

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

**Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем  
Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління**

«До захисту в ЕК»  
Декан факультету  
\_\_\_\_\_ Форсюк А.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«2» червень 2021 р.

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Ельперін І.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«2» червень 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
на тему: Розробка системи автоматизації процесу варіння пивного суслу на пивзаводі

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

\_\_\_\_\_ Поліщук Сергій Ігорович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Проскурка Євген Сергійович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ Михайленко Б.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)



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 29 квітня 2021 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 Поліщук С.І.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник роботи Проскурка Є.С.

\_\_\_\_\_ (підпис)

## Анотація

Кваліфікаційною роботою є розробка системи автоматизації процесу виробництва сусла для сучасної пивоварні.

В кваліфікаційній роботі представлено опис технологічного процесу, завдання на систему автоматизації, схема автоматизації, специфікація технічних засобів автоматизації, монтажна схема технічного засобу автоматизації – датчика рівня NivoCAP CTR-330-4, схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК та розширена схема підключення технічного засобу автоматизації.

Розроблено алгоритм та програма для управління процесом виробництва сусла для пивзаводу. Програма розроблена для ПЛК M340 від виробника Schneider Electric. Інтерфейс SCADA-програма технологічного процесу розроблено в програмному забезпеченні Citect SCADA2015 та вигляд дисплейної мнемосхеми представлено в записці проекту.

Було поставлено і досліджено задача комп'ютерного моделювання, а саме знаходження оптимальних налаштувань ПІД-регулятора за допомогою метода Циглера - Нікольсона.

**Ключові слова:** сусло, пиво, Citect, NivoCAP, M340.

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

## Annotation

Qualification work is the development of a system for automating the process of wort production for a modern brewery.

The paper presents a description of the technological process, tasks for the automation system, automation scheme, specification of automation hardware, assembly diagram of the automation hardware - level sensor NivoCAP CTR-330-4, connection diagrams of sensors and actuators to the PLC and extended connection diagram of the automation hardware .

An algorithm and program for controlling the wort production process for the brewery have been developed. The program is designed for PLC M340 from the manufacturer Schneider Electric. The interface of the SCADA-program of technological process is developed in the Citect SCADA2015 software and the kind of the display mnemonic is presented in the note.

The problem of computer modeling was set and investigated, namely finding the optimal settings of the PID controller using the Ziegler-Nicholson method.

**Keywords:** mash, beer, Citect, NivoCAP, M340.

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

## Зміст

|  |    |
|--|----|
| <b>Вступ</b> .....   | 7  |
| <b>Розділ 1.</b> Опис об'єкта автоматизації .....  | 9  |
| 1.1. Технологічний опис об'єкта автоматизації.....   | 9  |
| 1.2. Розробка завдання на систему автоматизації .....  | 16 |
| <b>Розділ 2.</b> Система автоматизації .....   | 17 |
| 2.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО) .....               | 17 |
| 2.2. Схема автоматизації.....  | 42 |
| 2.3. Специфікація засобів автоматизації.....   | 45 |
| <b>Розділ 3.</b> Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення .....                              | 47 |
| 3.1. Проектне компонування промислового логічного контролера .....   | 47 |
| 3.2. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК .....  | 52 |
| 3.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру.....   | 54 |
| <b>Розділ 4.</b> Креслення встановлення технічного засобу .....  | 57 |
| <b>Розділ 5.</b> Опис спеціального програмного забезпечення для промислового логічного контролера (алгоритм та програма для ПЛК) ..... | 61 |
| <b>Розділ 6.</b> Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога .....  | 78 |
| 6.1. Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI.....   | 78 |
| 6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора .....   | 80 |
| <b>Розділ 7.</b> Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання ..  | 84 |
| <b>Висновок</b> .....  | 89 |
| <b>Список використаної літератури</b> .....  | 90 |

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

## Вступ

Минуле століття, безсумнівно, було періодом бурхливого розвитку нових технологій та науки. Нове покоління подій та тенденцій дали нам зрозуміти, що передові технології ведуть людство вперед швидше, ніж будь-коли.

Технологічні санітарно-гігієнічні умови виробництва пива, стійкого до біологічного і колоїдного помутніння протягом тривалого часу, мають деякі специфічні особливості. Однак при виробництві стійкого пива слід суворо дотримуватися технології виробництва.

Пиво — слабоалкогольний, висококалорійний, сильногазований напій з характерним хмелевим ароматом і приємним гіркуватим смаком. У пиві міститься вода, етиловий спирт, двооксид вуглецю, білки, вуглеводи, мікроелементи, вітаміни: А, D, Е, В1, В2, В6 і Н (біотин), які зміцнюють нервову систему. Один літр пива покриває 35 % денної потреби у вітаміні В6, 20 % – у вітаміні В2 і 65% – ніацині, який необхідний для розщеплення цукрів і жирних кислот. У цілому в 1л пива міститься 210 мг вітамінів.

Завдяки вмісту вуглекислого газу пиво добре вгамовує спрагу. Пиво – це єдиний напій, до складу якого входить хміль. Завдяки гірким речовинам хміль викликає апетит і діє заспокійливо. Будучи гарним емульгатором їжі, пиво сприяє більше правильному обміну речовин і підвищенню засвоюваності їжі. Наявність білків, вуглеводів, вітамінів і органічних кислот обумовлює поживну цінність цього напою.

Для розробки та поліпшення якості продукції (зокрема пива) та вдосконалення систем управління та автоматизації повинні використовуватися нові, свіжі та продумані методи. Технологія залишалася незмінною протягом сотень років, але технічні можливості не стоять на місці, що дозволяє отримати більш високу якість при знижених витратах, що є головною метою сучасного світу автоматизації.

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

Залежно від сорту, пиво містить 4-10% засвоюваних поживних речовин, переважно вуглеводів, невелику кількість амінокислот та інших продуктів розпаду білків, а також мінеральні речовини. Також він містить 1,5-7% спирту, до 0,4% вуглекислого газу, гіркоту хмелю, органічні кислоти. Вміст етанолу (етилового спирту) має вирішальний вплив на якість пива і залежить від ступеня бродіння. Тип пива (концентрація вихідного сусла) залежить від ступеня бродіння пива. Спирт є важливим смаковим компонентом, який може посилити повноту смаку. У той же час він також може покращити біологічну стійкість пива, пригнічуючи розмноження певних бактерій. Тому відділ виробництва сусла відіграє важливу роль у смаку та якості майбутнього пива і вимагає відповідального контролю процесу, сучасних технологій та кваліфікованих фахівців.

Завданням розробки системи автоматизації процесу виробництва сусла для пивоварні є використання сучасних автоматизованих технологій, технічних засобів автоматизації, промислового логічного контролера (PLC) та людино-машинного інтерфейсу (HMI).

Використання сучасних технологій автоматизації повинно забезпечити оптимізоване впровадження процесу виробництва сусла.

Отримувати більше якісного сусла для виробництва високоякісного пива, у процесі бродіння зменшити витрату теплоносіїв завдяки використанню автоматизованих сучасних технологій та збільшити норму прибутку від виробництва пива.

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

## Розділ 1. Опис об'єкта автоматизації

### 1.1. Технологічний опис об'єкта автоматизації

Сировиною для виробництва пива є ячмінь, ячмінний солод (пророщена і висушена у спеціальних умовах зернова культура), несолоджені зернові культури, хміль, вода і ферментні препарати.

*Ячмінь.* Порівняно з іншими непророщеними зерновими культурами, які використовують у пивоварінні, ячмінь має суттєві переваги: росте майже у всіх місцях, не зазнаючи впливу ґрунтово-кліматичних умов: легко піддається обробці під час одержання солоду; оболонки подрібненого несолодженого ячменю і ячмінного солоду розпушують шар дробини, як наслідок, забезпечує відмінне фільтрування сула при розділенні затору; склад солоду і ячменю, а також його ферменти, дають змогу одержати пиво з найкращими якісними показниками.

*Хміль,* нарівні з водою та солодом, із його різноманітними заміниками, як зерновими екстрактивними речовинами, наприклад, цукром, є основним видом сировини для виробництва пива. Завдяки вмісту гірких речовин, ефірної олії, поліфенолів, він являється незамінною сировиною для пива. Незважаючи на невисоку питому частку (приблизно 1% маси солоду), саме хміль найбільшою мірою зумовлює характерні специфічні властивості пива. Поряд із неповторними смаковими та ароматичними якостями, воно набуває здатності протистояти помутнінню в процесі зберігання, поліпшуються ціноутворення і піностійкість напою й з'являються інші привабливі та корисні ознаки.

Цінні речовини, які містить хміль, надають пиву особливого біологічного значення. Найважливішими компонентами хмелю для пивоваріння вважають ефірні масла та смоли. Відмінною та найголовнішою особливістю хмелю – незамінний смак та витончений аромат, який під час технологічного оброблення передається пиву без стороннього неприємного запаху.

|                  |             |                       |               |             | <i>Кваліфікаційна робота</i>  |             |                |
|------------------|-------------|-----------------------|---------------|-------------|---|-------------|----------------|
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | <i>Лім.</i>   | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Поліщук С.І.</i>   |               |             | <i>Розробка системи автоматизації процесу варіння пивного сула на пивзаводі</i> |             |                |
| <i>Керівник</i>  |             | <i>Проскурка Є.С.</i> |               |             |   |             | 9              |
| <i>Зав. каф.</i> |             | <i>Ельперін І.В.</i>  |               |             | <i>НУХТ АК-4-1</i>  |             |                |
| <i>Секр. ЕК.</i> |             | <i>Проскурка Є.С.</i> |               |             |   |             |                |

Фільтроване сушло, що надходить із фільтраційного апарата або фільтрпреса, кип'ятять із хмелем у сушловарильному апараті. Метою кип'ятіння сушла із хмелем є стабілізація його складу, упарювання до встановленої концентрації, екстрагування із хмелю ароматичних і гірких речовин, інактивація ферментів, коагуляція білків та стерилізація сушла для забезпечення чистого бродіння й одержання стійкого продукту.

Обирається температура та швидкість нагріву, тривалість процедури варіння, швидкість обертання змішувача, кількість додавання хмелю до апарату та його стан.

Після введення сушла в сушловарильний апарат встановлюють температуру в межах 98-110 °С. За цих умов  $\alpha$ -амілаза оцукрює крохмаль, що потрапляє в сушло після промивання дробини.

Сушло в апараті кип'ятиться без тиску, вторинна пара також відводиться без надлишкового тиску, але всередині сушло кипить при підвищеному тиску, що відповідає температурі 102-104 °С.

Після досягнення потрібного рівня в апараті, який розраховується перед проектуванням системи, запускається змішувач та починається первинний підігрів

Після введення відфільтрованої води в сушловарильний агрегат та досягненні повного набору сушла (згідно рецепту) його нагрівають до кип'ятіння і кип'ятять до 2 год постійно перемішуючи, для уникнення пригорання сушла.

Хміль і продукти його перероблення вносять із урахуванням норми гірких речовин у гарячому суслі й умісту  $\alpha$ -кислот в хмелі. У сушловарильний апарат хміль вносять порціями згідно з технологічною інструкцією. В ході цього процесу всі мікроорганізми гинуть і руйнуються ферменти, тому подальші хімічні реакції неможливі. Саме на даному етапі пивовари домагаються наперед встановленої щільності початкового сушла, яке на етикетці готового продукту позначається, як щільність пива.

Нижче на рисунку зображено принцип роботи сушловарильного агрегату.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 10   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

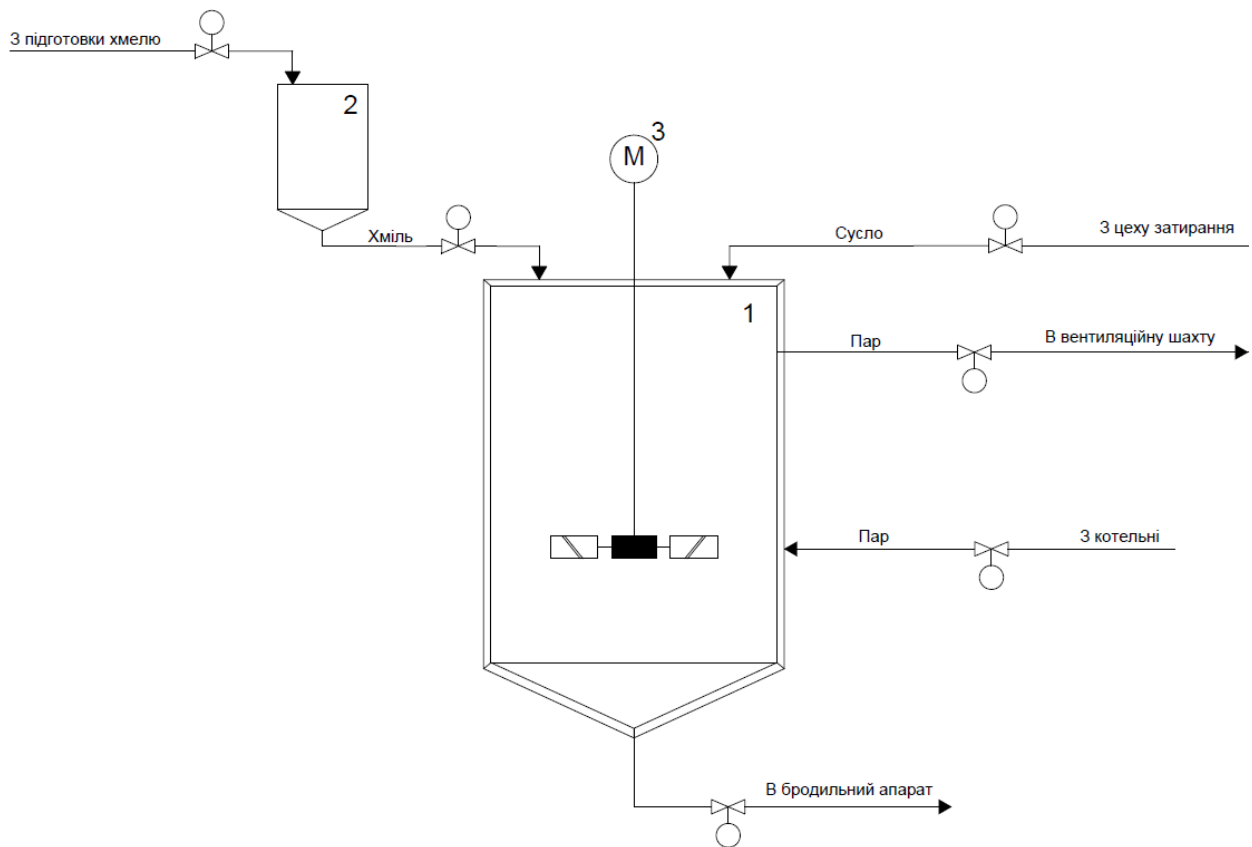


Рис.1.1 Принцип роботи сушварильного агрегату

1. Сушварильний апарат;
2. Дозатор хмелю;
3. Двигун мішалки;

Сушло в сушварильному агрегаті потрібно кип'ятити з такою інтенсивністю, щоб кількість води, що випаровується, становила щонайменше 5-6% за 1 год. Кінець кипіння залежить від масової частки сухих речовин у суслі, наявності великих пластівців коагульованого білка та прозорості в гарячому стані. Визначають масову частку сухої речовини в охолодженому зразку сусла за допомогою цукроміра.

Після кип'ятіння сушло пропускають через хмелевіддільник, а потім направляють на охолодження та освітлення для зниження температури від 100 °С до 6 - 15 °С насичення сусла киснем, щоб в аеробних умовах бродіння дріжджі активно розмножувались і осаджували завислі часточки.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 11   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

Для двигуна мішалки швидкість вибирається, щоб уникнути підгоряння або принаймні карамелізації сусла. Вибір типу мішалки двигуна залежить від щільності та в'язкості середовища. Вважаю за доцільно використовувати в проекті турбінну мішалку (рис.1.2), яка забезпечить високоякісне перемішування продукту в чані, завадить пригоранню продукту та оптимізує економічно-технічні показники.



Рис.1.2 Умовне зображення турбінної мішалки

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

Потрібно вирішити багато складних проблем, щоб забезпечити належну та надійну роботу даного агрегату. Ці питання включають зокрема: правильну організацію процесу парового нагрівання, що робить ефективність використання пари для максимальної тепловіддачі та мінімальних втрат, але проблема цього методу полягає в утворенні конденсатної плівки на поверхні стінки парової сорочки, що, очевидно, перешкоджає передачі тепла і, отже, збільшує час процесу нагрівання, це збільшує споживання енергії.

Для вирішення проблеми конденсату, була введена додаткова система - кільцеві похилі ребра – відводи конденсату на поверхні теплообмінного апарату.



Рис.1.3 Парова сорочка з відводами для конденсату

1. корпус апарату,
2. патрубок подачі пари,
3. патрубок відведення конденсату,
4. ребра-відводи конденсату.

Тому при нагріванні обладнання, до парової сорочки через трубу 2 подається пара. Під час теплообміну на поверхні утворюється шар конденсату, який починає стікати вниз. Далі конденсат тече вниз по ребрах-відводах 4, щоб відокремитися від стінок і звільнити поверхню теплопередачі і надходить до низу парової сорочки, де видаляється через патрубок 3.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 13   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

Згідно з результатами аналізу та досліджень, встановлення кільцевих похилих ребер для конденсату може поліпшити процес теплопередачі та запобігти негативному явищу конденсації плівки пароізоляції води на поверхні теплообміну, зменшуючи тим самим споживання енергії та час нагрівання.

Роботу варильного відділення оцінюють виходом екстракту E%, який розраховують за формулою:

$$E = \frac{0.96 * V * \rho * e}{G} \%$$

де V – об'єм сусла при 100 °С, дм<sup>3</sup>;

e – концентрація сусла, % мас;

ρ – густина сусла, кг/м<sup>3</sup>;

G – маса зернопродуктів, кг;

0,96 – коригувальний коефіцієнт, який враховує зниження об'єму сусла при охолодженні до 20 °С (~ 4%).

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

Таблиця 1. Технічні характеристики агрегату

| Показник  | Значення             |
|---|----------------------|
| <b>Місткість, м<sup>3</sup>:</b><br>повна<br>корисна                | 9,42<br>8,5          |
| Діаметр внутрішній, мм  | 2000                 |
| Висота циліндричної частини, мм                                     | 3100                 |
| Поверхня нагріву, м <sup>2</sup>                                    | 15                   |
| Об'єм пари в сорочці, м <sup>3</sup>                                | 0,6                  |
| <b>Витрата:</b><br>пара, кг/г<br>вода, м <sup>3</sup> /г            | 1200<br>7...8        |
| Робочий тиск пари в сорочці, МПа                                    | 0,294                |
| Частота обертів мішалки, <u>мин<sup>-1</sup></u>                    | 42                   |
| <b>Редуктор черв'ячний:</b><br>Тип<br>Передаточне співвідношення    | ВСЦ-05.06.000<br>36  |
| <b>Габаритні <u>розміри</u>, мм:</b><br>довжина<br>ширина<br>висота | 3800<br>3100<br>4425 |
| <b>Маса, кг:</b><br>без продукту<br>з продуктом                     | 4800<br>12500        |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

## 1.2. Розробка завдання на систему автоматизації

Таблиця 2. Завдання на розробку системи автоматизації

| № | Машина, агрегат, установка | Параметр, місце відбору сигналу | Припустиме значення параметра            | Вид Автоматизації | Характер контролю чи управління | Засоби управління та контрол, реалізації упр. дії |
|---|----------------------------|---------------------------------|--|-------------------|---------------------------------|---|
| 1 | Сушварильний апарат        | Рівень                          | 90 %<br>± 5%                             | Регулювання       | Управління                      | Вплив на клапани подачі сусли і хмелю             |
|   |                            | Температура                     | 90 °C<br>± 5 °C                          | Регулювання       | Стабілізація                    | Вплив на клапан подачі пари                       |
|   |                            | Тиск                            | 1,0 бар<br>± 0,15 бар                    | Регулювання       | Стабілізація                    | Вплив на клапан відводу пари                      |
| 2 | Трубопровід подачі затору  | Витрата                         | 8 м <sup>3</sup><br>± 0,1 м <sup>3</sup> | Контроль          | Відображення, реєстрація        | АРМ оператора                                     |
| 3 | Дозатор хмелю              | Рівень                          | 90%<br>±5%                               | Регулювання       | Управління                      | Вплив на клапани подачі і зливу хмелю             |
| 4 | Двигун                     | Частота обертів                 | -  | Регулювання       | Управління                      | Вплив на двигун М1                                |

## Розділ 2. Система автоматизації

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

#### Термоперетворювач опору

Термоперетворювач опору з високоточним нормувальним перетворювачем ОВЕН ДТСхх5М призначений для вимірювання та безперервного перетворення температури рідких речовин в уніфікований вихідний сигнал постійного струму 4...20 мА.

До складу термоперетворювача входять:

- первинний перетворювач (термозонд) — термоперетворювач опору (ДТС);
- вимірювальний перетворювач НПТ-3.

Використання у складі виробу мікропроцесорного перетворювача НПТ-3 дозволяє встановлювати через USB-інтерфейс будь-який діапазон вимірювання температури у межах діапазону вимірювання відповідного термозонда.

