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»	**«До захисту допущено»**
Декан факультету	Завідувач кафедри
_____ _*Андрій Форсюк*_	_____ _*Ярослав Смітюх*_
(підпис) (ім'я та прізвище)	(підпис) (ім'я та прізвище)
«*05*» *червня* 2023 р.	«*05*» *червня* 2023 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 сушіння молока*

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

_____*Іванов Микита Вікторович*_____ _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник _____*Романов Микола Сергійович*_____ _____
(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 _*Олена М'якшило*__ _____
(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 – 2023 р.

Національний університет харчових технологій

Факультет *Автоматизації і комп'ютерних систем*

Кафедра *Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління*

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

_____Я.В.Смітюх

«*03*» квітня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Іванов Микита Вікторогвич

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи автоматизації процесу сушіння молока*

керівник роботи *к.т.н. доц. Іванов Микита Вікторович*

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від *«03» квітня 2023 р. № 204-кс*

2. Строк подання здобувачем роботи *«05» червня 2023 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. Проєктне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення. 3.1. Організація структури промислового логічного контролера. 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. 7. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання. 7.1. Постановка задачі дослідження. 7.2. Вибір об'єкта керування та його математичної моделі. 7.3. Моделювання САР. 7.4. Опрацювання результатів моделювання та формулювання висновків.

5. Перелік графічного матеріалу
1. Схема автоматизації 2. Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.
3. Креслення встановлення технічного засобу.

6. Дата видачі завдання *03 квітня 2023 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 та 7*	*4 тиждень*	
7	*Підготовка матеріалів до захисту*	*5 тиждень*	
8	*Захист кваліфікаційної роботи*	*6 тиждень*	

Здобувач *Іваноов М.В.* _____
(підпис)

Керівник роботи *Романов М.С.* _____
(підпис)

Анотація

Об'єктом дослідження є розробка системи автоматизації технологічного процесу висушування молока.

В кваліфікаційній роботі представлено детальний опис технологічного процесу, завдання для системи автоматизації, схема автоматизації, специфікація технічних засобів автоматизації, монтажна схема датчика тиску АІР-10Н у корпусі НГ-06, схеми підключення контрольно-вимірювальних приладів та виконавчих механізмів до програмованого логічного контролера (ПЛК) і розширені схеми підключення технічних засобів.

Також були розроблені алгоритм і програма для управління процесом висушування молока, при цьому програма була реалізована на ПЛК М340 від компанії Schneider Electric. Інтерфейс SCADA-програми для технологічного процесу був розроблений за допомогою програмного забезпечення Citect SCADA 2015, а вигляд дисплейної мнемосхеми був представлений у записці.

У рамках дослідження було також поставлено та вирішено задачу комп'ютерного моделювання, а саме знаходження оптимальних налаштувань пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора за допомогою методу Циглера-Нікольсона.

Ключові слова: сушіння, молоко, АІР-10Н, ПЛК М340.

Annotation

The object of research is the development of an automation system for the technological process of milk drying.

The qualification work provides a detailed description of the technological process, the task for the automation system, the automation scheme, the specification of automation equipment, the wiring diagram of the AIR-10N pressure sensor in the NG-06 housing, the connection diagrams for instrumentation and actuators to the programmable logic controller (PLC) and extended connection diagrams for the equipment.

An algorithm and a programme for controlling the milk drying process were also developed, and the programme was implemented on an M340 PLC from Schneider Electric. The SCADA interface for the process was developed using Citect SCADA 2015 software, and the display mnemonic was presented in a note.

The study also formulated and solved the problem of computer modelling, namely, finding the optimal settings of the proportional-integral (PI) controller using the Ziegler-Nicholson method.

Keywords: drying, milk, AIR-10N, PLC M340.

Зміст

Вступ……6

Розділ 1. Опис об’єкта автоматизації…….....8

1.1. Технологічний опис об’єкта автоматизації…….....8

1.2. Розробка завдання на систему автоматизації……17

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……35

2.3. Специфікація засобів автоматизації…….....36

Розділ 3. Проєктне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення…….38

3.1. Організація структури промислового логічного контролера……...…...38

3.2. Розширені схеми підключення для окремого контуру…….42

Розділ 4. Креслення встановлення технічних засобів…….47

Розділ 5. Опис спеціального програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера (алгоритм та програма для ПЛК)…….52

Розділ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога……..66

6.1. Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI……...66

6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора…….69

Розділ 7. Комп’ютерне моделювання системи автоматичного регулювання...70

7.1. Постановка задачі дослідження……..70

7.2. Вибір об'єкта керування та його математичної моделі……71

7.3. Моделювання САР……...73

7.4. Опрацювання результатів моделювання та формулювання висновків…...75

Висновки..…..…….76

Список використаної літератури……...77

Вступ

Харчова промисловість в Україні є однією з ключових галузей національної економіки. Вона включає понад 20 спеціалізованих галузей, які займаються більш ніж 40 основними видами виробництва. Всього в Україні виготовляється понад 10 тисяч різних продуктів.

Для подальшого розвитку харчової промисловості необхідна інтенсифікація технологічних процесів з метою зменшення витрат палива, енергії та ресурсів, таких як метал та матеріали, які використовуються для виготовлення машин та механізмів.

Важливим фактором, що впливає на розвиток харчової промисловості в наш час, є значний прогрес науково-технічного рівня, широке впровадження передової техніки та технологій, що сприяють підвищенню продуктивності та ефективності виробництва.

У майбутньому перед харчовою промисловістю стоїть завдання глибокої технічної перебудови на основі новітніх досягнень науки та техніки.

Молочна промисловість є однією з перспективних галузей в рамках харчової промисловості. Сприятливі природні та економічні умови становлять основу для розвитку молочного комплексу.

У молочній промисловості виділяють кілька підгалузей, включаючи маслоробну, незбираномолочну, сироробну, молочноконсервну, переробку вторинної сировини та виробництво дитячого харчування.

В Україні функціонує близько 500 підприємств молочної промисловості, більшість з яких є приватними. Розвиток цієї галузі свідчить про появу на ринку нових видів молочної продукції, що постійно розширює асортимент.

Молоко є цінним і незамінним продуктом харчування для людини, оскільки воно містить всі необхідні речовини і вітаміни, необхідні для життєдіяльності.

Однак у світі виникає проблема повного і раціонального використання молока. Наприклад, при сепарації молока та виробництві сметани, вершкового масла, сиру і молочного білка згідно з традиційною технологією утворюються вторинні продукти, такі як знежирене молоко, сколотина і молочна сироватка. Розв'язання цієї проблеми безвідходного виробництва молока на поточному рівні можливе тільки шляхом організації промислової переробки вторинних

ресурсів.

На сучасних підприємствах створюються спеціальні цехи і ділянки для переробки вторинної молочної сировини. Розробляються і вдосконалюються комплекси обладнання та технологічні лінії для переробки знежиреного молока, сколотини і молочної сироватки з використанням традиційних і нових методів обробки.

Розділ 1. Опис об’єкта автоматизації.

1.1. Технологічний опис об’єкта автоматизації.

У всіх сферах харчової промисловості використовується процес сушіння, який може бути додатковою операцією, якщо не обов'язковим. Сушіння - це теплообмінний процес, за допомогою якого волога видаляється з різних матеріалів, таких як тверді, вологі пастоподібні або рідкі матеріали (суспензії), шляхом випаровування і відведення утвореної пари.

На рисунку 1.1 зображена схема сушильного процесу.

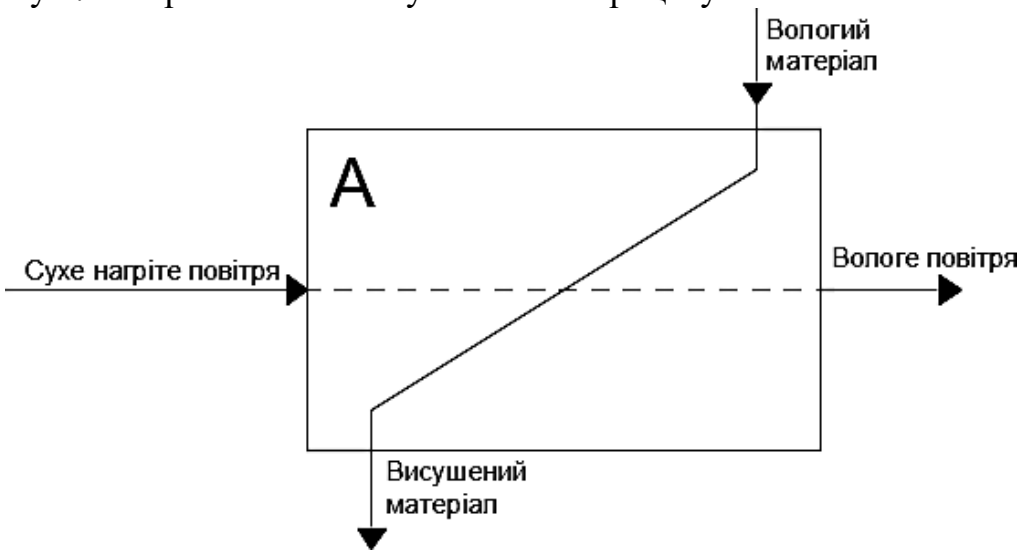


Рис. 1.1. Принципова схема сушки

У харчовій промисловості використовуються наступні методи видалення вологи з матеріалу:

У харчовій промисловості використовуються наступні методи видалення вологи з матеріалу:

- Випарювання: цей метод використовується для концентрування молока шляхом випаровування рідини, що міститься в ньому. Це дозволяє перетворити молоко на більш густу речовину, наближену за консистенцією до згущеного продукту.
- Розпилення: цей метод включає перетворення згущеного продукту на краплі і подальше випаровування води з цих крапель. В результаті утворюється порошок, що складається з сухих частинок.

У харчовій промисловості кожен метод видалення вологи повинен бути пристосований до властивостей перероблюваного матеріалу на кожній стадії процесу. Чим складнішим є продукт для сушіння, тим складніше буде налаштувати установку. У молочній промисловості широко використовуються різноманітні розпилювальні сушильні установки, які мають майже ідентичний принцип дії, але відрізняються вузлами пристроїв. Сухий продукт, який отримують на розпилювальних сушильних установках, має високу розчинність (99,9%). Тому ці агрегати широко використовуються для сушіння цільного молока, вершків, знежиреного молока, сироватки, продуктів дитячого харчування, а також для виробництва сухого масла. Останнім часом прямоточні розпилювальні сушильні установки стали особливо актуальними.

На рисунку 1.2 зображена розпилювальна сушильна установка фірми «Ніро-Атомайзер».

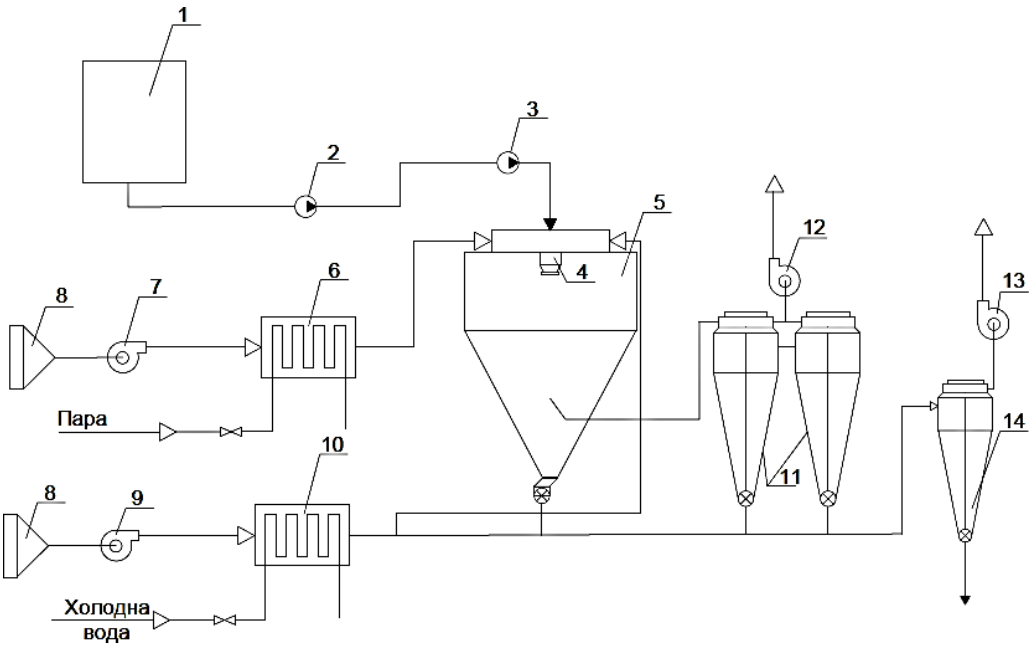


Рис. 1.2 Принципова схема сушильної установки «Ніро-Атомайзер»

1 – ємність, 2 – насос, 3 – насос високого тиску, 4 – форсунки, 5 – сушильна камера, 6 – паровий калорифер, 7, 9, 12, 13 – вентилятори, 8 – повітряний фільтр, 10 – охолоджувач, 11 – циклони, 12 – розвантажувальний циклон.

Повітря, після очищення у фільтрі 8, пропускається через вентилятор 7 та направляється до парового калорифера 6, де його нагрівають парою під тиском 1.6 МПа до досягнення температури 1750С. Гаряче повітря потім поступає в сушильну камеру 5 через розподілювач.

З продуктового цеху, продукт перекачується до ємності 1, а потім за допомогою відцентрового насоса 2 передається до насосу високого тиску 3. Цей насос транспортує продукт до форсунок розпилення. У сушильній камері встановлено три форсунки, розташовані під кутом 120 градусів одна від одної, що дозволяє рівномірно розпилити продукт по всій камері у вигляді спіралі. Це збільшує тривалість контакту краплин з гарячим повітрям.

Охолоджене повітря, завдяки вентилятору 9, вводиться у порожнину сушильної камери, що запобігає утворенню відкладень порошку на поверхні стінок. Після сушіння, висушений порошок переходить в нижню конічну частину сушильної камери, звідки його направляють по пневмотрасі до розвантажувального циклону 14, а далі на фасування.

Оскільки молочний порошок з сушильної камери має високу температуру (45°С), він охолоджується в пневмотрасі до t = +20°С за допомогою транспортного повітря. Це транспортне повітря, в свою чергу, охолоджується до t = 10°С в охолоджувачі 10 за допомогою холодної води. Після проходження розвантажувального циклону, це повітря викидається в атмосферу за допомогою вентилятора 13.

Відпрацьоване повітря з сушильної камери, яке містить пилоподібні частинки продукту і має температуру 95°С, відсмоктується з нижньої частини сушильної камери за допомогою вентилятора 12 і потрапляє в циклон 11, де очищується перед викиданням в атмосферу.

Технічна характеристика сушильної камери фірми «Ніро-Атомайзер»

Форсунки в сушильній камері виробництва "Ніро-Атомайзер" з Данії призначені для сушіння молочних продуктів. Ця установка є на 90% автоматизованою та механізованою, а управління процесом сушіння здійснюється з пульта.

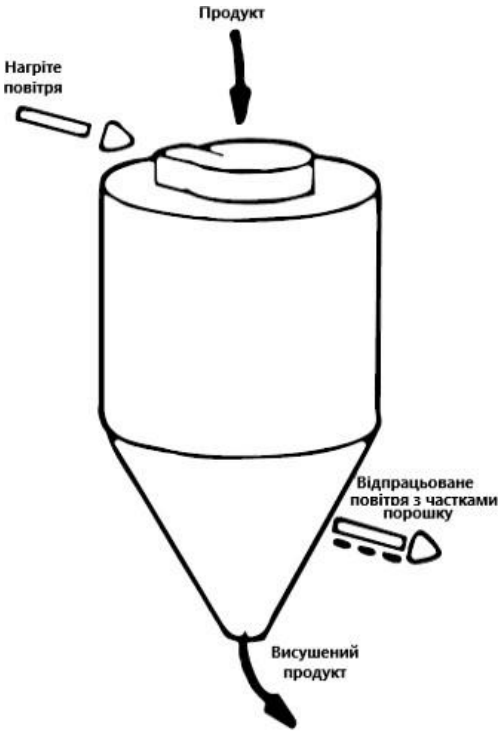


Рис. 1.3 Умовне зображення сушильної камери

Конструкція сушильної камери з форсунками розрахована на обробку 2085 кг/год згущеного продукту з загальним вмістом сухих речовин 48%.

Система подачі повітря

Фільтр холодного повітря застосовується для ефективної очистки повітря від макрочастинок. Цей фільтр має високу фільтруючу здатність з коефіцієнтом, що становить 99,97% для частинок діаметром 0,3 мікрона.

Робота фільтра базується на принципі ударної дифузії, який здійснюється завдяки великому відношенню площі поверхні, що фільтрує, до лицьової поверхні фільтра. Це дозволяє досягти високого рівня очищення повітря та забезпечити тривалий термін служби фільтра.

Фільтруючий елемент фільтра має високу щільність і складається з напівмікронних волокон, які забезпечують міцність при розтягненні. Волокна розташовані в щільний пакет, сформований у вигляді "гармошки". Кожен пакет розділяється гофрованими перегородками, які підтримують фільтруючий елемент і створюють повітряні канали. Конфігурація цих каналів забезпечує мінімальний опір для повітряного потоку, що протікає через фільтр.

Рис. 1.4 Приклад повітряного фільтра

Система введення нагрітого повітря в сушильну камеру

Повітря, яке було нагріте, вводиться в спеціальну камеру змінного перерізу, яка має форму, схожу на равлик. Усередині цієї камери є вертикальна перфорована перегородка, яка розділяє її на дві частини. Форма та розмір цього перерізу забезпечують рівномірний розподіл сушильного агенту усередині камери. Потім повітря направляється в апарат, який має внутрішні й зовнішні конічні кожухи і обмежений ними.

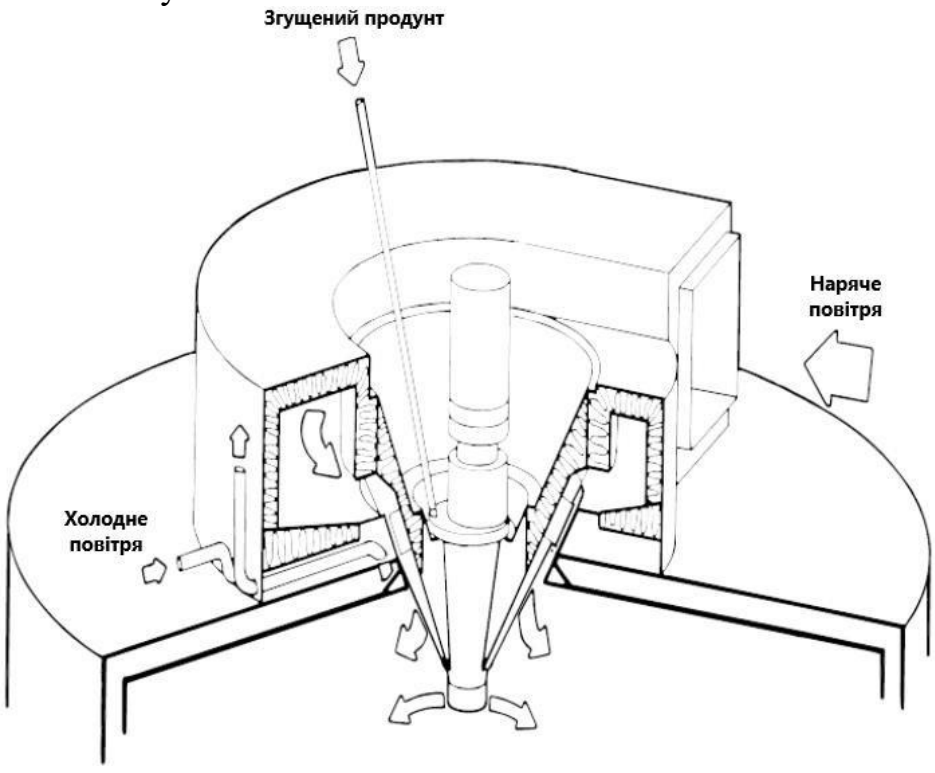


Рис. 1.5 Умовне зображення верхньої частини сушильної камери

Завдяки конусоподібній вставці в сушильній камері відбувається розділення

сушильного агента на два закручені потоки. Лопатки підсилюють закручення зовнішнього потоку. Кут нахилу лопаток і відносна висота конусоподібної вставки впливають на конфігурацію розпилювального факела.

