

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем
управління

«До захисту в ЕК»

Декан факультету

Андрій ФОРСЮК
(ім'я та прізвище)

(підпис)

«11» червня 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ярослав СМІТЮХ
(ім'я та прізвище)

(підпис)

«11» червня 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Комп'ютерні системи та програмна інженерія
в автоматизації»

на тему: Розробка системи автоматизації процесу пастеризації світлого пива

Виконав: здобувач 4 курсу, групи АК-4-1

СОБКОВ Микола Романович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник ПУПЕНА Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент Микола КОСТИКОВ

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2025 р.

Національний університет харчових технологій

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

ім. проф. А.П. Ладанюка

Освітній ступінь «Бакалавр»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри АКТСУ

ім. проф. А.П. Ладанюка

Ярослав СМІТЮХ

«28» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Собков Микола Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка системи автоматизації процесу пастеризації світлого пива»

керівник роботи к.т.н., доц. ПУПЕНА Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «28» квітня 2025 р. № 254-кс

2. Строк подання здобувачем роботи «5» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

Об'єктом автоматизації є потоковий пластинчатий пастеризатор пива, використовується в контексті малого виробництва. Система автоматизації повинна забезпечити автоматичний контроль та регулювання процесів нагріву та охолодження продукту. Матеріали переддипломної практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Опис об'єкта автоматизації. 1.1. Технологічний опис об'єкта автоматизації. 1.2. Розробка завдання на систему автоматизації. 2. Система автоматизації. 2.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО). 2.2. Схема автоматизації. 2.3. Специфікація засобів автоматизації. 3. Проектне

компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення.
3.1. Проектне компонентування промислового логічного контролера (ПЛК). 3.2.
Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК. 3.3. Розширені схеми
підключення для окремого контуру. 4. Креслення встановлення технічного засобу.
5. Опис спеціального програмного забезпечення для промислового логічного
контролера (алгоритм та програма для ПЛК). 6. Розробка людино-машинного
інтерфейсу оператора технолога. 6.1. Переліки вхідних та вихідних сигналів та
даних SCADA/HMI. 6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Схема автоматизації. 2. Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.

3. Креслення встановлення технічного засобу.

6. Дата видачі завдання 28 квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача та затвердження завдання</i>	<i>Перед переддипломною практикою</i>	
2	<i>Розділ 1</i>	<i>Захист переддипломної практики</i>	
3	<i>Розділ 2</i>	<i>1 тиждень</i>	
4	<i>Розділ 3</i>	<i>2 тиждень</i>	
5	<i>Розділ 4 та 5</i>	<i>3 тиждень</i>	
6	<i>Розділ 6</i>	<i>4 тиждень</i>	
7	<i>Підготовка матеріалів до захисту</i>	<i>5 тиждень</i>	
8	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>6 тиждень</i>	

Здобувач Микола СОБКОВ

_____ (підпис)

Керівник роботи Олександр ПУПЕНА

_____ (підпис)

Анотація

У сучасному світі, де технології активно впроваджуються у всі сфери діяльності та особливо виробництва, процес пивоваріння не став винятком. Використання автоматизованих систем дозволяє досягти стабільної якості та смакових характеристик продукції, що є критично важливим у виготовленні пива.

У кваліфікаційній роботі приводиться опис розробки системи автоматизації процесу пастеризації світлого пива. Метою проекту є створення автоматизованої системи, яка забезпечує контроль температурних режимів, подачу пари, охолодження та злив готового продукту. Система реалізована на основі ПЛК Modicon M340, що дозволяє об'єднати в єдину логіку роботу датчиків, виконавчих механізмів та операторського інтерфейсу.

У роботі детально описано підключення та функції основних технічних засобів автоматизації, зокрема монтажу датчику температури IFM TN2530, а також схему введення/виведення сигналів на ПЛК. Візуалізація процесу реалізована у вигляді мнемосхеми в середовищі Citect Scada 2024, що забезпечує зручність експлуатації та можливість оперативного втручання оператора. У роботі також описано структуру ПЛК-програми, способи формування сигналів керування, логіку регулювання процесів.

Ключові слова: пастеризація, пиво, автоматизація, Modicon M340, IFM TN2530, Citect Scada2024.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Abstract

In today's world, where technology is actively being integrated into all areas of activity—especially manufacturing—the brewing process is no exception. The use of automated systems enables consistent product quality and taste, which is critically important in beer production.

This qualification project presents the development of an automation system for the pasteurization process of light beer. The goal of the project is to create an automated system that ensures control over temperature conditions, steam supply, product cooling, and final product discharge. The system is based on the Modicon M340 PLC, which allows for the integration of sensors, actuators, and the operator interface into a unified control logic.

The work provides a detailed description of the connection and functionality of the main automation components, particularly the installation of the IFM TN2530 temperature sensor, as well as the PLC input/output signal scheme.

Process visualization is implemented as a mimic diagram using Citect SCADA 2024, providing ease of operation and the possibility of real-time operator intervention.

The project also describes the PLC program structure, methods for generating control signals, and the logic of process regulation.

Keywords: pasteurization, beer, automation, Modicon M340, IFM TN2530, Citect SCADA 2024.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Опис об'єкта автоматизації.....	8
1.1. Технологічний опис об'єкта автоматизації.....	8
Види пастеризаторів	11
1.2 Розробка завдання на систему автоматизації.....	16
Розділ 2. Система автоматизації.....	18
2.1 Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО).....	18
2.2 Схема автоматизації.....	31
2.1 Специфікація засобів автоматизації	35
Розділ 3. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення	37
3.1. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК).....	37
3.2. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК.....	39
3.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру	40
Розділ 4. Креслення встановлення технічного засобу.....	44
Розділ 5. Опис спеціального програмного забезпечення для промислового логічного контролера (алгоритм та програма для ПЛК).....	48
Розділ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога	55
6.1. Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI.....	55
6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора.....	57
Висновки	59
Список використаної літератури і джерел.....	60

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Пастеризація є одним з ключових етапів у технологічному процесі виготовлення пива, адже саме вона забезпечує мікробіологічну стабільність напою та подовжує його термін зберігання без втрати смакових якостей. Якість готової продукції значною мірою залежить від точності дотримання параметрів пастеризації, зокрема температури, часу витримки та стабільності охолодження.

Сучасні підходи до виробництва пива передбачають широке використання автоматизованих систем, що дозволяє мінімізувати людський фактор, підвищити точність регулювання технологічних процесів та забезпечити повторюваність результатів. Особливо актуальним є впровадження автоматизації на малих і середніх пивоварнях, де важливо досягти промислової якості при обмежених ресурсах.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка системи автоматизації процесу пастеризації світлого пива із застосуванням сучасних технічних засобів, таких як програмований логічний контролер **Modicon M340**, промислові датчики, виконавчі механізми та операторський інтерфейс. Реалізація автоматизованої системи дозволить забезпечити стабільні параметри пастеризації, знизити споживання енергії та підвищити ефективність виробництва без погіршення якості готового продукту.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Розділ 1. Опис об'єкта автоматизації.

1.1. Технологічний опис об'єкта автоматизації.

Пиво — один із найстаріших і найпопулярніших слабоалкогольних напоїв у світі. Воно отримується шляхом зброджування пивного сусла, яке готують із ячмінного солоду, хмелю, води та пивних дріжджів. Залежно від рецептури, використовуються також інші інгредієнти — наприклад, пшеничний солод, спеції, фрукти, мед або карамельні добавки.

Смакові та ароматичні характеристики пива формуються на всіх етапах його виробництва — від вибору сировини до умов зброджування та витримки. Основні типи пива класифікуються за типом бродіння:

- верхове бродіння (ель)
- низове бродіння (лагер)
- спонтанне бродіння (ламб'ік)

Кінцевий продукт зазвичай містить від 3 до 7% об'ємних одиниць алкоголю, а також вуглекислий газ, що надає йому приємної свіжості.

Після основного та доброджування пиво все ще містить активну мікрофлору — дріжджі, бактерії, а також нестабільні білкові та колоїдні сполуки. Без відповідної обробки продукт має короткий термін зберігання та може втратити органолептичні властивості або навіть зіпсуватись.

Одним із найефективніших способів стабілізації пива є пастеризація — процес термічного знезараження, що забезпечує знищення залишкових мікроорганізмів без значного впливу на смак, аромат і колір напою.

					Кваліфікаційна робота		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лім.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Собков М.Р.			Розробка системи автоматизації процесу пастеризації світлого пива		
Керівник		Пупена О.М.				8	10
Зав. каф.		Смітюх Я.В.				НУХТ АК-4-1	
Секр. ЕК		Проскурка Є.С.					

Пастеризація — це короткочасне нагрівання продукту до температури, достатньої для знищення небажаної мікрофлори. У випадку з пивом типовим є нагрів:

- до 60–72 °С
- протягом 15–30 секунд

Після цього пиво швидко охолоджується до температури розливу або зберігання (5–10 °С).

Процес базується на теплообміні, який відбувається у спеціалізованих установках — пастеризаторах пластинчастого або трубчастого типу. Сама теплова енергія може надходити у вигляді пари, гарячої води або через інші теплоносії.

Назва процесу утворена від прізвища Луї Пастера (Louis Pasteur), що відкрив вплив термічної обробки на напій. Також в ряді досліджень було встановлено, що час, потрібний на пастеризацію, експоненційно залежить від температури нагріву рідини. Відповідно, чим сильніше нагрівається пиво, тим менше часу потрібно щоб знищити інфекційні мікроорганізми.

На основі цього була прийнята одиниця вимірювання інтенсивності процесу пастеризації, що називається PU - Pasteurization Units, з англ. — «одиниці пастеризації». Отже, це біологічний ефект від пастеризації пива при температурі 60 градусів, протягом 1 хвилини. Формула розрахунку:

$$PU = t * 1,393^{(T-60)}$$

t – час пастеризації, у хв

T – температура пастеризації,

Оптимальне значення PU для пива – 15-30. Якщо значення буде нижче вказаного діапазону, строк придатності продукту зменшиться, та буде лотарея із смаковими характеристиками пива. У разі значення вищого, смакові

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

характеристики напою будуть знищені, банально кажучи утвориться вода із віддаленою нотою пива.