**Переваги застосування ДТС з нормувальним перетворювачем:**

- Простота підключення термодатчиків до контролерів;
- Збільшення довжини лінії зв'язку від датчика до вимірювального пристрою (до 800 метрів);
- Ізоляція лінії датчика від вимірювальної системи;
- Зниження впливу електромагнітних завад у колі вимірювання температури.

|           |      |               |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i>   |      |      |         |
|-----------|------|---------------|--------|------|--|------|------|---------|
| Змн.      | Арк. | № докум.      | Підпис | Дата |  |      |      |         |
| Розроб.   |      | Полицук С.І.  |        |      | <i>Розробка системи автоматизації процесу варіння пивного суслу на пивзаводі</i> | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Керівник  |      | Проскурка Є.С |        |      |  |      | 17   | 30      |
| Зав. каф. |      | Ельперін І.В. |        |      | <b>НУХТ АК-4-1</b>   |      |      |         |
| Секр. ЕК. |      | Проскурка Є.С |        |      |  |      |      |         |

Таблиця 3. Технічні характеристики датчика температури

|   |                  |
|---|------------------|
| Номінальне значення напруги живлення (постійного струму)  | 24 В             |
| Діапазон допустимої напруги живлення (постійного струму)  | 12...36 В        |
| Максимальна потужність, що споживається перетворювачем  | 0,8 Вт           |
| Діапазон вихідного струму перетворювача   | 4...20 мА        |
| Вид залежності «струм від температури»  | лінійна          |
| Нелінійність перетворення, не менше   | $\pm 0,2\%$      |
| Розрядність цифро-аналогового перетворювача, не менше   | 12 біт           |
| Опір кожного дроту, що з'єднує перетворювач з термометром опору, Ом, не більше  | 30               |
| Опір лінії зв'язку з термоелектричним перетворювачем, Ом, не більше   | 100              |
| Номінальне значення опору навантаження (при напрузі живлення 24 В)  | 500 Ом $\pm 5\%$ |
| Максимальний допустимий опір навантаження (при напрузі живлення 36 В) *   | 1250 Ом          |
| Пульсації вихідного сигналу   | 0,6%             |
| Час встановлення робочого режиму для перетворювача (попереднє прогрівання) після увімкнення напруги живлення, не більше | 30 хв            |
| Показник теплової інерції, не більше  | 20...40 с        |

## Будова та конструктивне виконання

$D = 8 \text{ мм}$ ,  $M = 20 \times 1,5 \text{ мм}^{**}$ ,  $S = 27 \text{ мм}$ ,  $L = 160 \text{ мм}$ .

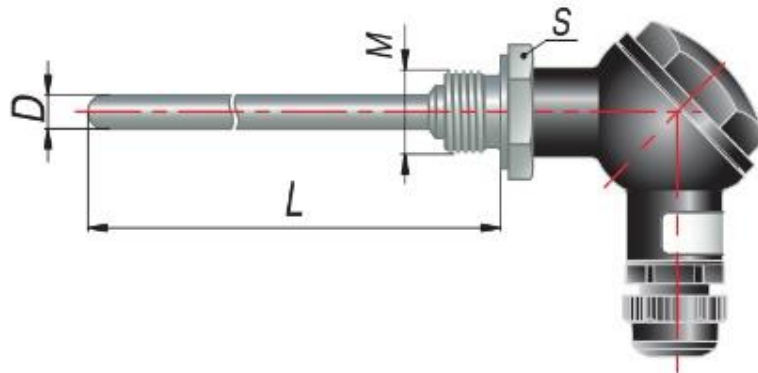


Рис.2.1 Будова датчика температури ОВЕН ДТС 105М-  
Pt100.0,25.160.МГ.И(73)

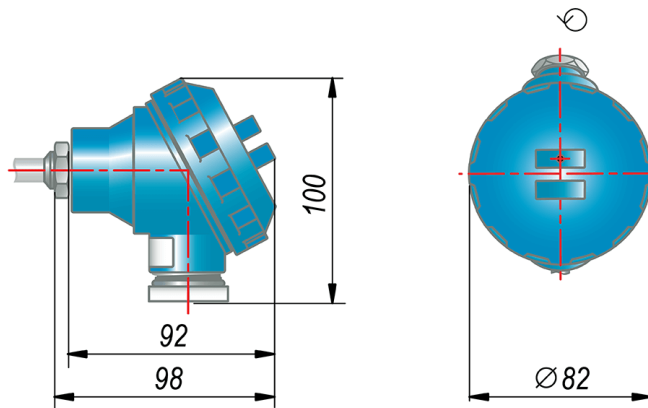


Рис.2.2 Конструктивне виконання комутаційної головки  
для ДТС-И

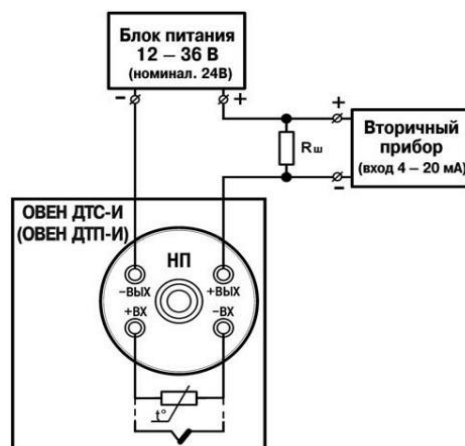


Рис.2.3 Схема підключення термоперетворювача опору  
ДТС 105М-Pt100.0,25.160.МГ.И(73)

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 19   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## Пневматичний клапан

Для того щоб регулювати потоки рідких та газоподібних речовин, я обрав регулюючим органом клапан BAUMANN серії 24000CVF.

Конструкція регулюючого клапана Baumann 24000CVF з високою робочою характеристикою відрізняється малою зоною нечутливості і гістерезисом, високою пропускною спроможністю, чудовими характеристиками регулювання, щільною відсічкою і вдосконаленими системами ущільнення, що відповідають жорстким умовам експлуатації. Компактна і легка конструкція робить їх ідеальними для установки в трубопровідних системах з високою щільністю установки, де простір обмежений.



Рис.2.4 Клапан пневматичний Baumann 24000CVF

Ржив. = 140 кПа,

Рвих. = 20-100 кПа.

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

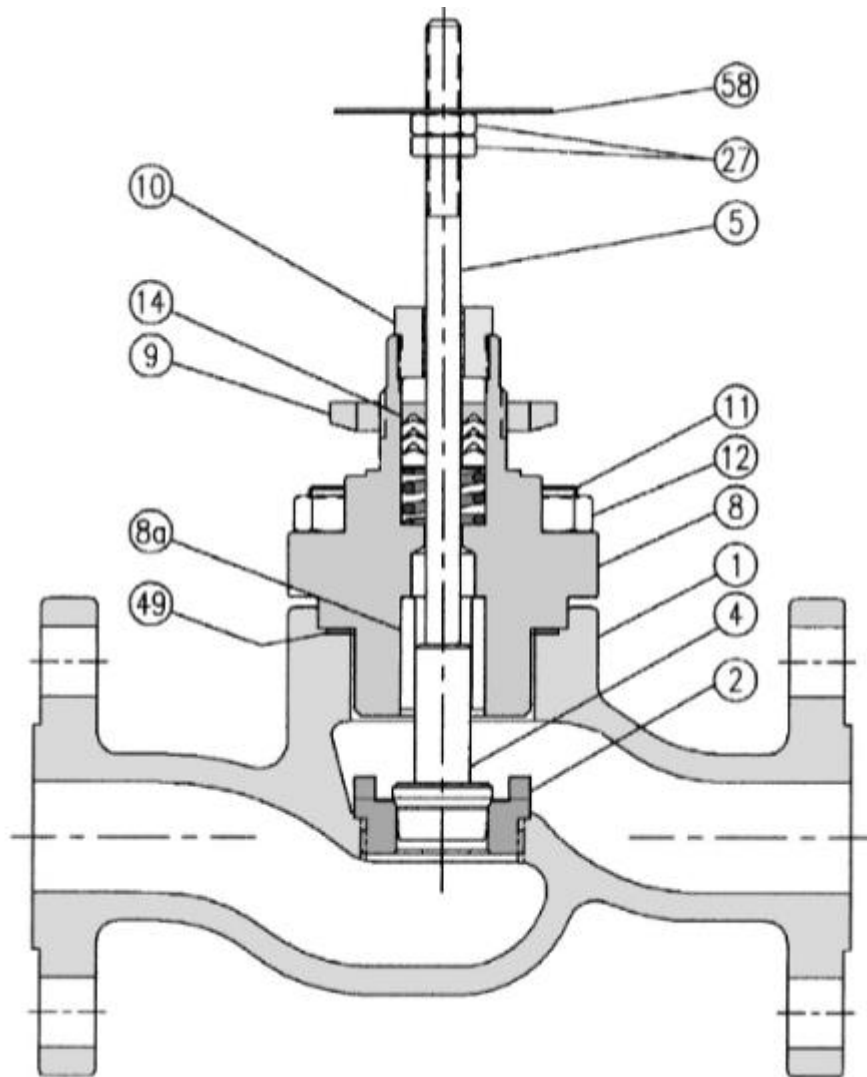


Рис.2.5 Корпус клапана Baumann 24000CVF в зборі з стандартним підпружинним ущільнювачем

**Уніфіковані деталі:**

|                       |  |
|-----------------------|--|
| 1-Корпус              | 10-Штовхач ущільнення                                    |
| 2-Кільце сідла        | 11- Гвинт,   |
| 4-Заглушка            | 12-Гайка,  |
| 5-Шток                | 14- Комплект ущільнення з манжетом V-подібного перетину, |
| 8-Ковпачок            | 27-Контргайка,   |
| 8а-Направляюча втулка | 49-Прокладка корпусу,                                    |
| 9-Гайка виколотки     | 58- Показчик переміщення.                                |

## Частотний перетворювач

### Перетворювач частоти Lenze SMD 380 4 кВт

Частотні перетворювачі спроектовані для роботи в електричних установках і машинах. Призначені для використання в промислових і професійних цілях. Використовуються для управління різними приводами з асинхронними стандартними моторами, колекторними двигунами, тощо.



Рис.2.6 Перетворювач частоти Lenze SMD 380 4 кВт

#### Характеристики приводу:

- здатність витримувати перевантаження 150% від номінального моменту протягом 60 секунд;
- робочі режими:
  1. закон управління -  $U / f$  лінійне, квадратичне;
  2. векторне управління;
- глибина регулювання 1:50;
- простота експлуатації;

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## **Простота обслуговування**

Функціональні модулі з притискуються пружинами контактами дозволяють легко і просто підключати прилад. Природно, штепселі захищені проти зміни полярності.

## **Основні функції перетворювача частоти :**

- пуск і регулювання швидкості двигуна;
- реверс;
- прискорення, уповільнення, зупинка;
- захист двигуна і перетворювача;
- динамічне гальмування;
- проста конструкція, малі габарити і маса;

## **Технічні характеристики:**

- частота ШІМ встановлюється користувачем: 4, 6, 8 і 10 kHz;
- динамічне гальмування двигуна і гальмування постійним струмом;
- вбудований PI-регулятор для ефективної роботи приводу в замкнутій системі автоматичного регулювання;
- послідовний інтерфейс RS-485 (MODBUS-RTU), CAN-BUS;
- цифрових входи;
- 1 аналоговий вхід (0 ... 20mA, 4 ... 20mA, 0 ... +5 або 0 ... 10V);
- 1 аналоговий вихід;
- Вихідна частота: 0 ... 500 Гц;
- Клас захисту: IP 20;
- Захист: від короткого замикання, замикання на землю, підвищеної напруги, заклинювання двигуна, перевантаження двигуна.

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

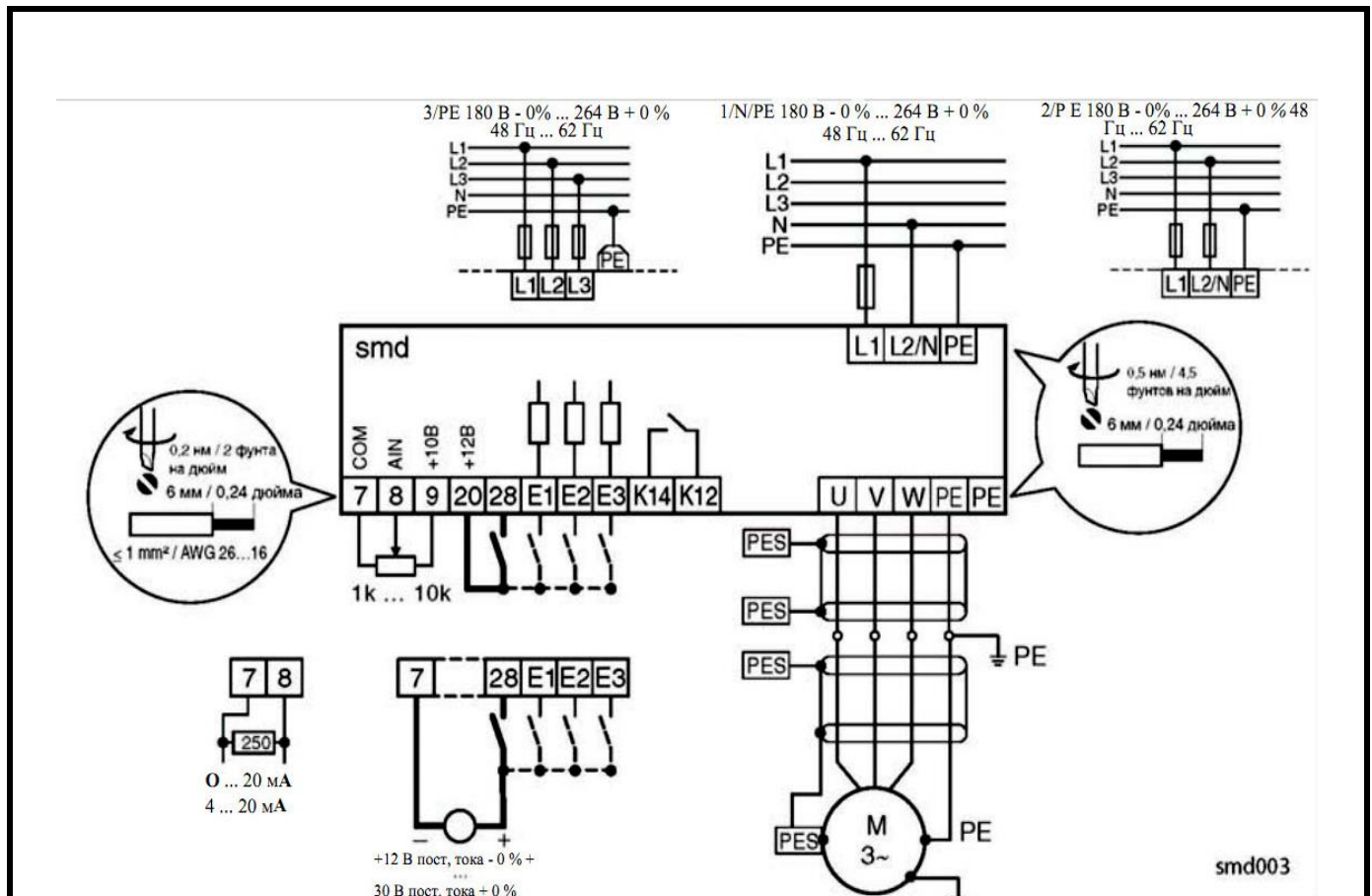


Рис.2.7 Входи та виходи перетворювача частоти Lenze SMD 380 4 кВт

### Лічильник потоку з зубчастим колесом

Для того, щоб відслідковувати витрату потоку сусли я використав витратомір-лічильник Kobold DOM з імпульсним виходом, який має спеціальні ротори для зменшення високих в'язкостей, які обертаються з деякою частотою, та видають імпульс при проходженні рідини за 1 оберт.

### Kobold DOM з імпульсним виходом



Рис.2.8 Зовнішній вигляд витратоміра-лічильника

Переваги даної технології дозволяють проводити точні вимірювання витрати і пропуску більшості чистих рідин, незалежно від їх провідності, з іншими характеристиками рідини, що мають мінімальний вплив на лічильник.

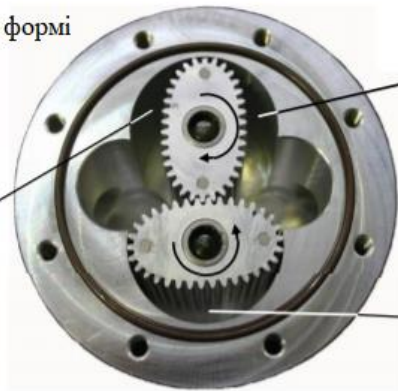
|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

Проходження рідини викликає обертання двох овальних зубчастих роторів в межах вимірювальної камери, і з кожним обертом через лічильник проходить фіксований обсяг рідини. Магніти, вбудовані в ротори, створюють на виході імпульс високого дозволу. Імпульсний вихід може бути включений безпосередньо в процес управління і моніторингу обладнання або використаний в якості входу для установки додаткових приладів або приладів, встановлених безпосередньо на лічильник.

**Принцип роботи:**

Рідина проходить по камерах в формі півмісяця, створюваним обертальними рухами роторів

*рідина надходить в вимірювальну камеру*



*Рідина виходить з вимірювальної камери*

*рух рідини*

Рис.2.9 Внутрішня будова Kobold DOM з імпульсним виходом

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

## Датчик рівня

### Ємнісний рівнемір NivoCAP

Ємнісний перетворювач рівня підключається по 2-х провідній схемі підключення і використовується для здійснення безперервного контролю за рівнем продукту. Залежно від рівня продукту, ємнісні датчики рівня будуть змінювати ємність конденсатора, значення якого обладнання перетворює в аналоговий вихідний сигнал 4-20мА. Стінка ємності, в яку встановлено прилад, повинна бути з легко провідного матеріалу (металева) і повинна розташовуватися строго паралельно зонду приладу. Залежно від типу продукту чутливий елемент датчика може бути повністю або частково покритим фторопластовим покриттям.



Рис.2.10 Ємнісний рівнемір NivoCAP

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 27   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

### Короткий опис характеристик рівнеміра:

- 2-дротовий компактний перетворювач рівня;
- Наявність низько і високочастотної версій;
- Висока чутливість;
- Виконання стержневого до 3 м або кабельного зонда до 20 м;
- Частково або повністю ізольований зонд для різних продуктів;
- Виконання приладу з вбудованим індикатором;
- Функція з 32-точковою лінеаризації;
- Застосування ємнісного рівнеміра для вимірювання дистанції, перерахунку його в рівень або обсяг;
- Виконання з цифровим виходом: HART;
- Наявність модифікацій датчика у вибухозахищеному виконанні.

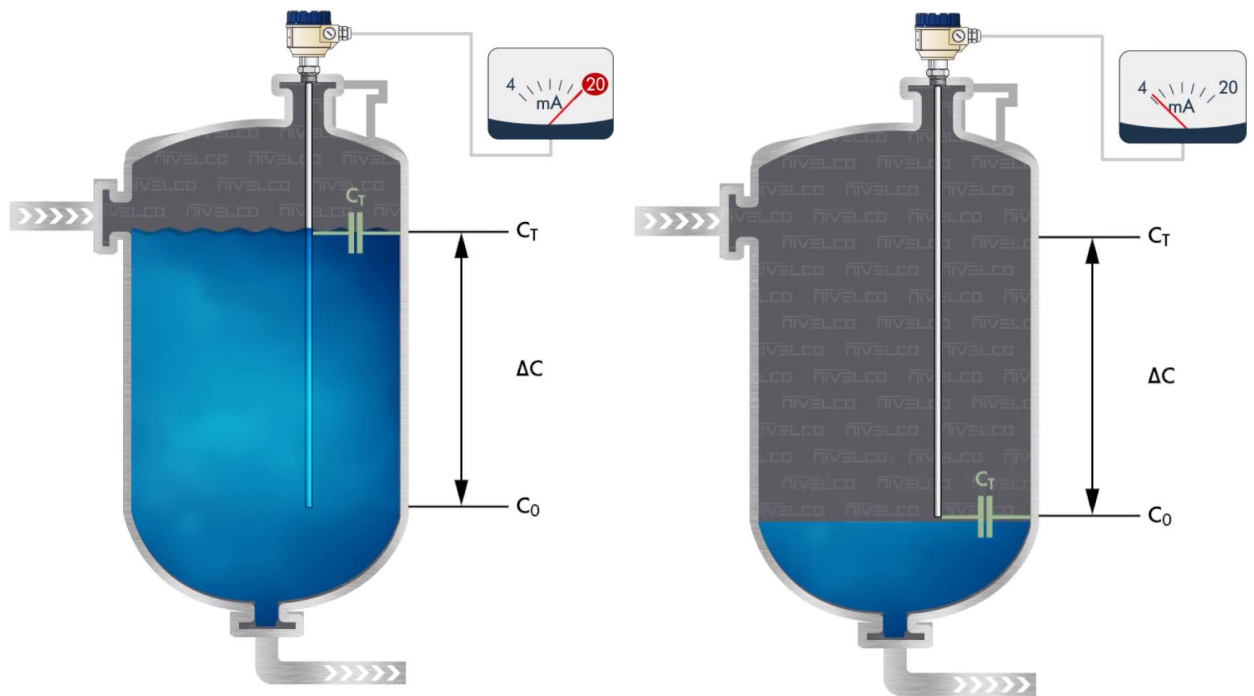


Рис.2.11 Наочна залежність струмового сигналу (4-20мА) від рівня в ємності

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 28   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |



## Датчик тиску

Вимірювальний перетворювач тиску SITRANS P, серія DS III з двох-проводної схемою підключення.

Вихідним сигналом є постійний струм 4-20 мА, який лінійно-пропорційний вхідному тиску. Програмування вимірювального перетворювача може здійснюватися на місці через три клавіші управління або зовні через HART.

Цифровий вимірювальний перетворювач тиску з комунікацією HART, PROFIBUS PA або Foundation Fieldbus, що забезпечує всебічну простоту використання, діагностичні функції і високу точність.



Рис.2.13 Вимірювальний перетворювач тиску SITRANS P, серія DS III

Вимірювальний перетворювач SITRANS P DS III відповідає особливому стандарту з безпеки для надлишкового, диференціального та абсолютного тиску, а також рівня наповнення. Цей вимірювальний перетворювач придатний для використання в контурах вимірювання SIL 2 відповідно до IEC 61508 / IEC 61511. Функції безпеки включають в себе автоматичну діагностику помилок, задану обробку помилок, а також обчислення частоти помилок.

Використання даного вимірювального пристрою дає не тільки високу точність результатів, але також дозволяє автоматизувати ручні операції і досягти нового рівня продуктивності і контролю виробничих процесів.

### **Особлива перевага**

Завдяки використанню протоколу PROFIsafe, SIEMENS є першим виробником, що гарантує надійну передачу даних з польового рівня на рівень управління.

