

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

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем

управління ім. проф. А.П. Ладанюка

«До захисту в ЕК»

Декан факультету

Андрій ФОРСЮК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«5» червня 2025 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ярослав СМІТЮХ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«5» червня 2025 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 пастеризації пива на ПЛК Modicon M340»

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

Попчук Дмитро Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Гончаренко Ігор Станіславович

(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 Максим ПАСТУШЕНКО

(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

Попчук Дмитро Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка системи автоматизації пастеризації пива на ПЛК Modicon M340»

керівник роботи к.т.н. Гончаренко Ігор Станіславович

(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

Короткі відомості про об'єкт автоматизації, відомості про умови експлуатації об'єкта автоматизації та вимоги до системи автоматизації. 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. Проєктне компонування 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 | Видача та затвердження завдання | Перед переддипломною практикою | |
| 2 | Розділ 1 | Захист переддипломної практики | |
| 3 | Розділ 2 | 1 тиждень | |
| 4 | Розділ 3 | 2 тиждень | |
| 5 | Розділ 4 та 5 | 3 тиждень | |
| 6 | Розділ 6 | 4 тиждень | |
| 7 | Підготовка матеріалів до захисту | 5 тиждень | |
| 8 | Захист кваліфікаційної роботи | 6 тиждень | |

Здобувач Дмитро Попчук

_____ (підпис)

Керівник роботи Ігор Гончаренко

_____ (підпис)

Анотація

У кваліфікаційній роботі представлено розробку системи автоматизації процесу пастеризації пива на базі програмованого логічного контролера Modicon M340. Метою проєкту є створення надійної, енергоефективної та зручної у використанні системи керування технологічним процесом пастеризації з можливістю точного регулювання основних параметрів — температури, витрати, тиску та рівня.

У роботі наведено конфігураційну схему підключення датчиків температури, тиску, рівня, витрати, вторинних перетворювачів, а також виконавчих механізмів (насосів, клапанів) до контролера Modicon M340. Визначено оптимальний склад обладнання та подано специфікацію технічних засобів автоматизації, включно з модулями вводу/виводу, датчиками, пускачами, клапанами та іншими компонентами системи.

Здійснено розробку логіки керування у середовищі програмування Unity Pro XL, включно з реалізацією ПІ та ПІД-регуляторів для підтримання стабільної температури та необхідного об'єму подачі пива в одиницю часу. Окрема увага приділена обробці аналогових сигналів з перетворенням у фізичні величини для точного аналізу стану об'єкта керування.

Ключові слова: пастеризація пива, Modicon M340, SCADA, HMI, Unity Pro XL, Citect, ПІД-регулятор, технологічний процес, промислова автоматизація, пастеризатор

| | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Зм. | К-ть | Арк. | № док | Підпис | Дата | | 4 |

Annotation

This qualification work presents the development of an automation system for the beer pasteurization process based on the Modicon M340 programmable logic controller. The goal of the project is to create a reliable, energy-efficient, and user-friendly control system for the pasteurization process, with the capability for precise regulation of key parameters — temperature, flow rate, pressure, and level.

The paper includes a configuration diagram for connecting temperature, pressure, level, and flow sensors, secondary transducers, as well as actuators (pumps, valves) to the Modicon M340 controller. The optimal equipment composition has been determined, and a specification of automation hardware is provided, including input/output modules, sensors, starters, valves, and other system components.

The control logic was developed using the Unity Pro XL programming environment, including the implementation of PI and PID controllers to maintain stable temperature and the required flow of beer per unit of time. Particular attention is given to the processing of analog signals with conversion to physical values for accurate analysis of the controlled process state.

Keywords: beer pasteurization, Modicon M340, SCADA, HMI, Unity Pro XL, Citect, PID controller, technological process, industrial automation, pasteurizer.

| | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Зм. | К-ть | Арк. | № док | Підпис | Дата | | 5 |

Зміст

| | |
|--|----|
| Вступ | 7 |
| Розділ 1. Опис об'єкта автоматизації | 9 |
| 1.1. Технологічний опис об'єкта автоматизації | 9 |
| 1.2. Розробка завдання на систему автоматизації | 11 |
| Розділ 2. Система автоматизації | 12 |
| 2.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО) | 12 |
| 2.2. Схема автоматизації | 22 |
| 2.3. Специфікація засобів автоматизації..... | 25 |
| Розділ 3. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення | 27 |
| 3.1. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК)..... | 27 |
| 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 | 43 |
| Розділ 5. Опис спеціального програмного забезпечення для промислового логічного контролера (алгоритм та програма для ПЛК) | 45 |
| Розділ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога | 54 |
| 6.1. Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних до SCADA/HMI | 54 |
| 6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора..... | 55 |
| Висновки | 56 |
| Список використаної літератури | 57 |

Вступ

Сучасне пивоварне виробництво вимагає високого рівня якості, стабільності та безпеки кінцевого продукту. Однією з ключових стадій технологічного процесу є пастеризація — теплова обробка пива з метою знищення мікроорганізмів та продовження терміну його зберігання. Саме на цьому етапі відбувається остаточне формування фізико-хімічних властивостей напою перед розливом, що вимагає особливо точного контролю температурних режимів, витримки часу та стабільності процесу в цілому. Навіть незначні коливання параметрів можуть призвести до зниження якості пива або втрати його товарного вигляду, що є критично неприйнятним для комерційного виробництва.

Існує кілька основних типів пастеризаторів, що застосовуються в харчовій промисловості: камерні (тунельні), пакетні (контейнерні) та потокові (трубчасті або пластинчасті). Камерні пастеризатори обробляють вже розлитий продукт у пляшках або банках, тоді як потокові здійснюють пастеризацію пива перед розливом, безпосередньо в процесі перекачування. Саме поточковий пастеризатор є найбільш енергоефективним, компактним і технологічно гнучким рішенням для середніх і великих підприємств, оскільки дозволяє точно підтримувати задану температуру та час витримки, швидко реагувати на зміну умов і забезпечувати безперервну роботу лінії розливу.

У зв'язку з цим актуальним є впровадження сучасних систем автоматизованого керування процесом пастеризації, які забезпечують точну, стабільну та відтворювану теплову обробку продукції. Автоматизація дозволяє мінімізувати вплив людського фактору, підвищити енергоефективність обладнання, забезпечити надійний зворотний зв'язок з датчиків температури, тиску, витрати, а також реалізувати архівування ключових параметрів для подальшого аналізу, контролю якості та дотримання вимог харчової безпеки. Крім того, інтеграція інтелектуальних сенсорів, програмованих логічних контролерів та HMI/SCADA-систем дозволяє повністю автоматизувати запуск, зупинку та моніторинг усіх етапів пастеризації в режимі реального часу.

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

Метою даної дипломної роботи є розробка та обґрунтування структури автоматизованої системи керування потоковим пастеризатором пива з використанням сучасних технічних засобів автоматизації, зокрема контролера Schneider Electric Modicon M340, датчиків тиску, температури, витрати, рівня, частотних перетворювачів та програмного середовища Citect SCADA. У роботі буде здійснено аналіз технологічної схеми, підбрано обладнання, розроблено функціональну схему автоматизації, побудовано логіку керування, а також представлено візуалізацію НМІ для зручної експлуатації оператором.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

Розділ 1. Опис об'єкта автоматизації

1.1. Технологічний опис об'єкта автоматизації

Процес пастеризації передбачає нагрівання продукту з метою досягнення більшої мікробіологічної стабільності. Для пива існує два основних типи пастеризації: флеш-пастеризація та тунельна пастеризація. Флеш-пастеризація передбачає проходження пива через теплообмінник в потоці, щоб нагріти, а потім швидко охолодити продукт, щоб досягти зниження концентрації життєздатних мікробів. Тунельна пастеризація передбачає проходження продукту через тунель, який має нагріту секцію і охолоджувану секцію, щоб досягти нагрівання і охолодження продукту. Загалом, тунельна пастеризація безпечніша для чутливих продуктів і частіше використовується у випадках із безалкогольним пивом.

Пивоварна промисловість зазвичай вимірює кількість необхідної пастеризації (час і температуру), використовуючи одиницю, яка називається одиницями пастеризації PU (Pasteurization Units). Це, в свою чергу, базується на стійкості конкретного мікроорганізму, який процес має намір інактивувати, оскільки різні бактерії і дріжджі мають різний рівень стійкості до температур. Зазвичай метою є зменшення кількості мікроорганізмів на певний порядок величини. Залежно від продукту, можна націлитися на інший рівень зниження біологічної активності.

Необхідна кількість одиниць пастеризації залежить від кількох інших змінних у пиві, включаючи вміст алкоголю та одиниці гіркоти у вашому пиві. Загалом, мінімальний рекомендований рівень пастеризації для пива складає 15 пастеризаційних одиниць, але на практиці янайчастіше близько 22-27.

| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---|--------------------|------|--------|
| ЗМН | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розробив | | Попчук Д.С. | | | <i>Розробка системи автоматизації пастеризації пива на ПЛК Modicon M340</i> | Літ. | Арк. | Аркуші |
| Керівник | | Гончаренко І.С. | | | | | 9 | 3 |
| Секр. ЕК | | Проскурка Є.С. | | | | <i>НУХТ АК-4-1</i> | | |
| Зав. Каф. | | Смітюх Я.В. | | | | | | |



Рис 1.2 Орієнтовна кількість пастеризаційних одиниць для знищення мікроорганізмів у пиві

Одиниці PU розраховуються за формулою:

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

Однак пастеризація не забезпечить абсолютної стійкості продукту до псування, оскільки вона має на меті знешкодити лише ті мікроорганізми, які потрапили до пива у процесі безпосереднього виготовлення пива, а не ті які потрапили до нього на шляху до пляшки, тому дуже важливо, щоб на виробництві дотримувались високі стандарти чистоти.



Рис 1.1 Зовнішній вигляд потокового пастеризатора

1.2. Розробка завдання на систему автоматизації

| № № | Машина, агрегат, установка | Параметр, місце відбору сигналу | Припустим е значення сигналу | Вид автоматиза ції | Характер контролю чи управління | Засоби управління та контролю, реалізації управляючо ї дії |
|--------|-------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------|---|--|
| 1 | Трубопровід | витрата | 1000л/ год | Управління | Стабілізація | АРМ оператора |
| | | тиск | 1,2 МПа | Контроль | Відображення, реєстрація, сигналізація | АРМ оператора |
| 2 | Теплообмінник (секції 1-3) | тиск | 0,6 МПа | Контроль | Відображення, реєстрація, сигналізація | АРМ оператора |
| | | температура | 0-75°C | Контроль | Стабілізація | |
| 3 | Теплообмінник (секції 4) | тиск | 1 МПа | Контроль | Відображення, реєстрація | АРМ оператора |
| | | температура | 0-100°C | Контроль | Контроль, Відображення, реєстрація, сигналізація | |
| 4 | Буферна ємність | рівень | 90% | Контроль | Стабілізація | АРМ оператора |

Розділ 2. Система автоматизації

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

Датчик температури Endress+Hauser iTHERM TrustSens TM371

Пастеризація є температурно-критичним процесом, у якому навіть незначне відхилення від заданого температурного профілю може вплинути на якість, стабільність та безпеку готового продукту. Датчик iTHERM TrustSens TM371 спеціально розроблений для застосувань у харчовій і фармацевтичній промисловості, і він забезпечує високу метрологічну точність у поєднанні з автоматичною самокалібровкаю завдяки вбудованому еталонному елементу (Pt100 з фіксованою температурною точкою переходу).



Рис 2.1 - Endress+Hauser iTHERM TrustSens TM371

| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|---|-------------|----------------|
| <i>ЗМН</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпи</i> | <i>Дата</i> | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| Розробив | | Попчук Д.С. | | | | 12 | 15 |
| Керівник | | Гончаренко І.С. | | | НУХТ АК-4-1 | | |
| Секр. ЕК | | Проскурка Є.С. | | | | | |
| Зав. Каф. | | Смітюх Я.В. | | | | | |
| | | | | | <i>Розробка системи автоматизації пастеризації пива на ПЛК Modicon M340</i> | | |

Завдяки цій функції TrustSens є самоконтрольованим датчиком, який не потребує зупинки процесу або ручної перевірки для валідації точності вимірювань. Це особливо важливо в безперервних процесах, таких як пастеризація, де немає можливості часто відкалібровувати датчики вручну без зупинки обладнання

Діапазон температур вимірювання TM371 повністю охоплює робочі параметри пастеризатора (від -50 до $+160$ °C), а його час реакції (t_{90}) — всього 1–3 секунди, що дозволяє оперативно реагувати на зміни температури потоку в трубопроводі.

Конструктивно датчик має гігієнічне виконання відповідно до стандартів EHEDG і FDA, корпус і зонд виготовлені з нержавіючої сталі AISI 316L, і мають поліровану поверхню, сумісну з CIP/SIP-мийкою. Це виключає можливість забруднення продукту або накопичення залишків. З'єднання типу Clamp, Varivent або DIN11851 забезпечують легку інтеграцію в трубопровід без потреби в додаткових адаптерах.