Нижче, наведено графік, на якому вказано значення PU, необхідне для знищення певних мікроорганізмів:

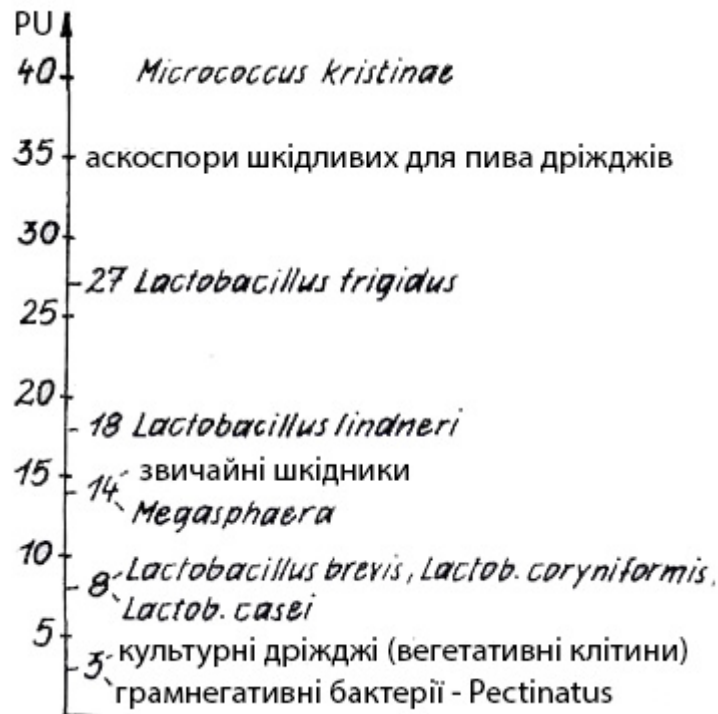


Рис. 1.1.1 Графік залежності PU та знищення мікроорганізмів

Умовно, якщо нам потрібно 15PU за температури 64 °C, то

$$15 = t * 1,393^{(64-60)}$$

$$t = 15/3,765$$

$$t = 3.984$$

Важливо зазначити, що для отримання швидшого результату пастеризації при вищій температурі, необхідне точне підтримання температури в обміннику. Це вимагає відповідно точних та високоякісних засобів вимірювання та контролю. В іншому випадку, пиво банально вийде з непередбачуваним смаком, через вищу похибку на різних етапах: вимірювання, контроль тощо.

Види пастеризаторів

У сучасному пивоварінні застосовують декілька основних типів пастеризаторів, що відрізняються за принципом дії, умовами використання, енергоефективністю та масштабом виробництва. Найбільш поширеними є тунельні (тарні) та потокові пастеризатори, які, в свою чергу, можуть бути трубчастого або пластинчастого типу.

Тунельний пастеризатор

Тунельні пастеризатори є класичним рішенням для промислових пивзаводів, де продуктивність є ключовим фактором. У цьому типі пастеризаторів напій вже попередньо розлитий у споживчу тару (пляшки, банки, ПЕТ), після чого тара переміщується через тунельну камеру, де поетапно нагрівається, витримується при заданій температурі і охолоджується.



Рис. 1.2.1 Тунельний пастеризатор

Принцип дії: тара переміщується по транспортеру через зони підігріву, пастеризації та охолодження. Вода циркулює в замкненому контурі, підтримуючи необхідні температурні режими.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Теплова обробка здійснюється за допомогою душування гарячою водою або парою.

Переваги тунельного пастеризатора:

- мінімізує ризик повторного мікробіологічного зараження, оскільки продукт вже запакований;
- підходить для різних типів тари: скло, ПЕТ, алюміній;
- має високу продуктивність — може обробляти тисячі одиниць продукції на годину.

Недоліки:

- високе енергоспоживання — через необхідність постійного нагріву та охолодження великої кількості води;
- складна конструкція — потребує професійного обслуговування;
- значні габарити обладнання — потребує великої площі приміщення.

Такий тип доцільно застосовувати на великих підприємствах із розливом у пляшки або банки.

Потоковий (флеш) пастеризатор

Поточні пастеризатори застосовуються у невеликих або середніх пивоварнях, де основний обсяг продукції розливається у кеги, або де важлива гнучкість і енергоефективність. Принцип дії полягає в тому, що напій пастеризується перед розливом, ще в рідкому вигляді.

Пиво подається у теплообмінник, де швидко нагрівається до заданої температури (зазвичай 60–72 °С), витримується протягом 15–30 секунд, після чого миттєво охолоджується і розливається у стерильну тару.

Переваги:

- компактність — займає значно менше місця;

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- висока енергоефективність — теплообмінники ефективно використовують тепло;
- простота обслуговування, можливість швидкого очищення (CIP).

Недоліки:

- ризик повторного мікробіологічного зараження, якщо розливне обладнання не пройшло санітарну обробку;
- не підходить для обробки вже розлитого напою;
- обмежена масштабованість — продуктивність нижча, ніж у тунельного.

Поточний пастеризатор є оптимальним вибором для малих і крафтових пивоварень.

Трубчастий та пластинчастий пастеризатори

Поточні пастеризатори за конструкцією поділяються на два основні типи: трубчасті та пластинчасті. Відмінності між ними полягають, насамперед, у конструкції теплообмінного елемента.



Рис. 1.2.2 Трубчастий пастеризатор

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рис. 1.2.3 Пластинчастий пастеризатор

Трубчастий пастеризатор передбачає протікання пива через труби, що омиваються гарячим теплоносієм. Така конструкція є надійною, особливо для густих або нестабільних рідин, однак має вищу теплову інерційність і складнішу систему очищення.

Пластинчастий пастеризатор використовує пакет металевих пластин, між якими циркулює пиво та теплоносій. Такий теплообмінник забезпечує високу швидкість теплообміну, менші втрати енергії, зручність в обслуговуванні та компактні розміри.

У контексті розробки автоматизованої системи для маломасштабної установки доцільно застосовувати саме пластинчастий пастеризатор через його енергоефективність, короткий цикл пастеризації та адаптованість до СІР-мийки.

В цій кваліфікаційній роботі розглядається процес пастеризації пива в потоці, зокрема в пластинчастому пастеризаторі. Він був обраний через велику

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

поширеність на виробництвах, практичність та відносно низьку ціну. З ряду переваг також є невеликі розміри, порівняно із тунельним, вища енергоефективність, підвищена швидкість процесу пастеризації, простота в управлінні та ремонті. Я вважаю що це найбільш доцільне рішення наприклад для невеликої приватної броварні із вихлопом не промислових масштабів.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

1.2 Розробка завдання на систему автоматизації

Таблиця 1.1 Завдання на розробку системи автоматизації

№	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припустиме значення параметра	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації управляючої дії	Додаткові умови
1	Трубопровід з форфаса	Сигнал електромагнітного пускача	0...1	Управління	Стан	Керування насосом М1	Натиснута кнопка «Пуск»
		Витрата пива на вході	0-1.5 м ³ /год	Контроль	Відображення реєстрації	Реєстрація вхідного продукту	
		Температура вхідного продукту	1°C	Контроль	Відображення реєстрації	Контроль температури пива з форфаса	
2	Рекуперативна зона, нагрів	Температура пива після первинного нагріву	61-63°C	Контроль	Відображення реєстрації	Контроль температури пива після первинного нагріву	
3	Зона вторинного нагріву	Температура, провідник із гарячою водою	85°C	Регулювання	Стабілізація, стан	Дія на пневмоклапан та насос підкачки М2	

4	Рекупера- тивна зона, охолод- ження	Температу- ра пива після первинного охолоджен- ня	10-12°C	Контроль	Відображен ня реєстрації	Контроль темпера- тури пива після первинного охолоджен -ня	
5	Зона вторин- ного охолод- ження	Температу- ра, провідник із гліколем	-3°C	Регулю- вання	Стабілізація	Дія на пневмо- клапан, подачу гліколю	
6	Секція буфер- ного збору	Рівень кислот- ності пива, трубо- провід,	1°C	Контроль	Відображен ня реєстрації	Контроль кислотнос- ті пива, після охо- лодження	
		Рівень	80%	Регулю- вання	Стабілізація	Вплив на клапан зливу	
		Витрата пива на виході	0-1.5 м³/год	Контроль	Відображен ня реєстрації	Реєстрація вихідного продукту перед розливом	

Розділ 2. Система автоматизації.

2.1 Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО)

Процес пастеризації світлого пива є критично важливою ланкою у виробничому циклі, що значною мірою впливає на якість, стабільність та термін зберігання кінцевого продукту. Для забезпечення контрольованого, повторюваного та ефективного процесу мною було обрано обладнання, яке поєднує надійність, простоту у монтажі, обслуговуванні, налагодженні та діагностиці. Крім того, усі елементи мають доступну документацію, що дозволяє швидко впроваджувати систему в експлуатацію або інтегрувати в більші автоматизовані комплекси. Оскільки масштаб пастеризаційної установки, описаної в проєкті, відповідає умовам невеликої приватної броварні, а не великого промислового підприємства, вимоги до точності та роздільної здатності вимірювальних приладів є помірними. У зв'язку з цим доцільним є використання простих, надійних і добре задокументованих рішень, які забезпечують необхідний функціонал без надлишкових витрат.

Вимір температури



Рис. 2.2 Датчик температури IFM TN2530

					Кваліфікаційна робота		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Собков М.Р.				18	19
Керівник		Пупена О.М.					
Зав. каф.		Смітюх Я.В.			НУХТ АК-4-1		
Секр. ЕК		Проскурка Є.С.					

У представленому контурі автоматизації процесу пастеризації пива температурний контроль є критично важливим для забезпечення якості та стабільності кінцевого продукту. Температура контролюється у п'яти ключових точках технологічного циклу:

- На вході пива до пастеризатора — для фіксації температури первинного охолодження;
- У рекуперативній зоні первинного нагріву — для ефективного теплообміну між вхідним і пастеризованим пивом;
- У контурі вторинного нагріву — для досягнення пастеризаційної температури (приблизно 72 °C);
- У рекуперативній зоні вторинного охолодження — для попереднього зниження температури готового продукту;
- У зоні фінального охолодження — перед подачею до буферної ємності або розливу.

Для реалізації цього завдання обрано температурні датчики **IFM TN2530**. Це сучасні електронні датчики з вбудованим Pt100, які ідеально підходять для задач точного температурного контролю в харчовій промисловості.