### **Технічні дані**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Точність</b>                     | ≤ 0.065 %  |
| <b>Довготривала стабільність</b>    | ≤ 0.125% за 60 місяців   |
| <b>Діапазон вимірювання</b>         | від 0-1 мбар до 0-700 бар  |
| <b>Сертифікати</b>                  | наприклад: ATEX EEx ia, EEx ib, захист від вибухонебезпечного пилу, FM, CS |
| <b>Рівень повноти безпеки (SIL)</b> | для використання в додатках SIL2 / 3 згідно IEC 61511                      |
| <b>Комунікація</b>                  | HART, PROFIBUS PA, PROFIsafe або FF  |





Рис.2.15 Зовнішній вигляд пристрою ОВЕН УЗС1

| Характеристика  | Значення |
|---|----------|
| Діапазон вимірювання напруги живлення, В                      | 90...245 |
| Частота, Гц   | 47...63  |
| Номінальна напруга живлення, В                                | 230±4    |
| Споживана потужність, ВА, не більше                           | 7        |
| Напруга вбудованого джерела живлення постійного струму, В     | 24±2,4   |
| Максимально допустимий струм вбудованого джерела живлення, мА | 80       |
| Тип вхідного сигналу, мА                                      | 4...20   |
| Час опитування входу, с, не більше                            | 0,4      |
| Межа основної зведеної похибки перетворення, %                | 0,5      |
| Ступінь захисту корпусу                                       |          |
| - настінний Н   | IP44     |
| - щитові Щ1 та Щ2 (зі сторони лицьової панелі)                | IP54     |
| - DIN-рейковий Д (зі сторони лицьової панелі)                 | IP20     |
| Допустиме навантаження на виході 4...20 мА, Ом, не більше     | 1000     |
| Діапазон допустимої напруги живлення виходу 4...20 мА         | 12...30  |
| Допустиме навантаження на виході 0...10 В, Ом не менше        | 2000     |
| Діапазон допустимої напруги живлення виходу 0...10 В          | 16...30  |

Рис.2.16 Технічні характеристики блоку керування аналогового ОВЕН УЗС1

## Поршневий компресор

Для роботи усієї пневматичної системи необхідно її живити, а отже потрібно вибрати компресор, який забезпечить необхідний тиск для роботи усіх клапанів. Я обрав компресор поршневий Remeza/Aircast з пасовою передачею СБ4/С-100.LB40 — це трифазний компресор з електродвигуном 3000 Вт, що використовується для забезпечення стисненим повітрям (тиск 10 бар). Пасовий привід компресора забезпечує йому тихий та довгий термін експлуатації, високу надійність, а також ресурсомісткість і продуктивність.

Обсяг ресивера 100 л дозволяє забезпечити оптимальні експлуатаційні характеристики компресора, і при цьому, поєднати високу продуктивність з економічністю. В результаті, компресори даної моделі можуть вважатися одним з кращих пропозицій на ринку, виходячи зі співвідношення ціни і якості. Професійне обладнання цієї моделі відрізняється невибагливістю в експлуатації, і може бути використано, в тому числі, і при роботі в умовах нестабільної подачі електрики.



Рис.2.17 Зовнішній вигляд компресора Aircast

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

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| Продуктивність,(л/хв)(вх/вих): | 580/490     |
| Ресивер,(л):                   | 100         |
| Циліндрів/ступені,(шт):        | 3/1         |
| Тиск,(бар):                    | 10          |
| Потужність ел.двигуна,(кВт):   | 3,0         |
| Живлення,(В):                  | 380         |
| Вага,(кг):                     | 90          |
| Габаритний розмір,ДхШхВ(мм):   | 900×400×800 |
| Країна-виробник:               | Білорусія   |

Рис.2.18 Технічні характеристики компресора

#### Особливості Air Cast СБ4 / С-100.LB40:

- 3 поршня;
- електричний мотор з запобіжником;
- реле тиску;
- захист-металева решітка пасової передачі;
- запобіжний клапан на ресивері;
- індикатор рівня масла;
- всмоктуючий фільтр;
- дренажний клапан для видалення конденсату;
- розташування ресивера горизонтальне;

## Двигун

АІР 132 S8 трифазний асинхронний електродвигун 4 кВт 750 об/хв  
Загальнопромисловий асинхронний трифазний двигун АІР 132 S8 являється досить популярним на ринку України. Помітно виділяється серед конкурентів: відмінна якість, перевірена роками надійність, розумна ціна, відповідність стандартам ДСТУ (ГОСТ), ISO.



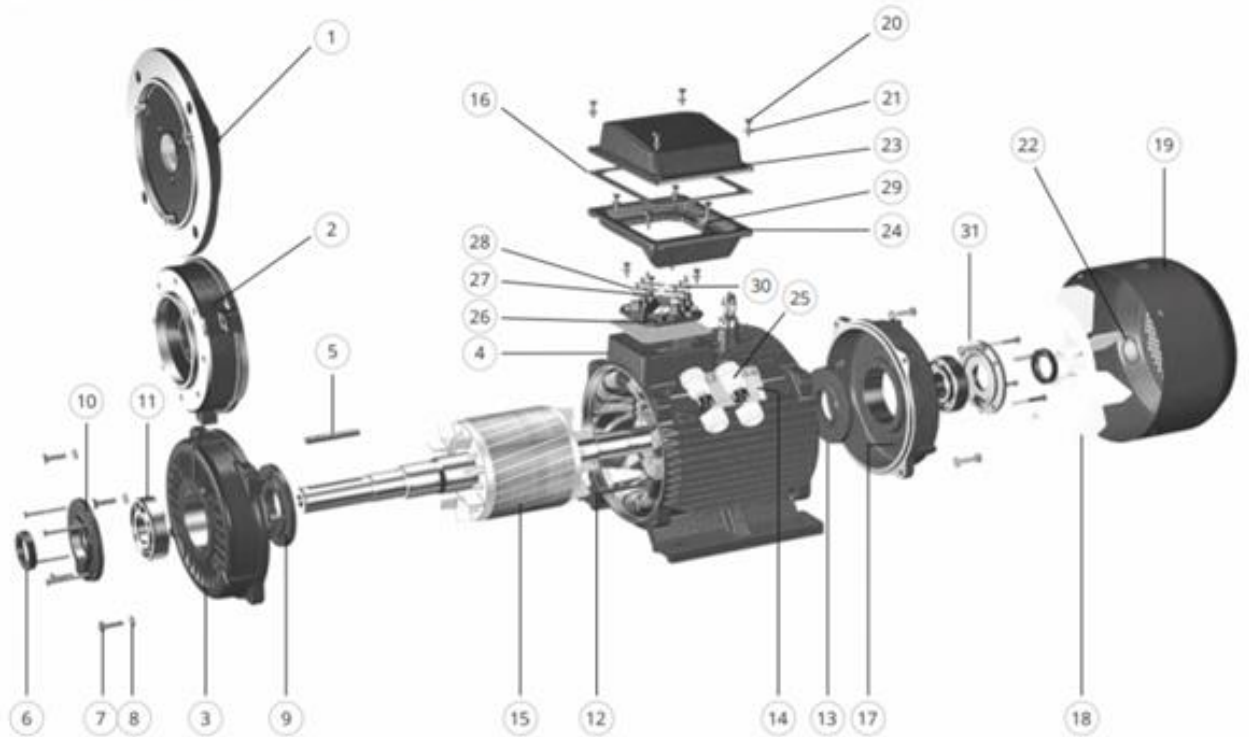
Рис.2.19 Зовнішній вигляд двигуна АІР 132 S8.

## Технічні характеристики

| Параметр                            | Значення      |                                |
|-------------------------------------|---------------|--------------------------------|
| Потужність                          | P             | <b>4,0 кВт</b>                 |
| Частота обертання умовна (фактична) | $\nu$         | <b>750 (720) об/хв</b>         |
| Напруга ( $\Delta/Y$ )              | U             | <b>380/660 В</b>               |
| Сила струму                         | I             | <b>10,3 А</b>                  |
| ККД                                 | $\eta$        | <b>81,0%</b>                   |
| Коефіцієнт потужності               | $\cos\phi$    | <b>0,73</b>                    |
| Співвідношення крутних моментів     | $M_p/M_n$     | <b>1,9</b>                     |
| Співвідношення крутних моментів     | $M_{max}/M_n$ | <b>2,0</b>                     |
| Співвідношення струмів              | $I_p/I_n$     | <b>6,0</b>                     |
| Момент інерції                      | J             | <b>0,0690 кг·м<sup>2</sup></b> |
| Рівень шуму                         | L             | <b>68 дБ(А)</b>                |
| Вага                                | m             | <b>70 кг</b>                   |

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## КОНСТРУКТИВНА СХЕМА



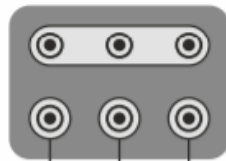
- |                                  |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 - фланець                      | 17 - задня кришка               |
| 2 - малий фланець                | 18 - крильчатка вентилятора     |
| 3 - передня кришка               | 19 - захисна кришка вентилятора |
| 4 - корпус                       | 20 - гвинт                      |
| 5 - шпонка                       | 21 - шайба                      |
| 6 - сальник                      | 22 - стопорне кільце            |
| 7 - болт                         | 23 - кришка клемної коробки     |
| 8 - шайба                        | 24 - база клемної коробки       |
| 9 - передня кришка підшипника    | 25 - кабельний ввід             |
| 10 - зовнішня кришка підшипника  | 26 - контактна ділянка          |
| 11 - підшипник                   | 27 - плата з виводом            |
| 12 - статор                      | 28 - клеми                      |
| 13 - внутрішня кришка підшипника | 29 - болт                       |
| 14 - табличка                    | 30 - гайка                      |
| 15 - ротор                       | 31 - задня кришка підшипника    |
| 16 - прокладка                   |                                 |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

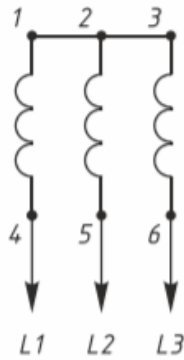
Кваліфікаційна робота

Арк.  
37

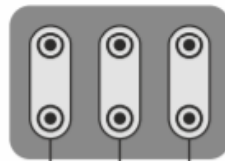
## СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ



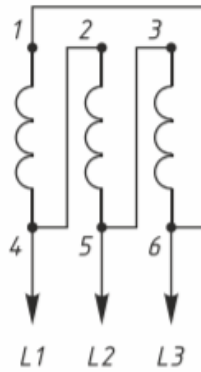
L1 L2 L3



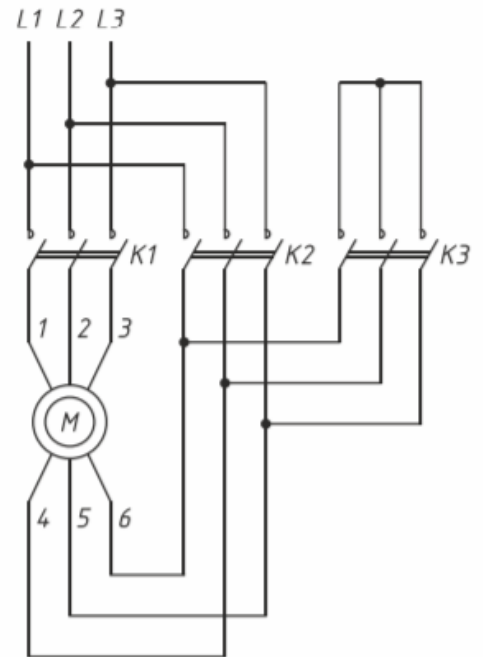
«Зірка»



L1 L2 L3



«Трикутник»



«Зірка-Трикутник» (комбінована)

### Підключення «зірка»

Електродвигуни АИР по замовчуванню мають підключення обмоток за схемою «зірка» і готові до роботи в мережі 380 або 660 В. Це рішення пояснюється тим, що даний вид підключення забезпечує роботу з максимально можливим ККД.

### Підключення «трикутник»

Дана схема використовується, якщо двигун потрібно підключити до мережі 220В замість 380В.

### Підключення «зірка-трикутник»

Комбінована схема підключення застосовується у трифазних електродвигунах 380/660 для роботи в мережі 380В. Вона дозволяє запобігти виникненню занадто високих пускових струмів і дає можливість експлуатувати двигун з максимальним ККД.

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Кваліфікаційна робота

Арк.

38

## Перетворювач електропневматичний

В дані системі автоматизації сусловарильного апарату я використовував пневматичну систему керування регулюючими органами, як наслідок були використані електропневматичні перетворювачі.

Я обрав ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP - це сімейство високоефективних та економічних пропорційних клапанів з цифровим керуванням, які ідеально підходять для вимог регулювання тиску. Він має невелику займану площу і просту у використанні модульну конструкцію. ЕПП перетворює уніфікований електричний сигнал 4-20 мА або 0-10 В в лінійно-пропорційний пневматичний сигнал, що знаходиться, зазвичай, в діапазоні 20-100 кПа. Зрозуміло для коректної роботи ЕПП потрібно його підключення до лінії стисненого повітря. Параметри контуру управління клапаном можуть бути оптимізовані для конкретного додатка за допомогою додаткового програмного забезпечення для збору даних (DaS) і підключення до ПК. Клапан забезпечує низьке енергоспоживання (<4 Вт) і швидкий час відгуку.



Рис.2.20 Зовнішній вигляд ЕПП Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Технологія відкритого комунікаційного стандарту зв'язку IO-Link все частіше застосовується в різних областях автоматизації, забезпечуючи недорогий цифровий інтерфейс зв'язку для датчиків, приводів і контролерів по неекранованим стандартним кабелям введення / виведення M12. Для зменшення часу і складності обслуговування модуль IO-Link дозволяє клапанів Sentronic автоматично ідентифікуватися і налаштовуватися при заміні компонентів, тим самим усуваючи необхідність у повторній налаштування цих пристроїв за допомогою ноутбука. Технологія IO-Link дозволяє змінювати параметри клапанів Sentronic прямо в процесі виробництва безпосередньо за допомогою контролера ПЛК і без використання програмного забезпечення збору даних.

### Електричне підключення

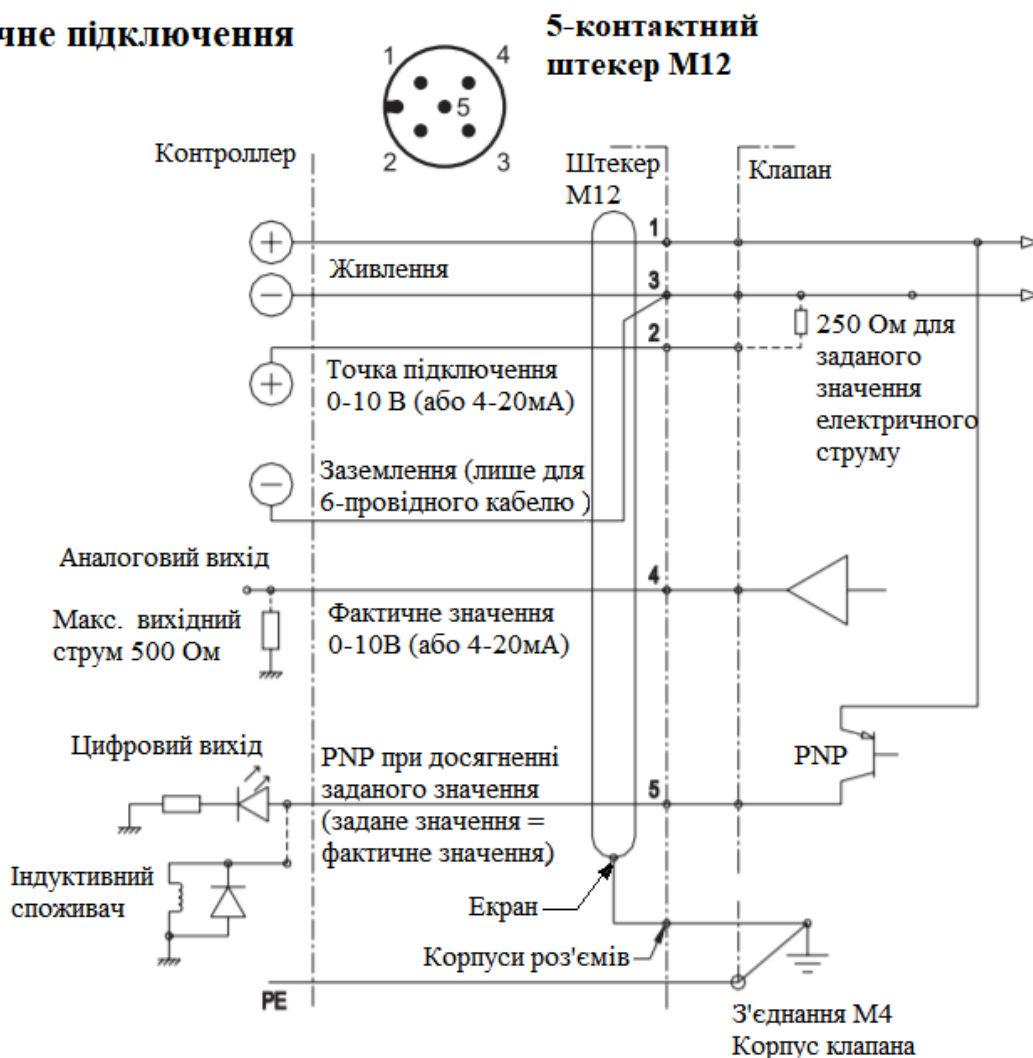
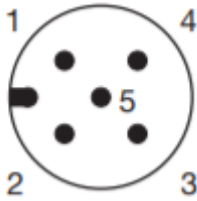


Рис.2.21 Електричне підключення перетворювача Sentronic LP серії 617

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

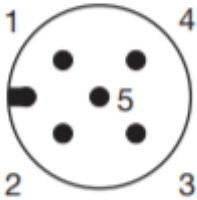
### Стандартне аналогове управління



| Pin    | Опис                             | 6-провідний кабель |
|--------|----------------------------------|--------------------|
| 1      | живлення 24 В постійного струму  | коричневий         |
| 2      | аналоговий вх. заданого значення | білий              |
| 3      | постачання загальне              | блакитний          |
|        | аналоговий загальний*            | жовтий             |
| 4      | аналоговий вихід (зворотній зв.) | чорний             |
| 5      | цифровий вихід(реле тиску)       | сірий              |
| Корпус | екран ЕМС                        | захист             |

\*Для довжин кабелів використовується 6-провідний кабель з окремим загальним для командного сигналу більше 2 м, щоб мінімізувати падіння напруги для командного сигналу

### Дискретне управління



| Pin | Опис                            |
|-----|---------------------------------|
| 1   | живлення 24 В постійного струму |
| 2   | вхідний сигнал 1 (LSB)          |
| 3   | постачання загальне             |
| 4   | вхідний сигнал 2 (MSB)          |
| 5   | невикористовується              |

Рис.2.22 Розташування контактів роз'єму Sentronic LP серії 617 ASCO

## 2.2. Схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації процесу приготування сусла у сусловарильному відділенні пивоварного заводу відображає: подачу підготовленого затору у варильний чан, подачу доз хмелю на визначений об'єм затору та води (згідно рецепту), регулювання подачі пари на нагрівання варильного чану та сусла в ньому, регулювання тиску в чані за допомогою аналогового датчика тиску, контроль рівня в варильному чані та в дозаторі хмелю, контроль витрати затору і управління двигуном-мішалкою для рівномірного перемішування під час процесу кип'ятіння сусла.

Рівень у дозаторі хмелю відслідковується за допомогою ємнісного рівнеміра **NivoCAP** (поз.1а). Залежно від рівня продукту, ємнісний датчик рівня буде змінювати ємність конденсатора, значення якого обладнання перетворює в аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА, який приходить на ПЛК, де оброблюється і відображається на ПК чи панелі оператора, в залежності від потреб. Вихідний сигнал від ПЛК, також 4...20 мА відправляється на електро-пневмо перетворювач **ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP** (поз.1б), тут він конвертується в пневматичний сигнал 20-100 кПа, та керує клапаном **BAUMANN серії 24000CVF** (поз.1в) подачі хмелю в апарат. Також до цього ж контуру рівня належить такий самий електро-пневмо перетворювач **ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP** (поз.1г) з вихідним сигналом 20-100 кПа, що керує клапаном дози хмелю з дозатору **BAUMANN серії 24000CVF** (поз.1д).

Контур контролю витрати головного елемента процесу – затору, складається з витратоміра-лічильника **Kobold DOM A55 HFC** (поз.2а), що встановлюється на трубопроводі. Вимірювання відбувається за рахунок руху зубчатого колеса навколо своєї осі, повний оберт - один дискретний імпульс. Підключається прилад на високочастотний дискретний вхід модуля контролера. Поток керує клапан **BAUMANN серії 24000CVF** (поз.2в), підключений через електро-пневмо перетворювач **ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP** (поз.2б), при досягненні певної кількості імпульсів, клапан закривається.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 42   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

Рівень у варильному чані відслідковується за допомогою ємнісного рівнеміра **NivoCAP** (поз.3а). Залежно від рівня продукту, ємнісний датчик рівня буде змінювати ємність конденсатора, значення якого обладнання перетворює в аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА, який приходить на ПЛК, де оброблюється і відображається на ПК чи панелі оператора, в залежності від потреб. Вихідний сигнал від ПЛК, також 4...20 мА відправляється на електро-пнеumo перетворювач **ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP** (поз.3б), тут він конвертується в пневматичний сигнал 20-100 кПа, та керує клапаном **BAUMANN серії 24000CVF** (поз.3в) злив готового суслу в бродильний апарат.

Температура суслу в апараті вимірюється та відслідковується за допомогою термоперетворювача опору ДТС **105M-Pt100.0,25.МГ.И[73]** (поз.4а), виробництва компанії «ОВЕН» (кодування обрано у відповідності до потреб), діапазон вимірювання 0...+200°C, має вбудований у корпус перетворювач, та видає на виході струмовий сигнал 4...20мА. Номінальна температура у варильному апараті 90 °С. Сигнал від термоперетворювача надходить на аналоговий вхід контролера. Вихідний сигнал 4...20мА прямує до електропнеumo перетворювача **ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP** (поз.4б), який видає пневмосигнал 20-100 кПа що потрапляє до клапану **BAUMANN серії 24000CVF** (поз.4в), та керує подачею гріючої пари. Також вся інформація про температуру і регулювання надходить до ПК та панелі оператора.