Також TM371 має вихід 4–20 мА з цифровою надбудовою HART, що дозволяє не лише отримувати вимірювальні дані, а й дистанційно моніторити стан самого датчика, виконувати діагностику та переглядати історію самокалібрування.

| Характеристика | Значення |
|------------------------|--|
| Тип пристрою | Гігієнічний термометр з автоматичною самокалібровкою |
| Принцип вимірювання | Термометр опору Pt100 (клас A / 1/3 DIN), вбудований еталон |
| Самокалібрування | Автоматичне, за допомогою вбудованого фіксованого температурного еталону |
| Покриття поверхні | Електрополірування, шорсткість $\leq 0,38$ мкм |
| Процесне підключення | Hygienic Clamp, Varivent, DIN 11851, інші (на вибір) |
| Електричне підключення | Роз'єм M12 або вбудований кабель |

| | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Зм. | К-ть | Арк. | № док | Підпис | Дата | | 13 |

| | |
|----------------------------------|---|
| Клас захисту | IP67 / IP68 |
| Гігієнічні сертифікати | EHEDG, 3A, FDA, SIP/CIP сумісність |
| Діапазон вимірювання температури | -50...+160 °C (макс. до 200 °C на запит) |
| Час реакції (t90) | ≤ 3 с (залежно від типу чутливого елемента і вставки) |
| Похибка вимірювання | ≤ ±0,1 °C |
| Вихідний сигнал | 4–20 мА з HART (двопровідний інтерфейс) |
| Живлення | 11–35 ВDC (макс. 30 В в Ex-зонах) |
| Максимальне навантаження | (U – 11 В) / 0,023 А |
| Матеріал занурюваної частини | Нержавіюча сталь AISI 316L (1.4435 / 1.4404) |

Датчик тиску IFM PM1618

IFM PM1618 — це компактний електронний датчик тиску, спеціально розроблений для застосування в харчовій, напоївій та фармацевтичній промисловості. Його використовують для вимірювання тиску рідин і газів у системах з високими вимогами до гігієни, надійності та інтеграції в автоматизовані процеси.



Рис. 2.2 – Прихований перетворювач тиску IFM PM1618

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

Оснoву датчика становить тензoметричний сенсор з безущільнювальною звареною мембраною з нержавіючої сталі 316L, яка контактує із середовищем і відпoвідає вимогам стандартів EHEDG і FDA.

| Характеристика | Значення |
|-------------------------------|--|
| Призначення | Вимірювання надлишкового тиску рідин і газів |
| Діапазон вимірювання | 0...10 бар |
| Перевантажувальна здатність | До 20 бар |
| Вихідний сигнал | 4–20 мА, 2-провідний |
| Тип вимірювального елемента | Тензорезистивний сенсор з нержавіючою мембраною |
| Матеріал мембрани | Нержавіюча сталь AISI 316L (1.4435) |
| Матеріал корпусу | Нержавіюча сталь |
| Живлення | 18...30 В DC |
| Процесне підключення | G 1/2", G 1/4" (гігієнічне або стандартне, залежно від адаптера) |
| Клас захисту | IP67 / IP68 (за умови використання герметичних кабелів) |
| Точність | $\leq \pm 0,5$ % від кінцевого значення діапазону |
| Гігієнічна відповідність | EHEDG, FDA |
| Стійкість до CIP/SIP | Так (до 150 °C, короткочасно) |
| Монтаж | У гігієнічну арматуру (Clamp, Varivent, DIN 11851 — через адаптер) |
| Індикація | Світлодіодний індикатор (опціонально) |
| Робоча температура середовища | -25...+80 °C |

| Характеристика | Значення |
|---------------------------------|--|
| Робоча температура процесу | -25...+150 °С |
| Максимальне навантаження виходу | (V – 10 В) / 0,02 А (наприклад, 700 Ом при 24 В) |
| Електричне підключення | M12 × 1, 4-контактний роз'єм |

PM1618 працює в діапазоні від 0 до 12 бар і витримує температуру до 150 °С, що робить його придатним як для рідинних ліній, так і для парових чи водяних сорочок теплообмінників. Він підтримує аналоговий вихід 4–20 мА та цифрову передачу даних через IO-Link, завдяки чому може передавати не лише тиск, а й діагностичну інформацію, попередження, аварійні сигнали та параметри налаштувань у реальному часі. Це забезпечує повну інтеграцію з ПЛК системами різних виробників і підвищує контроль над процесом. Деякі датчики цієї серії оснащені яскравим LED-дисплеєм з кольоровим індикатором стану, а також має гігієнічне процесне підключення G 1/2" з адаптерною системою, що дозволяє змінювати тип фітінгу без заміни приладу. Завдяки високому ступеню захисту IP67/IP69K та обертовому корпусу, його зручно встановлювати навіть у важкодоступних місцях і безпечно мити під тиском

Датчик рівня IFM PM1618

Конструктивно LW2720 має гігієнічне виконання з нержавіючої сталі AISI 316L та поліровану поверхню з фронтальною мембраною, що відповідає вимогам EHEDG та FDA, а отже — придатний для прямого контакту з харчовим продуктом. Він стійкий до процесів CIP/SIP (мийка і стерилізація на місці), що є обов'язковою умовою для пивоварного виробництва.



Рис. 2.3 – IFM LW2720

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 16 |

Крім того, датчик не має рухомих частин, тому механічно надійний, нечутливий до піни, відкладень і наявності бульбашок, що важливо при роботі з пивом. Його електроніка забезпечує швидкий час відгуку та стабільний аналоговий сигнал, що дозволяє точно контролювати рівень продукту перед подачею на розлив або в інші процеси. IFM LW2720 поєднує в собі точність, гігієнічність, простоту монтажу й експлуатації, що робить його оптимальним вибором для безперервного контролю рівня пастеризованого пива у буферній ємності.

Витратомір KROHNE OPTIFLUX 6000 та перетворювач IFC 300

OPTIFLUX 6000 є спеціалізованим гігієнічним первинним сенсором, розробленим для застосування в харчовій, напоївій та фармацевтичній промисловості. Його основною перевагою є відсутність рухомих частин і наявність гладкого наскрізного проходу, що виключає утворення застійних зон і полегшує очищення системою CIP/SIP. Сенсор має сертифікацію EHEDG, 3A та FDA, а внутрішнє покриття може бути з PTFE або PFA, що сумісне з пивом та миючими розчинами.

Електромагнітний принцип вимірювання, який застосовується у цьому витратомірі, дозволяє точно вимірювати витрату електропровідних рідин, включно з пивом, яке має стабільну електропровідність. На відміну від турбінних або ультразвукових витратомірів, OPTIFLUX 6000 не реагує на наявність бульбашок, піни або легких відкладень, що критично важливо в пивній промисловості. Завдяки широкому діапазону доступних діаметрів (від DN10 до DN150 і більше), цей сенсор легко адаптується до існуючої конфігурації трубопроводів.



Рис. 2.4 – OPTIFLUX 6000 та встановлений на ньому IFC 300

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 17 |

| Характеристика | Значення |
|-------------------------------------|--|
| Тип пристрою | Електромагнітний витратомір (гігієнічне виконання) |
| Модель | OPTIFLUX 6300 |
| Матеріал зволожуваних частин | Електроди – нержавіюча сталь; футерівка – PFA, ETFE або інше |
| Точність вимірювання | ±0,2 % від вимірюваного значення (з IFC 300) |
| Температура процесу | до +150 °С (залежно від футерування) |
| Робочий тиск | до 16 бар (залежить від DN та матеріалів) |
| Підключення до трубопроводу | Гігієнічне: Clamp, DIN 11851, Varivent, інші (на вибір) |
| Клас захисту сенсора | IP67 / IP68 |
| Промивання та стерилізація | Повністю сумісний з CIP/SIP |
| Гігієнічні сертифікати | ENEDG, 3A, FDA |
| Вторинний перетворювач | Працює з IFC 100 / IFC 300 |
| Інтерфейси | 4–20 мА, HART, Modbus, Profibus, Foundation Fieldbus (залежно від IFC) |
| Живлення | 24 В DC або 85–265 В AC (через IFC) |
| Монтажна орієнтація | Будь-яка (залежно від виконання) |
| Електропровідність середовища | Мінімум 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| Принцип дії | Закон Фарадея (електромагнітна індукція) |
| Діапазон номінальних діаметрів (DN) | DN 2,5...150 мм |
| Тип процесу | Неперервне вимірювання об'ємної витрати |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

Вторинний перетворювач IFC 300, що працює в парі з OPTIFLUX 6000, забезпечує високоточну обробку сигналу та стабільний вихід 4–20 мА, а також підтримку цифрових протоколів (HART, Modbus, Profibus або Foundation Fieldbus). IFC 300 має високу частоту оновлення та точність до $\pm 0,2\%$ від вимірюваного значення, що дозволяє точно контролювати об'ємну або масову витрату пива у реальному часі. Завдяки вбудованим функціям діагностики, самоперевірки і збереження параметрів у внутрішній пам'яті, IFC 300 гарантує надійність роботи навіть при нестабільному електроживленні.

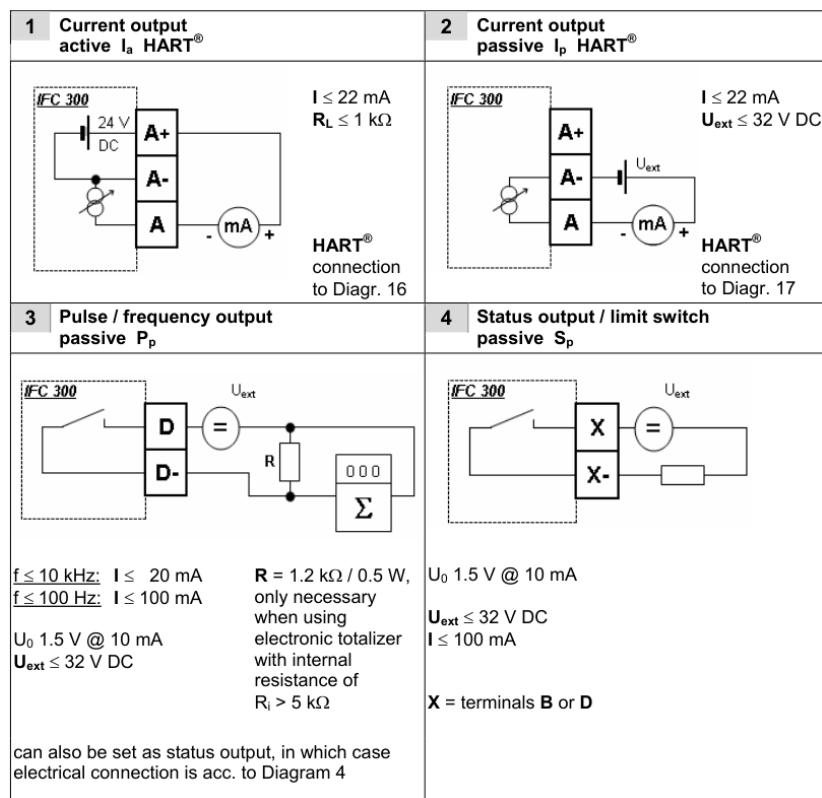


Рис. 3.5 – Схема підключення IFC 300 до ПЛК у пасивних та активних режимах (Аналоговий 4-20мА та HART)

Інтерфейс IFC 300 легко інтегрується з ПЛК (наприклад, Modicon M340) через аналоговий вхід або цифровий протокол, а широкий функціонал налаштувань і дисплей (для версій з локальним інтерфейсом) спрощують запуск і обслуговування. Застосування комплекту OPTIFLUX 6000 + IFC 300 дозволяє отримати точні вимірювання без частого технічного втручання, що ідеально підходить для пастеризації пива, де точна витрата рідини визначає ефективність теплової обробки.

Частотний перетворювач Altivar Machine ATV320

ATV320 розроблений спеціально для динамічних машинобудівних застосувань, де потрібна гнучкість у керуванні швидкістю двигунів, високий пусковий момент та точна робота на низьких обертах — усе це критично важливо для насосів, які перекачують пиво або миючі розчини в системі пастеризації. Він підтримує різні режими керування: від простого V/f до векторного керування без зворотного зв'язку, що дозволяє адаптувати його до двигунів різної потужності та характеристик.

Інтерфейси зв'язку, зокрема Modbus, CANopen, EtherNet/IP або Profinet, дозволяють легко інтегрувати ATV320 у структуру ПЛК, забезпечуючи повний контроль і моніторинг у SCADA або локальній системі автоматизації. Привід підтримує аналоговий вхід 0–10 В або 4–20 мА, що дозволяє керувати швидкістю з аналогового модуля, такого як BMX AMO0410, або з панелі оператора. Крім того, вбудовані цифрові входи/виходи можуть використовуватися для прямого запуску, аварійної зупинки або перемикання режимів.



Рис. 3.6 - Altivar Machine ATV320

Ще однією перевагою є компактний розмір і адаптивність до монтажу в щит, що знижує вимоги до простору. Вбудовані функції захисту (від перенавантаження, перегріву, втрати фази, короткого замикання) забезпечують надійність і безпеку роботи, навіть в умовах підвищеної вологості або нестабільної напруги.