Переваги вибору IFM TN2530:

- Компактність і простота монтажу, що особливо важливо при встановленні в обмежених просторах технологічного обладнання.
- Висока точність вимірювання: допустима похибка не перевищує ± 0.3 °C, що є цілком достатнім для контролю пастеризаційного процесу.
- Надійний корпус із нержавіючої сталі AISI 316L, що відповідає гігієнічним нормам і стійкий до корозії.
- Вбудований OLED-дисплей, що дозволяє візуально контролювати значення температури безпосередньо на об'єкті, навіть без доступу до SCADA.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Повна технічна специфікація приладу:

Тип виходу: Аналоговий (4–20 мА / 0–10 В) + цифровий (PNP, НО/НЗ)

Діапазон вимірювання температури: -40...125 °С

Точність: $\pm(0.2\text{K} + 0.4\%$ від значення)

Датчик: Pt100, клас А

Монтаж датчику: Різьба М18 х 1.5 внутрішня

Живлення: 20...30 V DC

Ступінь захисту: IP67

Матеріали корпусу: AISI 316L, PBT, FKM

Робоча температура електроніки: -25...70 °С

Монтажна довжина зонда: 45 мм

Стійкість до впливів: Відповідність EN 61000 (ESD, вібрації, удари)

У датчику температури IFM TN2530 використовується Pt100. Принцип дії заснований на властивості платини змінювати свій електричний опір залежно від температури. У міру нагрівання платиновий елемент змінює опір, і вбудований електронний перетворювач TN2530 перетворює цю зміну на стандартний аналоговий або цифровий сигнал (наприклад, 4–20 мА або 0–10 В).

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Вимір витрати



Рис. 2.3 Витратомір електромагнітний IFM SM6004

Контроль витрати пива на вході в пастеризатор та на виході з нього є критично важливим для забезпечення стабільності процесу, точного дозування, а також збереження енергетичного балансу в рекуперативному контурі. Для вирішення цього завдання обрано витратоміри **IFM SM6004** — компактні електромагнітні датчики, спеціально адаптовані для харчової промисловості.

Застосування:

- На вході пива до пастеризатора з форфасу — для стабілізації подачі продукту та запуску нагрівальних контурів;
- На виході з пастеризаційної установки перед розливом — для контролю витрати готового продукту та перевірки узгодженості з початковою витратою.

Повна специфікація приладу:

Тип: Потік і температура, аналогові виходи

Діапазон витрати: 0.1...25 л/хв

Точність: $\pm(2\% MW + 0,5\% MEW)$, повторюваність $\pm 0,2\%$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Темп. Діапазон (середовище): -10...70 °С

Моніторинг температури: -20...80 °С

Аналогові виходи: 2× 4...20 мА

Процесне підключення: G ½», зовн. Різьба, DN15

Живлення: 20...30 V DC

Захист: IP67

Матеріали: Нерж. Сталь 316L, FKM

Дисплей: LED, 4-значний, одиниці: л/хв, м³/год, °С

EMC/Схвалення: DIN EN 60947-5-9, CPA 008MI

Вимірювання рівня кислотності

Важливо вимірювати рН після пастеризації, коли всі технологічні впливи вже завершено, і продукт готовий до подачі у буферну ємність або безпосередньо на розлив. Для цієї задачі в контурі автоматизації застосовано комплект рН-контролю **Sensorex TX10** у поєднанні з електродом **S8000CD**. Незважаючи на те, що конструкція складається з двох компонентів — датчика та передавача — обидва елементи інтегруються в компактну систему, що фактично функціонує як односкладний прилад.



Рис. 2.4 Передавач рівня рН Sensorex TX10

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Рис. 2.5 Датчик рівня рН *Sensorex S8000CD*

Переваги вибору TX10 + S8000CD:

- Простота інтеграції — передавач TX10 генерує уніфікований аналоговий сигнал 4–20 мА, що легко інтегрується у будь-яку SCADA або ПЛК-систему без необхідності додаткових перетворювачів.
- Сумісність із харчовими продуктами — електрод S8000CD розрахований на роботу з напоями, водою, пивом, а також слабоагресивними середовищами.
- Невисока вартість при збереженні прийнятної точності — це дозволяє реалізувати рН-контроль без суттєвого збільшення вартості автоматизації.
- Простота калібрування та обслуговування — Sensorex TX10 не вимагає складного налаштування, а електрод легко замінюється при потребі.
- Компактність — можливість монтажу в обмежених просторах, з мінімальними габаритами обладнання.

Повна специфікація приладу:

Діапазон рН: -2.00 до 16.00 рН

Роздільна здатність рН: 0.01 рН

Точність рН: $\pm 0.1\% \pm 1$ цифра

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Діапазон ORP: -1999 до 1999 mV

Роздільна здатність: ORP 1 mV

Точність ORP $\pm 0.1\% \pm 1$ цифра

Струмівий вихід: 4-20 mA (ізолюваний, лінійний)

Максимальне навантаження: (TX10) 500 Ом

Дисплей: РК-дисплей з підсвічуванням

Живлення: 24V DC

Робоча температура навколишнього середовища: 0–50°C

Принцип роботи побудований на тому, що електрод **S8000CD** реагує на концентрацію іонів водню (pH) у рідині, створюючи електричний потенціал, який пропорційний кислотності середовища. Цей потенціал передається на передавач **TX10**, який перетворює його у стандартизований аналоговий сигнал 4–20 mA.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Електропневматичні перетворювачі

В контурі пастеризації та охолодження пива важливо мати точний та надійний контроль над положенням пневматичних клапанів, які регулюють подачу пари, гліколю та відведення продукту. Для цього застосовано електропневматичний перетворювач **Rotork Fairchild T6000**, який виконує функцію перетворення електричного керуючого сигналу в пневматичний тиск.



Рис. 2.6 Електропневмоперетворювач *Rotork Fairchild T6000*

Особливості та переваги:

- Вихідний тиск: 20...100 кПа — ідеальний для керування пневматичними клапанами серії ADCATrol PV25G, забезпечуючи плавне і точне регулювання потоку теплоносіїв та продукту.
- Точність та повторюваність: Забезпечує стабільний тиск на виході з мінімальним розкидом, що важливо для збереження стабільних параметрів процесу.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Простота інтеграції: Має стандартний аналоговий вхідний сигнал 4–20 мА, що легко підключається до систем автоматизації на базі ПЛК або РК.
- Надійність і довговічність: Конструкція пристрою розрахована на роботу в агресивних промислових умовах, із захистом від пилу і вологи.
- Компактність та легкість монтажу: Пристрій займає мало місця і швидко встановлюється на трубопроводі чи пневмосистемі.

Повна специфікація приладу:

Вхідний сигнал: 4–20 мА

Імпеданс (опір): 79–1100 Ом (залежить від типу сигналу)

Вихідний тиск: 20...100кПа

Лінійність: ± 0.5 % FS (Standard), ± 1.0 % (Extended)

Повторюваність / Гістерезис: ≤ 0.25 % FS

Пневмоспоживання: 5–17 SCFH (в залежності від версії)

Швидкість потоку (Flow Rate): до 9 SCFM

Час відгуку: Швидкий, регульований (через внутр. Демпфування)

Температура роботи: –40 до +70 °С

Матеріали корпусу: Алюміній, латунь, нітрил, оцинкована сталь

Тип підключення повітря: $\frac{1}{4}$ » NPT (або BSP — опціонально)

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Пневматичні клапани

Для точного регулювання подачі пари, охолоджувального гліколю та зливу пива у контурі пастеризації застосовано високоякісні пневматичні клапани **Valsteam ADCA ADCATrol PV25G**. Ці клапани — надійні і прості в роботі. Зроблені з нержавійки (AISI 316), тому ідеально підходять для харчової промисловості, пивоварні в тому числі. Управляються пневматично через тиск 20–100 кПа (працюють з перетворювачем Rotork T6000). Підходять для температур до 220 °С і тиску до 1600кПа. Легко монтуються і ремонтуються, а ще відповідають санітарним нормам.



Рис. 2.7 Пневматичний клапан Valsteam ADCA ADCATrol PV25G

Їх точність, міцність та гігієнічність забезпечують стабільність процесу, що безпосередньо впливає на якість готового продукту.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Повна специфікація приладу:

Тип клапана: Пневматичний регулювальний

Матеріал корпусу: Нержавіюча сталь AISI 316

Робочий тиск: До 1600 кПа

Робоча температура: До 220 °С

Управляючий тиск: 20...100 кПа

Коефіцієнт C_v : Залежить від типорозміру клапана

З'єднання: Фланцеве або різьбове

Ступінь захисту: Відповідно до монтажу та виконання

Вимірювання рівня

Рівнемір працює за принципом мікрохвильового радарного вимірювання. Він випромінює короткі імпульси радіохвиль (мікрохвиль) у напрямку поверхні рідини або сипучого матеріалу. Ці хвилі відбиваються від поверхні назад до датчика.



Рис. 2.8 Радарний рівнемір IFM LR3000

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Пристрій вимірює час, за який сигнал повертається, і за цією затримкою обчислює відстань від датчика до поверхні середовища. Оскільки відстань відома, легко визначити рівень рідини або матеріалу у резервуарі. Перевага радарного методу — він не залежить від властивостей середовища (температури, тиску, пари), не контактує з продуктом і не піддається впливу забруднень чи осадів.

Повна специфікація приладу:

Тип вимірювання: Радарний (мікрохвильовий)

Діапазон вимірювання рівня: До 10 м

Точність: ± 5 мм

Вихідний сигнал: Аналоговий 4–20 мА

Живлення: 18–30 V DC

Температурний діапазон: $-40 \dots +80$ °C

Клас захисту: IP67

Матеріал корпусу: Нержавіюча сталь

Пускачі електромагнітні

Для комутації навантаження у системі автоматичного регулювання було обрано твердотільні електромагнітні пускачі **Carlo Gavazzi RZ3A60D40P**. Ці пристрої забезпечують надійне, безшумне та довговічне перемикання силових ланцюгів у трифазних мережах змінного струму.

Основні переваги:

- Висока надійність і ресурс. RZ3A60D40P є твердотільним пускачем (SSR), що не має рухомих частин, тому не зношується при роботі. Це особливо актуально в системах з частими циклами вмикання/вимикання.
- Компактні габарити. Завдяки компактному формфактору легко інтегрується у шафи керування з обмеженим простором.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

- Висока комутаційна здатність Струм комутації до 40 А дозволяє керувати потужними трифазними навантаженнями без додаткового силового реле.
- Електрична ізоляція. Galvanic isolation між керуючим та силовим колом гарантує електробезпеку системи.