Тиск в сусловарильному апараті контролюється та регулюється за допомогою вимірювального перетворювача тиску **SITRANS P, серія DS III** (поз.5а), виробництва компанії Siemens, Німеччина, діапазон вимірювання, вихідний сигнал це постійний струм 4 - 20 мА, який лінійно-пропорційний вхідному значенню тиску. Сигнал від датчика тиску надходить на аналоговий вхід контролера. Вихідний сигнал 4 - 20мА прямує до електропнеumo перетворювача **ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP** (поз.5б), який видає пневмосигнал 20-100 кПа що потрапляє до клапану **BAUMANN серії 24000CVF** (поз.5в), та керує подачею надлишкової пари в вентиляційну шахту,

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 43   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

дотримуючись безпечних технологічних діапазонів технологічного процесу.

Також вся інформація про тиск надходить до ПК та панелі оператора, де реєструється та сигналізує мінімальне та максимальне допустиме значення даного технологічного параметру.

Управління двигуном-мішалкою **AIP 132 S8** здійснюються за допомогою частотного перетворювача **Lenze SMD 380 4 кВт** (поз. 6б) через блок ручного управління **ОВЕН УЗС1** (поз.6а). Керуючий сигнал надходить з аналогового модуля виходів PLC. Для аварійного захисту передбачена кнопка аварійної зупинки по місцю встановлення двигуна (поз. SB1). Потужність двигуна 4 кВт, прилади сумісні один з одним. Всі дані відправляються з ПЛК на ПК, де реєструються та зберігаються.

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

## 2.3. Специфікація засобів автоматизації

Таблиця 4. Специфікація засобів автоматизації

| № п/п | № поз. за схемою     | Місце встановлення | Найменування і технічна характеристика виробу   | Тип, Марка                             | К-сть | Виробник           |
|-------|----------------------|--------------------|---|--|-------|--------------------|
| 1     | 2                    | 3                  | 4   | 5                                      | 6     | 7                  |
| 1     | 1а,3а                | по місцю           | Ємнісний перетворювач рівня з аналоговим вихідним сигналом 4...20 мА. Довжина зонда 3 м. (для чану), 1,5 м.(для дозатора). Виконання з цифровим виходом: HART | NivoCAP CTR-330-4                      | 2     | NivoCAP, Росія     |
| 2     | 1б,1г,2б,3б,4б,5б,5б | на щиті            | Електропневматичний перетворювач. Перетворює пропорційний електричний сигнал 4-20 мА або 0-10 В в пропорційний пневматичний сигнал 20-100 кПа. Рж.=140 кПа,   | ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP  | 6     | ASCO™, США         |
| 3     | 1в,2в,3в,4в,5в,1д    | по місцю           | Виконавчий механізм пневматичний.Ржив. = 140 кПа, Рвих. = 20-100 кПа.   | BAUMANN серії 24000CVF                 | 6     | Emerson, Росія     |
| 4     | 2а                   | по місцю           | Витратомір-лічильник з імпульсним виходом, спец. ротори які обертаються з певною частотою, та видають імпульс при проходженні рідини за 1 оберт Жив. 24В      | Kobold DOM A55HFC                      | 1     | KOBOLD, Німеччина  |
| 5     | 4а                   | по місцю           | Термоперетворювач опору в комплекті з Pt100 з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА, напруга живлення 24 В, діапазон вимірювань 0 ...+200°С                 | ОВЕН ДТС 105М-Pt100.0,25.160 .МГ.И(73) | 1     | ОВЕН, Росія        |
| 6     | 5а                   | по місцю           | Вимірювальний перетворювач тиску з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 мА, напруга живлення 24 В, точність ≤ 0.065 %.                                       | SITRANS P, серія DS III                | 1     | Siemens, Німеччина |

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

Продовження таблиці 4

|    |     |          |   |                                |   |                     |
|----|-----|----------|---|--------------------------------|---|---------------------|
| 7  | ба  | на щиті  | Блок ручного управління, для перемикання на руч/авт керування. Вх.сигнал 4...20мА, час опитування входу не більше 0,4 с. Відображення вихідного сигналу у % або мА (В). | <b>ОВЕН<br/>УЗС1</b>           | 1 | ОВЕН,<br>Росія      |
| 8  | 66  | на щиті  | Перетворювач частоти. Потужність 4 кВт. Живлення 380 В, трьох-фазне підключення.  | <b>Lenze SMD<br/>380 4 кВт</b> | 1 | Lenze,<br>Німеччина |
| 9  | М1  | по місцю | Асинхронний двигун змінного струму, потужність 4 кВт 750 об/хв. Живлення 380 В, трьох-фазне підключення.  | <b>AIP 132 S8</b>              | 1 | AIP<br>м.Київ       |
| 10 | SB1 | по місцю | Кнопка з фіксацією, грибокполібна. Номінальне роб. навантаження 110/230/600 В. Ступінь захисту IP40.  | <b>LAY5-BT42</b>               | 1 | ІЕК,<br>Україна     |

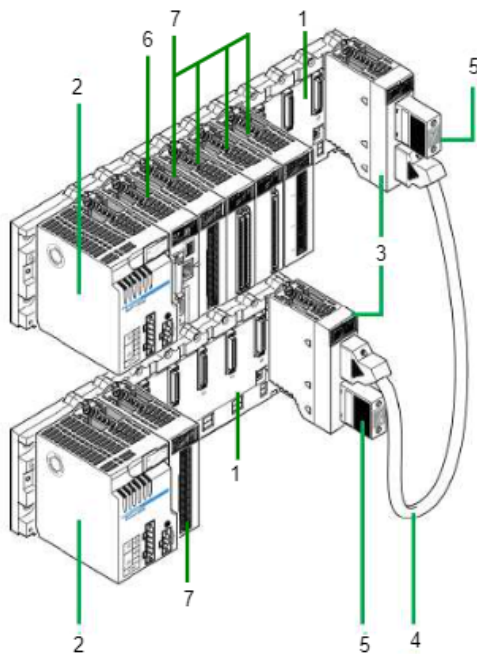
|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 46   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

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

### 3.1. Проектне компонування промислового логічного контролера

В своїй кваліфікаційній роботі я використав німецького представника сімейства промислових логічних контролерів, а саме Schneider Electric.

Я обрав модель *Modicon M340*, з огляду на доступність програмного забезпечення (*UNITY PRO*) для роботи з контролером, досить широкі можливості використання, зрозумілі схеми та варіативність підключення.



1. Шасі, на яких встановлюються модулі.
2. Модуль живлення, який обов'язково повинен бути присутнім в кожному шасі, і який встановлюється на спеціально відведеному місці у шасі
3. Модуль розширення для контролерів побудованих на базі декількох шасі.
4. Кабелі розширення BusX, що з'єднує модулі розширення на суміжних шасі.
5. Термінуючі резистори в кінцевих модулях розширення архітектури M340.
6. Процесорний модуль, який обов'язково розміщується в посадочному місці з номером 00 у шасі, яке має номер 0.
7. Модулі вводу/виводу та модулі спеціального призначення, які розміщуються в будь якому посадочному місці.

Рис.3.1 Фізична структура M340

|           |      |                |        |      | <b>Кваліфікаційна робота</b>  |      |      |         |
|-----------|------|----------------|--------|------|---|------|------|---------|
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |   |      |      |         |
| Розроб.   |      | Полицук С.І.   |        |      | Розробка системи<br>автоматизації процесу варіння<br>пивного сусла на пивзаводі | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Керівник  |      | Проскурка Є.С. |        |      |   |      | 47   | 10      |
| Зав. каф. |      | Ельперін І.В.  |        |      | <b>НУХТ АК-4-1</b>  |      |      |         |
| Секр. ЕК. |      | Проскурка Є.С. |        |      |   |      |      |         |

Основою конструкції М340 є шасі (рис.3.2). Шасі використовується в якості монтажної рами на, якій розміщуються й закріплюються окремі модулі контролера, центральний процесор та блок живлення.



Рис.3.2 Шасі Modicon M340

Вибрані модуля для ПЛК М340 наведено в таблиці 5 та на рис.3.3.

Таблиця 5. Вибрані модулі для ПЛК М340

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

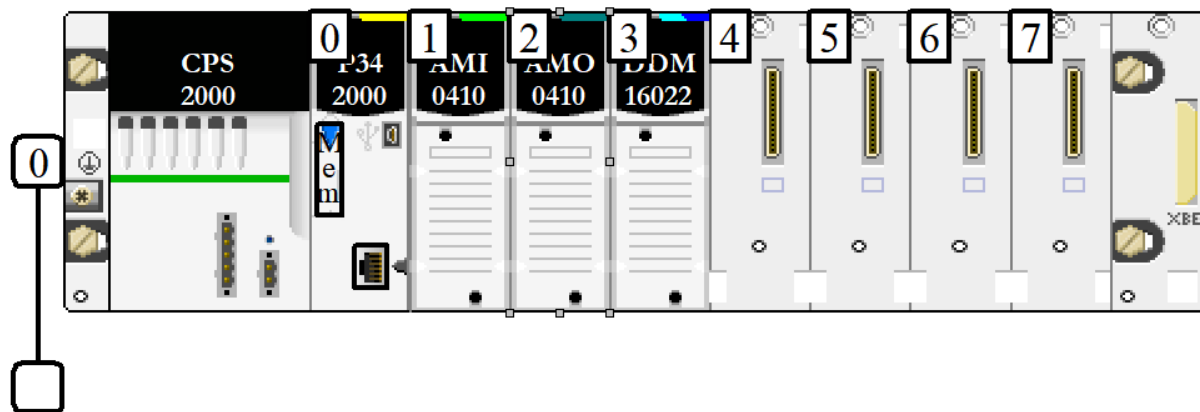


Рис.3.3 Вибрані модулі ПЛК М340

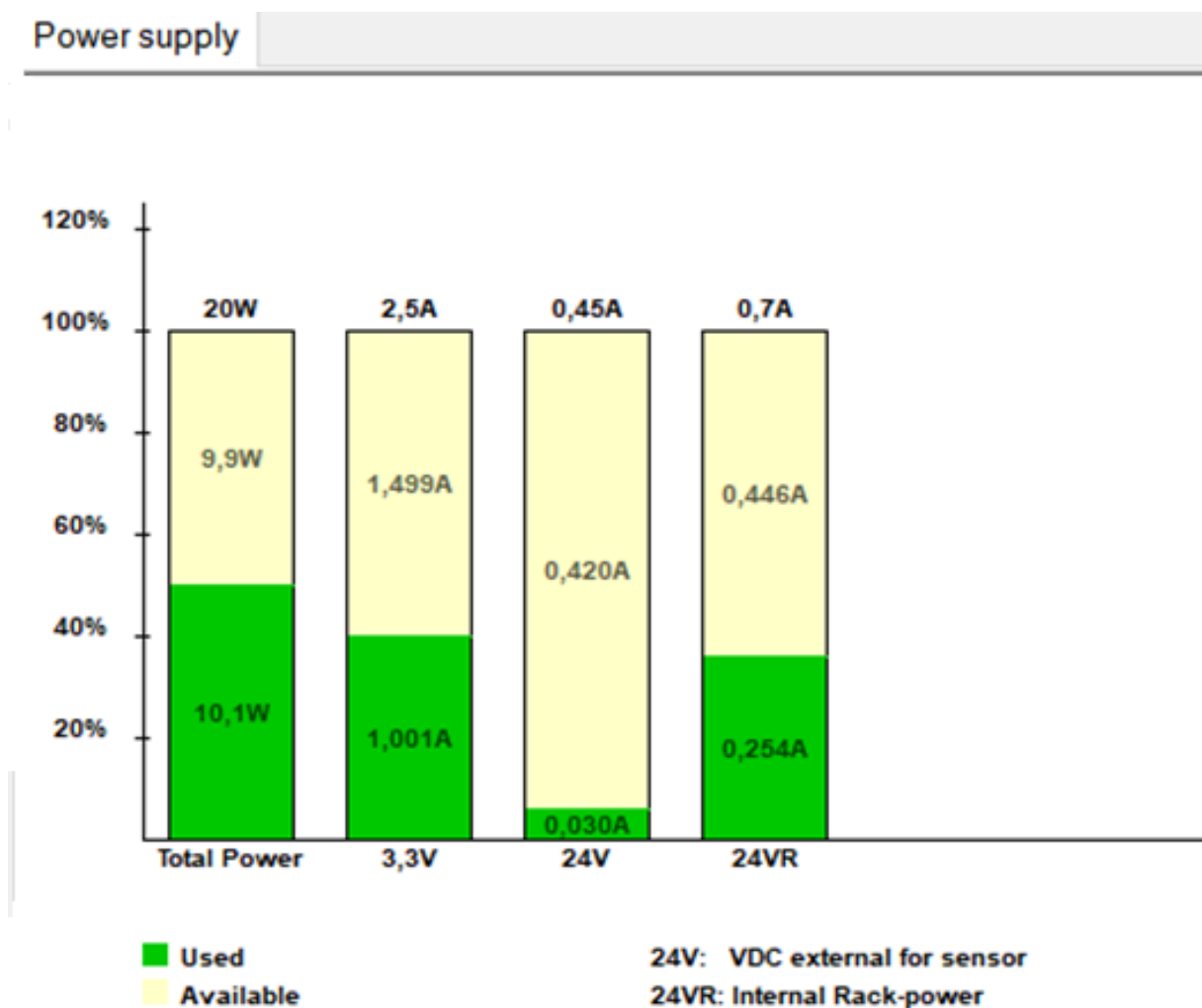


Рис.3.4 Розрахунок споживаної потужності

## Модуль живлення

Всі модулі шасі (включаючи центральний процесор) живляться від внутрішньої шини за допомогою модуля живлення BMX CPS-2000 (рис.3.5). Підбирається модуль живлення відповідно до типу джерела живлення та споживаної потужності та встановлюється у роз'єм із маркуванням CPS у кожному використаному шасі. При налаштуванні апаратного забезпечення ПЛК споживання енергії можна визначити в середовищі UNITY PRO.



Рис.3.5 Зовнішній вигляд модуля живлення BMX CPS-2000

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

## Процесорний модуль

В своїй роботі я використовую процесорний модуль ВМХ Р34-2000.

Даний процесорний модуль чудово впорається з заданими технічними завданнями, відрізняється своїми функціональними можливостями, швидкістю обробки даних та операцій.



Нижче наведено характеристика модуля в таблиці 6.

Рис.3.6 Зовнішній вигляд головного процесору ВМХ Р34-2000

Таблиця 6. Характеристика процесорного модуля ВМХ Р34-2000

| Характеристика                 |                          | ВМХ Р34-2000 |
|--------------------------------|--------------------------|--------------|
| Максимальна кількість          | Шасі                     | 4            |
|                                | Дискретних вх./вих.      | 1024         |
|                                | Аналогових вх./вих.      | 256          |
|                                | Лічильних каналів        | 36           |
| Об'єм RAM                      | Загальний розмір         | 4096 Кб      |
|                                | Для програм, символів.   | 3584 Кб      |
|                                | Для даних                | 256 Кб       |
| Максимальна кількість об'єктів | Локаліз. внутрішні біти  | 32464        |
|                                | Локаліз. внутрішні слова | 32464        |
|                                | Нелокаліз. внутр дані    | 256 Кб       |
| Вбудовані комунікації          | Послідовний RS-405/232C  | +            |
|                                | Ethernet TCP/IP          | -            |
|                                | CAN Open                 | -            |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

### 3.2. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК

**Аналогові входи.** До модулів аналогових входів ВМХ АМІ 0410 підключаються датчики рівня, температури, тиску з уніфікованим струмовим сигналом 4 - 20 мА для зчитування різного роду технологічних показників під час виробничого процесу.

**Аналогові виходи.** До модулів аналогових виходів ВМХ АМО 0410 підключається електро-пневматичні перетворювачі з уніфікованим струмовим сигналом 4 - 20 мА для управління пневматичним клапанами та частотний перетворювач для управління мішалкою.

**Дискретні входи/виходи.** До змішаних дискретних модулів ВМХ DDM 16022 на вхід підключаються витратомір та кнопка для управління частотним перетворювачем, а на вихід підключаються електро-пнеумперетворювачі для управління пневмоклапанами.

На принциповій схемі підключення датчиків та ВМ до ПЛК процесу виробництва сусла для пивзаводу використовуються такі елементи:

– автоматичні вимикачі з захистом по струму: QF1-QF7 – для подачі живлення на блоки живлення для модулів, блок ручного управління та модуль живлення ПЛК, або автоматичного відсікання у разі КЗ;

– блоки живлення: БЖ1-БЖ2-БЖ3-БЖ4 – для живлення датчиків, електро-пнеумо перетворювачів та модулів дискретних входів та виходів ПЛК, перетворення 220 В змінної напруги в постійну напругу 24 В.

На принциповій схемі підключення датчиків та ВМ до ПЛК процесу приготування сусла для виробництва пива використана така нумерація провідників:

– нумерація провідників в яких протікає змінний струм починається з 800 (800-832);

- нумерація провідників в яких протікає постійний струм починається з 900 (900-930);

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

- нумерація провідників, в яких проходить вимірювальний сигнал від датчиків до ПЛК починається з 100 (100-115);
- нумерація провідників в яких проходить сигнал управління від ПЛК до електро-пневно перетворювачів починається з 200 (200-205).
- нумерація патрубків в яких проходить пневматичний сигнал від компресора до перетворювача та до клапана починається з 002 (002-014);