Важливо уникати надлишкового або недостатнього завихрення повітряного потоку, оскільки це може призвести до утворення шару продукту на стелі камери або переміщення продукту вниз. Особливу увагу слід звернути на можливість скупчення порошку з високою вологості на поверхні конусоподібної вставки.

Для забезпечення неперервної роботи сушильної камери, в порожнину між корпусами вводиться охолоджене повітря.

Система відведення відпрацьованого повітря з камери

Відведення відпрацьованого повітря з сушильної камери здійснюється наступним способом. Крайня частина отвору на корпусі сушильної камери, який прилягає до циліндричної частини, має гофровану структуру, яка призначена для розділення потоку повітря і порошку.

Гофрований перетин обрано таким чином, щоб забезпечити швидкість повітря не більше 6 м/с. Практично така ж сама швидкість спостерігається у циліндричній частині сушильної камери. Через цей отвір відпрацьоване повітря подається на два паралельно розташованих циклона через нержавіючий трубопровід.

У циклонах відбувається відокремлення дрібної фракції порошку від повітря. Принцип роботи циклонів базується на використанні інерції сил, які виникають при зміні напрямку руху повітряного потоку. Частинки з великою інерцією зберігають напрямок свого руху і видаляються з потоку.

Конструкція циклона включає циліндричний корпус з верхнім центральним патрубком для виходу очищеного повітря і вбудованим тангенціальним патрубком для подачі запиленого повітря.

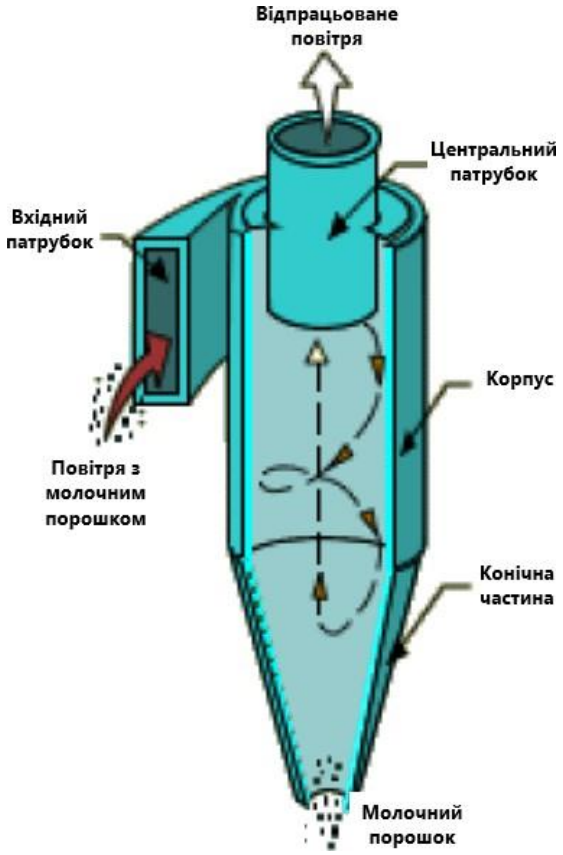


Рис. 1.6 Приклад розвантажувального циклону

Швидкість повітря у вхідному патрубку складає 25 м/с, а вихідному - 8 м/с. Відпрацьоване повітря, разом з частинками сухого продукту, вводиться тангенціально в порожнину циклону, де отримує обертовий рух. Завдяки дії відцентрової сили, частинки сухого продукту відокремлюються та осідають на конусоподібному дні. Очищене повітря проходить через патрубок і потрапляє до витяжного вентилятора, який видаляє його у атмосферу.

Температура повітря, яке виходить з сушильної камери, коливається в діапазоні від 94°C до 104°C.

Порошок, який осідає в нижній конусоподібній частині сушильної камери, потрапляє на шлюзовий живильник за допомогою повітряного потоку.

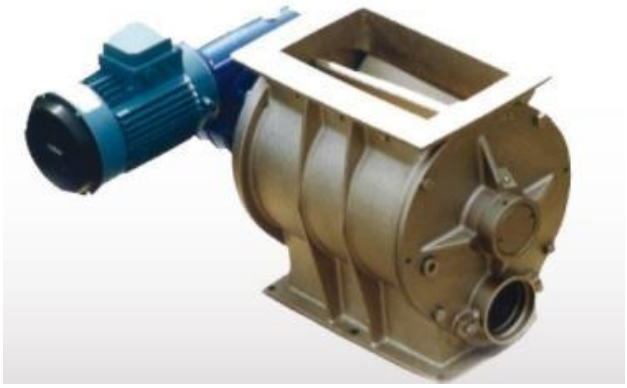


Рис. 1.7 Приклад шлюзового живильника

Цей пристрій має нерухомий корпус, в якому змонтований лопатевий ротор як робочий елемент. Ротор жорстко закріплений на валу, який приводиться в обертання електродвигуном за допомогою редуктора і ремневої передачі.

Молочний порошок з шлюзового живильника подається на пневмотрасу, яка служить для його транспортування до розвантажувального циклону.

Температура порошку досить висока, приблизно 65°C, тому повітря, що використовується для транспортування, попередньо охолоджується за допомогою холодної води до температури 17±2°C.

Відпрацьоване повітря з розвантажувального циклону потрапляє до відцентрового вентилятора і видаляється у атмосферу, а молочний порошок проходить на шлюзовий живильник і транспортується для фасування.

Форсунки

Форсунки, використовувані для розпилення продукту, мають форму конусів з пустотою, а кут їх відкриття становить від 45 до 60 градусів. Важливою особливістю форсунок для розпилення є їх конструкція, зокрема вхід, який забезпечує формування рівномірного потоку.

Рис. 1.8 Приклад форсунки для розпилення

Насос високого тиску

Плунжерний насос клапанного типу використовується для надання високого тиску та подачі продукту на форсунки сушильної камери.

Рис. 1.9 Приклад плунжерного насосу високого тиску

Основним рухомим елементом плунжерного насоса є плунжер, який здійснює зворотно-поступальні рухи, і це є ключовим принципом роботи таких агрегатів. Принцип полягає у тому, що всі рухомі механізми не стикаються з внутрішньою поверхнею робочої камери.

При переміщенні плунжера назад, відбувається ефект всмоктування рідини в гідравлічній частині, відкриваючи клапан для її поглинання. Після цього плунжер переміщається вперед, створюючи власний тиск, який витісняє рідину та підвищує її тиск. Під час цього процесу клапан для поглинання закривається, а клапан напору відкривається, що дозволяє рідині виходити у технологічну зону.

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 упр. дії
1	Трубопровід подачі згущеного молока	Витрата згущеного молока	2085 кг	Управління	Стан двигуна М	Вплив на двигун М
2	Трубопровід подачі пари	Тиск пари	1.6 МПа	Контроль	Відображення, реєстрація, сигналізація	АРМ оператора
3	Трубопровід подачі гарячого повітря	Температура гарячого повітря	175^{0}С	Регулювання	Стабілізація	Вплив на вентилятор подачі повітря
4	Трубопровід подачі холодної води	Витрата холодної води	10.2 м^3/год	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
5	Трубопровід подачі холодного повітря	Температура холодного повітря	10 ^{0}С	Регулювання	Стабілізація	Вплив на вентилятор подачі повітря

АК

Розділ 2. Система автоматизації.

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

Термометр опору

Робочий принцип термометрів опору полягає в зміні опору провідників та напівпровідників залежно від їх температури. Пристрій для вимірювання температури SITRANS TF2 від компанії "Siemens" поєднує три елементи в одному пристрої:

1. Термометр опору Pt100, який розташований у захисному патрубку з нержавіючої сталі.
2. Основа пристрою, яка має високий рівень захисту.
3. Налаштування здійснюється за допомогою дисплея, на якому розміщені три кнопки.

Цей пристрій використовується для відображення і перевірки заданої температури на конкретній технологічній лінії. Він забезпечує індикацію та контроль за дотриманням встановленого температурного режиму.

Рис. 2.1 Зовнішні вигляд SITRANS TF2

Переваги цього перетворювача включають:

1. Висока точність вимірювання.
2. Застосування двопровідної схеми живлення.
3. Простота конструкції та монтажу.

Основним недоліком є обмеження у вимірюванні високих температур, наприклад, в вибухонебезпечних зонах.

Рис. 2.2 Підключення SITRANS TF2 до двопровідної схеми живлення

Таблиця 2.1 Технічні параметри перетворювача температури SITRANS TF2

Принцип вимірювання	
Термометр опору	Pt100, клас B у відповідності з DIN IEC 751
Вхід	
Величина вимірювання	Температура
Максимальний діапазон вимірювань	-50…+200^{0}C (-58…392^{0}F)
Мінімальний інтервал вимірювань	50K (90^{0}F)
Вихід	
Вихідний сигнал	4…20 мА
Нижня межа струму	3.6 мА
Верхня межа струму	23 мА
Вихід захищений від	Нерівної полярності, перенапруги, короткого замикання
Максимальний опір навантаження	($U_в$-12V)/0.023A
Характеристика	Пропорційна температурі
Живлення	
Напруга на клемах вимірювального перетворювача тиску ($U_в$)	Від 12 до 30 V DC
Обмеження у застосуванні	
Тиск	Макс. 40 бар (580 psi)
Умови використання	
Температура навколишнього середовища, в межах:	-28…+85^{0}C
Рекомендований діапазон температур, в межах:	-10…+70^{0}C

Витратомір-лічильник з овальними шестернями

Для контролю витрати згущеного молока, що подається на форсунки сушильної камери, я використала витратомір-лічильник з овальними шестернями моделі Kobold DOM-A60HFC.

Рис. 2.3 Зовнішній вигляд Kobold DOM-A60HFC

Принцип роботи полягає у вимірюванні обсягу рідини, який утворюється між стінками вимірювальної камери 1 та овальними шестернями 2 і 3, під час обертання останніх під впливом руху вимірювальної рідини.

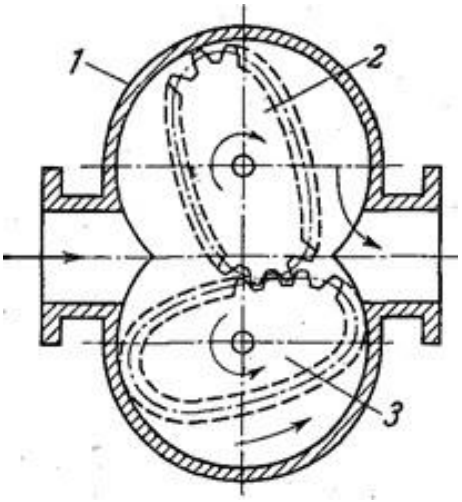


Рис. 2.4 Схематичне зображення лічильникарідини з овальними шестернями

Регулятор потоку може мати два варіанти використання. Перший варіант - він може бути закритим лічильником з імпульсним виходом, який може взаємодіяти з різними моніторинговими та контролюючими пристроями. Другий варіант - він може бути повністю комплектованим додатковими пристроями, такими як суматори, лічильники швидкості або контролери.

Датчик тиску з HART-протоколом

У сфері вимірювання тиску була розроблена серія компактних мікропроцесорних датчиків тиску під назвою AIP-10H. Ці датчики мають корпус НГ-06.

Рис. 2.5 Зовнішній вигляд датчика тиску AIP-10H в корпусі НГ-06.

Датчик тиску AIP-10H, вбудований в корпус НГ-06, розроблений для неперервного перетворення значень різних видів тиску, таких як абсолютний тиск, надлишковий тиск, надмірний тиск (розрідження), різниця тисків і гідростатичний тиск у рідинних та газоподібних середовищах, на уніфікований вихідний струмовий сигнал 4-20 мА та цифровий сигнал на основі HART-протоколу.

Такий широкий спектр функцій робить серію AIP-10H універсальною, дозволяючи застосовувати її в більшості технологічних процесів для вимірювання не тільки тиску, але і рівня або витрати.

Таблиця 2.2 Основні технічні характеристики

Верхня межа вимірювань	Абсолютний тиск	4 кПа…2,5 МПа
	Надлишковий тиск	4 кПа…60 МПа
	Надлишковий тиск-розрідження	±5 кПа…(-0,1…2,4) МПа
	Диференціальний тиск	4 кПа…2,5 МПа
	Гідростатичний тиск	4 кПа…250 кПа
Клас точності	Від 0,1%	
Додаткова температурна похибка	Від (0,03+0,05* × P_{BMAX} / P_B) на кожні 10^0C	
Одиниці виміру	Па, кПа, МПа, кгс/см^2 , кгс/м^2 , атм., mbar, bar, мм.рт.ст., мм.вод.ст	
Глибина пере-настроювання діапазонів	1:25	
Вихідний сигнал	4…20 мА / HART	
Конфігурація	HART-протокол	
Пило-вологозахист	IP65 (IP67)	

Датчик тиску AIP-10H складається з двох основних компонентів - первинного перетворювача та електронного пристрою. У першому компоненті, середовище під тиском потрапляє до камери, де деформується мембрана. Це призводить до зміни електричного опору на тензорезисторах, які розташовані на мембрані. Ці тензорезистори підключені до дільника напруги в електричному колі, і це призводить до виходу сигналу напруги від первинного перетворювача.

Електронний пристрій бере цей електричний сигнал і перетворює його в цифровий код, який відповідає вимірюваному значенню тиску. Цей цифровий код може бути подано у вигляді уніфікованого струмового сигналу або сигналу на базі HART-протоколу.

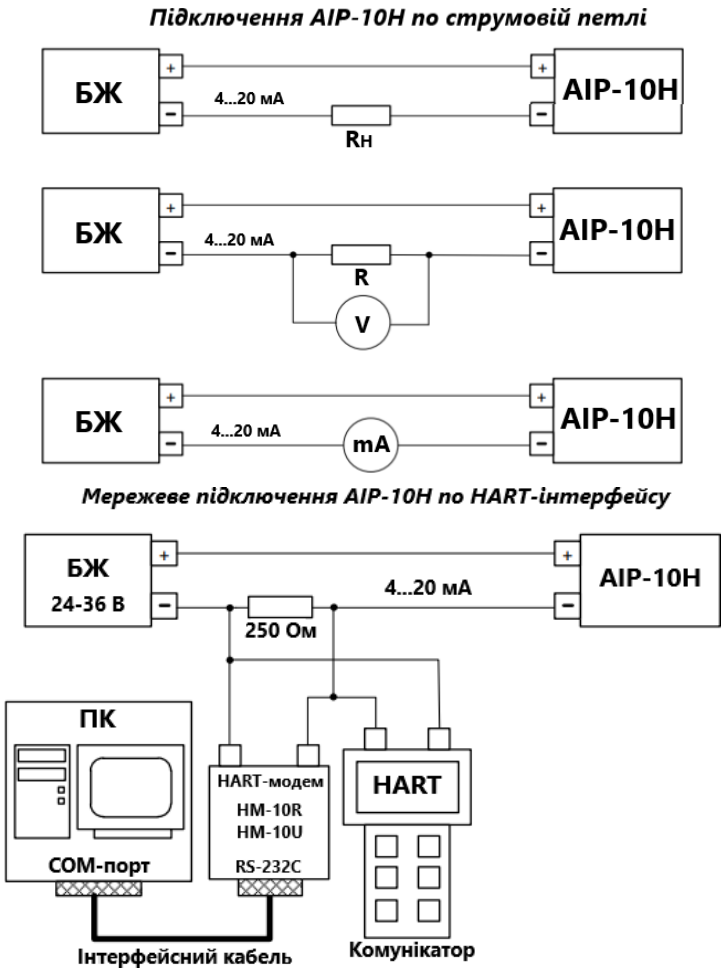


Рис. 2.6 Приклад схем електричних підключень даного датчика

Пневматичний клапан

Я обрав двоходовий клапан ARI-STEVI SMART 440 від компанії ARI-Armaturen GmbH (Німеччина) з сальниковим ущільненням штока як регулюючий орган.

Рис. 2.7 Зображення клапан ARI-STEVI SMART 440

Компанія має перевагу в тому, що вона пропонує широкий асортимент регулюючих клапанів з різними типами затворів. Це дозволяє підібрати

оптимальну внутрішню конструкцію регулюючого клапана для конкретного завдання, забезпечуючи високу точність регулювання технологічного процесу та тривалий безвідмовний термін експлуатації.

Таблиця 2.3 Технічні характеристики регулюючого клапана ARI-STEVI SMART 440

Основні технологічні дані	
Номінальні діаметри	DN 15…250
Номінальний тиск, бар	PN 16, 25, 40
Діапазон значень kvs	2,5…1000 м^3/год
Діапазон регулювання	50:1
Температура робочого середовища	-60…+450
Тип затвору	Параболічний (стандарт), шліцьовий, збалансований по тиску
Приєднання	Фланцеве по стандарту DIN
Приводи	Електричні ARI - Premio, Auma, FR (з аварійною функцією) та пневматичні DP
Матеріали основних вузлів	
Корпус	сірий чавун EN-JL 1040, високоміцний чавун EN-JS 1049, нормалізована вуглецева сталь 1.0619+N, кислотостійка н/ж сталь 1.4408 (CrNiMo)
Внутрішні деталі (сідло, затвор, шток):	н/ж сталь 1.4021 + QT (Cr13 з загартуванням), 1.4571 (CrNiMoTi)

Трифазний асинхронний двигун

Електродвигуни AIP, які працюють на три фази, використовуються для забезпечення електроприводів різних установок, агрегатів і механізмів. В даному випадку було обрано електродвигун AIP 132 S4 з потужністю 7,5 кВт і фактичною швидкістю обертання вала 1450 оборотів за хвилину.

Рис. 2.8 Зображення електродвигуна AIP 132 S4

Асинхронні двигуни AIP відзначаються простою конструкцією, що є їх основною перевагою. Вони виготовляються легко і мають доступну ціну. Обслуговування та ремонт таких двигунів не потребують значних витрат. Крім того, ці двигуни мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД), який може

досягати значення до 85%.

Таблиця 2.4 Технічні характеристики електродвигуна AIP132 S4

Параметр		Значення
Потужність	P	7.5 кВт
Частота обертання умовна (фактична)	v	1500 (1450) об/хв
Напруга	U	380/660 В
Сила струму	I	15.6 А
ККД	μ	87%
Коефіцієнт потужності	cosφ	0.84
Співвідношення крутних моментів	$M_п/M_н$	2.3
Співвідношення крутних моментів	$M_{max}/M_н$	2.3
Співвідношення струмів	$I_п/I_н$	7.0
Момент інерції	J	0.0227 кг*м^2
Рівень шуму	L	71 дБ(А)
Об'ємні розміри в упаковці	V	65x36x41 см^3
Вага нетто	$m_{нетто}$	64 кг
Вага брутто	$m_{брутто}$	67 кг

Для підключення трифазного електродвигуна AIP 132 S4 до живлення 380 та 660 В доступні два варіанти підключення:

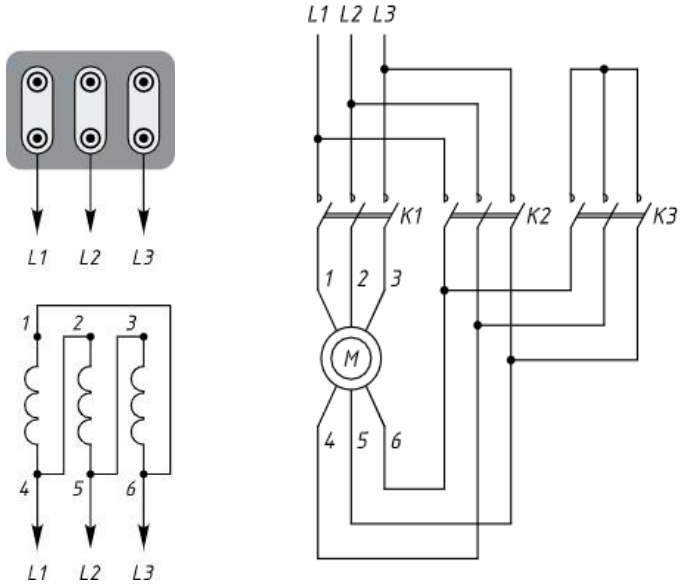


Рис. 2.9 Приклад схем підключення електродвигуна AIP 132 S4 до мережі 380 та 660 В

Існують два способи підключення трифазного електродвигуна AIP 132 S4: "трикутник" і "комбінований".

У варіанті підключення "трикутник" можна використовувати повну заявлену потужність електродвигуна, але при пуску виникає проблема зі зростанням пускових моментів. Цей недолік може бути вирішений за допомогою використання частотного перетворювача.

У випадку підключення "комбінованої" схеми можна скористатися

перевагами обох окремих схем і уникнути їх недоліків. Запуск двигуна відбувається за схемою "зірка", а після досягнення оптимальної швидкості переключається на схему "трикутник". Такий підхід забезпечує плавний пуск електродвигуна з низькими пусковими струмами, а після перемикання схеми потужність двигуна збільшується на 30% і повністю відповідає заявленому значенню в технічному паспорті.

Частотний перетворювач

Danfoss VLT Micro Drive FC-051 7.5 кВт - це універсальний компактний загальнопромисловий привід, який має можливість використовувати як векторну, так і скалярну системи управління двигуном.

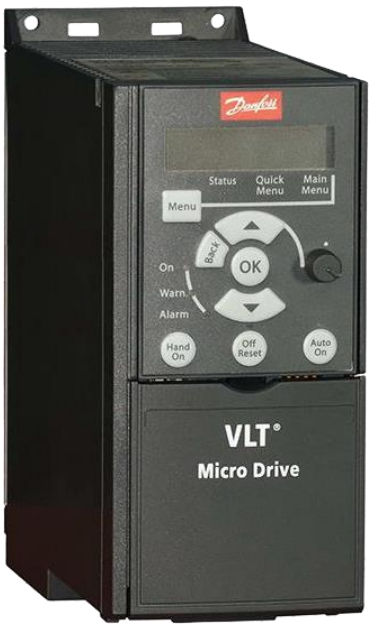


Рис. 2.10 Зовнішній вигляд Danfoss VLT Micro Drive FC-051 7.5 кВт

Основні можливості частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive включають:

- Підвищена міцність і стійкість до зовнішніх впливів, забезпечуючи надійну роботу в різних умовах.
- Багатоцільовий привід, який може застосовуватися в широкому спектрі промислових застосувань.
- Вбудований ПІД-регулятор для точного контролю швидкості та позиції двигуна.
- Вбудований інтерфейс RS-485 FC-Protocol, Modbus RTU для зручного підключення до системи керування.
- Векторне управління та управління по вольт-частотній характеристиці U/F

для оптимального керування роботою двигуна.

- Автоматична оптимізація енергоспоживання (AEO) для ефективного використання електроенергії.
- Автоматична адаптація до двигуна, що дозволяє оптимізувати роботу системи під кожен конкретний двигун.
- Вбудований програмований логічний контролер для гнучкого програмування і керування різними функціями.
- Можливість перевантаження до 150% протягом 1 хвилини для короткочасних потужних навантажень.
- Електронне теплове реле для захисту двигуна від перегріву.
- Вбудований фільтр ВЧ перешкод для зниження електромагнітного шуму.
- Можливість зняття і установки панелі управління під час роботи, а також функція копіювання налаштувань для зручності налаштування та управління.

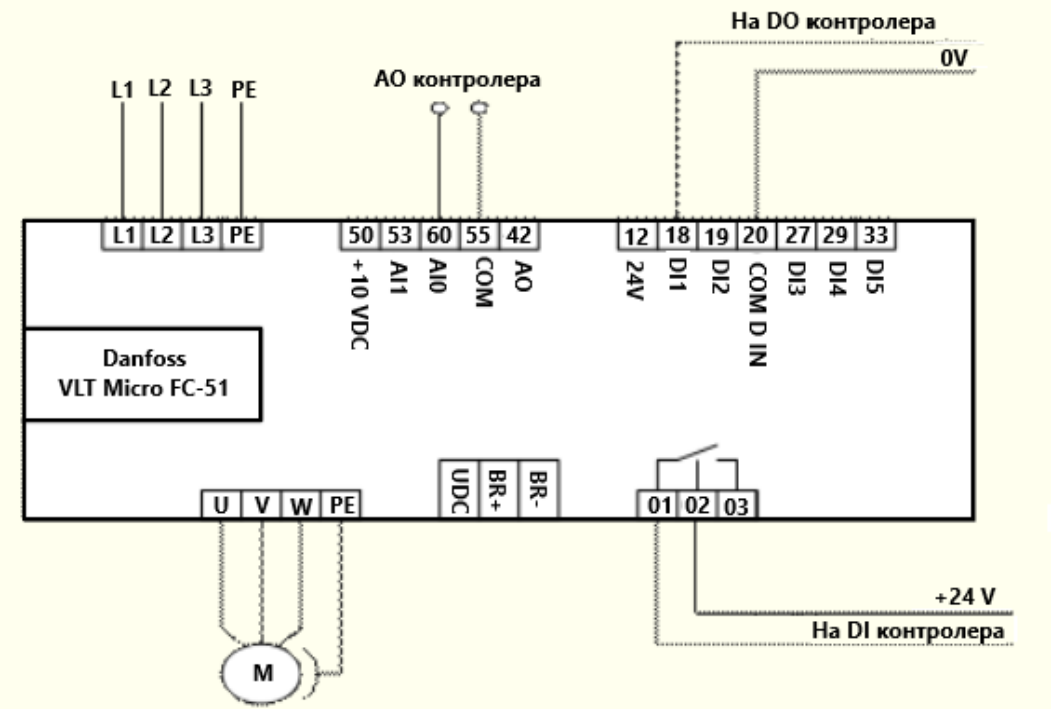


Рис. 2.11 Схема підключення Danfoss VLT Micro Drive FC-051

Поршневий компресор

Для досягнення високої продуктивності пневматичної системи необхідно вибрати відповідний компресор.

Компресор Matari M740E55-3 є результатом застосування передових технологій і представляє собою складний електромеханічний пристрій,

спеціально розроблений для генерації стисненого повітря і його дозованої подачі під тиском до споживачів.

Рис. 2.13 Зовнішній вигляд Matari M740E55-3

Основними перевагами компресора Matari M740E55-3 є:

1. Висока продуктивність та тиск, достатні для використання в промислових цілях, забезпечуючи ефективну роботу.
2. Великий обсяг ресивера, що дозволяє підключати кілька інструментів одночасно, підвищуючи продуктивність та зручність роботи.
3. Безшумна робота, що створює комфортні умови для операторів та дозволяє знизити шумове забруднення навколишнього середовища.
4. Компактний дизайн, що забезпечує зручне зберігання та транспортування. Коліщатка та ручка додатково полегшують пересування компресора, забезпечуючи мобільність і гнучкість в роботі.

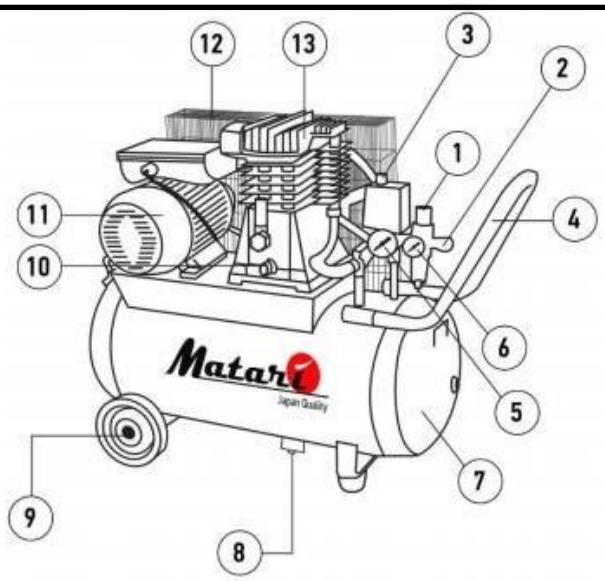


Рис. 2.14 Будова компресора:

1 – регулятор вихідного тиску, 2 – випускний вентиль, 3 – реле тиску, 4 – транспортна рукоятка, 5 - манометр для вимірювання тиску в ресивері, 6 - манометр для вимірювання тиску на виході, 7 - повітряний ресивер, 8 - зливний кран конденсату, 9 - транспортувальне колесо, 10 - вікно рівня масла, 11 – електродвигун,12 - кожух ремінного приводу, 13 - компресорна група.

Таблиця 2.5 Технічна характеристика Matari M740E55-3

Тип компресора	Поршневий
Привід	Ремінний
Розташування ресивера	Горизонтальне
Продуктивність на вході	880 л / хв
Продуктивність на виході	740 л / хв
Тиск	10 бар
Обсяг ресивера	270 л

Таблиця 2.6 Технічна характеристика двигуна

Двигун	Електричний
Ступінь захисту	IP54
Потужність двигуна	5,5 кВт
Кількість фаз	Трифазний
Напруга	380В
Частота	50 Гц
Кількість циліндрів	3
Ступінь стиснення	1

Блок ручного управління

Блок ручного управління БРУ-17 спеціально розроблений для використання в місцевих і комбінованих системах автоматизації. Головною особливістю

цього блоку є наявність гальванічної ізоляції між входами, виходами, живленням і інтерфейсом, що відрізняє його від інших аналогічних пристроїв.

Рис. 2.15 Зовнішній вигляд блоку ручного управління БРУ-17

Блок ручного управління БРУ-17 призначений для перемикання ланцюгів управління виконавчими пристроями і механізмами, відображення робочого режиму та вимірювання одного технологічного параметра. Крім того, цей пристрій може використовуватися як:

1. Станція ручного управління аналоговими виконавчими механізмами з можливістю індикації режимів роботи.
2. Блок, що виконує вимірювання, обробку, перетворення і відображення вхідних фізичних параметрів (наприклад, рівень, температура, тиск і інші) на цифровому дисплеї, а також генерує вихідні сигнали для технологічної сигналізації.

Таблиця 2.7 Технічна характеристика БРУ-17

Аналогові вхідні сигнали	
Кількість аналогових входів	1
Тип вхідних аналогових сигналів	• 0…5мА (Rвх=400 Ом); • 0…20мА (Rвх=100 Ом); • 4…20мА (Rвх=100 Ом); • 0…10В (Rвх=25 кОм).
Межа основної приведеної похибка вимірювання вхідних параметрів	≤0,2%
Точність індикації	0,01 %
Межа допоміжної похибки, викликаної зміною температури навколишнього середовища	<0,2 % / 10^0C
Аналогові вихідні сигнали	
Кількість аналогових виходів	1
Тип вихідного аналогового сигналів	• 0…5 мА (Rн<=2кОм); • 0…20 мА (Rн<=500 Ом); • 4…20 мА (Rн<=500 Ом); • 0..10В (Rн>=2кОм).
Межа основної зведеної похибки формування вихідного сигналу	±0,2%

Блок ручного управління БРУ-17 має роз'єми-клеми з пружинними сполуками, розташовані на задній панелі пристрою, для зручного підключення сигналів.

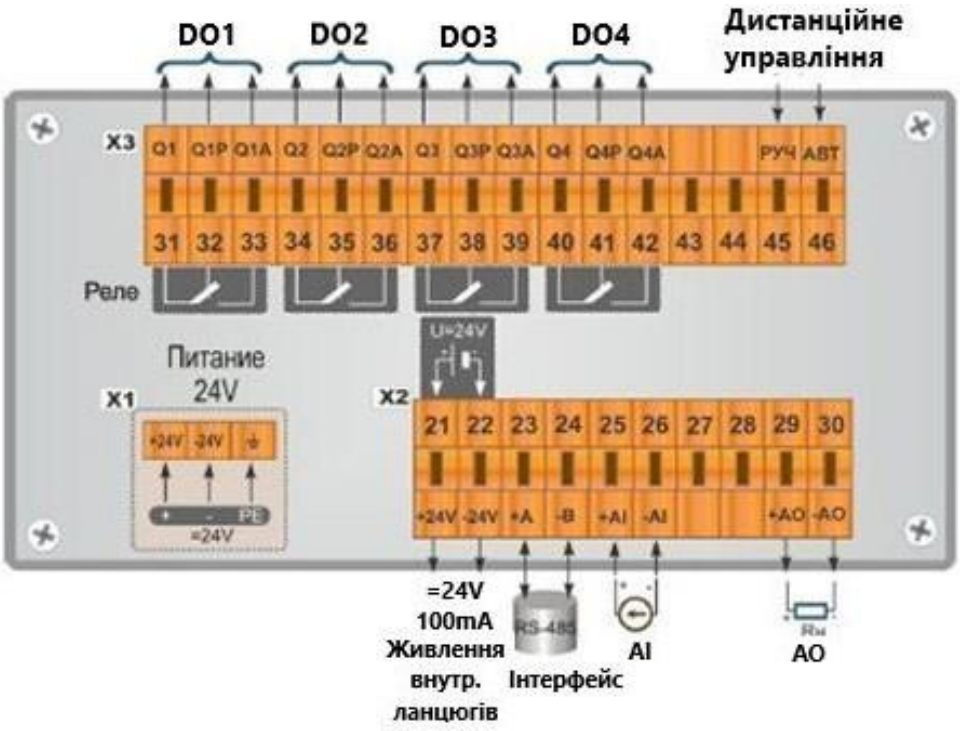


Рис. 2.16 Підключення до БРУ-17

Електро-пневматичний перетворювач

ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP є сімейством цифрово керованих пропорційних клапанів, які відповідають вимогам регулювання тиску. Ці клапани відомі своєю високою ефективністю та економічністю. Для правильної роботи пропорційного пневматичного пристрою (ЕПП), його потрібно підключити до ліній зв'язного повітря.

ЕПП перетворює вхідний пропорційний електричний сигнал 4...20 мА або 0...10 В на вихідний пропорційний пневматичний сигнал, який зазвичай перебуває в діапазоні 20...100 кПа.

Рис. 2.17 Зовнішній вигляд Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics

Особливості Sentronic LP включають:

1. Споживання енергії:

- Низьке споживання енергії (3,8 В), що сприяє економії ресурсів.

2. Цифрове спілкування та управління:

- Використання цифрового спілкування та управління для забезпечення точності та надійності роботи.

3. Інтегрований дисплей та функціональні кнопки:

- Наявність інтегрованого дисплею, який дозволяє зручно відображати інформацію про роботу клапана, а також функціональні кнопки для налаштування параметрів.

4. Пілотний пропорційний клапан:

- Вбудований пілотний пропорційний клапан, який забезпечує точне та пропорційне регулювання тиску.

5. Діагностика, налаштування та обслуговування:

- Можливість виконання діагностики клапанів, налаштування параметрів та проведення обслуговування для забезпечення оптимальної роботи.

Для регулювання вихідного тиску клапана також доступні вбудований дисплей та функціональні кнопки, що дозволяють зручно налаштовувати параметри.

Виріб відповідає вимогам RoHS та сумісний з REACH, що підтверджує його дотримання екологічних стандартів та відсутність шкідливих речовин.

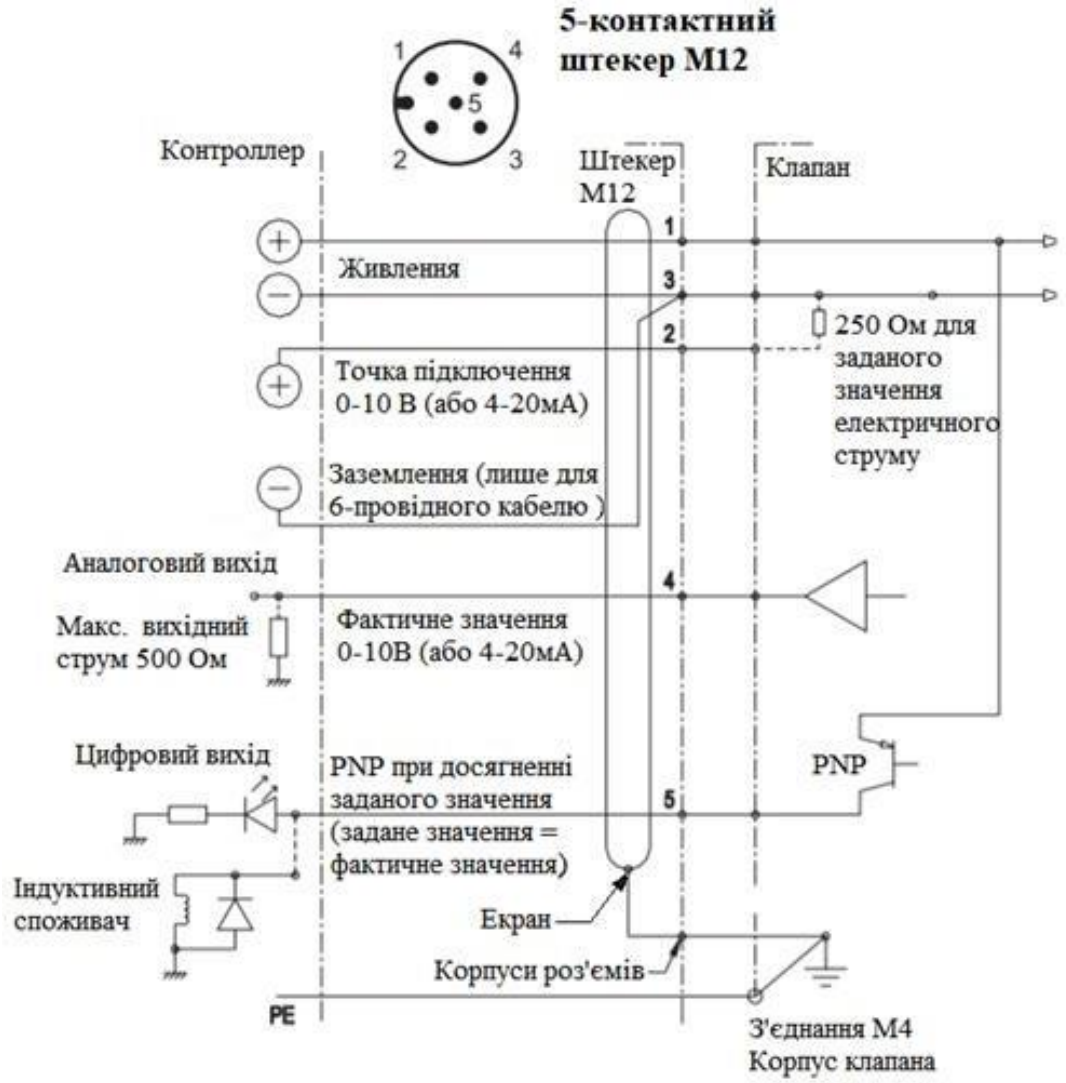


Рис. 2.18 Електричне підключення Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics

2.2 Опис схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації процесу сушки молока включає наступне: управління двигуном та контроль витрати згущеного молока, що надходить до сушильної камери; керування двигунами для подачі повітря в калорифер і охолоджувач; регулювання температури повітря в трубопроводі за допомогою клапана; контроль тиску пари, що надходить з котельні до калорифера; подача та контроль витрати води; регулювання температури повітря в трубопроводі за допомогою клапану для подачі води; управління двигуном для відведення відпрацьованого повітря з сушильної камери.

Контур контролю витрати згущеного молока та витрати води включає витратомір-лічильник Kobold DOM-A60HFC (поз.1а та 6а), який встановлюється у трубопроводі. Вимірювання витрати здійснюється шляхом проходження продукту через порожнину з овальними шестернями, що обертаються навколо своєї осі. Кожний повний оберт генерує один дискретний імпульс. Даний прилад підключається до дискретного входу контролера. Потік згущеного молока контролюється двигуном AIP 132 S4.

Температура повітря в трубопроводі вимірюється та контролюється за допомогою термометра опору SITRANS TF2 (поз. 2а та 5а) від компанії "Siemens". Цей прилад має діапазон вимірювання від -50°C до 200°C і генерує вихідний сигнал 4...20мА. Для перетворення цього сигналу використовується електро-пневматичний перетворювач Sentronic LP серії 617 від ASCO Numatics (поз. 2б та 5б), який надає пневматичний сигнал у діапазоні 20...100 кПа для керування клапаном ARI-STEVI SMART 440 (поз. 2в та 5в), який впливає на потік пари або води, в залежності від конкретного випадку. Усі ці дані відображаються на персональному комп'ютері та панелі оператора.

Контроль тиску пари в трубопроводі, що надходить з котельні, здійснюється за допомогою датчика AIP-10H у корпусі НГ-06 (поз. 3а), який має аналоговий вихід 4...20 мА.

Датчик комплектується індикаторним пристроєм, який відображає значення

тиску за допомогою 4-розрядного світлодіодного індикатора. Для контуру управління подачею повітря для нагрівання і охолодження використовується двигун AIP 132 S4, керування яким здійснюється за допомогою частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC-051 (поз. 4б і 7б) через блок ручного управління БРУ-17 (поз. 4а і 7а). Керуючий сигнал надходить з аналогового модуля виходів ПЛК.

Для аварійного захисту двигуна AIP 132 S4 встановлена кнопка СТОП (поз. SB3 і SB4). Потужності двигуна і частотного перетворювача однакові (7,5 кВт), тому вони є сумісними. Всі дані реєструються і зберігаються в ПК.

Для контуру відведення відпрацьованого повітря з сушильної камери використовується двигун AIP 132 S4 з дискретним управлінням.

2.3 Специфікація засобів автоматизації

Таблиця 2.8 Специфікація засобі автоматизації

№ п/п	№ поз. За схемою	Місце встано-влення	Найменування і технічна характеристика виробу	Тип, марка	К-ст	Виробник
1	2	3	4	5	6	7
1	1а, 6а	по місцю	Витратомір-лічильник з овальними шестернями, які обертаються з певною частотою та видають імпульс при проходженні рідини через вимірювальну камери за один оберт. Жив. 24В.	Kobold DOM-A60HFC	2	KOBOLD, Німеччина
2	2а, 5а	По місцю	Термометр опору Pt100 з уніфікованим вихідним сигналом 4…20 мА та діапазоном вимірювання -50…200^{0}С. Жив. 24В	SITRANS TF2	2	Siemens, Німеччина
3	3а	По місцю	Вимірювальний перетворювач тиску з уніфікованим вихідним сигналом 4…20мА і цифровим сигналом на базі HART-протоколу, точність від 0.1%. Жив. 24В	AIP-10H	1	Елемер, Росія
4	2в, 5в	По місцю	Пневматичний виконавчий механізм. Ржив=140кПа	ARI-STEVI SMART 440	2	ARI-Armaturen GmbH, Німеччина
5	2б, 5б	На щиті	Електпо-пневмо перетворювач. Перетворює пропорційний електричний сигнал 4…20 мА або 0-10 В в пропорційний пневматичний сигнал 20-100 кПа. Ржив=140 кПа.	Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics	2	ASCO™, США
6	4а, 7а	На щиті	Блок ручного управління для перемикання на ручне керування. Вхідний сигнал 4…20 мА, Rвх = 100 Ом, керуючий сигнал 4…20 мА, Rвх <= 500 Ом	БРУ-17	2	Микрол, Росія

Продовження таблиці 2.8

7	4б, 7б	На щиті	Перетворювач частоти. Потужність 7,5 кВт. Живлення 380В	Danfoss VLT Micro Drive FC-051	2	Danfoss, Данія
8	М1, М2, М3, М4	По місцю	Трифазний асинхронний двигун. Потужність 7,5 кВт 1500 об/хв. Живлення 380 В.	AIP 132 S4	4	AIP м. Київ
9	SB1, SB3, SB4,SB5	По місцю	Кнопка з фіксацією, грибкоподібна. Номінальне робоче навантаження 110/230/600В. Ступінь захисту IP40.	LAY5-BT42	4	IEK, Україна
10	КМ1, КМ2	По місць	Пускач магнітний безконтактний нереверсний, I=160А, робоча напруга 220…380 В.	ПМ - 12160210 УЧВ	2	Электроприроб, М. Чебоксари

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

3.1. Організація структури промислового логічного контролера

У даному випадку я використала промисловий логічний контролер від міжнародної компанії Schneider Electric.

На сьогоднішній день Schneider Electric є одним з провідних світових виробників електротехнічної продукції та засобів автоматизації для різних типів приміщень - від житлових до офісних і виробничих. Компанія Schneider Electric постійно вдосконалює свій асортимент продукції, намагаючись займати лідируючі позиції на ринку.

З цих причин я вибрала промисловий логічний контролер Modicon M340, який має високий рівень функціональності і широкі можливості програмування у середовищі UNITY PRO. Це значно спрощує процес розробки програми та введення її в експлуатацію, дозволяючи ефективно виконувати завдання.

Фізична структура Modicon M340

Елементна база системи промислових контролерів Modicon M340 складається з набору спеціалізованих модулів. Всі модулі закріплюються на шасі, яке виконує дві основні функції:

- Воно служить основою для механічного кріплення модулів в комунікаційній шафі.
- Воно забезпечує електричне з'єднання між модулями.

Система M340 дозволяє використовувати від одного до чотирьох шасі з різною кількістю слотів для модулів. Усі модулі з'єднані між собою за

допомогою шини Bus X, загальна довжина якої може становити до 30 метрів.

Усі модулі, включаючи процесорний модуль, отримують живлення через внутрішню шину від модуля живлення BMX CPS 2000. Цей модуль живлення встановлюється в шасі і підключається до роз'єму з позначенням CPS. Крім того, модуль живлення має аварійне реле, яке позначається номером 0 на шасі. Інформацію про споживчу потужність можна переглянути під час конфігурації промислового логічного контролера (ПЛК).

Рис. 3.1 Зовнішній вигляд BMX CPS 2000

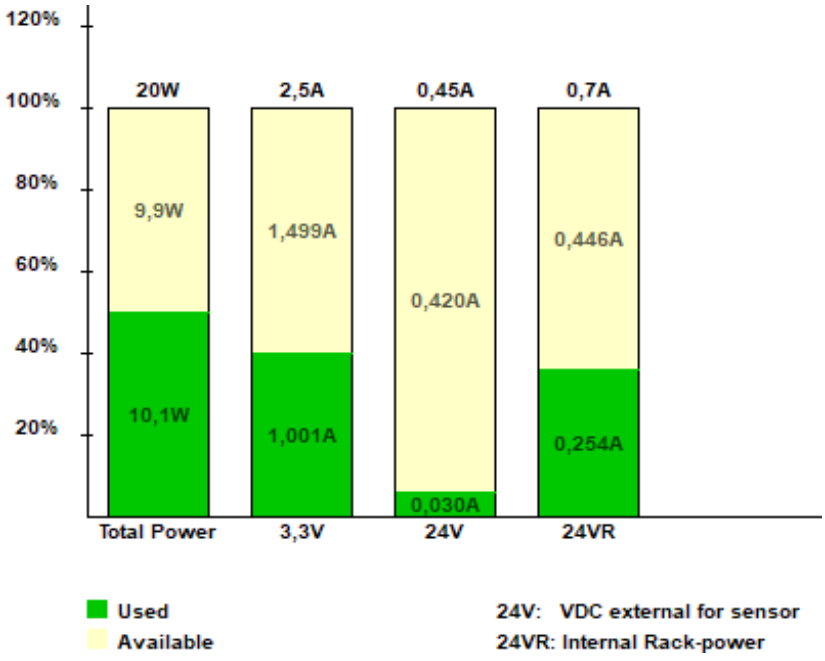


Рис. 3.2 Розподіл споживчої потужності

Процесорний модуль M340 був обраний BMX P34 2000.

Рис. 3.3 Зовнішній вигляд BMX P34 2000

Таблиця 3.1 Загальна характеристика процесорного модуля

Характеристика		BMX P34 2000
Максимальна кількість	шасі	4
	Дискретних входів + виходів	1024
	Аналогових входів + виходів	256
	Лічильних каналів	36
Обсяг RAM	Загальний розмір	4096 Кб
	Для програм, констант, символів	3584 Кб
	Для даних	256 Кб
Максимальна кількість об'єктів	Внутрішні біти %Mi	32464
	Внутрішні слова %MWi	32464
	Нелокалізовані змінні	256
Внутрішня комунікація	Послідовний RS-485/RS-232C	+

Цей процесорний модуль виконує поставлене технологічне завдання завдяки своїм функціональним можливостям. Тепер ми перейдемо до вибору необхідних дискретних і аналогових модулів відповідно до поставленого завдання.

У таблиці 3.2 представлено підбір модулів для ПЛК M340.

Модулі вводу/виводу		Примітка
Найменування	Кількість	
BMX P34-2000	1	Процесор
BMX CPS 2000	1	Блок живлення
BMX DDM 16022	1	Змішаний дискретний модуль
BMX AMI 0410	1	Модуль аналогових входів
BMX AMO 0410	1	Модуль аналогових виходів

Апаратна конфігурація ПЛК UNITY PRO має наступний вигляд:

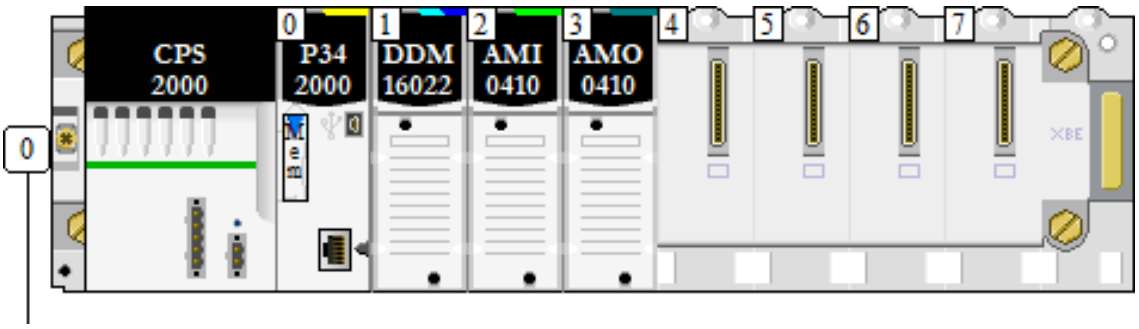


Рис. 3.4 Апаратна конфігурація

Схема підключення датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК має наступний загальний вигляд:

Загальна схема підключення модулів до ПЛК має такі характеристики:

Дискретні входи/виходи: Для підключення до змішаного дискретного модуля BMX DDM 16022 використовуються дві кнопки для екстреної зупинки двигунів, дві кнопки для управління частотними перетворювачами та два витратоміра. На виході модуля підключаються магнітні пускачі.

Аналогові входи: Для підключення до модуля аналогових входів BMX AMI 0410 використовується датчик тиску та два датчики температури. Вони мають уніфікований сигнал 4...20 мА.

Аналогові виходи: Для підключення до модуля аналогових виходів BMX AMO 0410 використовуються два частотних перетворювача для управління двигуном і також два електро-пневматичні перетворювачі з уніфікованим сигналом 4...20 мА.

У схемі підключення контрольно-вимірювальних приладів та виконавчих механізмів до ПЛК для процесу сушки молока були використані наступні елементи:

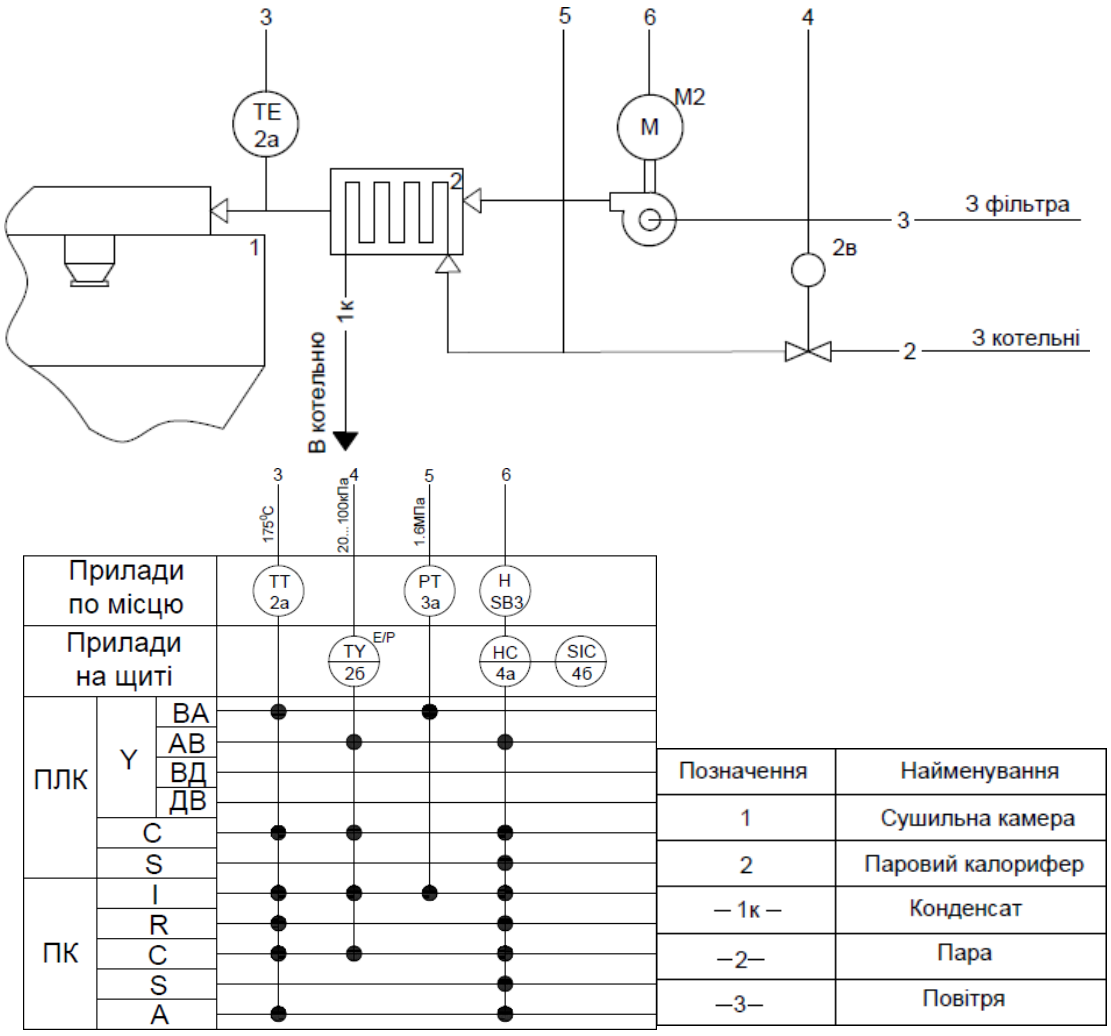
1. Автоматичні вимикачі в силових ланцюгах (QF1-QF9): Вони використовуються для включення та відключення певних гілок або автоматичного відключення у разі короткого замикання.
2. Блоки живлення (БЖ1-БЖ4): Ці блоки використовуються для перетворення змінної напруги на постійну, що потрібна для живлення датчиків, кнопок та магнітних пускачів.

У схемі підключення контрольно-вимірювальних приладів та виконавчих механізмів до ПЛК процесу сушки молока були використані такі позначення:

1. Нумерація відгалужень, по яких проходить пневматичний сигнал від компресора до клапана та електро-пневматичного перетворювача, починається з 001 (001-005).
2. Нумерація провідників, по яких протікає сигнал від датчиків до ПЛК, починається з 100 (100-115).
3. Нумерація провідників, по яких протікає сигнал управління від ПЛК до електро-пневматичних перетворювачів, починається з 200 (200-207).
4. Нумерація провідників, по яких протікає змінний струм, починається з 800 (800-829).
5. Нумерація провідників, по яких протікає постійний струм, починається з 900 (900-927).

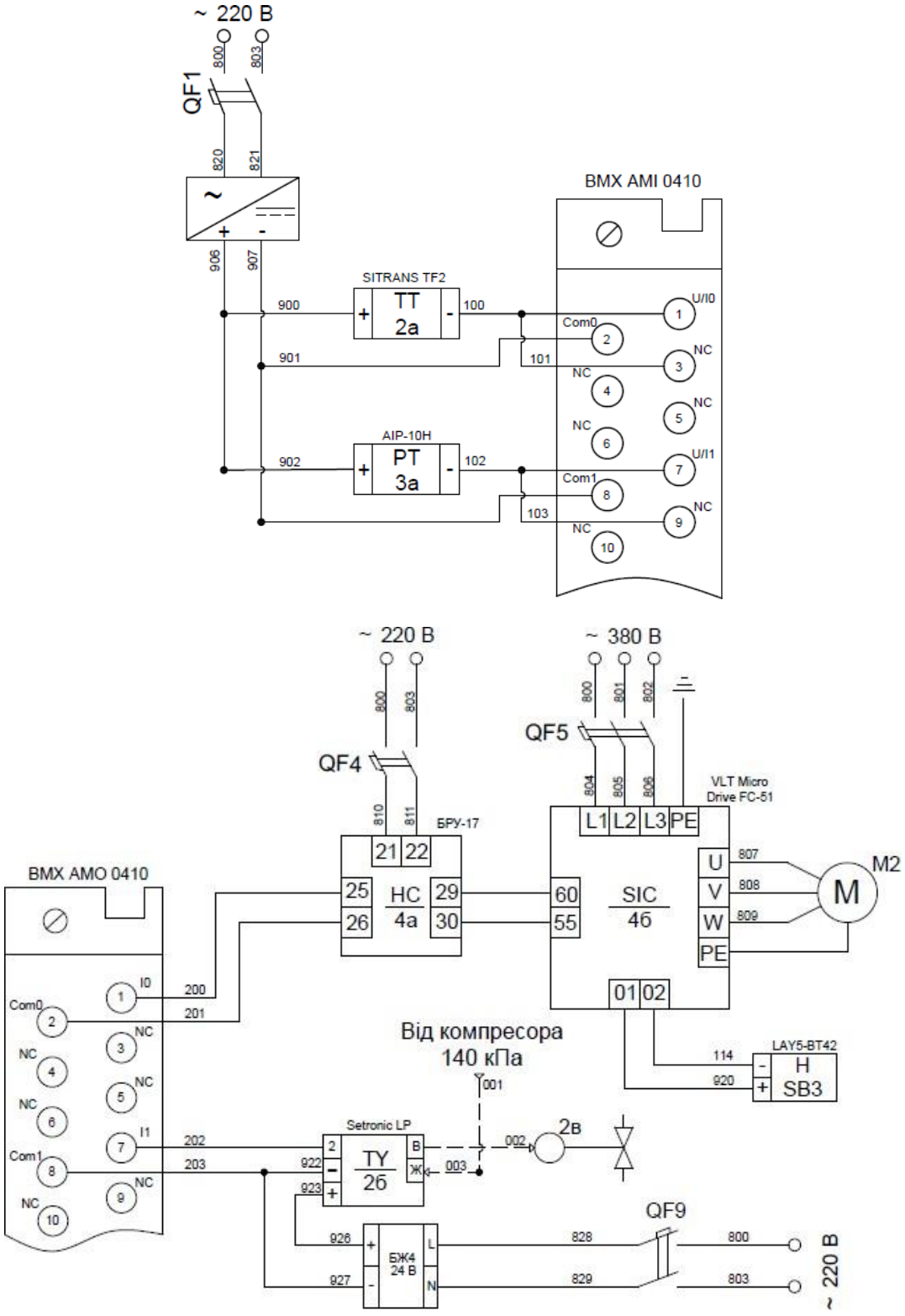
3.2. Розширені схеми підключення для окремого контуру

Контур регулювання температури повітря в трубопроводі за допомогою подачі пари

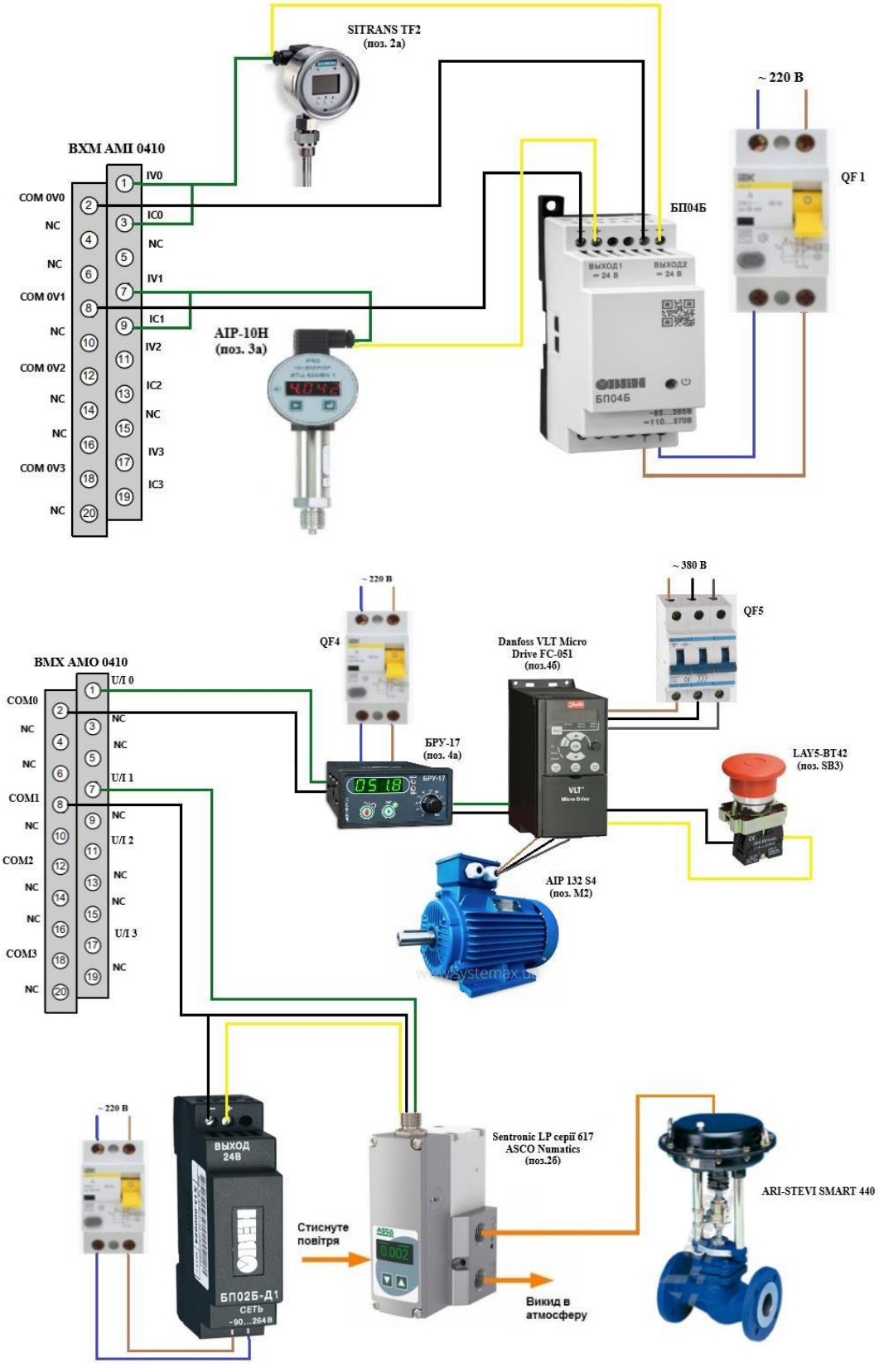


Позначення	Найменування
1	Сушильна камера
2	Паровий калорифер
— 1к —	Конденсат
—2—	Пара
—3—	Повітря

Рис. 3.5 Функціональна схема автоматизації контуру регулювання температури повітря в трубопроводі за допомогою подачі пари



На рисунку 3.6 представлена розширена схема підключення до модулів ПЛК Schneider Electric M340 датчика температури і тиску, перетворювача, пневматичного клапана і частотного перетворювача.



На рисунку 3.6 представлена розширена схема підключення до модулів ПЛК Schneider Electric M340 датчика температури і тиску, перетворювача, пневматичного клапана і частотного перетворювача.

Контур регулювання температури повітря в трубопроводі за допомогою

подачі пари працює згідно такої схеми:

Для підключення датчиків температури SITRANS TF2 (поз. 2а) і тиску AIP-10H (поз. 3а) використовується струмова петля, яка підключається до модуля аналогових входів BMX AMI 0410. Для живлення датчиків використовується блок живлення БП04Б з напругою 24 В, який підключений до мережі за допомогою автоматичного вимикача QF1.

Пневматичний клапан ARI-STEVI SMART 440 (поз. 2в) підключається до електро-пневмо перетворювача Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics (поз. 2б), який з'єднаний з аналоговим вихідним модулем BMX AMO 0410 на 7 і 8 каналах. Цей перетворювач перетворює пропорційний електричний сигнал 4...20 мА на пропорційний пневматичний сигнал 20...100 кПа.

До модуля BMX AMO 0410 також підключається частотний перетворювач. Сигнал 4...20 мА з модуля передається на блок ручного управління БРУ-17 (поз. 4а), який живиться від мережі за допомогою автоматичного вимикача QF4. Потім сигнал передається до частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC-051 (поз. 4б), який керує двигуном AIP 132 S4 (поз. M2) і також живиться через автоматичний вимикач QF5.

На схемі підключення також зображена кнопка LAY5-BT42 (поз. SB3) для аварійної зупинки, яка встановлюється як на місці, так і на щиті.

Розділ 4. Креслення встановлення технічного засобу

У моїй роботі був застосований датчик тиску AIP-10H в корпусі НГ-06 для контролю тиску пари в трубопроводі. Цей трубопровід служить для подачі пари з котельні до парового калорифера, який використовується для нагріву повітря. Нагріте повітря потім поступає до сушильної установки.

На рисунку 4.1 показано зовнішній вигляд цього датчика.

Рис. 4.1 Зовнішній вигляд датчика тиску AIP-10H в корпусі НГ-06

					Кваліфікаційна робота		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Іванов М. В.			Розробка системи автоматизації процесу сушіння молока	Літ.	Арк. 47 / Акрушів 5
Перевір.		Романов М. С.					
Зав.кафедр		Смітюх Я.В.				НУХТ АК-4-1	
Секр. ЕК		Проскурка Є.С.					

Конструкція та принцип роботи датчика тиску AIP-10H

Датчик AIP-10H складається з двох основних компонентів: первинного перетворювача і електронного приладу. Він призначений для вимірювання тиску у середовищі під надлишковим тиском. Первинний перетворювач розташований у камері і зазнає деформації мембрани від дії тиску, що призводить до зміни опору на вбудованих тензорезисторах. Ця зміна опору відображається у вихідному сигналі напруги.

Електронний прилад перетворює цей аналоговий сигнал на цифровий код, що відповідає вимірюваному тиску. Потім цей цифровий сигнал може бути перетворений в уніфікований струмовий сигнал або виготовлений на основі HART-протоколу.

З конструктивної точки зору, датчик AIP-10H має металевий корпус, в якому розташований модуль електронного приладу. На одному кінці корпусу знаходиться різьбовий штуцер з первинним перетворювачем, а на іншому кінці є герметична вилка.

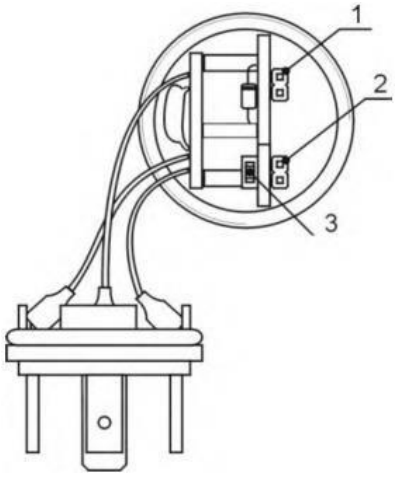


Рис. 4.2 Вид згори на електронний пристрій зі знятою кришкою і виделкою зовнішнього підключення

Наведені позначення на рисунку 4.2 означають наступне:

1. перемичка (джампер) для блокування запису за допомогою протоколу HART;

2. перемичка (джампер) для блокування геркона при встановленні "нульового" значення;
3. кнопка для встановлення "нульового" значення.

Для доступу до органів управління та з'єднання корпусу НГ-06 використовується вилка зовнішнього підключення, яка встановлюється шляхом відвертання пластмасової гайки кріплення та зняття вилки з кільцем ущільнювача.

Додатково, датчик тиску АІР-10Н в корпусі НГ-06 може бути комплектований індикаторним пристроєм ІТЦ 420(Ех)/М4-1 (або ІТЦ 420(Ех)/М4-2). Цей пристрій використовує 4-розрядний світлодіодний індикатор для відображення вимірюваного значення тиску. Індикатор може обертатись на 330°.

На зображенні 4.3 показано зовнішній вигляд індикаторних пристроїв ІТЦ 420(Ех)/М4-1 та ІТЦ 420(Ех)/М4-2.

Параметри :

- основна похибка - ±0,1%, ±0,2%;
- температурний діапазон експлуатації - -50…+70 ^{0}C;
- червона СД-індикація 8 мм;
- можливість обертання індикатора на 330°.

Монтаж датчика

АІР-10Н монтуються на посадочне місце в положенні, зручному для експлуатації та обслуговування.

При виборі місця установки АІР-10Н необхідно враховувати наступне:

1. місця установки АІР-10Н повинні забезпечувати зручні умови для обслуговування та демонтажу;
2. температура, відносна вологість навколишнього повітря, параметри вібрації не повинні перевищувати допустимі значення;
3. Напруженість магнітних полів, що виникають від зовнішніх джерел змінного струму з частотою 50 Гц, не повинна перевищувати 400 А/м.
4. Для забезпечення надійної роботи АІР-10Н в умовах суворого електромагнітного оточення рекомендується використовувати кручені пари або екранировані кручені пари для електричних з'єднань. При цьому екран необхідно заземлити.

Електричний монтаж перетворювачів повинен виконуватися відповідно до наведених вище схем електричних підключень.

Сполучні трубки від місця відбору тиску до АІР-10Н повинні бути прокладені найкоротшим шляхом. Довжина лінії повинна бути достатньою, щоб температура середовища, яке надходить в АІР-10Н, не перевищувала максимально допустиму робочу температуру. Рекомендована максимальна довжина лінії - 15 метрів.

Сполучні лінії повинні мати односторонній нахил (не менше 1:10) від місця відбору тиску до АІР-10Н, якщо вимірювальне середовище - газ, або вниз до АІР-10Н, якщо вимірювальне середовище - рідина.

Перед з'єднанням сполучних ліній до датчика тиску АІР-10Н слід ретельно продувати, щоб зменшити можливість забруднення вимірювального блоку датчика. Для продувки з'єднувальних ліній слід використовувати спеціальні пристрої.

З'єднання датчика тиску AIP-10H зі сполучною лінією здійснюється за допомогою монтажних комплектуючих.

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

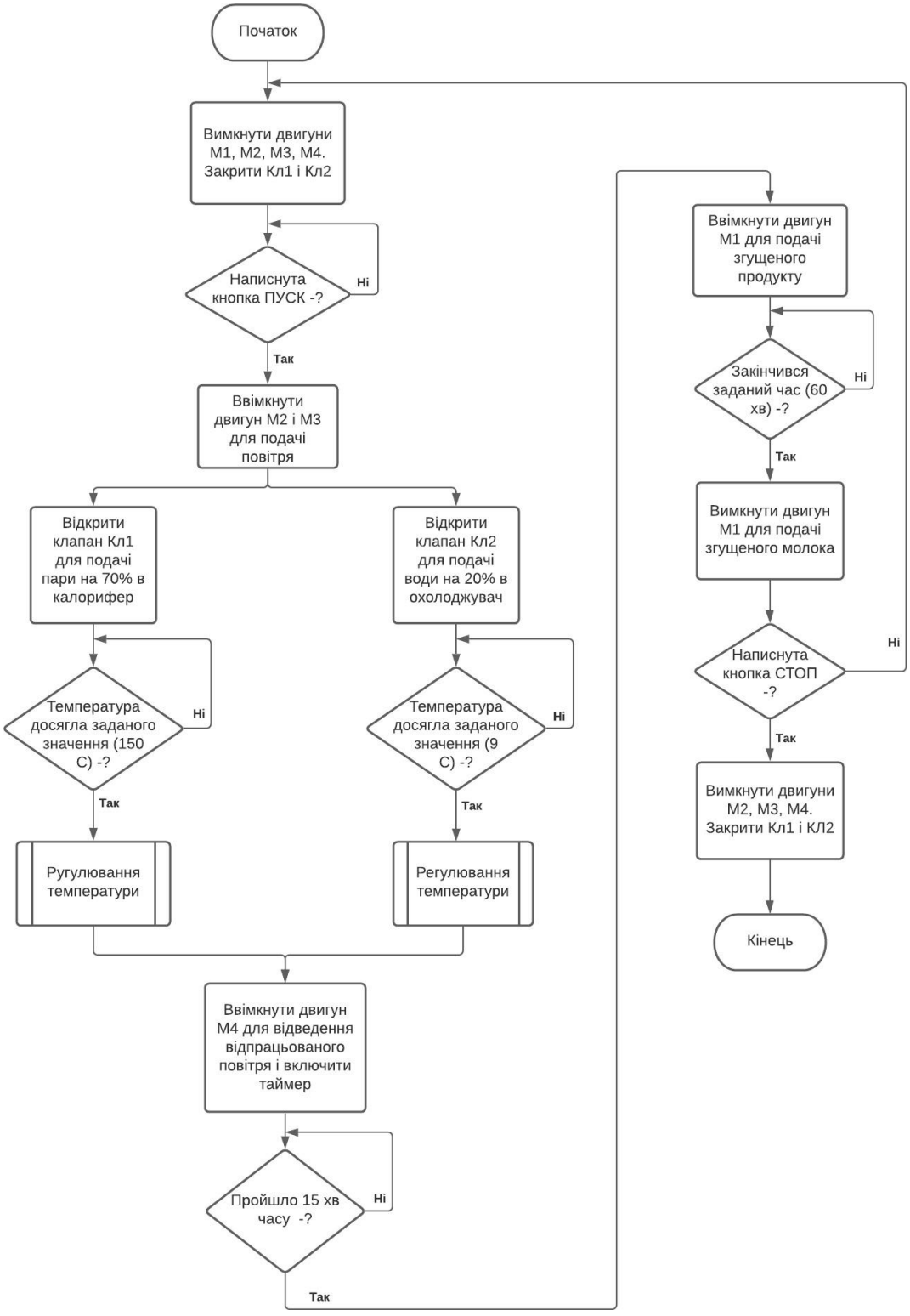
У цьому розділі було розроблено алгоритм для автоматизації процесу сушіння молока, який складається з наступних кроків:

1. Після натискання кнопки "ПУСК" одночасно активуються двигуни М2 і М3.
2. Відкрити клапан Кл1 на 70% і клапан Кл2 на 20%. Зачекати, поки температура в трубопроводах досягне 150°С і 9°С відповідно. Після цього перейти до наступного кроку.
3. Увімкнути регулятори температури і керуючі аналогові клапани (Кл1 і Кл2), щоб підтримувати температуру гарячого повітря в трубопроводі на заданому рівні 175°С, а холодного повітря - на 10°С (діапазон вимірювання датчика - -50...+200°С). Перейти до наступного кроку.
4. Увімкнути двигун М4 для відведення відпрацьованого повітря з сушильної установки і запустити таймер. (1 цикл = 2085 кг/год)
5. Увімкнути двигун подачі згущеного молока М1.
6. Процес сушіння молока триває до досягнення заданого часу (60 хв). Після цього вимкнути двигун М1.
7. Якщо кнопка "СТОП" не натиснута, повторити цикл програми. Якщо кнопка "СТОП" натиснута, вимкнути двигуни М2, М3, М4 і закрити клапани Кл1 і Кл2.

Для кращого розуміння алгоритму управління, розроблена алгоритмічна структура, яка допомагає систематизувати та структурувати обробку інформації. Ця структура також відображає послідовність керуючих

дій,необхідних для нормальної роботи об'єкта автоматизації.

На рисунку 5.1 зображена блок-схема управління процесом сушіння молока.



Зображено блок-схему управління процесом сушіння молока на рисунку 5.1.

Як вказано раніше, для ефективного керування сушильною установкою потрібно скомпонувати ПЛК (програмованого логічного контролера) з наступними підключеннями: 6 дискретних вхідних сигналів, 2 дискретних вихідних сигналів, 3 вхідних аналогових сигналів (4-20мА) і 4 аналогових вихідних сигналів (4-20мА).

Для створення такої конфігурації на базі ПЛК M340 достатньо вибрати наступні компоненти:

- Центральний процесорний модуль (ЦПУ) - підходить BMX P34 2000 для виконання необхідних функцій.
- Модуль змішаного вводу-виводу з 8 дискретними входами і 8 дискретними виходами (BMX DDM 16022).
- Аналоговий модуль з 4 аналоговими входами (BMX AMI 0410).
- Аналоговий модуль з 4 аналоговими виходами (BMX AMO 0410).

Для такої кількості модулів потрібне шасі з 8 посадочними місцями (BMX XBP 0800). Модуль живлення для шасі можна вибрати на 220В, наприклад, BMX CPS 2000. Схема компонування ПЛК зображена на рисунку 5.2.

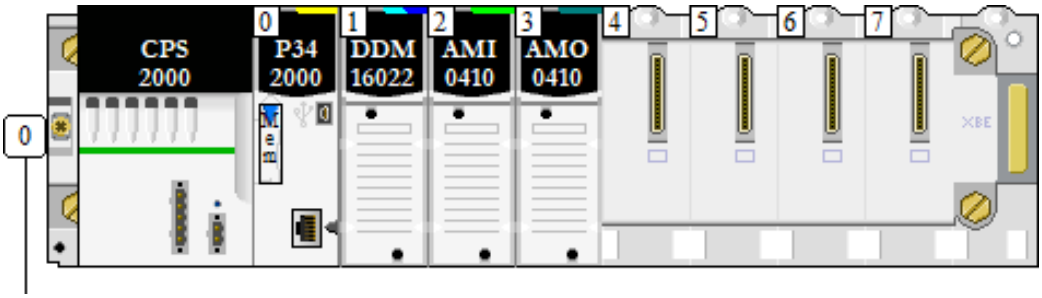


Рис. 5.2 Апаратна конфігурація

Для підключення провідників до аналогових або дискретних модулів вводу/виводу потрібно додатково вибрати клемні колодки, що використовуються для затиску проводів. У даному випадку, для гвинтових затискачів можна вибрати модель BMX FTB 2010. Ці клемні колодки дозволяють надійно закріпити провідники для забезпечення стійкого

підключення до модулів.

Таким чином маємо таку специфікацію засобів автоматизації для ПЛК:

Поз.	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Завод – виготовлювач/ виробник	Одиниця вимір и	Кіль кість
1.	Шасі X80 з Xbus шиною на 8 посадочні місця	BMX XBP 0800	Schneider Electric, Франція	шт	1
2.	Модуль ЦПУ	BMX P34 2000	Schneider Electric, Франція	шт	1
3.	Модуль живлення 100…240 VAC,20 Вт	BMX CPS 2000	Schneider Electric, Франція		
4.	Модуль на 8 дискретних входів та 8 дискретних транзисторних виходів	BMX DDM 16022	Schneider Electric, Франція		
5.	Модуль на 4 аналогових вхідних сигналів	BMX AMI 0410	Schneider Electric, Франція		
6.	Модуль на 4 аналогових вихідних сигналів	BMX AMO 0410	Schneider Electric, Франція		
7.	20 контактна з'ємна колодка з гвинтовими зажимами	BMX FTB 2010	Schneider Electric, Франція	шт	3

Наступним кроком є створення таблиці 5.1, де будуть представлені деталі вхідних та вихідних сигналів ПЛК.

Таблиця 5.1 Відомості вхідних/вихідних сигналів

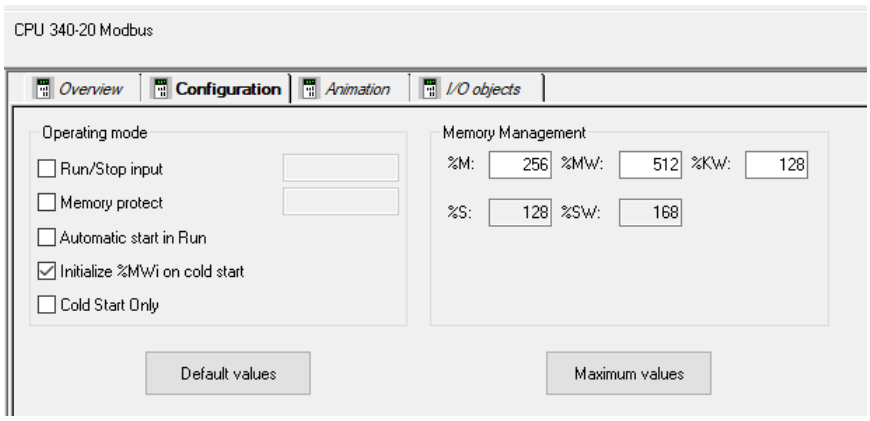
Вхідні сигнали		
Джерело сигналу	Назва змінної UNITY PRO	Адреса
Температура 1	TE_1	%IW0.2.0
Температура 2	TE_2	%IW0.2.2
Тиск	PE	%IW0.2.1
Витрата 1	FE_1	%I0.1.0
Витрата 2	FE_2	%I0.1.3
Аварійна кнопка двигуна М1	SB_1	%I0.1.1
Аварійна кнопка двигуна М2	SB_3	%I0.1.2
Аварійна кнопка двигуна М3	SB_4	%I0.1.4
Аварійна кнопка двигуна М4	SB_5	%I0.1.5
Вихідні сигнали		
Клапан подачі пари в калорифер	LVS_1	%QW0.3.1
Клапан подачі води в охолоджувач	LVS_2	%QW0.3.2
Двигун М1	M_1	%Q0.1.17
Двигун М2	HC_2	%QW0.3.0
Двигун М3	HC_3	%QW0.3.3
Двигун М4	M_4	%Q0.1.21

Відповідно до цього, в програмі UNITY PRO формуються змінні введення/виведення.

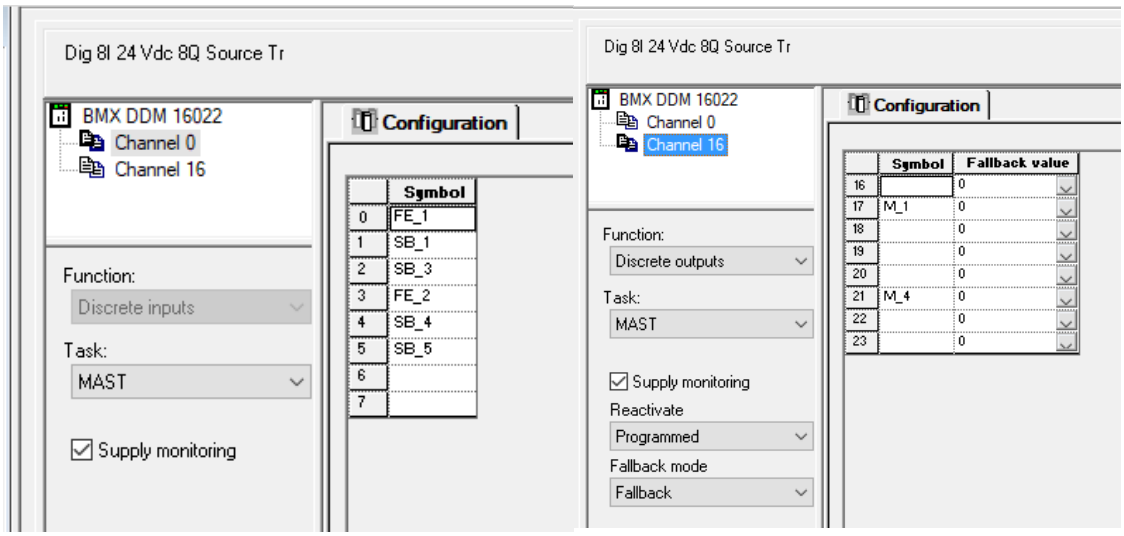
FE_1	EBOOL	%I0.1.0		Витратомір-лічильник для молока
SB_1	EBOOL	%I0.1.1		Кнопка аварійної зупинки М1
SB_3	EBOOL	%I0.1.2		Кнопка аварійної зупинки М2
FE_2	EBOOL	%I0.1.3		Витратомір-лічильник для води
SB_4	EBOOL	%I0.1.4		Кнопка аварійної зупинки М3
SB_5	EBOOL	%I0.1.5		Кнопка аварійної зупинки М4
TE_1	INT	%IW0.2.0		Датчик температури гарячого повітря
PE	INT	%IW0.2.1		Датчик тиску
TE_2	INT	%IW0.2.2		Датчик температури холодного повітря
M_1	EBOOL	%Q0.1.17		Двигун М1 для подачі молока
M_4	EBOOL	%Q0.1.21		Двигун М4 для відведення повітря
HC_2	INT	%QW0.3.0		Двигун М2 для подачі повітря
LVS_1	INT	%QW0.3.1		Клапан подачі пари
LVS_2	INT	%QW0.3.2		Клапан подачі води
HC_3	INT	%QW0.3.3		Двигун М3 для подачі повітря

Рис. 5.3 Перелік змінних вводу/виводу в UNITY PRO

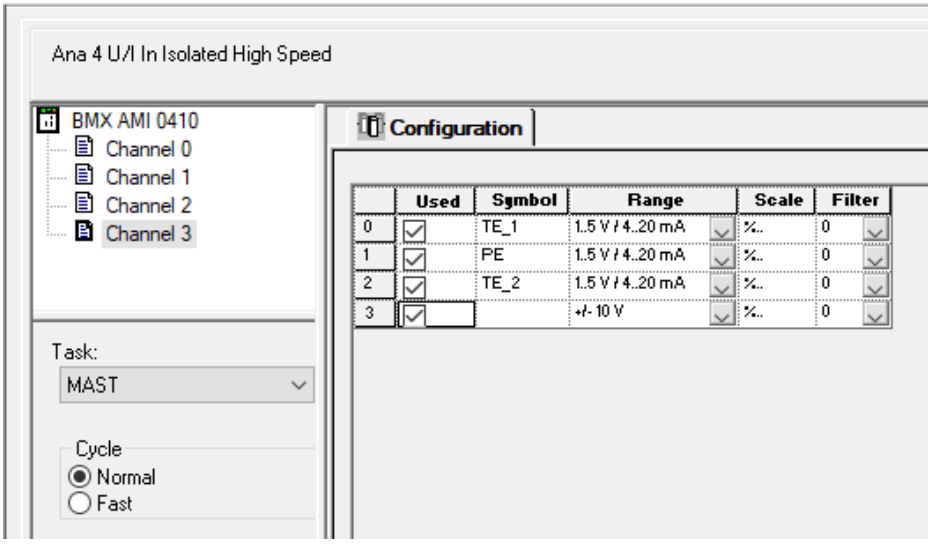
Рисунки 5.4-5.7 демонструють вікна налаштування для модуля ЦПУ, модулів дискретного введення/виведення та модулів аналогового введення/виведення.



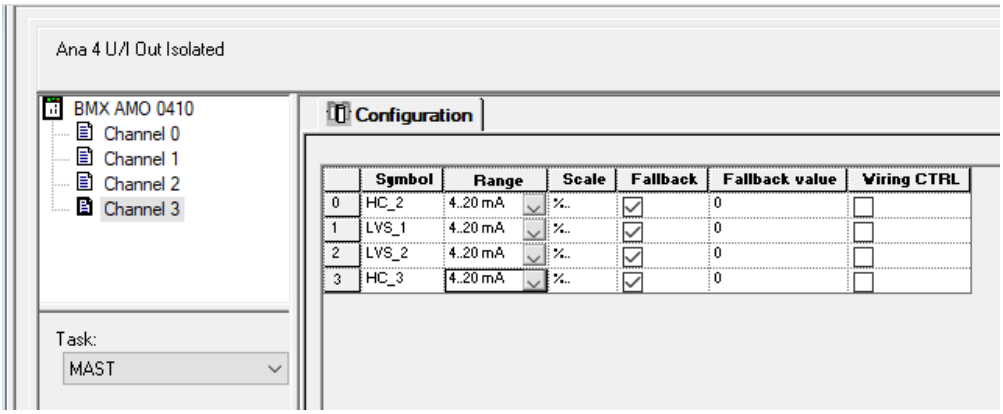
На зображенні 5.4 показано налаштування процесорного модуля.



На рисунку 5.5 представлено налаштування модуля BMX DDM 16022.



На рисунку 5.6 показано налаштування модуля BMX AMI 0410.



На рисунку 5.7 представлен процес конфігурації модуля BMX AMO 0410.

Технологічні змінні

Для відповідності вхідних та вихідних сигналів ПЛК технологічним вимогам, потрібно створити технологічні змінні.

FE_1M	REAL			Витратомір-лічильник для молока (внутр)
FE_2M	REAL			Витратомір-лічильник для води (внутр)
HC_2M	REAL			Двигун М2 для подачі повітря (масшт)
HC_3M	REAL			Двигун М3 для подачі повітря (масшт)
LVS_1M	REAL			Клапан подачі пари (масшт)
LVS_2M	REAL			Клапан подачі води (масшт)
M_1M	BOOL			Двигун М1 для подачі молока(внутр)
M_4M	BOOL			Двигун М4 для відведення повітря (внутр)

PE_M	REAL			Датчик тиску (масшт)
SB_1_M	BOOL			Кнопка аварійної зупинки М1 (внутр)
SB_3_M	BOOL			Кнопка аварійної зупинки М2 (внутр)
SB_4_M	BOOL			Кнопка аварійної зупинки М3 (внутр)
SB_5_M	BOOL			Кнопка аварійної зупинки М4 (внутр)
SB_StartM	BOOL			Кнопка ПУСК (внурт)
SB_StopM	BOOL			Кнопка СТОП (внутр)

Рис. 5.8 Вікно технічних змінних в UNITY PRO.

Масштабування та перетворення входів/виходів

На наступному зображенні представлена секція "INPUTS", де здійснюється масштабування вхідних аналогових змінних з використанням функціонального блоку "SCALING".

```
(*аналогові входи*)

SCALING_TE_1 (IN := INT_TO_REAL(TE_1),
        PARA:=SCALE_PARA_TE_1,
        OUT=>TE_1M); (*масштабування температури гарячого повітря*)

SCALING_TE_2 (IN := INT_TO_REAL(TE_2),
        PARA:=SCALE_PARA_TE_2,
        OUT=>TE_2M); (*масштабування температури холодного повітря*)

SCALING_PE_1 (IN := INT_TO_REAL(PE),
        PARA:=SCALE_PARA_PE_1,
        OUT=>PE_M); (*масштабування тиску пари*)
```

На рисунку 5.9 показано процес масштабування вхідних аналогових сигналів.

Для налаштування процесу масштабування за допомогою функціонального блоку SCALING необхідно використовувати змінну типу PARA_SCALE.

Name	Type	Address	Value	Comment
SCALE_PARA_PE_1	Para_SCALING			
in_min	REAL		0.0	Немасштабований мінімум
in_max	REAL		10000.0	Немасштабований максимум
out_min	REAL		0.004	Масштабований мінімум
out_max	REAL		2.5	Масштабований максимум
clip	BOOL		FALSE	Якщо 1, то лімітувати по виходу
SCALE_PARA_TE_1	Para_SCALING			
in_min	REAL		0.0	Немасштабований мінімум
in_max	REAL		10000.0	Немасштабований максимум
out_min	REAL		-50.0	Масштабований мінімум
out_max	REAL		200.0	Масштабований максимум
clip	BOOL		FALSE	Якщо 1, то лімітувати по виходу
SCALE_PARA_TE_2	Para_SCALING			
in_min	REAL		0.0	Немасштабований мінімум
in_max	REAL		10000.0	Немасштабований максимум
out_min	REAL		-50.0	Масштабований мінімум
out_max	REAL		200.0	Масштабований максимум
clip	BOOL		FALSE	Якщо 1, то лімітувати по виходу

На рисунку 5.10 зображено налаштування змінної PARA_SCALE відповідно до поставленої задачі.

Для масштабування аналогових виходів я використовував просту формулу.

```
(*для аналогових виходів*)
(*клапан 0-100% -> 0-10000%*)
        LVS_1:=real_to_int(LVS_1M*100.0);
        LVS_2:=real_to_int(LVS_2M*100.0);
        HC_2:=real_to_int(HC_2M*100.0);
        HC_3:=real_to_int(HC_3M*100.0);

(*для дискретних виходів*)
M_1:=M_1M;
M_4:=M_4M;
```

Рис. 5.11 Масштабування вихідних аналогових сигналів

Реалізація контурів регулювання з використання PI_B

Реалізація контуру регулювання температурою гарячого і холодного повітря на мові ST показаний нижче. Налаштування змінних контуру показано на рисунку 5.12.

У програмі застосовується періодичний виклик 1 раз в секунду за допомогою використання функціонального блоку SAMPLETM. Режим слідкування потрібний для можливості зміни значення виходу на виконавчий механізм безпосередньо з програми.

```
(*реалізації контуру регулювання гарячого повітря*)

TC1_SMPL (t#1s,0);(*генератор імпульсів 1с*)
TC1(EN:=TC1_SMPL.Q,(*викликати раз в секунду*)
        PV:=TE_1M,(*дійсне масштабування температури*)
        SP:=TE_1_SP,(*задане значення*)
        MAN_AUTO:=TC1_AUTO,(*перемикач руч/авт*)
        PARA:=TC1_PARA,(*параметри регулювання*)
        TR_I:=LVS_1M,(*значення режимуслідкування = значення каналу*)
        TR_S:=TC1_TRON,(*включення режиму слідкування*)
        OUT:=LVS_1M);(*значеня на ВМ*)


(*реалізації контуру регулювання холодного повітря*)

TC2_SMPL (t#1s,0);(*генератор імпульсів 1с*)
TC2(EN:=TC2_SMPL.Q,(*викликати раз в секунду*)
        PV:=TE_2M,(*дійсне масштабування температури*)
        SP:=TE_2_SP,(*задане значення*)
        MAN_AUTO:=TC2_AUTO,(*перемикач руч/авт*)
        PARA:=TC2_PARA,(*параметри регулювання*)
        TR_I:=LVS_2M,(*значення режимуслідкування = значення каналу*)
        TR_S:=TC2_TRON,(*включення режиму слідкування*)
        OUT:=LVS_2M);(*значеня на ВМ*)
```

На рисунку 5.12 показана реалізація контуру регулювання температури гарячого і холодного повітря.

Name	Type	Address	Value	Comment
TC1_PARA	Para_PI_B			
id	UINT			використовується для алгоритму автопідстройки
pv_inf	REAL		-50.0	обмеження за мінімумом вхідної величини
pv_sup	REAL		200.0	обмеження за максимумом вхідної величини
out_inf	REAL		0.0	обмедення за мінімумом вихідної величини
out_sup	REAL		100.0	обмеження за максимумом вихідної величини
rev_dir	BOOL		FALSE	0- пряма робота регулятора 1- зворотня робота
en_rcpy	BOOL		FALSE	1- використати вхід RCPY
kp	REAL		1.0	коефіцієнт пропорційності
ti	TIME		t#5s	час інтегрування
dband	REAL		0.1	зона нечутливості
outbias	REAL		50.0	зміщення для П-режиму (при ti=0s)
TC2_PARA	Para_PI_B			
id	UINT			використовується для алгоритму автопідстройки
pv_inf	REAL		-50.0	обмеження за мінімумом вхідної величини
pv_sup	REAL		200.0	обмеження за максимумом вхідної величини
out_inf	REAL		0.0	обмедення за мінімумом вихідної величини
out_sup	REAL		100.0	????????? ?? ?????????? ???????? ????????
rev_dir	BOOL		true	0- пряма робота регулятора 1- зворотня робота
en_rcpy	BOOL		FALSE	1- використати вхід RCPY
kp	REAL		2.0	коефіцієнт пропорційності
ti	TIME		t#5s	час інтегрування
dband	REAL		0.2	зона нечутливості
outbias	REAL			зміщення для П-режиму (при ti=0s)

На рисунку 5.13 показані змінні, що використовуються в контурі регулювання температури гарячого і холодного повітря.

Реалізація логіко-командних задач

У відмінність від постійно виконуваних контурів регулювання та функцій обробки, логіко-командні задачі мають чіткий початок та кінець. У даному випадку для їх реалізації була використана мова ST (Structured Text) та інструкція вибору "CASE".

Мова ST, або структурований текст, є текстовою мовою програмування, яка схожа на PASCAL, C, BASIC та інші подібні мови. Хоча ця мова не є такою виразною, як графічні мови, вона є універсальною і найкраще підходить для складної логіки, обчислень з великою кількістю операцій, циклів та роботи з масивами.

```
TM(TM_Start, TM_Time);

%M102:=%S5;
%M103:=RE(%M102);

                Case StepProg of
        0:
                TC1_AUTO:=false;
                TC2_AUTO:=false;
                AUTO_HC2:=false;
                AUTO_HC3:=false;
                LVS_1M:=0.0;
                LVS_2M:=0.0;
                M_1M:=false;
                HC_2M:=0.0;
                HC_3M:=0.0;
                M_4M:=false;
                        StepProg:=1;
        1:
        if SB_StartM then
                AUTO_HC2:=TRUE;
                AUTO_HC3:=TRUE;
                        StepProg:=2;
        end_if;
```

Рис. 5.14 Реалізація програми користувача

```
        2:
                LVS_1M:=70.0;
                LVS_2M:=20.0;
                        StepProg:=3;
        3:
        if TE_1M>=150.0 AND TE_2M>=9.0 then
                TC1_AUTO:=true;
                TC2_AUTO:=true;
                TC1_TRON:=false;(*виключити режим слідкування регулятора*)
                TC2_TRON:=false;
                TE_1_SP:=175.0;(*записати уставку для наступного кроку*)
                TE_2_SP:=10.0;
                        StepProg:=4;
        end_if;
        4:
        if TE_1M>=175.0 and TE_2M>=10.0 then
                M_4M:=true;
                TM_Start:=true;
                TM_Time:=t#150s;
                        StepProg:=5;
        end_if;
        5:
        if TM.ET=t#30s then
                M_1M:=true;
                        StepProg:=6;
        end_if;


        6:
        if TM.Q then
                M_1M:=false;
                         StepProg:=7;
        end_if;
        7:
        if SB_StopM then
                LVS_1M:=0.0;
                LVS_2M:=0.0;
                HC_2M:=0.0;
                HC_3M:=0.0;
                M_4M:=false;
        else
                StepProg:=0;
        end_if;

END_CASE;
```

Продовження рис. 5.14 Реалізація програми користувача

Налагодження програмного забезпечення на діючому обладнанні або імітаторі ПЛК

Для налагодження роботи регуляторів контурів, необхідно мати зворотний зв'язок з об'єктом управління.

У випадку відсутності фізичного об'єкта управління, можна використовувати імітацію значень технологічної змінної. Для простої імітації можна використовувати аперіодичну ланку першого порядку.

Перевірка контуру може бути проведена на імітаторі, а також на реальному об'єкті управління з використанням ПЛК. Для відображення та перевірки роботи використовується графічний операторський екран з мнемосхемою, що дозволяє зручно відслідковувати процеси та взаємодіяти з системою.

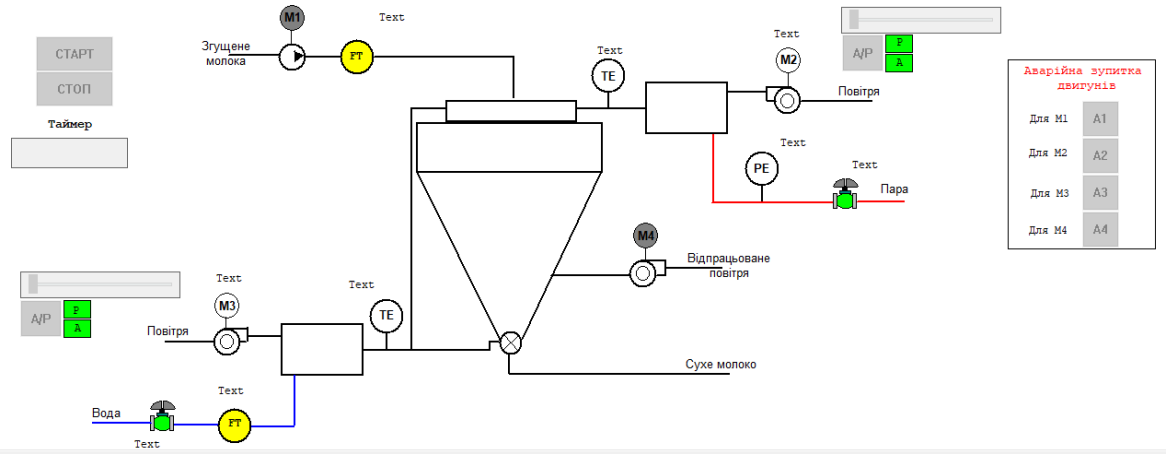


Рис. 5.15 Вигляд операторського екрану в UNITY PRO

У даному випадку для реалізації аперіодичної ланки застосовано готовий функціональний блок LAG_FILTER.

```
%M100:=%S5; (*бітовий меандер з періодом 100 мс*)
%M101:=RE(%M100);(*імпульс кожні 100 мс*)

 (*Імітація температури гарячого повітря*)
LAG_TE_1 (IN := INT_TO_REAL(HC_2), (*вхід об'єкта - значення ВМ*)
                GAIN := 0.01, (*коефіцієнт підсилення*)
                LAG := T#60S);(*стала часу*)
TE_1:= WRITE_INPUT_INT (*функція для запису в %IW*)
        (3000 + (*зміщення відносно початку діапазону*)
        real_to_int(LAG_TE_1.out));(*вихід з аперіодичної ланки*)

LAG_TE_1b (IN := INT_TO_REAL(LVS_1),(*вхід об'єкта - значення ВМ*)
                GAIN := 1.5,(*коефіцієнт підсилення*)
                LAG := T#60S);(*стала часу*)
TE_1:= WRITE_INPUT_INT (*функція для запису в %IW*)
        (3000 + (*зміщення відносно початку діапазону*)
        real_to_int(LAG_TE_1.out+LAG_TE_1b.out));(*вихід з аперіодичної ланки*)

(*Імітація температури холодного повітря*)
LAG_TE_2 (IN := INT_TO_REAL(HC_3),(*вхід об'єкта - значення ВМ*)
                GAIN := 0.8,(*коефіцієнт підсилення*)
                LAG := T#120S);(*стала часу*)
TE_2:=WRITE_INPUT_INT(*функція для запису в %IW*)
        (2800+ (*зміщення відносно початку діапазону*)
        real_to_int(LAG_TE_2.out));(*вихід з аперіодичної ланки*)
```

Рис. 5.16 Імітація температури за допомогою функціонального блоку LAG_FILTER

```
LAG_TE_2b (IN := INT_TO_REAL(LVS_2),(*вхід об'єкта - значення ВМ*)
                GAIN := 0.75,(*коефіцієнт підсилення*)
                LAG := T#120S);(*стала часу*)
TE_2:=WRITE_INPUT_INT(*функція для запису в %IW*)
        (2800+ (*зміщення відносно початку діапазону*)
        real_to_int(LAG_TE_2.out-LAG_TE_2b.out*3.7));(*вихід з аперіодичної ланки*)

(*імітація тиску пари*)
if LVS_1M>=0.1 then
        PE_M:= PE_M + 1.6;
end_if;

if LVS_1M<=0.1 then
        PE_M:= PE_M + 0.4;
end_if;

(*імітація витрати молока і води*)
if M_1M and %M101 then
        FE_1M:= FE_1M + 1.73755712;(*кг*)
end_if;

if LVS_2M>=0.1 and %M101 then
        FE_2M:= FE_2M + 0.005222735; (*м3 *)
end_if;
```

Рис. 5.16 Продовження імітація температури за допомогою функціонального блоку LAG_FILTER

Після цього була реалізована автоматична та ручна робочі режими для двигунів, а також реалізовано кнопки аварійної зупинки для негайного припинення роботи двигунів.

```
(*реалізація авто/руч режиму роботи двигунів*)

if AUTO_HC2 then
        HC_2M:=50.0;
else
        HC_2M:=manual_HC2;
end_if;

if AUTO_HC3 then
        HC_3M:=50.0;
else
        HC_3M:=manual_HC3;
end_if;
```

```
(*реалізація кнопки аварійної зупинки двигунів*)

if SB_1_M then
        M_1M:=false;
end_if;

if SB_3_M then
        HC_2M:=0.0;
end_if;

if SB_4_M then
        HC_3M:=0.0;
end_if;

if SB_5_M then
        M_4M:=false;
end_if;
```

Рис. 5.17 Реалізація кнопок аварійної зупинки двигунів і авто/руч режиму роботи двигунів.

Для перевірки роботи контуру регулювання температури гарячого і холодного повітря було створено сторінку з відображенням плинного стану контуру регулювання та елементами керування.

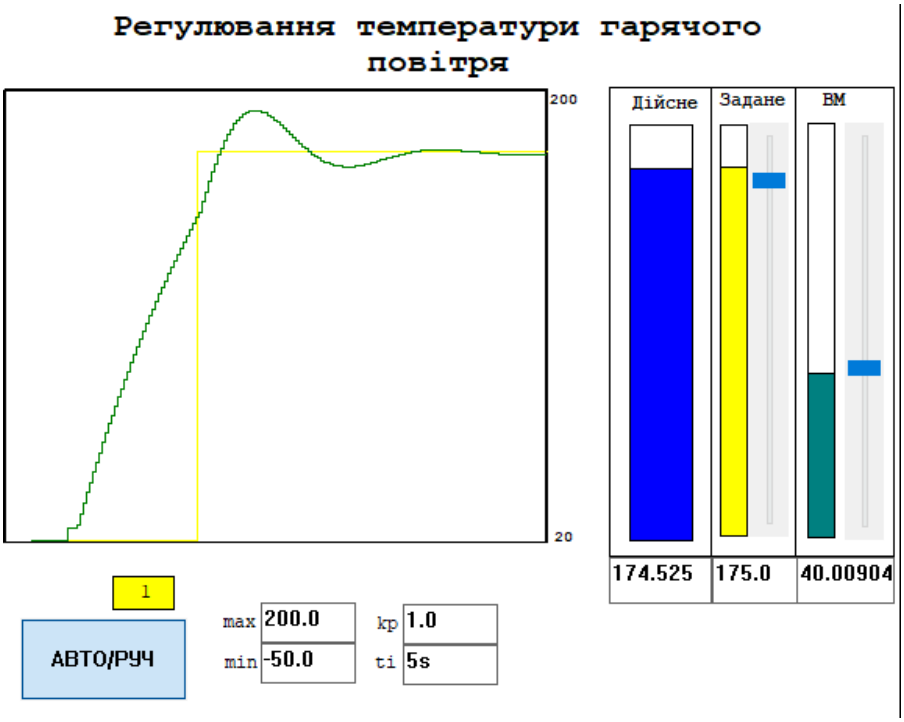


Рис. 5.18 Перевірка роботи контуру регулювання гарячого повітря в автоматичному режимі

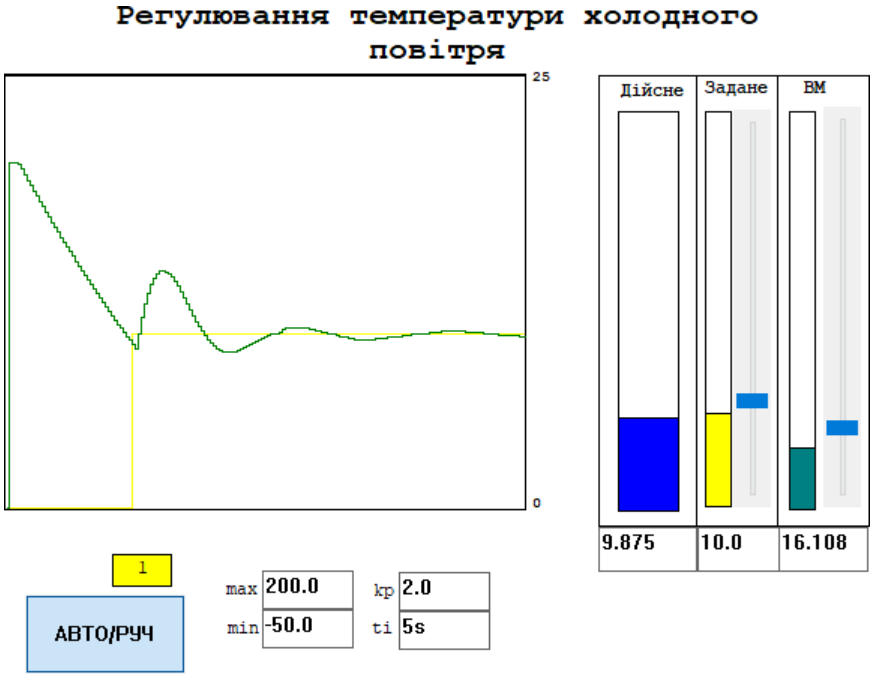


Рис. 5.19 Перевірка роботи контуру регулювання холодного повітря в автоматичному режимі

Розділ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога.

6.1. Перелік вхідних і вихідних сигналів та даних SCADA/HMI.

У молочній промисловості якісні показники сировини, зокрема молока, мають важливе значення для ефективності технологічного процесу. Навіть в найкращих системах час від часу можуть виникати несправності обладнання, зовнішні предмети можуть потрапляти в процес і виникати непередбачені події. Система керування процесом повинна своєчасно реагувати на такі надзвичайні ситуації шляхом сигналізації або блокування обладнання. Проте остаточне рішення має приймати людина. Для контролю над процесом вона повинна мати повну інформацію про подію і можливість ручного дистанційного керування виконавчими механізмами.

Усі ці ситуації повинні передбачати обов'язкову участь людини. В будь-якому випадку необхідно встановити зв'язок, який забезпечуватиме можливість контролю стану процесу та всієї системи з одного боку і забезпечуватиме можливість втручання в процес управління з іншого боку. Це передбачає наявність інтерфейсу між людиною і машинами (HMI - Human-Machine Interface) в системі управління.

Для виконання цих вимог я використовувала програму Vijeo Citect, яка є зрозумілою у використанні та надійною у взаємодії з UNITI PRO. Почала свою роботу з створення нового проекту на основі наявного шаблону. Першим кроком було перенесення технічних змінних з UNITI PRO до Vijeo Citect.

Для запису змінних використовую Редактор проектів .

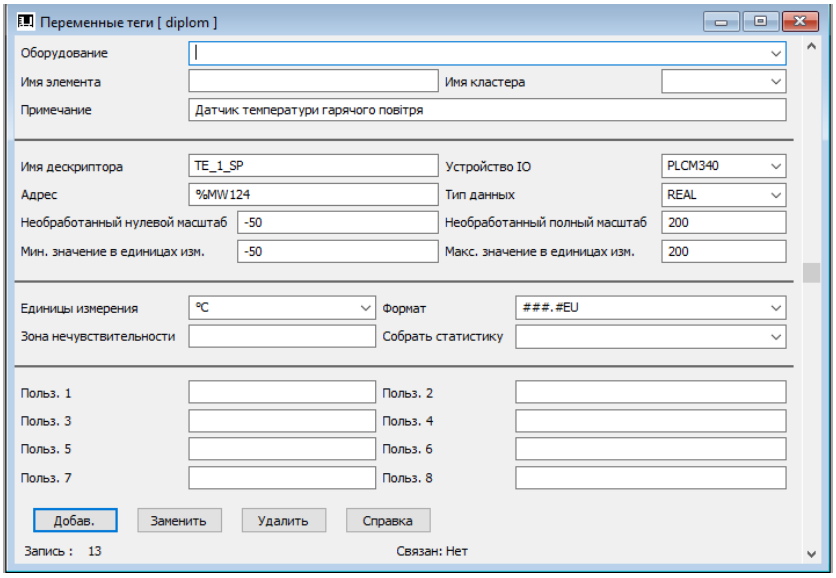


Рис. 6.1 Вікно змінних тегів

У таблиці 6.1 перелічені всі змінні, які використовувалися в цьому проекті.

Таблиця 6.1. Змінні теги

Ім'я змінного тегу	Адреса	Мін. вихідне значення	Макс. вихідне значення	Мін. значення в одиницях вимірю	Макс. значення в одиницях вимірю	Тип даних
1	2	3	4	5	6	7
FE_1M	%MW100	0	10000	0	2085	REAL
FE_2M	%MW102	0	10000	0	10.2	REAL
HC_2M	%MW104	0	10000	0	100	REAL
HC_3M	%MW106	0	10000	0	100	REAL
LVS_1M	%MW108	0	10000	0	100	REAL
LVS_2M	%MW110	0	10000	0	100	REAL
PE_M	%MW112	0	10000	0.004	2.5	REAL
TE_1M	%MW114	0	10000	-50	200	REAL
TE_2M	%MW116	0	10000	-50	200	REAL
manual_HC3	%MW118	0	10000	0	100	REAL
manual_HC2	%MW120	0	10000	0	100	REAL
TE_1_SP	%MW124	0	10000	-50	200	REAL
TE_2_SP	%MW126	0	10000	-50	200	REAL
M_1M	%M0	-	-	-	-	DIGITAL
M_4M	%M2	-	-	-	-	DIGITAL
SB_1_M	%M4	-	-	-	-	DIGITAL
SB_3_M	%M6	-	-	-	-	DIGITAL
SB_4_M	%M8	-	-	-	-	DIGITAL
SB_5_M	%M10	-	-	-	-	DIGITAL
SB_StartM	%M12	-	-	-	-	DIGITAL
SB_StopM	%M14	-	-	-	-	DIGITAL
AUTO_HC2	%M16	-	-	-	-	DIGITAL
AUTO_HC3	%M18	-	-	-	-	DIGITAL

Також в цьому редакторі можна налаштувати параметри трендів і тривог.

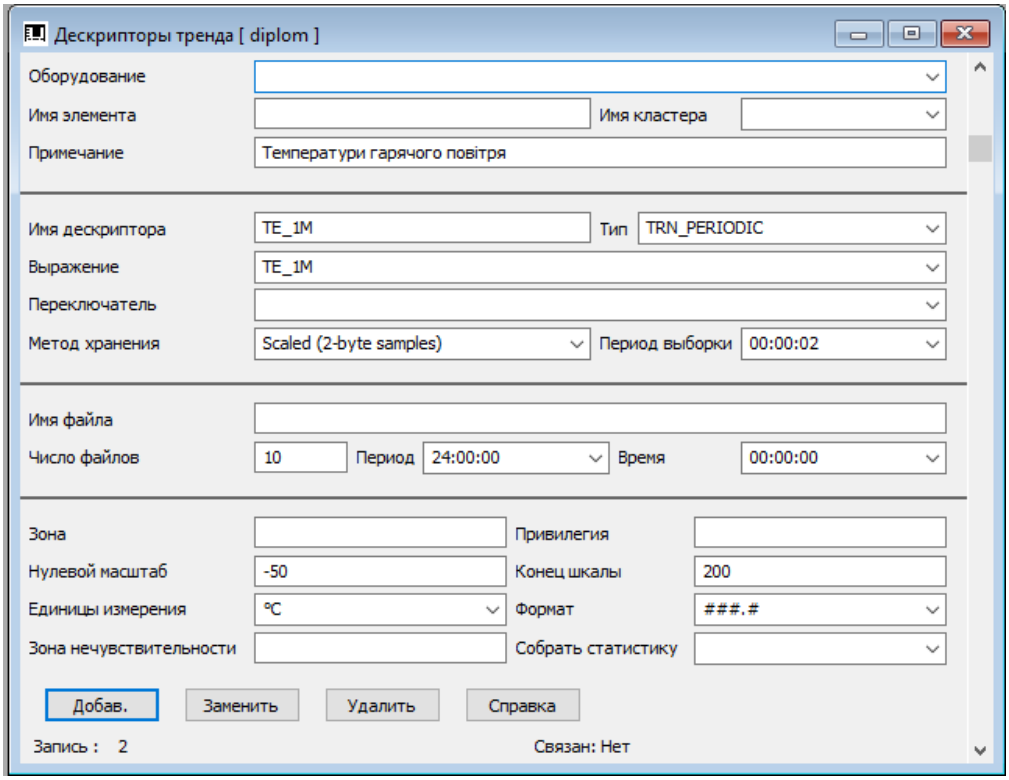


Рис. 6.2 Вікно трендів

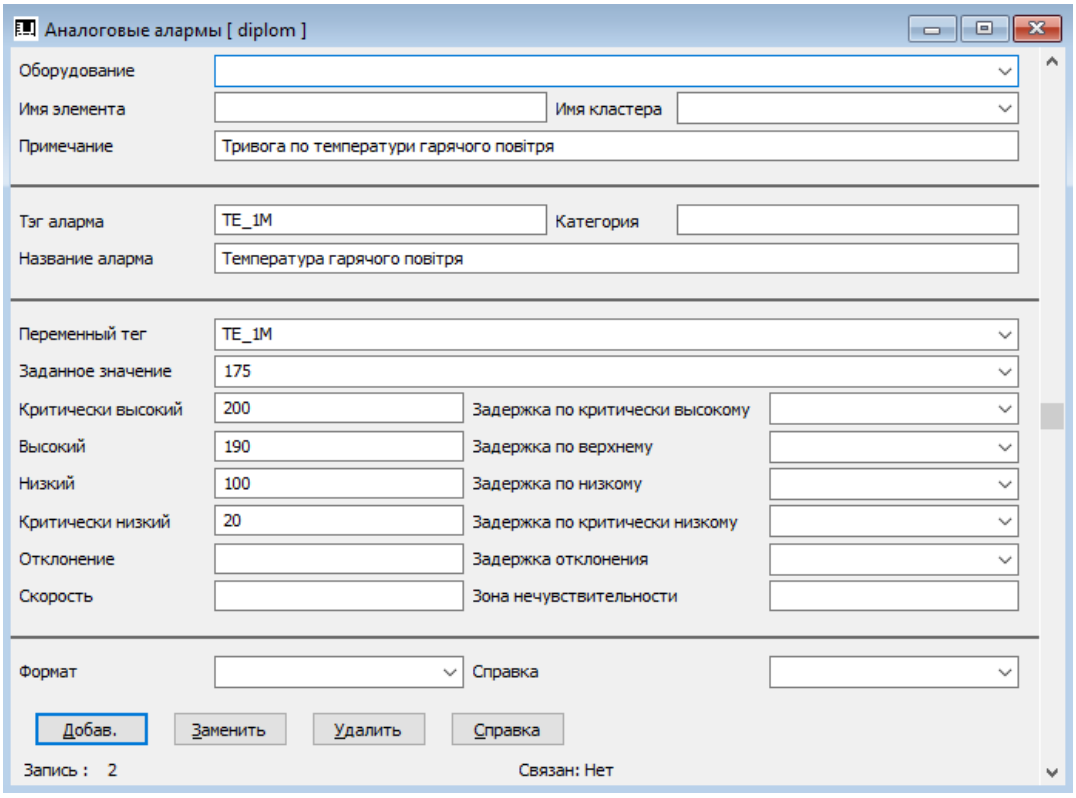
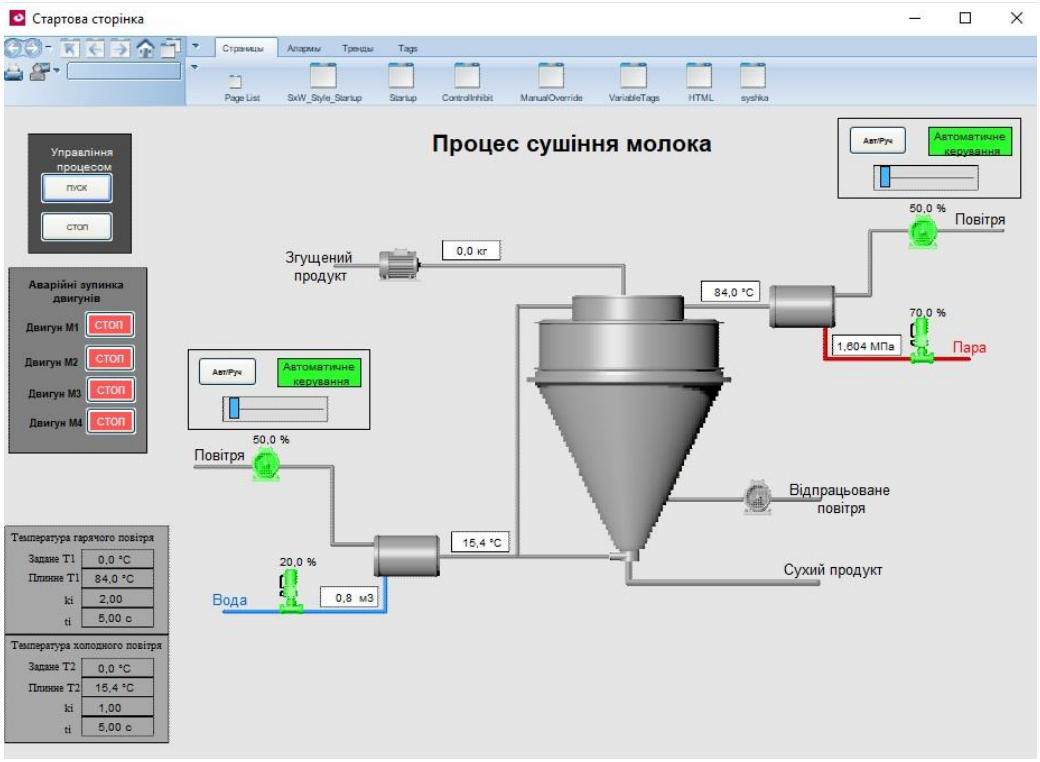


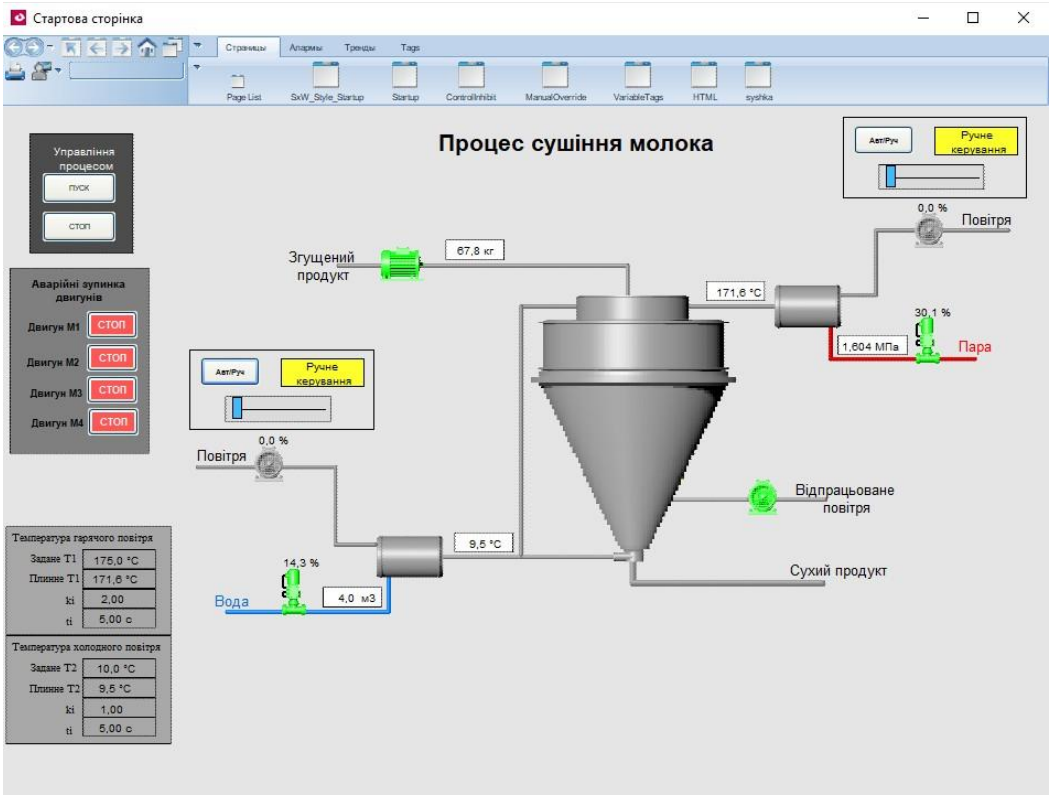
Рис.6.3 Вікно аналогових алармів

6.2 Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора

Автоматичний режим роботи SCADA-системи



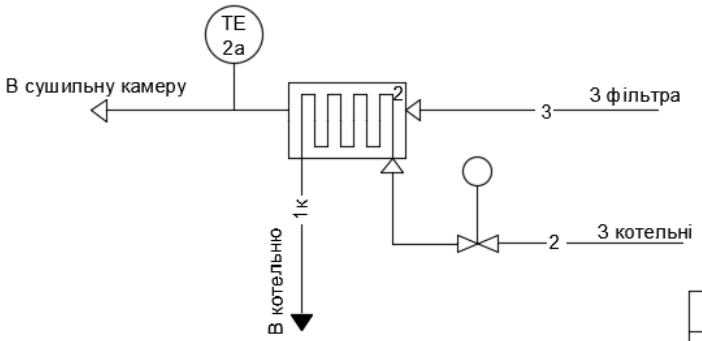
Ручний режим роботи SCADA-системи



Розділ 7. Комп’ютерне моделювання системи автоматичного регулювання

7.1. Постановка задачі дослідження

У процесі виробництва сухого молока виникла потреба в поліпшенні якості регулювання температури гарячого повітря, яке постачається до сушильної установки через трубопровід.



Позначення	Найменування
2	Паровий калорифер
—1к—	Конденсат
—2—	Пара
—3—	Повітря

Рис. 7.1 Контур регулювання температури гарячого повітря в трубопроводі

Метою комп'ютерного моделювання є отримання оптимальних налаштувань ПІ-регулятора для відомої математичної моделі, використовуючи метод Циглера-Нікольсона.

7.2. Вибір об’єкта керування та його математична модель

Застосовуючи поставлену задачу, визначаємо вхідні сигнали, такі як основне збурення і керуючу дію, а також вихідний сигнал - змінну, яку підлягає регулюванню.

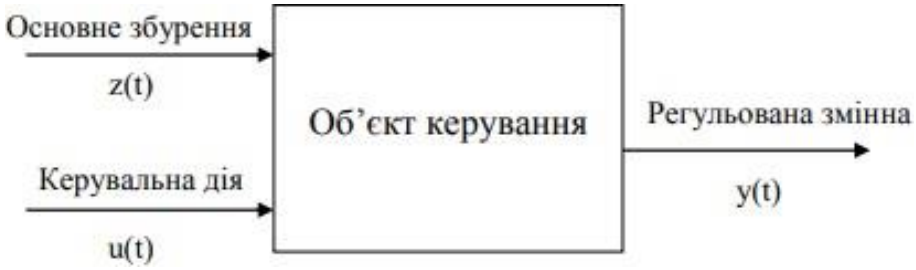


Рис. 7.2 Параметрична схема об’єкта керування

Отже, ми маємо наступні вхідні сигнали:

- Збурення 1: Початкова температура повітря в трубопроводі, виражена у градусах Цельсія.
- Збурення 2: Потік повітря, що надходить до парового калорифера.
- Керуюча дія: Керування клапаном для подачі пари до калорифера, виражена у відсотках від максимального значення (% ХРО).
- Регульована змінна: Температура гарячого повітря в трубопроводі, виражена у градусах Цельсія.

Математична модель парового калорифера буде складатися з аперіодичної ланки першого порядку та ланки підсилення, які матимуть наступний вигляд:

- Аперіодична ланка:

$$W_1(s) = \frac{k}{Ts + 1}$$

- Ланка підсилення

$$W_4(s) = e^{\tau_{3n} s}$$

За допомогою використання пакету прикладних програм Matlab, середовище Simulink побудуємо математичну модель парового калорифера, яка має наступний вигляд:

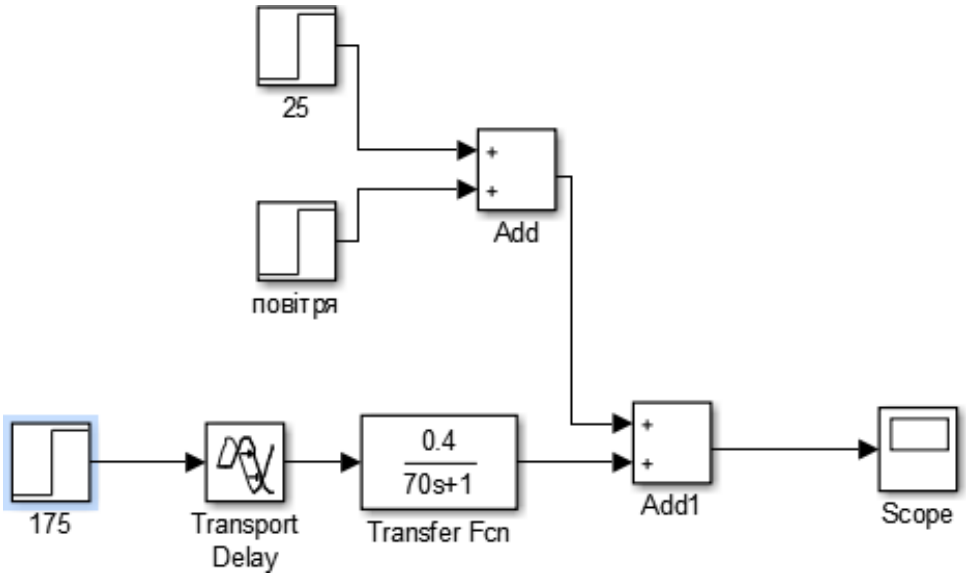


Рис. 7.3 Структурна схема математичної моделі

7.3. Моделювання САР

При побудові математичної моделі парового калорифера з П-регулятором необхідно враховувати, що коефіцієнт підсилення для каналу збурення повинен бути меншим за коефіцієнт підсилення для каналу керування. Таким чином, ми отримуємо наступну структуру моделі:

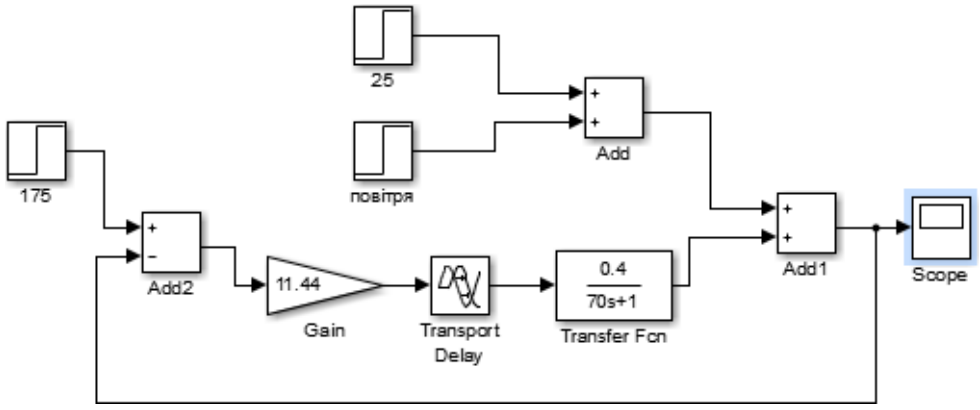


Рис. 7.4 Структурна схема САР

При такому значенні коефіцієнта підсилення (ккр = 11.44), система проявляє перехідний процес в режимі автоколивань з періодом Ткр = 45. Це означає, що система знаходиться на межі стійкості.

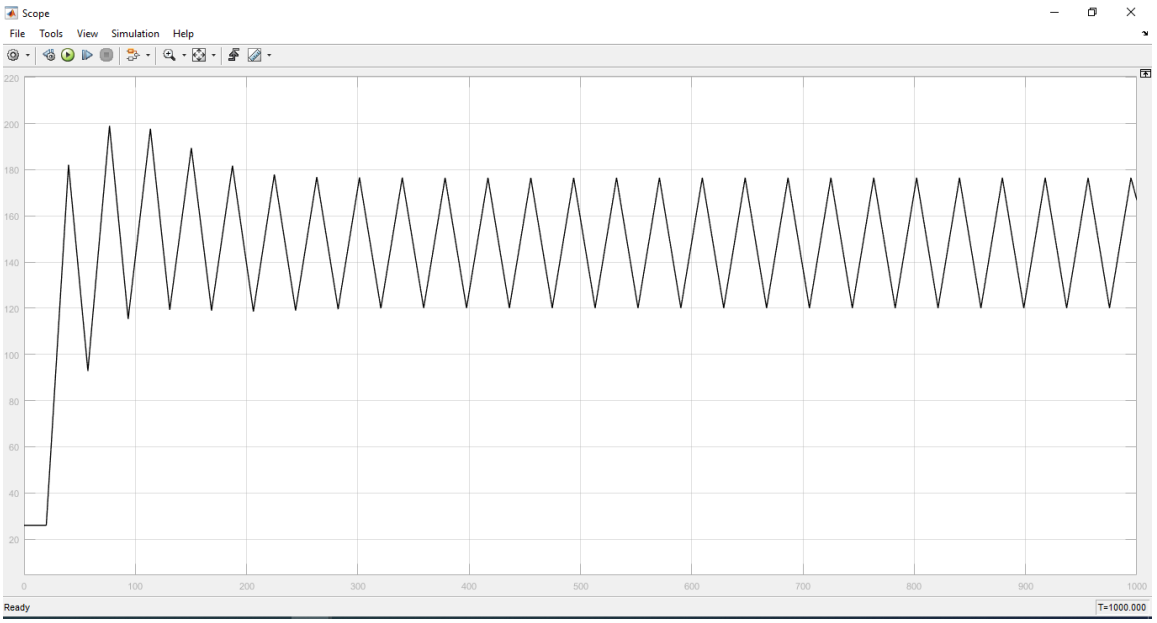


Рис. 7.5 Перехідний процес з використанням П-регулятора

За методом Циглера-Нікольсона оптимальні настройки ПІ-регулятора такі:

- Коефіцієнт підсилення: kp = 0.45 * ккр kp = 0.45 * 11.44 = 5.148
- Час інтегрування: Ti = Ткр / 1.2 Ti = 45 / 1.2 = 37.5 сек.
- Коефіцієнт інтегрування: ki = kp / Ti ki = 5.148 / 37.5 = 0.13728

Знайдені коефіцієнти забезпечують оптимальні настройки ПІ-регулятора. Тому ми доповнюємо існуючу структурну схему відповідним чином.

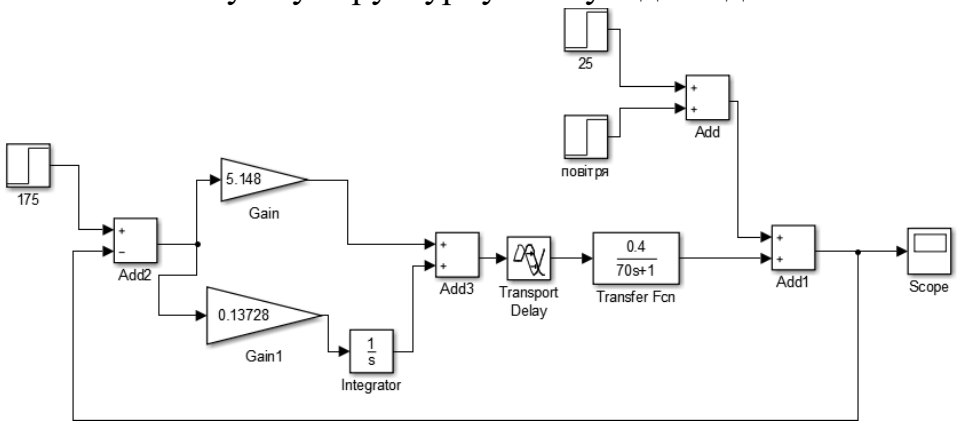


Рис. 7.6 Структурна схема САР з ПІ-регулятором

Отримаємо перехідний процес:

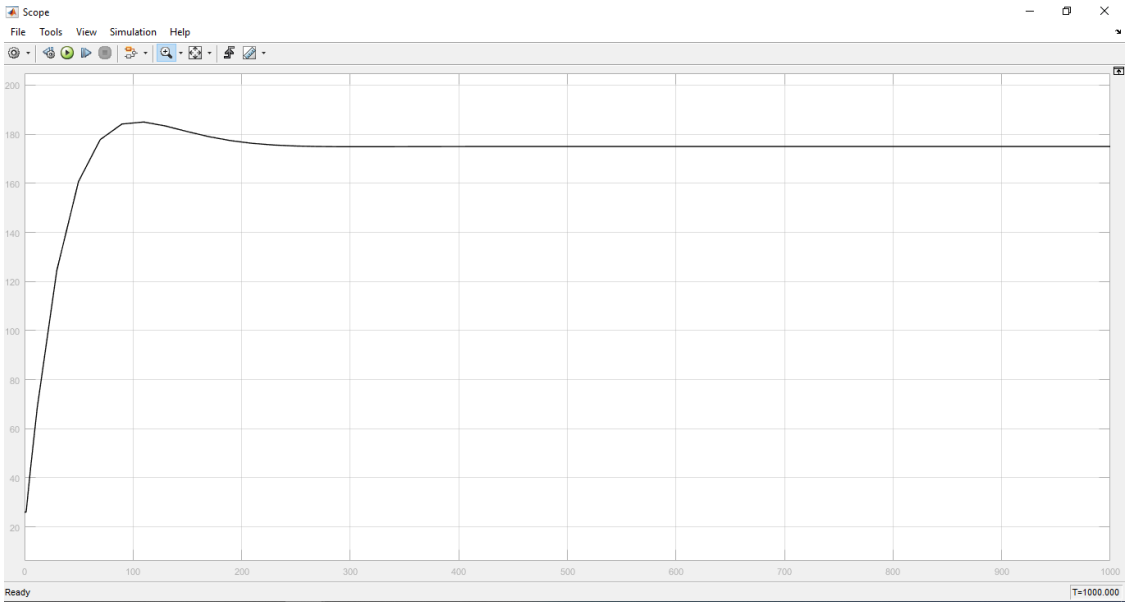


Рис. 7.7 Перехідний процес з використанням ПІ-регулятора

7.4. Опрацювання результатів моделювання та формулювання висновків

Після проведення комп'ютерного моделювання системи автоматичного регулювання температури гарячого повітря в трубопроводі, використовуючи метод Циглера-Нікольсона, були визначені оптимальні настройки ПІ-регулятора. Значення цих налаштувань включають:

- коефіцієнт підсилення (kp) = 5.148,
- час інтегрування (Ti) = 37.5 секунд
- коефіцієнт інтегрування (ki) = 0.13728.

Ці оптимальні настройки забезпечують найкращий критерій якості перехідного процесу. Вони мінімізують динамічну похибку, відсутність перерегулювання і мінімальний час перехідного процесу. Також відсутній третій гармонічний коливання, що ускладнює розрахунок ступеня затухання перехідного процесу.

Висновок

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка системи автоматизації технологічного процесу сушіння молока. У рамках цього дослідження були застосовані передові методи проектування систем автоматизації, а також використані високоточні датчики температури і вологості, широко відомі виконавчі механізми і регулюючі пристрої.

Для керування технологічним процесом сушіння молока була розроблена програма за допомогою промислового логічного контролера Modicon M340. Ця програма забезпечує контроль і реєстрацію різних параметрів, автоматичне та ручне керування виконавчими механізмами та відображення всього процесу на операторському екрані.

Крім того, за допомогою програми Vijeo Citect була розроблена SCADA-програма, яка забезпечує збір, обробку, відображення та архівування інформації про управління процесом сушіння молока в режимі реального часу.

У ході досліджень було проведено аналіз та вдосконалення системи регулювання температури гарячого повітря в трубопроводі, що подається до сушильної установки, з метою покращення якості регулювання.

Список використаної літератури

1) Технологія молока та молочних продуктів : навчальний посібник / Власенко В. В., Т 38 Головко М. П., Семко Т. В., Головко Т. М. – Харківський державний університет харчування та торгівлі. – Харків : ХДУХТ, 2018. – 202с.

2) Бредихин С.А. Технология и техника переработки молока /С.А. Бредихин, Ю.В.Космодемьянский, Ю.В.Юрин. – М.: Колос, 2001. – 354 с.

3) Крусь Г.Н. Технология молока и молочных продуктов / Г.Н. Крусь, А.Г. Храмцов, З.В. Волокитина, С.В. Карпычев; Под ред. А.М. Шалыгиной. – М.: КолосС, 2004. – 455 с.

4) Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі. Навчальний посібник / О. Ю. Співак – Вінниця: ВНТУ, 2014 – 116 с.

5) Єресько Г. О. Технологічне обладнання для молочної промисловості. /Єресько Г. О., Шинкарик М. М., Ворощук В. Я. — Київ: „Інкос". Центр навчальної літератури. 2007.-344 с.

6) Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Т44 Сушильні процеси та установки. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2007. - 76 с.

7) Технологія виробництва молочних продуктів спеціального призначення: підручник/ О.А. Савченко, О.В. Грек, О.О. Красуля. – К.; ЦП «Компринт», 2017.– 218 с.

8) Сучасні технології молочних продуктів: підручник/ О.А. Савченко, О.В. Грек, О.О. Красуля. – К.; ЦП «Компринт», 2017.– 218 с.

9) Молокопереробка. Інновації : підручник / О. В. Грек, О. О. Красуля ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. - Київ : НУХТ, 2017. - 390с.

10) 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.

Проєктування систем автоматизації. Трегуб В.Г. Навч. пос. — К: Видавництво Ліра-К., 2014. — 344с.

12) 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 : уклад. І.В. Ельперін, В.М. Сідлецький, Н.М. Луцька, Є.С. Проскурка. – НУХТ, 2020. – 73 с.

13) Автоматизація виробничих процесів: підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед.— К.: Видавництво Ліра-К, 2015. — 378с.

14) Людино-машинні інтерфуйси: лабораторний практикум для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп̓ютерно-інтегровані технології» освітньо-професійної програми «Автоматизація і комп’ютерно-інтегровані технології» денної і заочної форм навчання / уклад.: О.М. Пупена, В.В. Полупан – К.: НУХТ, 2019.– 136 с.

15) Методи сучасної теорії управління [Текст] : підручник / А.П. Ладанюк Н.М. Луцька, В.Д. Кишенько, Л.О. Власенко, В.В. Іващук. – К.: Видавництво Ліра-К, 2018. – 368 с.