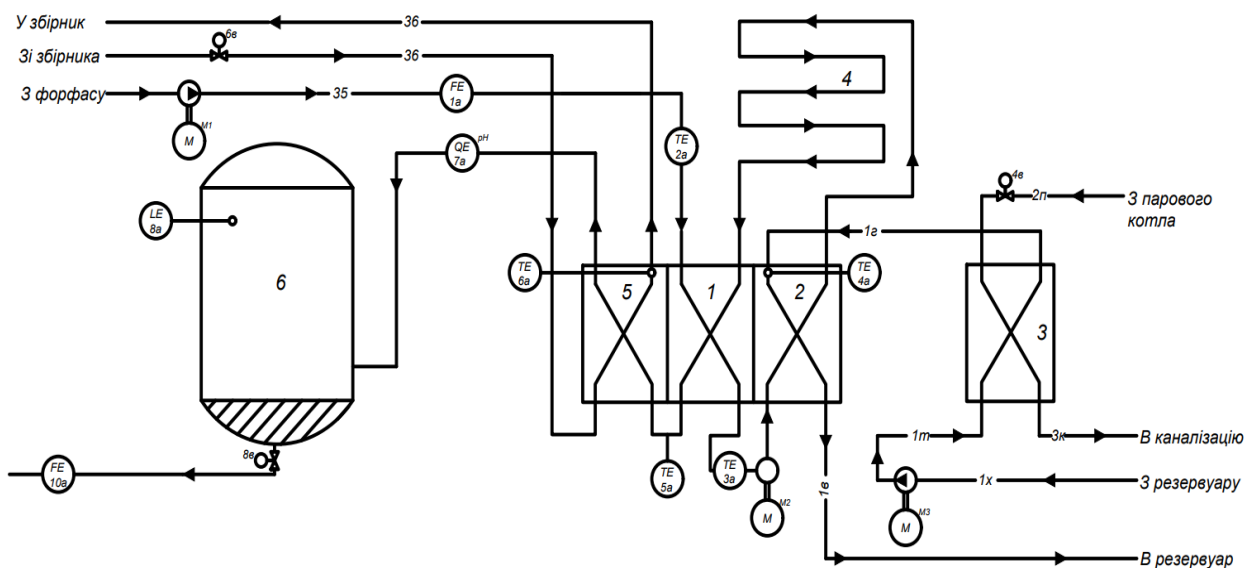


Рис. 2.9 Реле електро магнітне Carlo Gavazzi RZ3A60D40P

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.2 Схема автоматизації.

На функціональній схемі автоматизації процесу зображено основні етапи технологічного процесу пастеризації, а також засоби керування ключовими параметрами. Зокрема, реалізовано автоматизоване регулювання температури нагріву та охолодження продукту, керування пневматичними клапанами та насосним обладнанням. Температурні параметри контролюються за допомогою відповідних датчиків, сигнали з яких надходять до програмованого логічного контролера (ПЛК). На основі отриманої інформації контролер забезпечує подачу керуючих сигналів до виконавчих механізмів, зокрема до пневматичних клапанів, що перемикають потоки рідин, та до насосів, які забезпечують транспортування пива і теплоносіїв у системі.



1 – Рекуперативна зона; 2 – Зона вторинного нагріву; 3 – Теплообмінник; 4 - Зона циркуляції;
5 – Зона вторинного охолодження; 6 – Буферний збірник;

Рис. 2.1 Технологічна схема пастеризатора

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Після біологічної стабілізації пиво температурою близько $+1^{\circ}\text{C}$ надходить із форфасу в пастеризатор. На початку циклу перевіряється рівень у буферному накопичувачі 6 за допомогою радарного рівнеміра IFM LR3000 (поз. 8а). Якщо рівень у резервуарі становить менше 10 %, система подає сигнал на електропневматичний перетворювач Rotork Fairchild T6000 (поз. 8б), який закриває пневмоклапан ADCATrol PV25G (поз. 8в), запобігаючи подальшому зливу.

Одночасно формується сигнал на магнітний пускач Carlo Gavazzi RZ3A60D40P (поз. К3), який запускає двигун М3 для подачі води з резервуару в теплообмінник 3. Паралельно активується ще один електропневматичний перетворювач Rotork Fairchild T6000 (поз. 4б), який керує пневмоклапаном ADCATrol PV25G (поз. 4в) для відкриття подачі пари в теплообмінник і підігріву води. Пара подається до досягненням води температури $+85^{\circ}\text{C}$, стабілізація процесу відбувається за допомогою датчику температури IFM TN2530 (поз. 4а)

Після цього подається сигнал на пускач Carlo Gavazzi RZ3A60D40P (поз. К1), який вмикає двигун М1, що забезпечує подачу охолодженого пива з трубопроводу в пастеризаційну установку.

На вході здійснюється вимір витрати за допомогою витратоміра IFM SM6004, (позн. 1а) та температури продукту через термометр опору IFM TN2530, (позн. 2а). Подавання пива до теплообмінника виконує насос М1, що керується через магнітні пускачі Carlo Gavazzi RZ3A60D40P, (позн. К1).

Перший етап нагріву відбувається в рекуперативній зоні теплообмінника 1, де пиво підігрівається за рахунок тепла пастеризованого продукту, що рухається назустріч. Це дозволяє зменшити витрати енергії на подальший підігрів.

Первинно підігріте пиво, температура якого досягає $+61\dots 63^{\circ}\text{C}$ після рекуперативної зони, надходить у зону вторинного нагріву 2. У цій зоні'

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

температура гарячої води, що нагріває теплообмінник, контролюється за допомогою термометра опору IFM TN2530 (поз. 4а). У разі зниження температури нижче +85 °С, ПЛК формує сигнал на електропневматичний перетворювач Rotork Fairchild T6000 (поз. 4б), який впливає на регулюючий клапан ADCATrol PV25G (поз. 4в), відкриваючи подачу пари з котельні в теплообмінник 3 для нагріву води до заданого рівня.

Після досягнення води температури +85 °С, контролер надсилає сигнал на магнітний пускач Carlo Gavazzi RZ3A60D40P (поз. К2), що вмикає насос М2, який подає пиво в зону вторинного нагріву для подальшого доведення до пастеризаційної температури.

Вода до теплообмінника 3 подається з резервуара за допомогою насоса М3, як описано вище. Після надходження у теплообмінник вона підігривається парою, що подається з парового котла. У процесі теплообміну утворюється конденсат, який відводиться в дренажну систему. Нагріта вода далі подається в зону нагріву пастеризатора 2, де бере участь у передачі тепла пиву. Після відпрацювання теплоносій повертається в резервуар для повторного нагріву та подальшої циркуляції по замкненому контуру.

Після зони вторинного нагріву пиво надходить у зону витримки (циркуляції), де протягом 30–50 секунд підтримується необхідна пастеризаційна температура. Після витримки пастеризоване пиво направляється у рекуперативну зону 1, де відбувається його первинне охолодження за рахунок теплообміну з холодним пивом, що йде назустріч із форфасу. Далі продукт проходить через температурний контроль за допомогою термометра опору IFM TN2530 (поз. 5а). Пиво, охолоджене до температури приблизно +10...12 °С, потрапляє в зону вторинного охолодження 5, де подальше охолодження здійснюється за допомогою гліколю.

Подача гліколю регулюється пневматичним клапаном, керованим через сигнал від термометра IFM TN2530 (поз. 6а), що вимірює температуру гліколю

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

в теплообміннику. Якщо температура підвищується вище $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, ПЛК активує електропневматичний перетворювач Rotork Fairchild T6000 (поз. 6б), який впливає на регулюючий клапан (поз. 6в), подаючи охолоджений гліколь із розширювального бачка. Відпрацьований гліколь повертається в теплообмінник, де проходить повторне охолодження і знову циркулює в контурі.

Після вторинного охолодження пиво проходить контроль кислотності. Вимірювання рН продукту здійснюється за допомогою аналітичного модуля Sensorex TX10 з електродом Sensorex S8000CD (поз. 7а). Далі пиво потрапляє у буферний накопичувач 6. Контроль рівня пива в ємності реалізований за допомогою радарного рівнеміра IFM LR3000 (поз. 8а). Коли рівень пива у накопичувачі досягає 80% від його об'єму, система активує електропневматичний перетворювач Rotork Fairchild T6000 (поз. 8б), який подає керуючий сигнал на пневматичний клапан ADCATrol PV25G (поз. 8в). Після відкриття клапана відбувається злив пива на розливну лінію.

Перед безпосереднім розливом продукт проходить через магнітно-індуктивний витратомір IFM SM6004 (поз. 10а), який реєструє об'єм пива, що подається в розлив. Далі пиво направляється у розливні установки та потрапляє у тари.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

2.1 Специфікація засобів автоматизації

Таблиця 2.1 Специфікація приладів та засобів автоматизації

№ п/п	№ поз. За схемою	Місце встановлення	Найменування і технічна характеристика виробу	Тип, марка	К-сть	Виробник
1	2	3	4	5	6	7
1	1а, 10а	По місцю	Витратомір магнітно-індуктивний, вимірювальний діапазон: 0-1.5м ³ /год, живлення 24V DC Вихідний сигнал: Уніфікований 4-20мА	SM6004	2шт.	IFM, Німеччина
2	2а, 3а, 4а, 5а, 6а	По місцю	Температурний датчик Pt100 однокомпонентний, вимірювальний діапазон: -40...+125 °С Живлення 24V DC Вихідний сигнал: Уніфікований 4-20мА	TN2530	5шт.	IFM, Німеччина
3	7а,7б	По місцю	pH-метр, вимірювальний діапазон: 0...14pH, Живлення 24V DC вихідний сигнал: Уніфікований 4-20мА	TX10 із датчиком pH S8000CD	1шт.	Sensorex, США
4	4б, 6б, 8б	На щиті	Електропневматичний перетворювач, із вихідним тиском 0-800кПа, вхідним сигналом: 4-20мА	Fairchild T6000	2шт.	Rotork, Велика Британія