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

### 3.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру

#### Контур управління змішувачем

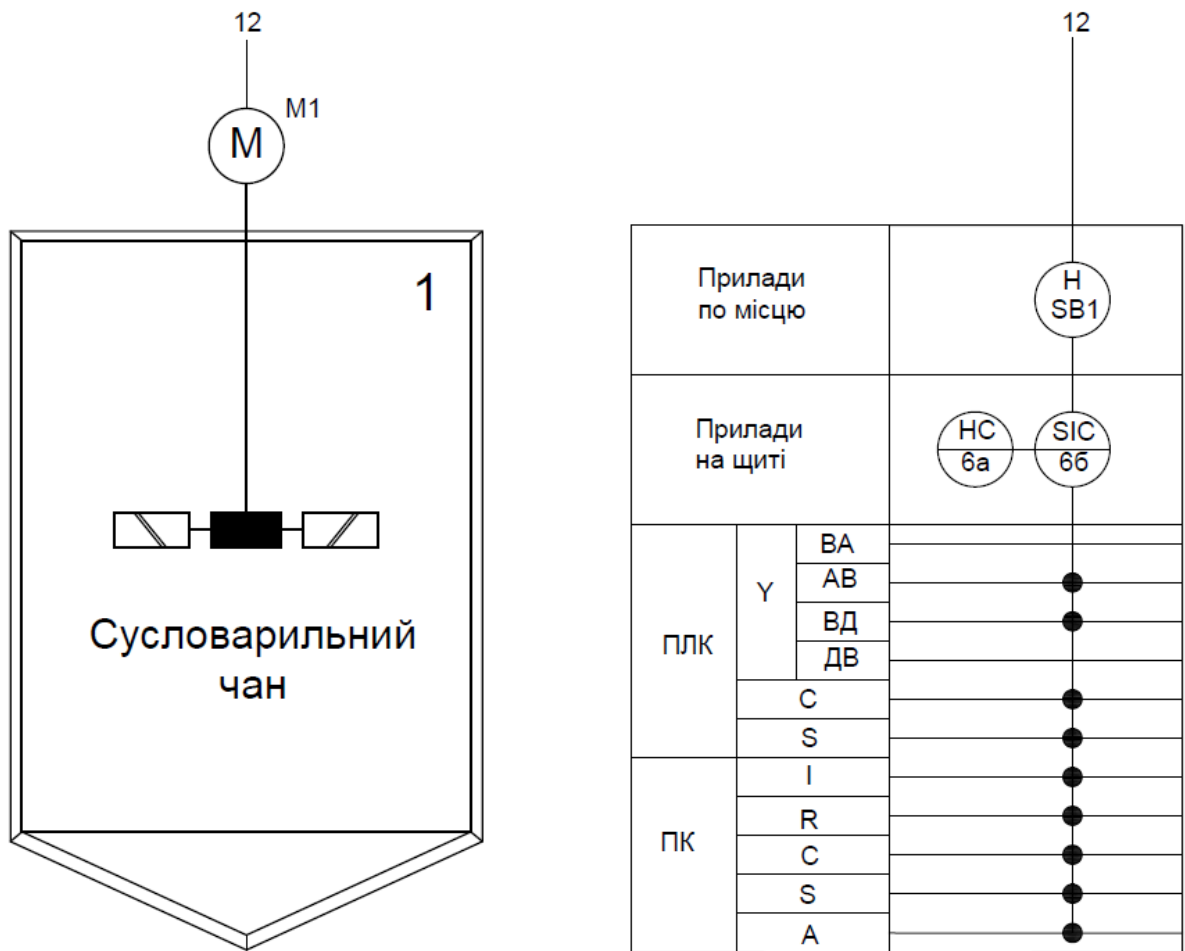


Рис.3.7 Функціональна схема автоматизації контуру управління змішувачем

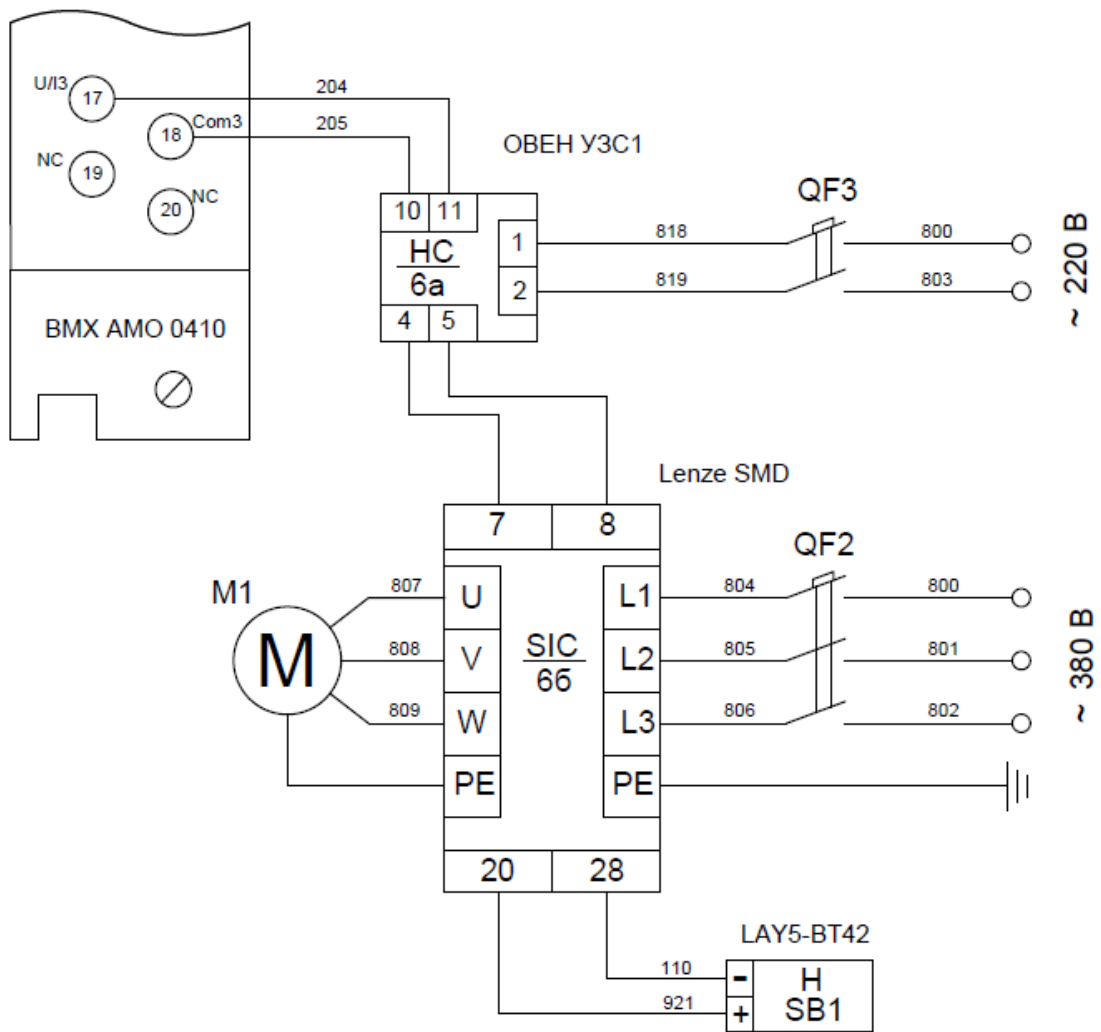


Рис.3.8 Принципова розширена схема підключення частотного перетворювача

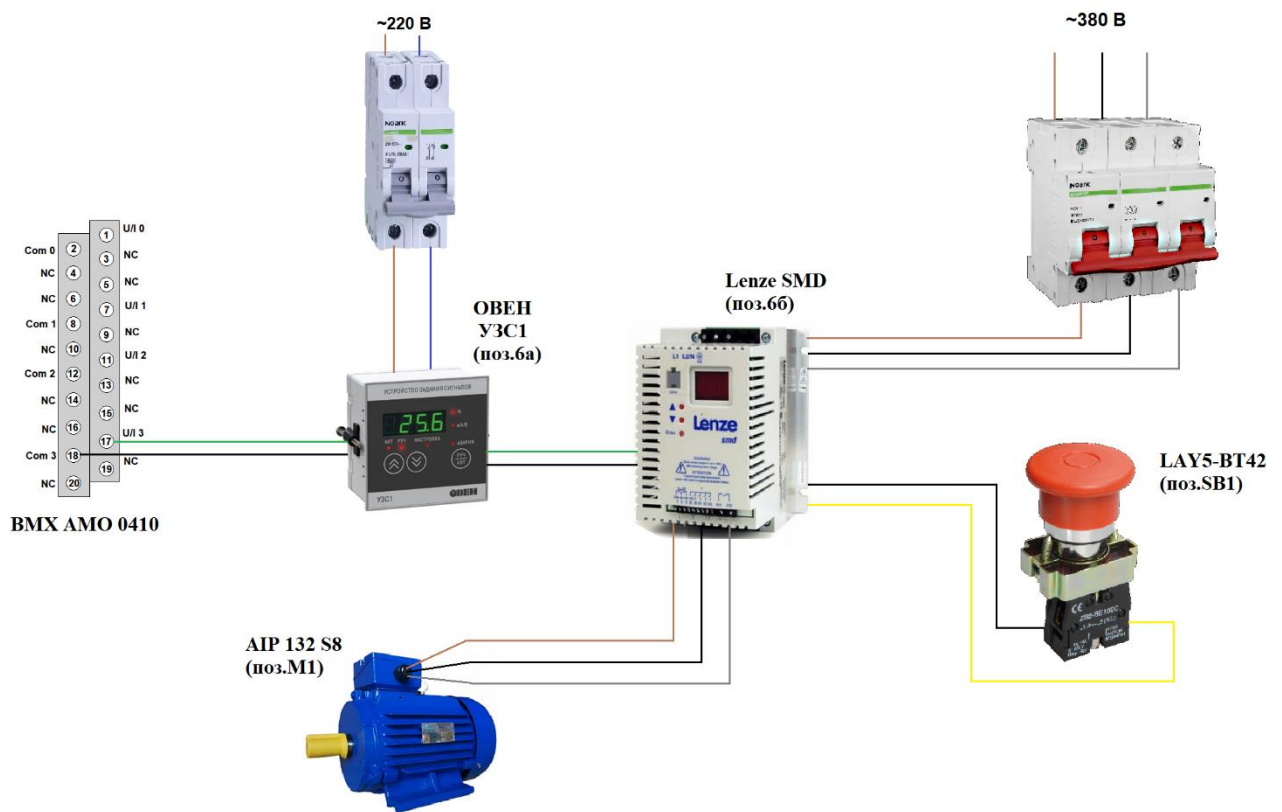


Рис.3.9 Графічна схема підключення частотного перетворювача

Вихідний сигнал контролера 4-20 мА від аналогового модуля виходів BMX AMO 0410 подається на блок ручного управління ОВЕН УЗС1 (поз. 6а), для подачі живлення на БРУ використовується автоматичний вимикач QF3.

Сигнал від БРУ прямує на частотний перетворювач, який передає сигнал згідно технологічного завдання. Частотний перетворювач Lenze SMD (поз. 6б), що керує двигуном AIP 132 S8 (поз. M1), для його живлення використовується автоматичний вимикач QF2.

Також присутня кнопка аварійної зупинки у разі аварійної чи передаварійної ситуації, щоб уникнути її, кнопка підключається через частотний перетворювач, та встановлюється як по місцю, так і на щиті.

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

## Розділ 4. Креслення встановлення технічного засобу

В кваліфікаційній роботі використовується ємнісний рівнемір Nivocar CTR-330-4 через його високу точність, надійність та простоту в експлуатації. Зручний та простий монтаж даного приладу. Загальний вигляд приладу представлено на рис.4.1.



Рис.4.1 Ємнісний рівнемір Nivocar CTR-330-4

Рівнемір - пристрій, що використовується для визначення рівня вмісту у відкритих та закритих резервуарах, сховищах тощо. Вміст стосується різних типів речовин, включаючи рідини, що утворюються з газів, а також сипких та інших матеріалів. Рівнеміри також називають датчиками/сигналізаторами рівня, перетворювачем рівня рідини. Головна відмінність рівнеміра від сигналізатора рівня — це можливість виміряти градації рівня, а не тільки його граничні значення.

|           |      |                |        |      | Кваліфікаційна робота   |             |         |
|-----------|------|----------------|--------|------|---|-------------|---------|
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата | Літ.  | Арк.        | Аркушів |
| Розроб.   |      | Поліщук С.І.   |        |      | Розробка системи автоматизації процесу варіння пивного сусла на пивзаводі |             |         |
| Керівник  |      | Проскурка Є.С. |        |      |   | 57          | 4       |
| Зав. каф. |      | Ельперін І.В.  |        |      |   | НУХТ АК-4-1 |         |
| Секр. ЕК. |      | Проскурка Є.С. |        |      |   |             |         |
|           |      |                |        |      |   |             |         |

В нашому випадку даним рівнеміром ми будемо контролювати за рівнем сула в варильному апараті та рівнем хмелевої суміші в дозаторі. Даний прилад буде відображати рівень в відсотковому співвідношенню на екрані АРМ. Також рівнемір має ефективні функції.

### **Вимірювання об'єму і ваги**

Даний прилад підтримує функцію перерахунку рівня в обсяг або вага продукту. Для цього необхідно запрограмувати прилад з застосуванням необхідного програмного забезпечення, по способу введення арифметичної формули в прилад для перерахунку приладом рівня в обсяг, або рівня в вагу продукту. Показання приладу для вимірювання рівня, об'єму і ваги будуть перетворюватися в струмовий сигнал 4-20мА, або при використанні додаткового замовляється пристрої SAP-202 відображатися на самому приладі.

### **Монтаж і з'єднання**

Зонд повинен бути встановлений вертикально і при вимірюванні не проводять продуктів встановлено відповідний зонд або коаксіальна труба.

Установку приладу і зонда встановлюють в відповідний різьбовий отвір для гвинта, і для затягування використовують ключ з розміром по ключу  $S = 41$  або  $S = 50$  відповідно.

Активний зонд і відповідно пасивний зонд повинні бути встановлені паралельно відносно один одного.

### **Принцип роботи**

Активний зонд приладу і провідна стінка ємності створюють пластини конденсатора. Ізолятором в цьому конденсаторі є або повітря, або інший матеріал в ємності, які будуть діелектриками між пластинами простого конденсатора.

Коли ємність порожня, тоді початкова ємність конденсатора буде дорівнює  $C_0$ , при цьому діелектричний коефіцієнт "εr" для повітря дорівнює 1.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 58   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

Коли повітря буде витіснене продуктом з діелектричної константою вище ніж у повітря, ємність конденсатора зміниться, тобто ємність буде змінюватися зі збільшенням вимірюваного продукту в ємності. Ця зміна ємності буде перетворено приладом в вихідний сигнал пропорційно зміні рівня. У той же самий час показання рівнеміра прямо-пропорційно зміні рівня продукту і рівня ємності конденсатора.

Ємність також залежить від відстанні між пластинами і виконанням умови про паралельність активного зонда і стінки ємності або другого зонда. Також застосування другого зонда необхідно при вимірюванні рівня в ємностях незвичайної форми, сферичних, ємностей з відсутніми строго вертикальними стінами, навіть якщо стіна виготовлена з провідного матеріалу.

Відмінною особливістю ємнісного вимірювання рівня є те що необхідно виміряти і зберегти в приладі значення ємності при двох різних відомих точках рівня продукту (режим навчання), прилад потрібно "навчити" в середовищі його застосування на ємності з продуктом. Неправильний вибір зонда і дуже низька діелектрична константа продукту можуть перешкодити виміру.

Для провідних матеріалів (наприклад: вода, кислоти, луги, розчини з водою) повинен бути використаний ізольований зонд, для якого значення діелектричної константи продукту може бути будь-яким. Для непровідних матеріалів може бути використаний, як ізольований так і неізольований зонд, але діелектрична постійна не може бути вище 1,5 ( $\epsilon_r = 1,5$ ).

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

**Штирьове виконання зонду**

**СТ□-2, 3□□-□**

**СВ□-2, 3□□-□**

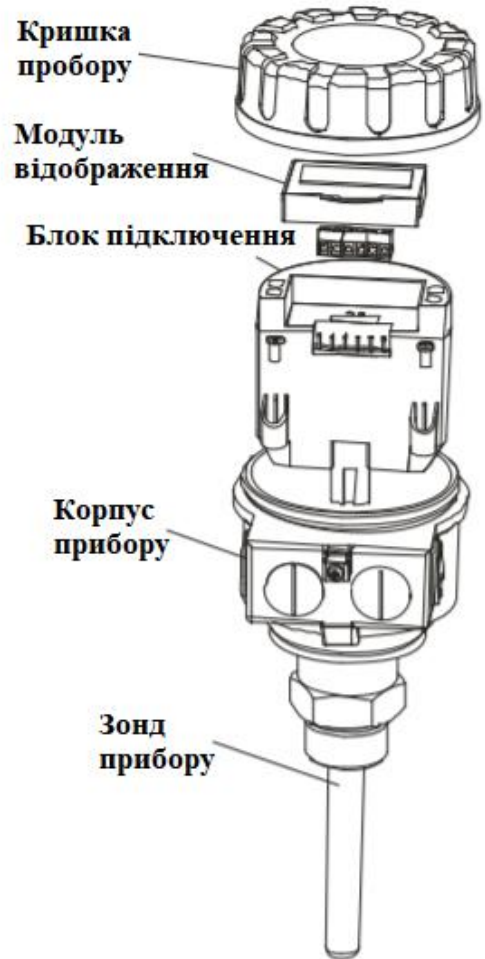
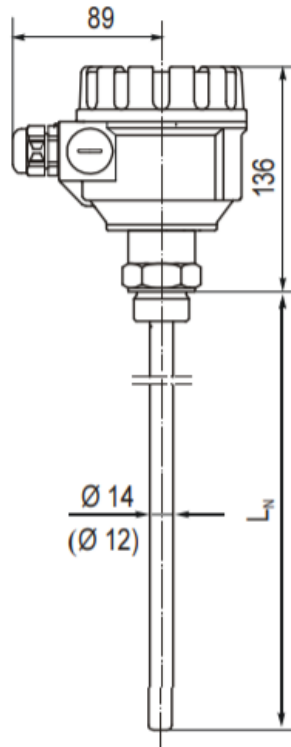


Рис.4.2 Габаритні розміри рівнеміра Nivocar CTR-330-4

| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |

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

В даному розділі мною було розроблено алгоритм роботи об'єкта автоматизації процесу варіння пивного сусла на пивзаводі, яка має таку послідовність виконання дій:

Після натискання кнопки “ПУСК”:

- Відкривається клапан (Кл2в) і ємність наповнюється суслим на 50%, після досягнення заданого рівня закривається клапан набору сусла (Кл2в);

- Подається перша доза хмелю:

1. Відкривається клапан подачі хмелю (Кл1в) , дозатор наповнюється хмелевою сумішшю на 90%;

2. Закривається клапан набору (Кл1в), відкривається клапан зливу хмелевої суміші (Кл1д), відбувається злив суміші з дозатора до рівня 5%;

3. Закрити клапан зливу (Кл1д);

- Включається двигун і відкривається клапан подачі сусла в ємність , наповнюємо ємність до рівня 70%, припиняємо подачу сусла закриттям клапана (Кл2в);

- Ємність підігрівається за допомогою аналогового клапану подачі пари (Кл4в) до 98 °С на протязі 2 год 30хв;

- Під час нагріву ємності також регулюється тиск за допомогою аналогового клапану відводу пари в вентиляцію (Кл5в);

- Через 1 год подати другу дозу хмелевої суміші в ємність;

- Додержання температури (процес кипятіння сусла ) протягом 2 год 30 хв , після чого аналоговий клапан (Кл4в) закривається , виключається двигун і закривається клапан (Кл5в);

| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата | <b>Кваліфікаційна робота</b>   |                    |      |         |
|-----------|------|----------------|--------|------|--|--------------------|------|---------|
|           |      |                |        |      | <i>Розробка системи автоматизації процесу варіння пивного сусла на пивзаводі</i> | Літ.               | Арк. | Аркушів |
|           |      |                |        |      |  |                    | 61   | 17      |
|           |      |                |        |      |  | <b>НУХТ АК-4-1</b> |      |         |
|           |      |                |        |      |  |                    |      |         |
|           |      |                |        |      |  |                    |      |         |
| Розроб.   |      | Полищук С.І.   |        |      |  |                    |      |         |
| Керівник  |      | Проскурка Є.С. |        |      |  |                    |      |         |
| Зав. каф. |      | Ельперін І.В.  |        |      |  |                    |      |         |
| Секр. ЕК. |      | Проскурка Є.С. |        |      |  |                    |      |         |

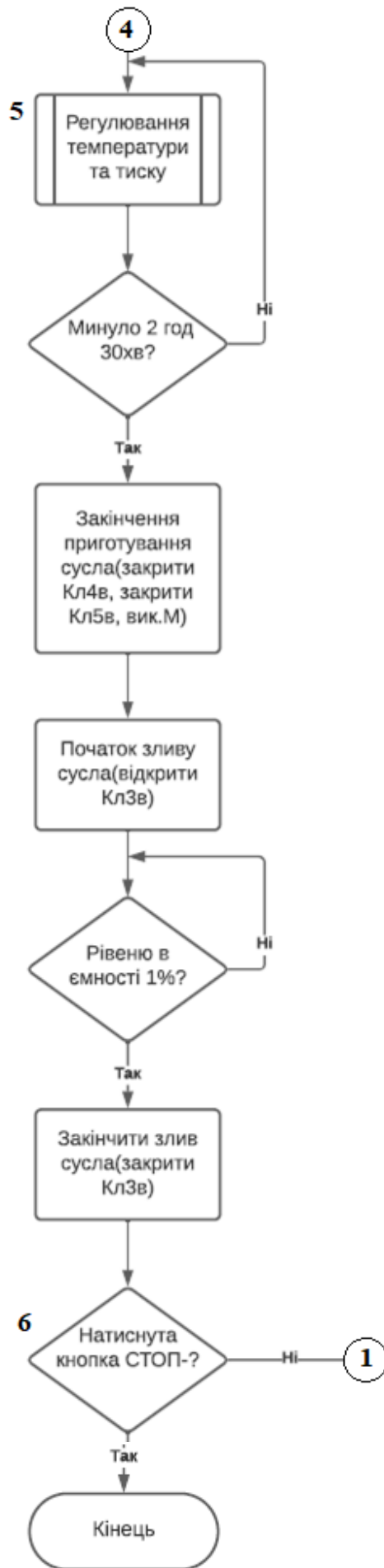
- Відкрити клапан зливу сусла в бродильний апарат(КлЗв) та злити сусло до рівня 1% (повний злив);
- Після досягнення нульового рівня в ємності закрити клапан зливу (КлЗв);
- Якщо не натиснута кнопка “СТОП”, продовжити роботу , починаючи з п.1., інакше – завершити роботу програми.

Для кращого розуміння алгоритму управління складається алгоритмічна структура для розв’язання задач, яка в свою чергу відображає систематизацію і структуровану обробку інформацію. Також дана структура зображує послідовність керуючих дій для нормальної роботи об’єкта автоматизації.





|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |



|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

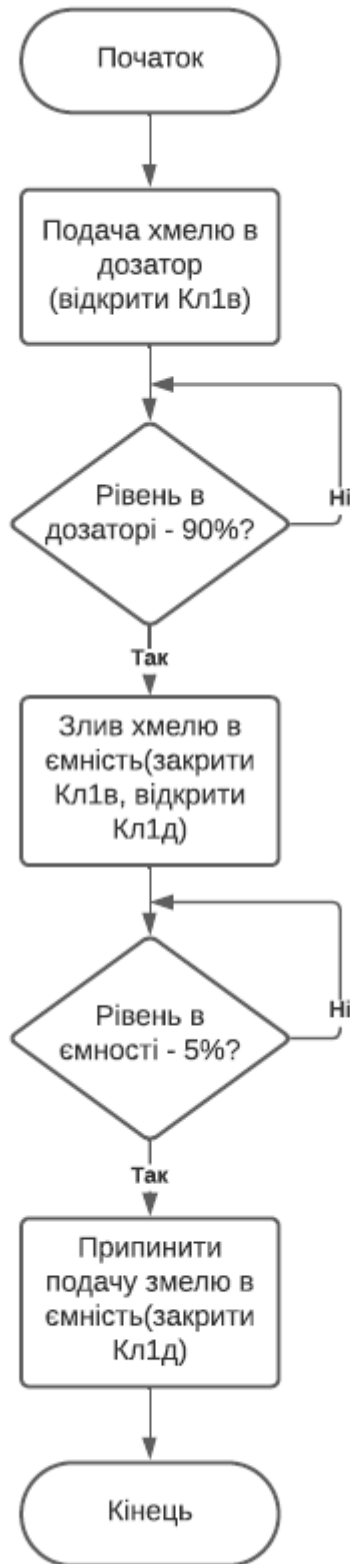


Рис.5.1 Блок-схема управління процесом варіння сула.

Згідно представленого алгоритму вище відбувається програмування ПЛК.

В табл. 7 зображено змінні, які використовуються під час написання програми для функціонування процесу виробництва сусла для пивзаводу.

