МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ ТА СИСТЕМ КЕРУВАННЯ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської кваліфікаційно роботи на тему:

Автоматизація процесу пастеризації та охолодження пива

Студент групи АВ-43 (шифр) Стецула Микола Миколайович (прізвище, ім'я та по батькові)

Керівник роботи: _____ (підпис) / Ігор Ділай / (ім'я та прізвище)

Консультанти _____ (підпис) / Ігор Костик / (ім'я та прізвище)

_____ (підпис) / Ганна Крих / (ім'я та прізвище)

_____ (підпис) / Юрій Кіт / (ім'я та прізвище)

_____ (підпис) / Наталія Михайлик / (ім'я та прізвище)

Завідувач кафедри: _____ (підпис) / Федір Матіко / (ім'я та прізвище)

Львів 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Інститут *ІЕСК* Кафедра *АВКТ*

Спеціальність *151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”*

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри АВКТ:

д.т.н., проф. Федір МАТІКО

“___”_____20___р.

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Стецула Микола Миколайович

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи *Автоматизація процесу пастеризація та охолодження пива*
Затверджена наказом по університет від “___”_____2025 р., №_____
2. Термін подання студентом закінченої роботи “___”_____2025 р.
3. Вихідні дані до роботи:
1. Технологічна схема
2. Опис технологічного процесу
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які належить розробити):
Вступ
1. Аналіз технологічного процесу, як об’єкта керування
2. Техніко-економічне обґрунтування функціональної схеми автоматизації
3. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації
4. Розроблення та опис розгорнутої функціональної схеми автоматизації
5. Програмне забезпечення системи автоматизації
6. Принципові електричні схеми з’єднань засобів автоматизації
7. Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання температури
8. Охорона праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації
9. Обґрунтування економічної доцільності впровадження системи автоматизації
Висновки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначення обов’язкових креслень):
1. Функціональна схема автоматизації
2. Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації
3. Принципова електрична схема з’єднань засобів автоматизації
4. Моделювання системи автоматичного регулювання ..

6. Консультанти роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Мікропроцесорних програмних засобів автоматизації	*ст. викл. Костик І.В.*		
Моделювання	*доц. Крих Г.Б.*		
Охорони праці	*доц. Кіт Ю.В.*		
Економіки	*доц. Михайлик Н.І.*		

7. Дата видачі завдання: *19 травня 2025 р.*

Керівник роботи: _____ Ігор Ділай
(підпис) *(ім'я, прізвище)*

Завдання прийняв до виконання: _____ Микола Стецула
(підпис) *(ім'я, прізвище)*

Календарний план

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

Студент: _____ Микола Стецула
(підпис) *(ім'я, прізвище)*

Керівник роботи: _____ Ігор Ділай
(підпис) *(ім'я, прізвище)*

Анотація

Пояснювальна записка до бакалаврської кваліфікаційно роботи містить 95 сторінок, 45 рисунків, 15 таблиць.

Об’єктом дослідження є процес пастеризації та охолодження пива.

Предметом дослідження – система автоматичного керування процесом пастеризації та охолодження пива.

Метою роботи є розроблення системи автоматизації процесу пастеризації та охолодження пива з урахуванням вимог до якості регулювання, енергоефективності та безпеки праці.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи проаналізовано технологічний процес пастеризації та охолодження пива, обґрунтовано вибір функціональної схеми автоматизації, технічних засобів і мікропроцесорного програмованого логічного контролера Modicon M340. Розроблено алгоритми та програмне забезпечення мікропроцесорного засобу, спроектовано принципові електричні схеми з’єднань.

Проведено моделювання одного з контурів – регулювання температури пива на виході з пастеризатора. За результатами моделювання отримано передавальну функцію об’єкта керування та визначено оптимальні параметри налаштування регулятора для забезпечення показників якості перехідного процесу. Розглянуто заходи з охорони праці та проведено розрахунок економічної доцільності впровадження автоматизованої системи.

Annotation

The explanatory note of the bachelor's qualification work contains 95 pages, 45 figures, 15 tables.

The object of the study is the beer pasteurization and cooling process.

The subject of the study is the automatic control system for the beer pasteurization and cooling process.

The aim of the work is to develop an automation system for the beer pasteurization and cooling process, taking into account quality control requirements, energy efficiency, and occupational safety.

As a result of the qualification work, the beer pasteurization and cooling process was analyzed, a functional automation scheme and technical means were substantiated, and a Modicon M340 microprocessor-based programmable logic controller was selected. Control algorithms and software for the microprocessor device were developed, and the principal electrical connection diagrams were designed.

Simulation of one of the control loops – the beer temperature control at the pasteurizer outlet – was carried out. Based on the simulation results, the transfer function of the control object was obtained, and optimal controller tuning parameters were determined to ensure the desired transient process quality. Occupational safety measures were considered, and the economic feasibility of implementing the automated system was calculated.

Зміст

ВСТУП

Сьогодні тривалість людського життя досягла найвищого рівня, і значне покращення якості продуктів харчування відіграло важливу роль у досягненні цього. Різні процеси обробки продукту під час виробництва роблять його не тільки безпечнішим для споживача, а і зменшують кількість факторів, що призводять до його псування. Одним із таких процесів є процес пастеризації.

Пастеризація пива – це підвищення температури напою на короткий проміжок часу до температури, яка призводить до знищення як хвороботворних, так і корисних мікроорганізмів людському організму. Під час пастеризації напої стерилізують. Це відбувається в пристрої, який називають пастеризатором.

У виробництві пива застосовують чотири типи пастеризаторів:

Занурювальні - це пастеризатори на водяній бані, які використовують систему електричного підігріву води для нагрівання наповнених і закритих пляшок до бажаної температури пастеризації.

Камерні - пастеризатори, які виконані у вигляді шафи. Наповнені та закриті пляшки поміщають в камеру, рівень температури та тривалість можна програмувати за допомогою цифрової панелі, також можна регулювати як час нагрівання, так і охолодження пляшок.

Проточні – це пристрої, в яких пастеризацію виконують перед подачею пива в машину розливу методом короткочасної теплової обробки в потоці при високому тиску з подальшим охолодженням до температури розливу.

Тунельні – в яких пляшки відправляють через спеціальний ізольований тунельний конвеєр, в якому їх обробляють гарячою водою у три етапи (підігрів, пастеризація, охолодження). Під конвеєром є ванни з водою. Під час підігрівання та охолодження здійснюється регенерація теплової енергії. Швидкість конвеєра регулюється, автоматично підтримується температура пастеризації.

Для того, щоби забезпечити кращий контроль і дотримання вимог технології процесу, застосовують автоматичні системи керування технологічним процесом. Вони значно підвищують ефективність та надійність процесів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технологічного процесу пастеризації та охолодження пива

Пастеризація – це відносно м'яка теплова обробка, при якій продукт нагрівають до температури нижче 100 °С. У продуктах з низькою кислотністю її використовують для зменшення ризиків для здоров'я від патогенних мікроорганізмів і для продовження терміну зберігання продуктів на кілька днів. У кислих продуктах її використовують для продовження терміну зберігання на кілька місяців завдяки знищенню мікроорганізмів, які викликають псування. В обох типах продуктів зміни смакових характеристик або харчової цінності мінімальні [1].

Також варто відмітити, що процес пастеризації – це критичний етап у виробництві пива, який забезпечує довготривале зберігання вихідного продукту (пива). Пастеризація знищує шкідливі мікроорганізми, а охолодження забезпечує стабільність продукту. При правильному виконанні ці процеси дають можливість отримати пиво тривалого терміну зберігання.

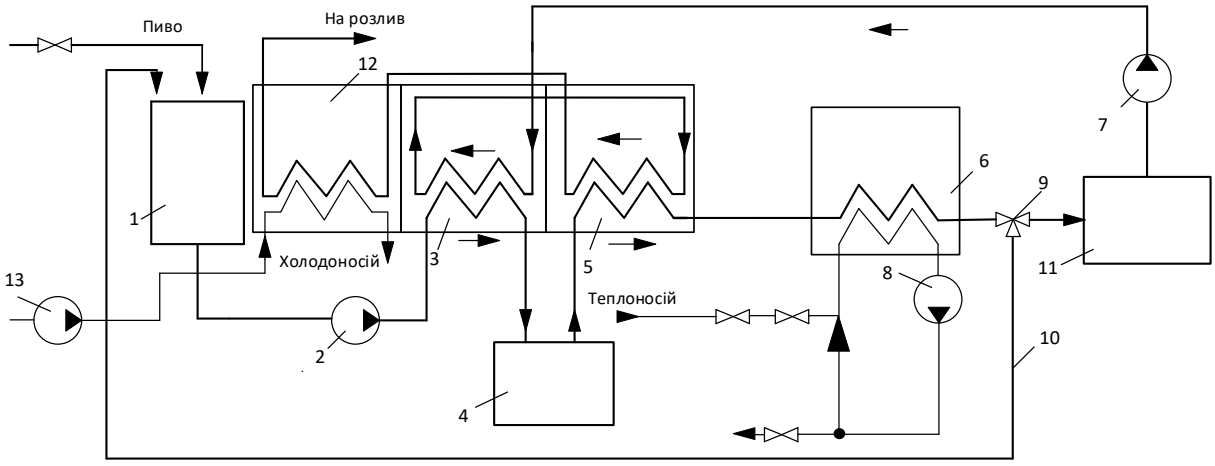


Рисунок 1.1 Технологічна схема пастеризаційно-охолоджувальної установки А1-ОКЛ5

де 1 – зрівняльний бак; 2, 7 – насоси для пива; 3, 5 – перша і друга секції регенерації; 4 – відцентрований очисник; 6 – секції пастеризації;; 8 – насос теплоносія; 9 – перепускний клапан; 10 – лінія повернення недопастеризованого пива; 11 – витримувач; 12 – секція охолодження; 13 – насос холодоносія.

Пиво подається в пастеризаційно-охолоджувальну установку до зрівняльного баку-1, а звідти, за допомогою насосу-2 воно проходить через першу

секцію регенерації-3, після якої фільтрується за допомогою відцентрового очисника -4. Після цього, проходить другу секції регенерації(5), де нагрівається від попередньо пастеризованого пива. Це робить теплообмінник максимально енергоефективним для компенсації зростаючих витрат на енергію та зменшує вплив навколишнього середовища. Звідти пиво потрапляє до секції пастеризації-6, де нагрівається за допомогою циркуляції гарячої води до температури 72-75 °С. Гаряча вода циркулює завдяки насосу-8. Якщо температура пива недостатньо висока, триходовий клапан-9 спрямовує продукт назад у початковий резервуар по лінії повернення недопастеризованого пива-10 для повторної обробки. Якщо температура достатня, то пиво потрапляє до витримувача-11, а звідти завдяки насосу-7 продовжує свій шлях через систему, цього разу проходячи протилежні боки секцій регенерації-3,5 для попереднього нагрівання непастеризованого продукту. Після цього пиво охолоджується, в секції охолодження-12, до температури 4-8 °С і подається на розлив. Для охолодження використовують холодну воду яка подається за допомогою насосу-13 [2].

1.2 Аналіз факторів, що впливають на перебіг технологічного процесу

Ключові фактори, які впливають на технологічний процес: зміна температури речовини, тривалість обробки, швидкість потоку, тиск та склад продукту. Під час пастеризації важливо підтримувати температури в потрібних межах, для того щоби процес був ефективний та не погіршувалась якість продукту. При охолодженні також необхідно забезпечити необхідну температуру для забезпечення стабільності продукту та запобігання росту мікроорганізмів.

Тривалість обробки також має велике значення у пастеризації: недостатній час не забезпечить знищення всіх мікроорганізмів у пиві, що призведе до його швидкого псування, тоді як надмірний час може негативно вплинути на смакові якості продукту. Важливою є і швидкість потоку пива через установку, яка визначає рівномірність обробки та ефективність теплообміну, а підвищений тиск всередині об’єкту запобігає кипінню пива при високих температурах.

Склад продукту теж дуже важливий, оскільки вміст алкоголю, екстрактів та інших компонентів впливають на теплопровідність, і відповідно, на ефективність процесів теплообміну.

Збільшення витрати та температури гарячої води зумовлює збільшення швидкості пастеризації пива. Проте не можна значно збільшувати ці показники, оскільки зменшиться час пастеризації пива, що призведе до погіршення його смаку. Отже, треба підібрати таку температуру та витрату води, щоби знищити всі шкідливі мікроорганізми, але не зіпсувати якість пива.

Також важливими параметрами є температура холодної води та її витрата. Вони впливають на час охолодження, а отже, і на кінцеву температуру пива. При збільшенні цих параметрів, зменшиться час охолодження пива. Але час не можна значно зменшувати, оскільки це призведе до збільшення кількості мікроорганізмів і погіршення стійкості продукту.

Врахування всіх факторів і ефективні способи їх контролю, покращить стабільність і якість процесу пастеризації та охолодження пива, ризики будуть зведені до мінімуму, а загальна продуктивність зросте.

1.3 Матеріальний та тепловий баланс технологічного об’єкта

Матеріальний баланс відображає кількість матеріальних потоків, що входять і виходять з процесу. Для процесу пастеризації та охолодження пива основними складовими є саме пиво, гаряча і холодна вода. Тепловий баланс в свою чергу враховує кількість тепла, необхідного для пастеризації пива, та тепловідведення для його охолодження. Установка яку розглядаю, має продуктивність 10000 літрів пива за годину.

Матеріальний баланс пива визначається за формулою:

$$F_{\text{вх}} = F_{\text{вих}} - F_{\text{сеп}}, \tag{1.1}$$

де $F_{\text{вх}}$ – кількість пива на вході в установку

$F_{\text{вих}}$ – кількість пива на виході

$F_{\text{сеп}}$ – кількість осаду на сепараторі

Загальна формула для теплового балансу:

$$Q_{\text{наг}} = Q_{\text{ох}}, \quad (1.2)$$

де $Q_{\text{наг}}$ – тепло, що необхідне для нагрівання пива до потрібної температури;

$Q_{\text{ох}}$ – тепло, що виділяється при охолодженні пива до потрібної температури

Для того, щоб знайти кількість тепла необхідного для нагрівання пива скористаємось формулою:

$$Q_{\text{наг}} = c \cdot m \cdot \Delta t, \quad (1.3)$$

де c – питома теплоємність пива яка рівна

m – маса пива

Δt – різниця температури пастеризації та початкової температури пива

Кількість тепла, що виділяється при охолодженні пива [2] знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{ох}} = c \cdot m \cdot \Delta t. \quad (1.4)$$

1.4 Обґрунтування номінальний значень параметрів технологічного процесу та їхніх допустимих відхилень

Ключовими для забезпечення стабільності і якості продукції є встановлення номінальних значень і допустимих відхилень. Це включає статичний контроль процесу, експериментальні дослідження та моделювання. Автоматизація процесу допомагає підтримувати ці параметри в межах допустимих значень, забезпечуючи ефективність і надійність виробництва.

Для даної пастеризаційної установки були підібрані такі номінальні значення:

- початкова температура пива на вході в пастеризаційну установку 5-9°C;

- температура пастеризації пива 72-75 °C, що дозволяє ефективно знищити шкідливі мікроорганізми, при цьому не псуючи смак пива;

- температура пива перед входом в секцію охолодження 12-18 °C;

- температура пастеризованого охолодженого пива 3-6 °C;

- температура холодної води в секції охолодження 1-2 °C;

- витрата гарячої води для нагрівання 0,5 м^3/год;

- витрата холодної води для охолодження 0,5 м^3/год;

- рівень пива в зрівняльному баку не повинен бути нижчим 0.3 м та перевищувати 3 м;

- тиск всередині установки 1-2 бари з допустимим відхиленням ±0,2 бар, для забезпечення стабільності процесу;

- час пастеризації 20-30 хв, щоб забезпечити знищення всіх мікроорганізмів і не вплинути на смак пива;

- час охолодження 30-60 хв , що дозволяє достатньо охолодити продукт, без надмірного витрачання енергії;

- швидкість потоку 1-2 $м^3$/год, забезпечує однакове нагрівання і охолодження. Допустиме відхилення ±0.1 $м^3$/год;

- діаметр трубопроводу 38±2 мм.

1.5 Технологічна карта

Таблиця 1.1

Технологічна карта пастеризаційно-охолоджувальної установки А1-ОКЛ5[3]

№ п/п	Назва параметру	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	Температура пива на вході в установку	°С	7	±2
2	Температура пастеризації пива	°С	73.5	±1.5
3	Температура перед входом в секцію охолодження	°С	15	±3
4	Температура пастеризованого охолодженого пива	°С	4.5	±1.5
5	Температура гарячої води	°С	89	±10
6	Температура холодної води	°С	1.5	±0.5
7	Витрата гарячої води для нагрівання	$м^3$/год	20	±0.5
8	Витрата холодної води для охолодження	$м^3$/год	20	±0.5
9	Рівень пива в зрівняльному баку	м	1.6	±1.3

10	Час пастеризації	хв.	25	±5
11	Час охолодження	хв.	45	±15
12	Тиск в пастеризаторі	бар	1-2	±0.2
13	Швидкість потоку	$м^3$/год	1-2	±0.1
14	Діаметр трубопроводу	мм	38	±2

1.6 Складання структурної схеми взаємозв'язків параметрів об'єкта керування

Під час аналізу процесів, що відбувається у пастеризаційно-охолоджувальній установці, було встановлено взаємозв'язки між параметрами стану котла, вхідними та збурюючими величинами. З цих параметрів, виділено вихідні величини, які повинні бути врегульовані під час виготовлення продукту. До цих вихідних величин належать:

- $T_{паст}$ – температура пива після пастеризації;
- $L_{п}$ – рівень пива у ємнісному баку;
- $T_{охол}$ – температура пива після охолодження;
- $P_{т}$ – тиск теплоносія;

Дані вихідні величини змінюються завдяки впливу вхідних величин, котрі розглядаються як збурюючі. До них належать:

- $F_{тн}$ – витрата теплоносія;
- $N_{н.є.}$ – продуктивність насосу після ємнісного баку;
- $F_{вх.п.}$ – витрата пива на вході в ємнісний бак;
- $N_{хн}$ – продуктивність насосу для холодоносія;

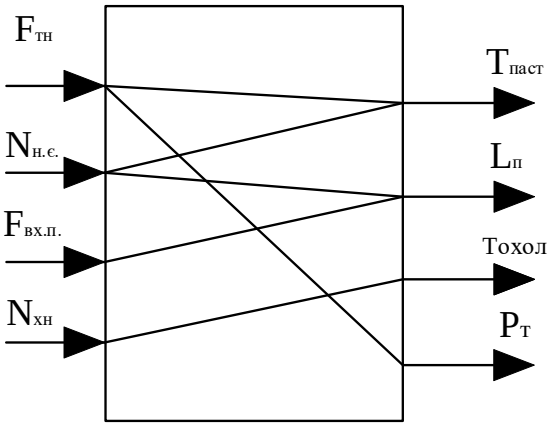


Рисунок 1.2 Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта регулювання

Висновки. У даному розділі було проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту керування. Описано технологічний процес пастеризації та охолодження пива, проаналізовано фактори, які безпосередньо впливають на перебіг технологічного процесу. Складено структурну схему взаємозв'язків параметрів об'єкта керування.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

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

Основними параметрами які слід регулювати у пастеризаційно-охолоджувальній установці є температура пива після пастеризації, рівень пива у ємнісному баку, тиск всередині установки та температура пива після охолодження. Відповідно до структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта регулювання (див. рис. 1.2), сформулюємо такі взаємозалежності для реалізації контурів регулювання:

1) На температуру пива після пастеризації впливає, витрата теплоносія $F_{тп}$, та продуктивність насосу після ємнісного баку $N_{н.є.}$. Обидва вхідні параметри допомагають регулювати температуру пива та підтримувати їх в оптимальних межах.

2) На рівень пива в ємнісному баку впливає витрата пива на вході в установку $F_{вх.п.}$ та продуктивність насосу після ємнісного баку $N_{н.є.}$ Проте змінювати продуктивність насосу не можна, оскільки вона впливає на температуру пива після пастеризації, що є одним з критичних параметрів, тому рівень пива слід регулювати зміною витрати пива на вході в установку.

3) На температуру пива після охолодження $T_{охол}$ впливає продуктивність насосу для холодоносія.

4) На тиск теплоносія $P_т$ впливає витрата теплоносія призначеного для пастеризації пива.

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

Задля ефективної роботи установки та якісної переробки продукту слід забезпечити такі контури регулювання, вимірювання та індикації технологічних параметрів:

Контур 1. Регулювання та сигналізація температури пива після секції пастеризації.

Контур 2. Регулювання та сигналізація рівня в ємнісному баку

Контур 3. Регулювання та сигналізація тиску теплоносія.

Контур 4. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня у відцентровому очиснику.

Контур 5. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня пиву у витримувачі

Контур 6. Регулювання та сигналізація температури пива на виході з секції охолодження

Контур 7.Дискретне керування електроприводами насосів в пастеризаційній установці.

2.3 Визначення функціональних ознак системи автоматизації

У цьому підрозділі наведено таблицю 2.1, у якій узагальнено функціональні ознаки системи автоматизації пастеризації та охолодження пива відповідно до визначених параметрів.

Таблиця 2.1

Функціональні ознаки системи автоматизації

№ п/п	Обсяг автоматизації / Назва параметра	Показ	Реєстрація	Підсумовування	Усереднення	Визначення відхилення	Розрахунок техніко-економічних показників	Сигналізація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	Температура пива після пастеризації	+	+					+				+
2.	Рівень пива у ємнісному баку	+	+					+				+

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3.	Тиск теплоносія	+	+					+				+
4.	Рівень у відцентровому очиснику	+	+					+				
5.	Рівень пива у витримувачі	+	+					+				
6.	Температура пива після охолодження	+	+					+				+

2.4 Порівняльний аналіз існуючих схем керування та розроблення оптимальної функціональної схеми автоматизації спрощеним способом

Пастеризація є важливим процесом у харчовій промисловості, особливо для молочних продуктів, слабоалкогольних напоїв, соків, та інших рідин, які потребуються обробки для знищення патогенних мікроорганізмів. Автоматизація процесу пастеризації може значно підвищити ефективність, точність та надійність процесу.

Існує декілька видів пастеризаторів, які відрізняються за продуктивністю і способом пастеризації.

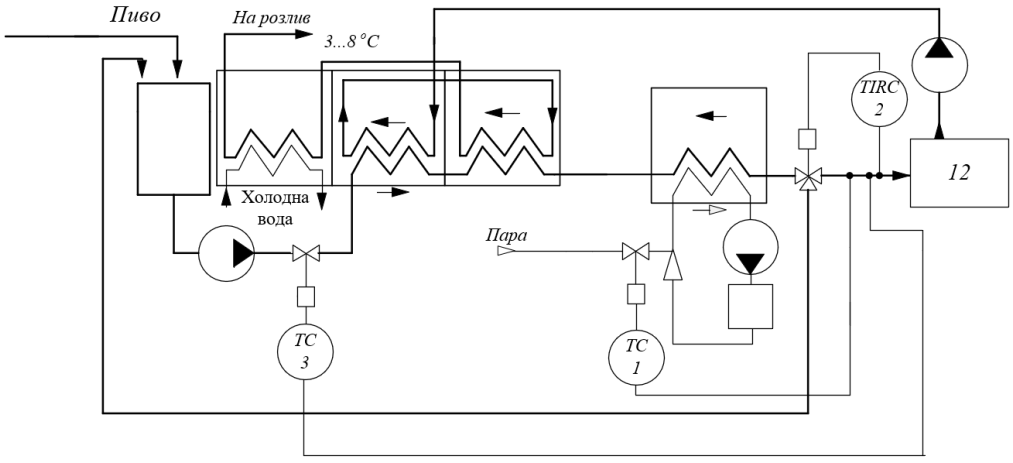


Рисунок 2.1 Спрощена схема автоматизації пастеризатора

Пастеризатор який зображений на рисунку 2.1 є не надто ефективним, оскільки, регулювання відбувається тільки по температурі, в схемі немає очищення пива перед входом в секцію пастеризації. Відсутнє регулювання рівня пива у ємності, що може призвести до її переповнення або повного спустошення, що в свою чергу викличе зупинку всього процесу. Також відсутнє регулювання тиску, що теж може призвести до аварій на виробництві. З переваг даного пастеризатора є його економічність, через малу кількість регуляторів, реалізація такої схеми буде дешевою і не потребуватиме великих затрат.