			Живлення 24V DC			
5	К1, К2, К3	На щиті	Пускач електромагнітне реле, напруга макс. 400В АС, струм комутації 40А	Carlo Gavazzi RZ3A60D40P	3шт.	Carlo Gavazzi, Італія
6	4в, 6в, 8в	На щиті	Клапан пневматичний, керується за допомогою електропневматичного перетворювача, вихідний тиск: 20...100кПа	ADCATrol PV25G	3шт.	Valsteam, ADCA, Португалія
7	М1, М2, М3	По місцю	Насос з асинхроним трьохфазним двигуном, потужністю 5.5кВт, запускається електропневматичними пускачами живлення: 380В АС	Grundfos TP 150-110/6	3шт.	ООО «Насос-монтаж», м. Київ

Розділ 3. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення

3.1. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК)

Система автоматизації процесу пастеризації пива реалізована на базі програмованого логічного контролера **Modicon M340** виробництва **Schneider Electric**. Для інтеграції датчиків, виконавчих пристроїв та контролю параметрів середовища застосовуються спеціалізовані модулі вводу/виводу. Їх перелік наведено в таблиці 3.1, а структурне компонування системи подано на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 Використані модулі для ПЛК M340

Модулі вводу/виводу		Примітка
Найменування	Кількість	
BMX CPS 2020	1	Блок живлення ПЛК
BMX P34 2020	1	Центральний процесор
BMX DDO 1602	1	Модуль дискретних входів, 16 виходів
BMX AMI 0810	2	Модуль аналогових входів, 8 входів
BMX AMO 0410	1	Модуль аналогових виходів, 4 вихода

					<i>Кваліфікаційна робота</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Собков М.Р.			<i>Розробка системи автоматизації процесу пастеризації світлого пива</i>	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник		Пупена О.М.					37	7
						<i>НУХТ АК-4-1</i>		
Зав. каф.		Смітюх Я.В.						
Секр. ЕК		Проскурка Є.С.						

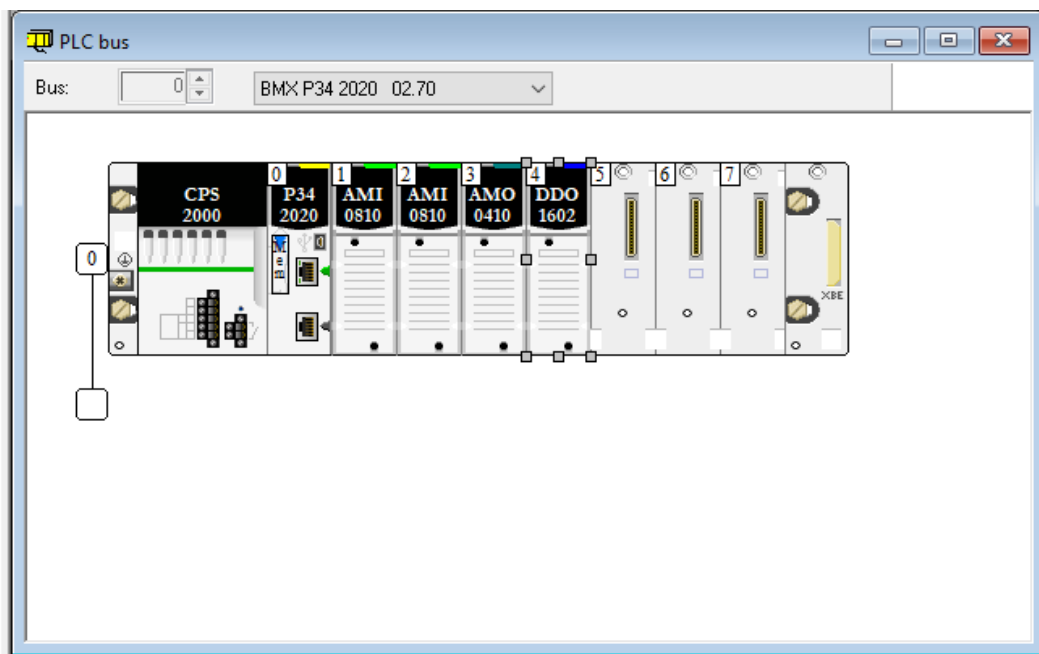


Рис.3.1 Компонування модулів ПЛК М340

Аналогові входи. Уніфіковані струмові сигнали 4–20 мА від датчиків температури (IFM TN2530), витратомірів (IFM SM6004), датчика рівня (IFM LR3000) та рН-метра (Sensorex TX10) подаються на два модулі аналогових входів **BMX AMI 0810**. Отримані значення опрацьовуються ПЛК, на основі чого формується логіка керування процесом пастеризації.

Аналогові виходи. Сигнали керування, сформовані ПЛК, передаються на модуль аналогових виходів **BMX AMO 0410**, де перетворюються у струмові сигнали 4–20 мА. Ці сигнали подаються на електропневматичні перетворювачі **Rotork Fairchild T6000**, які керують пневматичними клапанами типу **ADCATrol PV25G** для регулювання потоків пари, гліколю та продукту.

Дискретні виходи. Магнітні пускачі **Carlo Gavazzi RZ3A60D40P** (поз. К1–К3), призначені для керування насосами **М1–М3**, підключені до модуля дискретних виходів **BMX DDO 1602**. Через цей самий модуль ПЛК також подає сигнали на **електропневматичні перетворювачі**, які працюють у режимі дискретного відкриття/закриття клапанів, зокрема для буферної ємності та подачі рідини в апарати.

3.2. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК

Принципова електрична схема автоматичного регулювання включає комплекс взаємопов'язаних електричних та пневматичних компонентів, які забезпечують надійну та безперебійну роботу системи. Основними елементами схеми є:

- **QF1–QF3** — автоматичні вимикачі з функцією струмового захисту, які призначені для захисту електричних ланцюгів від перевантажень та коротких замикань, забезпечуючи тим самим безпеку експлуатації обладнання і запобігаючи пошкодженню системи.
- **БЖ1–БЖ2** — стабілізовані блоки живлення з вихідною напругою 24 В постійного струму, які гарантують стабільне і надійне живлення всіх керуючих та виконавчих елементів системи автоматичного регулювання.

Для забезпечення чіткого та зрозумілого розмежування функціональних ланцюгів у схемі застосовується спеціальна система нумерації провідників, що полегшує їх ідентифікацію, монтаж, технічне обслуговування та налагодження:

- **800–809, 900–948** — провідники, що передають сигнали постійного струму, які використовуються для живлення силових та керуючих пристроїв.
- **0800–0808** — пневматичні лінії живлення, які постачають стиснене повітря до пневматичних виконавчих механізмів, забезпечуючи їх коректну роботу.
- **0200–0207** — пневматичні лінії регулювання, відповідальні за передачу керуючих пневматичних сигналів в системі автоматичного управління.
- **100–110** — провідники, які передають вимірювальні сигнали від датчиків, що здійснюють моніторинг параметрів технологічного процесу.
- **200–215** — провідники, які відповідають за передачу команд управління і сигналів регулювання між контролером та виконавчими механізмами.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

3.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру

Контур подачі пари в теплообмінник

Умовні позначення

Позначення Найменування

— 1т —	Вода тепла
— 1г —	Вода гаряча
— 2п —	Пара
— 3к —	Конденсат
2	Зона нагріву
3	Теплообмінник

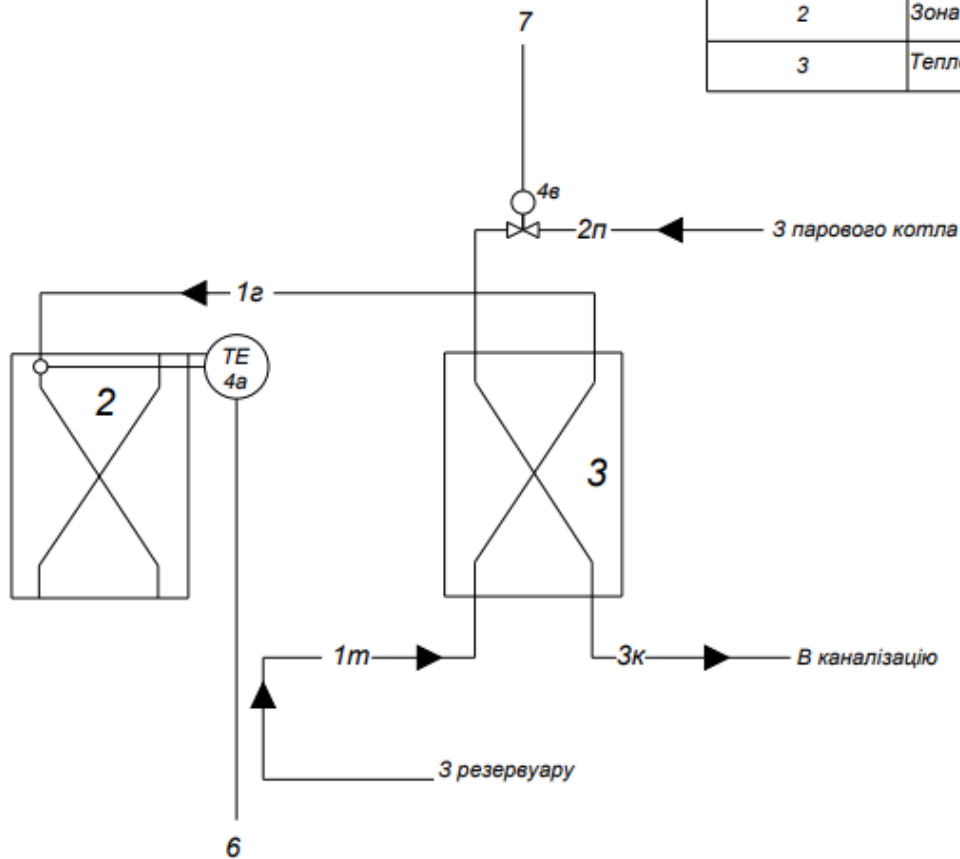


Рис. 3.2 Контур регулювання подачі пари в обмінник

Контур подачі пари забезпечує нагрів води у пластинчастому теплообміннику (поз. 3), яка використовується як теплоносій для пастеризації пива. Джерелом пари виступає паровий котел, що подає пару до пневмокерованого клапана ADCATrol PV25G (поз. 4в). Відкриття клапана

здійснюється через електропневматичний перетворювач Rotork Fairchild T6000 (поз. 4б), який отримує аналоговий керуючий сигнал 4–20 мА від ПЛК Modicon M340.