Таблиця 7. Змінні для ПЛК.

| Name        | Ty... | Value | Comment  | A | A | Add...   |
|-------------|-------|-------|--|---|---|----------|
| HC          | INT   |       | Руч/авт регулятор(а)                           |   |   | %QW0.23  |
| LVS5_P      | INT   |       | Клапан відводу пари з варильного чану(а)       |   |   | %QW0.21  |
| LVS4_T      | INT   |       | Клапан подачі пари для нагрівання сусла(а)     |   |   | %QW0.20  |
| LVS3_L_SS   | EBOOL |       | Клапан зливу сусла з чану(д)                   |   |   | %Q0.3.23 |
| LVS2_F_NS   | EBOOL |       | Клапан подачі сусла в чан(д)                   |   |   | %Q0.3.21 |
| LVS1_L_SX   | EBOOL |       | Клапан зливу хмелю з дозатора(д)               |   |   | %Q0.3.19 |
| LVS1_L_NX   | EBOOL |       | Клапан подачі хмелю в дозатор(д)               |   |   | %Q0.3.17 |
| PT          | INT   |       | Датчик тиску аналоговий                        |   |   | %IW0.1.3 |
| TE          | INT   |       | Датчик температури аналоговий                  |   |   | %IW0.1.2 |
| LE1         | INT   |       | Рівнемір в варильному чані(а)                  |   |   | %IW0.1.1 |
| LE2         | INT   |       | Рівнемір в дозаторі хмелю(а)                   |   |   | %IW0.1.0 |
| FE          | EBOOL |       | Дискретний витратомір                          |   |   | %I0.3.4  |
| StopD       | EBOOL |       | Аварійна кнопка "СТОП" двигуна                 |   |   | %I0.3.0  |
| TM_Time     | TIME  |       | Уставка часу                                   |   |   |          |
| TM_Start    | BOOL  |       | Таймер вкл/викл                                |   |   |          |
| TE_SP       | REAL  |       | Уставка температура                            |   |   |          |
| TE_M        | REAL  |       | Датчик температури аналоговий(машт)            |   |   |          |
| TC3_TRON    | BOOL  |       |  |   |   |          |
| TC3_AUTO    | BOOL  |       |  |   |   |          |
| TC2_TRON    | BOOL  |       |  |   |   |          |
| TC2_AUTO    | BOOL  |       |  |   |   |          |
| TC1_TRON    | BOOL  |       |  |   |   |          |
| TC1_AUTO    | BOOL  |       |  |   |   |          |
| StopD_M     | BOOL  |       | Аварійна кнопка "СТОП" двигуна (внутр)         |   |   |          |
| Stop_M      | BOOL  |       | Кнопка "СТОП" (внутр)                          |   |   |          |
| StepProg    | INT   |       |  |   |   |          |
| Start_M     | BOOL  |       | Кнопка "ПУСК" (внутр)                          |   |   |          |
| PT_SP       | REAL  |       | Уставка тиск                                   |   |   |          |
| PT_M        | REAL  |       | Датчик тиску аналоговий(машт)                  |   |   |          |
| manual_HC   | REAL  |       | Ручний режим БРУ                               |   |   |          |
| LVS5_P_M    | REAL  |       | Клапан відводу пари з варильного чану(машт)    |   |   |          |
| LVS4_T_M    | REAL  |       | Клапан подачі пари для нагрівання сусла(маш... |   |   |          |
| LVS3_L_SS_M | BOOL  |       | Клапан зливу сусла з чану(машт)                |   |   |          |
| LVS2_F_NS_M | BOOL  |       | Клапан подачі сусла в чан(машт)                |   |   |          |
| LVS1_L_SX_M | BOOL  |       | Клапан зливу хмелю з дозатора(машт)            |   |   |          |
| LVS1_L_NX_M | BOOL  |       | Клапан подачі хмелю в дозатор(машт)            |   |   |          |
| LE2_M       | REAL  |       | Рівнемір в дозаторі хмелю(машт)                |   |   |          |
| LE1_M       | REAL  |       | Рівнемір в варильному чані(машт)               |   |   |          |
| HC_SP       | REAL  |       | Уставка для БРУ(внутр)                         |   |   |          |
| HC_M        | REAL  |       | Руч/авт регулятор(машт)                        |   |   |          |
| FE_M        | REAL  |       | Дискретний витратомір (внутр)                  |   |   |          |
| AUTO_HC     | BOOL  |       |  |   |   |          |

На рисунках 5.2-5.5 зображено вікно конфігурування модулю ЦПУ, дискретного і аналогових модулів входів/виходів.

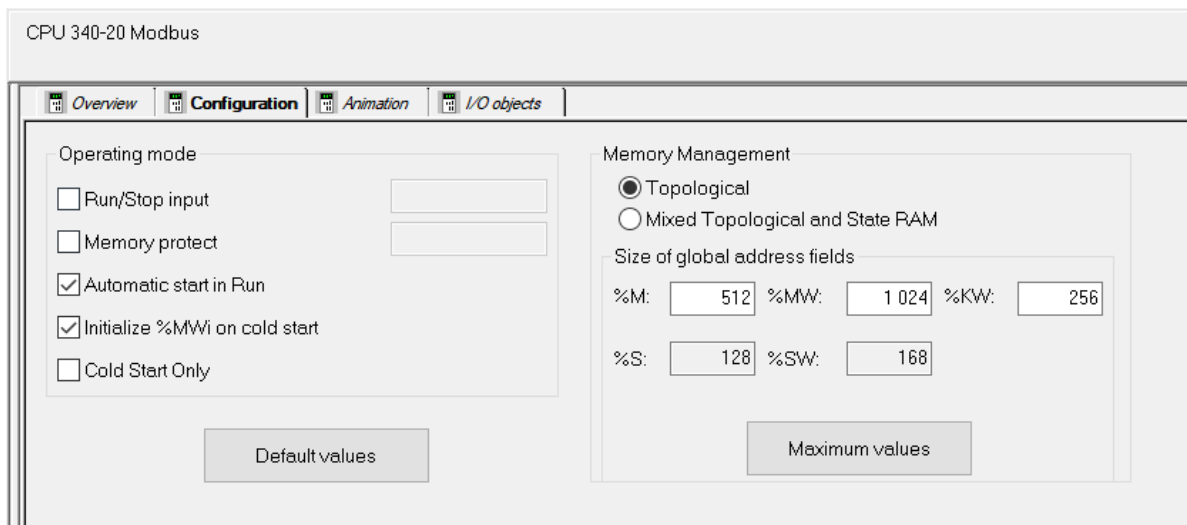


Рис.5.2 Конфігурування процесорного модуля

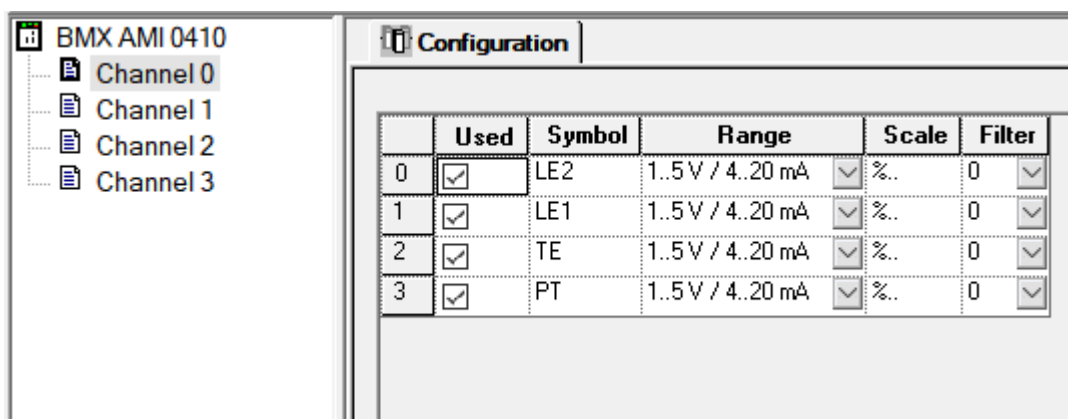


Рис.5.3 Конфігурування модуля BMX AMI 0410

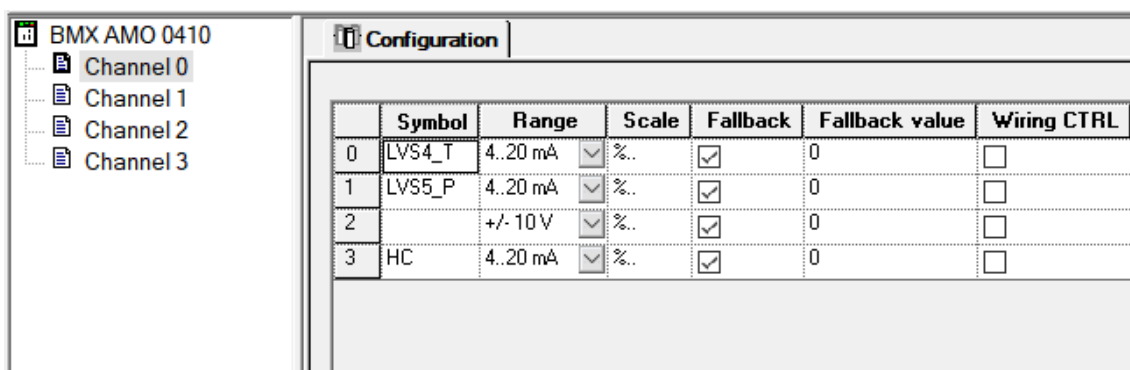


Рис.5.4 Конфігурування модуля BMX AMO 0410

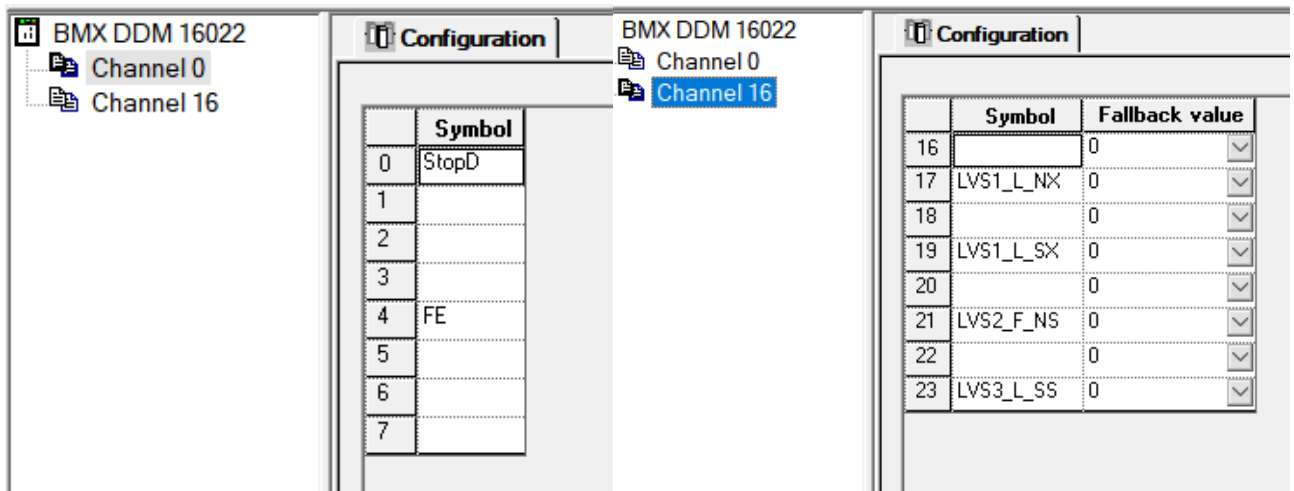


Рис.5.5 Конфігурування модуля BMX DDM 16022

### Масштабування та перетворення входів/виходів

В даному пункті необхідно масштабувати технічні змінні, які в свою чергу обробляється в секціях INPUTS та OUTPUTS.

На рисунку нижче показана секція "INPUTS" в якій зображується масштабування вхідних аналогових змінних за допомогою функціонального блоку "SCALING".

```

SCALING_TE (IN := INT_TO_REAL(TE),
            PARA := T_PARA,
            OUT => TE_M); (*масштабування температури*)

SCALING_PT (IN := INT_TO_REAL(PT),
            PARA := P_PARA,
            OUT => PT_M); (*масштабування температури*)

SCALING_LE1 (IN := INT_TO_REAL(LE1),
            PARA := LE1_PARA,
            OUT => LE1_M); (*масштабування рівня в чані*)

SCALING_LE2 (IN := INT_TO_REAL(LE2),
            PARA := LE2_PARA,
            OUT => LE2_M); (*масштабування рівня в дозаторі*)

```

Рис.5.6 Масштабування вхідних аналогових сигналів

Масштабування за допомогою ФБ SCALING вимагає налаштування через змінну типу PARA\_SCALE.

|              |              |         |  |
|--------------|--------------|---------|--|
| [-] T_PARA   | Para_SCALING |         |  |
| in_min       | REAL         | 0.0     | мінімальне вхідне значення                               |
| in_max       | REAL         | 10000.0 | максимальне вхідне значення                              |
| out_min      | REAL         | 0.0     | мінімальне масштабоване значення                         |
| out_max      | REAL         | 200.0   | максимальне масштабоване значення                        |
| clip         | BOOL         | true    | активувати обмеження по виходу                           |
| [-] P_PARA   | Para_SCALING |         |  |
| in_min       | REAL         | 0.0     | Lower limit of the input scale                           |
| in_max       | REAL         | 10000.0 | Upper limit of the input scale                           |
| out_min      | REAL         | 0.0     | Lower limit of the output scale                          |
| out_max      | REAL         | 3.0     | Upper limit of the output scale                          |
| clip         | BOOL         | true    | "1": the value of the OUT output is limited by out_mi... |
| [-] LE2_PARA | Para_SCALING |         |  |
| in_min       | REAL         | 0.0     | Lower limit of the input scale                           |
| in_max       | REAL         | 10000.0 | Upper limit of the input scale                           |
| out_min      | REAL         | 0.0     | Lower limit of the output scale                          |
| out_max      | REAL         | 100.0   | Upper limit of the output scale                          |
| clip         | BOOL         | true    | "1": the value of the OUT output is limited by out_mi... |
| [-] LE1_PARA | Para_SCALING |         |  |
| in_min       | REAL         | 0.0     | Lower limit of the input scale                           |
| in_max       | REAL         | 10000.0 | Upper limit of the input scale                           |
| out_min      | REAL         | 0.0     | Lower limit of the output scale                          |
| out_max      | REAL         | 100.0   | Upper limit of the output scale                          |
| clip         | BOOL         | true    | "1": the value of the OUT output is limited by out_mi... |

Рис.5.7 Налаштування PARA\_SCALE відповідно завданню.

Для аналогових виходів застосовано просту формулу для масштабування:

```

(*клапан 0-100% -> 0-10000 *)
LVS4_T:=real_to_int(LVS4_T_M*100.0);
LVS5_P:=real_to_int(LVS5_P_M*100.0);

(*БРУ 0-100%(4-20мА) -> 0-10000*)
HC:=real_to_int(HC_M*100.0);

(*дискретні виходи*)
LVS1_L_NX := LVS1_L_NX_M;
LVS1_L_SX := LVS1_L_SX_M;
LVS2_F_NS := LVS2_F_NS_M;
LVS3_L_SS := LVS3_L_SS_M;

```

Рис.5.8 Масштабування вихідних аналогових та дискретних сигналів

## Реалізація контурів регулювання з використання PI\_V

Реалізація контуру регулювання температурою та тиску на мові ST показаний нижче. Налаштування змінних контуру показано на рисунку .

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.

```

TC1_TE (t#1s, 0); (*генератор імпульсів 1с*)
TC1 (EN := TC1_TE.Q, (*викликати раз в секунду*)
     PV := TE_M, (*дійсне масштабоване значення температури*)
     SP := TE_SP, (*задане значення*)
     MAN_AUTO := TC1_AUTO, (*перемикач авто/руч*)
     PARA := TC1_PARA, (*параметри регулятора*)
     TR_I := LVS4_T_M, (*значення режиму слідкування = значення клапану*)
     TR_S := TC1_TRON, (*включення режиму слідкування*)
     OUT := LVS4_T_M); (*значення на ВМ *)

TC2_PT (t#1s, 0); (*генератор імпульсів 1с*)
TC2 (EN := TC2_PT.Q, (*викликати раз в секунду*)
     PV := PT_M, (*дійсне масштабоване значення тиску*)
     SP := PT_SP, (*задане значення*)
     MAN_AUTO := TC2_AUTO, (*перемикач авто/руч*)
     PARA := TC2_PARA, (*параметри регулятора*)
     TR_I := LVS5_P_M, (*значення режиму слідкування = значення клапану*)
     TR_S := TC2_TRON, (*включення режиму слідкування*)
     OUT := LVS5_P_M); (*значення на ВМ *)
    
```

Рис.5.9 Реалізація контуру регулювання температурою та тиску.

| TC2_PARA |      | Para_PI_B |  |  |
|----------|------|-----------|--|--|
| id       | UINT |           |  | Reserved for autotuning                                    |
| pv_inf   | REAL | 0.0       |  | Lower limit of the process value range                     |
| pv_sup   | REAL | 3.0       |  | Upper limit of the process value range                     |
| out_inf  | REAL | 0.0       |  | Lower limit of the output value range                      |
| out_sup  | REAL | 10000.0   |  | Upper limit of the output value range                      |
| rev_dir  | BOOL | true      |  | 0: direct action of the PID controller 1: opposite acti... |
| en_rcpy  | BOOL | false     |  | 1: the RCPY input is used                                  |
| kp       | REAL | 5.0       |  | Proportional contribution (gain)                           |
| ti       | TIME | t#3s      |  | Integral time  |
| dband    | REAL | 0.001     |  | Dead zone on deviation                                     |
| outbias  | REAL |           |  | Manual adjustment of static deviation                      |
| TC1_PARA |      | Para_PI_B |  |  |
| id       | UINT |           |  | Reserved for autotuning                                    |
| pv_inf   | REAL | 0.0       |  | Lower limit of the process value range                     |
| pv_sup   | REAL | 200.0     |  | Upper limit of the process value range                     |
| out_inf  | REAL | 0.0       |  | Lower limit of the output value range                      |
| out_sup  | REAL | 100.0     |  | Upper limit of the output value range                      |
| rev_dir  | BOOL | false     |  | 0: direct action of the PID controller 1: opposite acti... |
| en_rcpy  | BOOL | false     |  | 1: the RCPY input is used                                  |
| kp       | REAL | 1.5       |  | Proportional contribution (gain)                           |
| ti       | TIME | t#5s      |  | Integral time  |
| dband    | REAL | 0.1       |  | Dead zone on deviation                                     |
| outbias  | REAL |           |  | Manual adjustment of static deviation                      |

Рис.5.10 Змінні для контуру регулювання температурою та тиску.

## Реалізація логіко-командних задач

На відміну від контурів регулювання та функції обробки, які мають виконуватися постійно, логіко-командні задачі мають початок і кінець. В даному випадку було використано мову ST та інструкцію вибору «CASE».

Мова ST (Structured Text, структурований текст) – це текстова мова, яка подібна до PASCAL, C, BASIC і т.п. Дана мова не така виразна, як інші графічні мови, але вона універсальна і найкраще підходить для виконання складної логіки, громіздких обчислень і операцій з циклами і масивами.

```
Timer(TM_Start, TM_Time);

CASE StepProg of
0:
    LVS1_L_NX_M:=false;
    LVS1_L_SX_M:=false;
    LVS2_F_NS_M:=false;
    LVS3_L_SS_M:=false;
    LVS4_T_M:=0.0;
    LVS5_P_M:=0.0;
    AUTO_HC:=false;
    HC_M:=0.0;
    TC1_AUTO:=false;
    TC2_AUTO:=false;
    StepProg:=1;

1:
if Start_M then
    StepProg:=2;
end_if;

2:
LVS2_F_NS_M:=true;
    StepProg:=3;

3:
if LE1_M>=50.0 then
    StepProg:=4;
end_if;

4:
LVS2_F_NS_M:=false;
    StepProg:=5;

5:
LVS1_L_NX_M:=true;
    StepProg:=6;

6:
if LE2_M>=90.0 then
    StepProg:=7;
end_if;

7:
LVS1_L_NX_M:=false;
LVS1_L_SX_M:=true;
    StepProg:=8;

8:
if LE2_M<=5.0 then
    StepProg:=9;
end_if;
```

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 71   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

```

9:
LVS1_L_SX_M:=false;
    StepProg:=10;

10:
LVS2_F_NS_M:=true;
AUTO_HC:=true;
    StepProg:=11;

11:
if LE1_M>=70.0 then
    LVS2_F_NS_M:=false;
        StepProg:=12;

end_if;

12:
TM_Time:= T#2m30s;
TM_Start:=true;
TC1_AUTO:=true;|
TC2_AUTO:=true;
TC1_TRON:=false;
TC2_TRON:=false;
TE_SP:=90.0;
PT_SP:=1.0;
    StepProg:=13;

13:
if Timer.ET=T#1m then
    LVS1_L_NX_M:=true;
        StepProg:=14;

end_if;

14:
if LE2_M>=90.0 then
    LVS1_L_NX_M:=false;
    LVS1_L_SX_M:=true;
        StepProg:=15;

end_if;

15:
if LE2_M<=5.0 then
    LVS1_L_SX_M:=false;
        StepProg:=16;

end_if;

16:
TC1_TRON:=false;
TC2_TRON:=false;
TC1_AUTO:=true;
TC2_AUTO:=true;
TE_SP:=90.0;
PT_SP:=1.0;
    StepProg:=17;

```

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 72   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

```

17:
if Timer.Q then
    TC1_TRON:=true;
    TC2_TRON:=true;
    TM_Start:=false;
    LVS4_T_M:=0.0;
    LVS5_P_M:=0.0;
    HC_M:=0.0;
    StepProg:=18;

end_if;
18:
if LVS4_T_M=0.0 and LVS5_P_M=0.0 then
    LVS3_L_SS_M:=true;
    StepProg:=19;

end_if;
19:
if LE1_M<=1.0 then
    LVS3_L_SS_M:=false;
    StepProg:=20;

end_if;
20:
if not Stop_M then
    StepProg:=0;

end_if;

end_case;

```

Рис.5.11 Реалізація програми користувача.

### **Налагодження програмного забезпечення на діючому обладнанні або імітаторі ПЛК**

Для налагодження роботи регуляторів контурів потрібно мати зворотній сигнал від об'єкта управління.

При відсутності об'єкта управління значення технологічної змінної можна імітувати. Для найпростішої імітації можна використати аперіодичну ланку 1-го порядку.