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

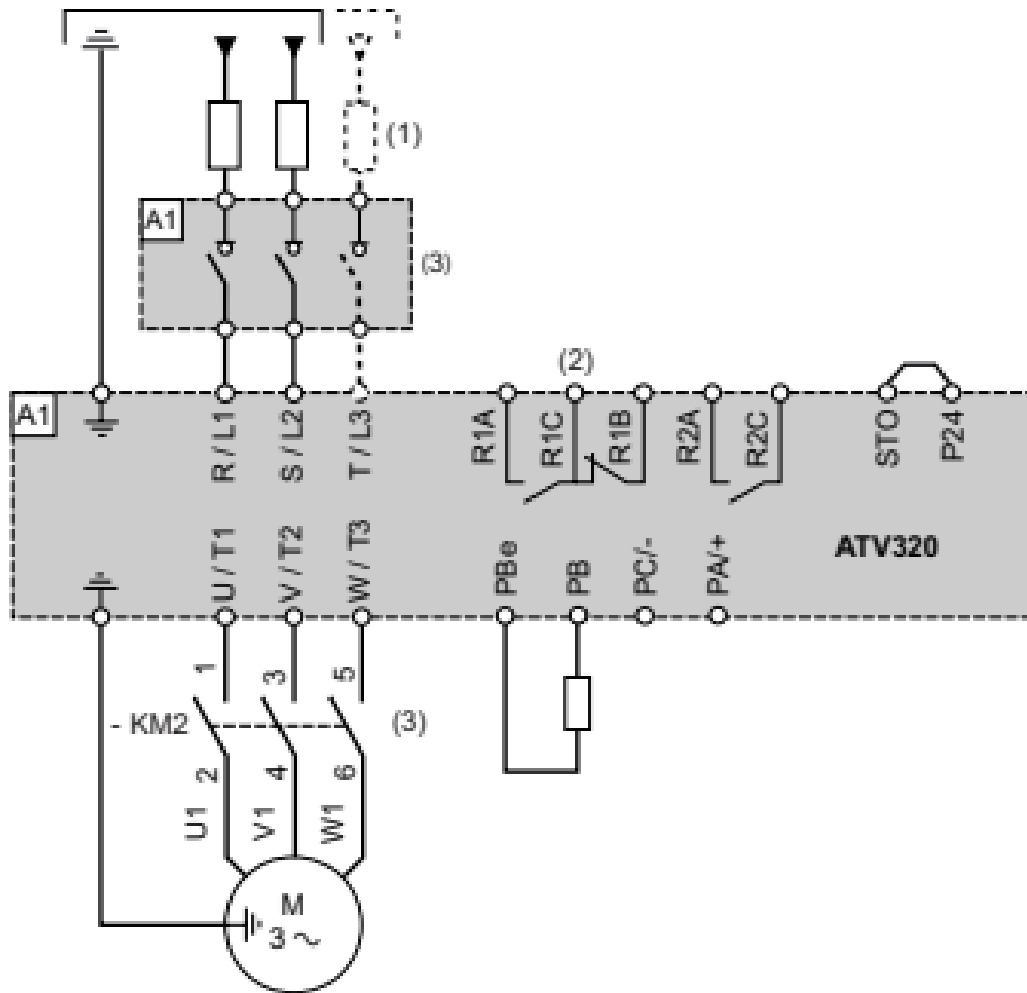


Рис 3.7. - Підключення ATV320 до трьохфазного двигуна

Таким чином, вибір Altivar ATV320 забезпечує оптимальне керування насосами та двигунами пастеризатора, дозволяє реалізувати гнучке регулювання швидкості, знизити споживання енергії, зменшити знос обладнання та інтегруватися у загальну систему автоматизації без потреби в додаткових конверторах або шлюзах. Це робить його економічно й технічно доцільним рішенням для сучасних виробництв.

2.2 Схема автоматизації

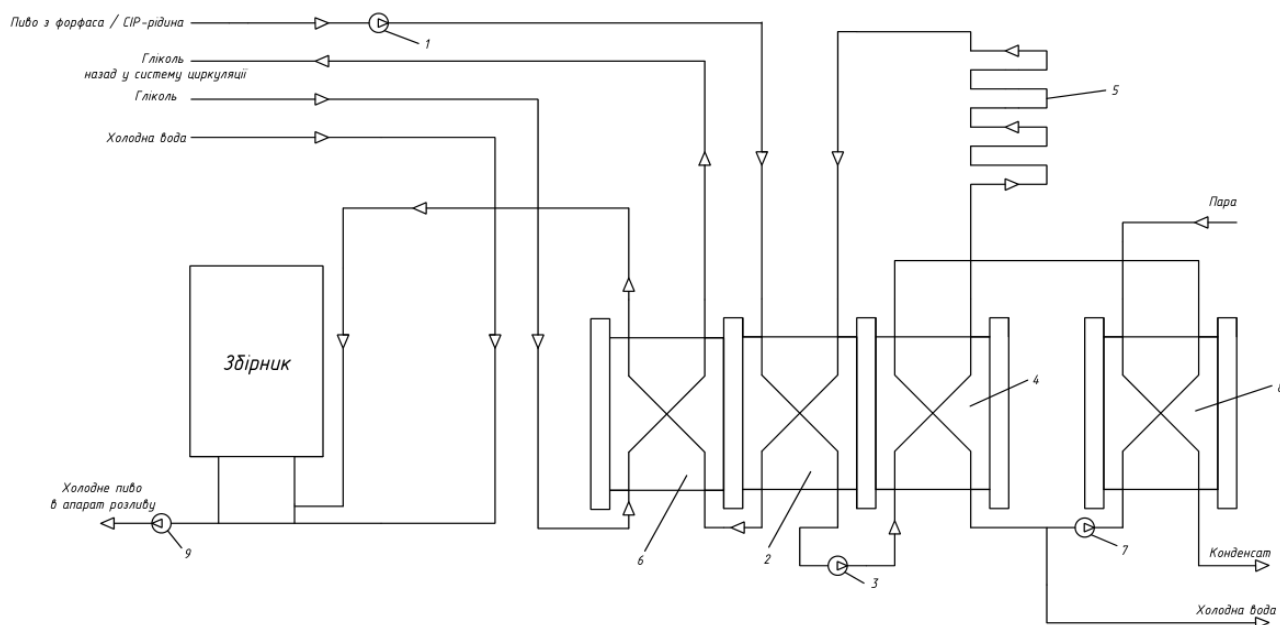


Рис. 2.3 Орієнтовна схема роботи пастеризатора. 1- насос для подачі холодного пива з ферфаса, 2 – рекуперативна секція, 3 - насос подачі пива у секцію нагріву, 4 – секція нагріву, 5 – витримка, 6 - секція охолодження, 7 – насос подачі холодної води у теплообмінник, 8 – теплообмінник нагріву води, 9 – насос для транспортування в апарат розливу

Охолоджене до температури близько 1 °С пиво, що зберігається у ферфасі, за допомогою насоса 1 подається в основний трубопровід, по якому воно транспортується далі до рекуперативної секції теплообмінника 2. У цій секції відбувається ефективний процес теплообміну за принципом протитоку: охолоджене пиво поступово нагрівається завдяки теплу, яке передає йому пастеризоване пиво, що виходить із пастеризаційного циклу. Завдяки такій схемі теплова енергія не втрачається, а повторно використовується, що дозволяє підвищити температуру пива до 61–63 °С без додаткових витрат енергії.

Після цього пиво надходить до нагрівальної секції 4, де здійснюється його остаточне нагрівання до температури пастеризації. У цій секції задіяна холодна вода, яка спочатку подається до теплообмінника 8. Там вона нагрівається паром до заданої температури, після чого безперервно циркулює у замкненому контурі разом із секцією нагріву, забезпечуючи стабільне і рівномірне нагрівання пивного потоку.

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

Далі вже нагріте до температури 72–75 °С пиво потрапляє у спеціальний відстійник 5, де воно витримується протягом 30 секунд. Цей етап є критично важливим для здійснення повноцінної пастеризації — процесу знищення мікроорганізмів, що можуть негативно вплинути на якість та безпечність продукту.

Після завершення витримки пастеризоване пиво направляється до **охолоджувальної** секції теплообмінника, де його температура поступово знижується знову до 1 °С, що необхідно для подальшого зберігання або розливу в пляшки чи кеги

Вибір контурів регулювання

У системі автоматизації пастеризатора пива передбачено реалізацію **двох** незалежних, але функціонально подібних контурів регулювання витрати води і пива — контур 1 і контур 3. Обидва виконують важливу роль у забезпеченні стабільності теплових процесів: перший — у контурі пивного потоку, другий — у контурі охолодження або теплоносія. Кожен з них побудований за класичною схемою замкненого автоматичного регулювання зі зворотним зв'язком.

У контурі 1 до складу системи входять чотири основні елементи: витратомір 1а, перетворювач сигналу 1б, частотний перетворювач 1в та насос 1г. Витратомір 1а вимірює поточну витрату пива у трубопроводі. Сигнал з нього надходить на перетворювач IFC 300 (1б), який формує стандартизований аналоговий вихід 4–20 мА. Цей сигнал подається до ПЛК, де відбувається порівняння фактичної витрати із заданим значенням. На основі результату розрахунку ПЛК формує керуючий сигнал, який подається у вигляді аналогового значення 4–20 мА на частотний перетворювач 1в (ATV320). Частотник регулює оберти насоса 1г, змінюючи таким чином витрату пива в системі. Зміна витрати повторно фіксується витратоміром — контур замкнений і працює в реальному часі.

Аналогічно працює контур 3, який відповідає за регулювання витрати води або охолоджувального теплоносія. До його складу входять: витратомір 3а, перетворювач сигналу 3б, частотний перетворювач 3в та насос 3г. Виміряна витрата води (3а) через перетворювач 3б перетворюється у сигнал 4–20 мА, який або безпосередньо, або через ПЛК подається на частотник 3в.

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

Частотний перетворювач змінює швидкість роботи насоса 3г, тим самим коригуючи об'єм рідини, що подається в контур. Таким чином, контур 3 також працює за принципом зворотного зв'язку, підтримуючи стабільну витрату води відповідно до технологічних вимог.

Контури контролю

У системі автоматизації пастеризатора реалізовано кілька контурів контролю, які забезпечують безпечну та стабільну роботу установки. Зокрема, контури 12а–16а відповідають за моніторинг температури у ключових точках технологічного процесу. Це датчики температури, які безперервно зчитують значення з відповідних ділянок — наприклад, до та після секції нагріву, на виході з теплообмінника, у секції витримки та охолодження. Дані з цих датчиків передаються до ПЛК, де здійснюється логічний контроль порогових значень.

У разі, якщо хоча б один із температурних датчиків (12а–16а) фіксує перевищення критичної температури (понад 100 °С), або якщо датчик тиску 17а сигналізує про надлишковий тиск у системі, ПЛК негайно ініціює аварійне зупинення процесу пастеризації. Це виконується через логіку захисту: система переводиться в безпечний стан, зупиняється робота насосів, подача пари блокується, і клапани переводяться у вихідне положення, щоб уникнути аварії, перегріву продукту або пошкодження обладнання.

Окрім цього, реалізовані додаткові захисні дії на основі показань тискових датчиків: Якщо датчик 2а фіксує підвищений тиск у відповідній ділянці, то клапан 2в автоматично закривається, припиняючи подачу пари чи рідини, що сприяє зниженню тиску в системі.

Якщо датчик 6в визначає надмірний тиск у зоні охолодження або відведення конденсату, то клапан 6д повністю закривається, ізолюючи ділянку або припиняючи подачу середовища до небезпечного об'єкта.

Уся ця система працює в режимі автоматичного контролю і захисту, де логіка аварійної зупинки та реакції на критичні параметри реалізована у програмному забезпеченні ПЛК

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

2.3. Специфікація засобів автоматизації

| № позиції за схемою | Місце встановлення | Найменування і технічна характеристика | Тип, марка | Кількість | Виробник |
|-----------------------------|--------------------|--|------------------------|-----------|---------------------------|
| 2а, 3в, 6в | По місцю | Датчик тиску з вихідним сигналом 4...20 мА, живлення 18...30 ВDC, діапазон вимірювання 0...10 бар | IFM PM1618 | 3 | IFM Electronic, Німеччина |
| 6б, 12а, 13а, 14а, 15а, 16а | По місцю | Датчик температури з вбудованою функцією самокалібрування, вихід 4...20 мА, Pt100, діапазон -50...+160 °С, живлення 24 ВDC | iTHERM TrustSens TM371 | 6 | Endress+Hauser, Швейцарія |
| 8а | По місцю | Ємнісний датчик рівня з вихідним сигналом 4...20 мА, діапазон до 2 м, живлення 18...32 ВDC | IFM LW2720 | 1 | IFM Electronic, Німеччина |

| № позиц ії за схемо ю | Місце встанов -лення | Найменування і технічна характеристика | Тип, марка | Кіль- кість | Виробник |
|-----------------------------------|----------------------------|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------|
| 1в, 3б, 6г | На щиті | Частотний перетворювач, потужність до 4 кВт, живлення 3×400 В, аналоговий вхід 0...10 В / 4...20 мА, цифрові входи/виходи | Altivar Machine ATV320 | 3 | Schneider Electric, Франція |
| 1б | По місцю | Вторинний перетворювач електромагнітного витратоміра, вихід 4...20 мА, живлення 24 ВDC, цифровий інтерфейс | KROHNE IFC 300 | 2 | KROHNE, Німеччина |
| 3б | По місцю | Первинний сенсор витратоміра, електромагнітний тип, DN від 10 мм до 100 мм, гігієнічне виконання | KROHNE OPTIFLUX 6000 | 2 | KROHNE, Німеччина |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 26 |

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

3.1. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК)

Schneider Electric Modicon M340 — це середньорівневий програмований логічний контролер (ПЛК), створений для застосувань, які потребують надійності, масштабованості та високої швидкості обробки даних. Він поєднує в собі компактність, високу продуктивність і гнучкість при проектуванні автоматизованих систем у промисловості, особливо в таких галузях, як харчова, водоочищення, енергетика, машинобудування, а також у комплексних об'єктах автоматизації з великою кількістю сигналів.

Однією з ключових переваг Modicon M340 є його процесор — серія CPU має швидке опрацювання інструкцій, включно з операціями з рухомою комою, що забезпечує високу швидкість реагування. ПЛК підтримує багатозадачність і структуроване програмування у середовищі EcoStruxure Control Expert (колишній Unity Pro), яке дозволяє програмувати в п'яти мовах стандарту IEC 61131-3. M340 легко інтегрується з іншими пристроями через підтримку численних протоколів, зокрема Modbus, Ethernet/IP, CANopen, Profibus DP та інших, завдяки вбудованому Ethernet-порту і модульній конструкції, що дозволяє додавати комунікаційні або ввід/вивід модулі без заміни базового контролера. Серед його сильних сторін — простота обслуговування: знімна SD-карта дозволяє зберігати програму та дані, а також швидко відновлювати систему без програмування з нуля. Modicon M340 вирізняється також якістю апаратної частини: модулі мають компактний розмір, високу щільність входів/виходів, гальванічну розв'язку та розширений температурний діапазон, що дозволяє використовувати його в суворих умовах. Контролер підтримує інтеграцію з SCADA-системами Schneider (наприклад, EcoStruxure Operator Terminal Expert) та сторонніми, що полегшує побудову повноцінної автоматизованої системи

| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---|--------------------|------|--------|
| ЗМН | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розробив | | Попчук Д.С. | | | <i>Розробка системи автоматизації пастеризації пива на ПЛК Modicon M340</i> | Літ. | Арк. | Аркуші |
| Керівник | | Гончаренко І.С. | | | | | 27 | 16 |
| Секр. ЕК | | Проскурка Є.С. | | | | <i>НУХТ АК-4-1</i> | | |
| Зав. Каф. | | Смітюх Я.В. | | | | | | |



Рис. 3.1 – Програмно-логічний контролер Modicon M340

Конфігурація ПЛК у поточному проєкті має забезпечити 12 аналогових входи для датчиків температури, тиску та витрати, 4 аналогових виходи для керування двигунами та 6 дискретних виходів для керування п'ятьма клапанами і одним двигуном. Для цього було обрано 2 модулі ВМХ АМІ 0810, 1 модуль релейних дискретних виходів ВМХ ДРА 1605 та модуль ВМХ АМО 0805 для управління двигунами.

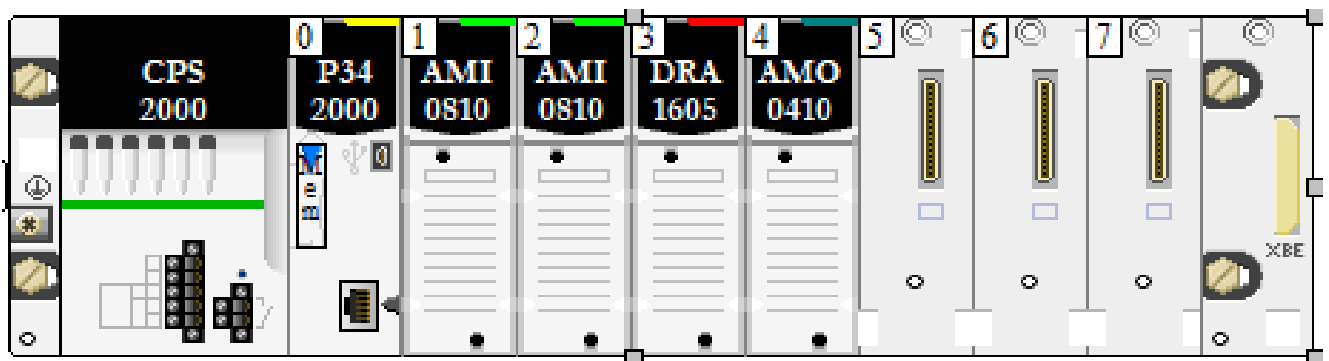


Рис. 3.2 – Конфігурація контролера Modicon M340

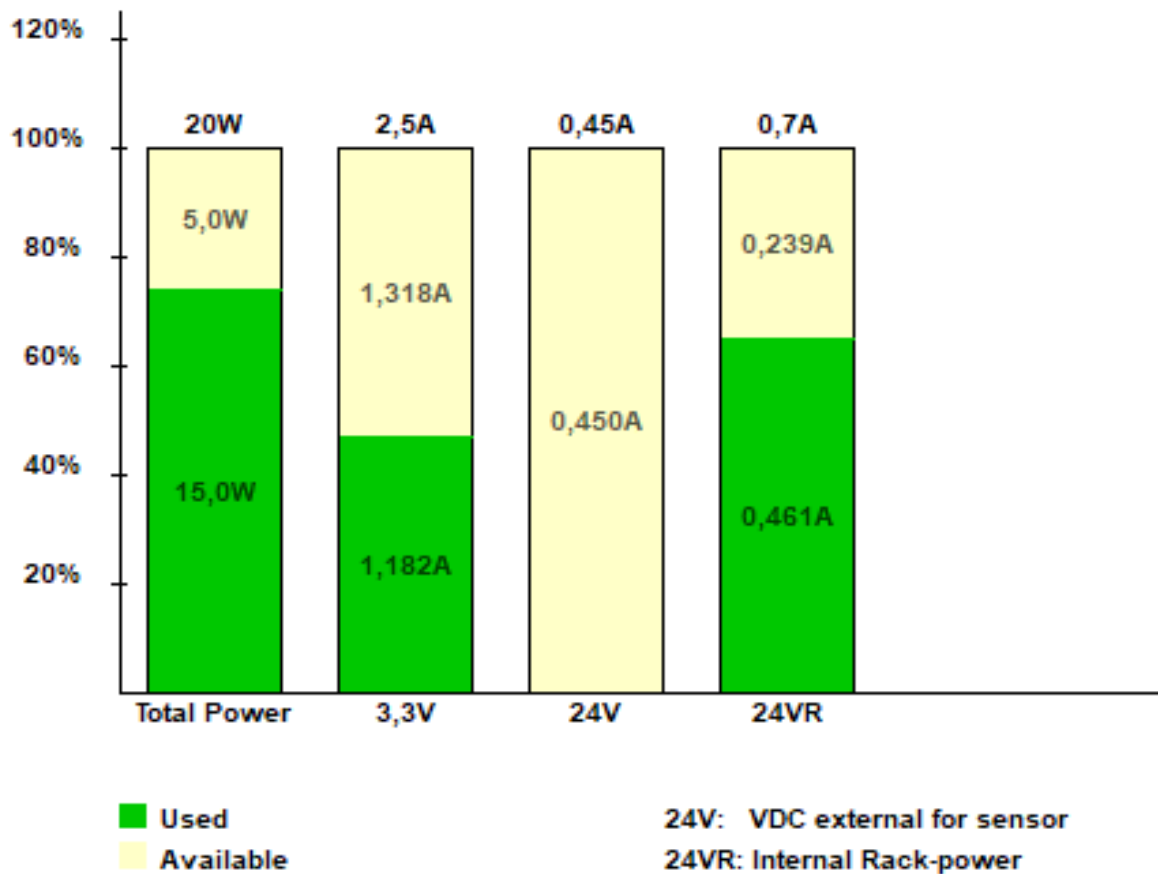


Рис. 3.3 – Графік споживання контролера Modicon M340

Таблиця 3.1 – Конфігурація ПЛК

| Позначення модуля | Кількість | Найменування модуля | Характеристика модуля |
|-------------------|-----------|------------------------------------|---------------------------------|
| CPS 2000 | 1 | Модуль живлення | 24VDC, 100...240VAC, 20Вт |
| P34 2000 | 1 | Процесорний модуль | Serial + CanOpen |
| AMI 0810 | 2 | Модуль аналогових входів | 8 каналів |
| AMO 0805 | 1 | Модуль аналогових виходів | 8 каналів |
| DRA 1605 | 1 | Модуль дискретних релейних виходів | 16 релейних виходів |

У системі передбачено 12 аналогових датчиків зі стандартним вихідним сигналом 4–20 мА — це три датчики тиску, шість температурних, один рівня та два витратоміри. Кожен модуль ВМХ АМІ0810 має вісім незалежних аналогових входів, здатних приймати саме такі струмові сигнали. Таким чином, два модулі забезпечують 16 каналів, що повністю покриває потребу в 12 точках вимірювання і залишає чотири резервні входи для можливих майбутніх розширень або технічного дублювання.

Ці модулі відзначаються високою точністю, індивідуальним налаштуванням кожного каналу та підтримкою діагностики обриву або короткого замикання в сигнальній лінії. Завдяки цьому вони надійно інтегруються в системи автоматизації з підвищеними вимогами до стабільності і безпеки. Окрім того,

використання модулів одного типу спрощує монтаж, проектування і супровід системи, а також оптимізує простір у розподільчій шафі та конфігурацію в програмному середовищі EcoStruxure Control Expert.

З урахуванням сумісності з сигналами 4–20 мА, можливості масштабування, зручного резервування і високої якості вимірювань, рішення з двома модулями ВМХ АМІ0810 є технічно доцільним і відповідає промисловим стандартам для ПЛК-систем середнього рівня.



Рис. 3.4 – ВМХ АМІ 0810

Таблиця 3.5 Характеристики АМІ0810:

| Параметр | Значення |
|--------------------------|--|
| Тип модуля | Аналоговий модуль вводу |
| Кількість каналів | 8 аналогових входів |
| Тип сигналу | 4–20 мА (універсальний аналоговий струмовий вхід) |
| Роздільна здатність | 16 біт |
| Точність вимірювання | ±0.1 % повного діапазону |
| Захист каналів | Захист від короткого замикання, діагностика обриву |
| Час опитування | < 10 мс на канал |
| Виявлення обриву сигналу | Так, з обробкою помилки |
| Діагностика | Аварійні стани, обриви, поза межами діапазону |
| Напруга живлення | Отримується з шини живлення ПЛК |
| Споживання | Близько 120 мА |
| Сумісність | ПЛК Modicon M340, Unity Pro / Control Expert |
| Робоча температура | Від 0 °С до +60 °С |
| Ступінь захисту | IP20 (для монтажу в шафі) |
| Кріплення | На DIN-рейку, вставка в базу M340 |
| Світлодіоди індикації | Статус модулів і кожного каналу окремо |
| Тип ізоляції | Гальванічна ізоляція каналів від шин ПЛК |

Підключення датчиків зазвичай здійснюється за використанням 2х або трьох входів, Щоб правильно підключити датчики, важливо розуміти, за що відповідають контакти **VI**, **II** та **COM** (іноді позначається як **M** або **GND**). **VI (Voltage/Current**

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 31 |

Input) — це головний вхід для вимірювання сигналу. Якщо ви використовуєте датчик зі струмовим виходом (4–20 мА), то саме сюди підключається позитивний вихід сигналу з датчика. Можна сказати, що це «+» аналогового сигналу. **II** (Input Internal supply) застосовується, коли ви використовуєте **пасивний датчик**, якому потрібно подати живлення. Тобто, якщо у вас немає окремого джерела живлення (наприклад, 24 В), модуль може подавати живлення через цей контакт. Найчастіше його не використовують, якщо датчик вже має власне живлення. **COM (Common)** — це загальний або спільний мінус (GND) для всіх каналів. Сюди підключається «-» сигналу або загальний провід живлення. У випадку підключення датчика зі струмовим сигналом, COM замикає ланцюг, дозволяючи струму пройти через вхід і сформувати вимірюваний сигнал.

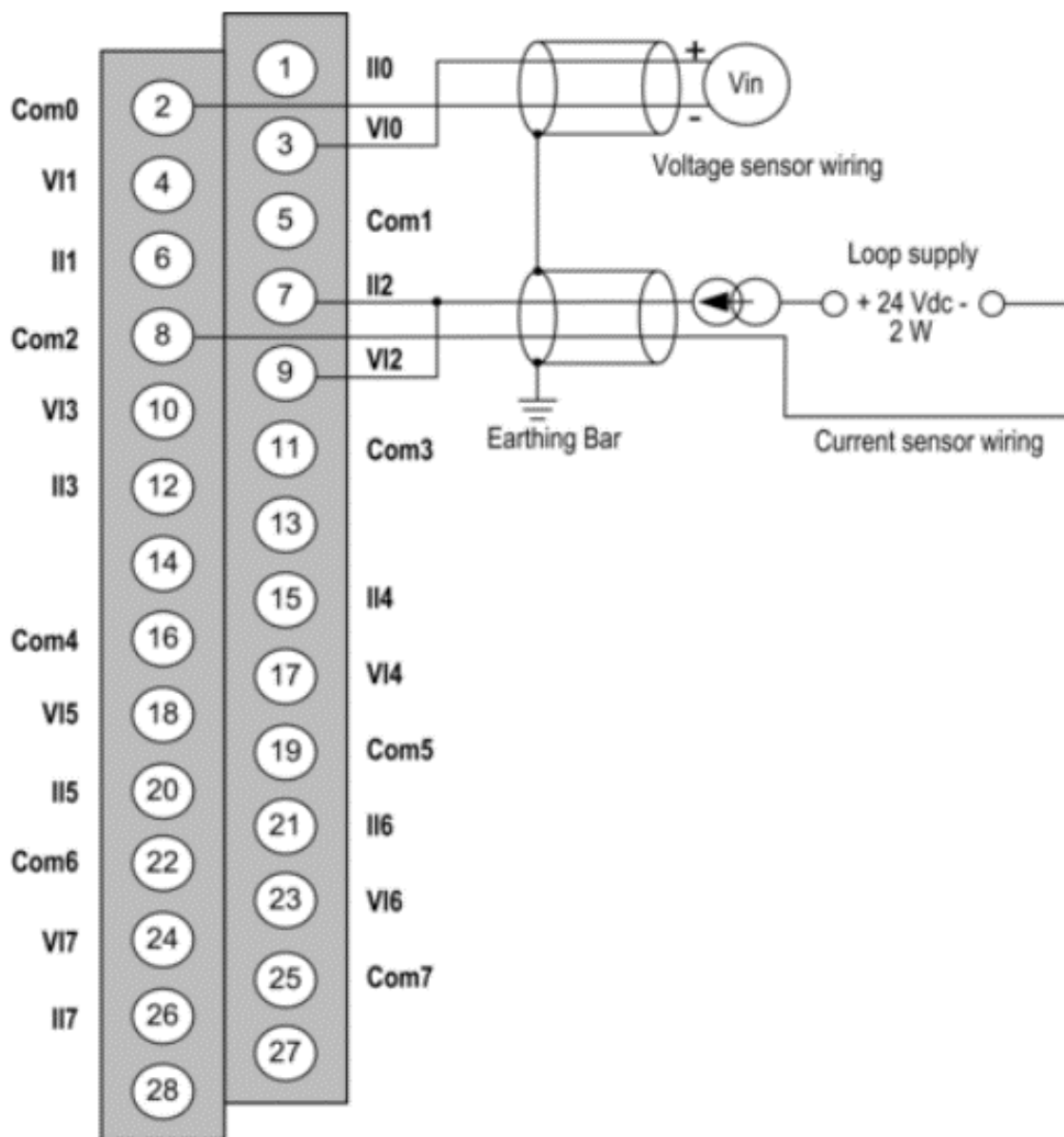


Рис. 3.5 – Схема підключення входів до BMX AMI0810

Для підключення чотирьох двигунів до ПЛК Modicon M340 через частотні перетворювачі було обрано модуль **BMX АМО 0410**, оскільки він є оптимальним рішенням для керування приводами, які приймають аналоговий сигнал для регулювання швидкості обертання. Цей модуль має чотири аналогові виходи типу **0–20 мА або 4–20 мА**, що дозволяє передавати уніфіковані сигнали керування безпосередньо на частотні перетворювачі. Таким чином, з одного модуля можна подавати сигнали керування на всі чотири приводи окремо, без потреби у додаткових пристроях.