Сигнал на подачу пари формується у випадку, якщо температура в контурі гарячої води нижча за встановлену (наприклад, 85 °С). Контроль температури здійснюється за допомогою датчика температури IFM TN2530 (поз. 4а), встановленого на виході з теплообмінника. Отримане значення подається на аналоговий вхід ПЛК, який аналізує температуру та визначає необхідність відкриття клапана.

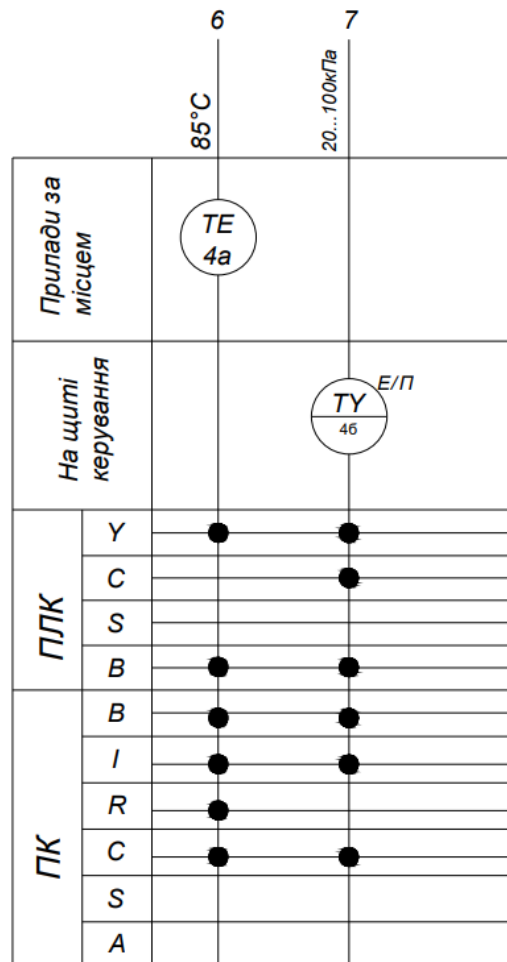


Рис. 3.3 Фрагмент таблиці сигналів для контуру подачі пари в обмінник

Отримавши сигнал, ЕПП перетворює його в регульований пневматичний тиск (наприклад, від 20 до 100 кПа), що надходить до мембрани пневматичного клапана. Залежно від тиску, клапан відкривається на певний кут, забезпечуючи плавне дозування пари в теплообмінник. При досягненні встановленої температури подача сигналу припиняється або зменшується, що призводить до часткового або повного закриття клапана.

Після подачі пари у теплообмінник відбувається теплообмін між парою та холодною водою, яка циркулює в контурі нагріву. У результаті пара конденсується, а утворений конденсат відводиться в дренаж через конденсатовідвідник. Таким чином, забезпечується стабільна подача теплової енергії до зони пастеризації з автоматичним регулюванням подачі пари відповідно до реальних температурних параметрів.

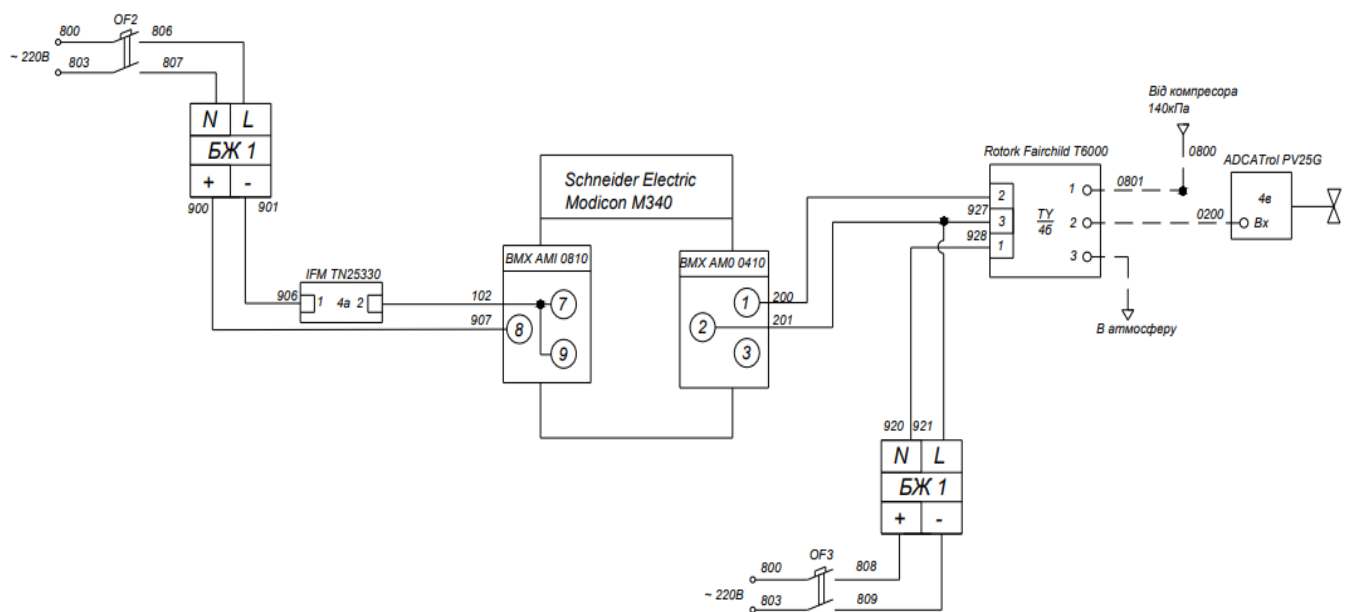


Рис. 3.4 Принципова розширена схема підключення датчиків та ВМ контуру подачі пари

Розділ 4. Креслення встановлення технічного засобу

Температурний датчик **IFM TN2530** призначений для точного вимірювання температури в процесах харчової промисловості, зокрема в пивоварінні. Його компактний корпус з нержавіючої сталі та вбудований дисплей забезпечують зручність монтажу та експлуатації.

Сенсор монтується безпосередньо в трубопровід на п'яти технологічно критичних ділянках, де потрібно мати швидкий та надійний температурний зворотний зв'язок. Це точки входу пива в пастеризатор, рекуперативна зона, зона вторинного нагріву, а також ділянки рекуперативного й кінцевого охолодження. Завдяки широкому температурному діапазону (-40...125 °C) та наявності вбудованого передавача з аналоговим і цифровим виходом, TN2530 повністю покриває вимоги до вимірювань у зазначених точках.

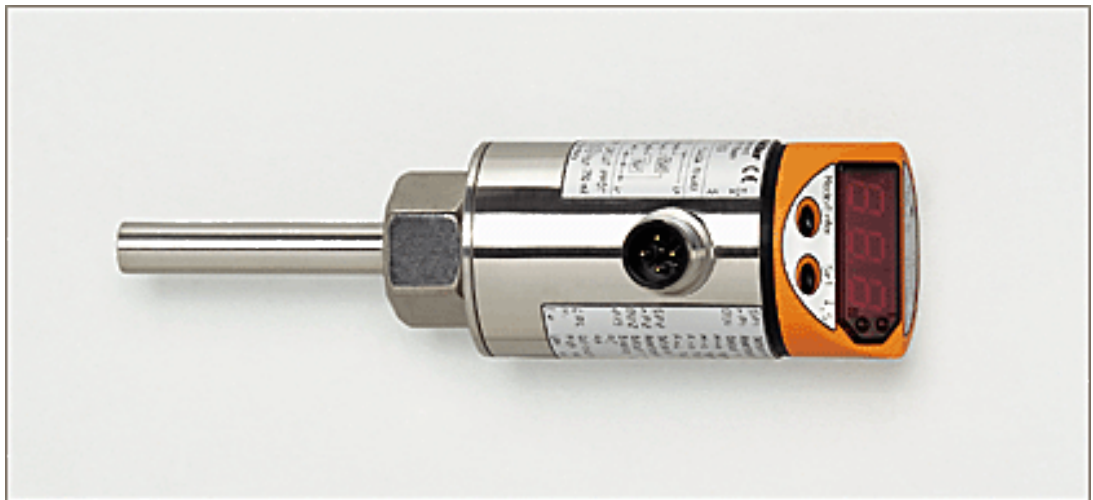


Рис. 4.1 Загальний вигляд термометру опору IFM TN2530

					Кваліфікаційна робота			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Собков М.Р.			Розробка системи автоматизації процесу пастеризації світлого пива	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Пупена О.М.					44	4
Зав. каф.		Смітюх Я.В.			НУХТ АК-4-1			
Секр. ЕК		Проскурка Є.С.						

Монтаж приладу здійснюється через стандартне різьбове з'єднання **M18×1.5**, що є поширеним варіантом у харчовій промисловості. Це забезпечує механічну сумісність із більшістю гільз та адаптерів, дозволяє швидко інтегрувати сенсор у технологічний трубопровід, а також гарантує герметичність з'єднання. Робоча частина сенсора — вимірювальний зонд довжиною 45 мм — повинна повністю занурюватися в потік, мінімум на 12–15 мм, для уникнення похибок через теплову інерцію або турбулентні зони на краях труби.

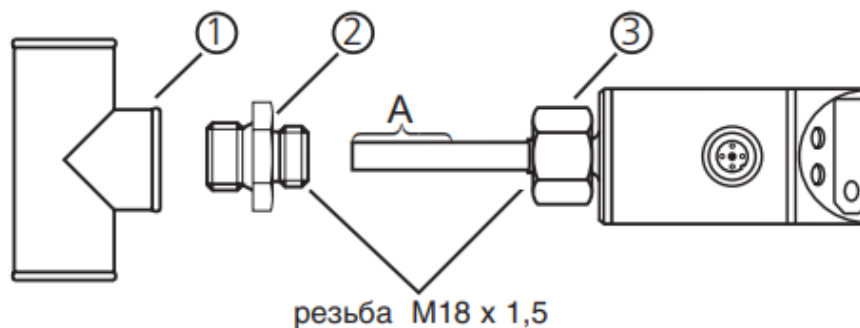


Рис. 4.2 Комплектація термометру опору IFM TN2530

mounting dimension with M12 adapter	mounting dimension with G¼ adapter	mounting dimension with G½ adapter

Рис. 4.3 Варіанти монтажу IFM TN2530 із різними адаптерами

Особливістю конструкції TN2530 є вбудований дисплей із поворотним корпусом, який можна обертати на 330° без демонтажу. Це особливо зручно в умовах обмеженого простору, дозволяє оператору легко зчитувати показники незалежно від положення датчика на трубопроводі. Завдяки світлодіодному індикатору стану, оператор одразу бачить активність каналу — зелений сигнал вказує на робочий режим, червоний — на перевищення порогу або аварію.

Корпус сенсора виготовлений із нержавіючої сталі AISI 316L (1.4404), що відповідає вимогам санітарного контролю харчової галузі. Високий клас захисту **IP67** гарантує надійність роботи навіть в умовах частого миття, вологи чи впливу мийних засобів. Робоча температура середовища для електроніки — від -25 до +70 °С, що дозволяє експлуатувати сенсор у холодних зонах або поблизу джерел тепла.

Підключення до системи здійснюється через стандартний роз'єм **M12, 4-піновий**, що дозволяє швидко знімати або змінювати прилад без потреби в перекомунікації.

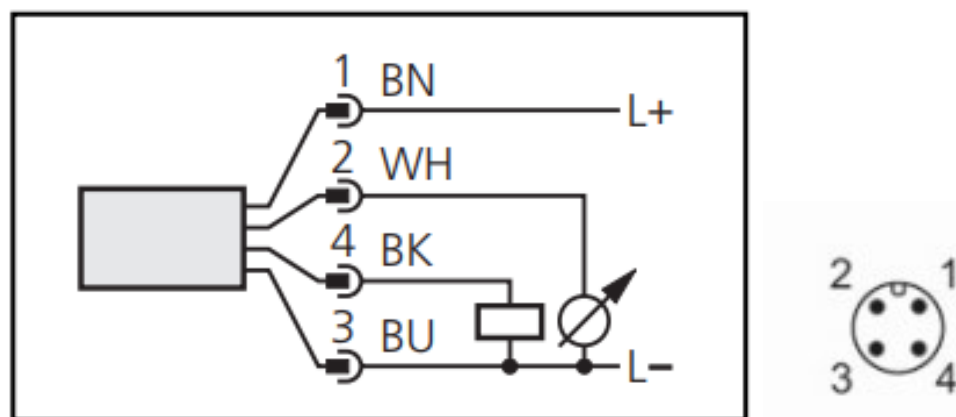


Рис. 4.4 Електрична схема підключення IFM TN2530

- На пін 1 (BN / Brown) подається позитивне живлення (L+) — тобто +24 В DC.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- Пін 3 (**BU / Blue**) підключається до **негативної шини (L-)** — тобто «мінус» живлення.
- Пін 4 (**BK / Black**) використовується для зчитування **аналогового сигналу** — наприклад, 4–20 мА.
- Пін 2 (**WH / White**) може використовуватися як **цифровий вихід PNP** (напр. при досягненні заданого порогу температури).

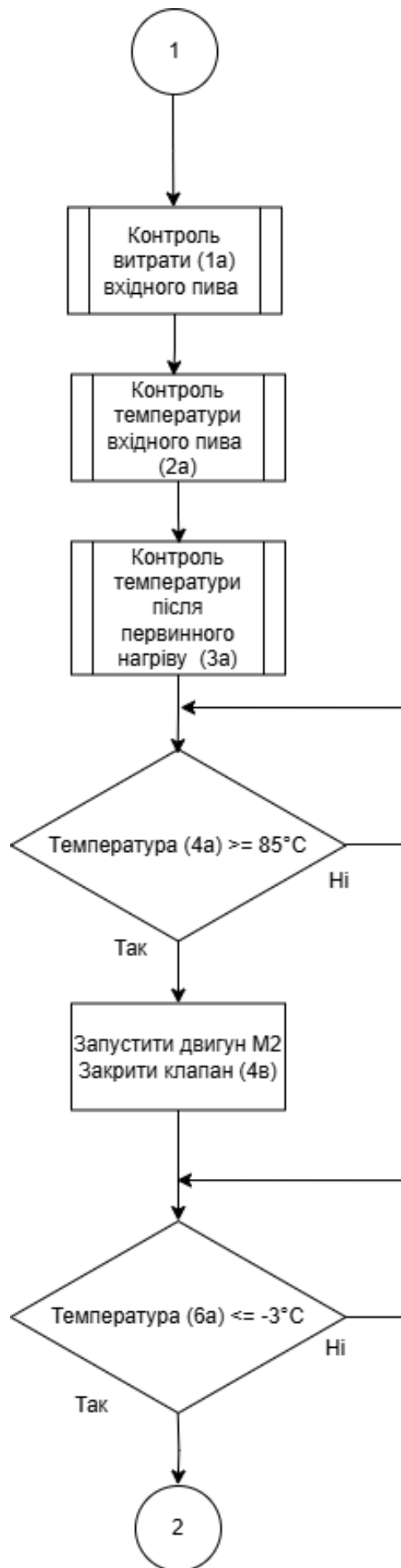
					<i>Кваліфікаційна робота</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

Розділ 5. Опис спеціального програмного забезпечення для промислового логічного контролера (алгоритм та програма для ПЛК)

Логічний алгоритм процесу пастеризації світлого пива:



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота			
Розроб.		Собков М.Р.			Розробка системи автоматизації процесу пастеризації світлого пива	Лім.	Арк.	Аркушів
Керівник		Пупена О.М.				55	4	
Зав. каф.		Смітюх Я.В.			НУХТ АК-4-1			
Секр. ЕК		Проскурка Є.С.						



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Алгоритм був реалізований у вигляді послідовності логічних операцій, які враховують сигнали з датчиків, стан виконавчих механізмів (клапанів, насосів, двигунів) та поточні значення технологічних параметрів. Програма структурована поетапно, з розподілом на логічні блоки, що відповідають окремим фазам технологічного процесу.

У програмному забезпеченні для ПЛК ключову роль відіграють змінні, які використовуються для зберігання та обробки даних у процесі роботи автоматизованої системи. Змінні дозволяють організувати взаємодію між датчиками, виконавчими механізмами та логікою програми. Їх правильна структура та іменування забезпечують зручність супроводу, масштабування та діагностики системи.

У розробленому проекті автоматизації процесу пастеризації пива були використані такі змінні для роботи ПЛК:

Ім'я змінної	Адреса	Найменування
1	2	3
TE_2A_INT	%IW0.1.0	Температура на вході в пастеризатор
TE_3A_INT	%IW0.1.1	Температура після первинного нагріву
TE_4A_INT	%IW0.1.2	Температура води в зоні вторинного нагріву
TE_5A_INT	%IW0.1.3	Температура після первинного охолодження

TE_6A_INT	%IW0.1.4	Температура гліколю в зоні охолодження
FE_1A_INT	%IW0.1.5	Витрата пива на вході
FE_10A_INT	%IW0.1.6	Витрата пива на виході
QE_7A_INT	%IW0.1.7	Рівень рН пастеризованого пива
LE_8A_INT	%IW0.2.0	Рівень пива в буферному накопичувачі
TY_4B_INT	%QW0.3.0	Регулювання клапаном подачі пари
TY_6B_INT	%QW0.3.1	Регулювання клапаном подачі гліколю
TY_8B_INT	%QW0.3.2	Регулювання клапаном зливу пива
K1_INT	%Q0.4.0	Сигнал на магнітний пускач M1 закачки пива
K2_INT	%Q0.4.1	Сигнал на магнітний пускач M2 підкачки пива в зону нагріву
K3_INT	%Q0.4.2	Сигнал на магнітний пускач M3 підкачки води в обмінник

Робота програми реалізована на мові Structured Text (ST):

IF Start_Button = TRUE THEN

// Початковий етап: перевірка рівня у буфері

IF LE_8A_INT <= 10 THEN

TY_8B_INT := 0; // Закрити злив

TY_4B_INT := 100; // Відкрити клапан пари

TY_6B_INT := 100; // Відкрити клапан гліколю

K3_INT := 1; // Підкачка води

K1_INT := 1; // Закачка пива

END_IF;

// Перевірка витрати на вході — пиво тече?

IF FE_1A_INT > 5 THEN

// Перевірка температур після нагріву

TE_4A_INT >= 85 THEN

K2_INT := 1; // Підкачка пива в зону нагріву

TY_4B_INT := 0; // Закрити пару (температура досягнута)

END_IF;

END_IF;

// Перевірка кислотності

IF QE_7A_INT >= 4.0 AND QE_7A_INT <= 4.6 THEN

// рН в нормі, переходимо до охолодження

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

```

IF TE_6A_INT <= -3 THEN
    TY_6B_INT := 0;    // Закрити гліколь (охолоджено)
END_IF;
ELSE
    // рН поза нормою — аварійне завершення
    K1_INT := 0;
    K2_INT := 0;
    K3_INT := 0;
    TY_4B_INT := 0;
    TY_6B_INT := 0;
    TY_8B_INT := 0;
END_IF;

// Коли буфер заповнений — зливаємо пиво
IF LE_8A_INT >= 80 THEN
    TY_8B_INT := 100;    // Відкрити злив
END_IF;

// Моніторинг витрати на виході (інформативно)
IF FE_10A_INT > 0 THEN
    // Пиво виходить із пастеризатора — можна логувати
END_IF;
END_IF;

```

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розділ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога

6.1. Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI

Мнемосхема процесу пастеризації світлого пива розроблена у середовищі SCADA-програми **Citect SCADA 2024**. Вона відображає основні етапи технологічного процесу: подачу пива, його нагрів, контроль температури, витрати, рівня та рН, а також охолодження і зберігання в буферному накопичувачі. Опис змінних, які використовуються в SCADA-програмі для моніторингу та керування процесом, наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 Значення SCADA-програми

Ім'я Змінного тега	Адреса	Мін. вихідне значення	Макс. Вихідне значення	Мін. значення в одиницях виміру	Макс. Значення в одиницях виміру	Тип даних
1	2	3	4	5	6	7
TE_2A_INT	%IW0.1.0	0	10000	-40	125	INT
TE_3A_INT	%IW0.1.1	0	10000	-40	125	INT
TE_4A_INT	%IW0.1.2	0	10000	-40	125	INT
TE_5A_INT	%IW0.1.3	0	10000	-40	125	INT
TE_6A_INT	%IW0.1.4	0	10000	-40	125	INT

					Кваліфікаційна робота			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Собков М.Р.			Розробка системи автоматизації процесу пастеризації світлого пива	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник		Пупена О.М.					55	4
						НУХТ АК-4-1		
Зав. каф.		Смітюх Я.В.						
Секр. ЕК		Проскурка Є.С.						