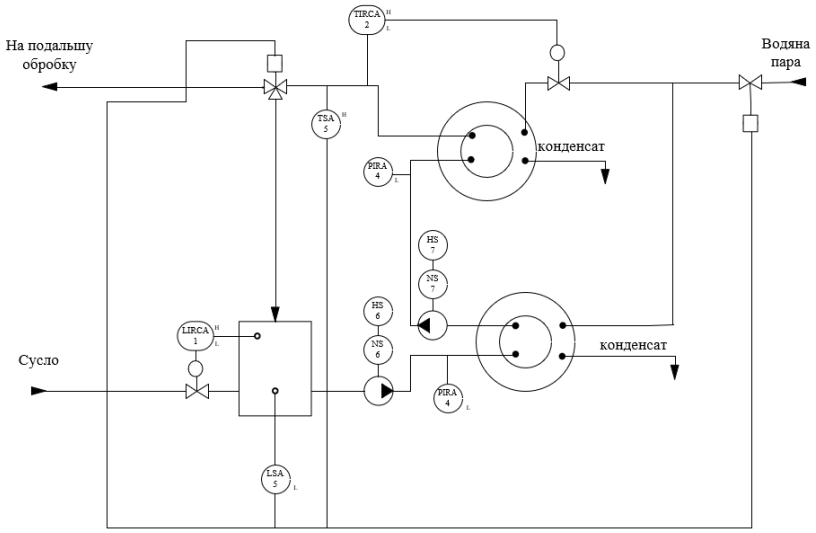


Рисунок 2.2 Спрощена схема автоматизації трубчастого пастеризатора

На рисунку 2.2 зображена схема автоматизації трубчастого пастеризатора. У ньому присутні регулювання температури та рівня, та сигналізація низького рівня тиску. Трубчасті пастеризатори мають високу ефективність теплообміну та стійкість до високих тисків і температур. Також вони досить міцні та надійні, що забезпечує тривалий термін служби, проте в даній схемі відсутнє регулювання тиску, що може призвести до зростання його в установці, та створення аварійних ситуацій.

Враховуючи конкретні умови роботи технологічного об’єкту керування синтезуємо схему, яка найкращим чином забезпечить функціональні, технічні та метрологічні вимоги до автоматизованої системи, необхідні показники якості

процесу в окремих схемах управління і функціональні характеристики проектованої системи.

Висновки. В даному розділі проаналізовано характеристики взаємозв’язку між параметрами об’єкта регулювання. Визначено функціональні ознаки системи. Також було проведено порівняння існуючих схем керування та розроблення оптимальної функціональної схеми автоматизації спрощений вигляд якої наведено на рис. 2.3.

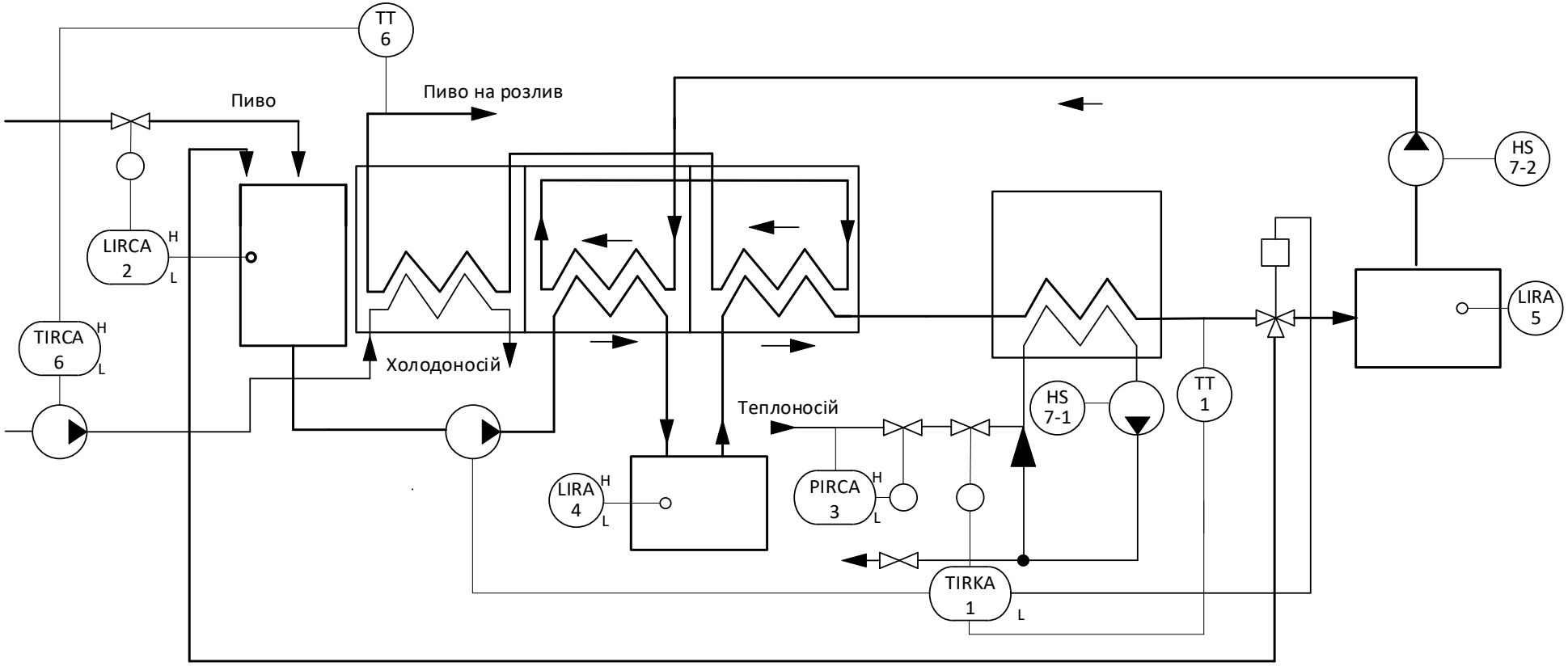


Рисунок 2.3 Спрощена функціональна схема автоматизації установки для пастеризації та охолодження пива

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми

3.1.1 Обґрунтування вибору вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

Контур 1. Регулювання та сигналізація температури пива після секції пастеризації

Регулювання температури пива після секції пастеризації відбувається по трьох канал: зміною витрати теплоносія, зміною продуктивності насосу пива, та перемиканням положення триходового клапану.

Для вимірювання температури пива використовують давач температури SITRANS TF2 7NG3140-1AA00 з діапазоном вимірювання -50 ÷ +200 °С, який вимірює температуру пива після пастеризації і подає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на аналоговий вхід мікропроцесорного програмованого засобу серії Modicon M340 (надалі ПЛК). Він опрацьовує значення згідно з алгоритмом і подає аналоговий сигнал до позиціонера Festo типу CMSX-P-S-C-U-F1-D-50-A, який в свою чергу керує переміщенням регулюючого клапана Festo типу VZPR-BPD змінюючи витрату теплоносія. Також подається аналоговий сигнал до частотного перетворювача ALTIVAR типу ARV320U30N4C з потужністю 3 кВт та вхідною і вихідною напругою 380В, який змінює витрату насоса Novax 50T. Якщо ж температура пива після секції пастеризації є меншою за 72 °С, ПЛК через дискретний вихід подає сигнал до пневмоприводу Festo типу VZBA-1½-GG-63-T-22-F0304-V4V4-T який приводить в дію триходовий кульовий клапан і спрямовує пиво до зрівняльного баку.

Контур 2. Регулювання та сигналізація рівня в ємнісному баку

Регулювання рівня у ємнісному баку здійснюють зміною витрати пива на вході в установку.

Давач рівня FLYGT LTU601 з діапазоном вимірювання 0 ÷ 5 м, вимірює значення рівня і передає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на ПЛК, який згідно з алгоритмом опрацьовує його, формує регулюючу дію, яка через канал аналогового

виходу подає на вхід електропневматичного позиціонера Festo типу CMSX-P-S-C-U-F1-D-50-A, який, в свою чергу, керує переміщення регулюючого клапана Festo типу VZBA-1½-GG-63-T-22-F0304-V4V4-T.

Контур 3. Регулювання та сигналізація тиску теплоносія

Регулювання тиску теплоносія здійснюють зміною його витрати.

Давач тиску SITRNAS P300 7MF8023-3CA44-1AA1 з діапазоном вимірювання 0 ÷ 4 бар вимірює тиск теплоносія і подає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА до ПЛК. Той, в свою чергу, опрацьовує сигнал згідно алгоритму, а також формує регулюючу дію, яка через канал аналогового виходу подає сигнал на вхід електропневматичного позиціонера Festo типу CMSX-P-S-C-U-F1-D-50-A, який керує переміщенням регулюючого клапана Festo типу VZPR-BPD.

Контур 4. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня у відцентровому очиснику

Давач рівня FLYGT LTU601 з діапазоном вимірювання 0 ÷ 5 м, вимірює значення рівня і передає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на ПЛК, який згідно з алгоритмом опрацьовує його і виводить масштабоване значення рівня.

Контур 5. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня у витримувачі

Давач рівня FLYGT LTU601 з діапазоном вимірювання 0 ÷ 5 м, вимірює значення рівня і передає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на ПЛК, який згідно з алгоритмом опрацьовує його і виводить масштабоване значення рівня.

Контур 6. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня у витримувачі

Регулювання температури пива після секції охолодження відбувається зміною продуктивності насосу холодоносія.

Для вимірювання температури пива використовують давач температури SITRANS TF2 7NG3140-1AA00 з діапазоном вимірювання -50 ÷ +200 °C, який вимірює температуру пива після пастеризації і подає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на аналоговий вхід ПЛК. Він опрацьовує значення згідно з алгоритмом і формує регулюючу дію, яка через канал аналогового виходу подає сигнал на вхід частотного перетворювача ALTIVAR типу ARV320U30N4C з потужністю 3 кВт та

вхідною і вихідною напругою 380 В, який змінює продуктивність насоса Novax 50Т.

Контур 7. Дискретне керування електроприводами насосів в пастеризаційній установці.

Після увімкнення пастеризаційно-охолоджувальної установки та ПЛК, оператор з пульта керування подає дискретні сигнали до частотних перетворювачів ALTIVAR типу ARV320U30N4C з потужністю 3 кВт та вхідною і вихідною напругою 380 В. Які в свою чергу запускають або зупиняють насоси Novax 50Т.

3.1.2 Технічні характеристики вибраних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

Давач температури типу SITRANS TF2 7NG3140-1AA00[4]

Давач температури розроблений для неперервного вимірювання температури робочого середовища. Вимірювальний мікропроцесорний перетворювач температури з вбудованим платиновим термометром опору Pt100 в захищеній трубці із нержавіючої сталі з вихідним уніфікованим аналоговим сигналом 4 ÷ 20 мА. З вимірювальним діапазоном температур -50 ÷ +200 °С.

Загальний вигляд та електрична схема під’єднань давача представлені на рисунку 3.1 та 3.2:

Рисунок 3.1 Загальний вигляд давача температури SITRANS TF2 7NG3140-1AA00

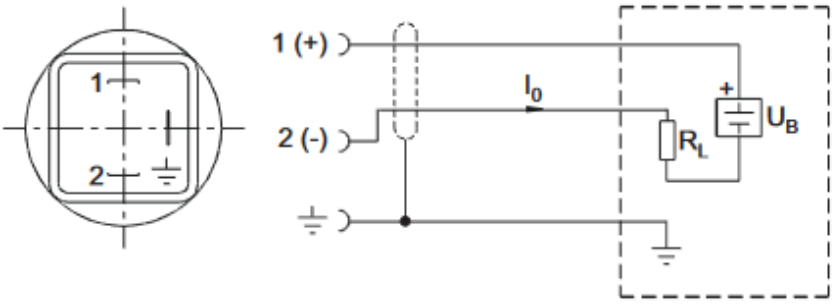


Рисунок 3.2 Схема під'єднань давача температури SITRANS TF2 7NG3140-1AA00

Давач рівня типу FLYGT LTU601[5]

Давач постійного рівня в ємності, призначений для вимірювання рівня на підприємствах для переробки харчових продуктів і напоїв, фармацевтичних препаратів, миючих засобів і кормів для домашніх тварин. Вимірювальний мікропроцесорний давач рівня в алюмінієвому корпусі, з вихідним уніфікованим аналоговим сигналу 4 ÷ 20 мА, з діапазоном вимірювання рівня 0 ÷ 5 м. Загальний вигляд давача представлено на рисунку 3.3. Призначення контактів клем давача наведено в таблиці 3.1

Рисунок 3.3 Загальний вигляд давача рівня FLYGT LTU601

Таблиця 3.1

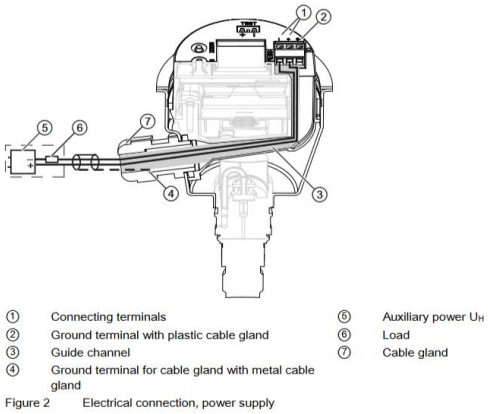
Призначення контактів клем

Колір кабелю	**Призначення з'єднання**
Червоний або білий	Живлення + 10-30 В постійного струму
Коричневий	Аналоговий сигнал 4-20 мА
Чорний	Сигнальне заземлення

Давач тиску типу SITRANS P300 7MF8023-3CA44-1AA1[6]

Давач тиску з нержавіючої сталі для використання в харчовій промисловості та виробництві напоїв. Діапазон вимірювання 0 ÷ 4 бар, аналоговий вихідний сигнал 4 ÷ 20 мА.

Загальний вигляд та схема електричних під'єднань давача представлені на рисунку 3.4



а) *б)*

Рисунок 3.4 Давач тиску SITRANS P300 7MF8023-3CA44-1AA1

а) загальний вигляд давача; б) схема електричних під'єднань

Електропневматичний позиціонер Festo типу CMSX-P-S-C-U-F1-D-50-A[7]

Цифровий електропневматичний позиціонер забезпечує простий і ефективний контроль положення технологічних клапанів, що приводяться в дію пневматичними приводами.

Технічні характеристики електропневматичного позиціонера Festo типу CMSX:

- керуючий сигнал: 4 ÷ 20 мА;
- робочий тиск: 3 ÷ 8 бар;
- робочий діапазон температур навколишнього середовища:-5 ÷ 60 °C.

Загальний вигляд електропневматичного позиціонера Festo типу CMSX-P-S-C-U-F1-D-50-A, зображені на рисунку 3.5, Призначення контактів клемних колодок наведено в таблиці 3.2.

Рисунок 3.5 Загальний вигляд електропневматичного позиціонера Festo типу CMSX-P-S-C-U-F1-D-50-A

Таблиця 3.2

Призначення контактів клемних колодок

Номер контакту	**Ідентифікатор**	**Опис**	**Призначення**
4	AI+	Isp+/Usp+	Аналоговий вхід 4-20 мА, 0-20 мА, 0-10 В
5	AI-	Isp–/Usp–, гальванічно з'єднаний з 0 В	
6	VDC+	Робоча напруга +24 В постійного струму	Живлення системи
7	VDC-	Робоча напруга 0 В	

Кульовий клапан Festo типу VZBC-40-FF-40-22-F0507-V4V4T-PP60-R-90-C з пневмоприводом[8]

Кульовий клапан з приводом VZBC виготовлений з нержавіючої сталі в компактній конструкції, призначений для харчових продуктів.

Технічні характеристики:

- номінальний діаметр прохідного отвору 38 мм;
- робочий тиск: 6 ÷ 8.4 бар;
- робоча температура навколишнього середовища: -20 ÷ +80 °C.

Зовнішній вигляд кульового клапану з пневмоприводом Festo типу VZBC-40-FF-40-22-F0507-V4V4T-PP60-R-90-C зображений на рисунку 3.6

Рисунок 3.6 Зовнішній вигляд кульового клапану з пневмоприводом Festo типу VZBC-40-FF-40-22-F0507-V4V4T-PP60-R-90-C

Триходовий кульовий клапан з пневмоприводом Festo типу VZBA-1½-GG-63-T-22-FF0304-V4V4-T [8]

Триходовий кульовий клапан з пневмоприводом Festo типу VZBA VZBA-1½-GG-63-T-22-F0304-V4V4-T призначений для керування технологічним потоком та застосовують для скерування пива на рециркуляцію.

Технічні характеристики:

- номінальний діаметр прохідного отвору: 40 мм;
- робочий тиск: 6 ÷ 8.4 бар;
- робоча температура навколишнього середовища: -20 ÷ +80 °C.

Загальний вигляд зображено на рисунку 3.7.

Рисунок 3.7 Загальний вигляд триходового клапану з пневмоприводом Festo типу VZBA-1½-GG-63-T-22-F0304-V4V4-T

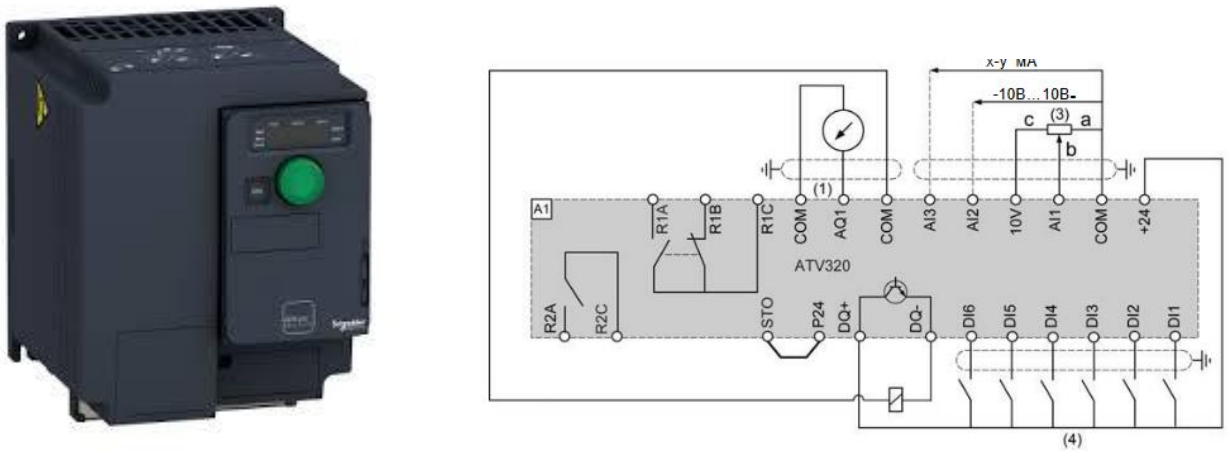
Частотний перетворювач ALTIVAR типу ATV320U30N4C[9]

Перетворювачі частоти ALTIVAR ATV320 призначені для роботи з трифазними асинхронними і синхронними двигунами.

Технічні характеристики частотного перетворювача ALTIVAR типу ATV320U30N4C:

- номінальна потужність $P_н$: 3 кВт;
- номінальна напруга живлення Uн = 380 В.

Зовнішній вигляд та схема під'єднання частотного перетворювача ALTIVAR типу ATV320U30N4C представлені на рисунку 3.8.



а) *б)*

Рисунок 3.8 Частотний перетворювач ALTIVAR типу ATV320U30N4C

а) зовнішній вигляд; б) схема електричних з'єднань

Насос Novax 50T[10]

Електронасоси серії Novax 50T виготовлені зі спеціального міцного нержавіючого сплаву, який забезпечує їх придатність для розливу вина та рідких харчових продуктів з аналогічними характеристиками.

Технічні характеристики насоса Novax 50T:

- продуктивність роботи: 15000 л/год;
- робочий тиск, створюваний насосом: 1.5 ÷ 2 бар;
- потужність двигуна: 2.24 кВт

Загальний вигляд насоса Novax 50T зображений на рисунку 3.9.

Рисунок 3.9. Загальний вигляд насоса Novax 50T

3.2 Мікропроцесорний програмований засіб автоматизації

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

Modicon M340 – це модульний ПЛК нового покоління, який, здебільшого, призначений для втілення в життя малих та середніх систем автоматизації. Його конфігурація залежить від кількості входів/виходів і алгоритмів керування. Основні компоненти ПЛК монтуються на шасі, які забезпечує електроживлення та обмін даними між модулями через шину BusX. Шасі бувають на 4, 6, 8 або 12 посадочних місць. До монтажної панелі воно може кріпитись як і з допомогою гвинтів так і на стандартну DIN-рейку.

До шасі підключається модуль живлення (типу BMX CPSxxxx), який забезпечує електроживлення всіх модулів. Для з’єднання кількох шасі в одну систему використовується інтерфейсний модуль XBE1000, що реалізує зв’язок через шину BusX.

Основні обчислювальні функції та реалізацію логіки керування здійснює центральний процесорний модуль (CPU) серії BMX P34xxxx. Він встановлюється виключно в перше посадочне місце першого шасі. В залежності від модифікації, може бути оснащений інтерфейсами USB, Ethernet, RS-485, CanOpen.

У систему можуть бути інтегровані модулі вводу/виводу. Вони поділяються на дискретні модулі, для роботи з цифровими сигналами, та аналогові модулі, для обробки сигналів струму, напруги або температури. Модулі встановлюють у вільні слоти шасі, окрім позицій для CPU і живлення. Дискретні модулі можуть мати від 20 до 64 каналів й підтримують гарячу заміну. Аналогові модулі відрізняються за кількістю каналів, типом сигналів і наявністю гальванічної розв’язки і також підтримують заміну модулів при включеному живленні.

Для зручності проектування використовується програмне забезпечення EcoStruxure Control Expert (Unity Pro), яке дозволяє підібрати конфігурацію відповідно до вимог конкретного об'єкта [11],[12].

3.2.2 Конфігурування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

Для реалізації системи автоматизованого керування необхідно забезпечити:

- дискретних вхідних сигналів: $DI_{ЗАД} = 1$;
- дискретних вихідних сигналів: $DO_{ЗАД} = 5$;
- аналогових вхідних сигналів: $AIN_{ЗАД} = 6$;
- аналогових вихідних сигналів: $AOUT_{ЗАД} = 5$.

Для забезпечення такої кількості вхідних та вихідних сигналів вибираємо наступні компоненти мікропроцесорного програмного засобу автоматизації:

- монтажну рейку типу XBP 0400 – 1шт.;
- мікропроцесорний програмований модуль керування типу CPU P34 2020 – 1 шт.;
- блок живлення CPS 2000 $I_н$=2,5A, $U_н$=230В AC – 1 шт.;
- модуль аналогових вхідних сигналів типу BMX AMI 800 – 1 шт.;
- модуль аналогових вихідних сигналів типу BMX AMO 0802 – 1 шт.;
- модуль дискретних вхідних та вихідних сигналів типу BMX DDM16022– 1 шт.;

Ця конфігурація забезпечує кількість вхідних/вихідних сигналів:

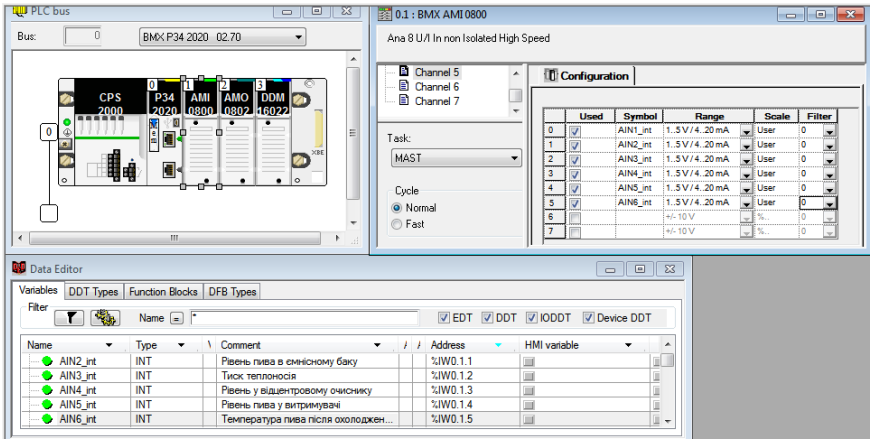
- дискретні вхідні сигнали: $DI = 8 > DI_{ЗАД} = 1$;
- дискретні вихідні сигнали: $DO = 8 > DO_{ЗАД} = 5$;

- аналогові вхідні сигнали: AIN = 8 > $AIN_{ЗАД}$ = 6

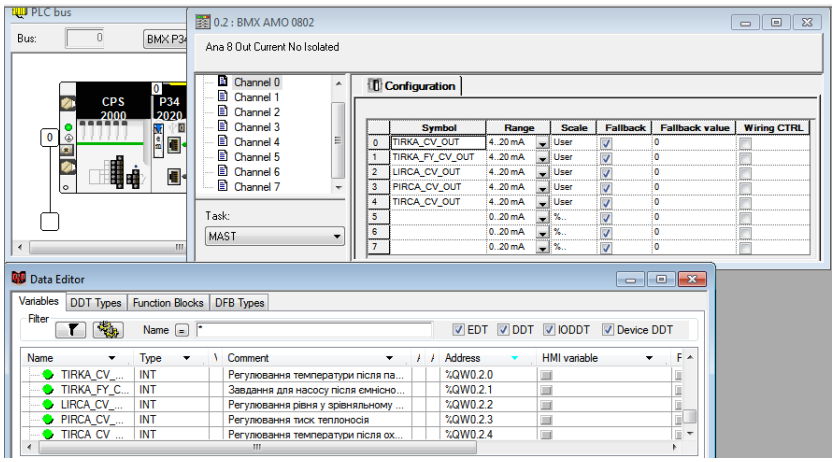
- аналогові вихідні сигнали: AOUT = 8 > $AOUT_{ЗАД}$ = 5.

Як видно з вищенаведених даних вибрана конфігурація ПЛК відповідає заданим вимогам для реалізації системи автоматизованого керування процесом автоматизації пастеризації та охолодження пива.

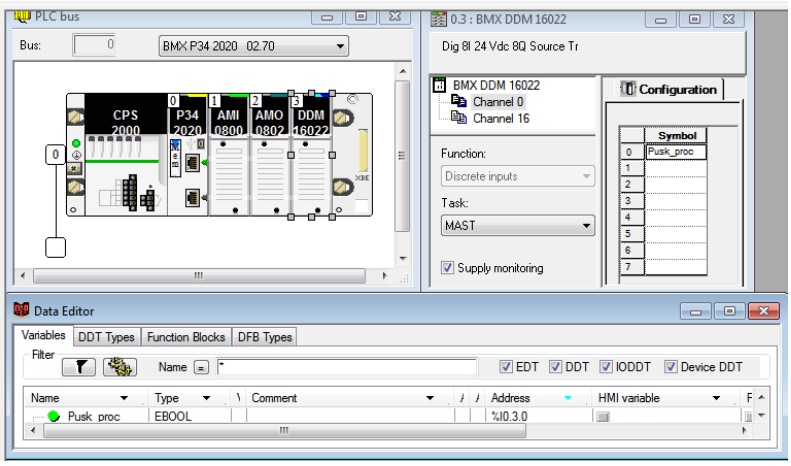
Налаштування конфігурації ПЛК та налаштування аналогових та дискретних модулів вводу/виводу наведено на рис. 3.9.



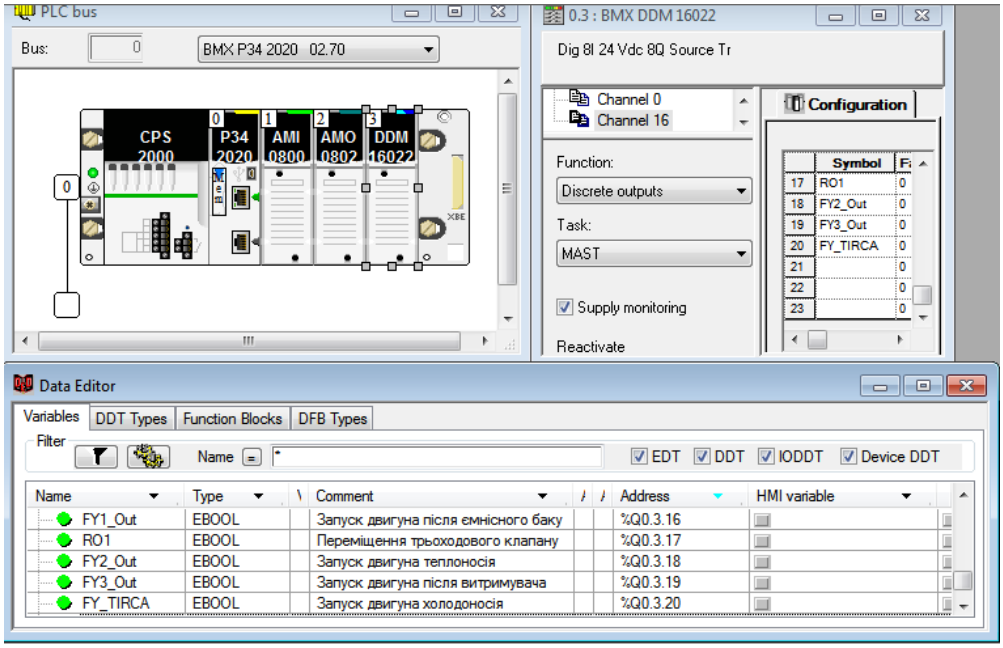
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.10 Вікна налаштування конфігурації мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації серії Modicon M340 в програмному забезпеченні EcoStructure Control Expert (UnityPro):

а)налаштування та конфігурація аналогових входів

б)налаштування та конфігурація аналогових виходів

в)налаштування та конфігурація дискретних входів

г)налаштування та конфігурація дискретних виходів

3.3 Специфікація технічних засобів автоматизації

Таблиця 3.3

Специфікація технічних засобів автоматизації

№ п/п	№ позиції	Назва параметра	Місце встановлення	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип (заводський артикул)	К-ть
1	2	3	4	5	6	7
1			На щиті	Мікропроцесорний програмований модуль керування	CPU P34 2020	1
2			На щиті	Блок живлення Номінальна напруга 230 В АС	CPS 2000	1
3			На щиті	Модуль аналогових вхідних сигналів Аналогових входів – 8	BMX AMI 800	1
4			На щиті	Модуль аналогових вихідних сигналів Аналогових виходів - 8	BMX AMO 0802	1
5			На щиті	Модуль дискретних вхідних та вихідних сигналів Дискретних входів – 8 Дискретних виходів – 8	BMX DDM16022	1

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7
6	1-1; 6-1	Температура пива	По місцю	Давач температури SITRANS TF2 Номінальна статична характеристика Pt100. Вихідний сигнал 4-20 мА. Діапазон -50 ÷+200 °С.	SITRANS TF2 7NG3140-1AA00	2
7	2-1; 4-1; 5-1	Рівень пива	По місцю	Давач рівня FLYGT LTU601. Вихідний сигнал 4-20 мА. Діапазон 0 ÷ 5 м.	FLYGT LTU601	3
8	3-1	Тиск теплоносія	По місцю	Давач тиску SITRANS P300 Вихідний сигнал 4-20 мА. Діапазон 0 ÷ 4 бар.	SITRANS P300 7MF8023-3CA44-1AA1	1
9	1-4; 1-6; 2-2; 3-2	Витрата теплоносія	По місцю	Електропневматичний позиціонер Festo CMSX. Керуючий сигнал 4-20 мА. Робочий тиск 3 ÷ 8 бар. Робоча температура навколишнього середовища -5 ÷ 60 °С.	Festo CMSX-P-S-C-U-F1-D-50-A	3

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7
10	1-7; 2-3; 3-3	Витрата	По місцю	Кульовий клапан Festo VZBC. Діаметр ДУ 38. Робочий тиск 6 ÷ 8.4 бар. Робоча температура навколишнього середовища -20 ÷ +80 °C.	Festo VZBC-40-FF-40-22-F0507-V4V4T-PP60-R-90-C	3
11	1-3	Витрата	По місцю	Триходовий кульовий клапан Festo VZBA. Діаметр ДУ 40. Робочий тиск 6 ÷ 8.4 бар. Робоча температура навколишнього середовища -20 ÷ +80 °C.	Festo VZBA-1½-GG-63-T-22-F0304-V4V4-T	1
12	1-4; 6-2; 7-1; 7-3		На щиті	Частотний перетворювач Altivar ATV320. Потужність 3 кВт. Напруга живлення 380 В.	Altivar ATV320 U30N4C	4
13	1-5; 6-3; 7-2; 7-4		По місцю	Електронасос Novax 50 T Продуктивність 15000 л/год. Робочий тиск 1.5 ÷ 2 бар. Потужність двигуна 2.24 кВт.	Novax 50 T	4

Висновки. В даному розділі було вибрано та описано первинні вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми. Також було описано та сконфігуровано мікропроцесорний програмний засіб автоматизації серії Modicon M340 (див. рис. 3.10).

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗГОРНУТИМ СПОСОБОМ ТА ЇЇ ОПИС

Контур 1. Регулювання та сигналізація температури пива після секції пастеризації

Регулювання температури пива після секції пастеризації відбувається по трьох канал: зміною витрати теплоносія, зміною продуктивності насосу пива, та перемиканням положення триходового клапану.

Для вимірювання температури пива використовують давач температури(1-1) з діапазоном вимірювання -50 ÷ +200 °С, який вимірює температуру пива після пастеризації і подає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на аналоговий вхід мікропроцесорного програмованого засобу серії Modicon M340 (надалі ПЛК). Він опрацьовує значення згідно з алгоритмом і подає аналоговий сигнал до позиціонера (1-4), який в свою чергу керує переміщенням регулюючого клапана (1-5) змінюючи витрату теплоносія. Також подається аналоговий сигнал до частотного перетворювача (1-6) з потужністю 3 кВт та вхідною і вихідною напругою 380В, який змінює витрату насоса (1-7). Якщо ж температура пива після секції пастеризації є меншою за 72 °С, ПЛК через дискретний вихід подає сигнал до пневмоприводу (1-2) який приводить в дію триходовий кульовий клапан (1-3) і спрямовує пиво до зрівняльного баку.

Контур 2. Регулювання та сигналізація рівня в ємнісному баку

Регулювання рівня у ємнісному баку здійснюють зміною витрати пива на вході в установку.

Давач рівня (2-1) з діапазоном вимірювання 0 ÷ 5 м, вимірює значення рівня і передає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на ПЛК, який згідно з алгоритмом опрацьовує його, формує регулюючу дію, яка через канал аналогового виходу подає на вхід електропневматичного позиціонера (2-2), який, в свою чергу, керує переміщення регулюючого клапана (2-3).

Контур 3. Регулювання та сигналізація тиску теплоносія

Регулювання тиску теплоносія здійснюють зміною його витрати.

Давач тиску (3-1) з діапазоном вимірювання 0 ÷ 4 бар вимірює тиск теплоносія і подає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА до ПЛК. Той, в свою чергу, опрацьовує сигнал згідно алгоритму, а також формує регулюючу дію, яка через канал аналогового виходу подає сигнал на вхід електропневматичного позиціонера (3-2), який керує переміщенням регулюючого клапана (3-3).

Контур 4. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня у відцентровому очиснику

Давач рівня (4-1) з діапазоном вимірювання 0 ÷ 5 м, вимірює значення рівня і передає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на ПЛК, який згідно з алгоритмом опрацьовує його і виводить масштабоване значення рівня.

Контур 5. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня у витримувачі

Давач рівня (5-1) з діапазоном вимірювання 0 ÷ 5 м, вимірює значення рівня і передає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на ПЛК, який згідно з алгоритмом опрацьовує його і виводить масштабоване значення рівня.

Контур 6. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня у витримувачі

Регулювання температури пива після секції охолодження відбувається зміною продуктивності насосу холодоносія.

Для вимірювання температури пива використовують давач температури (6-1) з діапазоном вимірювання -50 ÷ +200 °С, який вимірює температуру пива після пастеризації і подає уніфікований сигнал 4 ÷ 20 мА на аналоговий вхід ПЛК. Він опрацьовує значення згідно з алгоритмом і формує регулюючу дію, яка через канал аналогового виходу подає сигнал на вхід частотного перетворювача (6-2) з потужністю 3 кВт та вхідною і вихідною напругою 380 В, який змінює продуктивність насоса (6-3).

Контур 7. Дискретне керування електроприводами насосів в пастеризаційній установці.

Після увімкнення пастеризаційно-охолоджувальної установки та ПЛК, оператор з пульта керування подає дискретні сигнали до частотних перетворювачів (7-1; 7-3) з потужністю 3 кВт та вхідною і вихідною напругою 380 В. Які в свою чергу запускають або зупиняють насоси (7-2; 7-4).

Висновки. В даному розділі було розроблено функціональну схему автоматизації процесу пастеризації та охолодження пива. Також було описано принцип її роботи. Розгорнутий вигляд функціональної схеми автоматизації представлено на графічному плакаті №1.

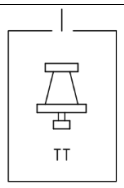
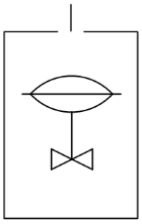
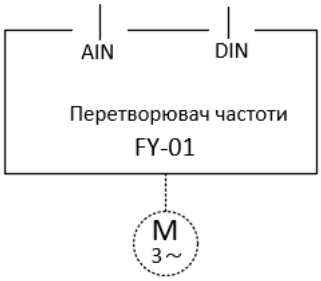
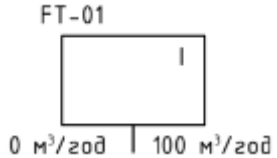
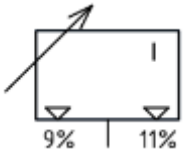
РОЗДІЛ 5. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

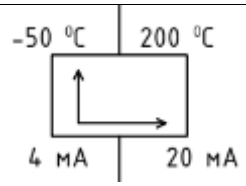
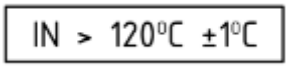
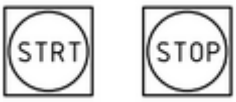
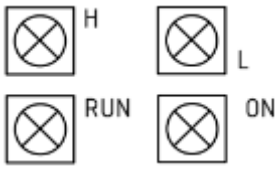
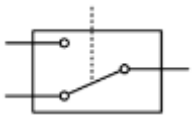
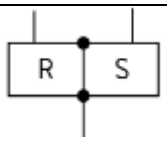
5.1 Алгоритм функціонування контурів системи автоматизації

Для побудови алгоритмів функціонування контурів регулювання, вимірювання та індикації у відповідності до функціональної схеми автоматизації, використано графічні блоки (елементи) [15], які представлені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Графічні зображення функціональних елементів алгоритмів функціонування

Графічне зображення функціонального елемента	Функціональне призначення
1	2
	- первинний вимірювальний перетворювач, давач, чутливий елемент, пристрій збору інформації про технологічний параметр;
	- виконавчий механізм з аналоговим керуючим сигналом в комплекті з регулюючим органом;
	- перетворювач частоти (частотно-керований пристрій);
	- аналоговий індикатор технологічного параметру;
	- задавач аналогового сигналу з обмеженням діапазону по двох значеннях;

1	2
	- нелінійне перетворення (масштабування) аналогового сигналу;
	- аналоговий пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор відповідно;
	- електро-магнітне реле, контактор;
	- елементи порівняння аналогового сигналу та заданого значення з урахуванням значення гістерезису;
	- кнопка «пуск» (увімкнення) та кнопка «стоп» (вимкнення) відповідно;
	- перемикач режимів роботи регулятора або схеми керування;
	- світло-сигнальний індикатор сигналізації по верхній, нижній межі технологічного параметру або стану обладнання;
	- селектор (перемикач) аналогових або дискретних сигналів
	- тригер SR (реле з запам’ятовуванням попереднього стану)

Контур 1. Регулювання та сигналізація температури пива після секції пастеризації;

Контур 2. Регулювання та сигналізація рівня в ємнісному баку

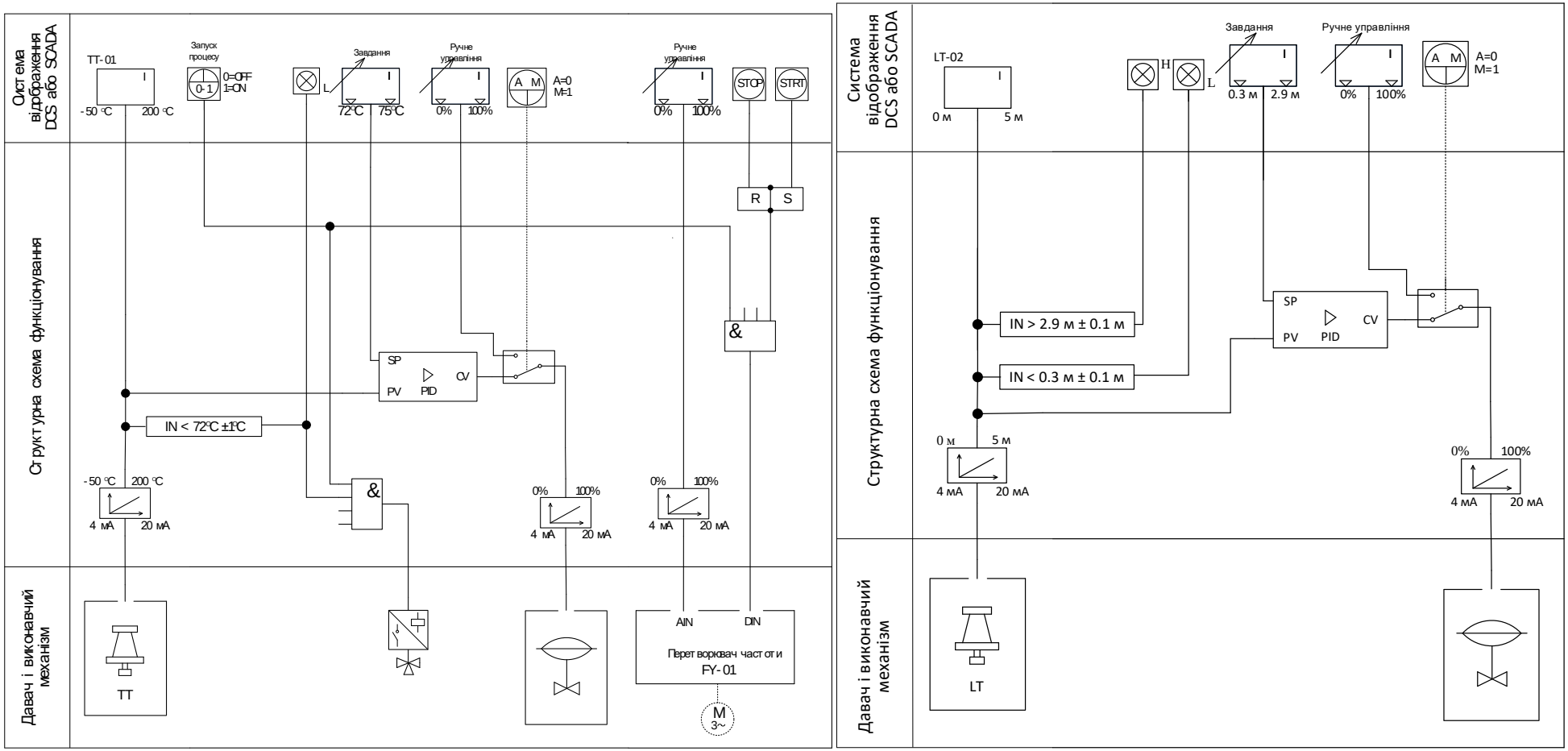


Рисунок 5.1 Алгоритм функціонування контуру №1 «Регулювання та сигналізація температури пива після секції пастеризації» та контуру №2 «Регулювання та сигналізація рівня в ємнісному баку»

Контур 3. Регулювання та сигналізація тиску теплоносія

Контур 4. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня у відцентровому очиснику

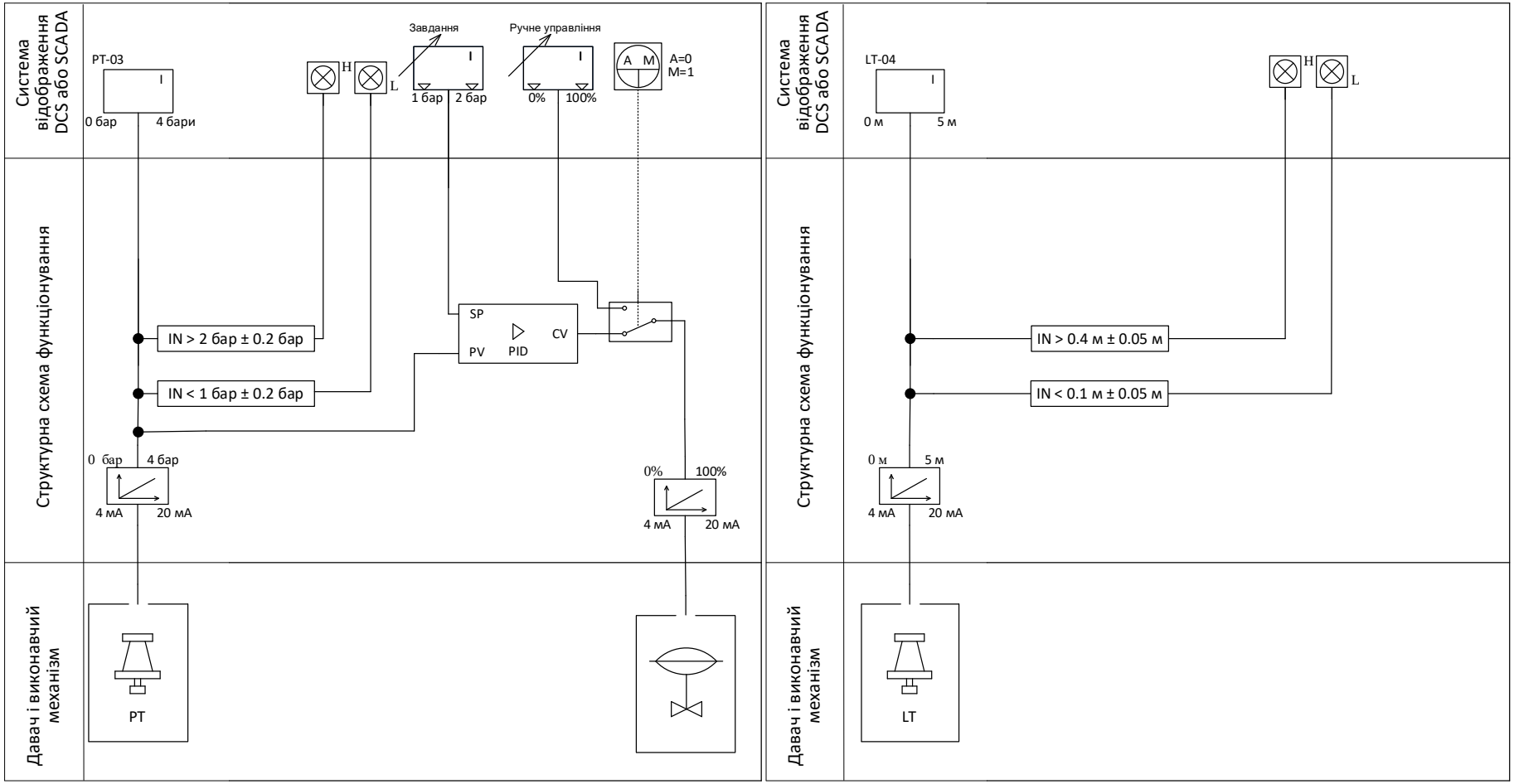


Рисунок 5.2 Алгоритм функціонування контуру №3 «Регулювання та сигналізація тиску теплоносія» та контуру №4 «Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня у відцентровому очиснику»

Контур 5. Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня пиву у витримувачі

Контур 6. Регулювання та сигналізація температури пива на виході з секції охолодження

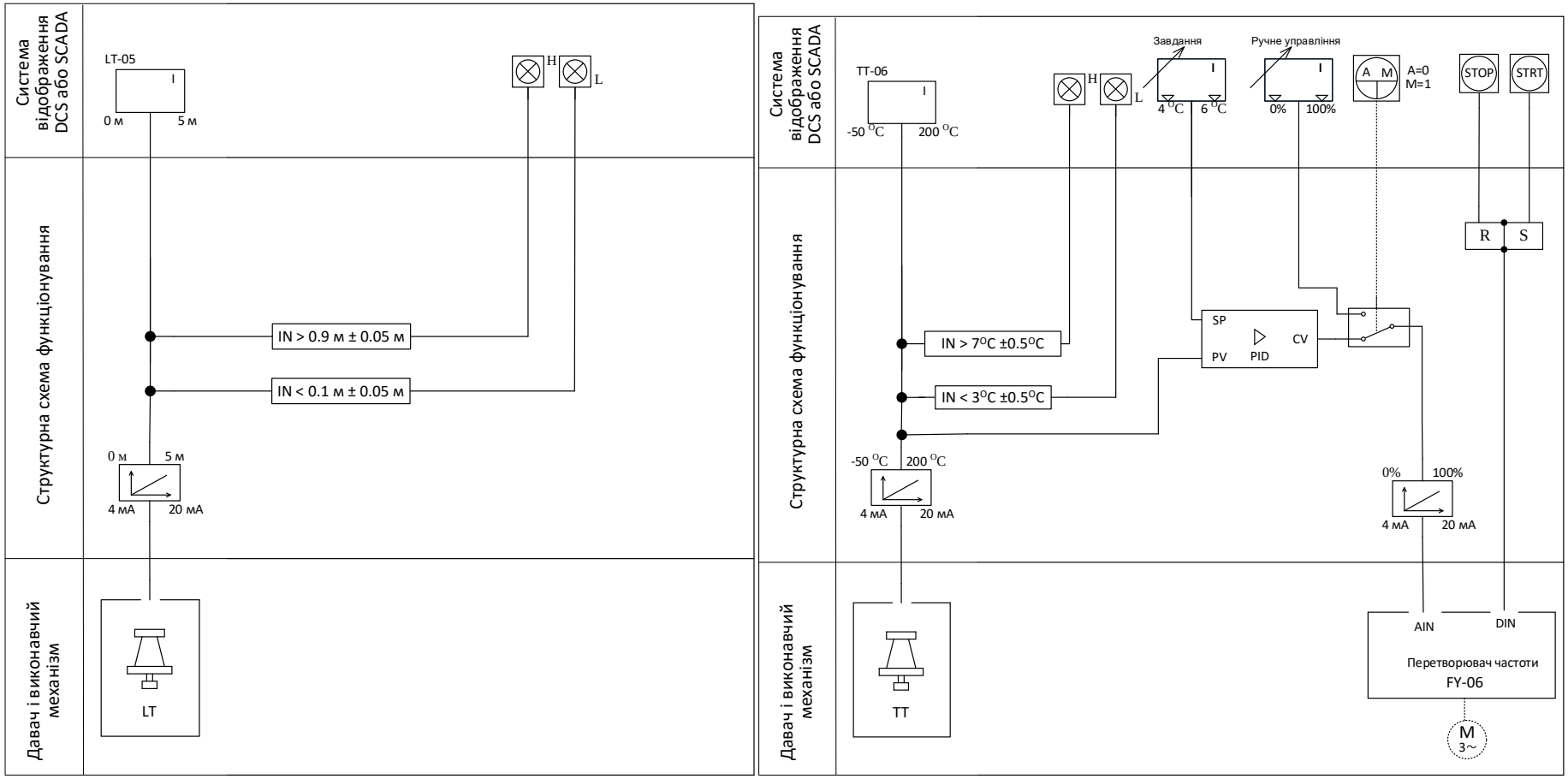


Рисунок 5.3 Алгоритм функціонування контуру №5 «Вимірювання, реєстрація та сигналізація рівня пиву у витримувачі» та контуру №6 «Регулювання та сигналізація температури пива на виході з секції охолодження»

Контур 7.Дискретне керування електроприводами насосів в пастеризаційній установці

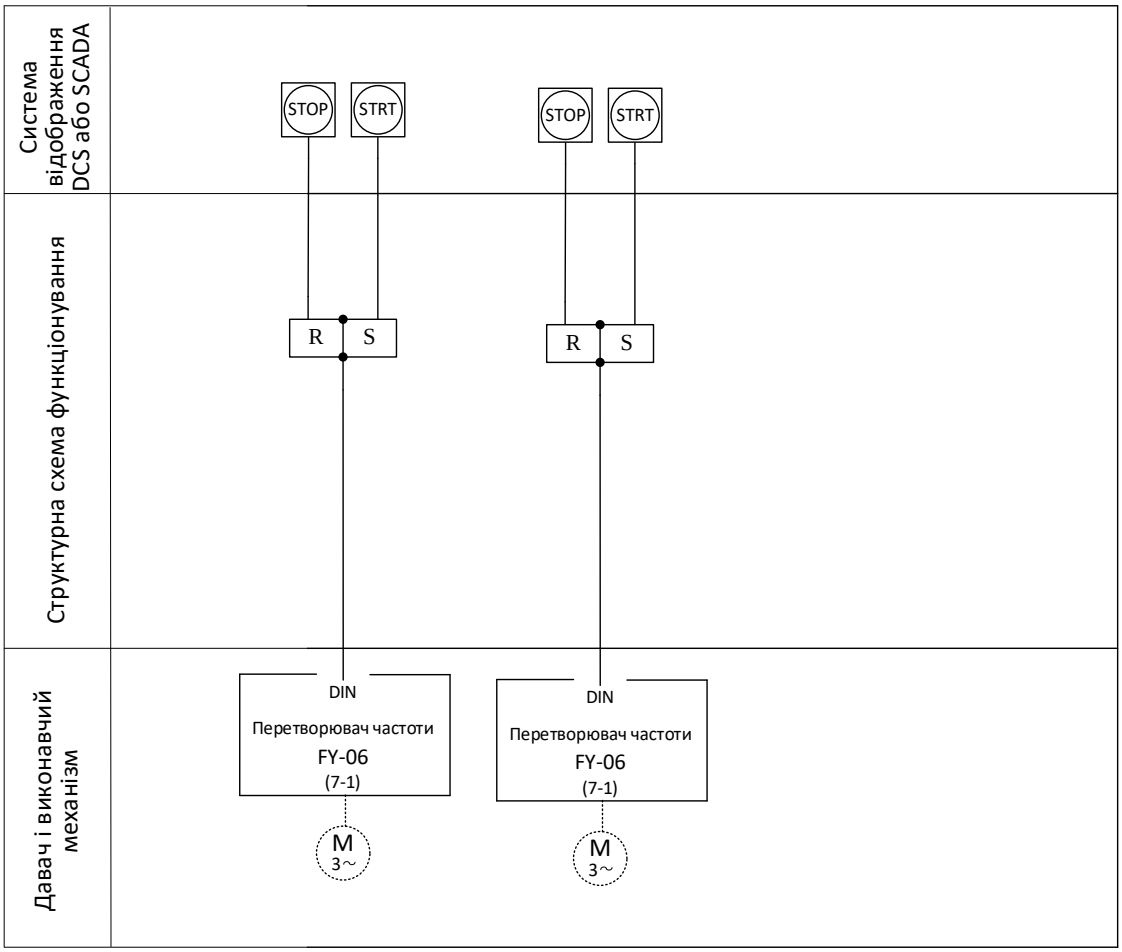


Рисунок 5.4 Алгоритм функціонування контуру №7 «Дискретне керування електроприводами насосів в пастеризаційній установці»

5.2 Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

На підставі алгоритмів які розроблені та наведені в підрозділі 5.1, здійснюю розробку програми функціонування мікропроцесорного програмованого засобу корпорації Schneider серії Modicon M340, для автоматизації процесу пастеризації та охолодження пива. При розробці програми функціонування слід передбачити такі процедури.

5.2.1 Обробка вхідного аналогового сигналу, зокрема його перетворення з формату Integer в формат Real, масштабування та фільтрування

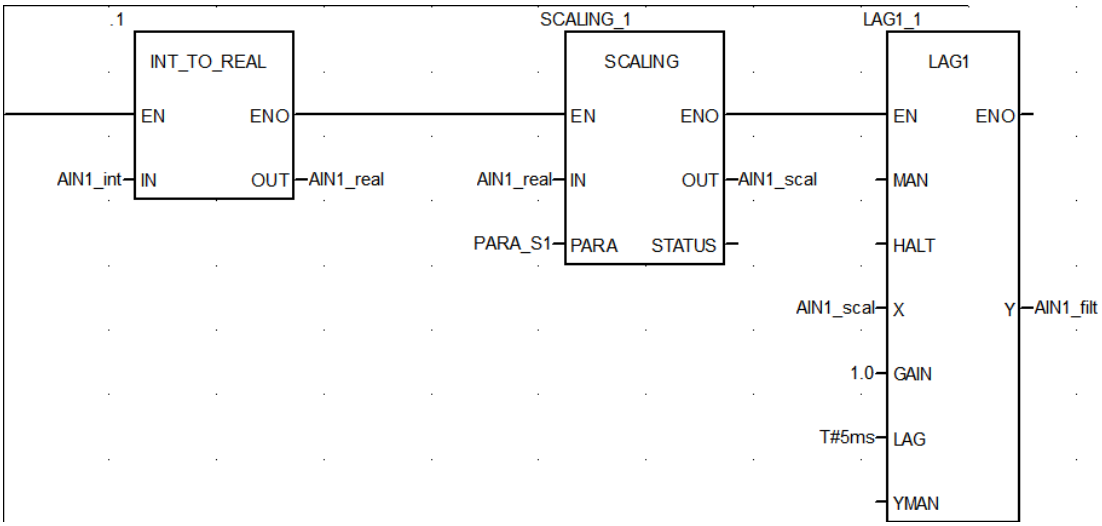


Рисунок 5.5 Уривок програми функціонування, в який відображає процедуру обробки вхідного аналогового сигналу, а саме його перетворення з формату Integer в формат Real, масштабування та фільтрування

Для того, щоб перетворити вхідне значення числового аналогового сигналу з формату Integer в формат Real застосовуємо функціональний блок INT_TO_REAL. Масштабування числового значення виконуємо з застосуванням функціонального блоку Scaling, який здійснює масштабування вхідного числового значення від аналогового цифрового перетворювача, в числове значення діапазону вимірювання первинного давача згідно лінійної залежності, тому також необхідно налаштувати параметри масштабування.

Уривок налаштування представлено на рис.5.6.

PARA_S1	Para_SCALI...				%MW30
in_min	REAL	0.0	Lower limit of the input scale		%MW30
in_max	REAL	30000.0	Upper limit of the input scale		%MW32
out_min	REAL	-50.0	Lower limit of the output scale		%MW34
out_max	REAL	200.0	Upper limit of the output scale		%MW36
clip	BOOL		"1": the value of the OUT o...		%MW38

Рисунок 5.6 Вікно конфігурації параметрів масштабування вхідного аналогового сигналу

Як видно з рисунка 5.2 in_min та in_max відображає числове значення вхідного аналогового сигналу в залежності від конфігурації каналу, а out_min та out_max відображає діапазон вимірювання первинного давача.

Для усунення завад у вигляді пульсацій сигналу, застосовуємо функціональний блок LAG1, який здійснює фільтрування вхідного сигналу від високочастотних та низькочастотних пульсацій. Основними параметрами, які задаються в цьому блоці є коефіцієнт підсилення «Gain» та стала часу «LAG».

Після виконання всіх процедур обробки вхідного сигналу, зберігаємо отримане числове значення в комірці пам’яті AIN1_filt, яке відображатиме виміряне значення технологічного параметру для подальшої реалізації програми функціонування контуру автоматизованого регулювання.

5.2.2 Процедура формування ПІД-закону регулювання із використанням функціональних блоків PIDFF та MS, які реалізують аналогове керування в автоматичному та ручному режимі

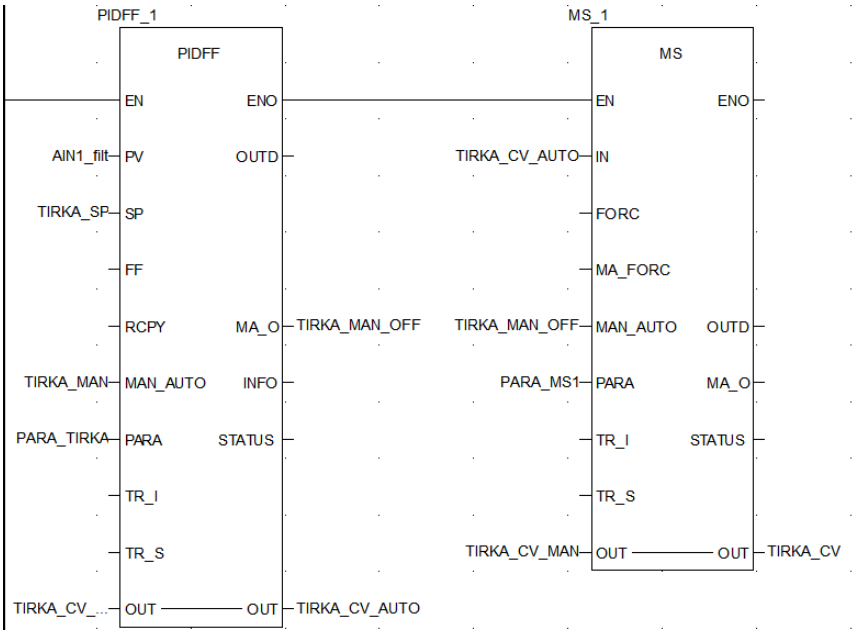


Рисунок 5.7 Функціональні блоки PIDFF та MS, для реалізації аналогового керування в автоматичному та ручному режимі.

Поєднання цих блоків допомагає реалізувати безперебійний перехід між автоматичним та ручним режимами керування.

Основними параметрами в блоці PIDFF, які необхідно налаштувати є:

PV – оброблене значення вхідного сигналу в форматі REAL;

SP – числове значення завдання в форматі REAL;

MAN_AUTO – задання режиму керування (0 – ручне, 1 – автоматичне);

PARA – параметри налаштування ПІД алгоритму;

OUT – керуюча дія ПІД-регулювання;

OUTD – диференціал керуючої дії ПІД-регулювання.

Параметри які необхідно налаштувати в блоці MS:

IN – числове значення керуючої дії на виході ПІД-регулятора;

MAN_AUTO – задання режиму керування (0 – ручне, 1 – автоматичне);

PARA – параметри налаштування ПІД алгоритму;

OUT – керуюча дія на виході з алгоритму

Приклади налаштування зображено на рисунку 5.8.

PARA_TIRKA	Para_PIDFF					%MW40
id	UINT		Reserved for aut...			%MW40
pv_inf	REAL	-50.0	Lower limit of the ...			%MW41
pv_sup	REAL	200.0	Upper limit of the ...			%MW43
out_inf	REAL	0.0	Lower limit of the ...			%MW45
out_sup	REAL	100.0	Upper limit of the ...			%MW47
rev_dir	BOOL	0	Parameter Block f...			%MW49
mix_par	BOOL	1	1: PID controller ...			%MW49
aw_type	BOOL	1	1: Anti-windup hal...			%MW50
en_rcpy	BOOL	0	1: the RCPY inpu...			%MW50
kp	REAL	1.0	Proportional actio...			%MW51
ti	TIME	T#2s	Integral time			%MW53
td	TIME	T#1s	Derivative time			%MW55
kd	REAL		Differential gain			%MW57
pv_dev	BOOL		Type of differenti...			%MW59
bump	BOOL	0	1: Transition to a...			%MW59
dband	REAL	0.3	Dead zone on de...			%MW60
gain_kp	REAL		Reducing the pro...			%MW62
ovs_att	REAL		Reducing the ov...			%MW64
outbias	REAL		Manual compens...			%MW66
out_min	REAL	0.0	Lower limit of the ...			%MW68
out_max	REAL	100.0	Upper limit of the ...			%MW70
outrate	REAL		Limit for output m...			%MW72
ff_inf	REAL		Lower limit of the ...			%MW74
ff_sup	REAL		Upper limit of the ...			%MW76
otff_inf	REAL		Lower limit of the ...			%MW78
otff_sup	REAL		Upper limit of the ...			%MW80

а)

PARA_MS1	Para_MS					%MW82
out_min	REAL	0.0	lower limit value o...			%MW82
out_max	REAL	100.0	upper limit value ...			%MW84
inc_rate	REAL		Increasing ramp a...			%MW86
dec_rate	REAL		Decreasing ramp ...			%MW88
outbias	REAL		Value of the bias			%MW90
use_bias	BOOL		1: Enable the bias			%MW92
bumpless	BOOL		1: Settings of the ...			%MW92

б)

Рисунок 5.8. Налаштування типів даних ПІД-регулятора(а) та блоку ручної роботи(б)

Як видно з рисунка 5.8(а) pv_inf та pv_sup відображають обмеження вхідного сигналу(PV) по мінімумі та максимумі, а out_inf та out_sup обмеження вихідного

сигналу(CV) по мінімумі та максимумі. Параметр rev_dir відповідає за напрям дії регулятора(0 – зворотній / 1 – прямий), mix_par та aw_type за структуру алгоритму (0 – змішана / 1 – паралельна) та корекцію виходу регулятора (0 – вимк. / 1 – увімк.) відповідно, а en_rcpy за копіювання керуючої дії на вхід регулятора (0 – вимк. / 1 – увімк.). Коефіцієнт підсилення, час інтегрування та час диференціювання задаються в рядках kp, ti, та td. За перехід між режимами роботи відповідає bumb (0 – безударний / 1 – ударний), а dband встановлює зону нечутливості по зміні вхідного сигналу. out_min та out_max відповідають за обмеження вихідного сигналу по мінімумі та максимумі відповідно.

На рисунку 5.8(б) out_min та out_max відображають за мінімальне і максимальне значення керуючої дії в ручному режимі керування.

5.2.3 Програма реалізації дискретного керування триходовим клапаном

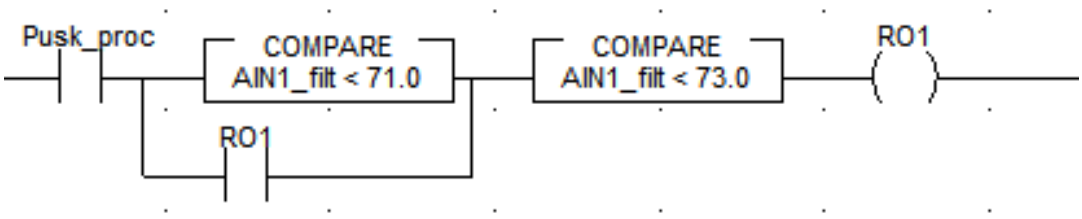


Рисунок 5.9 Фрагмент програми реалізації дискретного керування триходовим клапаном

Як видно з рисунка 5.9 для реалізації дискретного керування використовуються функціональні елементи порівняння, за допомогою яких можна встановити необхідні межі критичних значень технологічного параметру.

Варто відмітити і те, що ці уривки програм відображають також реалізацію двопозиційного закону регулювання із гістерезисом.

5.2.4 Програма реалізації світлової сигналізації по нижньому або верхньому значенню технологічного параметра

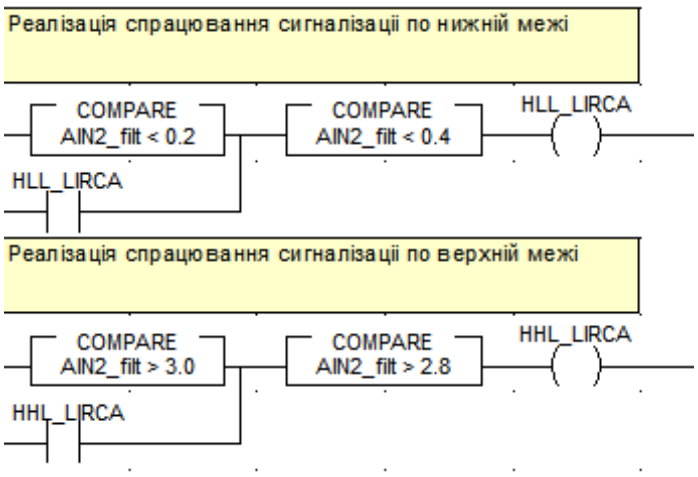


Рисунок 5.10 Уривок програми функціонування реалізації світлової сигналізації по верхній та нижній межі відповідно

Як видно з рисунку 5.10 для реалізації такої задачі використовуються елементи релейної логіки (нормально відкриті та закриті контакти), а також виконавчі елементи з функцією Set - встановити дискретний вихід в логічну «1» та Reset – деактивувати дію функції Set, тобто встановити дискретний вихід в логічний «0», або вимкнути його.

5.2.5 Програма формування дискретного сигналу на увімкнення частотно-керованого пристрою (перетворювача частоти)

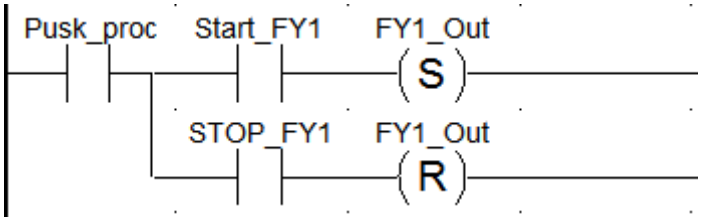


Рисунок 5.11 Уривок програми формування дискретного сигналу на увімкнення частотно-керованого пристрою

Як видно з рисунку 5.11 для реалізації такої задачі використовуються елементи релейної логіки (нормально відкриті та закриті контакти), а також виконавчі елементи з функцією Set - встановити дискретний вихід в логічну «1» та Reset – деактивувати дію функції Set, тобто встановити дискретний вихід в логічний «0», або вимкнути його.

5.2.6 Зворотне перетворення сигналу керуючої дії для передачі його на канал вихідного сигналу

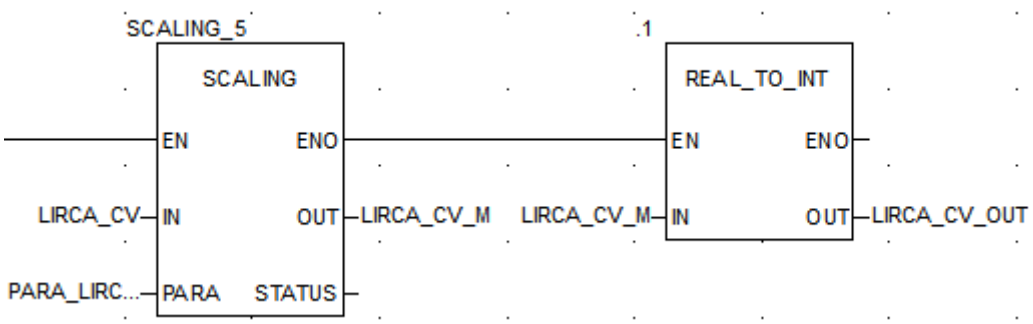


Рисунок 5.12 Уривок програми зворотного перетворення сигналу керуючої дії для передачі його на канал вихідного сигналу.

Масштабування числового значення виконуємо з застосуванням функціонального блоку Scaling, який здійснює масштабування вихідного числового значення від ПІД-блоку регулювання, в числове значення діапазону аналого цифрового перетворювача згідно лінійної залежності, тому також необхідно налаштувати параметри масштабування.

Приклад налаштування представлено на рисунку 5.13:

PARA_LIRCA_S2	Para_SCALI...					%MW202
in_min	REAL	0.0	Lower limit of the i...			%MW202
in_max	REAL	100.0	Upper limit of the i...			%MW204
out_min	REAL	0.0	Lower limit of the ...			%MW206
out_max	REAL	30000.0	Upper limit of the ...			%MW208
clip	BOOL		"1": the value of t...			%MW210

Рисунок 5.13 Вікно конфігурації параметрів масштабування вихідного аналогового сигналу

Для перетворення числового значення вихідного аналогового сигналу з формату Real в формат Integer застосовуємо функціональний блок REAL_TO_INT.

Загальна програма функціонування наведена на графічному плакаті №2 цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи.

Висновки. В даному розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено алгоритми функціонування по кожному з контурів системи автоматизованого керування. Виконано розробку та опис програми функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації серії Modicon M340. Загальна програма функціонування наведена на графічному плакаті №2.

РОЗДІЛ 6. ПРИНЦИПОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ З'ЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

У відповідності до розробленої функціональної схеми автоматизації, спрощений вигляд якої наведено в розділі 1, принципова електрична схема системи автоматизованого керування повинна містити з'єднання, які дозволяють приєднати периферійні технічні засоби автоматизації до головного керуючого пристрою, зокрема це ПЛК Modicon M340.

Електрична схема з'єднань складається з:

1) Електричної схеми живлення модулів ПЛК (рисунок 6.1);

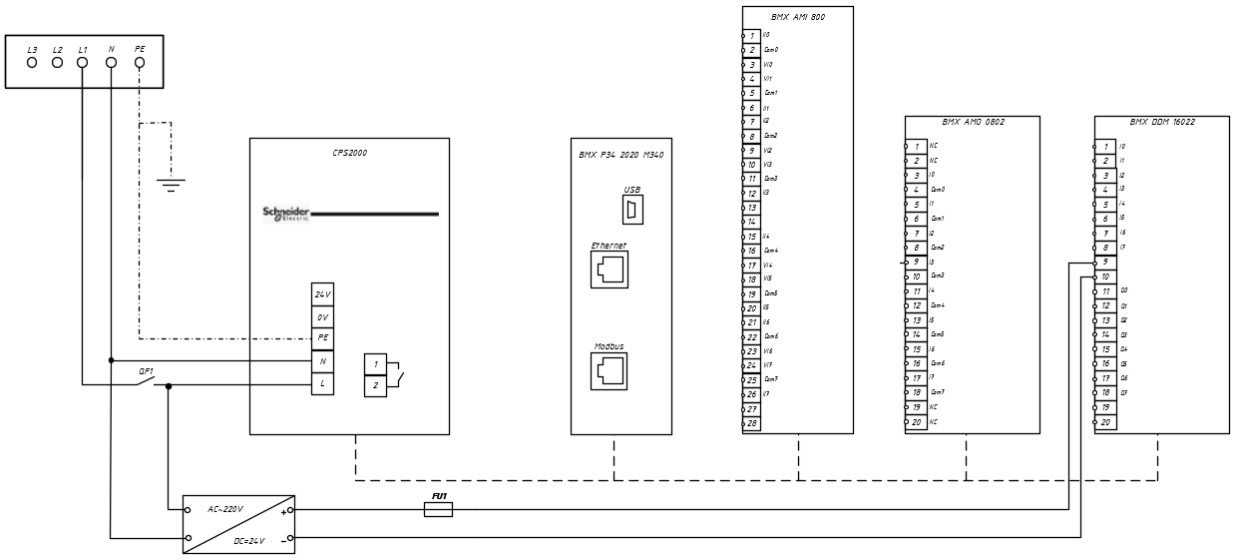


Рисунок 6.1 Електрична схема живлення модулів ПЛК серії Modicon M340

Варто відзначити, що живлення подається тільки на модуль живлення, оскільки всі модулі з'єднані між собою за допомогою BusX шини. Окремого живлення потребує лише блок вхідних та вихідних дискретних сигналів.

2) схеми приєднання первинних вимірювальних перетворювачів до каналів аналогового входу ПЛК (рисунок 6.2), зокрема:

- давачі температури типу Sitrans TF2 по двохпровідній схемі приєднань;
- давачі рівня типу Flygt LTU601 по двохпровідній схемі приєднань;
- давач тиску Sitrans P300.

Слід зазначити, оскільки модуль вхідних аналогових сигналів з'єднаний з модулем живлення шиною BusX (рисунок 6.1), то схема приєднань активних і пасивних аналогових сигналів є однотипною.

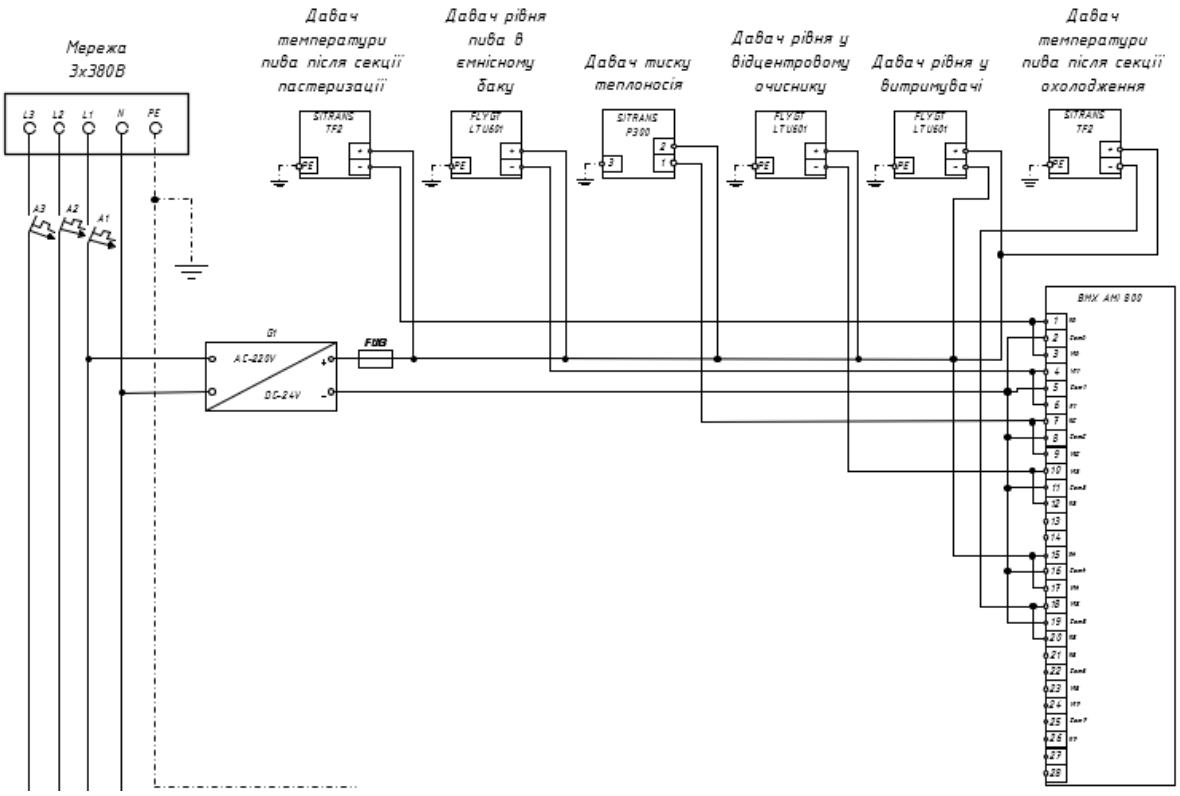


Рисунок 6.2. Уривок електричної схеми приєднань давачів до каналів аналогового входу ПЛК

3) схеми приєднань виконавчих пристроїв до модулів аналогових та дискретних виходів (рисунок 6.3), зокрема:

- електропневматичних позиціонерів Festo типу CMSX;
- перетворювачів частоти серії ALTIVAR ATV320 виробництва корпорації Danfoss;
- кнопки ввімкнення процесу
- пневмоприводу Festo типу VZBA.

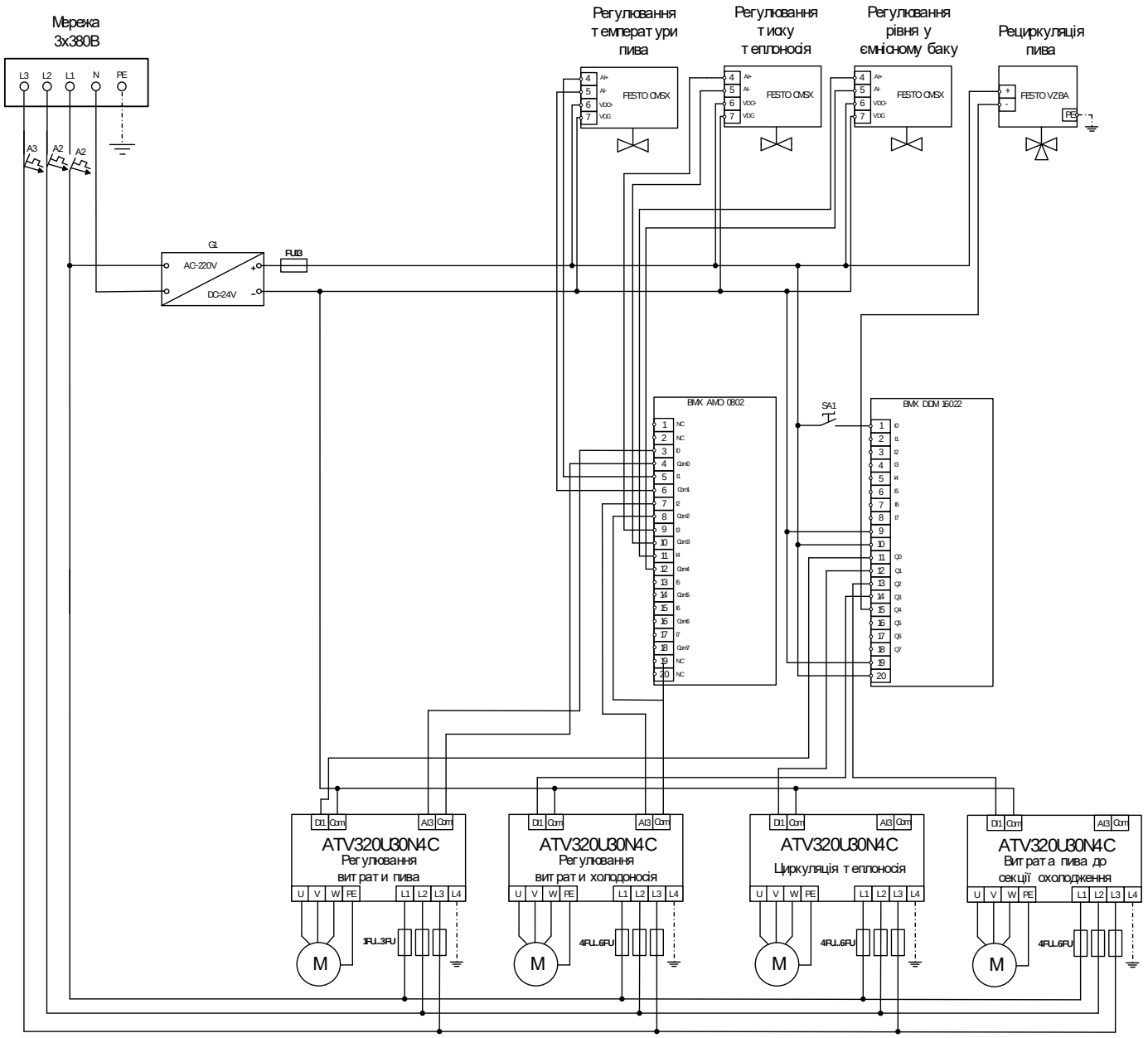


Рисунок 6.3 Схема приєднань виконавчих пристроїв до модулів аналогових та дискретних виходів

Висновки. Під час виконання даного розділу бакалаврської кваліфікаційної роботи було виконано розробку принципових електричних схем з’єднань засобів автоматизації яка представлена на графічному плакаті №3.

РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПИВА

7.1 Знаходження динамічної моделі пастеризатора як об’єкта регулювання за перехідним процесом системи автоматичного регулювання

Метою виконання цього розділу є дослідження системи автоматичного регулювання САР температури пива після секції пастеризації яка зображена на контурі 1 розгорнутої функціональної схеми автоматизації (див. граф. плакат №1).

Регулювальною дією в такій САР є переміщення регулюючого органу встановленого в трубопроводі теплоносія. Основними збуреннями є зміна температури пива на вході, зміна витрати пива через пастеризатор, температура теплоносія

Вихідними даними для побудови моделі пастеризатора був експериментальний перехідний процес системи регулювання, отриманий при зміні заданого значення температури пива на виході пастеризатора з 83,5°С по 70°С та ПІ-регулятора з такими параметрами:

Передавальний коефіцієнт K_p= 1;

Час інтегрування T_i=100;

Цей перехідний процес показний на рисунку 7.1.

Рисунок 7.1 Експериментальний перехідний процес отриманий зміною заданого значення температури пива після пастеризатор з 83,5 °С на 70 °С

За експериментальним перехіднім процесом САР, значення якого представлені в таблиці 7.1, будуємо математичну модель об’єкта регулювання у вигляді передавальної функції.

Таблиця 7.1

Значення експериментальної перехідного процесу температури в секції пастеризації, отримані зміною завдання на 13,5 °С

Час, с	Температури, °С
1	2
0	83,5
50,45	83,39
100,7	82,23
151,05	80,23
201,8	78
252,25	75,2
302,7	73,45
353,15	72,1
403,6	71,4
454,05	70,6
504,5	70,1
554,95	70,05
605,4	70,03
655,85	70,02
706,3	70,1
756,75	70
807,2	70
857,6	70

Спочатку побудуємо графік експериментального перехідного процесу системи регулювання за допомогою середовища Matlab (див. рис. 7.2).

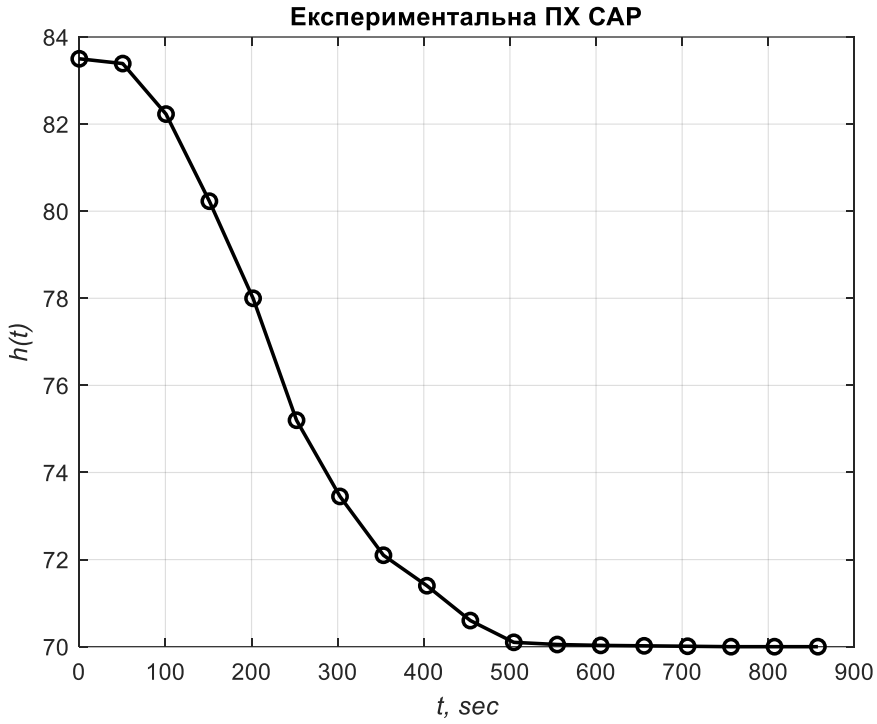


Рисунок 7.2 Експериментальний перехідний процес САР, отриманий зміною заданого значення температури на виході пастеризатора на 13,5 °С

Далі припускаємо, що математична модель об'єкта регулювання складається з трьох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок виду:

$$W_{\text{ОР}}(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}, \tag{7.1}$$

де k – передавальний коефіцієнт;

T_1, T_2, T_3 – сталі часу аперіодичних ланок.

Передавальна функція ПІ регулятора, яка застосовано в системі регулювання має вигляд:

$$W_{\text{АР}}(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{\text{із}} p}. \tag{7.2}$$

Передавальну функцію замкнутої системи регулювання отримуємо за формулою:

$$W_{\text{САР}}(p) = \frac{W_{\text{ОР}}(p) \cdot W_{\text{АР}}(p)}{1 + W_{\text{ОР}}(p) \cdot W_{\text{АР}}(p)}. \tag{7.3}$$

Для побудови динамічної моделі ОР за перехідним процесом замкненої САР використаємо оптимізаційну функцію lsqnonlin з пакету Matlab, яка виконує

розрахунок оптимальних параметрів моделі методом найменших квадратів, тобто за її допомогою визначатимемо такі коефіцієнти передавальної функції об'єкта регулювання, за яких сума квадратів відхилень між експериментальними та розрахунковими значення перехідного процесу САР буде мінімальною [15]. Для цього створюємо програму, що складається з основної частини та підпрограми-функції. Основна програма звертається до підпрограми-функції, де сформульовано критерій якості моделі – функцію різниці між експериментальними та теоретичними значеннями перехідного процесу САР по зміні заданого значення. Основна програма викликає lsqnonlin для визначення параметрів передавальної функції – сталих часу та коефіцієнтів, які мінімізують суму квадратів відхилень між розрахунковими та заданими значеннями перехідного процесу. Знайдені за допомогою функції lsqnonlin параметри моделі, є шуканими параметрами передавальної функції.

Для оцінки адекватності побудованої моделі в середовищі Matlab виконують розрахунок перехідного процесу САР на основі отриманої моделі ОР. При цьому визначається максимальне значення зведеної похибки δ_{max}, що характеризує наближеність до експериментального перехідного процесу, а також обчислюють середньоквадратичне відхилення σ відповідно до таких формул:

$$\delta_{max} = \max\left(\left|\frac{y_{\text{р}}(t_i) - y(t_i)}{y(\infty) - y(0)}\right| \cdot 100\right), \%, \qquad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[y_{\text{р}}(t_i) - y(t_i)\right]^2}, \quad (7.4)$$

де $y(t_i)$ – експериментальні значення перехідного процесу САР; $y_{\text{р}}(t_i)$ – значення перехідного процесу САР розраховані за моделлю; $y(\infty) - y(0)$ – зміна заданого значення регульованої величини.

Результати виконання програми знаходження параметрів моделі (7.1) об'єкта регулювання за допомогою функції lsqnonlin наведені нижче:

Передавальний коефіцієнт k=0,4278;

Перша стала часу T_1=46,6004;

Друга стала часу T_2=93,6311;

Третя стала часу T_3=46,464;

Максимальна зведена похибка δ_{max} = 4,79 %;

Середньоквадратичне відхилення σ = 0,2627 °С;

На рис. 7.3 показаний перехідний процес САР, розрахований із застосуванням моделі ОР (7.1) із знайденими параметрами у порівнянні із експериментальними значеннями перехідного процесу САР.

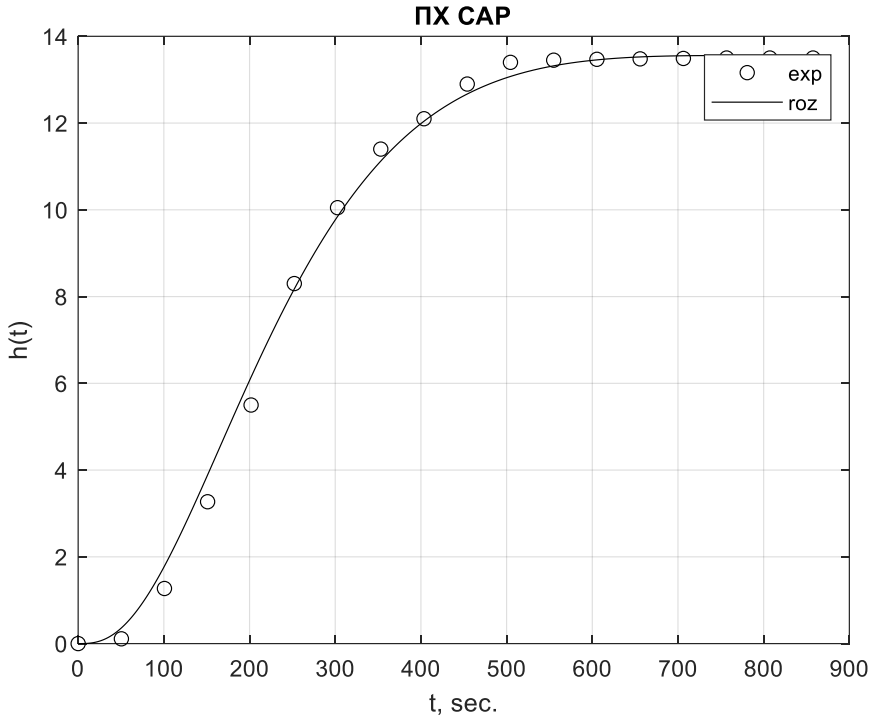


Рисунок 7.3 Графіки перехідних процесів САР отриманих зміною заданого значення температури на 13,5 °С*: розраховані значення (суцільна лінія); експериментальні значення (о)*

На основі експериментального перехідного процесу САР та параметрів ПІ-регулятора була отримана математична модель ОР у вигляді передавальної функції

$$W_{\text{ОР}}(p) = \frac{0{,}4278}{(46{,}6004p + 1)(93{,}6311p + 1)(46{,}464p + 1)},$$

яка забезпечує мінімальне значення середньоквадратичного відхилення розрахованих значень перехідного процесу САР від експериментальної σ = 0,2627 °С. При цьому максимальна зведена похибка δ_{max} апроксимації перехідного процесу становить 4,79%. Графік перехідної функції, отриманий за побудованою моделлю об’єкта регулювання, наведений на рис. 7.4.

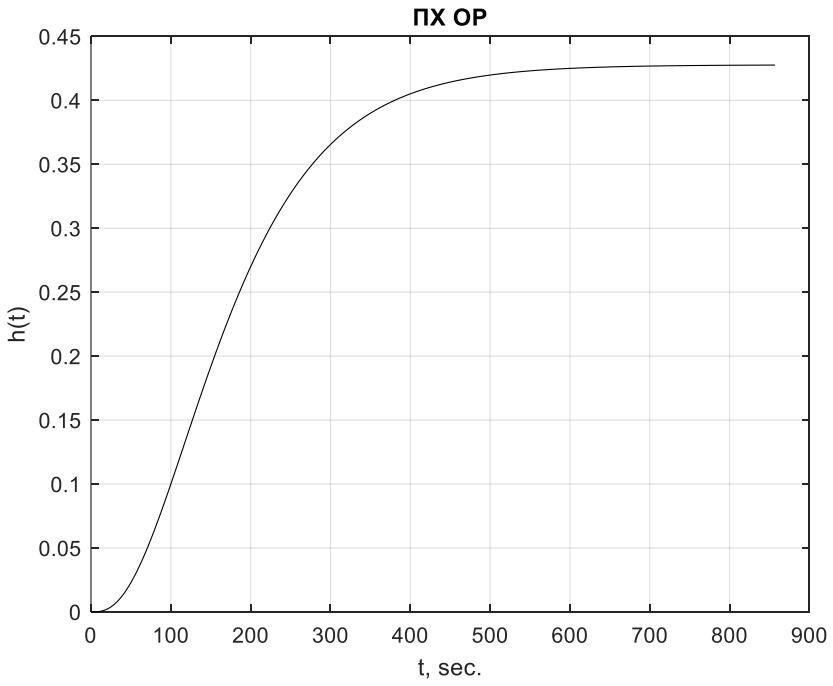


Рисунок 7.4. Графік перехідної функції об'єкта регулювання

7.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора за методом розширених частотних характеристик

Пропорційно-інтегральний регулятор це паралельне з'єднання пропорційної та інтегральної ланок, передавальна функція якого має вигляд

$$(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{iз}} \cdot \frac{1}{p} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{iз} p}\right), \tag{7.5}$$

де k_p- передавальний коефіцієнт регулятора; $T_{iз}$ – час ізодрому.

Метод розширених частотних характеристик ґрунтується на амплітудно-фазовому критерії стійкості, або критерії Найквіста, який можна розглядати як критерій запасу стійкості, якщо замість звичайних частотних характеристик використовувати розширені частотні характеристики [17].

Розширена частотна характеристика елементу з відомою передавальною функцією визначається заміною в ній оператора Лапласа

$$p = -m\omega \pm i\omega, \tag{7.6}$$

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

Умова досягнення заданого запасу стійкості формується на основі амплітудно-фазового критерію стійкості Найквіста, при цьому використовуються розширені частотні характеристики розімкненої системи автоматичної регулювання.

$$W_{\text{рс}}(m, i\omega) = W_{\text{ор}}(m, i\omega) W_{\text{р}}(m, i\omega), \tag{7.7}$$

де $W_{op}(m, i\omega) = U(m, \omega) + iV(m, \omega)$ - розширена амплітудно-фазова характеристика (АФХ) об'єкта регулювання; $U(m, \omega)$, $V(m, \omega)$ - розширені дійсна та уявна частотні характеристики об'єкта регулювання.

Для того, щоб розрахувати параметри налаштування ПІ-регулятора потрібно зробити два кроки:

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

2) вибрати оптимальні значення параметрів налаштування регулятора із знайденої границі області заданого запасу стійкості.

Розширена АФХ ПІ-регулятора подається у вигляді:

$$W_{AP}(m, i\omega) = \kappa_p + \frac{\kappa_p}{T_{із}} \cdot \frac{1}{(-m\omega \pm i\omega)}. \tag{7.8}$$

Якщо врахувати, що дійсна і уявна частини характеристики (7.8) визначаються як $U(m, \omega) = A_{OP}(m, \omega) \cos \varphi_{OP}(m, \omega)$, $V(m, \omega) = A_{OP}(m, \omega) \sin \varphi_{OP}(m, \omega)$, то значення параметрів налаштування регулятора можна отримати із системи рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{k_p}{T_{із}} = -\dfrac{\omega(m^2 + 1) \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)}; \\ k_p = \dfrac{-\cos \varphi_{op}(m, \omega) - m \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)}. \end{cases} \tag{7.9}$$

Змінюючи частоту в діапазоні $\omega^* \le \omega \le \omega^{**}$ за рівняннями системи (7.9) знаходимо область параметрів налаштування ПІ-регулятора за вибраним ступенем коливальності m=1,4.

Щоб знайти ω^* та ω^{**} застосуємо програму яка знаходиться додатку А.

З розрахунку програм отримаємо робочий діапазон частот регулятора:

$$0{,}0025 \leq \omega \leq 0{,}0084$$

Подаємо об’єкт регулювання як послідовне з’єднання трьох аперіодичних ланок першого порядку, модель якого отримано в підрозділі 7.1.

$$W_{OP} = \frac{0{,}4278}{(46{,}6004p + 1)} \cdot \frac{1}{(93{,}6311p + 1)} \cdot \frac{1}{(46{,}464p + 1)}.$$

Що знайти параметри налаштування ПІ-регулятора k_p та k_p/T_i виконаємо розрахунок за формулами (7.9), що отримані на основі розширених частотних характеристик розімкнутої САР та критерію Найквіста.

Побудуємо границю області запасу стійкості САР з ПІ-регулятором та знайдемо параметри налаштування регулятора за допомогою програми яка наведена в додатку А.

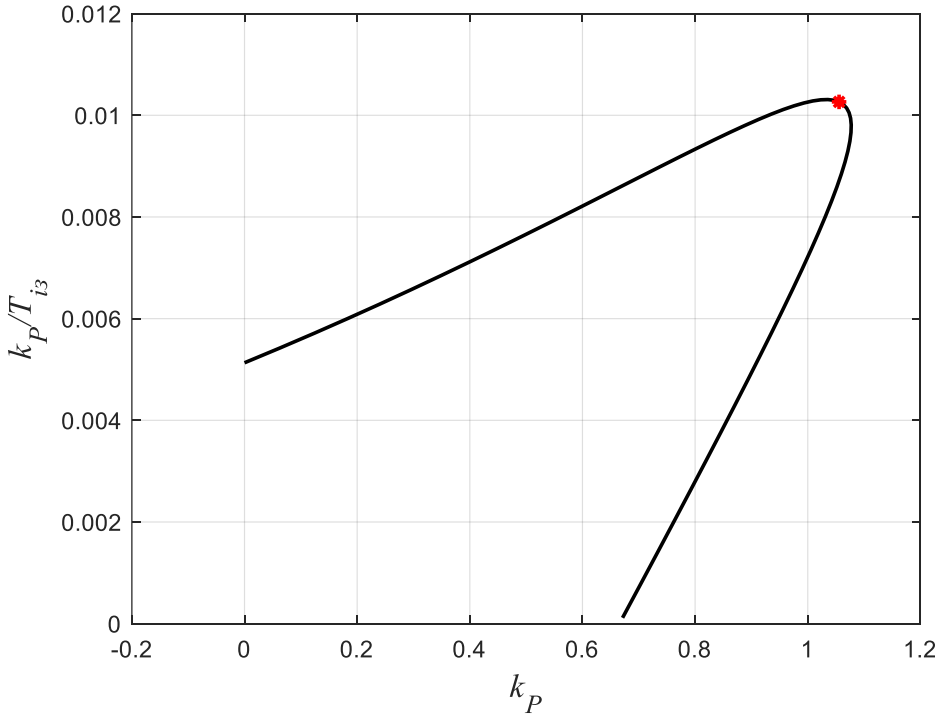


Рисунок 7.5 Границя області запасу стійкості САР з ПІ-регулятором

Звідси отримуємо що, оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора одноконтурної лінійної САР температури пива після секції пастеризації, які забезпечують мінімальне значення інтегральної оцінки якості перехідного процесу за регулювальною дією J_2=7233,2 °С^2 · с(див рис. 7.6) :

Передавальний коефіцієнт $k_p^{\text{опт}} = 1{,}0556 \,°\frac{\text{С}}{\%\text{ходуРО}}$;

Час ізодрому: $\text{Т}_{\text{із}}^{\text{опт}} = 97{,}09$ с.

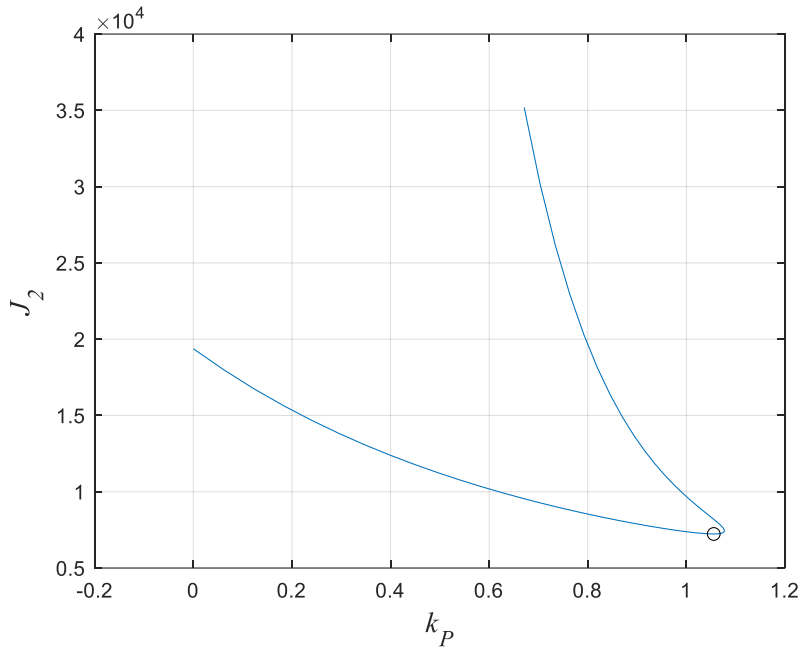


Рисунок 7.6 Графік залежності інтегральної квадратичної оцінки J_2 від k_p

Отже ПІ-регулятор матимете передавальну функцію виду:

$$W_{AP} = 1{,}0556 + \frac{0{,}0103}{p}.$$

7.3 Дослідження перехідних процесів розрахованої САР температури пива на виході пастеризатора

За допомогою отриманої моделі об’єкта регулювання, експериментальних та оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора, визначених за допомогою методу розширених частотних характеристик, в графічному середовищі Simulink складаємо модель системи автоматичного регулювання та досліджуємо її при:

1) зміні заданого значення на -13,5 °С
2) зміні збурюючої дії на 4 °С
3) стрибкоподібній зміні регулювальної дії на 20%

Модель САР регулювання температури пива після секції пастеризації, побудована в середовищі Simulink представлена на рисунку 7.7.

Графіки порівняння перехідних процесів з експериментальними та оптимальними налаштування ПІ-регулятора наведено на рисунках 7.8-7.10.

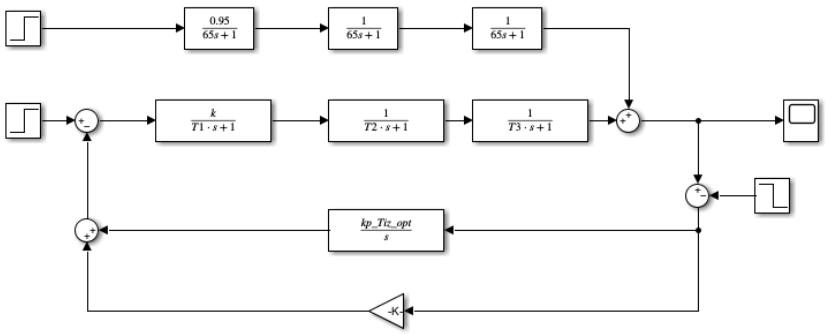


Рисунок 7.7 Модель САР температури пива після секції пастеризації з ПІ-регулятором в середовищі Simulink

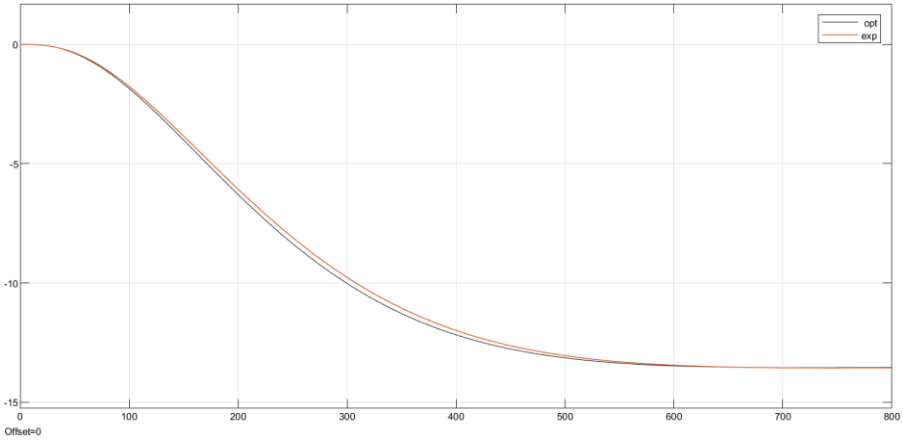


Рисунок 7.8 Графік перехідного процесу САР температури пива після пастеризації з ПІ-регулятором, отриманий зміною заданого значення на -13.5 °С при оптимальних (чорний) та експериментальних (червоний) параметрах

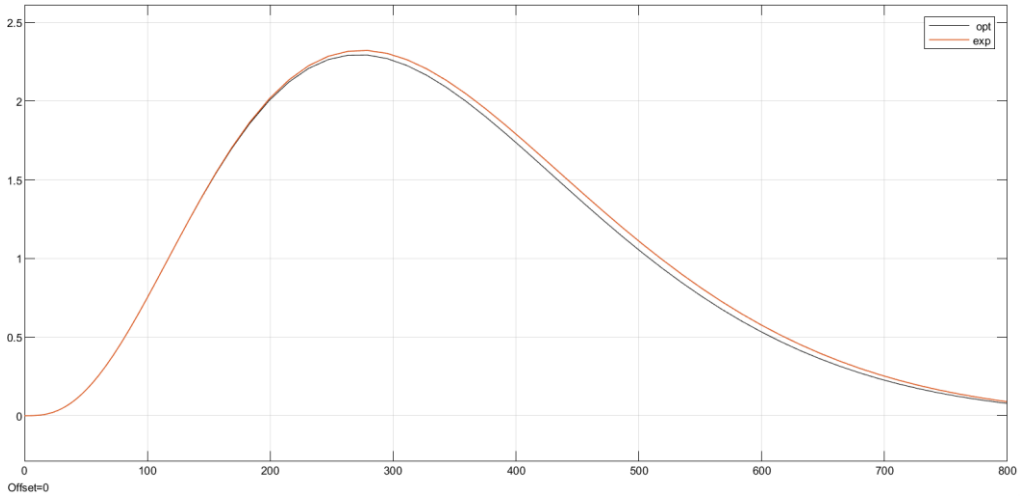


Рисунок 7.9 Графік перехідного процесу САР температури пива після пастеризації з ПІ-регулятором, отриманий зміною збурюючої дії на -4 °С при оптимальних (чорний) та експериментальних (червоний) параметрах

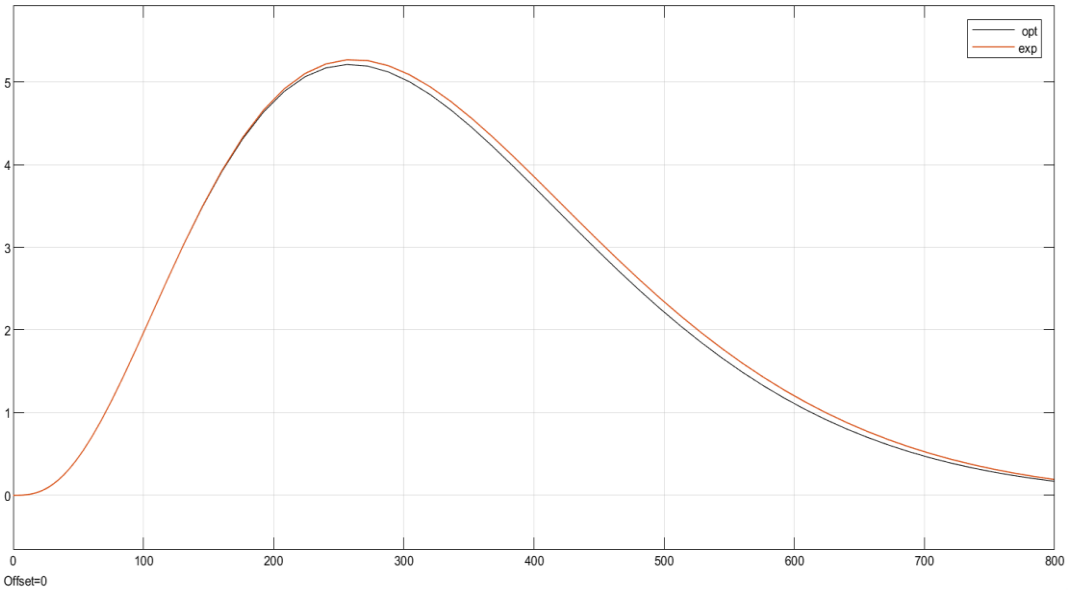


Рисунок 7.10 Графік перехідного процесу САР температури пива після пастеризації з ПІ-регулятором, отриманий зміною регулювальної дії на 20% при оптимальних (чорний) та експериментальних (червоний) параметрах

З графіків перехідних процесів визначаємо показники якості процесу при оптимальних та експериментальних налаштування ПІ-регулятора. Порівняння показників якості наведено в таблиці 7.2

Таблиця 7.2

Порівняння показників якості перехідних процесів САР температури пива після секції пастеризації при різних налаштуваннях ПІ-регулятора

Параметри якості при зміні завдання на -13,5 °С			
Налаштування регулятора	x_{max}, °С	t_P, с	ψ
Експериментальні	-	478	1
Оптимальні	-	492	1
Параметри якості при зміні збурюючої дії на -4 °С			
Налаштування регулятора	x_{max}, °С	t_P, с	ψ
Експериментальні	2,324	509	1
Оптимальні	2,296	518	1

Продовження таблиця 7.2

Параметри якості при зміні регулювальної дії на 20%			
Налаштування регулятора	$x_{\max}$, °C	t_P, с	ψ
Експериментальні	5,211	613	1
Оптимальні	5,271	623	1

З отриманих графіків перехідного процесу, можна зробити висновок, що при допустимій похибці регулювання 0,5 °С, показники якості з оптимальними параметрами налаштування ПІ-регулятора, отриманими за допомогою методу розширених частотних характеристик мінімально перевершують, експериментальні параметри.

Змоделюємо перехідні процеси САР температури пива після пастеризації, з розрахунком параметрів налаштування ПІ-регулятора за допомогою інструменту PID tuner та порівняємо їх з експериментальними параметрами налаштування.

Графіки порівняння перехідних процесів наведено на рисунках 7.11-7.13.

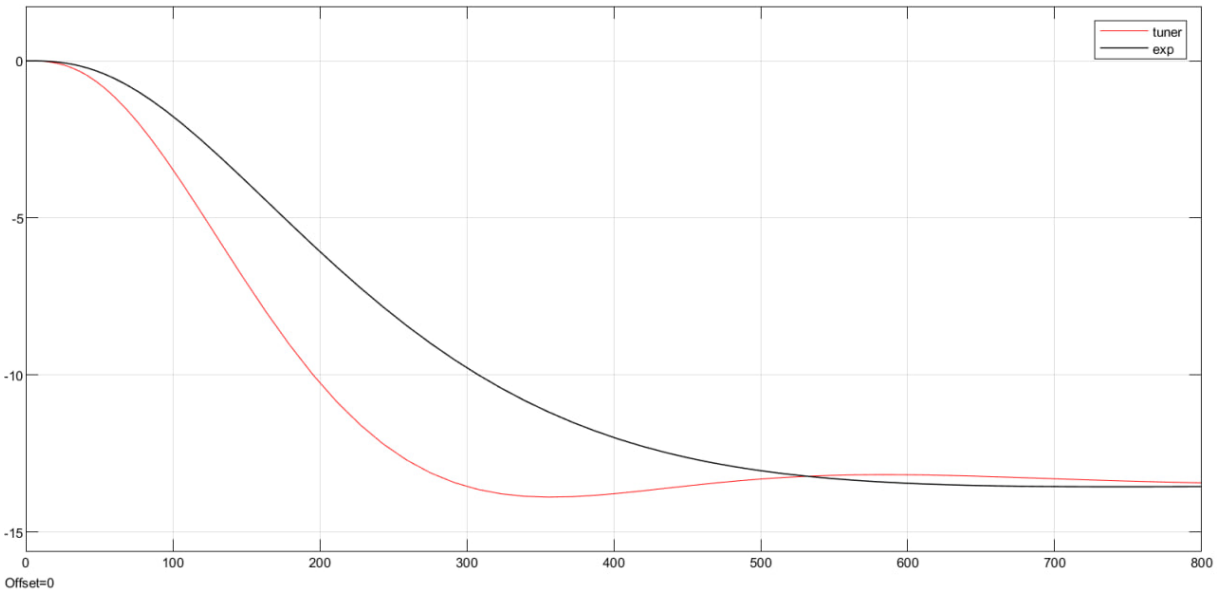


Рисунок 7.11 Графік перехідного процесу САР температури пива після пастеризації з ПІ-регулятором, отриманий зміною заданого значення на -13.5 °С при експериментальних (чорний) та отриманих за допомогою інструменту PID-tuner параметрах (червоний)

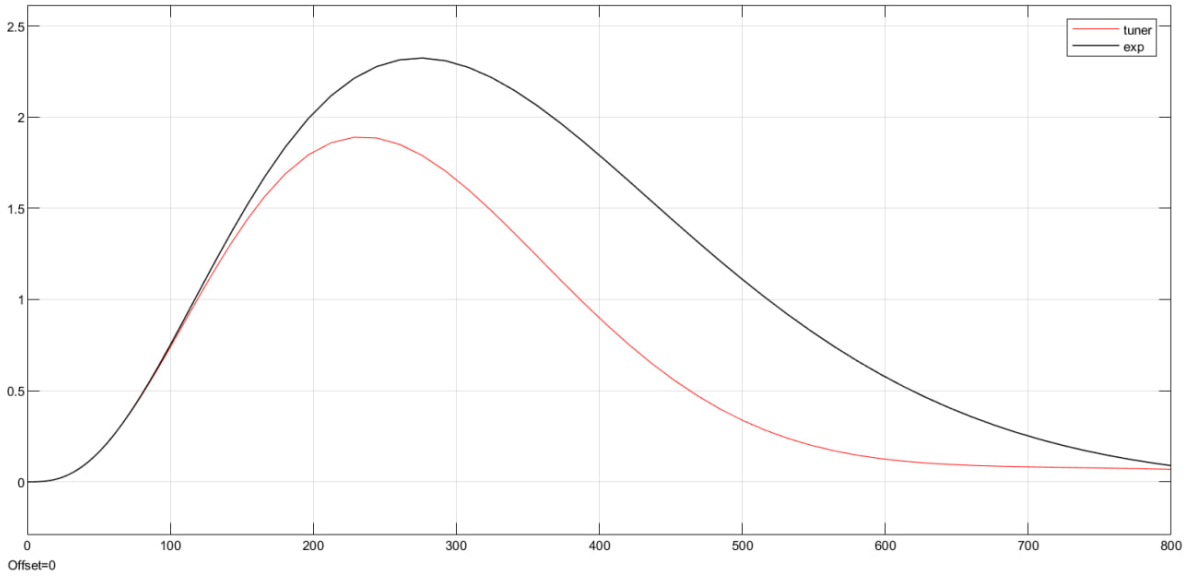


Рисунок 7.12 Графік перехідного процесу САР температури пива після пастеризації з ПІ-регулятором, отриманий зміною збурюючої дії на -4 °С при експериментальних (чорний) та отриманих за допомогою інструменту PID-tuner параметрах (червоний)

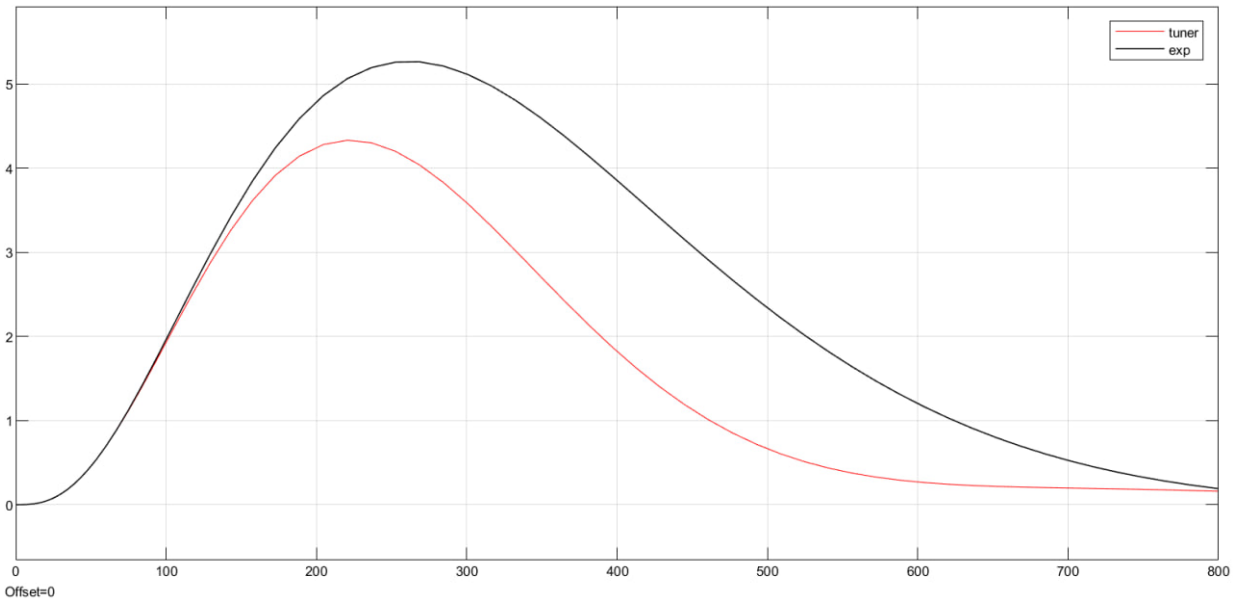


Рисунок 7.13 Графік перехідного процесу САР температури пива після пастеризації з ПІ-регулятором, отриманий зміною регулювальної дії на 20%при експериментальних (чорний) та отриманих за допомогою інструменту PID-tuner параметрах (червоний)

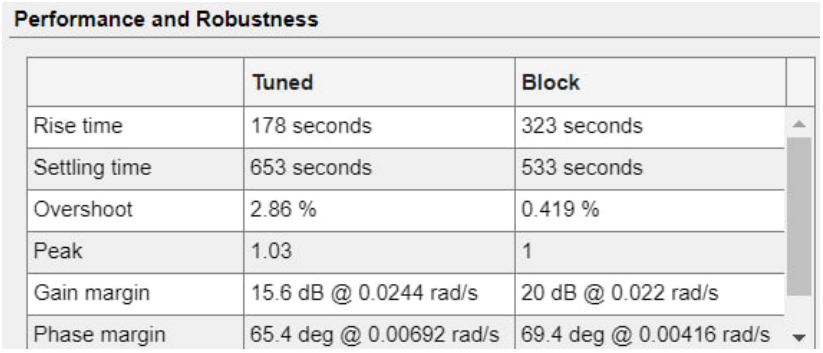
З графіків перехідних процесів визначаємо показники якості процесу при налаштуваннях ПІ-регулятора отриманих за допомогою інструменту PID-tuner. Порівняння показників якості наведено в таблиці 7.3

Таблиця 7.3

Порівняння показників якості перехідних процесів САР температури пива після секції пастеризації експериментальних налаштуваннях ПІ-регулятора та параметрах отриманих за допомогою інструменту PID-tuner

Параметри якості при зміні завдання на -13,5 °С			
Налаштування регулятора	$x_{\max}$, °С	t_P, с	ψ
Експериментальні	-	478	1
PID-tuner	-	270	1
Параметри якості при зміні збурюючої дії на -4 °С			
Налаштування регулятора	$x_{\max}$, °С	t_P, с	ψ
Експериментальні	2,324	509	1
PID-tuner	1,891	463	1
Параметри якості при зміні регулювальної дії на 20%			
Налаштування регулятора	$x_{\max}$, °С	t_P, с	ψ
Експериментальні	5,211	613	1
PID-tuner	4,334	527	1

З отриманих графіків перехідного процесу, можна зробити висновок, що при допустимій похибці регулювання 0,5 °С, показники якості з параметрами налаштування ПІ-регулятора, отриманими за допомогою інструменту PID-tuner, перевершують експериментальні параметри. Це відбувається за рахунок незначного зменшення запасу стійкості системи, порівняння яких наведено на рисунку 7.14.



Performance and Robustness

	Tuned	Block
Rise time	178 seconds	323 seconds
Settling time	653 seconds	533 seconds
Overshoot	2.86 %	0.419 %
Peak	1.03	1
Gain margin	15.6 dB @ 0.0244 rad/s	20 dB @ 0.022 rad/s
Phase margin	65.4 deg @ 0.00692 rad/s	69.4 deg @ 0.00416 rad/s

Рисунок 7.14 Порівняння запасу стійкості САР з налаштуваннями параметрів ПІ-регулятора отриманими за допомогою інструменту PID-tuner (ліворуч) та експериментальними параметрами (праворуч)

Висновки: У даному розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи на основі перехідного процесу системи регулювання отриманого при зміні заданого значення температури пива на виході пастеризатор з 83,5°С по 70°С та експериментальних параметрів налаштування ПІ-регулятора (K_p= 1; T_i=100) була визначена передавальна функція об'єкта, яка має вигляд:

$$W_{\text{ОР}}(p) = \frac{0{,}4278}{(46{,}6004p + 1)(93{,}6311p + 1)(46{,}464p + 1)}.$$

Отримана модель забезпечує мінімальне значення середньоквадратичного відхилення розрахованих значень перехідного процесу САР від експериментальної σ = 0,2627 °С. При цьому максимальна зведена похибка δ_{max} апроксимації перехідного процесу становить 4,79%.

Після цього було розраховано оптимальні налаштування ПІ-регулятора за методом розширених частотних характеристик. Була отримана передавальна функція автоматичного регулятора, яка має такий вигляд:

$$W_{AP} = 1{,}0556 + \frac{0{,}0103}{p}.$$

В графічному середовищі Simulink була складена та досліджена модель системи автоматичного регулювання при зміні заданого значення, зміні збурюючої дії та стрибкоподібній зміні регулювальної дії. З отриманих графіків (див рис. 7.8-7.10), було виявлено, що параметри якості перехідного процесу, з оптимальними

налаштуваннями ПІ-регулятора, мінімально перевершують експериментальні параметри.

Після цього, було виконано уточнення параметрів налаштування регулятора, за допомогою інструменту PID-tuner, і отримано таку передавальну функцію автоматичного регулятора:

$$W_{AP2} = 2{,}1441 + \frac{0{,}015309}{p}.$$

Порівнюючи параметри якості перехідного процесу при отриманих параметрах налаштування ПІ-регулятора, з експериментальними параметрами, можна зробити висновок, що параметри ПІ регулятора, знайдені при використанні інструменту PID-tuner, дають змогу покращити прямі показники якості при збереженні необхідних запасів стійкості системи регулювання за амплітудою та фазою. Основні результати виконання цього розділу наведено на графічному плакаті №4 цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи.

РОЗДІЛ 8. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для стабільного та продуктивного функціонування виробництва в сучасному суспільстві охорона праці є одним з найважливіших чинників. Вона відіграє вирішальну роль у забезпеченні безпеки та добробуту працівників, зменшенні випадків виробничих ушкоджень і захисті їхніх законних інтересів. Зневага до принципів охорони праці на підприємствах може спричини значні негативні наслідки як на особистому рівні для працівників та їхніх сімей, так і для суспільства в цілому.

Незадовільний стан у цій сфері породжує соціальну напругу, може сприяти формуванню несприятливого політичного середовища та призводити до значних фінансових втрат.

Питання охорони праці та охорони навколишнього середовища в цій роботі аналізуються на прикладі автоматизації пастеризаційно-охолоджувальної установки, що використовується у виробництві пива. Щоб знизити ризик для працівників до мінімуму слід враховувати всі особливості об’єкта, специфіку його роботи та умови експлуатації.

8.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації засобів автоматизації

Впровадження автоматизованої системи керування процесами пастеризації та охолодження пива передбачає не лише оптимізацію технологічних параметрів, а й інтеграцію низки технічних рішень, спрямованих на максимальне підвищення безпеки експлуатації обладнання та захист персоналу від потенційних небезпек.

Найбільшою небезпекою в даній установці є електричний струм. Живлення якої становить 220/380 В. Така напруга є смертельно небезпечною для життя та здоров’я людини, тож слід забезпечити належний захист від уражень струмом. Всі металеві частини обладнання та шафи керування повинні бути надійно заземленими. Всі кабелі повинні бути встановлені в кабельні лотки для механічного захисту та запобіганню пошкодження ізоляції. Також, щоб забезпечити працівників від ураження струмом, слід передбачити засобі індивідуального захисту (ЗІЗ) при роботі з електроприладами. До них відносяться: діелектричні рукавички,

діелектричне взуття або калоші, ізолюючі підставки або килимки, захисні окуляри або щитки, спецодяг із вогнестійких або антистатичних матеріалів, каска з ізолюючими вставками тощо.

Оскільки в установці існує різниця температур, від високих до низьких, які можуть зашкодити працівникам, повинні бути встановленні спеціальні кожухи та захисні бар'єри навколо руховим частин насосів, двигунів, а також гарячих поверхонь пастеризатора та трубопроводів.

Також в системі може бути присутній підвищений тиск, щоб забезпечити безпеку при роботі з ним слід встановити сертифіковані запобіжні клапани на всіх ємностях та ділянках трубопроводу, що працюють під надлишковим тиском. Щоб знизити ризик аварії використовуються давачі тиску, які проводять постійний моніторинг з автоматичної зупинкою при досягненні критичних значень.

Основними параметрами мікроклімату що нормуються є: температура (t,

8.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

8.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень є одним із ключових факторів, що впливають на стан здоров'я, працездатність та продуктивність персоналу. Несприятливі параметри мікроклімату можуть призвести до перегріву або переохолодження організму, погіршення самопочуття, зниження уваги та, як наслідок збільшення ризику виробничого травматизму та професійних захворювань. Для виробничих приміщення мікроклімат встановлюється згідно ДСН 3.3.6.042-99.

Основними параметрами мікроклімату, що нормуються є: температура (t, °C) та відносна вологість повітря (W, %), потужність теплових випромінювань (Вт/м^2) і швидкість переміщення повітря (V, м/с).

В таблиця 8.1 наведено оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для категорії роботі «Легка Іб» до якої відноситься робота з пастеризаційно-охолоджувальною установкою. В таблиці також врахований поділ на холодний та теплий періоди року.

Таблиця 8.1

Параметри мікроклімату в цеху з пастеризаційно-охолоджувальною установкою

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с	t, °C	W, %	V, м/с
холодний	21-23	60-40	0,1	17-25	до 75	до 0,2
теплий	22-24	60-40	0,2	19-30	до 75	0,1-0,3

З метою дотримання умов праці, температура внутрішніх поверхонь приміщень (стін, підлоги, стелі), а також зовнішніх поверхонь технологічного обладнання та його захисних елементів, не повинна виходити за межі максимально допустимих значень, визначених для конкретного виду робіт.

Тому, що створити необхідні умови мікроклімату передбачено:

1. Впровадження системи вентиляції, яка забезпечує постійний повітрообмін у робочих зонах, видаляючи надлишки тепла, вологи та забруднюючих речовин. При проектуванні враховується об’єм приміщень та кількість тепло- та вологовиділень. Також в операторських кімнатах передбачені кондиціонери, із можливість регулювання температури та об’єму повітря, що подається в приміщення.

2. Термоізоляція обладнання та трубопроводів. Всі гарячі поверхні як от, деякі частини пастеризатора, гарячі трубопроводи для пива та води повинні бути надійно ізольовані сучасними теплоізоляційними матеріали. Це значення зменшує тепловиділення в робочу зону, запобігає опікам при випадковому контакті та підвищує енергоефективність процесу. Також трубопроводи з охолодженим пивом та холодоагентом повинні мати ефективну паро- та термоізоляцію для запобігання конденсації вологи на їх поверхні, що знижує вологість у приміщенні та запобігає утворенню калюж.

3. Для ефективної профілактики теплового перевантаження працюючого персоналу в умовах нагріваючого виробничого середовища застосовують заходи з оптимізації режиму праці та відпочинку.

4. При перевищенню допустимого рівня температури повітря тривалість регламентованих перерв повинна становити не менше ніж 10% робочого часу на кожні 2 °С перевищення.

Якщо крім підвищеної температури повітря, допустимий рівень відносної вологості перевищує 75%, тривалість регламентованих перерв встановлюється не менше 20% робочого часу.

8.2.2 Склад повітря робочої зони

Контроль та підтримання нормованого складу повітря є важливим завдання на будь-якому підприємстві саме тому встановлюються гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі які визначаються згідно з [18].

Незважаючи на високий рівень автоматизації, у повітрі робочої зони на ділянці пастеризації та охолодження пива можу з’являтися небажані домішки такі як:

- Вуглекислий газ (CO_2), який може знаходитись в ємностях, що містять пиво;
- Миючі та дезінфікуючи засоби, які використовуються для мийки обладнання;
- Органічні сполуки, такі як естери або вищі спирти можуть виділятись з пива;
- Мікроорганізми такі як бактерії, дріжджі, пліснява, для яких створюються умови для існування.

Їх ГДК відповідно до [18] становлять:

1) Вуглекислий газ – не більше 3% об’єму повітря
2) Ізопропіловий спирт – не більше 0,05% об’єму повітря
3) Перекис водню – не більше 0,00015% об’єму повітря

Технічними рішеннями для забезпечення нормованого складу повітря є герметизація технологічного обладнання та комунікацій. Всі ємності, трубопроводи, теплообмінники та інше обладнання повинні бути максимально герметичними для запобігання витоків пари, газу, продукту та хімічних реагентів. Використання якісних ущільнень, гігієнічних клапанів та з’єднань.

Також слід передбачити припливно-витяжну вентиляцію, яке забезпечить необхідний повітрообмін у всьому приміщенні, видаляючи забруднене повітря та подаючи свіже.

8.2.3 Виробниче освітлення

У виробничому приміщенні з пастеризаційно-охолоджувальною установкою застосовується як природне, так і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується через віконні прорізи або світлові ліхтарі. Його наявність позитивно впливає на самопочуття працівників та є енергоефективним. Проте основним джерелом освітлення є штучне освітлення, яке поділяється на загальне та місцеве.

-Загальне освітлення, рівномірно розподілене по всьому приміщенню для забезпечення базового рівня освітленості. Для цих цілей використовуються сучасні світлодіодні світильники. Їх вибір обґрунтований високою енергоефективністю та стабільним світловим потоком, відсутністю мерехтіння та широким діапазоном колірних температур.

- Місцеве освітлення встановлюється безпосередньо на окремими робочими місцями або ділянками, де потрібна підвищена точність або візуальний контроль. Місцеві світильники мають бути легко регульованими та захищеними від зовнішніх впливів.

Крім цього у виробничому приміщенні повинне бути передбачене аварійне освітлення, що дозволить забезпечити безпечну евакуацію людей з приміщення у разі зникнення основного приміщення або дозволить продовжити виконання робіт та безпечно завершити технологічний процесу.

Норми освітлення у виробничому приміщенні з пастеризатором

1) Загальне освітлення – 200 люкс
2) Допоміжні приміщення – 150 люкс
3) Зони миття/дезінфекції – 300-400 люкс

Проектування та експлуатація систем виробничого освітлення повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів України, а саме ДБН В.2.5-28:2018.

8.2.4 Виробничий шум

Для забезпечення комфортного та безпечного акустичного середовища в цеху з пастеризаційно-охолоджувальною установкою застосовується комплекс технічних рішень, а саме: застосування малошумного обладнання, яке має знижений рівень шуму, зазначений виробником. Використання віброізоляцій, встановлення обладнання на спеціальні віброізолюючі опори, амортизатори або пружинні підвіски. Це запобігає передачі вібрації від обладнання на будівельні конструкції та трубопроводи.

Також важливо розрізняти шуми за часовими характеристиками

- Постійні шуми, рівень яких за повний робочий день при роботі технологічного обладнання змінюється не більш ніж на 5 дБА
- -Непостійні шуми, рівень яких за повний робочий день при роботі технологічного обладнання змінюється більш ніж на 5 дБА.

Для встановлення норм виробничого шуму в Україні діє ДСП 3.3.6 – 037: 99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

8.2.5 Виробничі вібрації

Рівні вібрації на робочих місцях в Україні регулюються Санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку (ДСН 3.3.6.039-99) і ДСТУ ISO 5349-1:2019 "Вібрація механічна. Вимірювання та оцінювання впливу на людину локальної вібрації". Ці документи встановлюють допустимі значення віброшвидкості та віброприскорення, що залежать від напрямку вібрацій (осьові, вертикальні, горизонтальні) та їх джерела. Максимально дозволені значення віброшвидкості становлять до 0,11 м/с, а віброприскорення – до 2,8 м/с².

Які і попередньому підрозділі важливою є боротьба з вібрацією в джерелі її утворення. Використання віброізоляційних заходів, встановлення обладнання на спеціальні віброізолюючі фундаменти або пружні опори. Також застосовуються віброізолюючі прокладки та вставки у місцях кріплення трубопроводів та обладнання до стін або несучих елементів. Ефективне керування виробничими вібраціями має вирішальне значення для збереження здоров’я працівників та забезпечення довговічності обладнання. Застосування сучасних технічних рішень дозволяє, створити безпечне та комфортне виробниче середовище.

8.2.6 Виробниче випромінювання

У виробничому середовищі можуть бути присутні різні види випромінювань та полів, що потенційно впливають на здоров’я працівників та функціонування обладнання. Для збільшення захисту від електромагнітних полів які виникають навколо будь-якого електричного обладнання, що працює, застосовуються екрановані матеріали які розміщення навколо джерел випромінювання або на шляху їх поширення. Це можуть бути спеціальні екрановані кабелі, екрановані шафи керування або відокремлення робочих зон від потужного електричного обладнання. Ефективний захист працівників та відповідність нормам безпеки досягається завдяки використанню екрануючих матеріалів, автоматизованих систем моніторинг та мінімізації прямого контакту персоналу з джерелами випромінювання.

8.3 Пожежна безпека

8.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Виникнення пожеж на промислових об’єктах, зокрема на пивоварнях, найчастіше пов’язане з несправностями електрообладнання, порушенням технологічного режиму, наявністю горючих речовин та джерел займання. В приміщення з пастеризаційно-охолоджувальною установкою основними джерелами пожежної небезпеки є

- Електрообладнання в роботі якого може статись коротке замикання, перевантаження електромереж та електродвигунів. Також може бути порушення ізоляція кабелів, перегрів шаф керування та інших електричних пристроїв.
- Гарячі елементи пастеризатора, паропроводи, трубопроводи з гарячим пивом, теплообмінники. У разі пошкодження теплоізоляції або контакту з горючими матеріалами вони можуть стати джерелом займання.

Для запобіганню пожежі, використовують комплекс технічних рішень, спрямованих на усунення або мінімізацію ризиків, пов’язаних з джерелами займання та горючими речовинами. Всі електроприлади повинні бути правильно спроектовані та встановлені, кабельні лінії мають прокладатись у негорючих трубках або лотках.

Обов’язковим є використання автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення та реле перевантаження, які забезпечують автоматичне відключення електромережі у разі коротких замикань, перевантажень або витоків струму.

Також важливим є проведення періодичних планово-попереджувальних оглядів електроустановок, вимірювання опору ізоляції та перевірка спрацьовування захисних пристроїв.

8.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Своєчасне виявлення є першим кроком у боротьбі з пожежею. Для цього встановлюються автоматичні системи пожежної сигналізації, що включаються різноманітні датчики: димові – для виявлення продуктів горіння, теплові – для фіксації підвищення температури, та у деяких випадках – датчики полум’я, що реагують на відкрите полум’я. Паралельно з автоматичними датчика, у легкодоступних місцях встановлені ручні пожежні сповіщувачі. Сигнали від усіх сповіщувачів надходять до центрального пожежного посту, а також інтегруються в загальну систему автоматизації технологічного процесу, що дозволяє оперативно оповіщати персонал та автоматично активувати системи пожежогасіння.

У разі виявлення пожежі, спрацьовують автоматичні водяні або газові системи пожежогасіння. Газові системи використовуються у разі загорання електроустановок, та перед їх використання обов’язково подається звуковий та світловий сигнал для евакуації персоналу.

На додаток до автоматичних систем, кожне приміщення обладнується достатньою кількістю первинних засобів пожежогасіння. До них належать вогнегасники різних типів, пожежні щити з набором інвентарю та пожежні покривала. Їх розміщення регламентується згідно наказу Міністерства внутрішніх справ №25 від 15 січня 2018 року «Правила пожежної безпеки в Україні». Мінімальна кількість вогнегасників також суворо регламентована. На кожних 50 квадратних метрів повинен розміщуватись 1 вогнегасник, проте не менше 2 одиниць на приміщення. Найбільш універсальними є порошкові та вуглекислотні вогнегасники.

Вогнегасники повинні бути встановленні в легкодоступних місцях не більше 1.5 метрів від підлоги. Крім того вони не повинні перекриватись обладнання або іншими предметами та бути добре видимими.

8.3.3 Розрахунок захисного заземлення відділення

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначити оптимальну кількість, розміри та схему розміщення електродів заземлювача і заземлюваних провідників у ґрунті.

Початкові дані:

1) Опір ґрунту 60 Ом·м;

2) Довжина вертикального заземлювача 3 м;

3) Тип заземлювача: кутник 25х25 мм;

4) Глибина закладання 0,8 м;

5) Ширина горизонтальної штаби 0,04 м;

6) Відстань між вертикальними заземлювачами 3 м;

7) Коефіцієнт сезонності 1,5.

Послідовність розрахунку:

1. Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту в залежності від коефіцієнта сезонності для II кліматичної зони:

$$\rho_{\text{роз.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot \text{К}_\text{с} = 60 \cdot 1{,}5 = 90 \text{ Ом·м} \tag{8.1}$$

2. Визначаємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$H = H_0 + \frac{l}{2} = 0{,}6 + \frac{3}{2} = 2{,}1 \text{ м} \tag{8.2}$$

3. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$\begin{gathered} R_B = 0{,}366 \frac{\rho_{\text{роз.}}}{l}\left(lg\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}lg\frac{4H+1}{4H-1}\right) \\ = 0{,}366 \cdot \frac{90}{3}\left(lg\frac{6}{0{,}025} + \frac{1}{2}lg\frac{8{,}4+1}{8{,}4-1}\right) = 26{,}7 \text{ Ом} \end{gathered} \tag{8.3}$$

4. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів

$$n_{\text{ор}} = \frac{R_{\text{В}}}{R_{\text{Д}}} = \frac{26{,}7}{4} \approx 7 \qquad (8.4)$$

5. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахування коефіцієнта використання:

$$n = \frac{n_{\text{ор}}}{\eta_{\text{в}}} = \frac{7}{0{,}7} \approx 10 \qquad (8.4)$$

6. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах без з'єднувальної стрічки

$$R_{\text{РОЗР.В.}} = \frac{R_B}{n_{\text{В}} \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{26{,}7}{10 \cdot 0{,}77} = 3{,}47 \text{ Ом} \qquad (8.5)$$

7. Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки

$$L = 1{,}05 \cdot a \cdot (n-1) = 1{,}05 \cdot 3 \cdot (10-1) = 28{,}35\, м \qquad (8.6)$$

8. Визначаємо опір розтікання струму для з'єднувальної стрічки

$$R_{\Gamma} = 0{,}366 \cdot \frac{\rho_{\text{роз.}}}{L} \ln\left(\frac{2L^2}{H_0 B_c}\right) = 0{,}366 \cdot \frac{90}{28{,}35} ln\left(\frac{2 \cdot 28{,}35^2}{0{,}6 \cdot 0{,}04}\right) = 12{,}9 \text{ Ом} \qquad (8.7)$$

9. Визначаємо опір в горизонтальному заземлювачі з урахуванням коефіцієнта використання горизонтально заземлювача

$$R_{\text{роз.Г}} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}} = \frac{12{,}9}{0{,}7} = 18{,}43 \text{ Ом} \qquad (8.8)$$

10. Визначаємо розрахунковий опір заземлення в вертикальних горизонтальних заземлювачах:

$$R_{\text{розр}} = \frac{R_{\text{розр.В}} \cdot R_{\text{розр.Г}}}{R_{\text{розр.В}} + R_{\text{розр.Г}}} = \frac{3{,}47 \cdot 18{,}43}{3{,}47 + 18{,}43} = 2{,}92 \text{ Ом} \qquad (8.8)$$

Отже, захисне заземлення розраховане правильно і не перебільшує 4 Ом.

Висновки: Під час виконання цього розділу було досліджено охорону праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації. Було розглянуті технічні рішення щодо безпечної експлуатації засобів автоматизації, гігієни праці та виробничої санітарії. А саме було розглянуто: мікроклімат, склад повітря робочої зони, виробниче освітлення, шум, вібрації, випромінювання, крім цього було досліджено технічні рішення системи запобігання пожежі та системи протипожежного захисту, розраховано захисне заземлення відділення.

РОЗДІЛ 9. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Характеристики об’єкта

Пастеризаційно-охолоджувальна установка – це високотехнологічне обладнання, призначене для термічної обробки та подальшого охолодження пива. Основна її функція – ефективне знищення шкідливих мікроорганізмів шляхом пастеризації, що дозволяє створити безпечний продукт, а також швидке охолодження до оптимальної температури, зберігаючи його смакові характеристики та якість.

Такі установки активно використовуються у пивоварнях різного масштабу – від крафтових виробництв до великих пивзаводів. Вони дозволяється підтримувати стабільні стандарти якості, відповідно до санітарних норм і вимог харчової промисловості.

Серед ключових переваг обладнання – зниження до мінімуму втрат продукції, збільшення строку її зберігання, зменшення витрати на ручну працю та забезпечення стабільності технологічного процесу. Завдяки автоматизованій системі керування можна точно регулювати температурні режими пастеризації та охолодження, що дозволяє знизити енергоспоживання та оптимізувати виробництво.

Введення в експлуатацію автоматизованої системи управління дозволить досягти економічного ефекту шляхом підвищення продуктивності, зниження експлуатаційних витрат і покращення якості кінцевої продукції.

Завдяки модульній конструкцій установки, її легко можна інтегрувати у вже існуючі пивоварні лінії, дозволяючи адаптувати продуктивність відповідно до потреб підприємства. Це дає можливість зменшити капітальні витрати та скоротити терміни впровадження нових технологій.

Розрахунок основних техніко-економічних показників

Для визначення витрат на впровадження автоматизованої системи складається кошторис, що включає вартість придбання, доставки та монтажу контрольно-вимірювальних приладів.

Вартість монтажних робіт формується з витрат на матеріали, енергоресурси, оплату праці та супутні витрати, що становлять 45% від вартості КВПіА. Крім того, транспортні витрати складають 25% від загальної вартості КВПіА.

Згідно із специфікацією технічних засобів автоматизації (див. табл. 3.3), їхня вартість становить 753 559 грн. Розрахунок загальної вартості ТЗА наведено в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1

Кошторис витрат на автоматизацію пастеризаційно-охолоджувальної установки

№ з/п	Тип приладу	Назва приладу	К-ть	Вартість одного приладу, грн	Загальна вартість приладів даного типу, грн
1	2	3	4	5	6
1	Програмований модуль керування	CPU P34 2020	1	42 193	42 193
2	Модуль блоку живлення	CPS 2000	1	9 357	9 357
3	Модуль аналогових вхідних сигналів	BMX AMI 800	1	22 794	22 794
4	Модуль аналогових вихідних сигналів	BMX AMO 0802	1	26 455	26 455

Продовження таблиці 9.1

1	2	3	4	5	6
5	Модуль дискретних вхідних та вихідних сигналів	BMX DDM16022	1	13 459	13 459
6	Давач температури	SITRANS TF2	2	35 318	70 636
7	Давач рівня	FLYGT LTU601	3	37 800	113 400
8	Давач тиску	SITRANS P300	1	27 745	27 745
9	Електропневматичний позиціонер	Festo CMSX	3	34 276	89 148
10	Кульовий клапан	Festo VZBC	3	4 512	13 536
11	Триходовий кульовий клапан	Festo VZBA	1	15 716	15 716
12	Частотний перетворювач	Altivar ATV320	4	15 130	60 520
13	Електронасос	Novax 50 T	4	35 800	143 200
Разом					**648 159**

При цьому вартість монтажних робіт складає:

$$648\ 159 \cdot 0{,}45 = 291\ 671{,}6 \text{ грн} \quad (9.1)$$

Транспортні витрати становлять:

$$648\ 159 \cdot 0{,}25 = 162\ 039{,}7 \text{грн} \quad (9.2)$$

Отже, загальний кошторис витрат на автоматизацію пастеризаційно-охолоджувальної установки буде становити:

$$K = 753\ 559 + 339\ 101{,}5 + 188\ 359{,}7 = 1\ 101\ 870 \text{ грн} \quad (9.3)$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування розраховуються на основі балансової вартості основних засобів, задіяних в процесі автоматизації, та встановлених норм амортизації. Зазначені норми становлять 40% від загальної вартості автоматизації.

Таблиця 9.2

Розрахунок річної суми амортизаційних відрахувань

№	Прилади	Повна вартість, грн	Норма амортизації, %	Річна сума амортизації, грн
1	2	3	4	5
1	Разом	1 101 870	40	440748,12

Розрахунок впливу амортизації на техніко-економічні показники

Автоматизація виробництва призводить до змін у техніко-економічних показниках. Потрібно визначити джерела економії, які забезпечують впровадження автоматизації та які впливають на її економічну ефективність. Це може бути досягнуто за рахунок зниження витрат на сировину, допоміжні матеріали, енергоносії, підвищення виробничої потужності, зменшення трудомісткості обслуговування та покращення якості продукції тощо.

Продуктивність установки А1-ОКЛ5, яка розглядається, становить 10 000 л/год.

Після впровадження автоматизації економія електроенергії становить 4 кВт год.

Отже продуктивність установки А1-ОКЛ5 за рік складатиме:

$$10\ 000 \text{ л/год} \cdot 8\ 760 \text{ год} = 87\ 600\ 000 \text{ л/рік} = 87\ 600 \text{ м}^3\text{/рік} \quad (9.4)$$

Економія електроенергії за рік становитиме:

$$8\ 760 \text{ год} \cdot 4 \text{ кВт год} = 35\ 040 \text{ кВт год/рік} \quad (9.5)$$

Тоді загальне заощадження становитиме:

$$E_1 = 35\ 040 \text{ кВт год/рік} \cdot 4{,}32 \text{ грн/кВт год} = 151\ 372 \text{ грн} \quad (9.6)$$

Розрахунок чисельності основних робітників бригади

З урахуванням специфіки виробничого процесу та обладнання, необхідно здійснити розподіл обов’язків між працівниками зміни та визначити їх тарифні розряди, керуючись чинними тарифно-кваліфікаційними довідниками.

Кількість працівників, які входять до штату і працюють у змінному режимі, визначається як явкова чисельність. Щоб перейти від явкової чисельності до спискової, слід встановити коефіцієнт переходу.

Для виробників з безперервним режимом роботи:

$$К_п = Т_к / Т_{ее} = 365 / 245 = 1,5 \quad (9.7)$$

$$Ч_с = Ч_я \cdot К_{п=} 6 \cdot 1,5 = 8 \quad (9.8)$$

Щоб оцінити ефективність використання робочого часу одного працівника, проводиться розрахунок з урахуванням його графіка роботи.

Після впровадження автоматизації витрати на заробітну плату зменшуються завдяки скороченню кількості основних працівників. Економію у сфері охорони праці обчислюють як добуток кількості звільнених працівників на середньорічні витрати за кожною зі згаданих статей.

Розрахунок фонду заробітної плати (основних працівників)

Нарахування та планування заробітної плати здійснюється згідно із законом «Про оплату праці» і залежить від категорії працівників, базуючись на тарифній системі.

Тарифна система – це сукупність встановлених нормативів для організації та планування оплати праці, тарифікації робіт, присвоєння розрядів робітникам, призначення на посади і регламентація праці службовців.

Заробітна плата включає в себе такі основні компоненти:

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

Прями розрахунок фонду заробітної плати здійснюється за формулою

$$ФЗП_{річ} = ФЗП_{осн} + ФЗП_{дод} \quad (9.9)$$

Звідси розуміємо, що сума фонду заробітної плати за рік дорівнює сумі фондів заробітної плати за основним тарифом та за додатковою заробітною платою.

$ФЗП_{осн}$ – розраховується як за погодинною системою оплати, так і за відрядною.

При оплаті за годину:

$$ФЗП_{осн} = С_{сер} \cdot Т_{сер} \cdot n, \quad (9.10)$$

де $С_{сер}$ – тарифна ставка (годинна, денна) грн;

$Т_{сер}$ – ефективний час роботи, в годинах або днях відповідно.

$$ФЗП_{осн} = 120 \text{ грн} \cdot 1960 \cdot 8 = 1\,881\,600 \text{ грн} \quad (9.11)$$

$$ФЗП_{дод} = Д_{пр} + Д_{н} + Д_{в}, \quad (9.12)$$

де $Д_{пр}$ – доплати у вигляді премій, згідно з діючими положеннями; $Д_{н}$ – доплата в нічний час; $Д_{в}$ – доплата у вечірній час.

$$Д_{пр} = ФЗП_{осн} \cdot П_{пр} = 1\,881\,600 \text{ грн} \cdot 0{,}25 = 470\,400 \text{ грн}, \quad (9.13)$$

Де $П_{пр}$ – відсоток премій.

$$Д_{н} = ФЗП_{осн}/3 \cdot П_{н} = 1\,881\,600 \text{ грн} /3 \cdot 0{,}4 = 250\,880 \text{ грн} \quad (9.14)$$

$$Д_{в} = ФЗП_{осн}/3 \cdot П_{в} = 1\,881\,600 \text{ грн} /3 \cdot 0{,}2 = 125\,440 \text{ грн} \quad (9.15)$$

Доплата за роботу в святкові дні $Д_{св}$:

$$Д_{св} = 12 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 120 = 34\,560 \text{ грн} \quad (9.16)$$

$$ФЗП_{дод} = 470\,400\text{грн} + 250\,880\text{грн} + 125\,440\text{грн} + 34\,560\text{грн} = 881\,280 \text{ грн} \quad (9.17)$$

Оплата днів у відпустці (основній) від ФЗП дорівнює добутку середньоденного заробітку з кількістю днів знаходження працівника у відпустці.

Щоб розрахувати середньоденну зарплату потрібно поділити суму фонду основної заробітної плати та доплати на ефективний фонд у днях.

$$ФЗП_{від} = (1\,881\,600 \text{ грн} + 881\,280 \text{ грн}) / 245 \cdot 24 = 270\,649{,}5 \text{ грн} \quad (9.18)$$

$$ФЗП_{р} = ФЗП_{осн} + ФЗП_{дод} + ФЗП_{від} = 1\,881\,600 \text{ грн} + 881\,280 \text{ грн} + 270\,649{,}5 \text{ грн} = 3\,033\,529{,}5 \text{ грн} \quad (9.19)$$

Середньомісячна зарплата складає:

$$З_{роб} = 3\,033\,529{,}5 / (12 \cdot 8) = 31\,600 \text{ грн} \quad (9.20)$$

Таблиця 9.3

Показники фонду робочого часу

Показники	Неперервне виробництво, 8-годинний робочий день, 4-х бригадний графік
1	2
1. Календарний фонд часу	365

Продовження таблиця 9.3

1	2
2. Вихідні дні	-
3. Святкові дні	91
4. Номінальний фонд робочого часу, днів	274
5. Невиходи на роботу, днів:	
чергова відпустка	24
відпустка по вагітності	2
відпустка на хвороби	1
виконання державних обов'язків	1
відпустка у зв'язку з навчанням	1
6. Загальна кількість невиходів на роботу, днів	29
7. Ефективний час роботи, днів	245
8. Ефективний час роботи, годин	1960

Таблиця 9.4

Розрахунок явочної кількості основних працівників

№	Найменування	Тарифний розряд	Розстановочний штат у зміну	Число змін	Явочна кількість на добу
1	2	3	4	5	6
1	Оператор	VI	1	3	3
2	Оператор	V	1	3	3

До автоматизації на зміну було потрібно четверо працівників, а після її впровадження достатньо одного оператора. Це дозволяє значно скоротити витрати завдяки зменшенню кількості обслуговуючого персоналу. Економія ж складатиме:

$$Е_з = З_{роб} \cdot 12 \cdot n = 31\,600 \text{ грн} \cdot 12 \cdot 4 = 1\,516\,800 \text{ грн}, \quad (9.21)$$

де $З_{роб}$ – місячна зарплата одного працівника, грн/міс

n – кількість робітників.

Сумарна економія дорівнює:

$$Е_с = Е_1 + Е_з = 151\ 372 \text{ грн} + 1\ 516\ 800 \text{ грн} = 1\ 668\ 172 \text{ грн} \quad (9.22)$$

Розрахунок експлуатаційних витрат на автоматизацію

До витрат на впровадження автоматизації входять:

а) витрати на електроенергію для живлення приладів та засобів автоматизації

Система автоматизації споживає 3 500 кВт год на електроенергії на рік.

Вартість спожитої електроенергії становитиме:

$$З_1 = 3500 \text{ кВт год/рік} \cdot 4{,}32 \text{ грн/кВт год} = 15\ 120 \text{ грн} \quad (9.23)$$

б) витрати на утримання кваліфікованих працівників для обслуговування КВПіА складають:

$$З_2 = З_{роб} \cdot 12 \cdot 1 \cdot n = 31\ 600 \text{ грн} \cdot 12 \cdot 1 \cdot 1 = 379\ 200 \text{ грн/рік} \quad (9.24)$$

в) витрати на амортизацію

$$З_3 = 440748{,}12 \text{грн} \quad (9.25)$$

г) Витрати на охорону праці заново прийнятих робітників для обслуговування КВПіА:

$$З_4 = 5500 \text{ грн/рік} \quad (9.26)$$

д) затрати на ремонт КВПіА

$$З_5 = 35000 \text{ грн/рік} \quad (9.27)$$

г)єдиний соціальний внесок + військовий збір:

$$З_{ЄСВ} = (0{,}18 + 0{,}05) \cdot З_2 = 0{,}23 \cdot 379\ 200 \text{ грн} = 87\ 216 \text{ грн} \quad (9.28)$$

Затрати на експлуатацію дорівнюють сумі усіх витрат:

$$З_е = З_1 + З_2 + З_3 + З_4 + З_5 + З_{ЄСВ} = 15\ 120 \text{ грн} + 379\ 200 \text{ грн} + 440\ 748{,}1 \text{ грн} + 5500 \text{ грн} + 35000 \text{ грн} + 87\ 216 \text{ грн} = 962\ 784{,}1 \text{ грн/рік} \quad (9.29)$$

Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

а) річний економічний ефект знаходимо за формулою:

$$Е_р = Е_{заг} – К \cdot Е_н = 705\ 387{,}9 - 1\ 101\ 870 \cdot 0{,}15 = 540\ 107{,}4 \text{ грн} \quad (9.30)$$

де $Е_{заг}$ – загальна умовно-річна економія за рахунок різноманітних джерел, яка визначається за формулою:

$$Е_{заг} = Е_с – З_е = 1\ 668\ 172 \text{ грн} - 962\ 784{,}1 \text{ грн} = 705\ 387{,}9 \text{ грн}, \quad (9.31)$$

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

К – капітальні витрати на автоматизацію (згідно кошторису)

$Е_н$ – коефіцієнт ефективності ($Е_н$=0,15).

$З_е$ – експлуатаційні затрати на автоматизацію.

Б) Термін окупності:

$$Т_{ок} = К/Е_{заг} = 1\ 101\ 870 / 540\ 107,4 = 2,04 \text{ роки} \quad (9.32)$$

В) Коефіцієнт економічної ефективності:

$$Е = 1/ Т_{ок} = 1 / 2,04 = 0,49 \quad (9.33)$$

Таблиця 9.5

Основні техніко-економічні показники

№	Показник	Одиниці	Величина
1	2	3	4
1	Витрати на автоматизацію	Грн.	1 101 870
2	Чисельність робітників в день (3 зміни)	Чол.	1
3	Середньорічна заробітна плата	Грн.	31 600
4	Річний економічний ефект	Грн.	540 107,4
5	Термін окупності	Роки	2,04
6	Коефіцієнт економічної ефективності	-	0,49

Висновки до розділу:

Впровадження нової системи автоматизації призведе до значного економічного ефекту завдяки покращенню якості продукції, зниженню витрат електроенергії на виробничім процесі та оптимізації чисельності обслуговуючого персоналу. Проект окупиться за 2,04 роки, а його коефіцієнт економічної ефективності становить 0,49, що підтверджує економічну доцільність.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі було проведено аналіз технологічного процесу як об’єкту керування. Описано технологічний процес пастеризації та охолодження пива, проаналізовано фактори, які безпосередньо впливають на перебіг технологічного процесу. Складено структурну схему взаємозв’язків параметрів об’єкта керування. Також було проаналізовано характеристики взаємозв’язку між параметрами об’єкта регулювання. Визначено функціональні ознаки системи, та проведено порівняння існуючих схем керування та розроблення оптимальної функціональної схеми автоматизації, спрощений вигляд якої наведено на рис. 2.3.

Було здійснено обґрунтований вибір та детальний опис основних елементів системи автоматизації. Зокрема, були розглянуті первинні вимірювальні перетворювачі, які забезпечують точне та надійне вимірювання критичних параметрів технологічного процесу. Також було проаналізовано принципи роботи та підібрано виконавчі механізми, які відповідають за зміну керованих параметрів у системі. Окрему увагу приділено вибору та налаштуванню мікропроцесорного засобу автоматизації – програмовано логічного контролера серії Modicon M340, виробництва Schneider Electric.

Крім цього було розроблено функціональну схему автоматизації процесу пастеризації та охолодження пива, описано принцип її роботи. Розгорнути вигляд функціональної схеми автоматизації представлено на графічному плакаті №1 цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи.

В 5 розділі цієї роботи було розроблено алгоритми функціонування по кожному з контурів системи автоматизованого керування. Виконано розробку та опис програми функціонування ПЛК Modicon M340. Загальна програма функціонування наведена на графічному плакаті №2.

Під час виконання 6 розділу було виконано розробку принципових електричних схем з’єднань засобів автоматизації, загальний вигляд яких представлено на графічному плакаті №3.

Також на основі перехідного процесу системи регулювання отриманогопри зміні заданого значення температури пива на виході пастеризатор з 83,5°С по 70°С та експериментальних параметрів налаштування ПІ-регулятора (K_p= 1; T_i=100) була визначена передавальна функція об'єкта, яка має вигляд:

$$W_{\text{ОР}}(p) = \frac{0{,}4278}{(46{,}6004p + 1)(93{,}6311p + 1)(46{,}464p + 1)}.$$

Отримана модель забезпечує мінімальне значення середньоквадратичного відхилення розрахованих значень перехідного процесу САР від експериментальної σ = 0,2627 °С. При цьому максимальна зведена похибка δ_{max} апроксимації перехідного процесу становить 4,79%.

Після цього було розраховано оптимальні налаштування ПІ-регулятора за методом розширених частотних характеристик. Була отримана передавальна функція автоматичного регулятора, яка має такий вигляд:

$$W_{AP} = 1{,}0556 + \frac{0{,}0103}{p}.$$

В графічному середовищі Simulink була складена та досліджена модель системи автоматичного регулювання при зміні заданого значення, зміні збурюючої дії та стрибкоподібній зміні регулювальної дії. З отриманих графіків (див рис. 7.8-7.10), було виявлено, що параметри якості перехідного процесу, з оптимальними налаштуваннями ПІ-регулятора, мінімально перевершують експериментальні параметри.

Після цього, було виконано уточнення параметрів налаштування регулятора, за допомогою інструменту PID-tuner, і отримано таку передавальну функцію автоматичного регулятора:

$$W_{AP2} = 2{,}1441 + \frac{0{,}015309}{p}.$$

Порівнюючи параметри якості перехідного процесу при отриманих параметрах налаштування ПІ-регулятора, з експериментальними параметрами, можна зробити висновок, що параметри ПІ регулятора, знайдені при використанні інструменту PID-tuner, дають змогу покращити прямі показники якості при

збереженні необхідних запасів стійкості системи регулювання за амплітудою та фазою. Основні результати виконання моделювання наведено на графічному плакаті №4 цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи.

Під час виконання 8 розділу було досліджено охорону праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації. Було розглянуті технічні рішення щодо безпечної експлуатації засобів автоматизації, гігієни праці та виробничої санітарії.

Також було виявлено що впровадження нової системи автоматизації призведе до значного економічного ефекту завдяки покращенню якості продукції, зниженню витрат електроенергії на виробничім процесі та оптимізації чисельності обслуговуючого персоналу. Проект окупиться за 2,04 роки, а його коефіцієнт економічної ефективності становить 0,49, що підтверджує економічну доцільність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Fellows, P. J. (2017). Food Processing Technology Principles and Practice. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. – P. 241-249.

2. ABB, Inc. (2018), Recording and Control C1900 in Pasteurization processes. Електронний ресурс. URL: https://library.e.abb.com/public/81ad901d59844fd3ba52a1ac77bcf3b6/TD_RandC_019-EN_A.pdf

3. Пастеризаційно-охолоджувальна установка А1-ОКЛ-10 | ПОУ-10. Електронний ресурс. URL: https://promf.com/reference-equipment-food-ru/1303-pasport-pasterizatsionno-okhladitelnoj-ustanovki-a1-okl-5.html

4. Давач температури SITRANS TF2. Електронний ресурс. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/991/17917991/att_70560/v1/A5E00981310-02en_TFHART_OI_en-US.pdf

5. Давач рівня FLYGT LTU601. Електронний ресурс. URL: https://pumpselect.com.ua/assets/templates/images/flygt/flygt-iom-ltu-601.pdf

6. Давач тиску SITRANS P300. Електронний ресурс. URL: https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/kotrolno-vymiryuvalni-prylady/vymiryuvannya-tysku/sitrans-p300.html

7. Електропневматичний позиціонер Festo CMSX. Електронний ресурс. URL: https://www.festo.com/media/catalog/202671_documentation.pdf

8. Кульовий клапан Festo VZBC з приводом. Електронний ресурс. URL: https://www.festo.com/media/catalog/202595_documentation.pdf

9. Перетворювачі частоти ALTIVAR Machine ATV320. Електронний ресурс. URL: https://download.schneider-electric.com/doc/UAM-DIA5ED2170101EN/Каталог засобів автоматизації та керування 2024.pdf

10. Насоси Novax 50T. Електронний ресурс. URL: https://prom-nasos.pro/wa-data/public/site/docs/ROVER_Manual.pdf?v58

11. Інформаційні матеріали лекційного заняття №9 з дисципліни: «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації». Електронний навчально-методичний комплекс віртуального навчального середовища НУ «Львівська політехніка». URL: https://vns.lpnu.ua/course/section.php?id=117868

12. Контролери та їх програмне забезпечення. Курс лекцій, частина 3. Національний університет харчових технологій. Електронний ресурс. URL: https://elprivod.nmu.org.ua/files/automation.pdf

13. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації» для студентів бакалаврського (першого) рівня вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизації та комп'ютерно-інтегровані технології / Укл. І.В. Костик, В.О. Джигирей – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2022

14. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Автоматизація технологічних процесів" для студентів напряму підготовки 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". Львів. Національний університет "Львівська Політехніка", 2019. 14 с.

15. Інформаційні матеріали лекційного заняття №2 з дисципліни: «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації». Електронний навчально-методичний комплекс віртуального навчального середовища НУ «Львівська політехніка». URL: https://vns.lpnu.ua/course/section.php?id=107402

16. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів. Лабораторний практикум: навч. посібник / Г. Крих, Г. Матіко. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 156с

17. Методичні вказівки для самостійної роботи та виконання курсової роботи з дисципліни "Теорія автоматичного керування" для студентів першого (бакалаврського) рівня підготовки спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / уклад. Г.Б. Крих, Ф.Д. Матіко. Львів: Національний університет "Львівська Політехніка". 2023. – 31 с.

18. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони. //Наказ Міністерства охорони здоров'я України 14 липня 2020 року № 1596.

Додаток А. Програма для знаходження моделі об’єкта та оптимальних налаштувань ПІ-регулятора

```
clear all;
clc;
global ti yri yi Wor Wsar z tau;

%% 1. Вхідні експериментальні дані
t = [0 50.45 100.7 151.05 201.8 252.25 302.7 353.15 403.6 454.05 504.5 554.95 605.4 655.85
706.3 756.75 807.2 857.6];
Te = [83.5 83.39 82.23 80.23 78 75.2 73.45 72.1 71.4 70.6 70.1 70.05 70.03 70.02 70.01 70
70 70];

% Перетворення зменшення на зростання (для узгодженості з підходом)
ye = max(Te) - Te;

T = max(t);
ti = 0:10:T;  % Часова сітка
yi = interp1(t, ye, ti);  % Інтерполяція

%% 2. Параметри ПІ-регулятора
kp_r=1;
kp_Ti = 0.01;
Ti = 1 / kp_Ti;

%% 3. Початкові оцінки параметрів моделі ОР 3-го порядку
T1_0 = T / 15;
T2_0 = T / 12;
T3_0 = T / 9;
k_0=3/kp_r;
x0 = [k_0 T1_0 T2_0 T3_0];  % Вектор початкових наближень

%% 4. Підбір параметрів моделі
options = optimset('LargeScale','on', 'Tolfun',1e-10, 'TolX',1e-10, ...
                   'MaxFunEvals',1000, 'MaxIter',400);
[x, s, del, f, output] = lsqnonlin('par_or3', x0, [], [], options);
k = abs(x(1));
T1 = abs(x(2));
T2 = abs(x(3));
T3 = abs(x(4));

%% 5. Перевірка
d = abs(del);
z = max(ye);
delm = max(d)/z * 100;
disp('МЗП = %'); disp(delm);
sigma = sqrt(s/length(yri));
disp('K = '); disp(k);
disp('T1 = '); disp(T1);
disp('T2 = '); disp(T2);
disp('T3 = '); disp(T3);
%% 6. Побудова графіків
tr = 0:T;
yr = z * step(Wsar, tr);
y = step(Wor, tr);

figure(1);
plot(t, Te, '-ok','linewidth',1.5); grid on;
xlabel('\itt, sec\rm'); ylabel('\ith(t)\rm');
title('Експериментальна ПХ САР')
```

```
figure(2);
plot(t, ye, 'ko', tr, yr, 'k'); grid;
xlabel('t, sec.'); ylabel('h(t)'); legend('exp','roz');
title('ПХ САР')

figure(3);
plot(tr, y, 'k'); grid;
xlabel('t, sec.'); ylabel('h(t)');
title('ПХ ОР')
%% 7.Розрахунок параметрів налаштування ПІ-регулятора
m=1.4;
w0=0.01;
wp=fzero('p_reg',w0)
wi=fzero('Fi_PC',w0)
i=1;
for w1=wi:0.0001:wp
        fi1(i)=-atan((T1*w1)/(1-T1*m*w1));
    if w1>1/(T1*m)
        fi1(i)=-pi/2-atan((T1*m*w1-1)/(T1*w1));
    end
      fi2(i)=-atan((T2*w1)/(1-T2*m*w1));
    if w1>1/(T2*m)
        fi2(i)=-pi/2-atan((T2*m*w1-1)/(T2*w1));
    end
     fi3(i)=-atan((T3*w1)/(1-T3*m*w1));
    if w1>1/(T3*m)
        fi3(i)=-pi/2-atan((T3*m*w1-1)/(T3*w1));
    end
    w(i)=w1;
    i=i+1;
end
fi_or=fi1+fi2+fi3;
A1=1./sqrt((1-T1*m*w).^2+T1^2*w.^2);
A2=1./sqrt((1-T2*m*w).^2+T2^2*w.^2);
A3=1./sqrt((1-T3*m*w).^2+T3^2*w.^2);
A_or=k*A1.*A2.*A3;
kp_Tiz=-w.*(m^2+1).*sin(fi_or)./A_or;
kp=(-cos(fi_or)-m*sin(fi_or))./A_or;
%% 8.Знаходження інтегральної квадратичної оцінки процесу
t2=[0:1000];
for i=1:length(kp)
    W1=tf(1,[T1 1]);
    W2=tf(1,[T2 1]);
W3=tf(1,[T3 1]);
    WOP=k*W1*W2*W3;
    Wap=tf(kp(i),1);
    Wap1=tf(kp_Tiz(i),[1 0]);
    WAP=Wap+ Wap1;
    WS=WOP/(1+WAP*WOP);
y=step(WS,t2)*20;
Y=y.^2;
J2(i)=trapz(Y);
end
[J2_min imin]=min(J2)
kp_opt=kp(imin)
kp_Tiz_opt=kp_Tiz(imin)
%% 9.Побудова графіку границі області запасу стійкості САР з ПІ-регулятором
figure(4);
plot(kp, kp_Tiz, 'k',kp_opt, kp_Tiz_opt, '*r', 'linewidth', 1.5); grid;
```

```
xlabel('\itk_{P}\rm', 'FontSize', 14, 'FontName',
'Times New Roman');
ylabel('\itk_{P}/T_{із}\rm', 'FontSize', 14, 'FontName','Times New Roman');
%% 10.Побудова графіку залежності інтегральної квадратичної оцінки від Kp
figure(5)
plot(kp,J2,kp_opt,J2_min,'ok');grid;
xlabel('\itk_{P}\rm', 'FontSize', 14, 'FontName','Times New Roman');
ylabel('\itJ_{2}\rm', 'FontSize', 14, 'FontName','Times New Roman');
```

де p_reg:

```
function y=p_reg(w)
% Функція для визначення частоти роботи регулятора
m=1.4; T1=46.6004; T2=93.6311; T3=46.4640;
% Розширена ФЧХ ОР
fi1=-atan(T1*w/(1-T1*m*w));
if w > 1/(T1*m)
    fi1=-pi/2-atan((T1*m*w-1)/(T1*w));
end
fi2=-atan(T2*w/(1-T2*m*w));
if w > 1/(T2*m)
    fi2=-pi/2-atan((T2*m*w-1)/(T2*w));
end
fi3=-atan(T3*w/(1-T3*m*w));
if w > 1/(T3*m)
    fi3=-pi/2-atan((T3*m*w-1)/(T3*w));
end
% Розширена ФЧХ АР
fi_op=fi1+fi2+fi3;
fi_ap=0;
y=fi_op+fi_ap+pi;
```

де Fi_PC:

```
function y=Fi_PC(w)
m=1.4; T1=46.6004; T2=93.6311; T3=46.4640;
% Розширена ФЧХ ОР
 fi1=-atan(T1*w/(1-T1*m*w));
if w > 1/(T1*m)
    fi1=-pi/2-atan((T1*m*w-1)/(T1*w));
end
fi2=-atan(T2*w/(1-T2*m*w));
if w > 1/(T2*m)
    fi2=-pi/2-atan((T2*m*w-1)/(T2*w));
end
fi3=-atan(T3*w/(1-T3*m*w));
if w > 1/(T3*m)
    fi3=-pi/2-atan((T3*m*w-1)/(T3*w));
end
% Розширена ФЧХ АР
fi_op=fi1+fi2+fi3;
fi_ap=-pi/2-atan(m);
y=fi_op+fi_ap+pi;
```