Крім того, **BMX АМО 0410** забезпечує високу точність та стабільність аналогового сигналу, що критично важливо для плавного регулювання швидкості обертання насосів або інших виконавчих механізмів у процесах, де потрібна точна динаміка (наприклад, дозування, перекачування рідини або синхронна робота вузлів). Наявність гальванічної ізоляції виходів також забезпечує надійність і захист як модуля, так і зовнішнього обладнання. Обравши саме цей модуль, вдалося отримати компактне, ефективне і повністю сумісне рішення для керування приводами в межах єдиної автоматизованої системи.



Рис. 3.6 – Модуль аналогових виходів **BMX АМО0410**

Технічні характеристики АМО 0802:

| Характеристика | Значення |
|------------------------------------|---|
| Тип модуля | Аналоговий вихідний модуль |
| Кількість виходів | 4 незалежні аналогові виходи |
| Тип вихідного сигналу | 0–20 мА або 4–20 мА (налаштовується) |
| Роздільна здатність (точність) | 12 біт (з типовим кроком ≈ 5 мкА) |
| Максимальне навантаження | 500 Ом |
| Гальванічна ізоляція | Між каналами та системною шиною |
| Вихідна точність | $\pm 0,1$ % повної шкали |
| Швидкість оновлення | < 1 мс на канал |
| Діагностика | Виявлення обриву проводу, перевантаження, короткого замикання |
| Стандартне напрацювання на відмову | > 1 000 000 годин |
| Ступінь захисту | IP20 (у корпусі контролера) |
| Температурний діапазон роботи | 0...+60 °С |
| Споживання струму | < 100 мА від живлення шини |
| Сумісність | Modicon M340, Modicon Premium (через X80 шину) |

Підключення до модуля **ВМХ АМО 0410** виконується для кожного з чотирьох каналів окремо, де кожен канал має два контакти: один для **сигнального виходу**, через який подається струм 0–20 або 4–20 мА, та один — **СОМ**. Щоб передати керуючий сигнал на частотний перетворювач або інший пристрій, вихід **OUT** підключається до аналогового входу цього пристрою, а **СОМ** — до його загального

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

або "мінусового" контакту. Усі виходи гальванічно ізольовані, тому їх можна використовувати незалежно один від одного. Перед підключенням потрібно переконатися, що конфігурація модуля у ПЛК встановлена відповідно до режиму 4–20 мА.

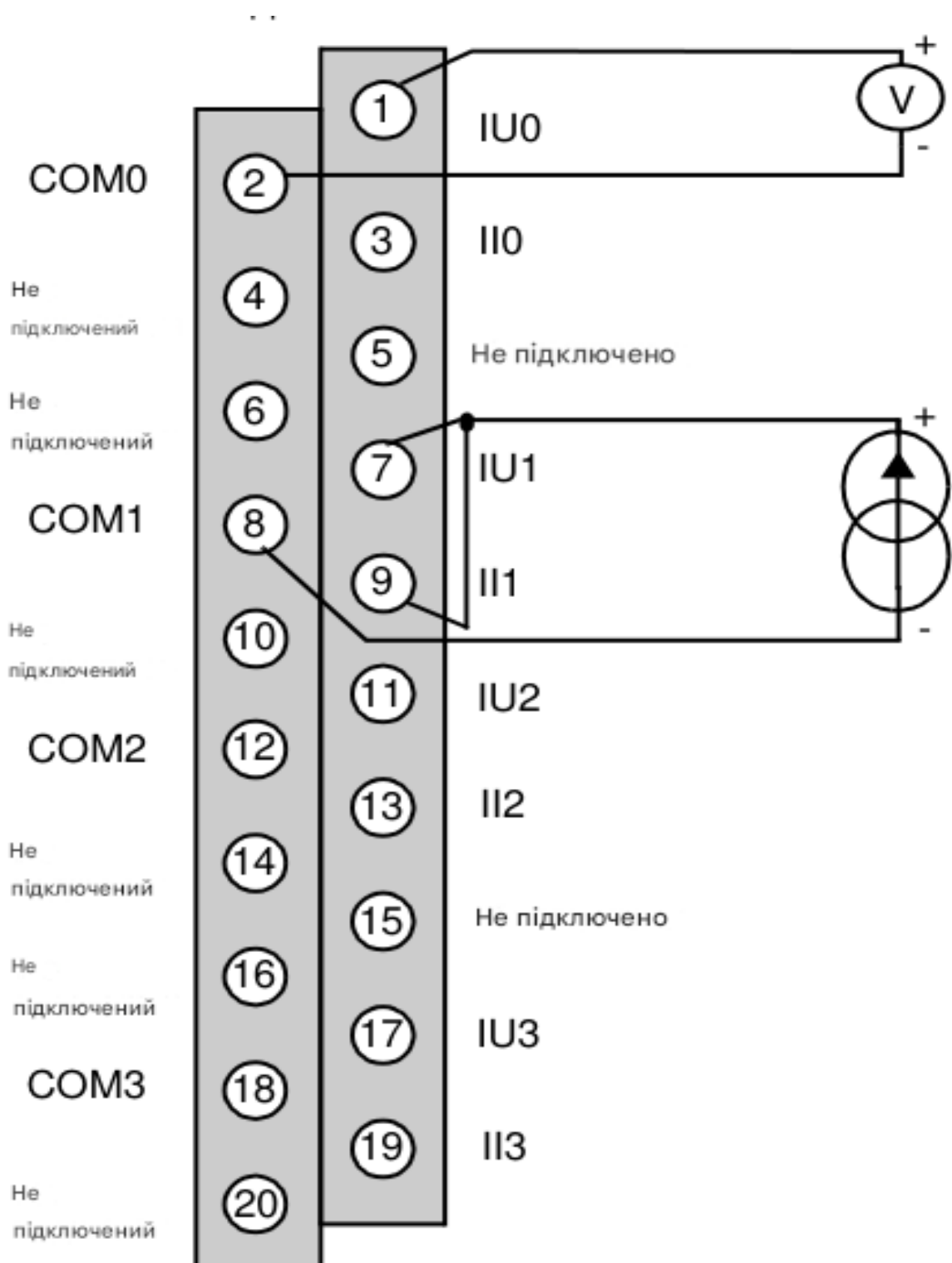


Рис. 3.7 – Схема підключення до модуля VMX AMO0410

Вибір модуля **BMX DRA 1605** для керування одним двигуном (через частотний перетворювач) та п'ятьма дискретними клапанами. Цей модуль є дискретним вихідним модулем, який забезпечує 16 виходів типу "сухий контакт" з напругою до 250 В АС або 30 В DC, що дозволяє комутувати як змінні, так і постійні навантаження.

Релейні виходи ідеально підходять для вмикання та вимикання виконавчих механізмів, зокрема електромагнітних клапанів і пускових ланцюгів частотного перетворювача, оскільки вони мають гальванічну ізоляцію, витримують **високі** пускові струми і не потребують зовнішнього живлення вихідного кола. Завдяки цьому один модуль BMX DRA 1605 може повністю забезпечити керування шістьма об'єктами: п'ятьма клапанами та одним частотним перетворювачем, при цьому залишається ще 10 вільних каналів на випадок розширення системи.



Рис. 3.8 – Модуль дискретних входів BMX DRA 1605

| Характеристика | Значення |
|------------------------------------|--|
| Тип модуля | Дискретний вихідний модуль з релейними виходами |
| Кількість виходів | 16 незалежних релейних виходів |
| Тип виходу | Релейний (dry contact, NO – нормально відкритий контакт) |
| Робоча напруга | 24 В DC / 48–250 В AC |
| Максимальний струм комутації | 2 А при 24 В DC, 2 А при 230 В AC |
| Максимальна комутаційна потужність | 60 Вт (DC), 500 ВА (AC) |
| Тип реле | Електромеханічне |
| Ізоляція виходів | Гальванічна ізоляція між каналами та логікою ПЛК |
| Захист виходів | Захист від перенавантаження (через характеристику реле) |
| Світлодіодна індикація | Є (стан кожного виходу) |
| Діагностика | Базова (стан виходів через ПЛК) |
| Ступінь захисту | IP20 (у складі шафи або корпусу) |
| Температурний діапазон | 0...+60 °C |
| Споживання по шині | Приблизно 110 мА |
| Сумісність | ПЛК Modicon M340, Premium, X80-серія |

Підключення до модуля **BMX DRA 1605** виконується окремо для кожного з 16 релейних виходів. Кожен вихід працює за принципом «сухого контакту» — тобто це

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 37 |

нормально відкритий релейний контакт, який замикається при активації. Щоб керувати навантаженням, один контакт виходу підключається до фази або плюса зовнішнього джерела живлення (наприклад, 24 В DC або 230 В AC), а інший — до навантаження. Після цього вихід з навантаження замикається на спільний нуль або мінус джерела.

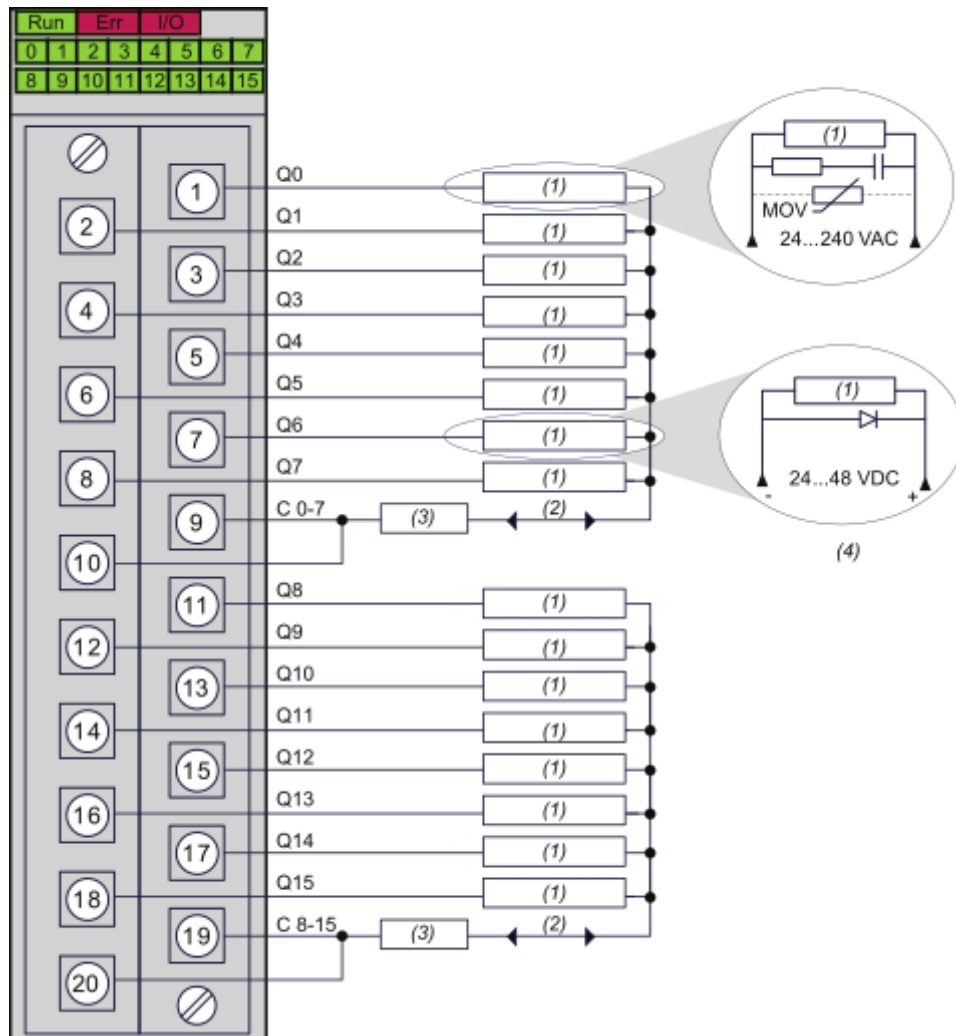


Рис. 3.9 – Схема підключення до BMX DRA 1605

3.2. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК

Під час розробки електронної схеми автоматичного регулювання для системи керування пастеризатором пива було використано низку електротехнічних компонентів, які забезпечують живлення, захист та передавання сигналів між технічними засобами автоматизації. Основним елементом електроживлення є автоматичні вимикачі SF1–SF3, кількість яких становить три одиниці. Вони призначені для ввімкнення та вимкнення живлення в окремих гілках електричної схеми, де підключено пристрої контролю й регулювання, такі як контролер, датчики, виконавчі механізми та електропневматичні пристрої. Завдяки їм забезпечується локальний захист і безпечне обслуговування обладнання при технічних роботах або аварійній ситуації. Для формування стабільного живлення постійного струму 24 В, яке необхідне для більшості елементів системи (наприклад, датчиків тиску, температури, рівня, витратомірів, а також електропневматичних перетворювачів), застосовуються два блоки живлення БЖ1 та БЖ2. Ці блоки мають вбудовані трансформатори, які перетворюють вхідну змінну напругу 220 В АС на вихідну постійну 24 В DC, що є стандартом у системах промислової автоматизації. Таке джерело живлення забезпечує електричну стабільність, гальванічну розв'язку та захист від перенапруг для всіх живлених пристроїв.

У схемі також була реалізована чітка система нумерації провідників, що дозволяє легко ідентифікувати тип сигналу та його функціональне призначення. Для провідників, через які проходить змінний струм 220 В, використовується нумерація в діапазоні від 800 до 819. Провідники з постійним струмом 24 В DC мають позначення у діапазоні 900–918. Всі кабелі, що передають аналогові сигнали 4–20 мА від датчиків до входів ПЛК, пронумеровані в межах 100–113. Навпаки, сигнальні лінії, що йдуть від аналогових виходів ПЛК до виконавчих пристроїв, мають нумерацію від 200 до 222. Крім того, канали керування виконавчими механізмами, включно з сигналами на реле, клапани чи частотні перетворювачі, також мають маркування в діапазоні 200–214.

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

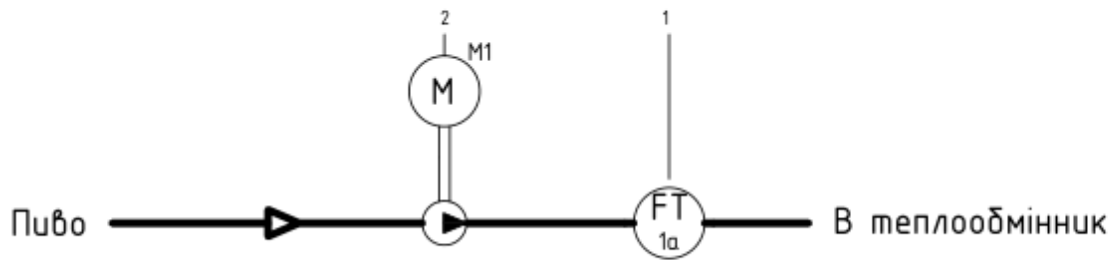
3.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру

Контур регулювання 1 призначений для автоматичного керування витратою пива в трубопроводі пастеризатора, забезпечуючи точне підтримання заданих параметрів потоку. Його функціонування базується на замкненому принципі регулювання зі зворотним зв'язком, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в системі. Контур включає наступні основні компоненти: 1а — витратомір OPTIFLUX 6000, 1б — перетворювач сигналу IFC 300, 1в — частотний перетворювач Altivar ATV320, 1г — клапан, а також два модулі вводу/виводу ПЛК: ВМХ АМІ0810 та ВМХ АМО0410.

OPTIFLUX 6000 (1а) — це гігієнічний електромагнітний витратомір, призначений для безконтактного вимірювання об'ємної витрати пива. Він встановлюється безпосередньо в трубопровід і не має рухомих частин, що забезпечує високу точність та гігієнічність вимірювань. Отримані дані передаються до перетворювача IFC 300 (1б), який виконує обробку сигналу, його фільтрацію, цифрове перетворення та формування стандартного аналогового виходу 4–20 мА, що відповідає поточній витраті.

Датчики 1а та 1б живляться від блоку живлення 1, який забезпечує стабільну напругу 24 В DC. IFC 300 (1б) через свій аналоговий вихід підключений до аналогового модуля вводу ВМХ АМІ0810, який входить до складу ПЛК Modicon M340. Модуль АМІ0810 зчитує значення струму та передає його у процесор ПЛК, де реалізовано програмну логіку порівняння фактичного значення витрати з уставкою. На основі розрахованого відхилення виконується регулювання за допомогою ПІ-регулятора.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 40 |



| | | | |
|------------------|---|-------------|-------------|
| | | 1 | 2 |
| | | 0-1000л/год | 0-3000об/хв |
| Прилади по місцю | | FYI 15 | A/F |
| Прилади на щиті | | SIC 16 | |
| ПЛК | Y | ● | |
| | C | | ● |
| | S | | |
| | B | ● | ● |
| ПК | B | ● | ● |
| | I | ● | |
| | R | ● | |
| | C | | ● |
| | S | | |
| | A | ● | |

Рис. 3.10 – Окрема схема автоматизації для контуру регулювання витрати пива

Регулюючий вплив формується у вигляді аналогового сигналу 4–20 мА, який ПЛК подає на аналоговий модуль виводу VMX АМО0410. Звідти сигнал надходить на частотний перетворювач Altivar АТV320 (1в). Перетворювач, який живиться від зовнішньої трифазної мережі, змінює частоту живлення електродвигуна насоса відповідно до отриманого сигналу, тим самим регулюючи швидкість обертання насоса та фактичну витрату пива.

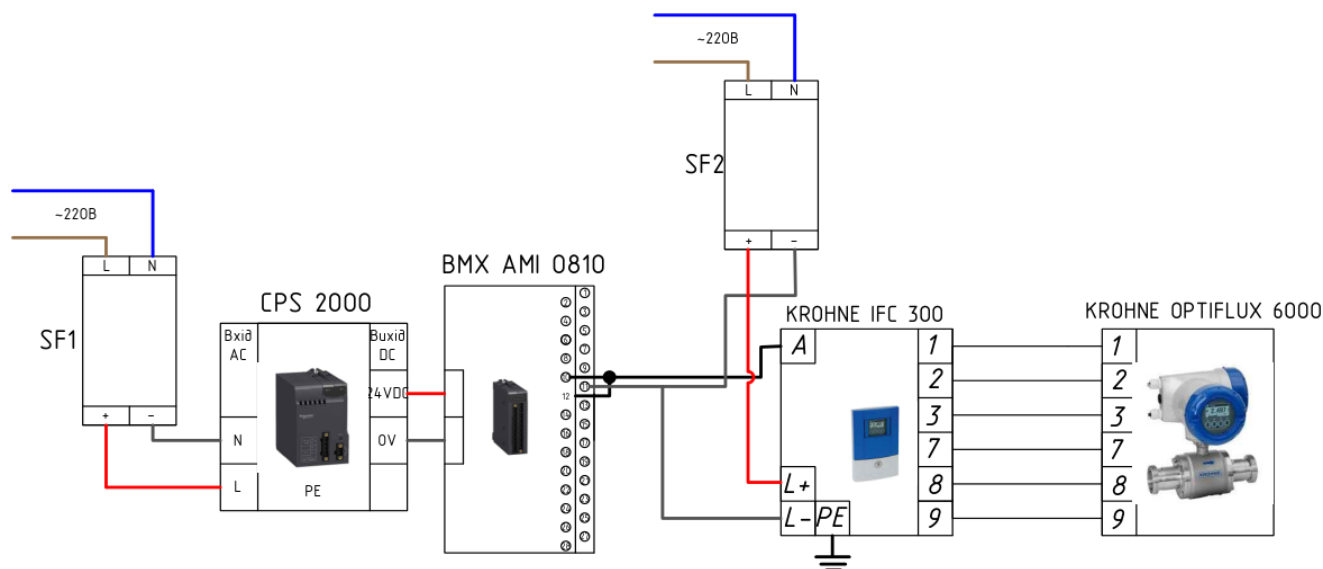


Рис. 3.11 – Графічна схема підключення витратоміра до BMX AMI 0810

Крім цього, у контурі передбачено виконавчий клапан 1г, який також отримує живлення від трифазної мережі. Він може бути задіяний у разі аварійної ситуації або при досягненні критичних параметрів (наприклад, перевищення тиску) — в такому випадку ПЛК подає команду на його закриття, блокуючи подачу пива.

Уся система працює в режимі безперервного контролю, де значення витрати постійно порівнюється із заданим, а швидкість насоса автоматично коригується.

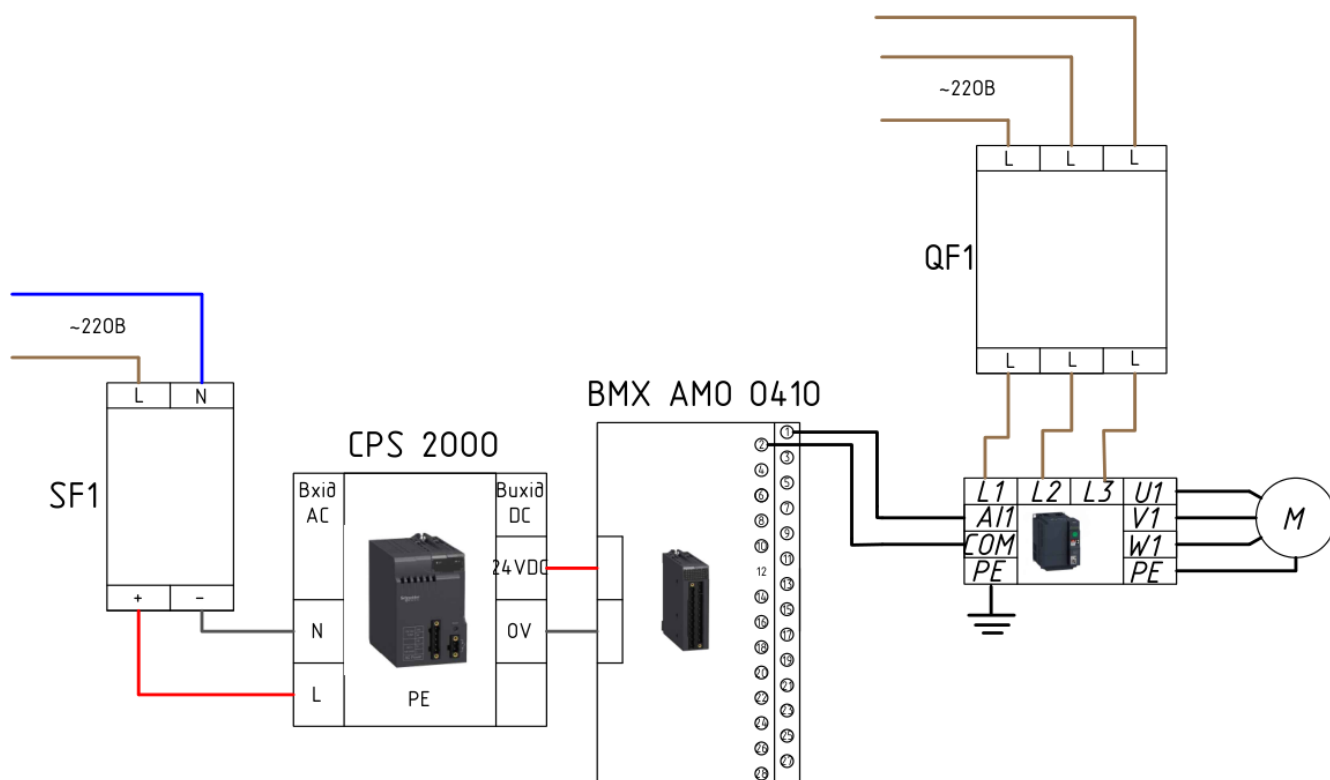


Рис. 3.12 – Графічна схема насоса до BMX AMI 0810 через частотний перетворювач Altivar 3

Розділ 4. Креслення встановлення технічного засобу

Електричне під'єднання приладу

Підключення датчика тиску IFM PM1618 до ПЛК виконується через аналоговий вхід з підтримкою сигналу 4–20 мА. Датчик має двофільний (2-провідний) інтерфейс, тобто лінії живлення й сигналу об'єднані. Один провід (плюс) під'єднується до виходу джерела живлення 24 В DC, другий (мінус) — до аналогового входу ПЛК (наприклад, на модулі типу ВМХ АМІ 0810) у канал, який підтримує вхід по струму. Загальний вхідний контакт (СОМ) модуля з'єднується з мінусом джерела живлення. Важливо дотримуватись полярності й перевірити, що загальний опір у колі не перевищує допустимого навантаження (зазвичай до 700 Ом при 24 В). Якщо модуль ПЛК має внутрішнє джерело живлення, то його можна використовувати, інакше потрібне зовнішнє живлення. Також доцільно передбачити запобіжник і вимикач для обслуговування.

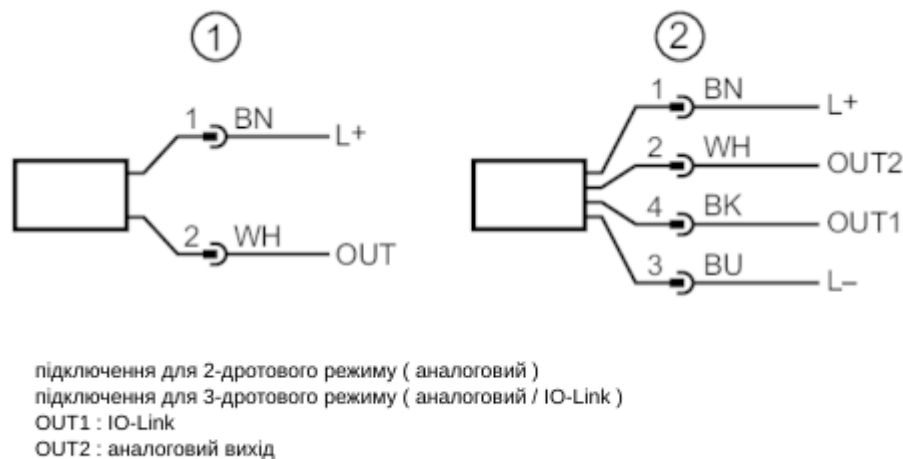


Рис. 4.1 – Схема підключення PM1618

| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---|--------------------|------|--------|
| ЗМН | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розробив | | Попчук Д.С. | | | Розробка системи автоматизації пастеризації пива на ПЛК Modicon M340 | Літ. | Арк. | Аркуші |
| Керівник | | Гончаренко І.С. | | | | | 43 | 2 |
| Секр. ЕК | | Проскурка Є.С. | | | | <i>НУХТ АК-4-1</i> | | |
| Зав. Каф. | | Смітюх Я.В. | | | | | | |

Монтаж приладу

Монтаж датчика **IFM PM1618** виконується безпосередньо в трубопровід або резервуар за допомогою вбудованого різьбового приєднання. Стандартне приєднання — **G 1/4"** (або інше, залежно від модифікації), що дозволяє легко інтегрувати датчик у більшість промислових систем.

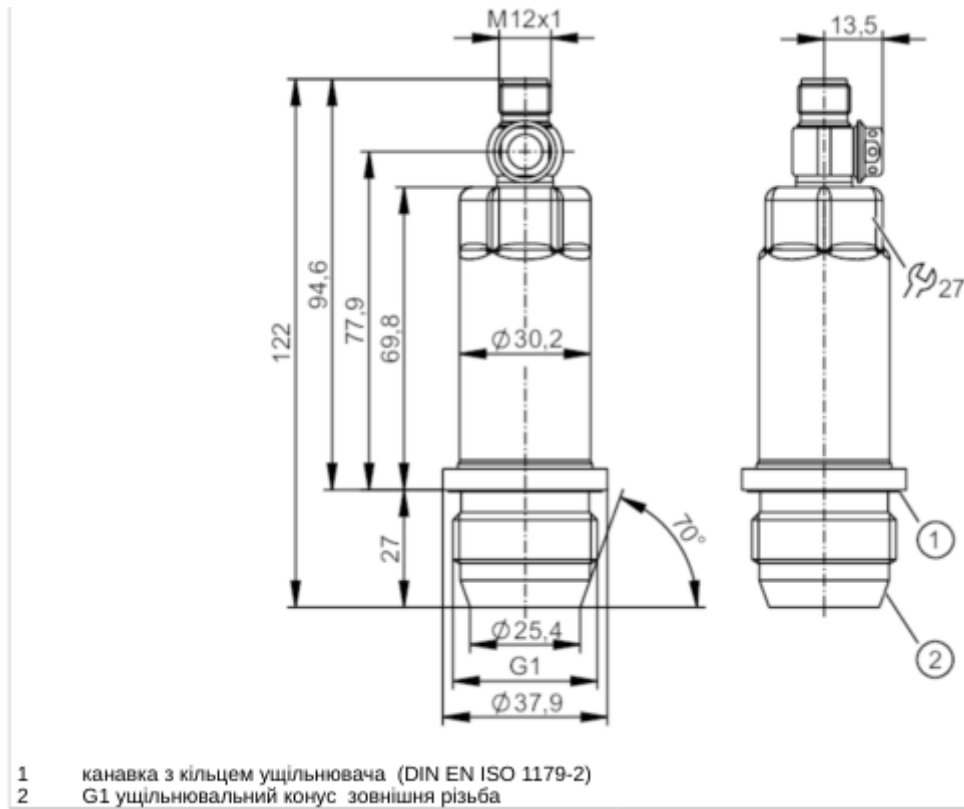


Рис. 4.4 - Датчик PM1618

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 44 |

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

У програмі використовується набір змінних, які відповідають за обробку аналогових та дискретних сигналів, що надходять з різного обладнання. Змінні TE1_0 до TE1_7 — це вхідні аналогові сигнали від температурних датчиків, які підключені до ПЛК. Вони містять необроблені (сирі) значення, зчитані з аналогових входів у форматі типу INT. Для кожного з них створені допоміжні змінні з суфіксом Raw, наприклад TempRaw_0, які перетворюють ці значення з цілочисельного формату у числовий тип REAL за допомогою функції INT_TO_REAL. Далі ці значення масштабуються згідно з характеристиками аналогового входу (наприклад, 5520–27648 відповідає діапазону 4–20 мА), і результат переводиться у фізичну величину — температуру в градусах Цельсія. Ці обчислені температури зберігаються у змінних TE1_0_REAL до TE1_7_REAL.

Аналогічно, змінні PT_1, PT_2 та PT_3 — це аналогові сигнали з датчиків тиску. Вони також мають сирі значення, які зберігаються у змінних PressureRaw_1, PressureRaw_2 і PressureRaw_3. Після перетворення та масштабування результат записується у змінні PT_1_BAR, PT_2_BAR та PT_3_BAR, що відображають тиск у барах.

| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---|--------------------|------|--------|
| Змн | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розробив | | Попчук Д.С. | | | <i>Розробка системи автоматизації пастеризації пива на ПЛК Modicon M340</i> | Літ. | Арк. | Аркуші |
| Керівник | | Гончаренко І.С. | | | | | 45 | 9 |
| Секр. ЕК | | Проскурка Є.С. | | | | <i>НУХТ АК-4-1</i> | | |
| Зав. Каф. | | Смітюх Я.В. | | | | | | |

| Name | Type | Value | Comment |
|---------------|------|-------|---------|
| Derivative | REAL | | |
| FE1 | INT | | |
| FE2 | INT | | |
| Flow_Lph1 | REAL | | |
| Flow_Lph2 | REAL | | |
| FlowRaw_1 | REAL | | |
| FlowRaw_2 | REAL | | |
| Integral | REAL | | |
| Kp_pump | REAL | | |
| Kp_water_pump | REAL | | |
| Level_REAL | REAL | | |
| LevelRaw | REAL | | |
| LT_1 | INT | | |
| PressureRaw_1 | REAL | | |
| PressureRaw_2 | REAL | | |
| PressureRaw_3 | REAL | | |
| PT1 | INT | | |
| PT2 | INT | | |
| PT3 | INT | | |
| PT_1 | INT | | |
| PT_1_BAR | REAL | | |
| PT_2 | INT | | |
| PT_2_BAR | REAL | | |
| PT_3 | INT | | |
| PT_3_BAR | REAL | | |
| Pump_1 | INT | | |
| Pump_2 | INT | | |
| Pump_3 | INT | | |
| Pump_4 | BOOL | | |
| Pump_Error | BOOL | | |
| Pump_SP | REAL | | |
| PumpSpeedCmd | REAL | | |

| Name | Type | Value | Comment |
|-----------------|------|-------|---------|
| Pump_Error | BOOL | | |
| Pump_SP | REAL | | |
| PumpSpeedCmd | REAL | | |
| SB_Start | BOOL | | |
| SB_Stop | BOOL | | |
| Steam_error | REAL | | |
| Steam_kd | REAL | | |
| Steam_ki | REAL | | |
| Steam_kp | REAL | | |
| Steam_LastError | REAL | | |
| SteamSP | REAL | | |
| TE1_0 | INT | | |
| TE1_0_REAL | REAL | | |
| TE1_1 | INT | | |
| TE1_1_REAL | REAL | | |
| TE1_2 | INT | | |
| TE1_2_REAL | REAL | | |
| TE1_3 | INT | | |
| TE1_3_REAL | REAL | | |
| TE1_4 | INT | | |
| TE1_4_REAL | REAL | | |
| TE1_5 | INT | | |
| TE1_5_REAL | REAL | | |
| TE1_6 | INT | | |
| TE1_6_REAL | REAL | | |
| TE1_7 | INT | | |
| TE1_7_REAL | REAL | | |
| TempMeas | REAL | | |
| TempRaw_1 | REAL | | |
| TempRaw_2 | REAL | | |
| TempRaw_3 | REAL | | |
| VA1 | BOOL | | |

Рис. 5.1 – Таблиця змінних у середовищі Unity Pro

Змінні, що містять слово Raw, є проміжними змінними, які використовуються виключно для обчислення або масштабування вхідних аналогових сигналів.

Їх значення не мають фізичного сенсу без подальшої обробки. Також у програмі є набір дискретних змінних VA1 до VA5, які мають тип BOOL і відповідають за відкриття або закриття п'яти дискретних клапанів. Їх стан змінюється в залежності від логіки керування установкою.

Кнопки SB_Start і SB_Stop — це цифрові входи (кнопки на панелі керування або пульта), які запускають або зупиняють роботу всієї установки. Натискання SB_Start активує систему: відкриває клапани, задає необхідні уставки температури й витрати. Кнопка SB_Stop припиняє процес — закриває клапани і скидає уставки до нуля. Особливу роль відіграє змінна VA6_Steam, яка є аналоговим виходом і керує регулюючим клапаном пари. Цей клапан контролює подачу пари в теплообмінник для нагріву холодної води. У програмі значення для VA6_Steam формується ПД-регулятором на основі поточної температури води й заданої уставки, і передається у вигляді масштабованого сигналу 4–20 мА.

Загалом, структура програми дозволяє здійснювати повноцінне автоматичне керування технологічним процесом: від зчитування фізичних параметрів (температури, тиску, витрати, рівня) до формування керуючих сигналів для насосів, клапанів і регулюючої арматури.

Розробка програмного забезпечення для реалізації алгоритму керування

Керування процесом пастеризації реалізовано з використанням мови ST (Structured Text) і дозволяє спостерігати за процесом у реальному часі, обирати деякі режими роботи, а також запускати або призупиняти виробництво. Проект Unity Pro для керування пастеризаційною установкою складається з кількох програм які зображені на наступному рисунку:

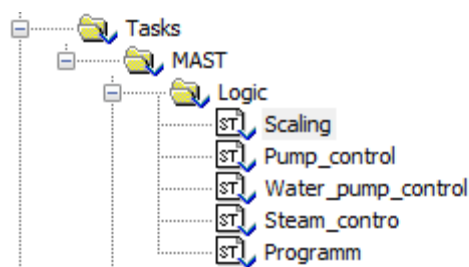


Рис. 5.1 – Програми MAST для логіки керування установкою

Секція Scaling використовується для перетворення аналогових сигналів від різних датчиків і пристроїв у фізичні величини, зрозумілі для оператора — наприклад, температуру, тиск, рівень, витрату чи відсоток відкриття клапана.

```
TempRaw_0 := INT_TO_REAL(TE1_0);
TE1_0_REAL := ((TempRaw_0 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 150.0;

TempRaw_1 := INT_TO_REAL(TE1_1);
TE1_1_REAL := ((TempRaw_1 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 150.0;

TempRaw_2 := INT_TO_REAL(TE1_2);
TE1_2_REAL := ((TempRaw_2 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 150.0;

TempRaw_3 := INT_TO_REAL(TE1_3);
TE1_3_REAL := ((TempRaw_3 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 150.0;

TempRaw_4 := INT_TO_REAL(TE1_4);
TE1_4_REAL := ((TempRaw_4 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 150.0;

TempRaw_5 := INT_TO_REAL(TE1_5);
TE1_5_REAL := ((TempRaw_5 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 150.0;

TempRaw_6 := INT_TO_REAL(TE1_6);
TE1_6_REAL := ((TempRaw_6 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 150.0;

TempRaw_7 := INT_TO_REAL(TE1_7);
TE1_7_REAL := ((TempRaw_7 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 150.0;

LevelRaw := INT_TO_REAL(LT_1);

Level_REAL := ((LevelRaw - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 500.0;

ValveRaw := INT_TO_REAL(VA6_Steam);

PressureRaw_1 := INT_TO_REAL(PT_1);
PressureRaw_2 := INT_TO_REAL(PT_2);
PressureRaw_3 := INT_TO_REAL(PT_3);
```

Рис. 5.2 Секція Scaling

```

LevelRaw := INT_TO_REAL(LT_1);
Level_REAL := ((LevelRaw - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 500.0;
ValveRaw := INT_TO_REAL(VA6_Steam);
PressureRaw_1 := INT_TO_REAL(PT_1);
PressureRaw_2 := INT_TO_REAL(PT_2);
PressureRaw_3 := INT_TO_REAL(PT_3);
PT_1_BAR := ((PressureRaw_1 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 10.0;
PT_2_BAR := ((PressureRaw_2 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 10.0;
PT_3_BAR := ((PressureRaw_3 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 10.0;
FlowRaw_1 := INT_TO_REAL(FE1);
Flow_Lph1 := ((FlowRaw_1 - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 1000.0;
IF Flow_Lph < 0.0 THEN
    Flow_Lph := 0.0;
ELSIF Flow_Lph1 > 1000.0 THEN
    Flow_Lph1 := 1000.0;
END_IF;
FlowRaw_2 := INT_TO_REAL(FE2);
Flow_Lph2 := ((FlowRaw - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 1000.0;
IF ValveRaw < 5520.0 THEN
    ValveOpenPercent := 0.0;
ELSIF ValveRaw > 27648.0 THEN
    ValveOpenPercent := 100.0;
ELSE
    ValveOpenPercent := ((ValveRaw - 5520.0) / (27648.0 - 5520.0)) * 100.0;
END_IF;

```

Рис. 5.3 Продовження Секції Scaling

Аналогові сигнали надходять у вигляді стандартного струмового сигналу 4–20 мА, який в контролері (ПЛК) представляється у вигляді цілочисельного значення (типу INT) — наприклад, 4 мА відповідає приблизно значенню 5520, а 20 мА — 27648. Далі ці значення перетворюються у реальні одиниці вимірювання (типу REAL) за допомогою формули лінійної інтерполяції.

Перші вісім рядків коду перетворюють вхідні значення температури з восьми датчиків (TE1_0 ... TE1_7) у значення в градусах Цельсія. Кожен сигнал спочатку перетворюється з типу INT у REAL, а потім масштабується на діапазон температури від 0 до 150 °С.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 49 |

Результати записуються у змінні TE1_0_REAL ... TE1_7_REAL. Далі аналогічно обробляється рівень рідини. Вхідний сигнал LevelInput масштабується на значення від 0 до 500 літрів і зберігається в змінній Level_REAL.

Змінна ValveRaw приймає сигнал з аналогового клапана (наприклад, парового) і використовується для обчислення відсотка відкриття цього клапана. Це обчислення виконується в останньому блоці коду, де додатково реалізовано захист від виходу сигналу за межі (тобто якщо сигнал менший за 5520, приймається як 0%; якщо більший за 27648 — як 100%).

Три наступні блоки коду обробляють сигнали з трьох датчиків тиску PT_1, PT_2 і PT_3. Кожен з них масштабується на діапазон від 0 до 10 бар і результат зберігається в PT_1_BAR, PT_2_BAR, PT_3_BAR відповідно.

Потім йдуть два витратоміри FE1 та FE2. Кожен сигнал перетворюється у значення витрати в літрах на годину (Flow_Lph1, Flow_Lph2) на основі шкали 0–1000 л/год. Також реалізовано захист, щоб результат не виходив за межі цього діапазону.

Таким чином, програма забезпечує перетворення сигналів 4–20 мА у фізичні величини, що дозволяє контролеру логічно працювати з температурою, тиском, рівнем, витратою та положенням клапанів. Кожна змінна типу *_Raw є проміжним значенням (сигнал у цифрі), а змінні з суфіксами _REAL, _BAR, _Lph, Percent — це вже фізичні значення, які можна виводити на НМІ або використовувати в регуляторах та логіці керування.

Програма Pump_control реалізує простий пропорційний регулятор (P-регулятор) для автоматичного керування швидкістю насоса залежно від поточної витрати рідини. Регулятор активується тоді, коли натиснута кнопка SB_Start.

На початку в програмі задається уставка витрати — змінна Pump_SP встановлюється на значення 950.0, що означає бажану витрату рідини в літрах на годину (л/год). Далі задається коефіцієнт підсилення Кр, який визначає, наскільки сильно регулятор реагуватиме на відхилення фактичної витрати від заданої. У цьому випадку Кр дорівнює 0.1 — це досить м'яке регулювання.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 50 |

```

IF SB_Start THEN

Pump_SP := 950.0;
Kp := 0.1;

Pump_error := Pump_SP - FlowRate_Lph;

PumpSpeedCmd := Kp * Error;

IF PumpSpeedCmd > 100.0 THEN
    PumpSpeedCmd := 100.0;
ELSIF PumpSpeedCmd < 0.0 THEN
    PumpSpeedCmd := 0.0;
END_IF;
Pump_1 := REAL_TO_INT((PumpSpeedCmd / 100.0) * 27648.0);
Pump_2 := REAL_TO_INT((PumpSpeedCmd / 100.0) * 27648.0);
END_IF;

```

Рис. 5.4 Секція Pump_Control

Наступним кроком розраховується похибка регулювання — різниця між заданою витратою Pump_SP і фактичною витратою, яка надходить із витратоміра (FlowRate_Lph). Ця похибка зберігається в змінній Pump_error.

Далі реалізується пропорційна частина регулятора: команда на швидкість насоса (PumpSpeedCmd) визначається множенням похибки на коефіцієнт підсилення. Це означає, що чим більша похибка — тим більший сигнал на привід насоса.

Щоб уникнути некоректних значень, програма обмежує сигнал керування (PumpSpeedCmd) в межах від 0 до 100%. Якщо результат розрахунку перевищує 100%, він примусово обмежується до 100. Якщо ж менше 0 — обмежується до 0.

Останнім кроком програма перетворює відсотковий сигнал у значення, яке може бути передане у вихід аналогового модуля ПЛК. Значення 0–100% масштабується у цифровий сигнал від 0 до 27648 (діапазон для 4–20 мА виходу), і результат записується у змінні Pump_1 і Pump_2, які керують частотними перетворювачами або для двох насосів.

Таким чином, програма дозволяє автоматично керувати швидкістю обертів насоса для підтримання стабільної витрати на заданому рівні, причому регуляція ‘ виконується тільки після натискання кнопки запуску SB_Start.

У секції Steam_control реалізовано регуляцію клапана для подачі пари у четвертий відділ теплообмінника

```
IF SB_Start THEN
SteamSP := 85.0;
Steam_kp := 2.0;
Steam_ki := 0.1;
Steam_kd := 0.0;

Steam_error := Steam - TempMeas;
Integral := Integral + Steam_error * 0.1;
Derivative := (Steam_error - Steam_LastError)

ValveCmd := (Kp * Error) + (Ki * Integral) + (Kd * Derivative);

IF ValveCmd > 100.0 THEN
    ValveCmd := 100.0;
ELSIF ValveCmd < 0.0 THEN
    ValveCmd := 0.0;
END_IF;

Steam_LastError := Steam_error;
VA6_Steam := REAL_TO_INT((ValveCmd / 100.0) * 27648.0);
END_IF;
```

Рис. 5.5 Секція Steam_control

Ця програма реалізує ПІД-регулятор (пропорційно-інтегрально-диференційний) для автоматичного керування паровим клапаном, який нагріває воду. Вона виконується лише тоді, коли натиснута кнопка SB_Start.

Уставка температури (SteamSP) встановлюється на 85 °С. Далі задаються коефіцієнти для П, І, та Д частин регулятора: Steam_kp, Steam_ki, Steam_kd. Потім обчислюється помилка регулювання — різниця між бажаною температурою та фактичною (TempMeas). На основі цієї помилки обчислюється інтегральна та похідна складові, які враховують накопичену помилку та її зміну з часом.

Далі виконується основне обчислення ПІД-регулятора — результат записується у ValveCmd, який обмежується в межах 0–100 %. Після цього значення

масштабується на діапазон аналогового сигналу (0–27648 для 4–20 мА) і записується в VA6_Steam — це керуючий сигнал для аналогового клапана пари.

Таким чином, програма автоматично відкриває або закриває паровий клапан, щоб підтримувати стабільну температуру води на заданому рівні.

```
IF SB_Start THEN

Pump_SP := 950.0;
Water_Kp := 0.1;

Water_pump_error := Pump_SP - FlowRate_Lph;

WaterPumpSpeedCmd := Kp * Error;

IF WaterPumpSpeedCmd > 100.0 THEN
    WaterPumpSpeedCmd := 100.0;
ELSIF WaterPumpSpeedCmd < 0.0 THEN
    WaterPumpSpeedCmd := 0.0;
END_IF;
Pump_3 := REAL_TO_INT((WaterPumpSpeedCmd / 100.0) * 27648.0);
END_IF;
```

Рис. 5.6 Секція Water_pump_control

Програма Water_pump_control працює за таким же принципом як і Pump_Control, але має деякі несуттєві відмінності

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

Розділ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога

6.1 Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI

Розроблений HMI (людино-машинний інтерфейс) у середовищі Citect SCADA забезпечує зручне, наочне та функціонально повне керування процесом пастеризації пива. Інтерфейс SCADA-системи призначений для візуального моніторингу та керування технологічним процесом. Він забезпечує оператору повний контроль над основними параметрами установки та дозволяє своєчасно реагувати на відхилення від норми.

Усі ключові показники — температура, тиск, рівень і витрата — відображаються у зручному для сприйняття вигляді на основних ділянках схеми.

Основне завдання цього інтерфейсу — надати оператору чітке уявлення про стан технологічного обладнання, відобразити показники у реальному часі та забезпечити дистанційне керування основними елементами системи.

Візуальна індикація реалізована з використанням кольорів: увімкнене обладнання (наприклад, насоси, клапани, нагрівачі) відображається зеленим кольором, що свідчить про активний стан, тоді як сірий колір використовується для неактивного або вимкненого обладнання. Це дозволяє оператору швидко оцінювати ситуацію без необхідності перегляду кожного параметра окремо.

| ЗМН | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Кваліфікаційна робота | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|-------------|------|--------|
| Розробив | | Попчук Д.С. | | | Розробка системи автоматизації пастеризації пива на ПЛК Modicon M340 | Літ. | Арк. | Аркуші |
| Керівник | | Гончаренко І.С. | | | | | 54 | 2 |
| Секр. ЕК | | Проскурка Є.С. | | | | НУХТ АК-4-1 | | |
| Зав. Каф. | | Смітюх Я.В. | | | | | | |

6.2 Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора

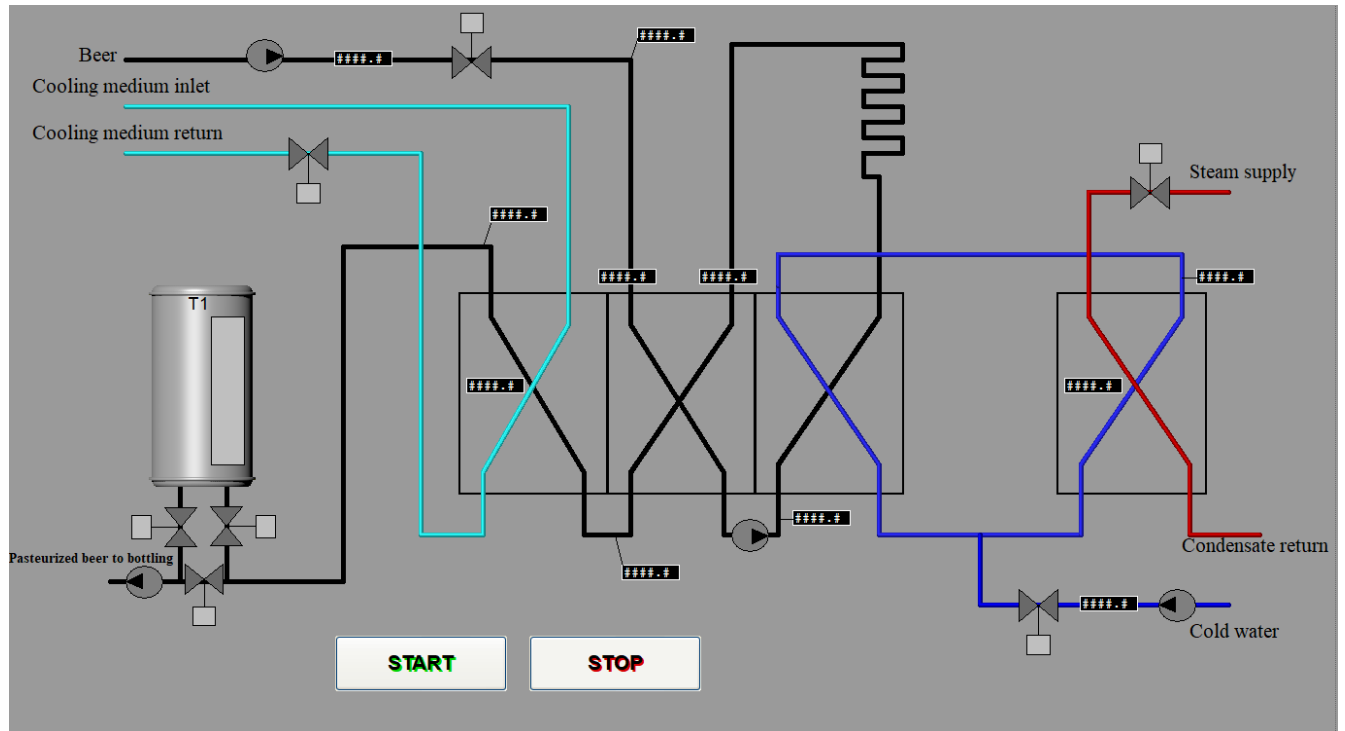


Рис. 6.1 Вигляд панелі оператора

Крім цього, система SCADA має функцію архівування основних параметрів. Температурні, тискові та витратні показники зберігаються з часовою прив'язкою у вигляді журналів або графіків, що дозволяє здійснювати аналіз ефективності процесу, підтверджувати відповідність технологічним вимогам та вести історію виробничих партій. Завдяки використанню середовища Citect та повній інтеграції з ПЛК Schneider Electric, інтерфейс є масштабованим, стабільним і придатним для використання в реальних умовах виробництва. Він поєднує простоту візуального сприйняття з повноцінним функціоналом системи керування

Висновки

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено повноцінну систему автоматизованого керування процесом пастеризації пива на базі програмованого логічного контролера Modicon M340. Розроблена система відповідає вимогам сучасного виробництва щодо енергоефективності, точності регулювання та безпеки експлуатації. У ході роботи було проаналізовано технологічний процес пастеризації, визначено основні керовані параметри та критичні точки контролю температури, тиску, рівня та витрати. Розроблено алгоритми автоматичного регулювання, зокрема ПІ та ПІД-регулятори для керування подачею пари та продуктивністю насоса з урахуванням показів витратоміра.

Було здійснено масштабування аналогових сигналів 4–20 мА у фізичні величини, що забезпечило коректне відображення даних на SCADA-системі та точну роботу алгоритмів керування. Реалізовано можливість ручного та автоматичного керування обладнанням, включаючи насоси, дискретні та регулюючі клапани. Також розроблено SCADA-інтерфейс оператора, який дозволяє здійснювати моніторинг основних параметрів, вводити уставки та отримувати попередження про аварійні або граничні ситуації. Забезпечено високий рівень гнучкості, зручності в експлуатації та наочності системи, що відповідає сучасним вимогам до автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Таким чином, поставлена мета та всі завдання, визначені на початку роботи, були успішно досягнуті. Розроблена система може бути впроваджена на реальному виробництві та адаптована під різні об'єми і варіанти технологічної схеми пастеризації.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

Список використаної літератури

1. Вольфган Кунце Технологія солода і пива, 2001. – с 449-460;
2. Записи з виробничої практики.
3. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. — 378 с. – с 29-95;
4. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” денної та заочної форм навчання [Електронний ресурс] І.В. Ельперін, В.М. Сідлецький, Н.М. Луцька, Є.С. Проскурка. – НУХТ, 2022–96 с.
5. Пупена О.М., Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.
6. Пупена О.М. Програмування промислових контролерів у середовищі UNITY PRO [Текст]: Навч. посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. – К.: Видавництво Ліра – К, 2013. – 376 с.
7. Прилади для вимірювання витрати. URL: https://cdn.krohne.com/pick2/tagged_docs/MA_OPTIFLUX6000_ru_250516_4002495805_R09.pdf
8. Прилади для вимірювання рівня. URL: <https://www.ifm.com/ua/uk/product/LW2720>,
https://media.ifm.com/CIP/mediadelivery/asset/03de694edf311e45a1708890aebc96fa/11372800_02_GB.pdf
9. Прилади для вимірювання тиску. URL: <https://www.ifm.com/ua/uk/product/PM1618>
10. Прилад для вимірювання температури. URL: casc.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/Temperature-measurement-thermometers-transmitters/sanitary-rtd-trustsens-tm371

| | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Зм. | К-ть | Арк. | № док | Підпис | Дата | | 57 |

11. Електропневматичний перетворювач (ЕПП) URL:

<https://www.festo.com/ua/uk/a/download-document/datasheet/573724>

12. Трьохфазний асинхронний двигун URL:

<https://ovk.ua/shop/product/simens-1le1002-1aa42-2aa4>;

13. Платформа автоматизації Modicon M340 URL:

https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/plc/m340/Modicon_M340_2017_ua.pdf

14. Модуль аналогових входів BMX AMI 0810 URL:

<https://www.se.com/ua/ua/product/BMXAMI0810/8>

15. Модуль аналогових виходів BMX AMO 0410 URL:

<https://www.se.com/ua/ua/product/BMXAMO0410/>

16. Модуль дискретних виходів BMX DRA 1605 URL:

<https://www.se.com/ua/uk/product/BMXDRA1605/>

| | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|--------|------|------------------------------|-----|
| | | | | | | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк |
| Зм. | К-ть | Арк. | № док | Підпис | Дата | | 58 |