FE_1A_INT	%IW0.1.5	0	10000	0	1500	INT
FE_10A_INT	%IW0.1.6	0	10000	0	1500	INT
QE_7A_INT	%IW0.1.7	0	10000	0	14	INT
LE_8A_INT	%IW0.2.0	0	10000	0	100	INT
TY_4B_INT	%QW0.3.0	0	10000	0	100	INT
TY_6B_INT	%QW0.3.1	0	10000	0	100	INT
TY_8B_INT	%QW0.3.2		10000	0	100	INT
K1_INT	%Q0.4.0	0	1	0	1	INT
K2_INT	%Q0.4.1	0	1	0	1	INT
K3_INT	%Q0.4.2	0	1	0	1	INT

Комунікація між SCADA та ПЛК забезпечується через обмін змінними, що мають чітко визначені імена, типи та напрямки (вхідні/вихідні). Змінні масштабуються відповідно до технічних характеристик підключених датчиків і виконавчих механізмів. Наприклад, аналогові сигнали з температурних датчиків подаються в діапазоні 4–20 мА та масштабуються у значення від 0 до 100 °С.

6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора

Мнемосхема процесу пастеризації світлого пива реалізована у середовищі **Citect SCADA 2015** і є зручною інтерактивною панеллю, яка дозволяє оператору здійснювати повний контроль за роботою установки в режимі реального часу. Візуальна структура мнемосхеми максимально наближена до реального обладнання та трубопровідної обв'язки, що значно полегшує орієнтацію та взаємодію з системою.

На мнемосхемі чітко відображено всі основні компоненти процесу:

- буферний накопичувач пива з індикацією рівня (у %),
- всі основні трубопроводи (з кольоровим розділенням за середовищами: пиво, пара, охолоджувач, злив),
- температурні датчики з відображенням поточних значень (°C),
- витратоміри з індикацією об'ємної витрати (м³/год),
- рН-метр, що контролює кислотність продукту після охолодження,
- візуальні маркери стану клапанів і насосів,
- ручний/автоматичний режим керування.

Сигнали надходять безпосередньо з ПЛК, масштабуються та виводяться на екран. Значення температур, витрат, рН і рівня змінюються динамічно, що дозволяє оператору бачити реальні зміни у системі. Кнопки "Пуск" і "Стоп" забезпечують безпосереднє управління запуском/зупинкою процесу.

Особливу увагу приділено візуальній індикації — використано контрастні кольори, анімації переміщення середовища, зміну кольору при

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

активації клапанів або pomp, індикацію аварійних станів. Завдяки цьому оператор миттєво розуміє, що відбувається в процесі.

Кнопки "Повідомлення", "Налаштування" та "Аварії" відкривають відповідні вікна для перегляду журналу подій, зміни параметрів, введення уставок та перегляду аварійних ситуацій.

Таким чином, мнемосхема є не лише графічним інтерфейсом, а повноцінним засобом управління і моніторингу технологічного процесу, що забезпечує наочність, зручність і безпеку при експлуатації системи автоматизованого пастеризаційного обладнання.

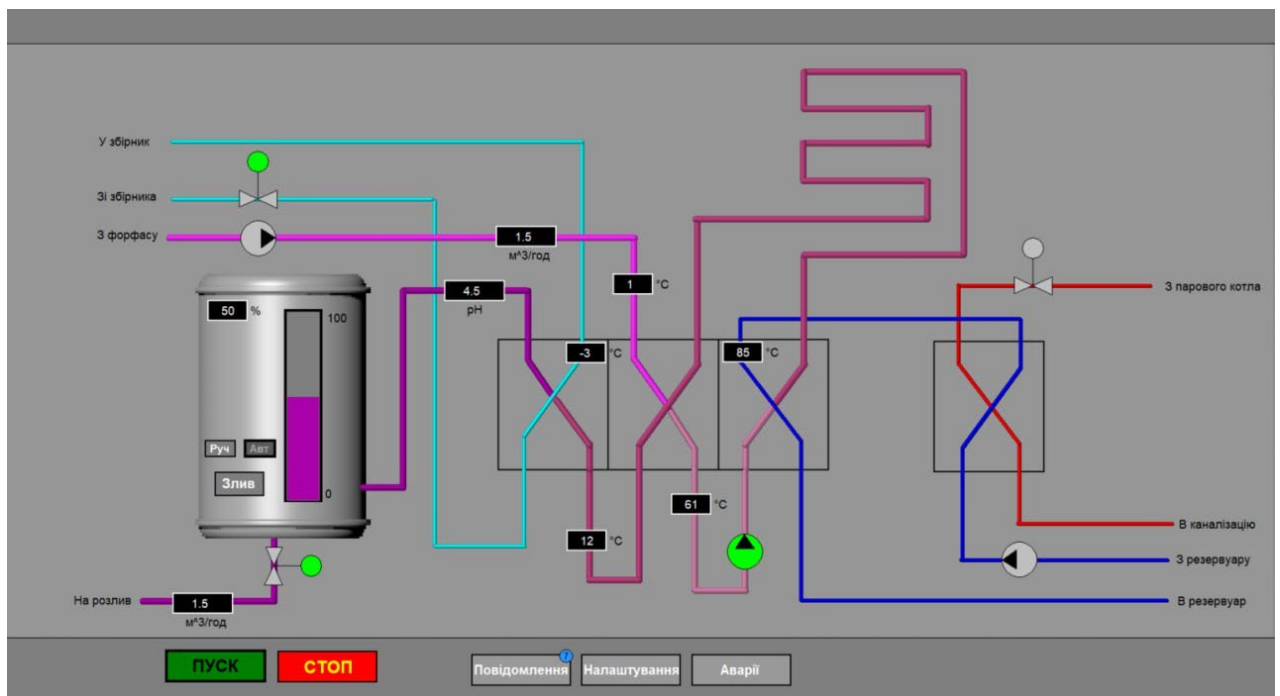


Рис. 6.1 Відеокадр із мнемосхемою з екрану оператора

Висновки

У ході виконання кваліфікаційної роботи було спроектовано систему автоматизації процесу пастеризації світлого пива з урахуванням технологічних особливостей виробництва та вимог до якості кінцевого продукту.

На основі аналізу процесу пастеризації підбрано оптимальне технічне забезпечення: датчики температури, витрати, рівня, рН, електропневматичні перетворювачі та пневматичні клапани.

Система побудована на базі **програмованого логічного контролера Modicon M340** виробництва **Schneider Electric**, що дозволило реалізувати надійне керування всіма етапами пастеризації — від подачі пари до охолодження та контролю зливу готового продукту.

Розроблено функціональну та структурну схеми автоматизації, виконано маршрутизацію сигналів і обґрунтовано вибір модулів введення/виведення. Застосування SCADA-системи **Citect SCADA 2024** для візуалізації процесу забезпечує зручність керування та оперативний контроль за всіма параметрами.

Запропонована система дозволяє підвищити стабільність технологічного процесу, зменшити енерговитрати, знизити ризики браку та підвищити загальну ефективність виробництва.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Список використаної літератури і джерел

1. Термометр опору IFM TN2530, офіційний сайт IFM:
https://www.ifm.com/us/en/product/TN2530?srsltid=AfmBOopWpgGD2MpzG9dZ8i0LLoZaSjlQRWR691b7MOCn-GWzHr_lMKHr&utm
2. Магнітно-індуктивний витратомір IFM SM6004, офіційний сайт IFM, технічний опис:
<https://www.ifm.com/restservices/ua/uk/assets/c3VwcGxpZXJzL2lmbS9kb2N1bWVudHMvcHJvZHVjdC9TTTYwMDQtMDIvZGF0ZW5ibGFldHRlci9TTTYwMDQtMDJfVUstVUEucGRm?v=46>
3. рН метр Sensorex, офіційний сайт. Датчик S8000CD та трансміттер TX-10, документація:
https://sensorex.com/product/tx10-ph-orp-4-20ma-transmitter/?srsltid=AfmBOorUEeZNBv2uCk44Kum9Gk4mdme3ZyeNwddO-yjssli8mMAyY_b

https://sensorex.com/product/s8000cd-quick-change-replacement-sensor-cartridge-for-s8000-series-ph-kits/?srsltid=AfmBOormpX0nGGxImB-025a8x8OudVlss-bOy-4DBdI_5molloFDKMwz
4. Електропневматичний перетворювач Rotork Fairchild T6000, документація, офіційний сайт:
<https://www.rotork.com/en/products/electrical-instrumentation/fairchild-transducers/t6000>
5. Клапан пневматичний ADCATrol:
<https://www.cdftecon.es/sites/default/files/pdf/valvula-neumatica-paso-recto-dn15-100-pn16-pv25g.pdf>

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

6. Радарний рівнемір IFM LR3000, офіційний сайт IFM:
[https://www.ifm.com/ua/uk/product/LR3000\](https://www.ifm.com/ua/uk/product/LR3000)
7. Електромагнітний пускач Carlo Gavazzi, сайт СВ Альтера:
<https://www.svaltera.ua/catalog/879/794>
8. Сідлецький В.М., Проектування систем автоматизації: Метод. рекомендації до виконання курс. проекту для студ. напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання./Уклад.: В.М.Сідлецький, В.Г. Трегуб – К.: НУХТ, 2013.
9. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2014.
10. Ельперін І.В., Автоматизація виробничих процесів: підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед.— К.: Видавництво Ліра-К, 2015.
11. Левченко О.І., Основи автоматизації теплоенергетичних процесів та установок. Навчальний. посібник / О.І. Левченко, В.М. Сідлецький– К.:НУХТ, 2014.
12. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи на здобуття освітнього ступеня "Бакалавр" спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" освітньо-професійної програми "Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації" денної та заочної форм навчання [Електронний ресурс] / уклад.: І.В. Ельперін, Я.В. Смітюх, В.М. Сідлецький, Н.М. Луцька, Є.С. Проскурка; Національний університет харчових технологій. – Київ: НУХТ, 2022.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

13. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: навчальний посібник / А.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К.: Вид-во «Ліра-К», 2011.
14. Пупена О.М. Програмування промислових контролерів у середовищі UNITY PRO: Навч. посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. – К.: Видавництво Ліра – К, 2013.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62