Перевірка контуру проводиться на імітаторі та при наявному об'єкті та ПЛК на реальному об'єкті управління. Для перевірки роботи представлений графічний операторський екран з мнемосхемою.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 73   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

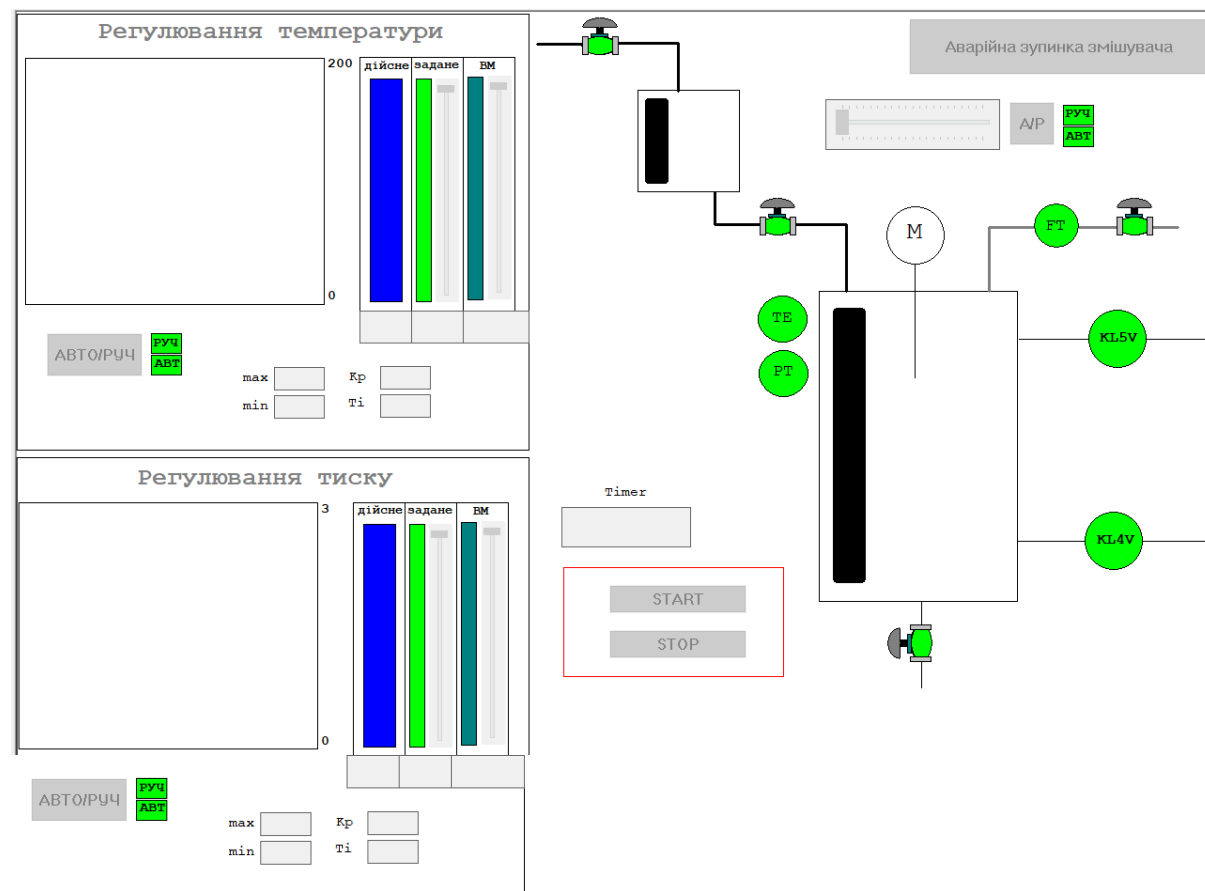


Рис.5.12 Вигляд операторського екрану в UNITY PRO

У даному випадку для реалізації аперіодичної ланки застосовано готовий функціональний блок LAG\_FILTER.

```
%M100:=%S5;
%M101:=RE(%M100);

(*імітація температури*)
LAG_TE (IN := INT_TO_REAL(LVS4_T),
        GAIN := 0.7,
        LAG := T#30S);
TE:= WRITE_INPUT_INT (
    2000 +
    real_to_int(LAG_TE.out));

(*імітація тиску*)
LAG_PT (IN := INT_TO_REAL(LVS4_T),
        GAIN := 1.5,
        LAG := T#30S);
PT:= WRITE_INPUT_INT (1000+ real_to_int(LAG_PT.out));

LAG_PTb (IN := INT_TO_REAL(LVS5_P),
        GAIN := 25.0,
        LAG := T#60S);
PT:=WRITE_INPUT_INT(1000+ real_to_int(LAG_PT.out-LVS5_P_M*250.0));

(*імітація рівня в варильному чані*)
if %M101 then
    if LVS2_F_NS_M then LE1_M:=LE1_M + 0.4;
    end_if;
    if LVS1_L_SX_M then LE1_M:= LE1_M + 0.17;
    end_if;
    if LVS3_L_SS_M then LE1_M:= LE1_M - 0.35;
    end_if;
end_if;

LE1:=WRITE_INPUT_INT(REAL_TO_INT(LE1_M*100.0));

(*імітація рівня в дозаторі*)
if %M101 then
    if LVS1_L_NX_M then LE2_M:= LE2_M + 0.5;
    end_if;
    if LVS1_L_SX_M then LE2_M:= LE2_M - 0.73;
    end_if;
end_if;

LE2:=WRITE_INPUT_INT(REAL_TO_INT(LE2_M*100.0));

(*імітація витрати*)
%M102:=%S5;
%M103:=RE(%M102);

if LVS2_F_NS_M and %M103 then
    FE_M:= FE_M + 0.0640854473;
end_if;
```

Рис.5.13 Імітація температури за допомогою функціонального блоку LAG\_FILTER

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 75   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Виконання реалізації автоматичного і ручного режимів роботи двигунів ,також реалізація кнопки аварійної зупинки двигуна.

```

(*реалізація авто/руч режиму роботи двигуна*)
if AUTO_HC then
    HC_M:=50.0;
else
    HC_M:=manual_HC;
end_if;

(*реалізація кнопки аварійної зупинки двигуна мішалки*)
if StopD_M then
    HC_M:=0.0;
end_if;

```

Рис.5.14 Реалізація кнопки аварійної зупинки двигуна і авто/руч режиму роботи двигуна.

Для перевірки роботи контуру регулювання температури та тиску було створено сторінку з відображенням плинного стану контуру регулювання та елементами керування.

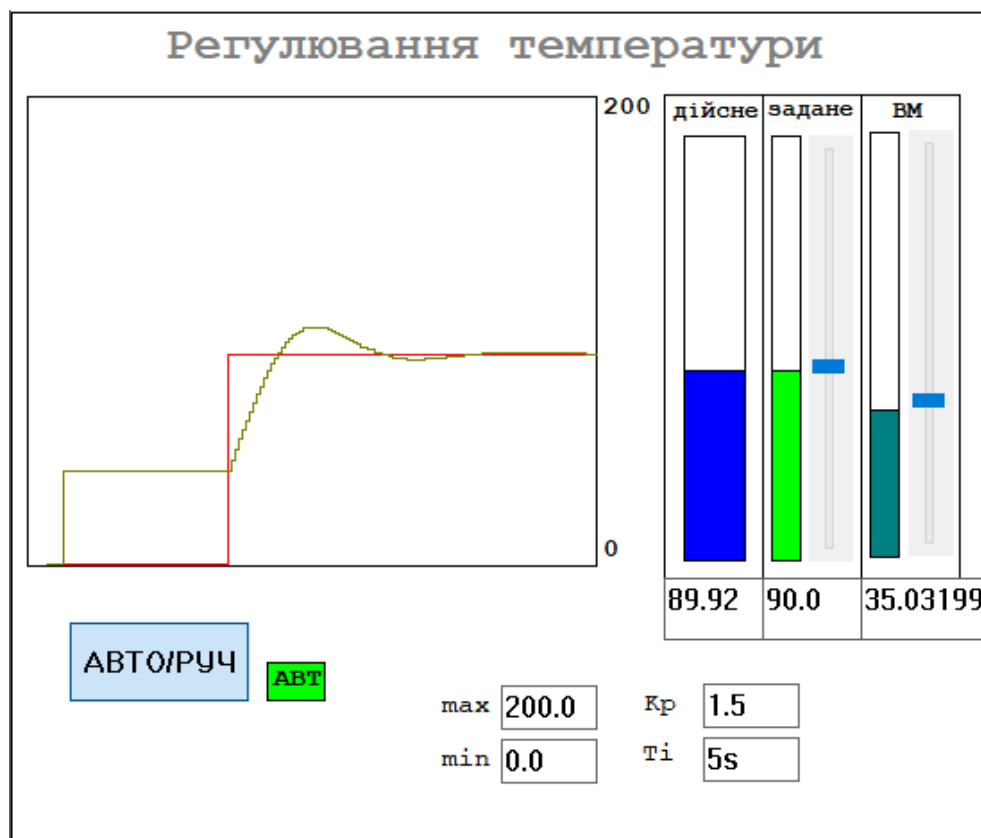


Рис.5.15 Перевірка роботи контуру регулювання температури в автоматичному режимі.

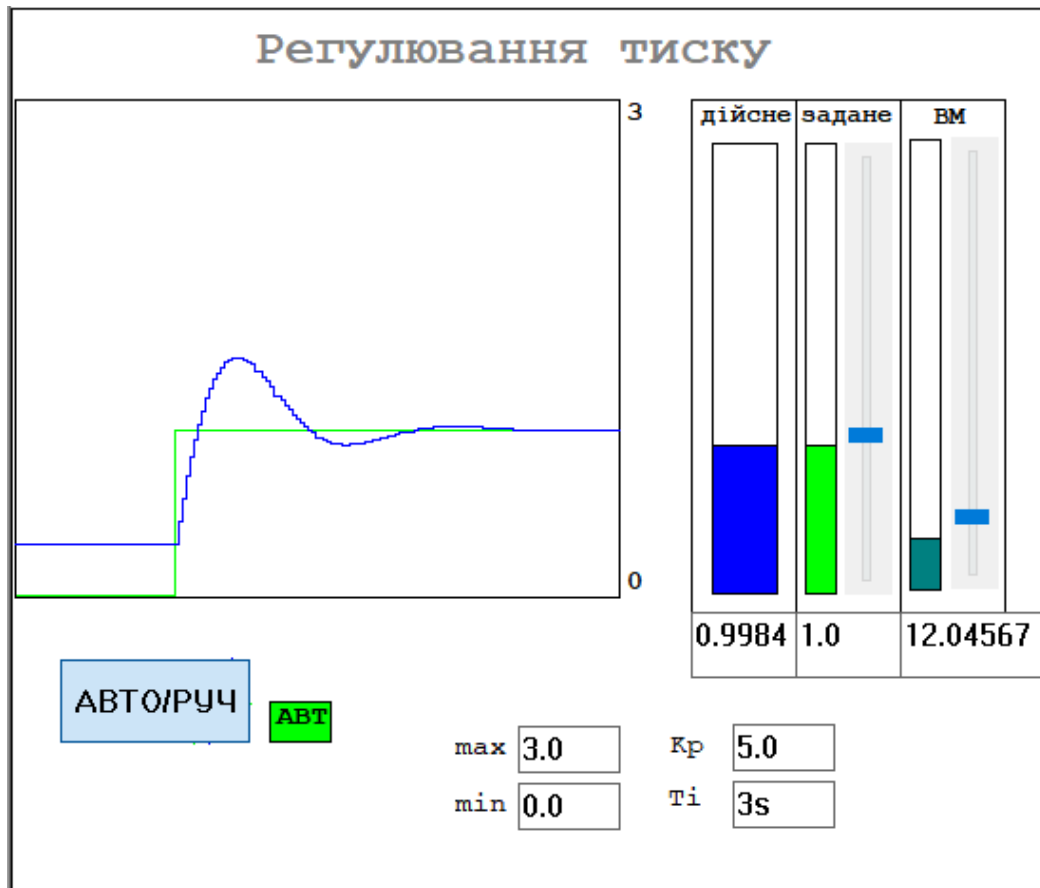


Рис.5.16 Перевірка роботи контуру регулювання тиску в автоматичному режимі.

## Розділ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога

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

В пивній промисловості важливу роль відіграють якісні показники сировини (сусла), які впливають на технологічний процес.

Навіть у досконалих системах час від часу виходять з ладу обладнання, в технологічний процес попадають інші сторонні предмети та виникають інші непередбачувані процесом події.

Система управління процесом може своєчасно реагувати на всі ці нештатні ситуації шляхом сигналізації або блокування обладнання. Але далі рішення має приймати людина. Для контролю за процесом вона має бути мати повні інформацію про дану подію і можливість ручного дистанційного керування виконавчими механізмами.

Всі ці можливі ситуації мають передбачати можливість обов'язкової участі людини. У будь-якому випадку потрібно упорядкувати зв'язок, який з одного боку міг дати людині можливість реалізації контролю стану певного процесу та всієї системи, а з іншого – забезпечував би можливість реалізації втручання в процес управління.

Тобто необхідно в системі управління передбачити людино-машинний інтерфейс (HMI – Human-Machine Interface).

За допомогою програмного забезпечення Vijeo Citect розробляємо SCADA-систему, яка дасть можливість оператору переглядати перебіг технологічного процесу та значення усіх технологічних параметрів.

У вікні «Редактор проектів Citect» описуємо всі змінні, створюємо змінні для трендів, алармів та описуємо настройки до них.

В меню «Теги»/«Змінні теги» описуємо всі змінні.

|           |      |                |        |      | <b>Кваліфікаційна робота</b>  |      |      |        |
|-----------|------|----------------|--------|------|---|------|------|--------|
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |   |      |      |        |
| Розроб.   |      | Полицук С.І.   |        |      | Розробка системи автоматизації процесу варіння пивного сусла на пивзаводі | Літ. | Арк. | Аркуші |
| Керівник  |      | Проскурка Є.С. |        |      |   |      | 78   | 6      |
| Зав. каф. |      | Ельперін І.В.  |        |      | НУХТ АК-4-1   |      |      |        |
| Секр. ЕК. |      | Проскурка Є.С. |        |      |   |      |      |        |

Таблиця 8. Змінні та їх настройки

| Ім'я змінного тега | Адреса | Мін. Вихідне значення | Макс. вихідне значення | Мін. Значення в одиницях виміру | Макс. значення в одиницях виміру | Тип даних |
|--------------------|--------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------|
| 1                  | 2      | 3                     | 4                      | 5                               | 6                                | 7         |
| FE_M               | %MW140 | 0                     | 10000                  | 0                               | 100                              | REAL      |
| HC_M               | %MW150 | 0                     | 10000                  | 0                               | 100                              | REAL      |
| TE_M               | %MW102 | 0                     | 10000                  | 0                               | 200                              | REAL      |
| LE1_M              | %MW104 | 0                     | 10000                  | 0                               | 100                              | REAL      |
| LE2_M              | %MW106 | 0                     | 10000                  | 0                               | 100                              | REAL      |
| LVS4_T_M           | %MW108 | 0                     | 10000                  | 0                               | 100                              | REAL      |
| LVS5_P_M           | %MW110 | 0                     | 10000                  | 0                               | 100                              | REAL      |
| PT_M               | %MW114 | 0                     | 10000                  | 0                               | 3                                | REAL      |
| StopD_M            | %M1    | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |
| LVS1_L_N<br>X_M    | %M3    | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |
| LVS1_L_SX<br>M     | %M4    | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |
| LVS2_F_NS<br>M     | %M5    | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |
| LVS3_L_SS<br>M     | %M6    | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |
| Start_M            | %M7    | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |
| Stop_M             | %M8    | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |
| AUTO_HC            | %M2    | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |
| TC1_AUTO           | %M10   | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |
| TC2_AUTO           | %M12   | -                     | -                      | -                               | -                                | BOOL      |

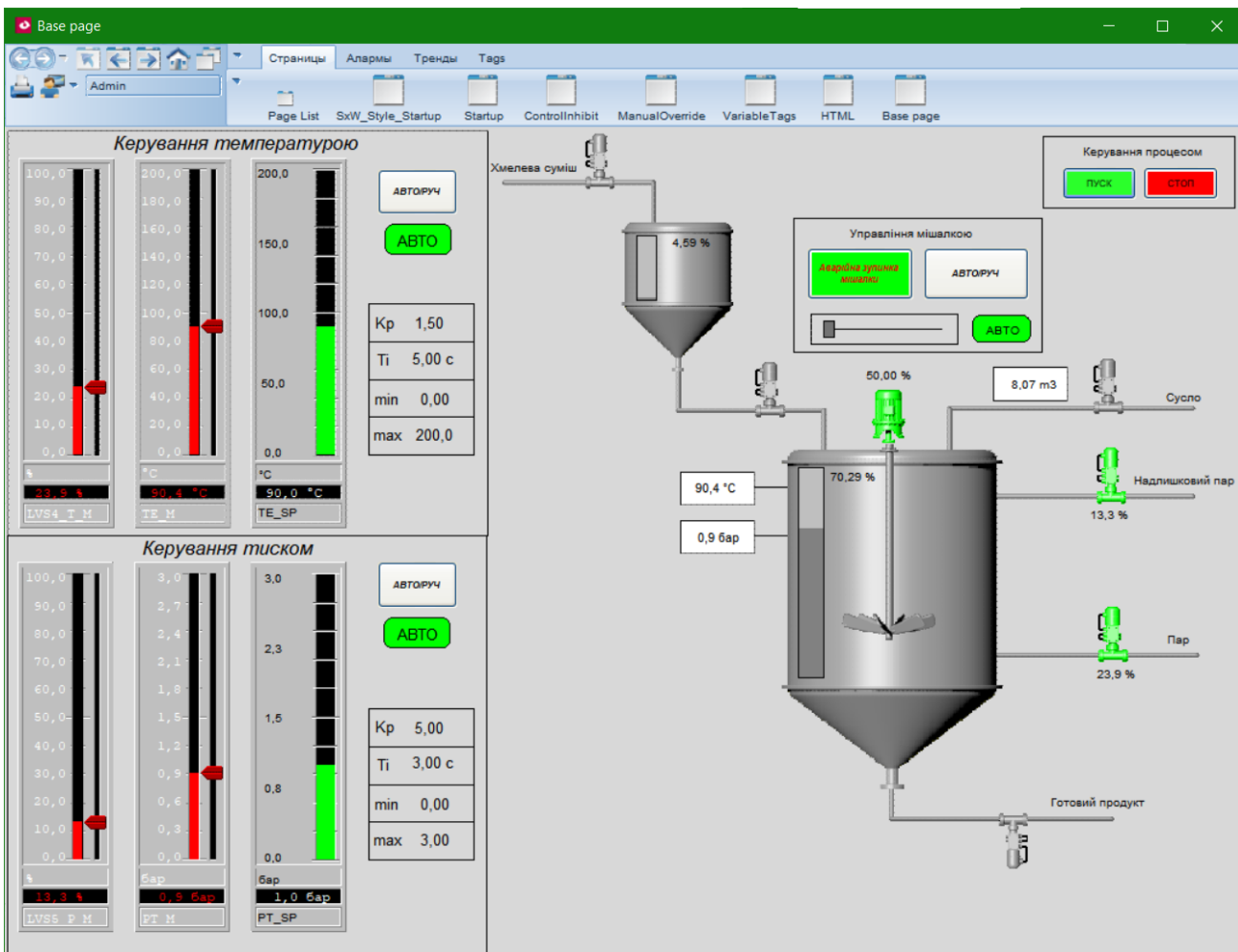
## 6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора

Тут відображається дані з датчиків, відкриття чи закриття клапанів, кнопки запуску та зупинки, анімаційне відображення переходу на наступну стадію технологічного процесу. Оператор слідкує за перебігом технологічного процесу з робочого місця оператора. В разі необхідності оператор може перейти до ручного, або автоматичного режиму управління. Для переходу в ручний чи автоматичний режим роботи оператор повинен натиснути на кнопку яка відповідає за той чи інший режим. Оператор може змінювати ступінь відкриття клапанів, оберти двигуна. Для того щоб на виробництві не сталася аварія і не порушився перебіг технологічного процесу на екрані оператор може спостерігати за значенням параметрів і як тільки це значення цього параметру перевищить максимальні допустимі значення то оператор побачить повідомлення про аварію чи попередження виходу того чи іншого технологічного параметру.

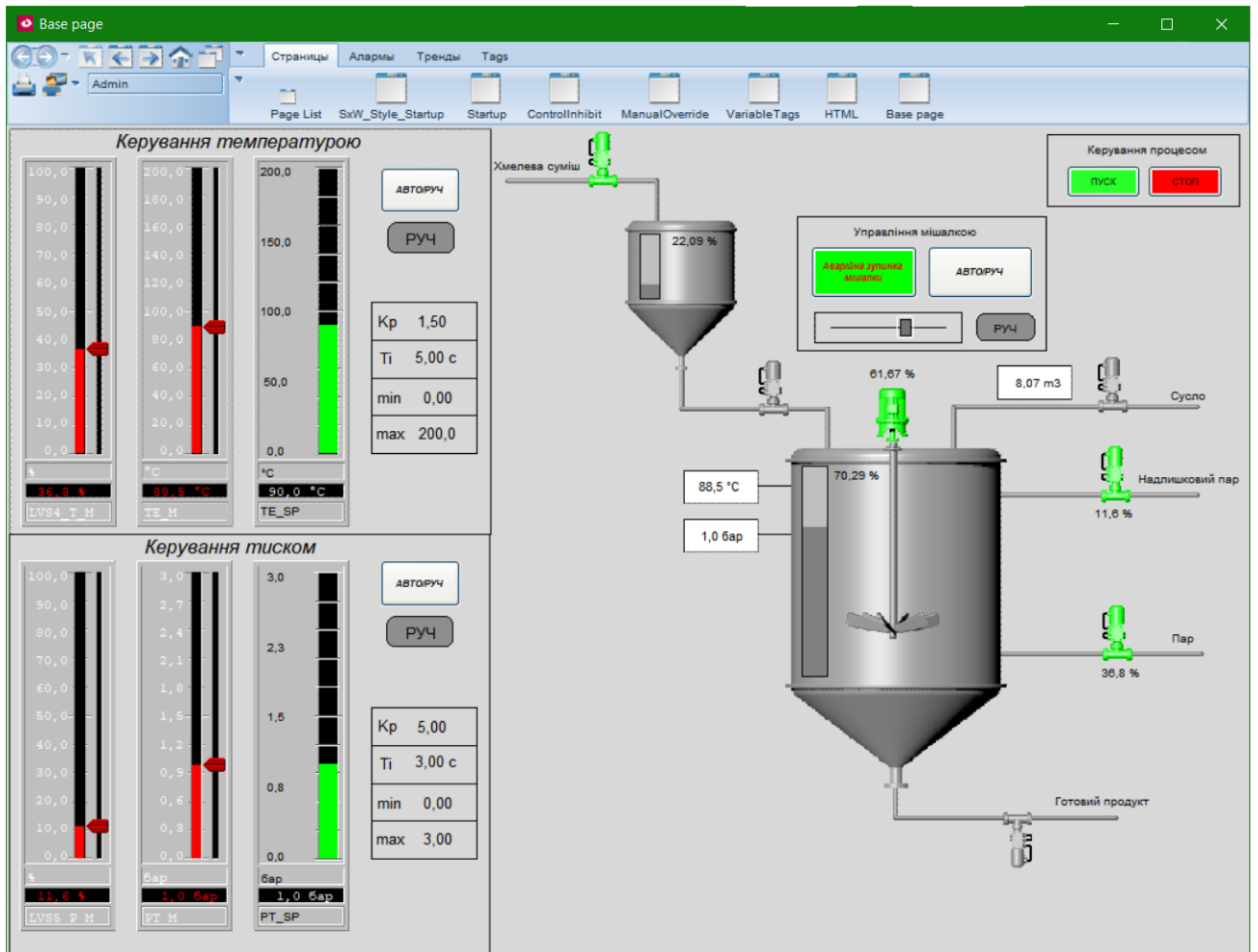
Двигун та клапани коли працюють мають зелений колір, якщо вимкнений клапан чи двигун і готовий до роботи – сірий.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 80   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

