у місткостях з робочими розчинами.

3. Встановити початкові температурні режими у ємностях з гарячою водою, каустичною содою, кальцинованою содою та азотною кислотою.

4. Подати промивну воду до насосів, які її потребують. Після виконання перелічених вимог установка готова до роботи, Для миття обладнання збирають трубопроводи та повідомляють на пульт управління про готовність до миття набраного маршруту.

5. Оператор включає в цикл миття набрані маршрути, а подальше перемикання операцій миття відбувається автоматично за встановленою програмою.

Перетворювач частоти керує швидкістю двигуна для нагнітаючого насоса. Дозувальний насос перекачує концентровані миючі розчини. Нагнітаючий насос призначений для подачі води і миючого розчину та керується перетворювачем частоти в залежності від:

- контуру що підлягає миттю;
- рівня в циркуляційній ємності;
- приготування лугу та кислоти;

- при дозуванні лугу та кислоти;

Трубчастий теплообмінник призначений для нагрівання води і миючого розчину за допомогою пари. Вимірювач і давач провідності (розміщені в зворотньому трубопроводі) застосовується для вимірювання провідності миючих розчинів в миючому контурі з метою:

- збору і сортування миючих розчинів ;
- контролю і корекції під час підготовки миючих розчинів;
- вимірювання об'єму видачі на нагнітаючій стороні.

1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта

При промиванні ємності розчином кислоти тарозчином лугу їх витрати дуже малі і пов'язані з частковим перемішуванням розчинів з водопровідною водою. В системі присутня витрата водопровідної води, яка відповідає за витіснення миючих засобів з трубопроводу та проміжне його полоскання.

Об'єм витісненої після миття танка води позначимо $V_{\text{вих}}$, об'єм трубопроводу системи позначимо $V_{\text{тр}}$, а об'єм на вході відповідно $V_{\text{вх}}$.

Загальний вигляд рівняння матеріального балансу системи тоді матиме вигляд:

$$V_{\text{вих}} = V_{\text{вх}} + V_{\text{тр}}$$

Таблиця 1.1

Залежність значень об'ємів трубопроводу від їх діаметрів

Діаметр труби	Об'єм труби (л/м)	Діаметр труби	Об'єм труби (л/м)
По стандарту DIN		По стандарту ISO(SMS)	
32 мм	0,80	38 мм (1 ½')	0,99
40 мм	1,13	51 мм (2'')	1,86
50 мм	1,96	63,5 мм (2 ½')	2,87
65 мм	3,42	76 мм (3'')	4,07
80 мм	5,15	102 мм (4'')	7,48
100 мм	7,85		

Щоб визначити об'єм трубопроводу варто знати його довжину, яку ми позначимо l та знати діаметр труб (d). Тоді з таблиці 1.1 можемо дізнатися об'єм рідини в 1м даного трубопроводу, цю величину позначимо V_1 :

Загальний об'єм трубопроводу в даному випадку буде рівним:

$$V_{\text{вих}} = V_{\text{вх}} + V_1 * l$$

Тепловий розрахунок теплообмінника зводиться до визначення необхідної поверхні теплообміну F , коефіцієнта теплопередачі K та початкової (кінцевої) температури теплоносія (продукту) t .

Для знаходження кінцевої температури теплоносія (води) скористаємось рівнянням теплового балансу:

$$Q = G_1 c_1 (t_{1i} - t_{1k}) = G_2 c_2 (t_{2i} - t_{2k}) \quad (1.1)$$

де G_1 – витрати гарячого теплоносія, кг/с;

G_2 – витрати холодного теплоносія (розчинів), кг/с;

c_1 – питома теплоємність пари, Дж/кгК;

c_2 – питома теплоємність води, Дж/кгК;

$t_{1П}, t_{1К}$ – відповідно початкова і кінцева температури пари, °С;

$t_{2П}, t_{2К}$ – відповідно початкова і кінцева температур розчинів °С.

Звідси:

$$t_{2К} = \frac{G_1 c_1 (t_{1i} - t_{1К})}{G_2 c_2} + t_{2i}$$

Отже, середня температура теплоносія :

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{2К} + t_{2i}}{2}$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2}$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі відповідно для гарячого і холодного теплоносія, Вт/(м²К);

δ – товщина стінки, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(мК).

Дане рівняння можна застосувати для розрахунку теплопередачі через циліндричну стінку лише при умові, що $d_{âi} > 0,5d_{\hat{c}â}$ ($d_{âi}$, $d_{\hat{c}â}$ - відповідно внутрішній та зовнішній діаметри).

Коефіцієнт тепловіддачі для холодного теплоносія (води):

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{l},$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності води, Вт/(м*К);

l – визначальний геометричний розмір, м;

Nu – число Нуссельта.

Теплове навантаження теплообмінника знайдемо із рівняння теплового балансу (1.1). Оскільки $Q=Q_1=Q_2$ достатньо знайти Q лише для одного з теплоносіїв (наприклад молока):

$$Q = Q_1 = G_1 c_1 (t_{1f} - t_{1k}).$$

Для визначення впливу різних факторів проводять спеціальні дослідження, з допомогою яких визначаються регламентні значення технологічних параметрів, яких слід дотримуватися для досягнення ефективної та економічної роботи технологічного процесу. Значення технологічних параметрів, визначені за результатами досліджень, наводяться в технологічній карті, яка наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Технологічна карта

№ п/п	Назва параметру	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	Витрата миючих речовин	м ³ /год	12	±0,5
2	Температура ополіскування водою	°С	30	±5
3	Температура розчину луку	°С	80	±5
4	Температура розчину кислоти	°С	60	±5

1.4. Аналіз технологічного процесу як об'єкту керування

Основними параметрами, які необхідно регулювати в даному технологічному процесі, є температури миючих розчинів, їх витрати в контурі

миття. Вхідними параметрами є потужність нагнітаючого насоса, а також витрата пари. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта зображена на рис.1.2.

Збурюючими величинами, що впливають на хід процесу є температура водопровідної води, температура теплоносія, рівень рідини в ємностях миючих розчинів та в балансній ємності системи.

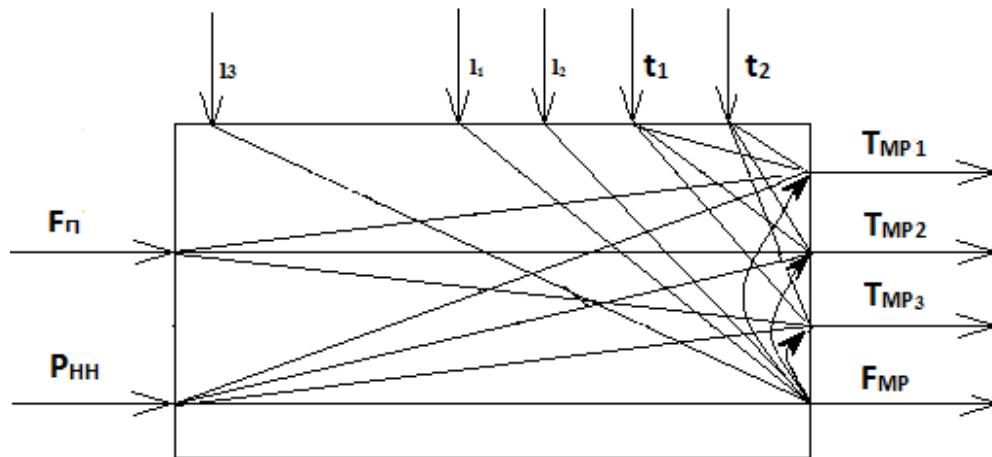


Рисунок 1.2. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу миття ємностей

Вихідними параметрами даного процесу є:

- T_{MP1} – температура води полоскання;
- T_{MP2} – температура миючого розчину кислоти;
- T_{MP3} – температура миючого розчину лугу;
- F_{MP} – витрата миючого розчину;

Вхідні параметри об'єкта:

- P_{HH} – потужність нагнітаючого насоса;
- $F_{П1}$ – витрата теплоносія (пари);

Збурюючі параметри:

- l_1 – наявність рівня в ємності миючого розчину кислоти;
- l_2 – наявність рівня в балансній ємності;

l_3 – наявність рівня миючого розчину лугу;

t_1 – температура розчину до теплообмінника;

t_2 – температура теплоносія (пари).

1.5. Вибір та обґрунтування оптимальної для заданих умов структури системи автоматизації технологічного процесу

До регульованих технологічних параметрів відносять такі величини об'єкта, які найбільше впливають на проходження технологічного процесу. Регульованими параметрами в процесі миття ємностей є потужність нагнітаючого насоса, що створює потік речовини в трубопроводі системи, та температура миючого розчину на виході з теплообмінника.

Для того, щоб мати можливість керувати з одного місця та здійснювати дистанційний контроль за об'єктом керування, необхідно на це місце вивести виміри всіх контрольованих параметрів.

У відповідності з діючими директивними вказівками контролюються та вимірюються такі параметри процесу:

- потік матеріальних потоків в трубопроводі;
- температура миючого розчину перед теплообмінником;
- температура миючого розчину після теплообмінника;
- концентрація миючих розчинів.

Регулюванню підлягають такі параметри:

- температура після теплообмінника;
- потік миючих засобів в трубопроводі;
- рівень в балансній ємності;
- рівень в ємності суміші кислоти;
- рівень в ємності суміші лугу;
- рівень в ємності використаної води;
- концентрація сумішей миючих розчинів.

Таблиця 1.3

Функціональні ознаки системи автоматизації

№ п/ п	Обсяг авто- матизації Назва Параметра	Показ	Реєстрація	Підсумовування	Усереднення	Визначення відхилення	Розрахунок техніко-економічних показників	Оптимізація	Сигналізація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Рівень в балансній ємності								+				+
2	Рівень в ємності використаної води								+				+
3	Рівень в ємності суміші луку								+				+
4	Рівень в ємності суміші кислоти								+				+
5	Витрата миючої суміші після нагнітаючого насоса	+							+				+
6	Температура перед теплообмінником	+											
7	Температура після теплообмінника	+							+				+
8	Температура теплоносія	+											
9	Концентрація миючої речовини	+											

Сигналізації підлягають такі параметри:

- витрата миючих засобів після нагнітаючого насоса;
- температура миючих засобів після теплообмінника;
- рівень в баланій ємності;
- рівень в ємності суміші кислоти;

- рівень в ємності суміші лугу;
- рівень в ємності використаної води;
- концентрація миючих розчинів.

Вибір функціональних ознак системи автоматизації наведено в таблиці 1.3

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Обґрунтування обраних засобів автоматизації та їх технічні характеристики

При складанні елементів функціональної схеми автоматизації (ФСА) треба вибрати конкретні технічні засоби автоматизації, які визначають структуру окремих контурів автоматизації. Під час цього вибору необхідно враховувати: особливості технологічного процесу, умови пожежо- і вибухонебезпечності, агресивність і токсичність оточуючого середовища, параметри і фізико-хімічні властивості контрольованих середовищ, радіус дії засобу, необхідну точність і швидкодію засобів автоматизації.

Систему автоматизації даного технологічного процесу реалізовуємо на сучасних технічних засобах з уніфікованими вихідними сигналами.

Засоби автоматизації, за допомогою яких здійснюється керування процесом, повинні бути обрані технічно грамотно й економічно обґрунтовано, тобто повинні відповідати таким вимогам:

1. оптимально відповідати діапазону значень контрольованого параметра;
2. складатися за блочним принципом для полегшення і здешевлення ремонтів;
3. відповідати принципам багатофункціональності.

Для автоматизації даного технологічного процесу вибрано наведені нижче локальні засоби автоматизації.

- Електромагнітний витратомір, діаметр DN 25 ... 2000, похибка вимірювання $\pm 0.5\% \pm 0.2\%$ (опція) діапазон вимірювання 0... 15000 м³ / год, вихідний сигнал 4-20 мА, має функції показу та реєстрації.
- Частотний перетворювач 3 х 200-240 В: 0,25 – 45 кВт, ПІ, ПІД закони регулювання, частота (50 $\pm$ 1) Гц змінного струму або 24($\pm$ 4) В постійного струму.

- Відцентровий насос живлення – трифазний змінний струм 220-240/380-420V частота – 50 Гц, потужність – 0.75 кВт, діаметр робочого колеса – 110 мм, вихідний сигнал 0...20mA, максимальний робочий тиск 10 бар, робоча температура: -5 ... + 70 °C витрата при тиску 6 бар становить 520 л / хв., умовний прохід- 4мм.
- Термоперетворювач опору з уніфікованим вихідним сигналом з діапазоном вимірювання від -20 до +250 ° C, основна похибка +/- 0,25 %.
- Давач провідності (робоча температура до 90 ° C).

Основні технічні характеристики та типи локальних засобів автоматизації наведені в специфікації.

2.2. Вибір мікропроцесорного засобу автоматизації

Для автоматизації даного технологічного процесу обрано мікропроцесорний контролер типу Vision V570, який поєднує функціональні можливості ПЛК та сенсорного HMI-інтерфейсу. Даний контролер забезпечує надійне управління послідовністю етапів миття, контроль дозування реагентів та візуалізацію процесу в реальному часі. Його перевагами є підтримка широкого спектру аналогових і цифрових входів/виходів, вбудовані засоби програмування логіки та можливість інтеграції з іншими системами автоматизації через промислові протоколи (Modbus, CANopen тощо). Він має вбудовану панель оператора HMI і розроблений спеціально для вирішення широкого спектра завдань поавтоматизації в різних галузях промисловості та вирішення завдань з побудови систем диспетчеризації і віддаленого управління.

Мікроконтролер цієї серії підтримує такі можливості та функції:

1. Кольоровий сенсорний дисплей 5.7", розширенням 320x240 пікселів
2. Підтримує до 170 входів/виходів, підключення термопар, потужний CPU (9мс/1k)
3. Віртуальна екранна клавіатура.
4. ПІД-регулювання, високошвидкісні входи/виходи, годинник реального часу.
5. Більше пам'яті для реєстрації даних програм (2M+6M+1M).

6. Карта пам'яті SD.

7. Зв'язок: 2 окремих порта RS232 та RS485, окремий порт шини CAN, CANopen & UniCAN.

8. Підключення до 8-ми модулів розширення входів/виходів.

9. Функції GSM/GPRS/3G.

Опис HMI-пристрою:

- 1024 екранів, що задаються користувачем;
- використання 500 зображень в одному додатку;
- перегляд графіків і трендів на дисплеї, можливість колірного кодування;
- вбудовані екрани інформації про тривоги;
- бібліотека функцій для обробки текстових елементів - її локалізація реалізується простим способом;
- віртуальна буквено-цифрова клавіатура;
- пошук і усунення несправностей за допомогою операторської панелі - ПК не потрібно;

Початкова модель передбачає наявність в контролері таких входів/виходів:

- 18 дискретних входів;
- 17 дискретних виходів;
- 3 аналогових входи.

Для функціонування необхідної схеми автоматизації цього не достатньо, тому для розширення кількості аналогових входів і виходів підключаю також модуль ІО-АІ4-АО2 (4 аналогових входи, 2 аналогові виходи).

2.3. Розробка конфігурації входів і виходів контролера

Розробка програми функціонування контролера починається з конфігурації його входів та виходів, що є ключовим етапом у створенні ефективної системи автоматизованого керування. Конфігурація полягає у визначенні кількості, типу та призначення кожного входу і виходу, які будуть задіяні в процесі. Зокрема, входи призначені для прийому сигналів від датчиків

температури, рівня, тиску, витрати тощо, які інформують контролер про поточний стан технологічного обладнання та середовища. Виходи ж використовуються для керування виконавчими механізмами, такими як електромагнітні клапани, насоси, мішалки або нагрівачі.

Вибір типу входів і виходів (аналогових або цифрових) залежить від конкретних параметрів, які необхідно контролювати або регулювати. Наприклад, для фіксації наявності сигналу від датчика рівня достатньо цифрового входу, тоді як для вимірювання температури потрібен аналоговий вхід, оскільки значення може змінюватися в широкому діапазоні.

Таким чином, правильна конфігурація входів і виходів дозволяє забезпечити коректну роботу системи керування, її гнучкість і адаптивність до вимог технологічного процесу.

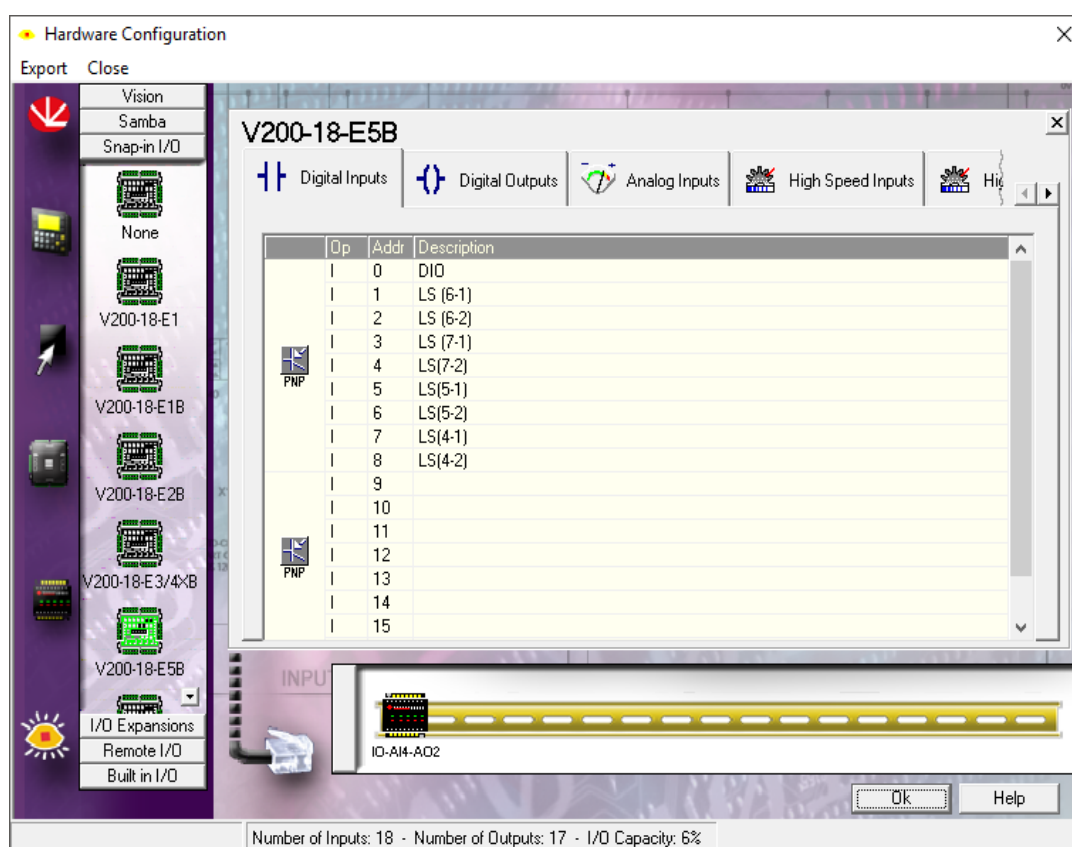


Рис. 2.1. Конфігурація дискретних входів

Конфігурацію входів та виходів для регулювання даного процесу вибираємо так, як показано на рис. 2.1 – 2.5.

Конфігурації дискретних входів і виходів контролера наведена відповідно на рис. 2.1 і 2.2.

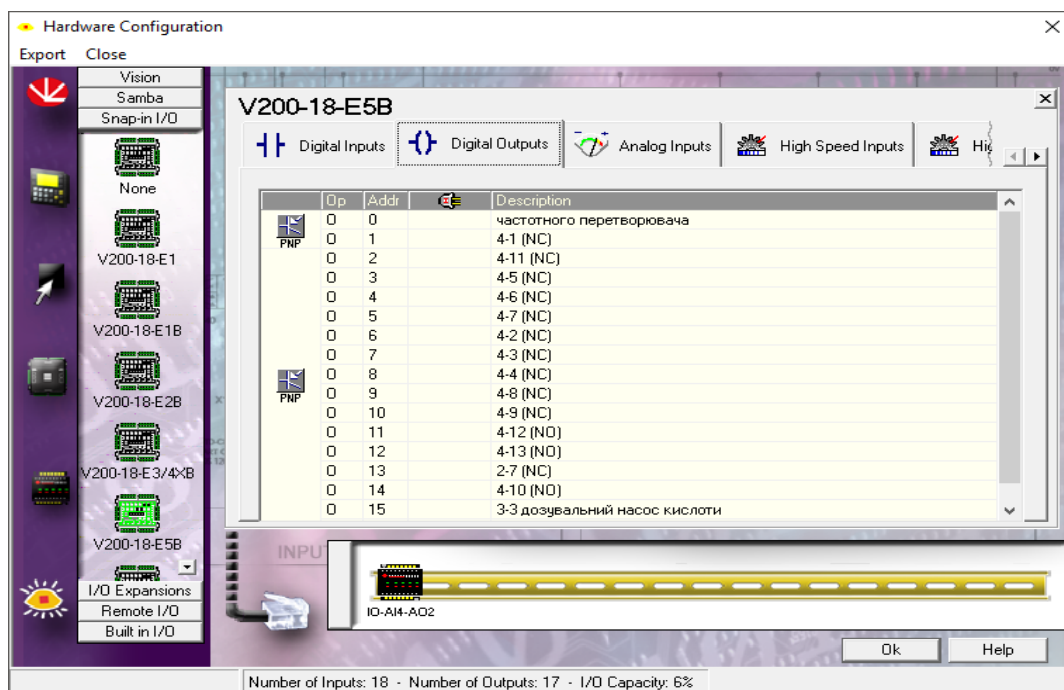


Рис.2.2. Конфігурація дискретних виходів контролера

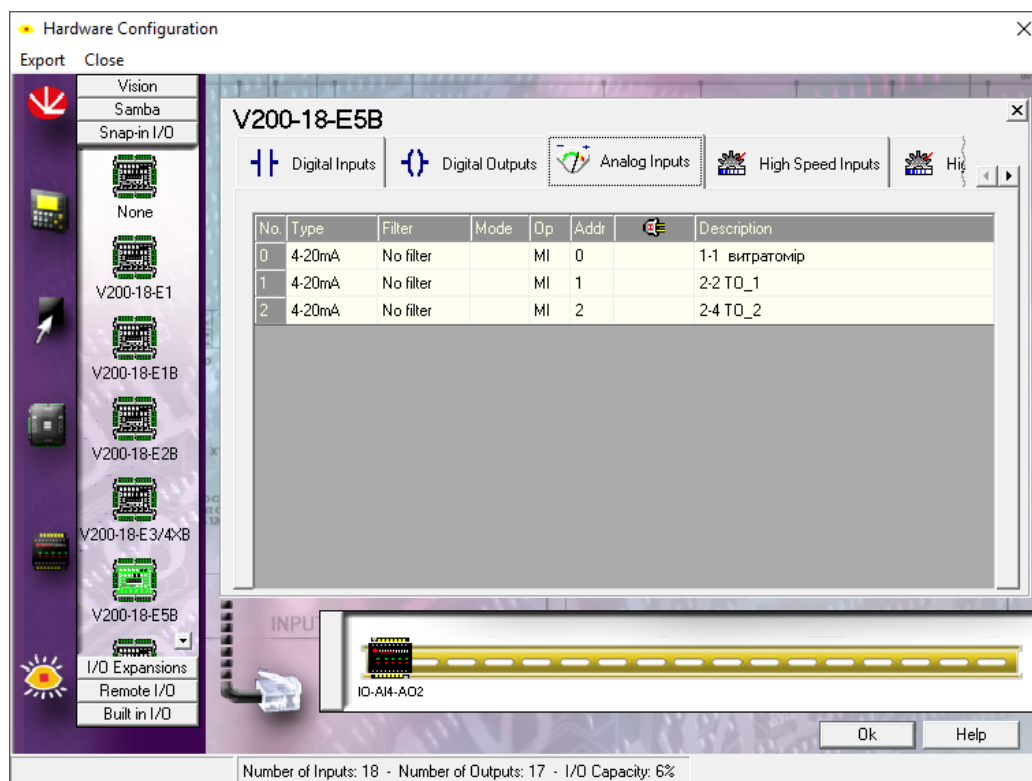


Рис.2.3. Конфігурація аналогових входів контролера

Конфігурація аналогових входів контролера наведені на рис. 2.3.

Конфігурації аналогового входу та аналогового виходу модуля розширення IO-AI4-AO2, наведені на рис. 2.4 і 2.5, є важливою частиною налаштування контролера Vision V570 для забезпечення точного збору даних і керування виконавчими механізмами.

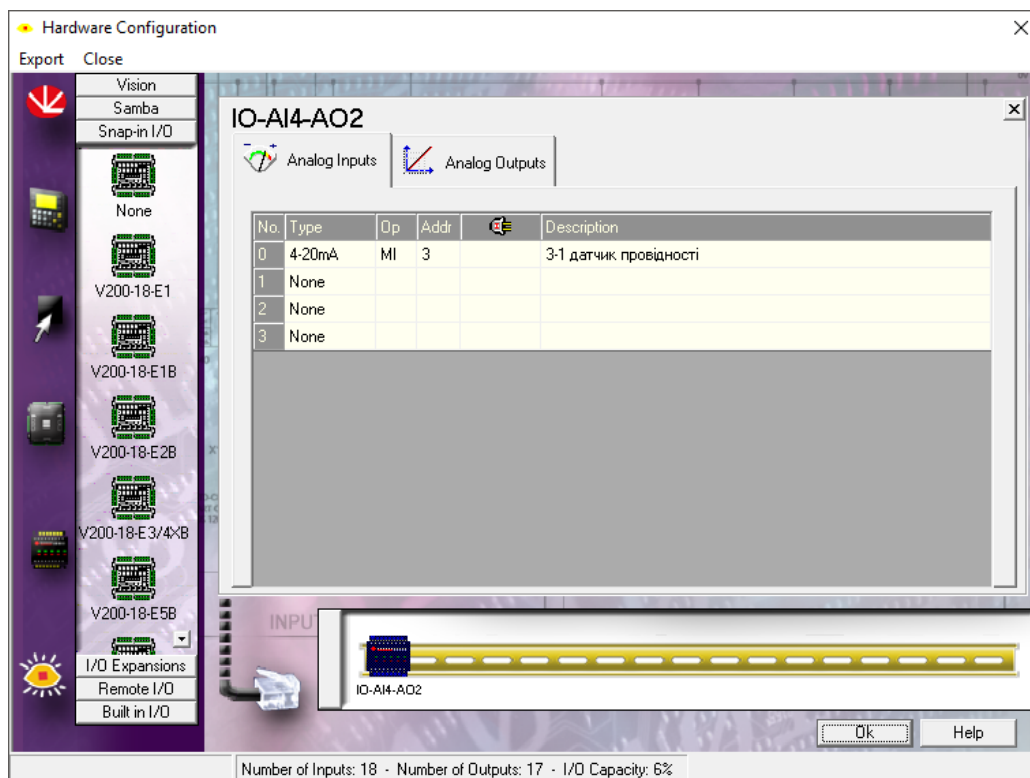


Рис.2.4. Конфігурація аналогового входу модуля розширення IO-AI4-AO2

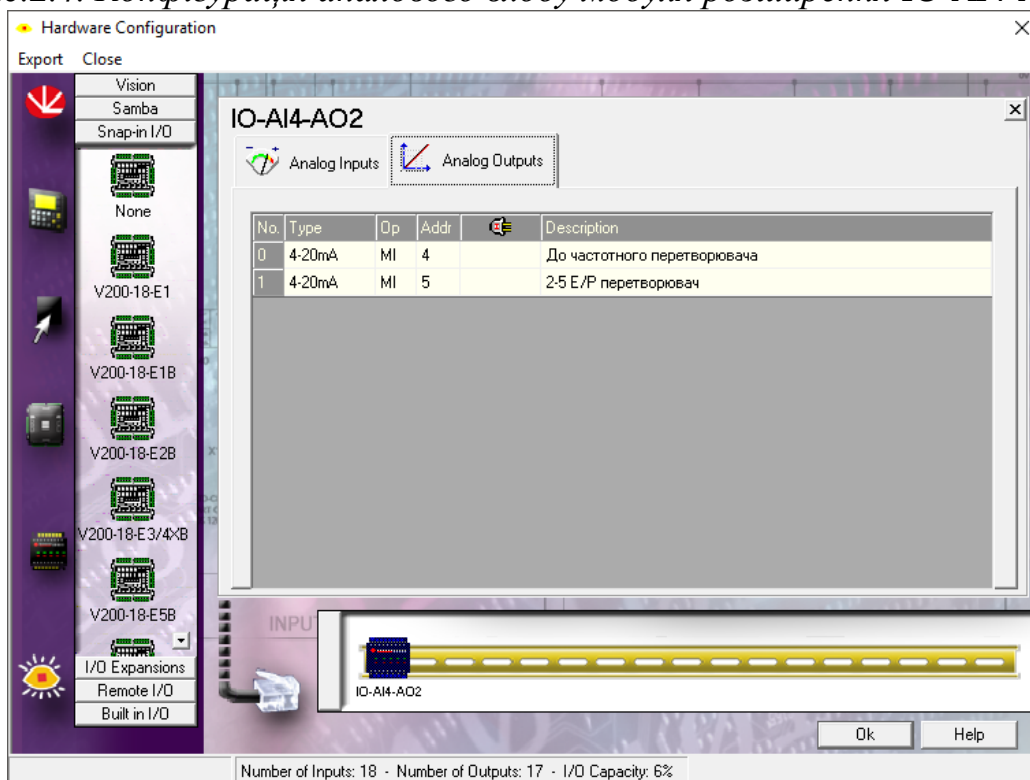


Рис.2.5. Конфігурація аналогових виходів модуля розширення IO-AI4-AO2

Розробка програми функціонування контролера

Програмування і візуалізація контролера V570 відбувається за допомогою використання програмного забезпечення VisiLogic, яке є офіційним середовищем розробки від компанії Unitronics.

VisiLogic поєднує в собі інструменти для створення логіки керування (на основі мови релейно-контактних схем – Ladder Logic) та графічного інтерфейсу оператора (HMI). Завдяки цьому користувач має змогу в єдиному середовищі реалізувати повноцінний проєкт автоматизації – від написання алгоритму роботи контролера до розробки зручного та інформативного екрану керування.

Основні можливості VisiLogic:

- конфігурація апаратних модулів контролера (входи/виходи, розширення, комунікаційні порти);
- програмування логіки процесу у вигляді логічних блоків (Ladder);
- розробка HMI-екранів із використанням тексту, графіки, кнопок, індикаторів і графіків;
- налагодження зв'язку з пристроями через протоколи Modbus RTU/TCP, CANopen, RS232/485 тощо;
- тестування, емуляція та завантаження проєкту в контролер;
- моніторинг змінних у реальному часі для спрощення діагностики та налагодження.

Програмне забезпечення VisiLogic є безкоштовним та підтримується виробником, що робить його зручним інструментом для розробки систем автоматизації з використанням контролерів Vision серії.

Опис програми

За допомогою алгоритму «STORE» сигнал з давача електричної провідності пересилаємо з регістру пам'яті MI3 в регістр пам'яті MI1. Після чого масштабуємо сигнал за допомогою алгоритму «LINEAR» в межах від 0 до 100% і пересилаємо в регістр пам'яті MI8, як показано на рис. 2.6.

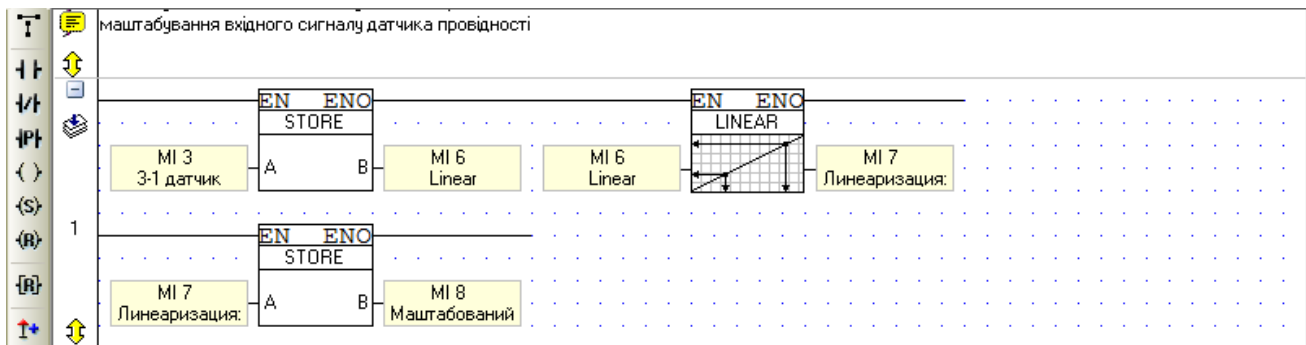


Рис.2.6. Масштабування вхідного сигналу

Після цього розробляємо програму для контуру миття ємності перед початком процесу.

При натисканні кнопки MB15 розробляємо необхідний для даного етапу процесу маршрут вмикання відповідних клапанів на трубопроводах. Після того, як всі необхідні виходи отримають дискретний сигнал «1», замикається котушка MB1, що сигналізує про готовність обраного контуру до початку процесу приготування мийної суміші (рис. 2.7).

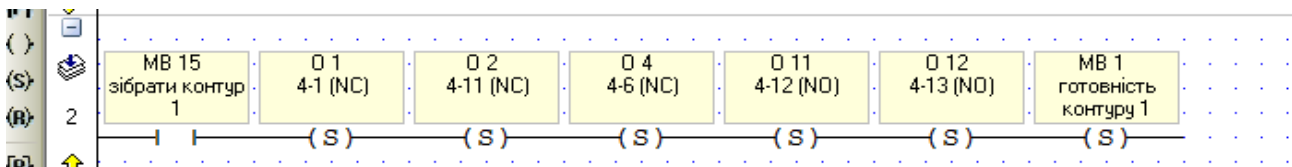


Рис.2.7. Програма для контуру миття ємності кислотою

Після цього розробляємо програму для контуру регулювання рівня в ємності з кислотою. Натискаючи на НМІ-панелі (аркуш графічної частини) кнопку M16 і при наявності сигналу готовності контуру 1 починається перевірка значень реле рівня в ємностях миючих розчинів. Якщо реле верхнього рівня I5 сигналізує достатній рівень рідини, то програма закриває клапан, який забезпечує подачу в систему мережевої води O10 і O1, після чого замикаємо котушку MB0, яка сигналізує про достатнє значення рівня для початку процесу миття.

Якщо ж рівень недостатній, то відкриваються клапани 4-9 і сигнал пуску насоса подається на O0 – вихід до частотного перетворювача, який подаватиме мережеву воду до спрацювання реле котушки MB0. Якщо ж спрацює реле нижньогорівня I6, то MB0 розмикається і алгоритм має повторитися до

отримання сигналу готовності. Програма для регулювання рівня наведена на рис. 2.8.

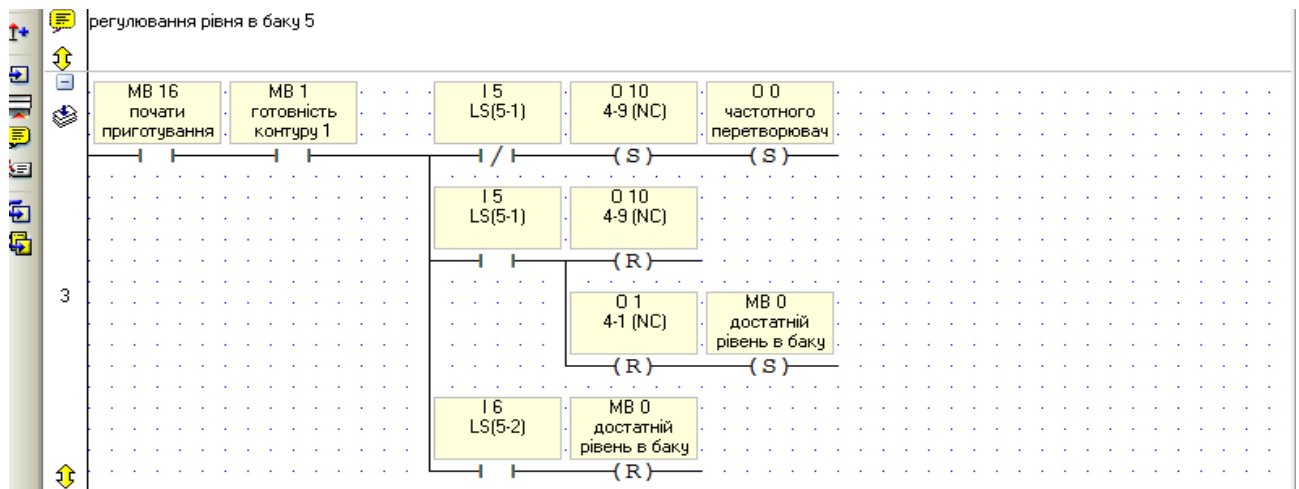


Рис.2.8. Програма для регулювання рівня кислоти ємності

При достатньому рівні рідини можна почати приготування мийного розчину.

Для цього відкриваємо клапан 4-3 (O7) і перевіряємо значення концентрації розчину, що циркулює закритим контуром миття на даний момент часу. Якщо маштабоване значення показу давача провідності M18, менше заданого значення, то замикається O15 (дискретний вихід дозувального насоса кислоти) і насос 3-3 починає вприскування концентрату кислоти в циркулюючий розчин. Коли значення концентрації буде відповідати заданому значенню, на вихід O15 подається сигнал «0» і закривається клапан 4-3, а клапан 4-9 відкривається. Починається витіснення готового мийного розчину з трубопроводу системи в ємність розчину. Якщо ж концентрація розчину стане меншою від заданого значення, процес витіснення припиняється, закриваються 4-6 та 4-12. В результаті ємність з кислотою ізолюється від решти контуру і в комірку пам'яті MB2 записується сигнал готовності розчину кислоти. Решта розчину з залишками кислоти витісняється в каналізацію до повного видалення залишків з трубопроводу. Програма для регулювання концентрації розчину кислоти наведена на рис. 2.9.

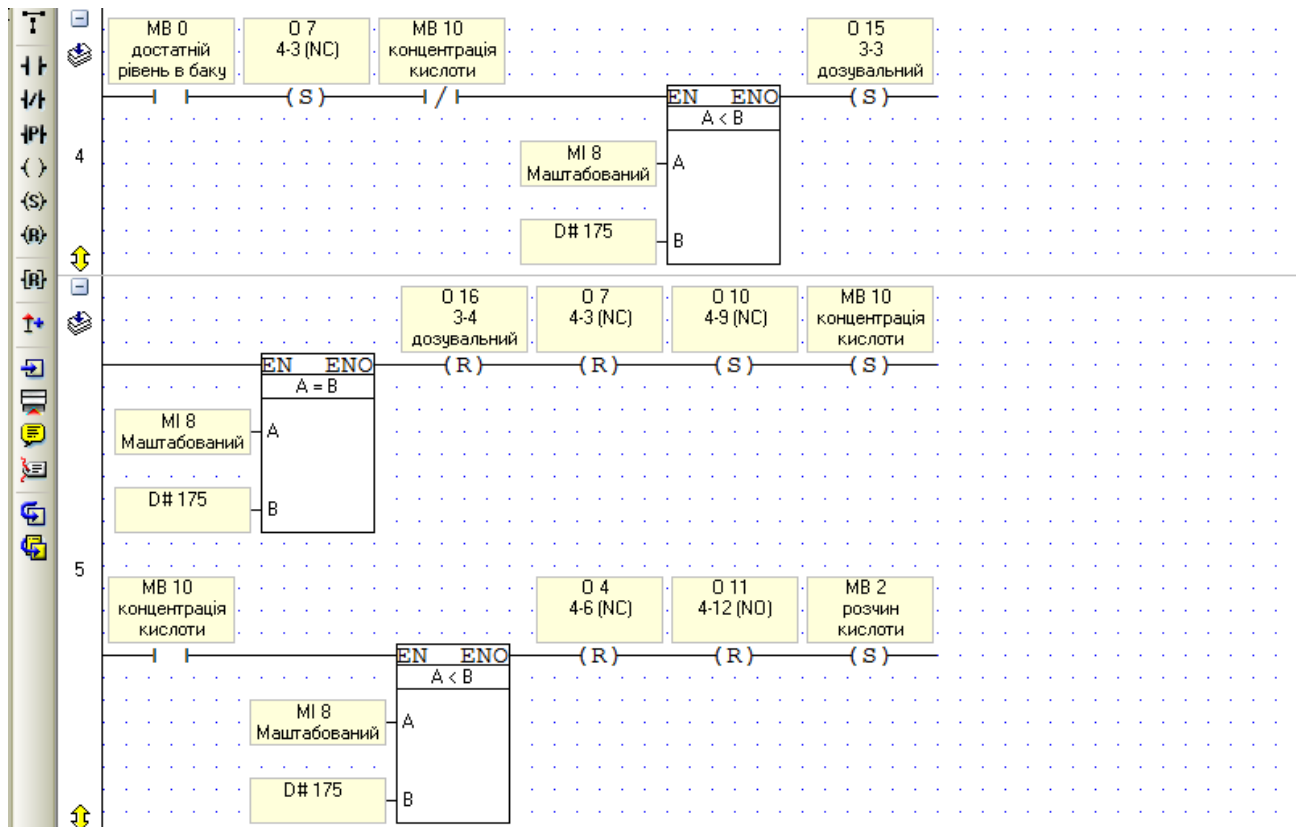


Рис.2.9. Програма для регулювання концентрації розчину кислоти

По завершенню циклу приготування розчину кислоти і після повного витіснення її залишків за аналогічним алгоритмом починається приготування розчину лугу. Програма для контуру миття ємності лугом наведена на рис. 2.10.

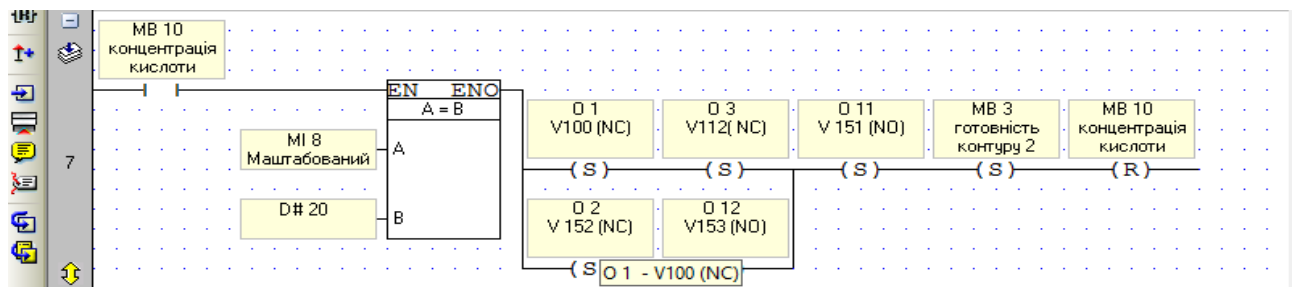


Рис.2.10. Програма для контуру миття ємності лугом

Програма для регулювання рівня лугу в ємності і програма для регулювання концентрації розчину лугу наведені відповідно на рис. 2.11 і 2.12.

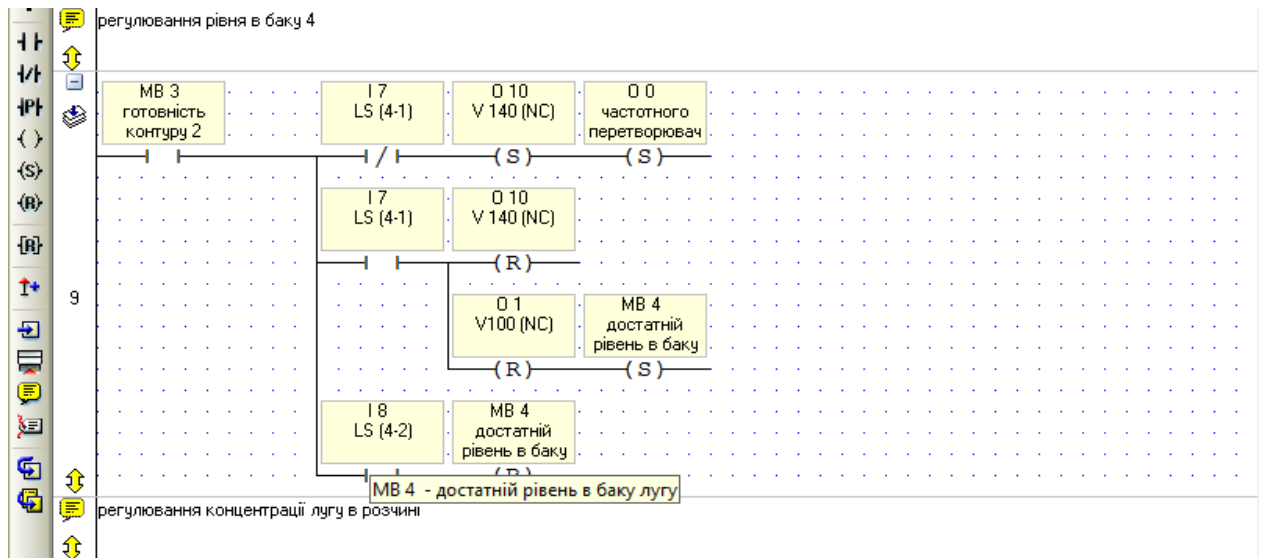


Рис.2.11. Програма для регулювання рівня луку в ємності

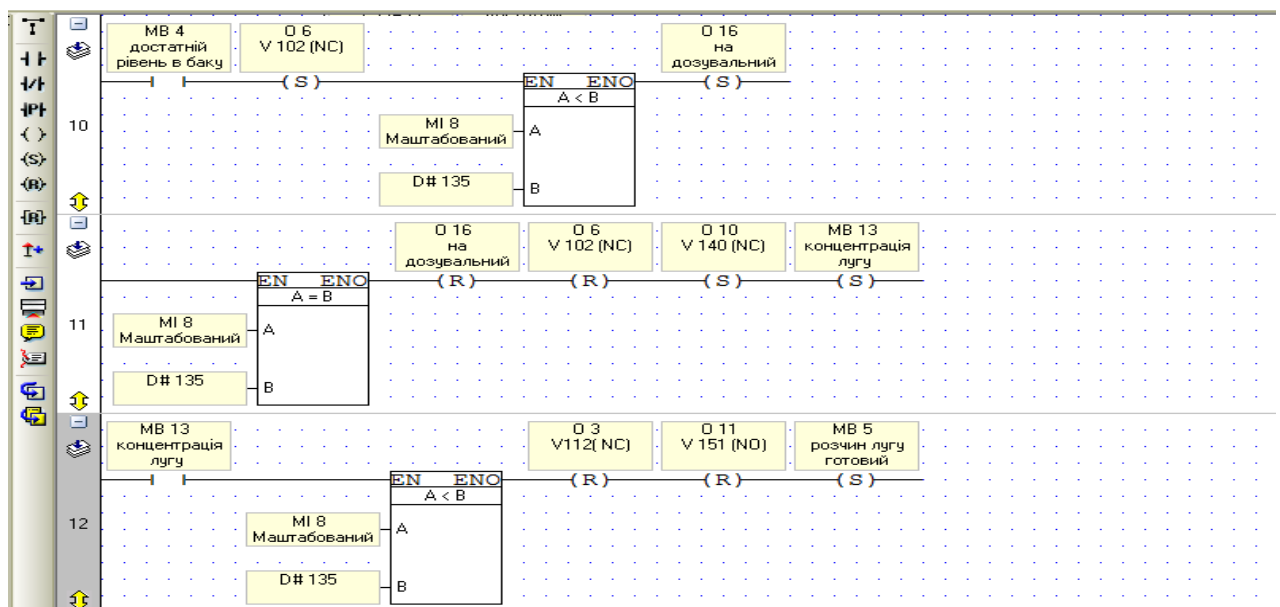


Рис.2.12. Програма регулювання концентрації розчину луку

По завершенню циклу підготовки розчинів на СІР надходить сигнал готовності до початку миття ємностей. Програма сигналізації готовності СІР наведена на рис. 2.13.

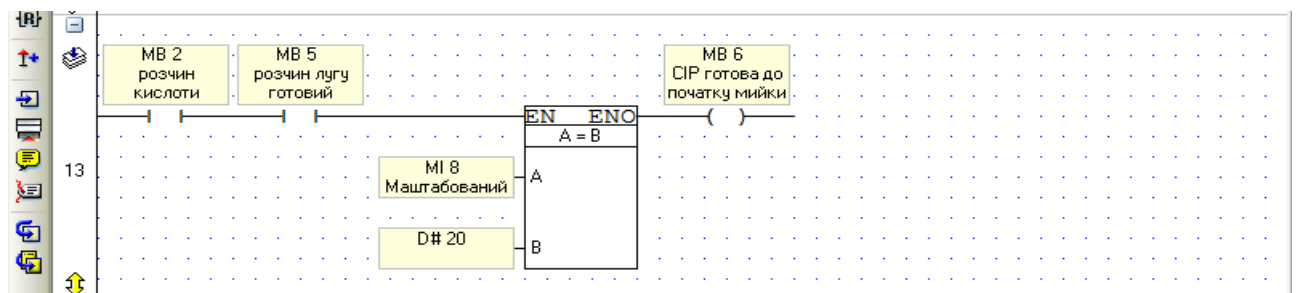


Рис.2.13. Програма сигналізація готовності СІР

На цьому стадія підготовки миючих розчинів вважається завершеною. Для оптимального протікання технологічного процесу необхідно реалізувати контур регулювання температури миючих розчинів після теплообмінника. Забезпечення температурного режиму здійснюється зміною витрати теплоносія, яким служить гріюча пара.. Програма контуру регулювання температури реалізована нижче.

За допомогою алгоритму «STORE» сигнал з датчика температури пересилаємо з регістру пам'яті MI2 в регістр пам'яті MI13. Після чого масштабуємо сигнал за допомогою алгоритму «LINEAR» в межах від 0 до 100% і пересилаємо в регістр пам'яті MI6, який є входом ПІД-регулятора (PID_IN) (рис. 2.14).

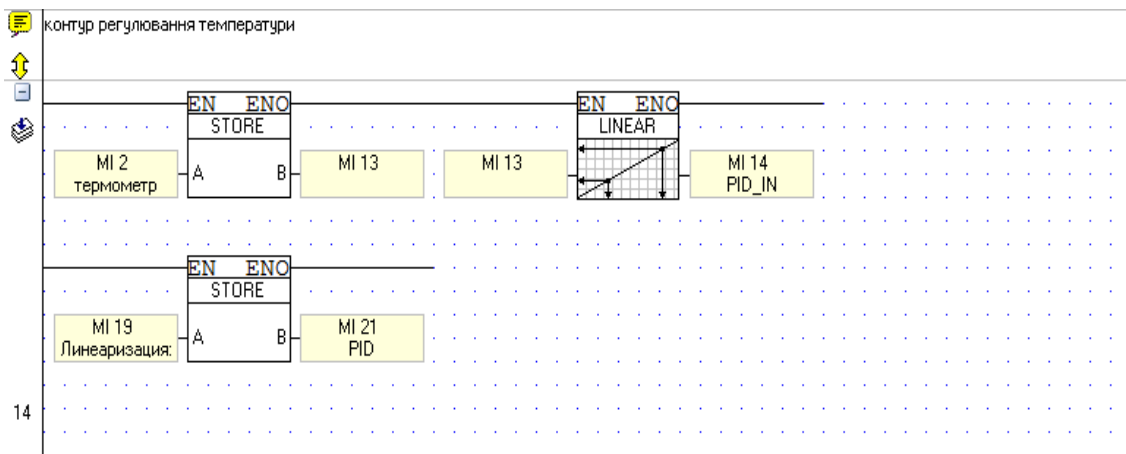


Рис.2.14. Масштабування вхідного сигналу контуру регулювання температури

Для налаштування ПІД-регулятора потрібно використати такі алгоритми:

- «PID A.TUNE CONFIG» - блок конфігурації ПІД регулятора;
- «PID A.TUNE PAUSE.I&D» -пауза інтегральної та диференціальної складової.

За допомогою MI16 задається значення вихідної величини, яку має забезпечити використання регулятора, MI15 - вхід ПІД-регулятора, масштабований вище. Після опрацювання алгоритму налаштування регулятор записує свій статус в комірку пам'яті MI24, а параметри регулювання в MI26. (рис. 2.15).

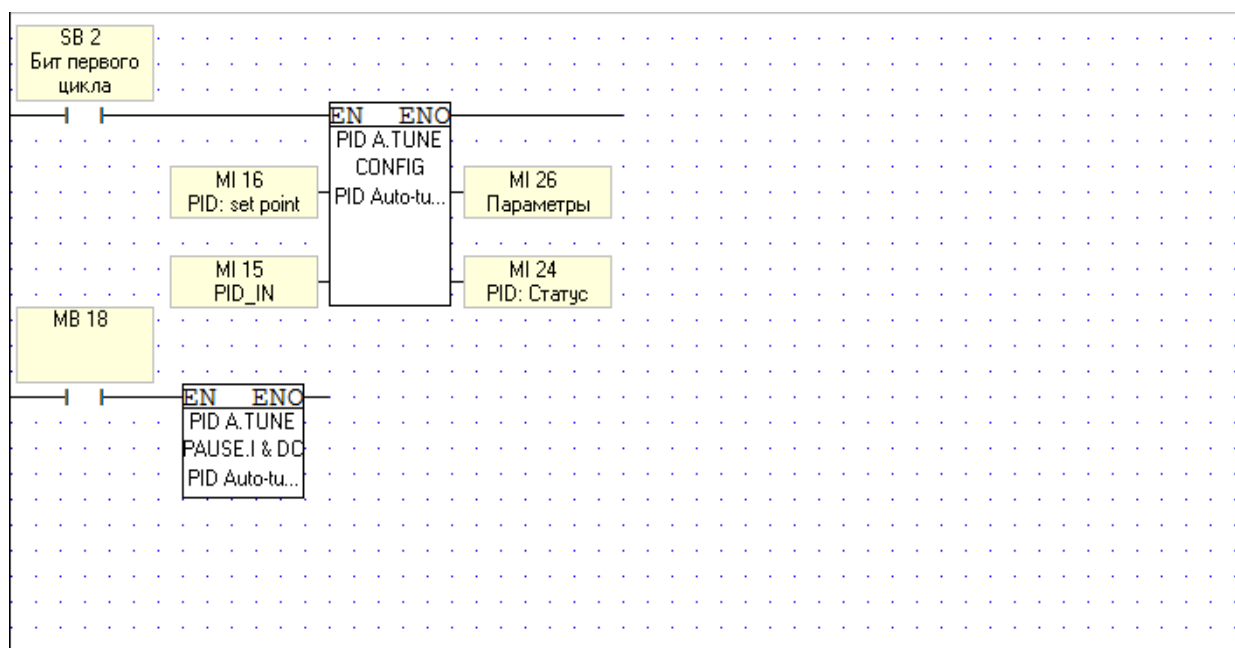


Рис.2.15 Конфігурація ПІД-регулятора та пауза на I-складову

Після цього перевіряємо ПІД-регулятор на наявність помилок, для цього потрібно статус ПІД-регулятора порівняти з 0.

-«PID A.TUNE AUTO-TUNE» - автоналаштування параметрів ПІД-регулятора;

-«PID A.TUNE RUN»- включення ПІД регулятора (рис. 2.16).

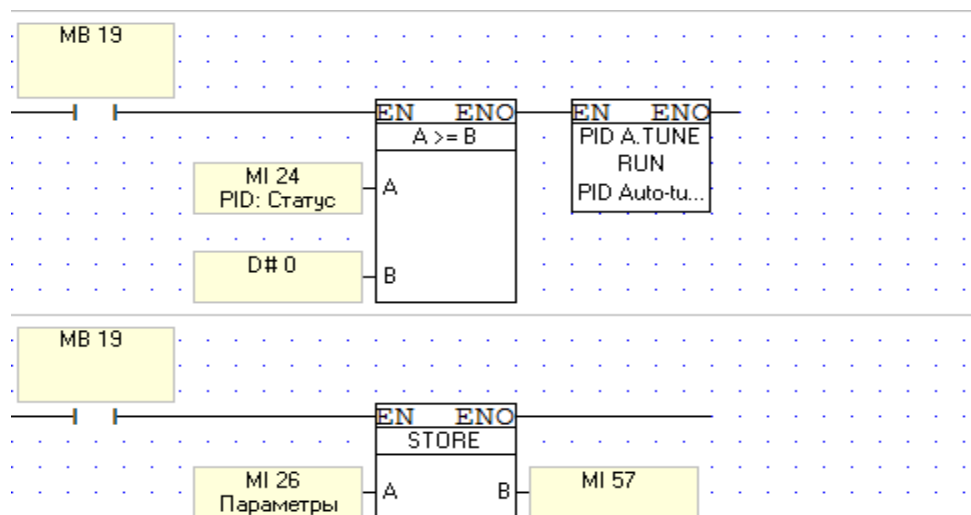


Рис.2.16. Автоналаштування параметрів регулятора

Необхідно також забезпечити безударний перехід з ручного в автоматичний режим роботи. Коли ми вмикаємо перемикач в автоматичний режим, то значення параметра процесу записується в комірку MI72, при

переході в ручний саме це значення береться за початкове в процесі ручного керування (рис. 2.17).

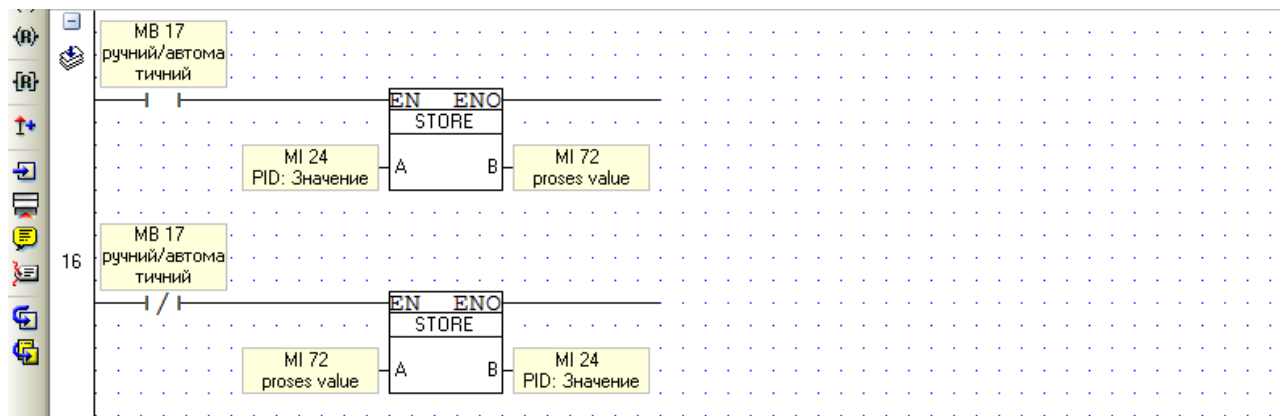


Рис.2.17. Безударний перехід з ручного в автоматичний режим роботи

Як і для масштабування вхідного сигналу (рис. 2.6), вихідний сигнал на пневмоперетворювач також має бути масштабований, але від 0 до 4095 замість 0-100% , які видає регулятор (рис. 2.18).

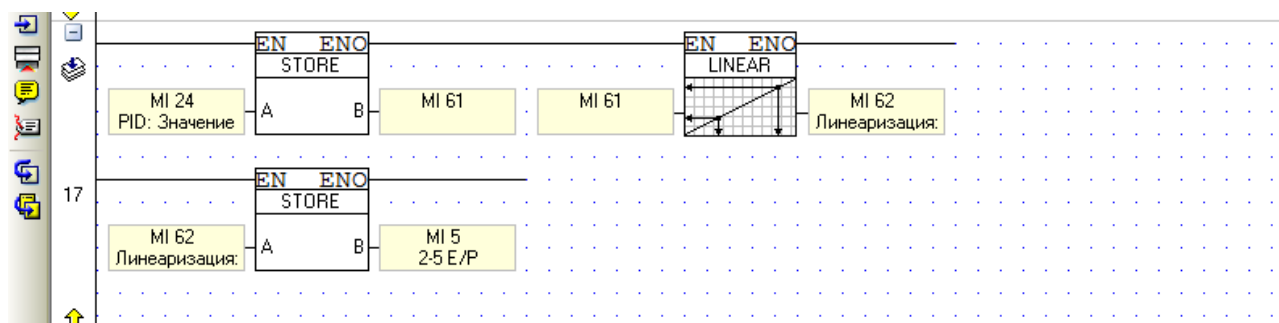


Рис.2.18. Масштабування вихідного регулюючого сигналу

Контур регулювання витрати рідини після нагнітаючого насоса

Вхідний сигнал витратоміра МІ0 може змінюватися в межах 4-20мА. За допомогою алгоритму лінеаризації масштабуємо його в межах 0-100% (рис. 2.19):

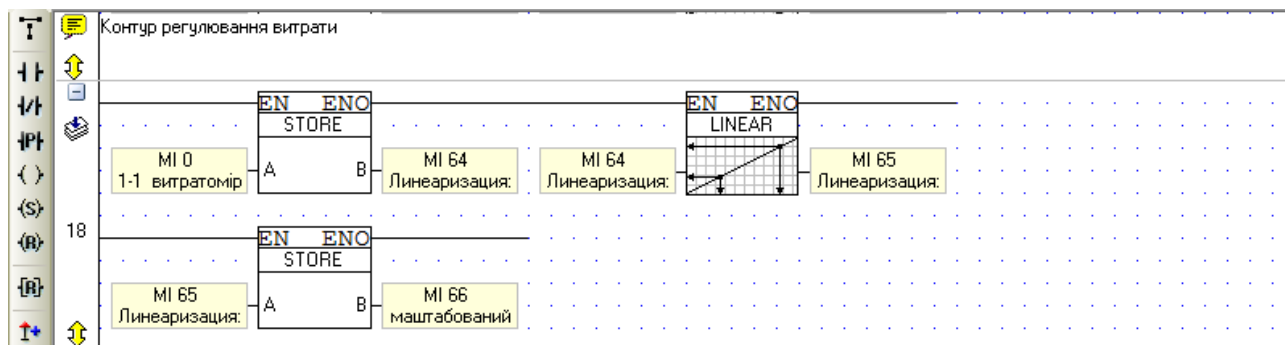


Рис.2.19. Масштабування вхідного сигналу витратоміра

Налаштування роботи ПІД-регулятора для контуру регулювання витрати рідини аналогічні налаштуванню регулятора для контуру регулювання температури. Програми функціонування контуру регулювання витрати наведені на рис. 2.20-2.22.

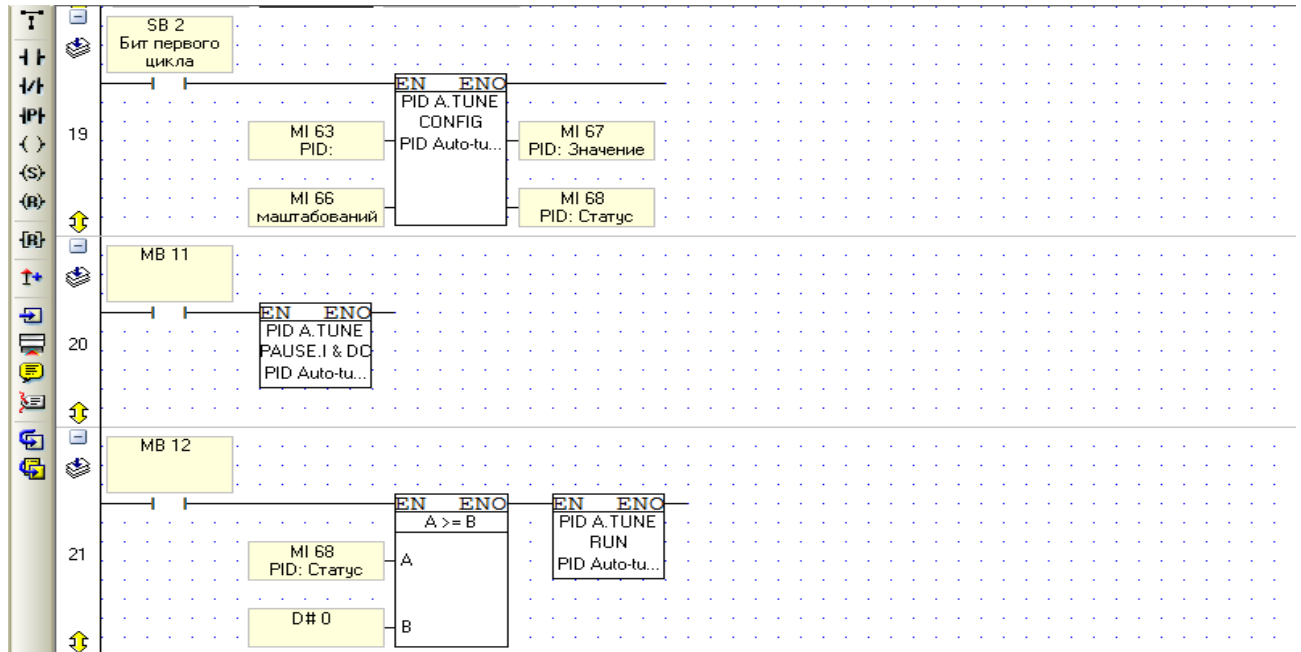


Рис.2.20. Налаштування параметрів ПІД регулятора витрати

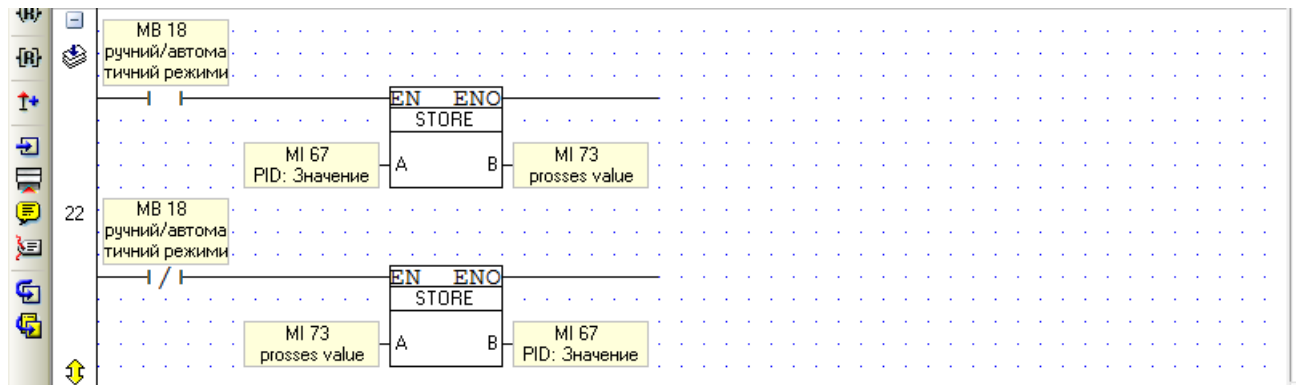


Рис.2.21. Безударний перехід з ручного в автоматичний режим роботи

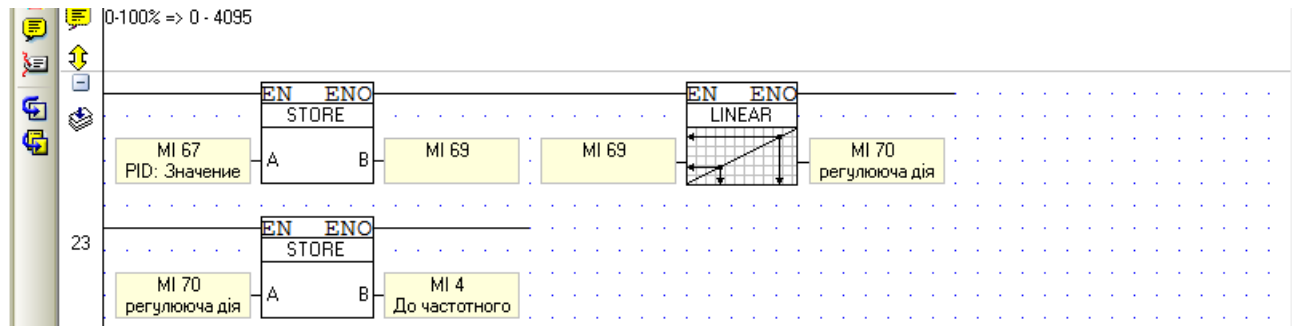


Рис.2.22. Масштабування вихідного

Здійснено програмування системи автоматизації миття ємностей готової стерильної продукції в харчовому виробництві з використанням мікропроцесорних засобів. Було сформульовано та реалізовано алгоритм роботи системи управління за допомогою мікропроцесорних засобів автоматизації.

Застосування мікропроцесорних програмних засобів автоматизації дає можливість реалізувати будь-який алгоритм керування і забезпечити більш високу точність його виконання, ніж це можливо із застосуванням аналогової техніки. Кожне ускладнення алгоритму практично не впливає на надійність контуру регулювання.

3. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

3.1. Вхідні дані, необхідні для розрахунку контуру регулювання

Для розрахунку і моделювання обираю контур регулювання температури миючих розчинів після теплообмінника.

Система регулювання температури миючого розчину необхідна для забезпечення сталої температури розчину, що потрапляє в ємність, в якій відбувається її миття. Необхідність підтримувати температуру на заданому значенні зумовлена санітарними нормами та правилами на підприємствах харчової промисловості, оскільки якісне миття технологічних ємностей миючими розчинами забезпечується тільки при певних значеннях температури.

Основними показниками якості перехідного процесу обираємо час регулювання, перерегулювання, коливальність і похибку регулювання.

Для конкретних умов роботи технологічного процесу до якості регулювання можуть висуватися й інші вимоги. Наприклад, максимальна швидкість зміни значення регульованого технологічного параметра, частота її коливань та інші..

Час регулювання - час, протягом якого з моменту нанесення збурення на систему, відхилення значення регульованої величини від її сталого значення буде меншим від наперед заданого. Тобто, час регулювання визначає тривалість перехідного процесу.

Перерегулювання визначає максимальне відхилення регульованого параметра від усталеного значення, виражене у відсотках.

Коливальність системи характеризується числом коливань регульованого параметра за час регулювання.

Точність регулювання визначає різницю між значенням регульованого параметра, що встановилося після закінчення перехідного процесу, і заданим значенням цього параметра..

В даній роботі якість регулювання оцінюється за допомогою таких критеріїв:

1. Час регулювання t_p .

2. Максимальне динамічне відхилення $A_{\max}$ – максимальна амплітуда перехідного процесу.

3. Коефіцієнт зникання коливань ψ – відношення різниці двох сусідніх амплітуд одного знаку кривої перехідного процесу до найбільшої з них:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1}.$$

4. Точність регулювання Δ .

Виходячи з технологічних умов час регулювання для даного об'єкта приймаємо рівним $t_p = 90$ с. Максимальне динамічне відхилення $A_1 = 4^\circ\text{C}$. Коефіцієнт зникання коливань $\psi = 0.85$, а допустима похибка регулювання $\Delta = 2^\circ\text{C}$. Ступінь коливальності $m = 0.221$.

Розрахунок виконуємо за вхідними значеннями - вважаємо кривою розгону досліджуваного об'єкта. Вихідною величиною є температура миючого розчину на виході з теплообмінника. Оскільки на різних стадіях процесу розчин повинен мати різні значення температур, то дослідження і розрахунок виконуємо для контуру регулювання температури води, що використовується для попереднього ополіскування об'єкта миття.

- Регулюючою дією є зміна положення регулюючого органу (РО), встановленого на лінії подачі теплоносія.

- Задане значення регульованої величини – 35°C .

- Максимальна стрибкоподібна зміна положення РО - 10 %.

Значення температури для кривої розгону, отримані при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 10% наведені в таблиці 3.1. Така стрибкоподібна зміна керуючого сигналу є класичним методом для дослідження динамічних властивостей об'єкта керування. Стрибкоподібна дія дозволяє виявити реакцію системи на миттєву зміну зовнішнього впливу. Таке збурення дозволяє оцінити:

- інерційність об'єкта — наскільки швидко змінюється температура після подачі сигналу;

- динамічні характеристики — час запізнення, постійну часу, час встановлення;
- статичну чутливість — наскільки змінюється вихід (температура) у відповідь на зміну керуючого сигналу;
- стабільність процесу — чи вихідна величина стабілізується після збурення, чи спостерігається перерегулювання.

10% зміна є типовою величиною для експериментального збурення — вона достатньо помітна для фіксації реакції системи, але не створює небезпеки або перевантаження обладнання. Це дозволяє побудувати криву розгону, яка є основою для подальшої ідентифікації об'єкта, налаштування ПД-регулятора або побудови математичної моделі.

Таблиця 3.1

Значення температури для кривої розгону, отримані при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 10%

Час, с	Температура, °C
0	30
2.1	30.05
2.95	30.08
4.3	30.2
5.25	30.4
6.9	30.7
8.7	31.1
12.2	31.91
16	32.8
21	33.45
28.8	34.3
36	34.6
45	34.8
54	34.81
60	34.83
70	34.87
75	34.88
90	34.9

Перехідний процес, отриманий із експериментальних даних має вигляд, як показано на рис. 3.1.

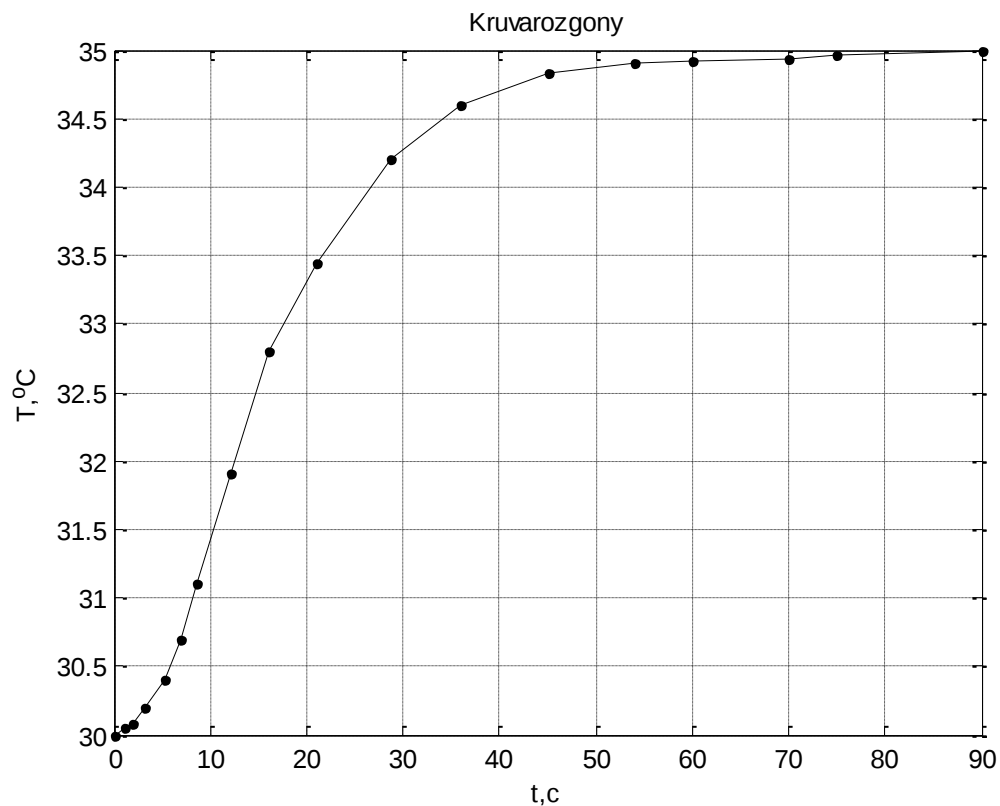


Рис. 3.1. Крива розгону САР температури рідини на виході з теплообмінника, отримана при стрибкоподібній зміні відкриття РО на 10% на трубопроводі подачі пари

Задача знаходження математичної моделі об'єкта за його експериментальною кривою розгону включає три етапи.

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

2. Знаходять числові значення параметрів моделі об'єкта за обраною методикою і отримують конкретну передавальну функцію моделі.

3. Знаходять розрахункові значення перехідної функції обраної моделі і перевіряють точність апроксимації, порівнюючи теоретичну криву з експериментальною.

4. За виглядом кривої розгону робимо висновок, що вона є аперіодичною ланкою третього порядку.

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)^3},$$

де k - коефіцієнт передачі аперіодичної ланки;

T - стала часу.

Для знаходження параметрів функції передачі скористаємось функцією Matlab *fminsearch.m*. Для цього складемо програму, яка складається із основної частини та файл-функції *suma*. Основна програма використовує функцію *sumt*, в якій сформовано критерій якості моделі – середньоквадратичне відхилення між експериментальними та розрахунковими значеннями кривих розгону. Функція *fminsearch.m* знаходить значення параметрів функції передачі, при яких забезпечується мінімум файлу-функції *suma*.

Програма для знаходження параметрів функції передачі об'єкта регулювання за допомогою функції *fminsearch*:

Файл з даними (dani)

```
T_e=[30 30.05 30.08 30.2 30.4 30.7 31.1 31.91 32.8 33.45 34.3 34.6 34.8 34.81
34.83 34.87 34.88 34.9 ];
t_e=[0 2.1 2.95 4.3 5.25 6.9 8.7 12.2 16 21 28.8 36 45 54 60 70 75 90];
t= [ 0:1:90 ] ;
dx=5;
```

Знаходимо параметри передавальної функції об'єкта регулювання за допомогою функції *fminsearch* :

```
clc; clear;
dani;
dT_e=T_e-30;
T_e1=interp1(t_e,dT_e,t);
x0=[30 -2];
x=fminsearch('suma',x0);
T=x(1), k=x(2),
n=1; d=[T 1];
W1=tf(n,d);
W=k*W1^3;
T_r=step(W,t)*dx;
figure(1); plot(t_e,T_e, 'o' ,t,T_r+30,'-k');grid;
```

```

xlabel('t,c');
ylabel('T,');
sigma=sqrt(sum((T_r' - T_e1).^2)/length(T_e1))
del=max(abs(T_r'-T_e1)/(max(T_e1)-min(T_e1)))*100
disp(['T k'])

```

Файл функція:

```

function s=suma(x);
dani;
dT_e=T_e-30;
T_e1=interp1(t_e,dT_e,t);
T=x(1); k=x(2);
n=1; d=[T 1];
W1=tf(n,d);
W=k*W1^3;
T_r=step(W,t)*dx;
s=sum((T_r'-T_e1).^2);

```

Результатом виконання програми є значення параметрів та графік порівняння кривих розгону (рис. 3.2): $T=5.55$, $k=0.48$

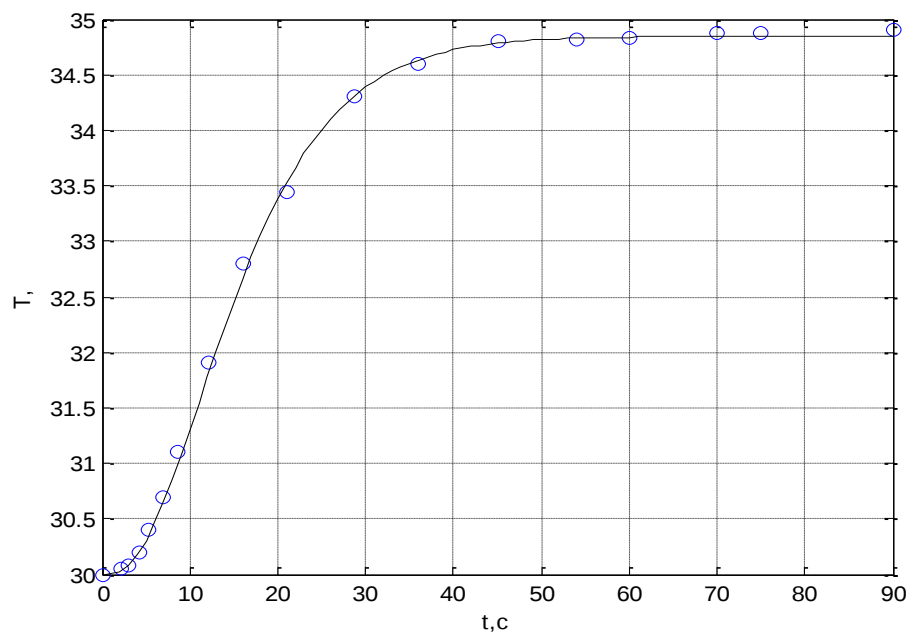


Рис. 5.2. Експериментальна та розрахункова криві розгону за температурою рідини на виході теплообмінника (4), отримані стрибкоподібним відкриттям РО на 10% в паропроводі«°» - експериментальна крива розгону; «-» - апроксимована крива

Розрахунок максимальної абсолютної похибки Δ здійснюють за допомогою тієї ж програми в середовищі Matlab. Результатом виконання програми є:

$$\delta = 2.79\%$$

$$\sigma = 0.0532^{\circ}\text{C}$$

δ - максимальне значення відносної похибки;

σ – середньоквадратичне відхилення розрахункових значень кривої розгону від заданих експериментальних значень;

Максимальна зведена похибка $\delta = 2.79\%$ не перевищує 3%, отже можна зробити висновок, що знайдена модель адекватна заданій експериментальній кривій розгону.

Отже, передавальна функція об'єкта регулювання має вигляд:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)^n} = \frac{0.48}{(5.55p + 1)^3}$$

де T – стала часу; k - розмірний коефіцієнт передачі об'єкта регулювання.

3.2. Розрахунок параметрів налаштування регулятора

Значення параметрів налаштування регулятора наближено можуть бути знайдені за спрощеною методикою, яка ґрунтується на припущенні про можливість описання об'єктів регулювання через відомі передавальні функції - аперіодична ланка першого порядку, інтегруюча ланка, диференційна ланка, ланка запізнення та інші. Для знаходження оптимальних значень параметрів налаштування регулятора необхідно застосувати відомі розроблені та теоретично обґрунтовані методи: метод розширених частотних характеристик, метод розрахунку параметрів за показником коливальності m .

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

Розширена частотна характеристика елемента з відомою передавальною функцією визначається заміною в ній оператора Лапласа: $p = -m\omega \pm i\omega$,

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

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

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

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

$W_{ap}(m, i\omega)$ – розширена АФХ регулятора.

Для регулювання температури на виході теплообмінника 4 вибираємо одноконтурну систему регулювання з ПІД-регулятором, функція передачі якого має вигляд :

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{i3}p} + T_d p$$

де k_p – коефіцієнт передачі регулятора; T_{i3} – час ізодрому; T_d – час диференціювання.

В загальному випадку границя заданого запасу стійкості є деякою поверхнею в тривимірному просторі параметрів налаштування $k_p, \frac{k_p}{T_{i3}}, T_d$.

Якщо один з параметрів зафіксувати, то розрахунок зводиться до визначення двох інших параметрів. Так, якщо задатися часом диференціювання T_d , то значення двох інших параметрів налаштування ПІД-регулятора $k_p, \frac{k_p}{T_{i3}}$ розраховують за наведеними нижче формулами:

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{iz}} = \frac{\omega \sqrt{m^2 + 1} [m \cos \gamma(m, \omega) - \sin \gamma(m, \omega)]}{A_{op}(m, \omega)} + \omega^2 (1 + m^2) T_D \\ k_p = \frac{\sqrt{m^2 + 1} \cos \gamma(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)} + 2T_D m \omega \end{cases},$$

$$\text{де } \gamma(m, \omega) = \text{ABS}[\varphi_{op}(m, \omega)] + \arctg m - \pi$$

Для заданого m в площині параметрів k_p , $\frac{k_p}{T_{iz}}$ будуємо границю області запасу стійкості, з якої визначаємо оптимальні значення параметрів налаштування $(k_p)_{\text{опт}}$, $(\frac{k_p}{T_{iz}})_{\text{опт}}$.

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

За розширеними частотними характеристиками знаходимо частоти ω^* , ω^{**} , при яких розширена фазо-частотна характеристика об'єкта регулювання досягає значень $-\pi$ та $-\frac{\pi}{2} + \arctg m$.

Змінюючи частоту в діапазоні $\omega^* \leq \omega \leq \omega^{**}$ розраховуємо значення параметрів налаштування ПД-регулятора, що відповідають границі заданого запасу стійкості.

Побудову розширеної фазо-частотної характеристики об'єкта регулювання здійснюємо за допомогою програми в середовищі Matlab:

```
clear; clc
w=[0:0.001:0.9];
m=0.32; k=0.48; T1=5.55;
p=-m*w+i*w;
Wop=k./(T1.*p+1)./(T1.*p+1)./(T1.*p+1);
fi=phase(Wop);
```

```

j=1:length(w);
a(j)=-pi;
b(j)=-pi/2+atan(m);
plot(w,fi,w,a,w,b); grid;
xlabel('w,rad/sec');
ylabel('fi,rad');
title('Rozshirena_fazochastotna_haracterystykaobekta');

```

Результатом виконання програми є графік розширеної фазочастотної характеристики об'єкта (рис. 3.3)

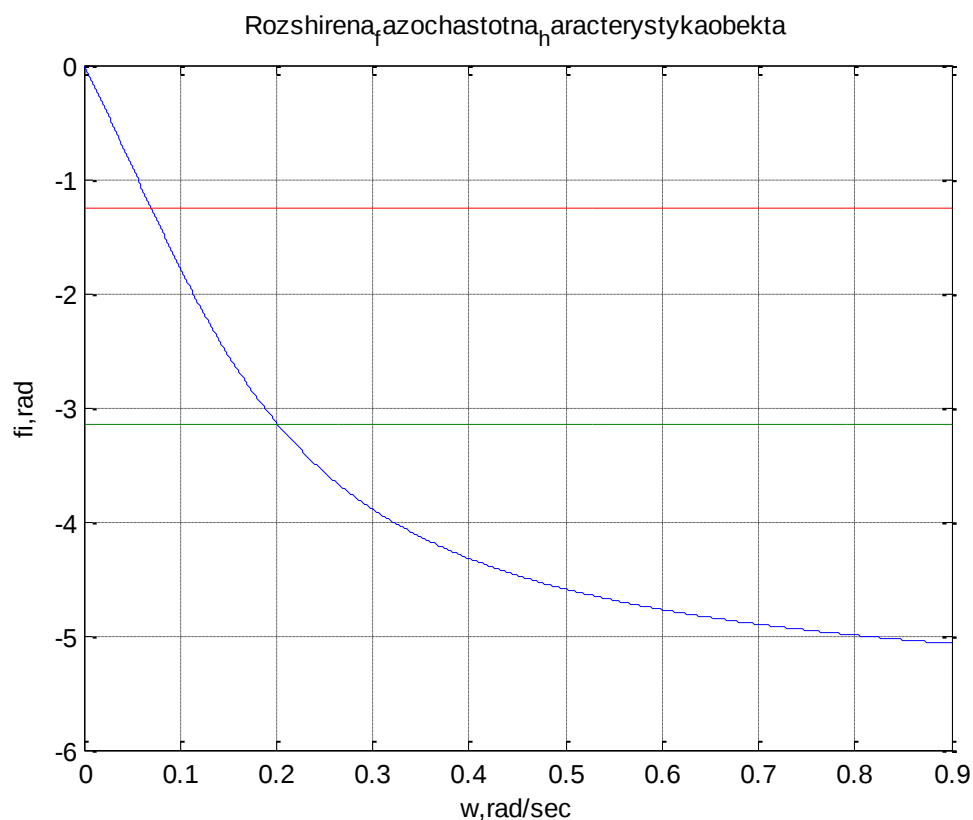


Рис.3.3. Розширена фазо-частотна характеристика об'єкта регулювання
З графіку визначаємо значення частот:

$$\omega^* = 0.0704$$

$$\omega^{**} = 0.2$$

Для точного визначення оптимальних параметрів налаштування ПІД - регулятора необхідно розрахувати значення другої інтегральної оцінки J_2 перехідного процесу за регулюючою дією при різних значеннях параметрів налаштування ПІД- регулятора із знайденої області заданого запасу стійкості і

знайти таку пару значень $k_{popt}, (\frac{k_p}{T_{i3}})_{opt}$, при якій J_2 набуде найменшого значення. Таким чином, оптимальними параметрами налаштування регулятора є такі, що при заданому запасі стійкості САР забезпечують мінімальне значення інтегральної оцінки якості.

Для побудови графіку границі області заданого запасу стійкості, залежності інтегральної квадратичної оцінки від параметра настроювання k_p та розрахунку оптимальних параметрів налаштування САР з ПД-регулятором складена наведена нижче програма:

```
clear;clc;
w=[0.0704:0.001:0.2];
m=0.32; k=0.48; T1=5.55;
Td=5;
p=-w.*m+w.*i;
Wor=k./((T1.*p+1)./(T1.*p+1)./(T1.*p+1));
fi=phase(Wor);
Aor=abs(Wor);
hama=abs(fi)+atan(m)-pi;
kp_Ti=w*sqrt(m^2+1).*(m*cos(hama)-sin(hama))./Aor+w.^2*(m^2+1)*Td;
kp=sqrt(m^2+1).*cos(hama)./Aor+2*Td*m*w;
for i=1:length(w)
    t=[0:0.1:90];
    Wor1=tf(k,[T1 1]);
    Wor2=tf(1,[T1 1]);
    Wor3=tf(1,[T1 1]);
    Wor=Wor1*Wor2*Wor3;
    War1=tf(kp(i),[1]);
    War2=tf(kp_Ti(i),[1 0]);
    War3=tf([Td 0],1);
    War=War1+War2+War3;
    Wcap=Wor/(1+Wor*War);
    y=step(Wcap,t).*15;
    q=trapz(t,y.^2);
    S(i)=q;
    Jmin=min(S);
    if S(i)==Jmin;
        kp_Tiopt=kp_Ti(i)
        kpopt=kp(i);
    end
end
```

```

kpopt
kp_Tiopt
Jmin
figure(1);plot(kp, kp_Ti,'-k',kpopt,kp_Tiopt,'k*');grid;
xlabel('kp'); ylabel('kp/Ti');
figure(2);plot(kp,S,'-k',kpopt,Jmin,'k*');grid;
xlabel('kp'); ylabel('J');

```

В результаті виконання програми отримаємо графік запасу стійкості САР з ПІД-регулятором (рис. 3.4), графік залежності коефіцієнта передачі регулятора (K_p) від другої інтегральної оцінки (J_2) (рис. 3.5) та оптимальні і максимальні значення $\frac{K_p}{T_{i3}}$ і K_p :

$K_{popt} = 4.54$ – оптимальне значення K_p ;

$kp_Tiopt = 0,326$ – оптимальне значення $\frac{K_p}{T_{i3}}$;

$T_d=5$. $J_{min}=79.64$

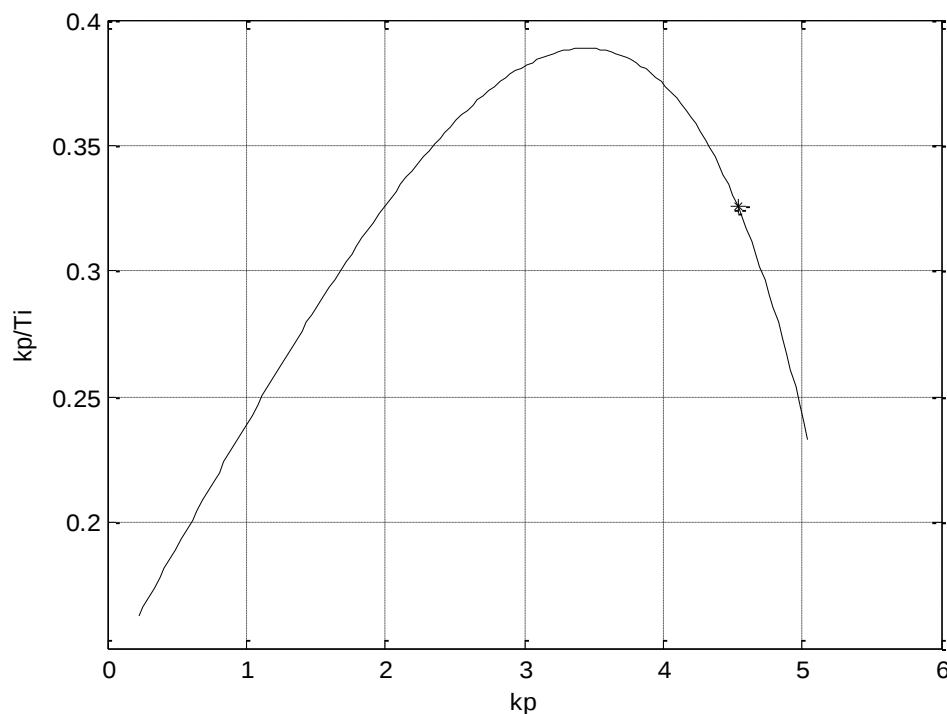


Рис. 3.4. Границя області заданого запасу стійкості САР температури з ПІД-регулятором

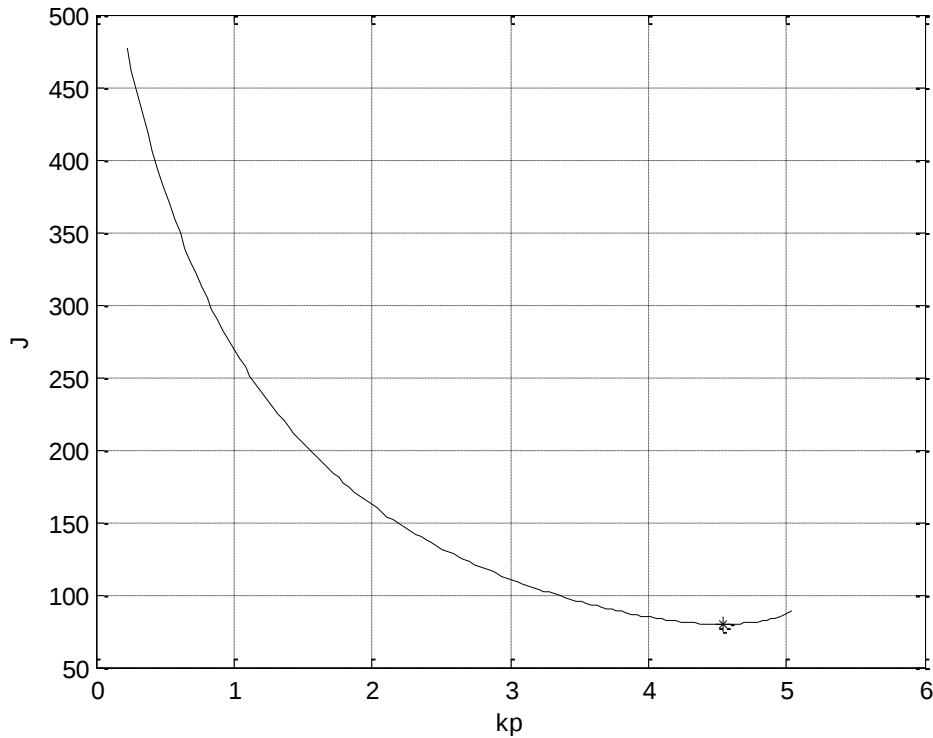


Рис. 3.5 Графік залежності другої інтегральної оцінки (J_2) від коефіцієнта передачі регулятора (K_p)

Отже, передавальна функція ПІД-регулятора має вигляд:

$$W_{ap}(p) = 4,54 + \frac{0,326}{p} + 5p$$

За отриманими параметрами налаштування ПІД-регулятора в бібліотеці *Simulink* складаю модель САР з оптимальними параметрами ПІД-регулятора (рис. 3.6) та досліджую її при стрибкоподібній зміні переміщення РО на 10% (рис. 3.7), при зміні завдання на 10 °С (рис. 3.8).

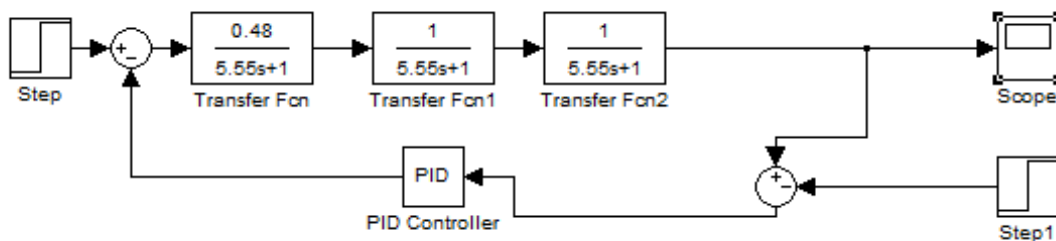


Рис.3.6.Структурна схема одноконтурної САР температури з ПІД-регулятором

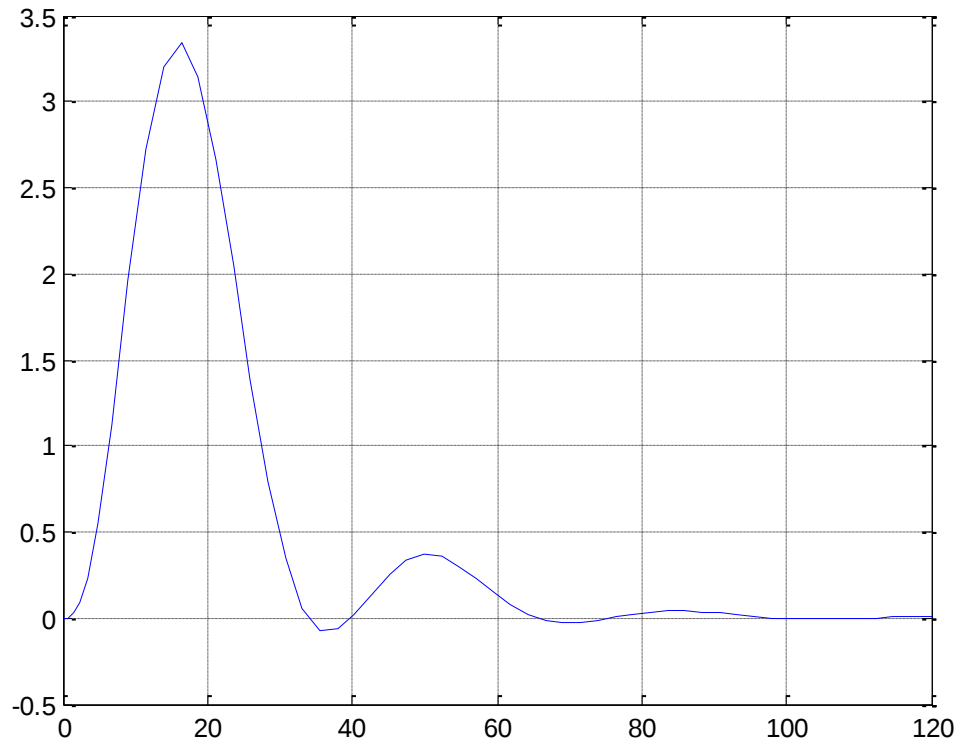


Рис.3.7. Графік перехідного процесу САР температури мийного розчину на виході теплообмінника 4, при стрибкоподібній зміні відкриття РО на 10% в паропроводі

З графіка перехідного процесу визначаємо показники якості:

Максимальне динамічне відхилення $A_1 = 3.34^\circ\text{C}$

Час регулювання $t_p = 24$ с.

Отже, робимо висновок, що САР з ПІД-регулятором задовольняє вимоги до якості регулювання.

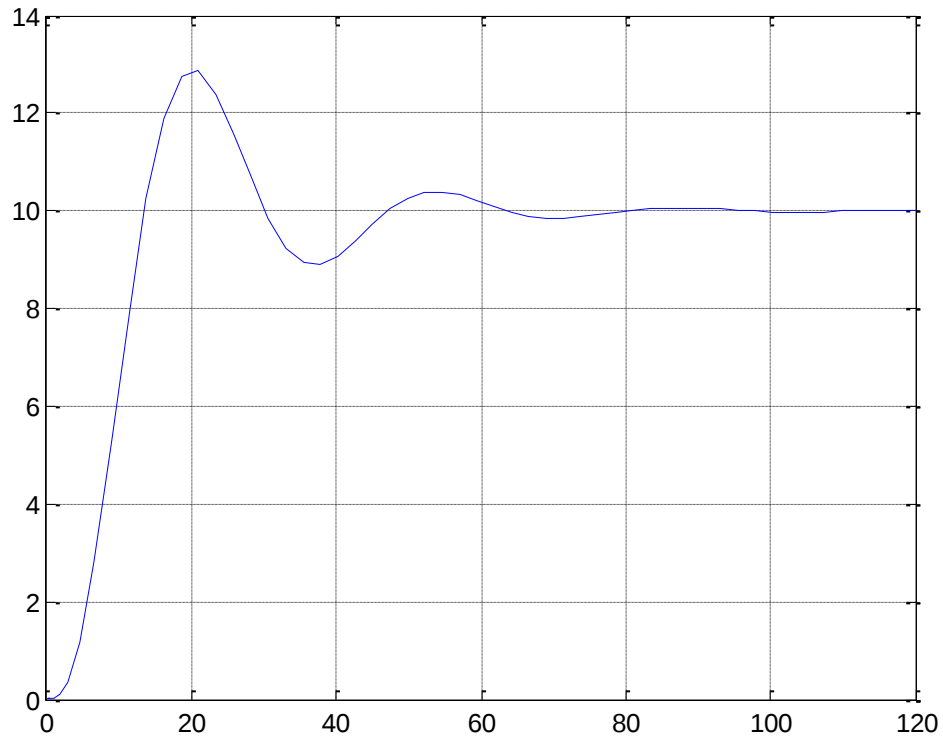


Рис.3.8 Графік перехідного процесу САР температури теплоносія на виході теплообмінника 4 з ПІД-регулятором при зміні завдання на 10°C

З графіка перехідного процесу робимо висновок, що при застосуванні ПІД-регулятора для даної САР при стрибкоподібній зміні температури теплоносія на виході з теплообмінника на 10°C будуть виконуватися вимоги по якості перехідного процесу.

Максимальне динамічне відхилення $A_1 = 1,3^{\circ}\text{C}$.

Час регулювання $t_p = 26$ с.

За експериментальною кривою розгону, отриманою стрибкоподібною зміною регулюючої дії на 10%, знайдена функція передачі об'єкта регулювання за допомогою функції `fminsearch` середовища Matlab.

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)^n} = \frac{0,48}{(5,55p + 1)^3}$$

Отримана модель є адекватною і зведена похибка апроксимації кривої розгону становить 2,79%.

На основі математичної моделі об'єкта регулювання методом розширених частотних характеристик розраховані оптимальні параметри налаштування ПІД – регулятора, що забезпечують мінімум другої інтегральної оцінки перехідного процесу за регулюючою дією. Передавальна функція ПІД-регулятора:

$$W_{ap}(p) = 4,5369 + \frac{0,326}{p} + 5p$$

В результаті дослідження САР температури за зміною відкриття РО збурення каналом регулюючої дії на 10% ходу РО, отриманий перехідний процес та визначені показники якості:

Час регулювання $t_p = 24$ с, що не перевищує допустимого значення – 90 с;

Максимальне динамічне відхилення $A_1 = 3,34^\circ\text{C}$, що не перевищує допустимого значення - 4°C .

При зміні заданого значення на 10°C , я отримав перехідний процес та визначив показники якості:

Час регулювання $t_p = 26$ с, що не перевищує допустимого значення - 90 с;

Максимальне динамічне відхилення $A_1 = 2,85^\circ\text{C}$, що не перевищує допустимого значення – 4°C .

Отже, досліджена САР повністю задовольняє вимоги по якості.

3.3. Опис функціональної схеми автоматизації

Основними контурами регулювання даної схеми автоматизації є контури регулювання температури та швидкості потоку рідини в системі миття ємностей.

Для вимірювання температури рідини до та після теплообмінника застосовано платинові термоперетворювачі опору типу ТСПУ-205 з номінальною статичною характеристикою 100 П діапазоном вимірювання температури від 0 -до 100°C . Оскільки вихідний сигнал контролера електричний, то перед виконавчими пневматичними механізмами (клапанами) типу LKB-W-51 фірми Alfa Laval необхідно встановити електро-

пневмоперетворювачі. Обираю електропневматичні реле фірми Samozzi Pneumax серії 808 з вхідним сигналом 4-20 мА, максимальним робочим тиском до 10 бар та діаметром умовного проходу 4 мм. Для даного процесу вибрано теплообмінник типу Tetra Spiraflo CIP&WaterHeater фірми TetraPak.

Регулювання потоку здійснює частотний перетворювач Danfoss 300 VLTFС, що змінює витрату речовини через відцентровий насос типу AlfalavalLKH-25. Номінальна продуктивність насосу 12 000 м³/год. Для вимірювання поточної витрати застосовано електромагнітним витратоміром Promag 50 HISOW63.5.

Вимірювання концентрації здійснюємо здавачем електричної провідності типу Smartec CLD132 Він вимірює електричну провідність речовини, що протікає в трубопроводі і на її основі виконує розрахунок її концентрації. Регулювання концентрації здійснюємо за допомогою дозувальних насосів для кислоти і для лугу фірми Bran&LuebbeDS 500, які в залежності від показів давача електропровідності вприскують, на стадії підготовки розчинів, концентрат відповідного компонента (лугу або кислоти).

Рівень рідини в ємностях миючих розчинів вимірюємо за допомогою електромагнітних реле рівня типуGems LS-1950. За положенням поплавка на визначеній висоті визначається значення рівня в ємностях з миючими розчинами.

Розглянемо принципові електричні схеми зовнішніх з'єднань контролера UnitronixVisionV570. Живлення контролера здійснюється напругою 24 В. До аналогового входу під'єднується давач електричної провідності. З метою уникнення його перевантаження мережевим струмом перед ним треба встановити запобіжник. На аналогові входи контролера заводимо також сигнали термперетворювачів опору та витратоміра.

До аналогових виходів необхідно також під'єднати дозувальні насоси концентратів кислоти та лугу, частотний перетворювач нагнітаючого насоса та електропневматичний перетворювач моделі 6116 регулюючого клапана Samson.

На дискретні входи підключаємо задавачі рівня в ємностях миючих розчинів, а також сигнал небезпеки з частотного перетворювача. До дискретних виходів підключаємо електропневматичні реле усіх дискретних клапанів системи. Схема основного модуля контролера з використанням модулем розширення зображена на рисунку 3.9.

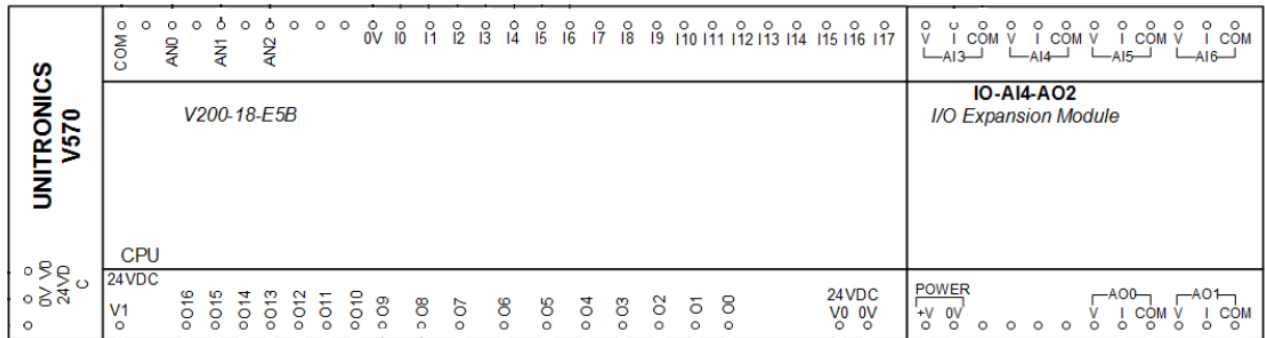


Рис. 3.9. Схема основного модуля контролера з використанням модулем розширення

Схема зовнішніх з'єднань блока живлення контролера зображена на рисунку 3.10. Модулі розширення також потребують окремого живлення на них. Він призначений для перетворення напруги змінного струму 220 В в постійний струм 24 В.

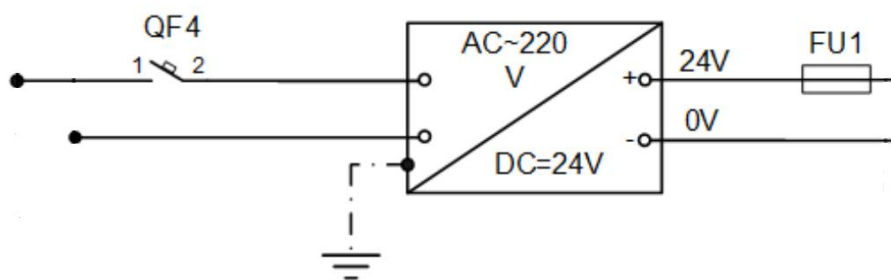


Рис. 3.10. Схема зовнішніх з'єднань блока живлення контролера

Під'єднання ТО з перетворювачем (рис. 3.11). Термоперетворювач опору під'єднується до перетворювача по 2-х, 3-х або 4-х провідній схемі. А перетворювач з уніфікованим вихідним сигналом - по 2-х провідній схемі.

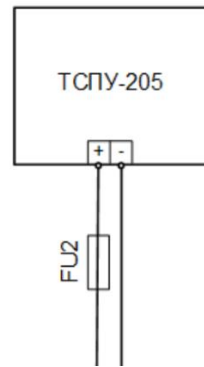


Рис. 3.11 Схема зовнішніх з'єднань термоперетворювача опору з уніфікованим вихідним сигналом

Під'єднання реле рівня показано на рисунку 3.12.

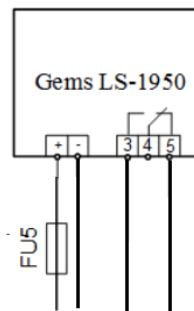


Рис. 6.4. Схема зовнішніх з'єднань реле рівня

Схема під'єднання регулюючого клапан з пневмоперетворювачем (рис. 3.13).

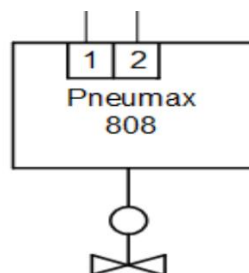


Рис. 3.13 Схема зовнішніх з'єднань пневмоперетворювача дискретно керованих клапанів

Електромагнітний клапан призначений для використання в агресивних середовищах. Клапан є нормально замкнутий, тобто відкривається при подачі на нього живлення.

Схема під'єднання датчика електричної провідності наведена на рисунку 3.14.

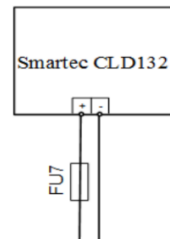


Рис. 3.14 Схема зовнішніх з'єднань давача електричної провідності

Давач електричної провідності вмикається по двопровідній схемі і під'єднується до аналогового входу контролера.

Схема зовнішніх з'єднань частотного перетворювача Danfoss VLTFC300 наведена на рисунку 3.15.

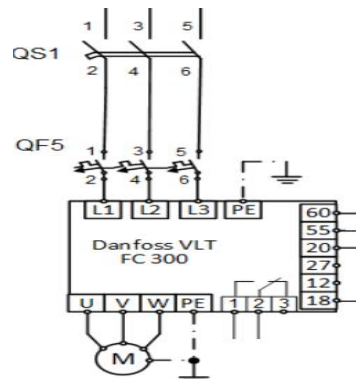


Рис. 3.15. Схема зовнішніх з'єднань частотного перетворювача Danfoss VLTFC300

Частотний перетворювач живиться від мережі 380 В.

Схема зовнішніх з'єднань електро-пневматичного перетворювача для регулюючого клапана Samson 6116 наведена на рис. 3.16.

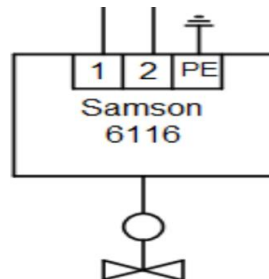


Рис. 3.16. Схема зовнішніх з'єднань електро-пневматичного перетворювача регулюючого клапана Samson 6116

3.4. Специфікація на засоби автоматизації

Специфікація на засоби автоматизації наведена в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

Специфікація на засоби автоматизації

№ п/ п	№ позиції	Назва параметр а	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип	К- ть
1	2	3	4	5	6
1	1-1 1-2	Витрата	Електромагнітний витратомір Діаметр DN 25 ... 2000 Похибка вимірювання $\pm 0.5\%$ $\pm 0.2\%$ (опція) Діапазон вимірювання 0... 150000 м ³ / год Вихідний сигнал 4-20 мА Має функції показу та реєстрації.	Promag 50 HISOW63. 5	1
2	1-3		Частотний перетворювач 3 х 200-240 В: 0,25 – 45 кВт 4-20 мА ПІ, ПІД регулювання, (50 $\pm$ 1) Гц змінного струму або 24($\pm$ 4) В постійного струму	Danfoss 300 VLTC	1
3	1-4		Відцентровий насос Живлення – трифазний змінний струм 220-240/380-420 V Частота – 50 Hz Потужність – 0.75 kW Діаметр робочого колеса – 250 мм	LKH-25	1
4	1-5... 1-17	Тиск ВМ на РО	20 мА Приєднання G 1/8 " Максимальний робочий тиск: 10 бар Робоча температура: -5 ... + 70 C Витрата при P1 = 6 бар: 520 нл / хв Умовний прохід: 4 мм	Pneumax се рії 808	13
5	4-1 ... 4-11		Двостулковий клапан з виконавчим механізмом, нормально закритий, з нормальним тиском продукту 0-1000 кПа; З силовим приводом з діапазоном тиску повітря 400-700 кПа	LKB-W-51	11

			Температурний діапазон від -25 до + 90 ° С.		
6	4-12 4-13		Двостулковий клапан , нормально відкритий, з нормальним тиском продукту 0-1000 кПа; З силовим приводом з діапазоном тиску повітря 400-700 кПа Температурний діапазон від -25 до + 90 ° С.	LKB-W-51	2
7	2-1 2-2 2-3 2-4	Температураріди ни	Термометр опору з термоперетворювачем уніфікованого вихідного сигналу Діапазон: -20 до +250 ° С. Основна похибка +/- 0,25 %	ТСПУ-205	2
8	2-5		Електро-пневматичний перетворювач	Samson 6116	1
9	2-6		Регулюючий клапан Samson 3372 Задаюча величина : 4-20 мА Тиск живлення: 0.5...6 бар Повне закриття: 4.08мА і менше Діапазон температури: -30...+90°C	Samson 3372	1
11	3-1	Концентрація речовини	Давач електричної провідності (робоча температура до 90 ° С)	Smartec CLD132	1
12	3-1 3-2		Дозувальний діафрагмовий насос фірми Bran&Luebbe	DS 500	2
13	4-1;4-2; 5-1;5-2; 6-1;6-2;	Рівень рідини	Електромагнітне реле рівня Gems Робочий тиск 30 бар Вага 125г Глибина занурення поплавка 30мм Робоча температура -40 ... +150°C	GemsLS-1950	3
14			Мікроконтролер Vision V570	V200-18-E5B	1
15			Модуль розширення 4 аналогові входи та 2 аналогові виходи	IO-AI4-AO2	1

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

Створення безпечної техніки і технології, комплексної механізації та автоматизації виробництва, а на їх основі забезпечення на всіх ділянках підприємства умов, що виключають виробничий травматизм, професійні захворювання і важка фізична праця – це основні напрямки охорони праці.

Конструкція системи мийки і її основних частин повинна забезпечувати надійність, монтажно- і ремонтпридатність, довговічність і безпеку експлуатації з розрахунковими параметрами протягом розрахункового періоду безпечної роботи мийки а також можливість проведення очищення, промивки, ремонту і експлуатаційного контролю металу.

Прийняті в проєкті рішення поавтоматизації технологічного процесу мийки вимагають виконання наступних видів робіт:

- монтаж первинних вимірювальних перетворювачів на обладнанні системи;
- встановлення щитів, пультів в операторських приміщеннях та на території виробничого приміщення;
- прокладка трубних проводок;

З огляду на необхідність виконання перелічених вищеробіт та з урахуванням роботи допоміжного обладнання та котлоагрегату можна виділити наступні потенційні небезпеки і шкідливості, які можуть загрожувати робітникам, які працюють на об'єкті:

- можливість отримання опіків різного ступеня (у випадку розриву трубопроводів із гарячою водою);
- падіння людини з висоти (у випадку пошкодження огорож, драбин чи перекриттів);
- можливість ураження електричним струмом (у випадку пошкодження ізоляції струмоведучих частин кабелів або при неправильному заземленні);

- дія термічних факторів (при надмірному перегріві виробничих і операторських приміщень);
- недостатнє освітлення і погіршення зору внаслідок постійної роботи операторів біля пультів оперативного управління;
- гіподинамія внаслідок недостатньої рухливості операторів, нервово-емоційне перенавантаження.

4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці

Забезпечення безпечних умов праці під час автоматизації технологічного процесу миття ємностей стерильної молочної продукції є важливою складовою підвищення ефективності та надійності виробництва. Згідно з Законом України "Про охорону праці", роботодавець зобов'язаний створити умови праці, що відповідають вимогам нормативно-правових актів з охорони праці та забезпечити дотримання працівниками правил техніки безпеки.

В даному розділі наводяться організаційні та технічні рекомендації, що ґрунтуються на положеннях таких нормативних документів:

- Закон України "Про охорону праці"
- Кодекс цивільного захисту України
- ДСТУ EN ISO 12100:2015 — Безпечність машин. Загальні принципи проєктування. Оцінювання ризиків та зниження ризику
- ДСН 3.3.6.042-99 — Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
- НПАОП 0.00-1.28-10 — Правила охорони праці для працівників харчової промисловості
- ПУЕ (Правила улаштування електроустановок)
- НПАОП 40.1-1.32-01 — Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

У процесі автоматизованого миття ємностей можуть виникати наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні фактори:

- Висока температура миючих розчинів (до 80–90 °C) — ризик опіків.
- Гаряча пара — термічне ураження.
- Підвищений рівень шуму обладнання — перевищення допустимого рівня 80 дБ.
- Можливі вібрації насосів та приводів.
- Слизька підлога через витік розчинів — ризик падіння.

2. Хімічні фактори:

- Концентрований луг (NaOH) і кислота (HNO₃, H₃PO₄) — ризик хімічних опіків, ураження слизових оболонок.
- Пари миючих засобів — токсичний вплив на дихальні шляхи.
- Залишки миючих речовин на обладнанні — контактне подразнення шкіри.

3. Електричні фактори:

- Ураження електричним струмом при недотриманні правил експлуатації контролера, приводів, щитового обладнання.

4. Психофізіологічні фактори:

- Монотонність або надмірна складність при обслуговуванні систем автоматизації.
- Перевантаження при одночасному контролі декількох процесів.

Організаційні заходи безпеки:

- Проведення первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.12-05.
- Розробка інструкцій з охорони праці, технологічних інструкцій та схем дій у надзвичайних ситуаціях.
- Призначення відповідальних осіб за безпечну експлуатацію автоматизованого обладнання.
- Забезпечення журналу обліку інструктажів, планів евакуації та пожежних тренувань.

- Регламентация періодичних медичних оглядів працівників, які працюють з хімічними речовинами.

Технічні заходи безпеки:

- Встановлення датчиків температури, тиску, витоку миючих розчинів з автоматичним аварійним вимкненням.
- Застосування автоматичних запобіжних клапанів для уникнення перевищення тиску.
- Монтаж системи заземлення та захисного відключення (УЗО) електрообладнання згідно з ПУЕ.
- Застосування корозійностійких матеріалів та герметизації вузлів, що контактують із хімічними речовинами.
- Розміщення вентиляційної системи примусової витяжки для усунення парів кислот та лугів.
- Оснащення системи аварійним стопом із пріоритетним керуванням.
- Використання вологонепроникних шаф керування.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до ДСТУ EN ISO 13688:

Таблиця 4.1

Призначення засобів індивідуального захисту

Засіб захисту	Призначення
Хімістійкі рукавиці	Захист від лугів і кислот
Захисні окуляри або щитки	Захист очей від бризок
Кислотостійкий фартух або комбінезон	Захист тулуба та ніг
Протиковзне взуття	Уникнення травмування через падіння
Респіратори (тип FFP2 або FFP3)	Захист дихальних шляхів від парів

4.3. Пожежна безпека

Пожежна безпека на підприємстві, де здійснюється автоматизований технологічний процес миття ємностей стерильної молочної продукції, має надзвичайно важливе значення, адже поєднання електроустаткування,

нагрівальних елементів, хімічних мийних речовин та води створює потенційно небезпечне середовище. Насамперед, слід розуміти, що хоча мийні речовини самі по собі можуть не бути легкозаймистими, вони можуть вступати у хімічні реакції або спричиняти перегрів обладнання, утворення газів, що за певних умов можуть призвести до займання чи вибуху. Особливо це стосується лугів і кислот, які при контакті із залишками органіки або при надмірному нагріві можуть активізувати небажані процеси. Також надмірне накопичення пари або недостатня вентиляція підвищують ризик виникнення коротких замикань і виходу з ладу електроприладів.

Електричні шафи керування, блоки живлення, контролери, перетворювачі частоти та інші пристрої, що використовуються у системі автоматизації, повинні бути встановлені в герметизованих, вогнестійких корпусах із належним заземленням. Будь-яке обладнання, що працює під напругою, зокрема мікропроцесорні контролери, повинне бути підключене через пристрої захисного вимкнення (УЗО) та автоматичні вимикачі. Кабелі живлення повинні бути вогнестійкими, прокладеними у вогнетривких коробах або трубах, а всі стики – надійно ізольовані.

Окремо слід звернути увагу на приміщення, де безпосередньо відбувається миття ємностей. Там повинна бути ефективна система примусової вентиляції, що забезпечує постійний відтік парів та надлишкової вологи, адже скупчення гарячого повітря й пари в закритому приміщенні може призвести до утворення середовища, яке сприяє загорянню. Крім того, не менш важливою є наявність системи аварійного знеструмлення, розташованої в легкодоступному місці. Це дає змогу у разі задимлення, загоряння чи витoku хімічних речовин швидко зупинити процес і уникнути розповсюдження вогню.

Усі приміщення мають бути оснащені первинними засобами пожежогасіння — вогнегасниками, які відповідають класу можливих загорянь. Зокрема, доцільним є встановлення порошкових вогнегасників (маркування ВСЕ), які ефективні як для електрообладнання, так і для загальних технологічних зон. Вогнегасники мають бути встановлені на висоті не більше

1,5 метра від підлоги у помітних місцях з відповідними вказівниками. Крім цього, повинні бути наявні пожежні щити з комплектом засобів: совок, лопата, відро, пісок, вогнегасник. У разі потреби — пожежні крани з рукавами.

Також необхідно передбачити наявність системи візуального і звукового оповіщення про пожежу. Сигналізація повинна бути підключена до системи централізованого моніторингу або автономної протипожежної системи. Кожен працівник повинен бути навчений правилам поведінки при пожежі, знати шляхи евакуації, вміти користуватися вогнегасниками. План евакуації має бути розміщений біля виходів, із зазначенням напрямків руху, позначенням місця розташування працівника та засобів пожежогасіння.

Усі працівники, які перебувають у виробничій зоні, зобов'язані проходити інструктаж з пожежної безпеки: первинний — перед початком роботи, повторний — не рідше ніж один раз на 6 місяців, а також позаплановий у разі змін у технології, переналаштування обладнання, чи виникнення аварійних ситуацій. Факт проведення інструктажу фіксується у відповідному журналі.

Пожежна безпека — це не лише технічні заходи, а й культура виробництва. Забороняється використовувати відкритий вогонь, курити на робочому місці, зберігати легкозаймисті речовини поза межами спеціальних приміщень або ємностей. Зберігання миючих концентратів має відбуватись у відповідній тарі з маркуванням, у провітрюваних шафах або ізольованих кімнатах. Не можна також перевантажувати електромережу, використовувати несертифіковане обладнання або саморобні подовжувачі.

Таким чином, система пожежної безпеки повинна базуватися на принципі попередження займання шляхом контролю усіх потенційно небезпечних факторів — хімічних, електричних, температурних і людських. Тільки поєднання технічної оснащеності, постійного контролю, навчання персоналу та організованості дій у надзвичайній ситуації забезпечує реальну пожежну безпеку на виробництві.

5. ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для розрахунку витрат на впровадження спроектованої схеми автоматизації складаємо кошторис на придбання, транспортування і монтаж контрольно-вимірювальних приладів.

Вартість монтажних робіт складається з витрат на матеріали, енергію, основну і додаткову заробітну плату і накладні витрати. Транспортні витрати становитимуть 25 % від вартості КВПіА.

Таблиця 5.1:

Кошторис витрат на автоматизацію

№ з/п	Назва приладу	Тип приладу	К-сть (шт.)	Вартість, грн.		
				одиниці	монтажу одиниці	повна
1	2	3	4	5	6	7
1	Витратомір	Promag 50H ISO W63.5	1	4800	300	5100
2	Частотний перетворювач	Danfoss VLTFC	1	4300	400	4700
3	Відцентровий насос	LKH-25	1	3210	250	3460
4	Пневмореле	Pneumax 808	14	535	50	8190
5	Двостулковий клапан	LKB-W-51	14	650	80	10220
6	Термометр опору	ТСПУ-205	2	550	60	1220
7	Регулюючий клапан з Е/Р перетворювачем	Samson 3372	1	1100	80	1180
8	Теплообмінник	Tetra Spiraflo CIP & Water Heater	1	400000	25000	425000
9	Датчик провідності	CLD132	1	3455	350	3805
10	Дозувальний насос	DS 500	2	5300	300	11200
11	Реле рівня	LS-1950	3	460	120	1740
12	Мікроконтролер	V200-18-E5B	1	18670	1200	19870
13	Модуль розширення мікроконтролера	ІО-AI4-AO2	1	3240	120	3360
	Разом			446270	28310	499045

Отже, кошторис витрат на автоматизацію буде: К=499045 грн.

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Відрахування на амортизацію визначаємо за балансовою вартістю основних фондів (КВПіА), які беруть участь в автоматизації, та норм амортизації. Норми амортизації складають 40% від загальної вартості автоматизації (табл.5.2.).

Таблиця 5.2.

Розрахунок річної суми амортизаційних відрахувань

№з/п	Прилади	Повна вартість, грн.	Норма амортизації, %	Річна сума амортизації, грн.
1	2	3	4	5
1	Разом	499045	40	199618

Розрахунок впливу автоматизації на техніко-економічні показники

Впровадження автоматизації веде до змін техніко-економічних показників виробництва. Визначаємо напрямки розрахунку економії від впровадження автоматизації, показати, які показники впливають на економічну ефективність автоматизації: за рахунок зниження витратних коефіцієнтів сировини, допоміжних матеріалів, палива, енергії; збільшення виробничої потужності; зниження трудомісткості обслуговування; підвищення якості продукції тощо.

Після автоматизації на 1т продуктивності (12т/год) економія електроенергії становить 0,5 кВт·год.

За рік (365 днів) продуктивність установки буде:

$$12 \text{ т/год} \cdot 8760 \text{ год} = 105120 \text{ т/рік}$$

Отже, економія електроенергії за рік буде:

$$105120 \cdot 0,5 = 52560 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

А економія затрат становитиме:

$$E_1 = 52560 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \cdot 1,8 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} = 94608 \text{ грн}$$

Оскільки до автоматизації кількість основних робітників складала чотири особи в зміну, а після автоматизації достатньо буде двох операторів в зміну, економія по заробітній платі за рахунок зниження кількості обслуговуючого персоналу буде:

$$E_3 = 3_{\text{роб}} \cdot 12 \cdot 2 \cdot n = 4800 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 2 = 230400 \text{ грн/рік}$$

де $Z_{\text{роб}}$ – місячна зарплата одного працівника, грн./міс;

n – кількість змін

Сумарна економія дорівнює:

$$E_c = E_1 + E_3 = 94608 + 230400 = 325008 \text{ грн}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат на автоматизацію

До експлуатаційних витрат на автоматизацію належать:

А) Енергозатрати на живлення і засобів автоматизації.

Таблиця 5.3.

Розрахунок витрат електроенергії

№	Назва приладу	Потужність приладу, Вт	К-сть приладів, шт.	Загальна потужність, Вт	К-сть год. роботи на рік. год.	Витрати ел. енергії в рік. кВт.год
1	2	3	4	5	6	7
1	Promag 50	9	1	9	3000	27
2	LKH - 25	100	1	100	3000	300
3	Danfoss VLT	1000	1	1000	3000	3000
4	LKB-W-51	1.8	13	23.4	3000	70.2
5	ТСПУ - 205	15	2	30	3000	90
6	Samson 3372	1,8	1	1.8	3000	5.4
7	LKH-25	750	1	750	3000	2250
8	Smartec CLD132	15	1	15	3000	45
10	DS 500	500	2	1000	3000	3000
11	V200-18-E5B	150	1	150	3000	450
12	IO-AI4-AO2	150	1	150	3000	450
	Разом	9694,6				

Сумарна витрата електроенергії на живлення засобів автоматизації:

$$\Sigma = 9694,6 \text{ кВт.год на рік}$$

Вартість спожитої енергії буде:

$$Z_1 = 9694,6 \cdot 1.8 = 17450.28 \text{ грн на рік.}$$

Б) Витрати на утримання прийнятих робітників на обслуговування КВПіА: $Z_2 = Z_{\text{роб}} \cdot 12 \text{ міс} \cdot 1 \cdot n = 4800 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 2 = 230400 \text{ грн/рік}$

де n – кількість змін.

В) Амортизаційні витрати:

$$З_3 = 199618 \text{ грн}$$

Г) Витрати на охорону праці знову прийнятих робітників на обслуговування КВПіА:

$$З_4 = 5000 \text{ грн/рік}$$

Д) Витрати на ремонт КВПіА:

$$З_5 = 10000 \text{ грн/рік}$$

Г) Єдиний соціальний внесок:

$$З_{\text{есв}} = 0,22 \cdot З_2 = 0,22 \cdot 230400 = 50688$$

Експлуатаційні витрати складуть суму всіх витрат:

$$З_e = З_1 + З_2 + З_3 + З_4 + З_5 + З_{\text{есв}} = 512756 \text{ грн/рік}$$

Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

А) Річний економічний ефект визначаємо по формулі:

$$E_p = E_{\text{заг}} - K \cdot E_n = 187540 - 139732 = 47808 \text{ грн.}$$

$E_{\text{заг}}$ – загальна умовно-річна економія за рахунок різноманітних джерел визначається по формулі:

$$E_{\text{заг}} = E_c - З_e = 280857,6 - 163317,6 = 187540 \text{ грн.}$$

де E_i – економія за рахунок і-го джерела (палива, енергії, матеріалів, зарплати).

K – капітальні витрати на автоматизацію (згідно кошторису).

E_n – коефіцієнт ефективності ($E_n = 0,38$).

$З_e$ – експлуатаційні затрати на автоматизацію.

Б) Термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_{\text{заг}}} = \frac{499045}{117540} = 2.66 \text{ роки.}$$

В) коефіцієнт економічної ефективності :

$$E = \frac{1}{T_{\text{ок}}} = \frac{1}{2.66} = 0,38$$

Таблиця 5.4.

Основні техніко-економічні показники

№	Показник	Одиниці вимірювання	Величина
1	2	3	4
1	Витрати на амортизацію.	грн.	199168
2	Чисельність робітників в день (1 зміна).	чол.	2
3	Середньорічна заробітна плата на одного робітника.	грн.	65200
4	Річний економічний ефект.	грн.	2759,62
5	Термін окупності.	рік.	2.66
6	Коефіцієнт економічної ефективності.		0,38

ВИСНОВКИ

Розроблено систему автоматизації мийки танків для обробки стерильної продукції, наведений огляд технологічного процесу роботи системи мийки AISCIP 10, розроблено оптимальну схему автоматизації процесу мийки танків для обробки стерильної продукції.

Основними параметрами, які необхідно регулювати в даному технологічному процесі, є температури миючих розчинів, їх витрати в контурі миття. Вхідними параметрами є потужність нагнітаючого насоса, а також витрата пари. Збурюючими величинами, що впливають на хід процесу є температура водопровідної води, температура теплоносія, рівень рідини в ємностях миючих розчинів та в балансній ємності системи. Вихідними параметрами даного процесу є температура води полоскання; температура миючого розчину кислоти; температура миючогорозчину лугу; витрата миючогорозчину;

Контролюються та вимірюються такі параметри процесу: потік матеріальних потоків в трубопроводі; температура миючого розчину перед теплообмінником; температура миючого розчину після теплообмінника; концентрація миючих розчинів. Регулюванню підлягають такі параметри: температура після теплообмінника; потік миючих засобів в трубопроводі; рівень в балансній ємності; рівень в ємності суміші кислоти; рівень в ємності суміші лугу; рівень в ємності використаної води; концентрація сумішей миючих розчинів. Сигналізації підлягають такі параметри: витрата миючих засобів після нагнітаючого насоса; температура миючих засобів після теплообмінника; рівень в баланій ємності; рівень в ємності суміші кислоти; рівень в ємності суміші лугу; рівень в ємності використаної води; концентрація миючих розчинів.

Для автоматизації даної системи використовуються мікропроцесорний контролер Vision V570 фірми Unitronics. Розроблена програма реалізації контролера в системі мийки, мнемосхема технологічного процесу та

принципова електрична схема зовнішніх під'єднань мікропроцесорного контролера із вибраними засобами автоматизації.

Проведено розрахунок та моделювання системи регулювання температури миючих продуктів на виході з системи мийки та на вході в об'єкт мийки.

В результаті дослідження САР температури визначені показники якості:
Час регулювання $t_p=24$ с, що не перевищує допустимого значення – 90 с;
Максимальне динамічне відхилення $A_1= 3,34^{\circ}\text{C}$, що не перевищує допустимого значення - 4°C .

При зміні заданого значення на 10°C , я отримав перехідний процес та визначив показники якості:

Час регулювання $t_p=26$ с, що не перевищує допустимого значення - 90 с;
Максимальне динамічне відхилення $A_1= 2.85^{\circ}\text{C}$, що не перевищує допустимого значення – 4°C .

Передбачено заходи з охорони праці при роботі з системою та профілактичні засоби для забезпечення оптимальних умов її роботи і проведено також розрахунок економічної доцільності спроектованої системи автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Автоматизація виробничих процесів/ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський О.К., Лящук О.Л .- Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011.- 344 с.
3. Безвесільна О.М.. Толочко Т.О. "Технічні засоби автоматизації: навчальний посібник". – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.
4. Бурау Н. І., Півторак Д. О. "Теорія автоматичного управління: практикум". – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 57 с.
5. Батрак В. Г., Стукало В. М. Автоматизація технологічних процесів: навч. посібник. – Київ: Каравела, 2016. – 320 с.
6. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
7. Грінберг Л. М., Коган В. І. Автоматизація технологічних процесів харчової промисловості. – К.: Вища школа, 2016. – 320 с.
8. ДСТУ EN ISO 13849-1:2019. Безпека машин. Частина систем управління, пов'язані з безпекою.
9. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-XII. – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
10. Каталог продукції Endress+Hauser. Витратоміри серії Promag. – 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.endress.com>
11. Каталог технічних рішень Danfoss. Частотні перетворювачі серії VLT. – 2022. – [Електронний ресурс]. – <https://www.danfoss.com>
12. Каталог Alfa Laval. Клапани, насоси та теплообмінне обладнання. – 2022. – <https://www.alfalaval.com>
13. Ковальчук М. О. Моделювання і проектування САР у харчовій промисловості: навч. посіб. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – 180 с.
14. Леонтьєв О. Є. "Теорія автоматичного керування: навчальний посібник". – Суми: Сумський державний університет, 2024.
15. Наказ Держгірпромнагляду № 21 від 01.02.2005 р. "Правила охорони праці для працівників молочної промисловості".
16. Наказ МНС № 1417 від 30.12.2014 "Правила пожежної безпеки в Україні". – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-1>
17. Нелінійні та дискретні системи автоматичного керування. Курс лекцій : навчальний посібник / укладачі : Б. І. Приймак. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.

18. Пархоменко І. В. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. – Харків: ХНАМГ, 2020. – 234 с.
19. Пономаренко М. П., Назаренко А. О. Основи проектування автоматизованих систем керування. – К.: Либідь, 2020. – 244 с.
20. Сидоренко В. В. Основи автоматизації технологічних процесів. – Львів: Новий світ–2000, 2021. – 276 с.
21. IEC 61511-1:2016. Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements.
22. Samson AG. Контрольні клапани з електропневматичними перетворювачами. – Технічна документація. – 2021. – <https://www.samson.de>
23. VisiLogic Programming Software Help File. Unitronics Ltd. – 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unitronicsplc.com/software-visilogic-for-v570/>