# Автоматичний режим роботи SCADA-системи



# Ручний режим роботи SCADA-системи



|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Кваліфікаційна робота

Арк.  
82

## Вікно тривоги

ert ect
⚠ ⚠ ⚠
27.05.2021 17:09:35 TE\_M\_WRN Температура продукту **ВYSOKИЙ**  
27.05.2021 17:09:23 PT\_M\_ALARM Тиск в ємності **КРИТИЧЕСКИ ВYSOK**  
27.05.2021 17:09:10 PT\_M\_WRN Тиск в ємності **ВYSOKИЙ**

Active Alarms x

вання | Фильтрация... | Автоподбор размера столбцов | Сохранить представление | Печать/экспорт...

| Дата       | Время    | Дескриптор | Имя                              | Состояние               |
|------------|----------|------------|----------------------------------|-------------------------|
| 27.05.2021 | 17:09:35 | TE_M_WRN   | Температура продукту             | <b>ВYSOKИЙ</b>          |
| 27.05.2021 | 17:09:23 | PT_M_ALARM | Тиск в ємності                   | <b>КРИТИЧЕСКИ ВYSOK</b> |
| 27.05.2021 | 17:09:10 | PT_M_WRN   | Тиск в ємності                   | <b>ВYSOKИЙ</b>          |
| 27.05.2021 | 17:08:31 | Avaria_D   | Аварійна зупинка двигуна мішалки | <b>ВКЛ.</b>             |
| 27.05.2021 | 16:39:23 | TE_M_ALARM | Температура продукту             | <b>ОТКЛОНЕНИЕ</b>       |

## Вікно трендів

Base page x Active Alarms x Process Analyst x Historical Events x

27.05.2021 17:11:46:173 | 5 минут | 27.05.2021 17:16:46:173

| Дерево объектов                  | Масштаб | Единицы измерения | Пер... | Минимальное | Максимальное | Среднее   |
|----------------------------------|---------|-------------------|--------|-------------|--------------|-----------|
| Приготовление                    |         |                   |        |             |              |           |
| Значения рівня в дозаторі %      | 0 - 100 |                   | 5      | 4.309375    | 86.06875     | 12.642306 |
| Значения рівня в ємності %       | 0 - 100 |                   | 5      | 0.659375    | 90.209375    | 50.076137 |
| Клапан зливу суслу з чану        | 0 - 1   |                   | 5      | -           | -            | 0.08366   |
| Клапан подачі суслу в чан        | 0 - 1   |                   | 5      | -           | -            | 0.050196  |
| Клапан зливу хмелю з дозатора    | 0 - 1   |                   | 5      | -           | -            | 0.08366   |
| Клапан подачі хмелю в дозатор    | 0 - 1   |                   | 5      | -           | -            | 0.100393  |
| Плине значения витрати м3        | 0 - 100 |                   | 5      | 15.95625    | 23.903125    | 23.224434 |
| Плине значения % мішалки         | 0 - 100 |                   | 5      | 0           | 50           | 29.281156 |
| Регулювання                      |         |                   |        |             |              |           |
| Уставка температури              | 0 - 200 |                   | 10     | 90          | 90           | 90        |
| Плине значения температури       | 0 - 200 |                   | 10     | 42.79375    | 99.21875     | 70.636519 |
| Уставка тиску                    | 0 - 3   |                   | 5      | 0.999938    | 0.999938     | 0.999937  |
| Плине значения тиску             | 0 - 3   |                   | 5      | 0.3765      | 1.703344     | 0.857999  |
| % відкриття клапану подачі пари  | 0 - 100 |                   | 10     | 0           | 92.09375     | 19.567212 |
| % відкриття клапану відводу пари | 0 - 100 |                   | 5      | 0           | 14.075       | 5.46606   |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|

Кваліфікаційна робота

Арк.

83

## Розділ 7. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання

### 7.1. Постановка задачі дослідження

Детально розглянутий процес виробництва сусла дозволяє мені визначити основний параметр, який потрібно регулювати з високою точністю, так як від нього залежить кінцева якість готового продукту.

Це температура сусла в сушварильному апараті.

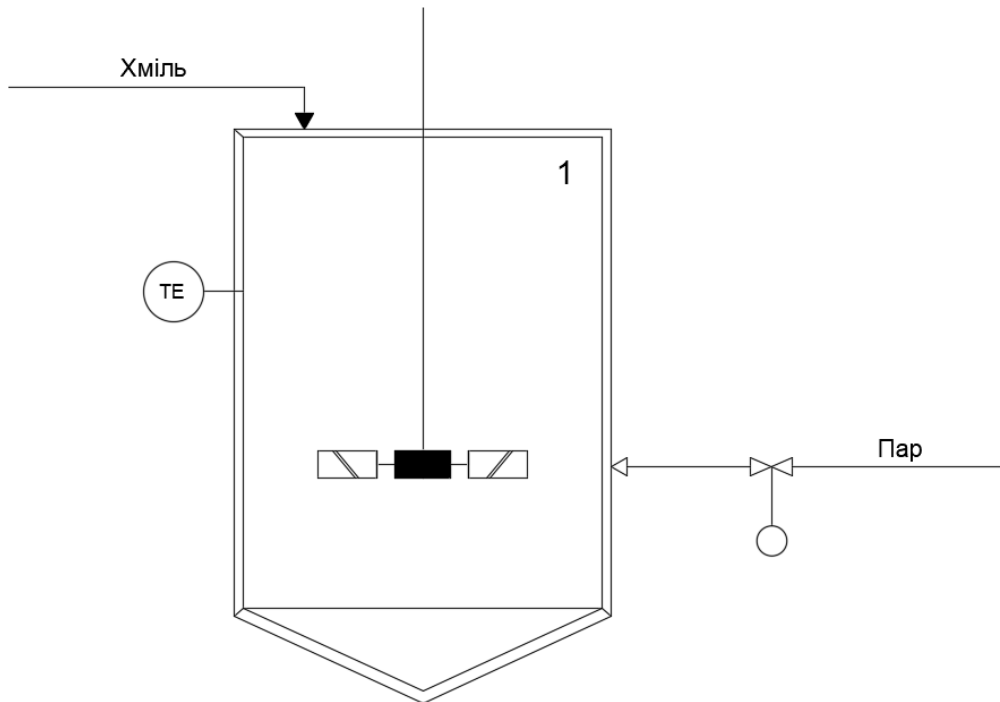


Рис. 7.1 Контур регулювання температури в сушварильному апараті

**Постановка задачі комп'ютерного моделювання:** визначити оптимальні параметри ПД-регулятора для математичної моделі за допомогою метода Циглера - Нікольса.

|           |      |               |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i>   |                    |      |         |
|-----------|------|---------------|--------|------|--|--------------------|------|---------|
| Змн.      | Арк. | № докум.      | Підпис | Дата |  |                    |      |         |
| Розроб.   |      | Полищук С.І.  |        |      | <i>Розробка системи автоматизації процесу варіння пивного сусла на пивзаводі</i> | Літ.               | Арк. | Аркушів |
| Керівник  |      | Проскурка Є.С |        |      |  |                    | 84   | 5       |
| Зав. каф. |      | Ельперін І.В. |        |      |  | <b>НУХТ АК-4-1</b> |      |         |
| Секр. ЕК. |      | Проскурка Є.С |        |      |  |                    |      |         |

## 7.2. Вибір об'єкта керування та його математична модель

Головним завданням при побудові математичної моделі є визначення вхідних і вихідних сигналів. Загальний вигляд схеми об'єкта керування зображено на рисунку 7.2.

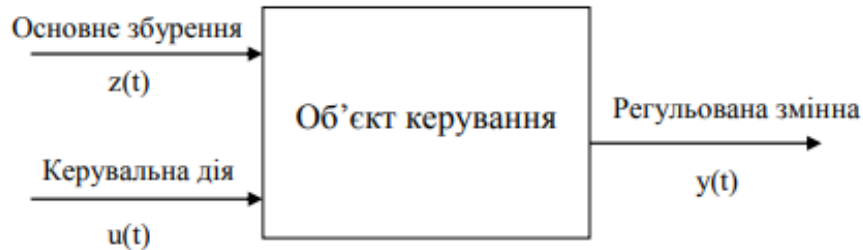


Рис. 7.2 Параметрична схема об'єкта керування

Отже, я визначив наступні сигнали:

- Основне збурення – це початкова температура суміші сусла і хмелю в сушварильному апараті,  $^{\circ}\text{C}$ .
- Додаткове збурення – це температура хмелю, яке додається через 500 с. в сушварильний апарат,  $^{\circ}\text{C}$ .
- Керувальна дія – це клапан подачі пари з котельні в сушварильний апараті, % ХРО (% ходу регулюючого органу).
- Регульована змінна – це задана температура суміші сусла і хмелю в сушварильному апараті,  $^{\circ}\text{C}$ .

Математична модель сушварильного апарату формується з аперіодичної ланки 1-го порядку і ланки підсилення, які мають такий узагальнений вигляд:

- аперіодична ланка:

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

- ланка підсилення:

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

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 85   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

### 7.3. Моделювання САР

Моделювання системи автоматичного регулювання розпочинається з вибору значення коефіцієнта передачі та постійного часу об'єкта.

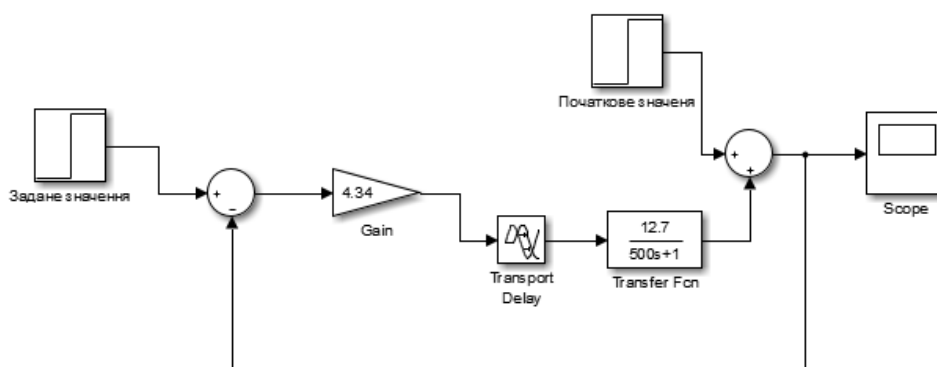


Рис. 7.4 Структурна схема САР з П-регулятором

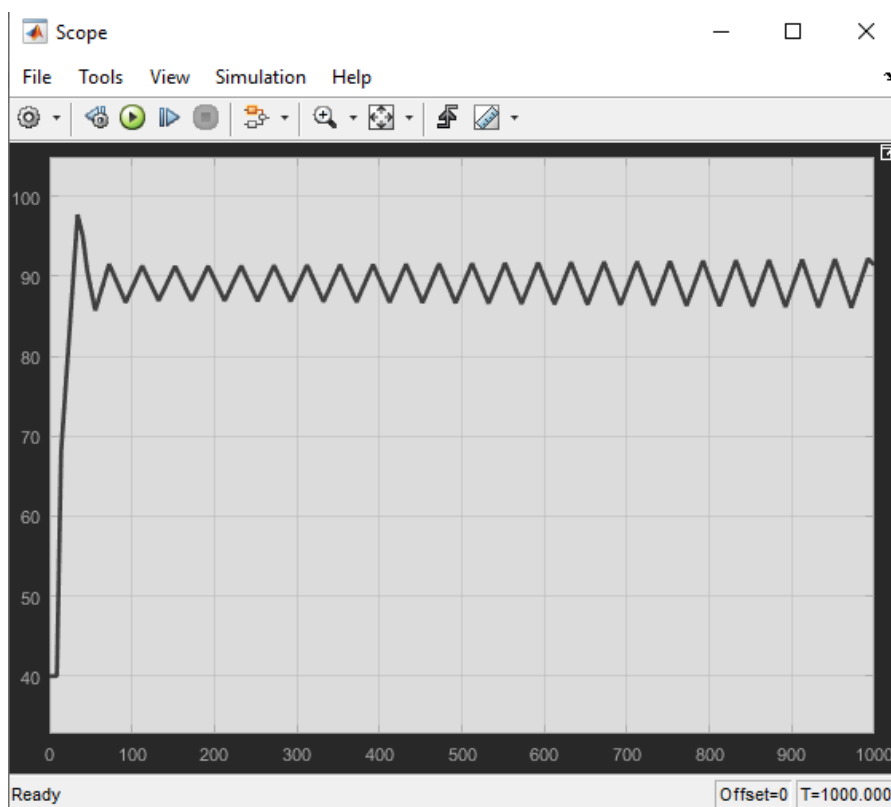


Рис. 7.4 Перехідний процес з П-регулятором

З даного перехідного процесу видно, що система знаходиться на межі стійкості, тобто система має режим автоколивань.

Визначив, що  $k_{кр} = 4,34$  і  $T_{кр} = 45$ .

До вже відомої структурної схеми додав ПД- регулятор і додаткове збурення (температура хмелю).

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 86   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Після цього за відомим мені з курсу «Теорії автоматичного керування» методом Циглера-Нікольса визначимо оптимальні настройки ПД-регулятора:

$$k_p = 0.6 * k_{кр} = 0.6 * 4.34 = 2.604$$

$$T_i = T_{кр}/2 = 38.4/2 = 19.2$$

$$k_i = k_p/T_i = 2.604/19.2 = 0.135$$

$$T_d = T_{кр}/8 = 38.4/8 = 4.8$$

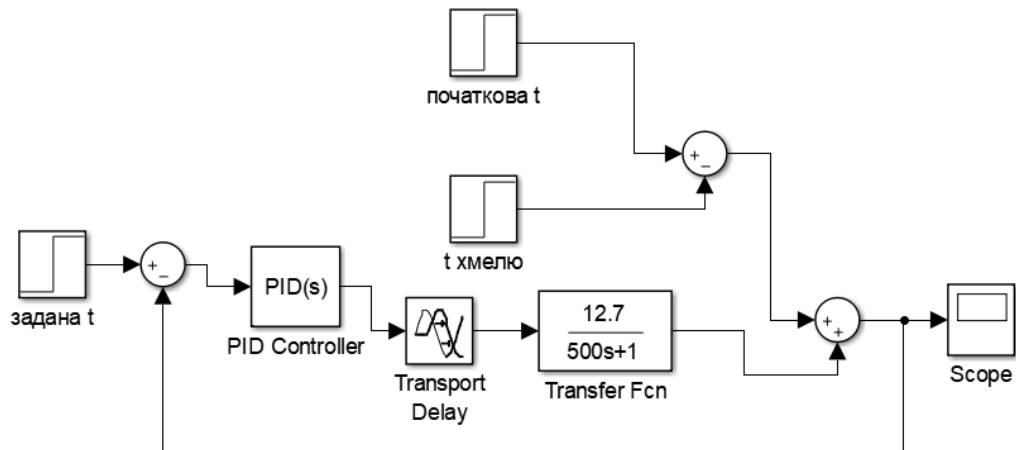


Рис. 7.8 Структурна схема САР з ПД-регулятором

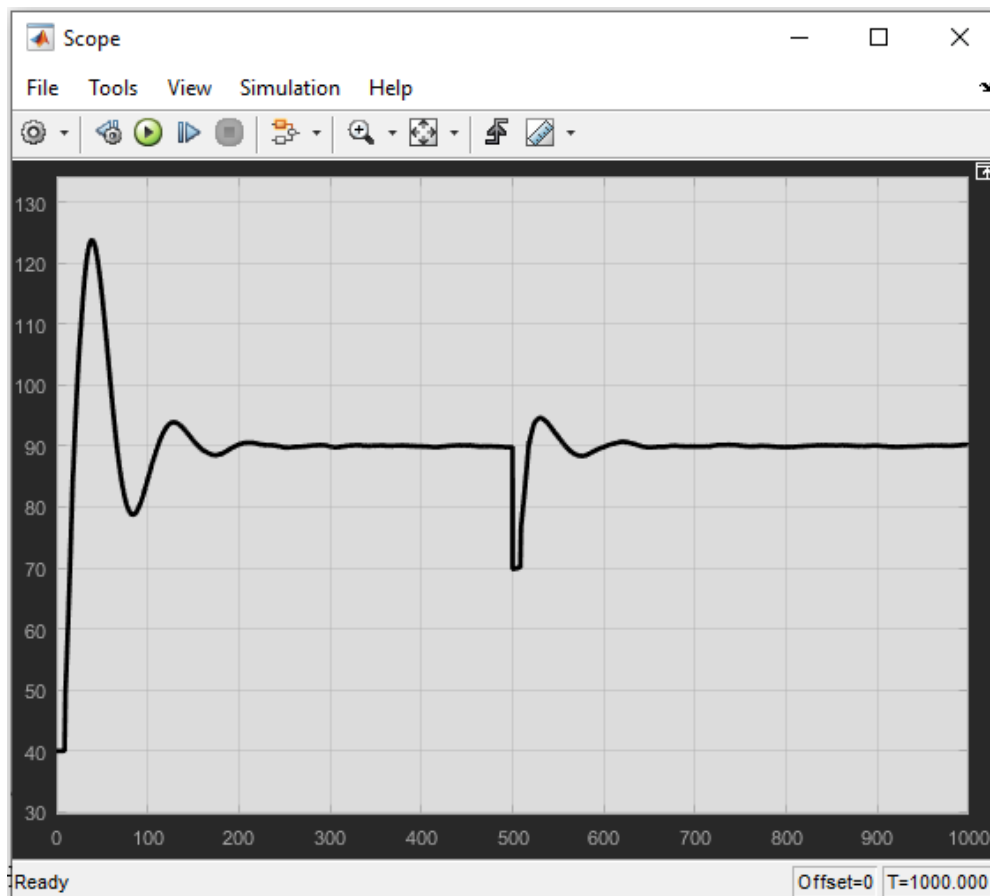


Рис. 7.9 Перехідний процес з ПД-регулятором

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 87   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## 7.4. Опрацювання результатів моделювання та формулювання

### ВИСНОВКІВ

На даному етапі було проведено комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання температури суміші суслу і хмелю в сушловарильному апараті.

За допомогою використання відомого метода, а саме – метод Циглера - Нікольса , визначили наступні оптимальних настройок ПІ-регулятора:

- Коефіцієнт підсилення:

$$k_p = 2.604$$

- Час інтегрування:

$$T_i = 19.2 \text{ с.}$$

- Коефіцієнт інтегрування:

$$k_i = 0.135.$$

- Коефіцієнт диференціювання:

$$T_d = T_{kp}/8 = 38.4/8 = 4.8.$$

Також з останнього перехідного процесу видно, як ПІД-регулятор реагує на додаткове збурення і як виводить систему на задане значення.

З перехідного процесу, який наведений вище визначимо оцінку якості використовуючи такі показники:

- Динамічна похибка  $A_1 = 34 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- Статична помилка регулювання  $\Delta X_{CT} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  ;

- Час регулювання  $t_p = 220 \text{ с.}$ ;

- Перерегулювання  $a = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100\% = \frac{10}{34} \cdot 100\% = 29.4\%$ ;

- Ступінь затухання  $\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = \frac{(124-90)-(94-90)}{(124-90)} = 0,88.$

Отже, розраховані параметри ПІД-регулятора задовільняють критерії якості перехідного процесу.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 88   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## Висновок

В кваліфікаційній роботі розглянуто розробку системи автоматизації процесу виробництва сусла для пивзаводу.

При розробці системи автоматизації процесу виробництва сусла для пивзаводу використано сучасні технічні засоби автоматизації та промисловий логічний контролер (ПЛК).

При автоматизації процесу виробництва сусла для пивзаводу обрано промисловий логічний контролер (ПЛК) Schneider Electric M340. Дисплейна мнемосхема процесу виробництва сусла для пивзаводу розроблялася в програмному забезпеченні Citect SCADA 2015.

Розроблена система автоматизації процесу виробництва сусла для пивзаводу з використанням сучасних технічних засобів автоматизації дозволяє забезпечити оптимальне проведення технологічного процесу виробництва сусла для отримання в подальшому сусла високої якості для виготовлення якісного пива під час процесу бродіння, зменшення витрати теплоносіїв на виробництво сусла за рахунок використання сучасних технічних засобів автоматизації. Все це призведе до збільшення прибутковості виробництва пива.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 89   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## Список використаної літератури

1. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. — 378 с.
2. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / В.Г. Трегуб. — К.: Ліра-К, 2014.
3. Луцька Н.М. Оптимальні та робасні системи керування технологічними об'єктами : монографія / Н.М.Луцька, А.П.Ладанюк. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. — 288 с.
4. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Архангельська К.С., Власенко Л.О.— К.: НУХТ, 2014. —274 с.
5. Пупена О. М. Програмування промислових контролерів у середовищі UnityPro: навчальний посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. — Київ : Ліра-К, 2015. — 376 с.
6. Системний аналіз складних систем управління. Практикум. [Текст]: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. — К.: НУХТ, 2014. — 157 с. (№37.49 - 02.07.2014)
7. Пивоварна промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олабоді] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. — Київ, 2019. — 136 с.
8. Вольфганг Кунце, Технологія солоду та пива (переклад з німецької), 2001р.
9. Оптимізація процесів переробки сільськогосподарської сировини: монографія\ В.О. Мірошник В.О., М.А. Гачковська, В.Д.Кишенько, О.В. Грабовська.— К.:ЦП “Компринт”, 2019.— 479 с.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 90   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

10. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія / А.П.Ладанюк, Заєць Н.А., Л.О.Власенко. – К. Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.

11. Оптимізація процесів переробки сільськогосподарської сировини: монографія / В.О. Мірошник В.О., М.А. Гачковська, В.Д.Кишенько, О.В. Грабовська.– К.:ЦП “Компринт”, 2019.– 479 с.

12. SITRANS P DS III с поддержкой HART. Руководство по эксплуатации, июнь 2015 г., A5E00047092-09

13. Каталог та документація Schneider Electric. <https://www.se.com/ua/ru/>

14. 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. [Електронний ресурс]. – К. : НУХТ, 2020. – 73 с.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 91   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |