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

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:**

# Автоматизація буферної ємності пастеризатора у виробництві пива на ПрАТ "Carlsberg Ukraine"

## (Automation of PasteurizerBuffer Tank in Beer Production at "Carlsberg Ukraine" PrJSC)

Студент групи *АВ-31сп Грекуляк Андрій Тарасович*

Керівник роботи: _____ / *к.т.н., доц. Ігор КОСТИК* /

Консультанти: Охорона праці_____ / *к.т.н., доц. Юрій КІТ* /

Економіка_____ /*доц. Наталія МИХАЙЛИК* /

Мікропроцесорних засобів автоматизації_____ / *к.т.н., доц. Ігор КОСТИК* /

Завідувач кафедри: _____ /*д.т.н.,проф. Федір МАТІКО*/

Львів – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Інститут *ЕСК* Кафедра *АВКТ*
Спеціальність *151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”*

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри *АВКТ*
*д.т.н., проф. Федір МАТІКО*

“_ __ _” _____20 __ р.

**ЗАВДАННЯ**
**НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**
*Грекуляк Андрій Тарасович*
(прізвище, ім’я, по батькові)

1.Тема роботи: *Автоматизація буферної ємності пастеризатора у виробництві пива на ПрАТ "Carlsberg Ukraine"*
затверджена наказом по університету від “ *26* ” *травня* 2025 р., № *1767-4-08*

2. Термін здачі студентом закінченої роботи “ *14* ” *червня* 2025 р.

3. Вихідні дані для роботи:
*1. Технологічна схема*
*2. Опис технологічного процесу*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які належить розробити):
*Вступ*
*1. Аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування*
*2. Техніко-економічне обґрунтування функціональної схеми автоматизації*
*3. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації*
*4. Розроблення та опис розгорнутої функціональної схеми автоматизації*
*5. Програмне забезпечення системи автоматизації*
*6. Принципові електричні схеми з'єднань засобів автоматизації*
*7. Охорона праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації*
*8. Обґрунтування економічної доцільності впровадження системи автоматизації*
*Висновки*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень):
*1. Функціональна схема автоматизації*
*2. Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації*
*3. Принципова електрична схема з’єднань засобів автоматизації*
*4. Людино-машинний інтерфейс системи автоматизації*

6. Консультанти роботи:

| Розділ | Консультант | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| *Економіки* | *доц. Михайлик Н.І.* | | |
| *Охорони праці* | *доц. Кіт Ю. В.* | | |
| *Мікропроцесорних програмованих засобів автоматизації* | *доц. Костик І.В.* | | |
| | | | |

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

Керівник роботи: _____ / *к.т.н., доц. Ігор КОСТИК* /
(підпис)

Завдання прийняв до виконання: _____ / *Андрій ГРЕКУЛЯК* /
(підпис)

Календарний план

| № п/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| *1.* | *Вступ* | *20.05.2025р.* | |
| *2.* | *Аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування* | *21.05.2025р.* | |
| *3.* | *Техніко-економічне обґрунтування функціональної схеми автоматизації* | *22.05.2025р.* | |
| *4.* | *Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації* | *23.05.2025р.* | |
| *5.* | *Розроблення та опис розгорнутої функціональної схеми автоматизації* | *26.05.2025р.* | |
| *6.* | *Програмне забезпечення системи автоматизації* | *28.05.2025р.* | |
| *7.* | *Людино-машинний інтерфейс системи автоматизації* | *30.05.2025р.* | |
| *8.* | *Принципові електричні схеми з'єднань засобів автоматизації* | *02.06.2025р.* | |
| *9.* | *Охорона праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації* | *06.06.2025р.* | |
| *10.* | *Обґрунтування економічної доцільності впровадження системи автоматизації* | *10.06.2025р.* | |
| *11.* | *Висновки* | *12.06.2025р.* | |

Студент: _____ / *Андрій ГРЕКУЛЯК* /
(підпис)

Керівник роботи: _____ / *к.т.н., доц. Ігор КОСТИК* /
(підпис)

# АНОТАЦІЯ

Обсяг пояснювальної записки – 110 сторінок, кількість ілюстрацій – 59, кількість таблиць – 8, кількість додатків – 0, кількість використаних джерел – 23, кількість графічний плакатів – 4.

*Об'єктом дослідження* бакалаврської кваліфікаційної роботи є буферна ємність пастеризатора у виробництві пива на ПрАТ «Carlsberg Ukraine».

*Предметом дослідження* є система автоматичного керування буферною ємністю пастеризатора у виробництві пива на ПрАТ «Carlsberg Ukraine».

*Метою дослідження* є розроблення системи автоматизації буферної ємності пастеризатора у виробництві пива на ПрАТ «Carlsberg Ukraine» із залученням сучасних підходів і технічних рішень в автоматизації.

У першому розділі наведено детальний аналіз технологічного процесу в буферній ємності пастеризатора, як об'єкта керування. Описано основні процедури функціонування буферної ємності. Визначено ключові параметри, що впливають на перебіг процесів у буферній ємності пастеризатора. Проведено обґрунтування номінальних значень параметрів та їх допустимих відхилень, на основі цього складено технологічну карту. Розроблено структурну схему взаємозв'язків параметрів.

У другому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було виконано обґрунтування функціональної схеми автоматизації технологічного процесу буферної ємності пастеризатора. Проведено аналіз взаємозв'язків між ключовими параметрами процесу. Обґрунтовано вибір координат для регулювання, вимірювання, сигналізації, захисту та блокування в межах системи автоматизації. Наведено перелік основних технологічних параметрів, для яких передбачено реалізацію тих чи інших функцій автоматизації. Проведено порівняльний аналіз існуючих схем керування буферною ємністю. Запропоновано удосконалену функціональну схему автоматизації.

У третьому розділі було проведено комплексне обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації системи керування процесами у буферній ємності пастеризатора. Розроблено детальну специфікацію всіх компонентів. Здійснено

вибір та конфігурацію модулів вхідних/вихідних сигналів ПЛК. Здійснено опис засобів людино-машинного інтерфейсу, розглянуто основні налаштування графічних об’єктів, що використовуються у розробці HMI.

У четвертому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи здійснено розробку функціональної схеми автоматизації технологічного процесу буферної ємності пастеризатора розгорнутим способом, представлену на графічному плакаті №1, та виконано її детальний опис.

У п’ятому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було розглянуто процес розроблення та реалізації програмного забезпечення системи автоматизації на базі ПЛК Vision V570. Проаналізовано логіку роботи системи автоматизації, на основі чого створено алгоритми функціонування контурів керування технологічним об'єктом. Описано структуру програми, розробленої у середовищі VisiLogic, зображення якої представлено на графічному плакаті №2. Наведено опис основних функціональних блоків, використаних мереж програми, таймерів, лічильників, а також системи обробки помилок. Описано структуру та логіку побудови людино-машинного інтерфейсу. Розроблено екрани з урахуванням функціонального призначення. Забезпечено швидкий перехід між екранами, візуалізацію аварій, параметрів та можливість оперативного втручання користувача.

У шостому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи представлено розробку принципових електричних схем підключення засобів автоматизації, призначених для забезпечення роботи буферної ємності, а також подано їх детальний опис. Зображено принципову схему електричних з’єднань на графічному плакаті №3.

У сьомому розділі визначено критичне значення охорони праці при автоматизації буферної ємності пастеризатора. Визначено потенційні небезпеки, на основі яких здійснено розробку комплексних технічних рішень. Ці рішення охоплюють електробезпеку, створення оптимального мікроклімату, контроль складу повітря, забезпечення належного освітлення, а також зниження шуму та вібрації. Особливий акцент зроблено на пожежній безпеці. Усі ці заходи спільно

забезпечують мінімізацію ризиків для персоналу та надійну, безпечну експлуатацію технологічного обладнання.

У восьмому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи здійснено обґрунтування економічної доцільності впровадження спроектованої системи автоматизації буферної ємності пастеризатора. Проведено розрахунки загального кошторису витрат на впровадження системи, визначено економію коштів, пов’язану з її використанням, обсяг фонду оплати праці обслуговуючого персоналу, річний економічний ефект, строк окупності та коефіцієнт економічної ефективності. Результати аналізу свідчать про отримання позитивного економічного ефекту, при цьому строк окупності впровадження становить близько 3 днів. Таким чином, можна зробити висновок, що реалізація розробленої системи автоматизації буферної ємності пастеризатора є економічно обґрунтованою та доцільною.

## ANNOTATION

The volume of the explanatory note is 110 pages, the number of illustrations is 59, the number of tables is 8, the number of appendices is 0, the number of sources used is 23, the number of graphic posters is 4.

*The object of research* of the bachelor's qualification work is the buffer capacity of the pasteurizer in the production of beer at PJSC “Carlsberg Ukraine”.

*The subject of research* is the system of automatic control of the buffer capacity of the pasteurizer in the production of beer at PJSC “Carlsberg Ukraine”.

*The aim of the study* is to develop a system for automating the buffer capacity of the pasteurizer in the production of beer at PJSC “Carlsberg Ukraine” with the use of modern approaches and technical solutions in automation.

The first section provides a detailed analysis of the technological process in the buffer tank of the pasteurizer as a control object. The basic procedures of the buffer tank operation are described. The key parameters that influence the course of processes in the buffer tank of the pasteurizer are determined. The nominal values of the parameters and their permissible deviations are substantiated, and a flow chart is drawn up on the basis of this. A structural diagram of parameter relationships was developed.

In the second chapter of the bachelor's qualification work, the functional scheme of automation of the technological process of the buffer tank of the pasteurizer was substantiated. The relationships between the key process parameters were analyzed. The choice of coordinates for control, measurement, signaling, protection, and blocking within the automation system is substantiated. A list of the main process parameters for which the implementation of certain automation functions is envisaged is given. A comparative analysis of existing buffer capacity control schemes is carried out. An improved functional scheme of automation is proposed.

In the third section, a comprehensive justification for the choice of technical means of automation of the process control system in the buffer tank of the pasteurizer was carried out. A detailed specification of all components was developed. The selection and configuration of PLC input/output signal modules was carried out. The description of the human-machine interface tools is made, the basic settings of graphical objects used in the development of HMI are considered.

In the fourth chapter of the bachelor's qualification work, the functional diagram of the technological process automation of the buffer tank of the pasteurizer was developed in an expanded way, presented on the graphic poster No. 1, and its detailed description was made.

The fifth chapter of the bachelor's thesis examined the process of developing and implementing automation system software based on the Vision V570 PLC. The logic of the automation system was analyzed, on the basis of which algorithms for the functioning of the control loops of the technological object were created. The structure of the program developed in the VisiLogic environment is described, the image of which is presented on the graphic poster #2. A description of the main functional blocks, used program networks, timers, counters, and error handling system is given. The structure and logic of the human-machine interface are described. The screens are designed taking into account the functional purpose. Quick switching between screens, visualization of alarms, parameters, and the possibility of prompt user intervention are provided.

The sixth chapter of the bachelor's thesis presents the development of basic electrical schemes for connecting automation equipment designed to ensure the operation

of the buffer tank, as well as their detailed description. The schematic diagram of electrical connections is shown on the graphic poster No. 3.

Chapter seventh identifies the critical importance of labor protection in the automation of the pasteurizer buffer tank. Potential hazards have been identified, on the basis of which comprehensive technical solutions have been developed. These solutions include electrical safety, creating an optimal microclimate, controlling the air composition, ensuring proper lighting, and reducing noise and vibration. Special emphasis is placed on fire safety. All these measures together ensure minimization of risks to personnel and reliable, safe operation of technological equipment.

In the eighth chapter of the bachelor's thesis, the economic feasibility of implementing the designed automation system for the buffer tank of the pasteurizer was substantiated. The total cost estimate for the implementation of the system was calculated, the cost savings associated with its use, the amount of the payroll of the staff, the annual economic effect, the payback period and the economic efficiency ratio were determined. The results of the analysis show a positive economic effect, with a payback period of about 3 days. Thus, it can be concluded that the implementation of the developed automation system for the buffer tank of the pasteurizer is economically feasible and expedient.

# ЗМІСТ

# ВСТУП

Пиво – найдавніший напій, історію якого можна простежити завдяки археологічним знахідкам, яким майже 5000 років. Найдавніші згадки пива зустрічаються в шумерському клинописі, яке датується 2800 р. до н.е. В Європі пиво було улюбленим напоєм уже у давніх германців, а також можна не забувати про скіфів та кельтів. З середини XIX століття в Європі та Америці було засновано багато промислових підприємств, а старі пивоварні були модернізовані [1]. В Україні першу велику пивоварню було відкрито у 1715 році у Львові [10].

Станом на сьогоднішній день технологія пивоваріння включає в себе такі основні процеси [1]: дроблення солоду, затирання солоду, фільтрування затору, кип'ятіння сусла, фільтрування, охолодження та підготовка сусла до бродіння, бродіння і дозрівання сусла в циліндрично-конічних танках, фільтрування пива, стабілізація пива (пастеризація) та розлив пива.

Розглянемо детальніше ці процеси:

*1. Дроблення солоду.*

Солод – це вхідна сировина у пивоварінні, яка отримується шляхом пророщування зернових культур (ячменю, пшениці, кукурудзи) з подальшим їх сушінням та дробленням [1].

Процес подрібнення солоду забезпечує можливість ферментам солоду розщеплюватись під час затирання. Солод, який поступає на пивоварню, зберігають у спеціальних силосах та перед процесом дроблення очищають його від пилу, каміння та металевих частинок для запобігання пошкодження технологічного обладнання і виникнення нештатних ситуацій.

*2. Затирання солоду.*

Подрібнений солод потрапляє у варильний цех для затирання. Це важливий процес при якому ферменти солоду і вода змішуються (затираються), в результаті чого утворюється затор (розчинені речовини екстракту солоду), який використовується для подальшого процесу виробництва пива, та дробина (не розчинена частка солоду), як побічний вихідний продукт, який застосовують для годування тварин в народному господарстві.

Процес затирання важливий з точки зору того, що під час процесу варіння подрібненого солоду в поєднанні з водою, він забезпечує розщеплення крохмалю в цукри і розчинні декстрини без залишку.

*3. Фільтрування затору.*

У виробництві пива використовується тільки сусло, яке необхідно відділити від дробини як можна ретельніше, але для цього затор необхідно відфільтрувати. Процес фільтрування відбувається на механізмі під назвою фільтр-прес, який складається із мембрано-камерних модулів та решітчастих поліпропіленових плит, які послідовно ідуть один за одним. Затор закачується знизу під надлишковим тиском в мембрано-камерні модулі, а сусло витікає через серветки решітчастих плит. Процес триває впродовж 20-ти хвилин, для збору першого сусла. Після цього в камери подається стиснуте повітря, що стискає мембрани і видавлює решту сусла. Потім дробину промивають, а процес повторюється до повної переробки затору в сусло.

*4. Кип'ятіння сусла.*

Відфільтроване сусло кип'ятять в сусловарильних котлах упродовж 1-2 годин із додаванням хмелю. Кип'ятінням сусло стерилізується, знищуються шкідливі мікроорганізми, випаровуються небажані леткі сполуки, які можуть зіпсувати смакові властивості пива, а також відбувається екстракція гірких речовин із хмелю, які надають пиву характерного смаку та аромату.

*5. Фільтрування, охолодження і підготовка сусла до бродіння.*

Після отримання гарячого охмеленого сусла наступним кроком є відділення суспензій гарячого сусла. Оскільки суспензія є важче сусла, то вона осідає природнім шляхом, але це відбувається дуже довго і тому цей процес пришвидшується великим відцентровим прискоренням в сепараторі.

Після відділення суспензій, сусло потрапляє в пластинчастий теплообмінник, де охолоджується до температури 5-7 °С. В охолоджене сусло за допомогою змішувальної форсунки подаються дріжджі та повітря. Повітря необхідне для життєдіяльності та бродіння дріжджів, його дозування важливе, щоб запобігти можливості надмірному бродінню пива.

*6. Бродіння і дозрівання сусла в циліндрично-конічних танках.*

Охолоджене сусло з дріжджами поступає у циліндрично-конічні танки, які складаються з циліндра вверху та конуса внизу, що необхідно для збору дріжджів, які випали в осад після закінчення бродіння. Процес бродіння триває протягом 17-20 днів і під час цього періоду часу дріжджі виділяють значну кількість $CO_2$, яке збирають та в подальшому використовують у виробництві пива. Зібрані дріжджі по завершенню процесу бродіння потрапляють у спеціальний танк, де вони зберігаються при низьких температурах та аеруються (насичуються повітрям), для підтримання їх життєздатності.

*7. Фільтрування пива.*

Після закінчення бродіння пиво фільтрується, для того щоб вивести із пива клітини дріжджів та інших частинок, які можуть виділитись і викликати помутніння пива, тим самим зробити пиво стійким, щоб в ньому протягом довгого часу не виникало жодних змін і пиво зберігало свої якості.

Для фільтрування використовується намивний фільтр, в якому фільтрування відбувається через допоміжне фільтруюче середовище, а саме кізельгур, що намивається на фільтрувальні перегородки [1].

Кізельгур – це викопні одноклітинні інфузорні водорості, що складаються із діоксиду кремнію [1].

Відфільтроване пиво поступає у форфас, що являє собою циліндричну ємність для зберігання пива.

*8. Стерилізація пива.*

Для видалення з пива шкідливих мікроорганізмів проводять процес стерилізації шляхом пастеризації, що в свою чергу також забезпечує збільшення терміну зберігання пива. Під пастеризацією мається на увазі процес термічної обробки пива. Цей процес відбувається в пластинчастому теплообміннику, де пиво нагрівається до температури 68 – 72 °С, витримується близько 50 с., після чого пиво охолоджується до температури 3 – 4 °С. Весь процес триває близько 2-х хвилин, та завдяки перехрещенню потоків пива повертається до 96% енергії, що затратилась.

Після пастеризації пиво потрапляє у буферну ємність, яка виконує роль проміжної ланки між теплообмінником і розливною машиною, забезпечуючи стабільність тиску та безперервність подачі пива на розлив. Звідти воно подається на розливну машину.

*9. Розлив пива.*

Наступним кроком є розлив пива в чисту, проінспектовану тару. Розлив може здійснюватися в скляну тару, PET-пляшку, кеги або металеву банку. При цьому досить важливим є контроль стерильності тари, оскільки будь-які забруднення можуть вплинути на якість продукту та безпечність його для споживача. Після розливу на кожну одиницю тари наноситься етикетування, а також зазначається дата розливу. Наповнена пивом тара пакується в групову упаковку для її зручного транспортування та захисту від механічних пошкоджень.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

## 1.1 Опис технологічного процесу

У сучасному пивоварінні найчастіше використовується вертикальна буферна ємність, що є міцною, ергономічною та виготовлена з нержавіючої сталі – матеріалу, який забезпечує хімічну нейтральність, високу стійкість до корозії, довговічність конструкції та відповідність санітарно-гігієнічним вимогам. Конструкція буферної ємності оптимізована для ефективного процесу CIP-миття.

Миття буферної ємності відбувається за методикою CIP (від англ. *clean in place* – мийка на місці), яка виконується автоматично. Вона призначена для очищення внутрішніх поверхонь технологічного обладнання без демонтажу, розгерметизації та фізичного втручання персоналу, що значно скорочує час простою виробничої лінії, знижує ризик перехресного мікробіологічного забруднення та забезпечує стабільно високий рівень гігієни. У системі CIP можуть застосовуватися різні мийні розчини (лужні, кислотні, дезінфікуючі) та багатоступенева програма очищення з проміжним промиванням.

Основне призначення буферної ємності — забезпечення безперервного та стабільного ходу виробничого процесу шляхом компенсації коливань між продуктивністю пастеризатора і швидкістю подачі пива на розлив. Для цього ємність оснащена системами автоматичного контролю рівня та тиску пива, які підтримують оптимальні умови зберігання пива, забезпечують стабільну подачу на розливну лінію та запобігають порушенням у роботі обладнання. Це необхідно щоб уникнути гідравлічних ударів у системі, зменшити ризик надмірного спінювання пива, підтримати сталий, рівномірний потік рідини та забезпечити точність дозування на розливній машині.

Завдяки автоматизованим алгоритмам управління, всі параметри можуть контролюватися в режимі реального часу з можливістю коригування через операторську панель (HMI), що значно підвищує ефективність та надійність роботи системи.

Технологічна схема буферної ємності пастеризатора представлена на рисунку 1.1.

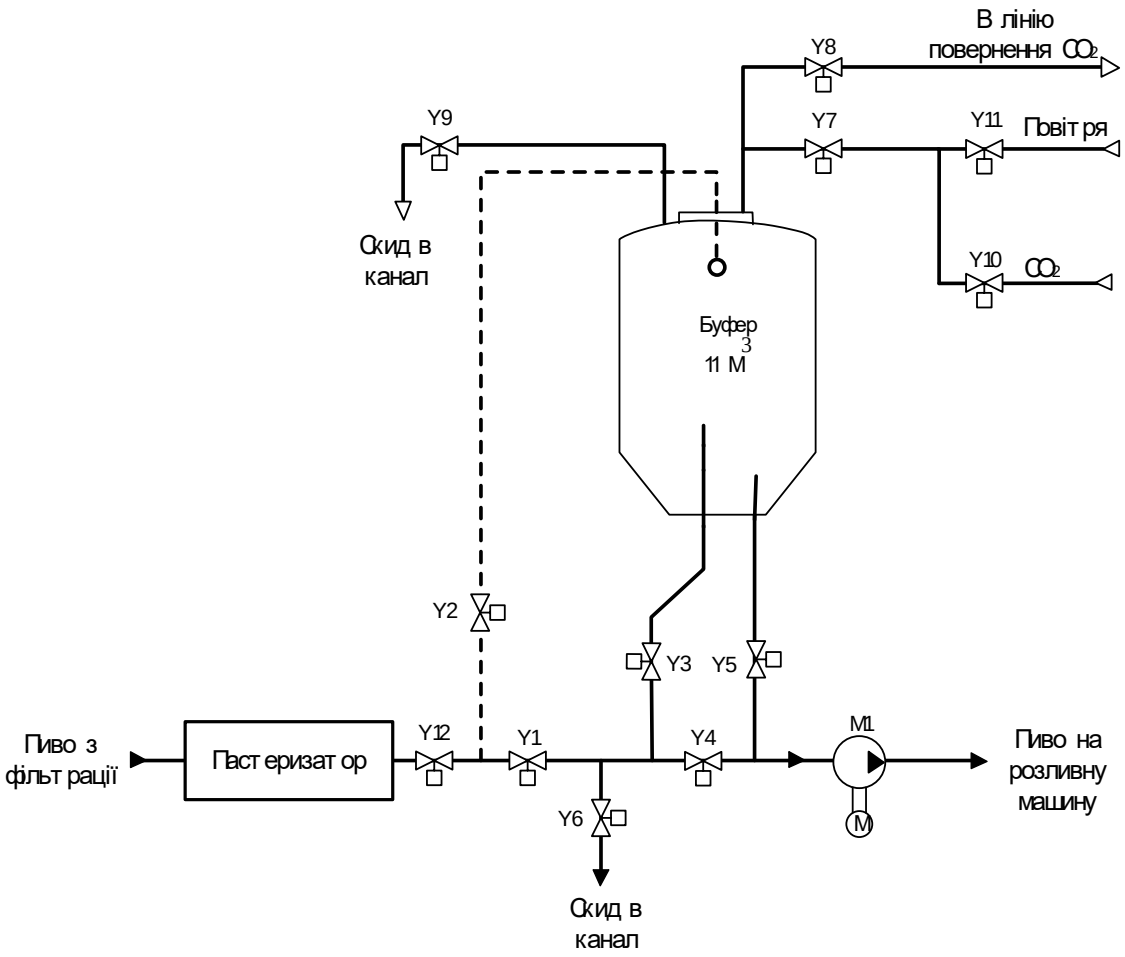



*Рисунок 1.1. Технологічна схема буферної ємності.*

Технологічний процес буферної ємності після пастеризатора складається з наступних процедур:

*1. Заповнення буферної ємності вуглекислим газом ($CO_2$)* – для запобігання явища спінювання пива;

*2. CIP 1* – для промивки тільки труб, в обхід буферної ємності, після застосування процедури «Виробничий процес без буферної ємності»;

*3. CIP 2* – для повної промивки системи дезінфікуючими засобами;

*4. CIP 3* – для повної промивки системи розчином з лугів та кислот;

*5. Виробничий процес* –основний режим роботи буферної ємності пастеризатора;

*6. Виробничий процес без буферної ємності* – режим роботи технологічного процесу в обхід буферної ємності;

*7. Видавлювання води* – процес, який відбувається після завершення основного режиму роботи буферної ємності пастеризатора. Цей процес необхідно проводити з метою видалення деаерованої води з пива, яка застосовується для витіснення пива, що залишилося в трубопроводах внаслідов проведення технологічного процесу виробництва.

Розглянемо більш детальніше процеси, які відбуваються при кожній з цих процедур:

*1. Заповнення буферної ємності вуглекислим газом ($CO_2$).*

Процедура заповнення буферної ємності вуглекислим газом відбувається в два етапи, зокрема:

- режим продування буферної ємності вуглекислим газом протягом часу t = 220 с.;

- робочий режим для заповнення і підтримання значення тиску вуглекислого газу в буферній ємності на рівні P = 2,7 бар.

Під час першого етапу відкриваються клапани подачі вуглекислого газу Y7, Y10 та його видалення Y3, Y4, Y5, Y6 (Рисунок 1.1).

В робочому режимі періодично відкриваються клапани подачі вуглекислого газу Y7, Y10. Періодичність відкриття цих клапанів керується згідно трипозиційного закону керування, вхідним параметром для якого буде тиск $CO_2$, що вимірюється за допомогою первинного вимірювального перетворювача тиску, який монтується в верхній частині буферної ємності. При перевищенні значення робочого тиску за допустиме значення P = 2,8 бар відкривається клапан Y8, для повернення вуглекислого газу в зворотну лінію подачі, з метою приведення тиску до робочого значення.

*2. CIP 1.*

Під час цієї процедури відкриваються клапани: Y12, Y1, Y4. Після чого з затримкою в 30 секунд вмикається електропривід (M1) насосу подачі миючого розчину на розливну машину. Оскільки в трубопроводі подачі миючого розчину на

розливну машину необхідно підтримувати тиск P = 1,5 бар, тому передбачається застосування частотно-керованого пристрою для зміни частоти обертання електроприводу насосу подачі миючого засобу, а відповідно і стабілізації значення тиску. Керуюча дія на частотно-керований пристрій формується згідно закону ПІД-регулювання, вхідною величиною для якого є значення тиску миючого розчину.

*3. CIP 2.*

Під час мийки дезінфікуючими засобами відкриваються клапани: Y12, Y2, Y3, Y5. Керування клапанами Y1 та Y4 здійснюється у режимі часової програми керування, яка реалізується із застосуванням таймера, який забезпечує чергування станів: 10 секунд відкрито, 120 секунд закрито. Клапан Y6 керується аналогічним чином, однак з інтервалами: 180 секунд відкрито, 480 секунд закрито.

Після увімкнення процедури з затримкою в 30 секунд, та якщо спрацьований давач наявності мінімального рівня в буферній ємності вмикається електропривід (M1) насосу подачі миючого розчину на розливну машину. Варто відмітити, що під час цієї процедури необхідно підтримувати робочий тиск миючого засобу на рівні P = 3 бар. Для реалізації цієї умови передбачається використання частотно-керованого пристрою, який буде змінювати частоту обертання насосу подачі миючого засобу, а відповідно і тиск. Для формування керуючого впливу застосовується ПІД-закон регулювання. Вхідною величиною для системи регулювання є тиску миючого розчину, який вимірюється первинним вимірювальним перетворювачем тиску, який монтується на виході насосу. В свою чергу завдання на ПІД-регулятор програмно корегується відповідно об’єму миючого розчину у буферній ємності, який визначається непрямим методом вимірювання, зокрема шляхом вимірювання тисків в верхній та нижній частині буферної ємності.

Також періодично відкриваються клапани подачі вуглекислого газу Y7, Y10. Періодичність відкриття цих клапанів керується згідно трипозиційного закону керування, вхідним параметром для якого буде тиск $CO_2$, який вимірюється за допомогою первинного вимірювального перетворювача тиску, який монтується в верхній частині ємності. При перевищенні значення робочого тиску за допустиме

значення P = 2 бар відкривається клапан Y9, для скиду вуглекислого газу в зовнішнє середовище, з метою приведення тиску до робочого значення.

*4. CIP 3.*

Процедура мийки розчинами лугів та кислот відбувається в два етапи, зокрема:

- режим продування буферної ємності повітрям протягом часу t = 180 секунд. Це необхідно виконувати, оскільки вуглекислий газ ($CO_2$) взаємодіє з каустичною содою, що використовується під час мийки і внаслідок цієї взаємодії можуть утворюватися кристали, які дуже шкідливо впливають як на технологічний процес, так і на технологічний об’єкт.

- робочий режим миття буферної ємності протягом часу t = 360 секунд.

Під час першого етапу на час 10 секунд, або допоки тиск, який виміряний первинним вимірювальним перетворювачем, що змонтований вверху буферної ємності не буде менший за значення в P = 2 бар відкривається клапан Y9, для скиду надлишкового тиску газів в буферній ємності. Після закриття клапану Y9 відкриваються клапани Y1, Y4, Y6. Окрім цього періодично відкриваються клапани подачі повітря Y7, Y11. Періодичність відкриття цих клапанів керується згідно трипозиційного закону керування, вхідним параметром для якого буде тиск $CO_2$, який вимірюється за допомогою первинного вимірювального перетворювача тиску в верхній частині буферної ємності. При перевищенні значення робочого тиску за допустиме значення P = 2 бар відкриваються клапани Y3, Y5, з метою приведення тиску до робочого значення.

Під час другого етапу відкривається клапан Y12 та вмикається електропривід (M1) насосу подачі миючого розчину на розливну машину. Принцип керування електроприводом насосу подачі миючого засобу аналогічний, як і в попередніх процесах. Під час роботи насосу подачі миючого розчину на розливну машину відкриваються клапани Y7, Y11. Також періодично відкриваються клапани Y1, Y4. Періодичність відкриття цих клапанів керується згідно трипозиційного закону керування, вхідним параметром для якого буде витрата, яка вимірюється за допомогою первинного вимірювального перетворювача витрати, який монтується

на трубопроводі після насосу подачі миючого розчину на розливну машину. При перевищенні значення робочої витрати за допустиме значення F = 50 Гл/год. відкриваються клапани Y2, Y3, Y5, з метою приведення тиску до робочого значення.

Керування клапаном Y4 також здійснюється у режимі часової логіки за допомогою таймера, який забезпечує чергування станів: 10 секунд відкрито, 120 секунд закрито. Клапан Y6 керується аналогічним чином, з інтервалами: 180 секунд відкрито, 480 секунд закрито.

*5. Виробничий процес.*

Під час виробничого процесу, відкривається клапан Y10. Для початку роботи відкривається клапан Y7, та в буферну ємність подається вуглекислий газ, доки тиск у буферній ємності, який вимірюється за допомогою первинного вимірювального перетворювача тиску, який монтується в верхній частині ємності не перевищить допустиме значення в 2,8 бар після чого, починається основне функціонування:

Періодично відкривається клапан Y7. Періодичність відкриття цього клапану керується згідно трипозиційного закону керування, вхідним параметром для якого буде тиск $CO_2$, який вимірюється за допомогою первинного вимірювального перетворювача тиску, який монтується в верхній частині ємності. При перевищенні значення робочого тиску за допустиме значення P = 2,8 бар відкривається клапан Y8, для повернення вуглекислого газу в зворотну лінію подачі, з метою приведення тиску до робочого значення.

Якщо тиск, який вимірюється первинним вимірювальним перетворювачем тиску, який монтується на трубопроводі подачі пива в пастеризатор, досягне значення тиску P = 1,8 бар, або більше, об’єм пива у буферній ємності, який визначається непрямим методом за допомого значення тисків з первинних вимірювальних перетворювачів тиску, які змонтовані внизу та вверху буферної ємності менше за 6 $м^3$, та не спрацьований давач наявності максимального рівня пива в буфері, то відкриються клапани Y1, Y3, Y12.

Коли об’єм пива в буферній ємності перевищує 5 м$^3$, тиск вверху буферної ємності перевищує значення 1 бар, а також активний сигнал з давача наявності нижнього рівня пива в буферній ємності, то відкриється клапан Y5, а через 10 секунд запуститься електропривід (М1) насосу подачі пива на розливну машину.

Варто відмітити, що в трубопроводі подачі пива на розливну машину необхідно підтримувати тиск Р = 3,3 бар, тому передбачено частотно-керований пристрій, який забезпечує стрaбілізацію цього технологічного параметру шляхом зміни частоти обертання електроприводу (М1) насосу подачі пива.

*6. Виробничий процес без буферної ємності.*

Під виконання процедури «Виробничий процес без буферної ємності» відкриваються клапани Y12, Y1, Y4 і через 30 секунд вмикається електропривід (М1) насосу подачі пива на розливну машину. В трубопроводі подачі пива на розливну машину необхідно підтримувати тиск Р = 3,5 бар, тому передбачено частотно-керований пристрій, який забезпечує стрaбілізацію цього технологічного параметру шляхом зміни частоти обертання електроприводу (М1) насосу подачі пива.

*7. Видавлювання води.*

Процедура видавлювання води триває 120 секунд. Протягом цього часу, якщо активний давач наявності мінімального рівня рідини в буферній ємності відкриваються клапани Y4, Y5, Y6, для скидання деаерованої води в зливний канал.

Також періодично відкриваються клапани Y7, Y10. Періодичність відкриття цього клапану керується згідно трипозиційного закону керування, вхідним параметром для якого буде тиск $CO_2$, який вимірюється за допомогою первинного вимірювального перетворювача тиску, який монтується в верхній частині ємності. При перевищенні значення робочого тиску за допустиме значення Р = 2,7 бар відкривається клапан Y8, для повернення вуглекислого газу в зворотну лінію подачі, з метою приведення тиску до робочого значення.

## 1.2 Аналіз факторів, що впливають на перебіг технологічного процесу

На перебіг технологічного процесу у буферній ємності пастеризатора впливають наступні фактори: тиск подачі пива на вході пастеризатора, тиск газів в

буферній ємності, тиск та витрата пива на виході насосу подачі пива на розливну машину.

Тиск пива на вході до пастеризатора повинен підтримуватись на рівні 3,2 бар, тому що при заниженні цього параметра в системі можуть утворюватися газові бульбашки, які можуть спричинити гідроудар. Це в свою чергу може призвести до явища механічного навантаження на трубопроводи, запірну арматуру та насоси, а відповідно і до їх пошкодження, або виходу з ладу технологічного обладнання. Окрім цього, від тиску подачі пива залежить рівномірність та повнота наповнення трубопроводів технологічного процесу та буферної ємності пастеризатора.

Від тиску газів в буферній ємності залежить відсутність спінювання пива, та унеможливлює явище утворення вакууму всередині буферної ємності.

Від тиску пива та витрати на виході насосу залежить коректне функціонування розливної машини, а також унеможливлює процес утворення бульбашок газу, що можуть призвести до гідроударів.

### 1.3 Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та їхніх допустимих відхилень

Тиск подачі пива на вході в пастеризатор повинен забезпечити рівномірне та повне наповнення трубопроводів буферної ємності і буферної ємності, та унеможливити появу бульбашок газу, що досягається при тиску в 3,2 бар, з допустимим відхиленням в ± 0.1 бар.

Тиск газів вверху буферної ємності повинен забезпечити відсутність спінювання пива та унеможливити можливість утворення вакууму, що досягається при тиску в 3,0 бар, з допустимим відхиленням в ± 0.1 бар.

Тиск пива на виході насосу подачі пива на розлив та витрата пива на виході насосу повинні забезпечити рівномірне і повне наповнення трубопроводів розливної машини та розливної машини, а також унеможливити появу бульбашок газу, що досягається при тиску в 3,8 бар, з допустимим відхиленням в ± 0.1 бар та витраті 230 Гл/год, з допустимим відхиленням ± 1 Гл/год.

## 1.4 Технологічна карта

Приймаючи до уваги вищезгадані вимоги технологічного процесу буферної ємності після пастеризатора, для забезпечення стабільної та надійної роботи необхідно забезпечити номінальні значення технологічних параметрів системи керування, які наведено в технологічній карті (таблиця 1.1):

*Таблиця 1.1*

Технологічна карта системи керування буферною ємністю у виробництві пива.

| № | Назва параметра | Розмірність | Номінальне значення | Допустиме відхилення |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Тиск на вході в пастеризатор | бар | 0,1 ÷ 3,2 | ± 0,1 |
| 2 | Тиск в буферній ємності | бар | 0,15 ÷ 3,0 | ± 0,1 |
| 3 | Тиск на виході насосу подачі пива на розлив | бар | 1,5 ÷ 3,8 | ± 0,1 |
| 4 | Витрата пива | Гл/год | 50 ÷ 230 | ± 1 |
| 5 | Максимальний рівень пива у буферній ємності | м | 3,2 | - |
| 6 | Мінімальний рівень пива у буферній ємності | м | 0,15 | - |

## 1.5 Складання структурної схеми взаємозв'язків параметрів об'єкта керування

За результатами виконаного аналізу технологічного процесу у буферній ємності пастеризатора, встановлено наступні величини, які характеризують цей процес:

*1. Вхідні параметри*

а) $P_{гт}$ – Тиск газу в вхідному трубопроводі;

б) $P_{пвхт}$ – Тиск пива в вхідному трубопроводі перед пастеризатором;

в) $A_н$ – Продуктивність насосу на виході буферної ємності;

г) $L_{пбє}$ – Рівень пива в буферній ємності;

ґ) $V_{пбє}$ – Об'єм пива в буферній ємності.

*2. Вихідні параметри*

а) $P_{гбє}$ – Тиск газу в буферній ємності;

б) $P_{пвхп}$ – Тиск пива на вході в пастеризатор;

в) $P_{пвих}$ – Тиск пива на виході насосу подачі пива на розлив;

г) $F_{пвих}$ – Витрата пива на виході насосу подачі пива на розлив.

*3. Збурюючі величини*

а) $Q_г$ – Концентрація вуглекислого газу ($CO_2$);

б) $Q_п$ – Концентрація пива;

в) $Q_{пн}$ – Концентрація піни.

Взаємозв'язки між цими технологічними параметрами наведено на рисунку 1.2.

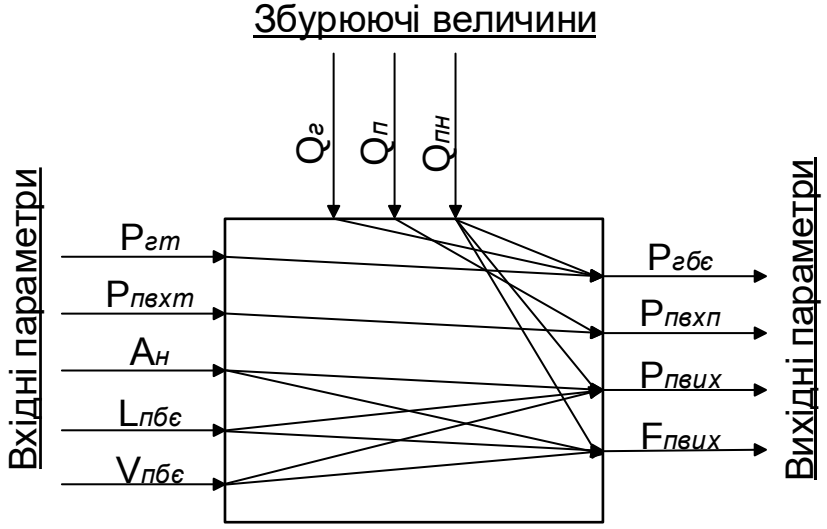



*Рисунок 1.2. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами буферної ємності після пастеризатора.*

**Висновки:**

У першому розділі наведено детальний аналіз технологічного процесу в буферній ємності пастеризатора з точки зору, як об'єкта керування. Описано основні процедури, які забезпечують стабільну роботу системи в різних режимах роботи. Визначено ключові фактори впливу на перебіг процесів у буферній ємності пастеризатора: тиск подачі пива на вході пастеризатора (3,2 бар), тиск газів у верхній частині буферної ємності (3,0 бар), тиск і витрата пива на виході насосу

(3,8 бар, 230 гл/год). Ці параметри є критичними для запобігання гідроударам, спінюванню пива, утворенню газових бульбашок і вакууму, а також для забезпечення правильного функціонування розливної машини.

Обґрунтовано номінальні значення параметрів та їх допустимі відхилення. Складено технологічну карту, яка відображає вимоги до значення технологічних параметрів. Розроблено структурну схему взаємозв’язків між технологічними параметрами створюючи основу для розробки системи автоматичного керування.

# РОЗДІЛ 2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 2.1 Аналіз характеристик взаємозв’язку між параметрами об’єкта керування

Приймаючи до уваги вищенаведений опис технологічного процесу, який проходить в буферній ємності пастеризатора виконано аналіз характеристик взаємозв’язку між технологічними параметрами об’єкту керування, зокрема:

– для унеможливлення явища утворення вакууму та спінювання пива необхідно забезпечити постійний тиск газу в верхній частині буферної ємності;

– для забезпечення рівномірного та повного наповнення трубопроводів та буферної ємності і унеможливити появу бульбашок необхідно підтримувати стабільний тиск пива на вході в пастеризатор;

– для забезпечення рівномірного та повного наповнення трубопроводів та розливної машини і унеможливити появу бульбашок газу підтримувати стабільний тиск пива на виході насосу подачі пива на розлив.

Отже щоб реалізувати систему автоматичного керування технологічним процесом буферної ємності пастеризатора необхідно розробити такі процедури керування, які зможуть забезпечити номінальні значення технологічних параметрів у відповідності до технічних умов проведення технологічного процесу.

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

Для забезпечення безперервної, ефективної та надійної роботи технологічного процесу в буферній ємності пастеризатора необхідно реалізувати системи автоматизації, яка повинна забезпечити:

- автоматичну стабілізацію тиску потоку пива на розливну машину;
- запас пива для згладжування короткочасних зупинок суміжних технологічних апаратів;

- унеможливлення різких стрибків тиску пива у трубопроводі, які виникають при зупинках, пусках та змінах продуктивності суміжних технологічних апаратів, а також уникнення гідравлічних ударів потоку пива;
- вибір робочої програми роботи буферної ємності пастеризатора;
- автоматичну стабілізацію тиску в буферній ємності;
- автоматичне вимкнення при досягненні максимального рівня;
- формування аварійних повідомлень при несправностях технологічного обладнання і перевищення номінальних значень технологічних параметрів;
- відображення та реєстрацію аварійних повідомлень на панелі оператора.

### 2.3 Визначення функціональних ознак системи автоматизації

*Таблиця 2.1*

Функціональні ознаки системи автоматизації

| № п/п | Обсяг автоматизації / Назва параметру | Показ | Реєстрація | Сигналізація | Дистанційне керування | Автоматичне регулювання |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Тиск на вході в пастеризатор | + | + | | | |
| 2 | Тиск вверху буферної ємності | + | + | | | + |
| 3 | Тиск на виході насосу | + | + | | | + |
| 4 | Витрата на виході насосу | + | + | | | + |
| 5 | Об’єм у буферної ємності | + | + | | | + |
| 6 | Електромагнітні клапани | + | | | + | |
| 7 | Витрата пива на розливну машину | + | | + | + | |

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

Наявна схема керування буферною ємністю пастеризатора [1] передбачають управління клапанами на вхідному та вихідному трубопроводах, а також між ними. Окрім цього також передбачається керування клапанами подачі газоподібних речовин в буферну ємність для технологічних потреб. Вищезгадана система керування окрім позитивних сторін також має один недолік, а саме відсутність системи керування процесом мийки буферної ємності.

Тому в бакалаврській кваліфікаційній роботі запропоновано удосконалену схему автоматизації, яка включає в собі систему керування клапанами подачі пива, а також процесом мийки буферної ємності. Окрім цього також передбачено систему стабілізації тиску із використанням аналогового закону регулювання. Запропонована система автоматизації значно покращує гігієнічність та стерильність процесів у буферній ємності, оскільки немає необхідності сполучувати буферну ємність з атмосферою, а також виконання процесів мийки в ручну із використанням обслуговуючого персоналу, тобто ця система передбачає замкнутий цикл технологічного процесу. Окрім цього стабілізація тиску та витрати пива на розливну машину забезпечує рівномірне і повне наповнення трубопроводів, буферної ємності та унеможливлює появу бульбашок газу, а також гідроударів. Ці негативні явища створюють механічне навантаження на трубопроводи, запірну арматуру та насоси, що може призвести до пошкодження, або виходу з ладу цих компонентів.

Додатково для попередження несправності електроприводу насосу подачі пива на розливну машину реалізовано світлозвукову сигналізацію по помилках в роботі перетворювача частоти.

На підставі вищесказаного розроблено функціональну схему автоматизації буферної ємності пастеризатора (рисунок 2.1), яка передбачає такі підсистеми:

1. Вимірювання та індикацію тиску на вході в пастеризатор;
2. Вимірювання та індикацію тиску в верхній частині буферної ємності;
3. Вимірювання та індикацію тиску на лінії подачі пива в розливну машину;

4. Вимірювання та індикацію витрати пива на розливну машину;

5. Непряме вимірювання об’єму пива в буферній ємності пастеризатора;

6. Керування електромагнітними клапанами;

7. Керування насосом подачі пива на розливну машину.

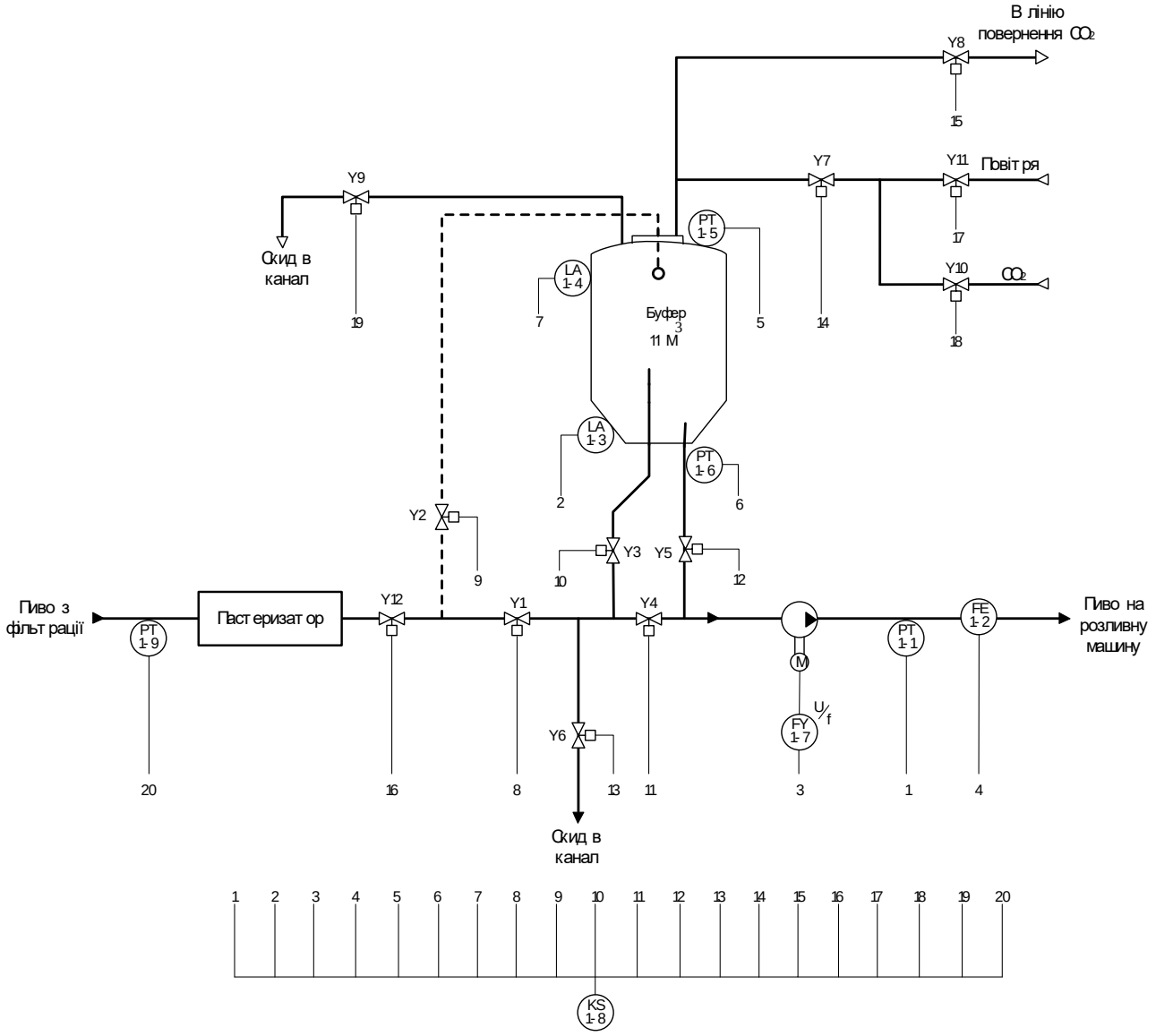



*Рисунок 2.1. Функціональна схема автоматизації буферної ємності пастеризатора, яка виконана спрощеним методом.*

**Висновки:**

У другому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи виконано техніко-економічне обґрунтування функціональної схеми автоматизації технологічного

процесу буферної ємності пастеризатора. Проведено аналіз взаємозв’язків між технологічними параметрами процесу.

Обґрунтовано вибір функціональних ознак для реалізації системи автоматизації. Проведено порівняльний аналіз наявних схем керування буферною ємністю пастеризатора та розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації, яка включає не лише управління клапанами та насосом подачі пива, але й керування процесом мийки ємності, стабілізацію тиску пива, а також систему аварійної сигналізації.

# РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 3.1 Вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми

### 3.1.1 Обґрунтування вибору вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

Для вимірювання тиску подачі пива після насосу, у верхній та нижній частинах буферної ємності, а також на вході до пастеризатора використовуються первинні вимірювальні перетворювачі тиску Endress+Hauser Cerabar T PMP131-A1B01A1R.

Витрата пива на розливну машину визначається за допомогою електромагнітного витратоміра Endress+Hauser Promag 53H65-2N12/0.

Наявність мінімального та максимального рівнів в буферній ємності контролюється за допомогою вібраційних давачів граничного рівня Endress+Hauser Liquiphant FTL31-AA4U3BAWSJ.

Виміряні величини тиску та витрати поступають на аналогові входи, а сигнали з давачів рівня на дискретні входи мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації серії Vision V570 виробництва корпорації Unitronics (надалі ПЛК). ПЛК відповідно до режиму роботи виконує індикацію виміряних параметрів та формує регулюючі дії.

Сформований вихідний сигнал передається через аналоговий вихід на перетворювач частоти Danfoss VLT 2875PT4B20STR1DBF10, який в свою чергу керує частотою обертів електропривода насосу подачі пива на розливну машину.

Через дискретні виходи ПЛК також здійснюється керування електромагнітними клапанами Festo CPE14-M1CH-5L-1/8, які в свою чергу, керують пневмоклапанами, встановленими на трубопроводах. Ці пневмоклапани забезпечують регулювання, подачу та відведення ресурсів, необхідних для коректної роботи буферної ємності.

### 3.1.2 Технічні характеристики вибраних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

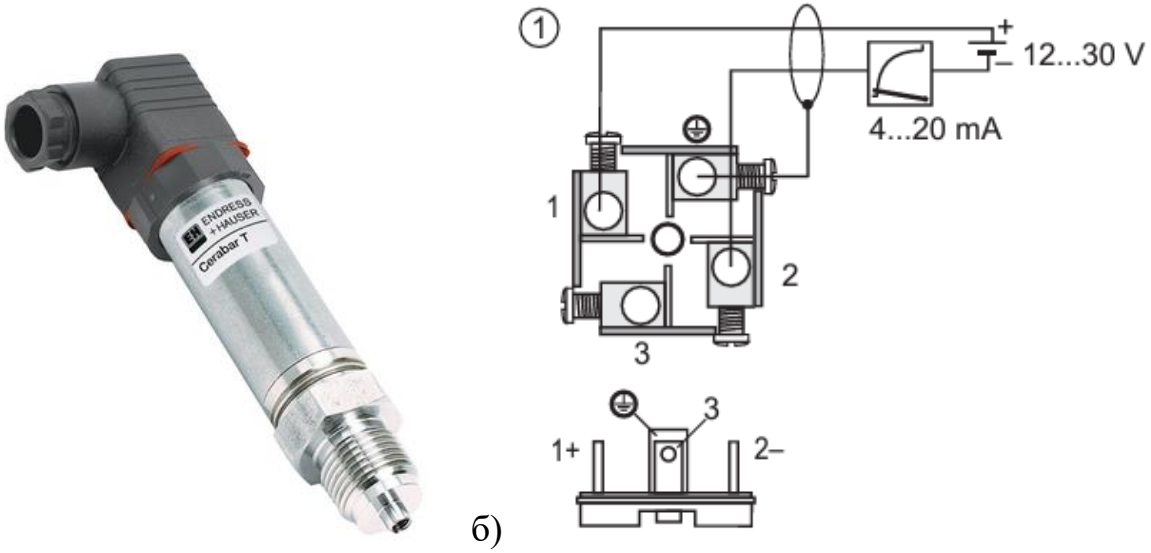
*3.1.2.1. Первинний вимірювальний перетворювач тиску Endress+Hauser Cerabar T PMP131-A1B01A1R [5]*

Первинний вимірювальний перетворювач тиску Endress+Hauser Cerabar T PMP131-A1B01A1R призначений для вимірювання абсолютного і надлишкового тиску газів, пари і рідких продуктів.

Технічні характеристики:

- номінальна напруга живлення: 12-32 В DC;
- аналоговий вихідний сигнал: 4 – 20 мА;
- тип електричного підключення: Вилка ISO 4400 M16, IP65/NEMA 4X (DIN 4365/A);
- діапазон вимірювання: 0 – 6 бар (0 – 600 кПа);
- точність вимірювання: 0.5%;
- діапазон робочих температур: -25°C до +70°C.

Загальний вигляд та схема електричного підключення первинного вимірювального перетворювача тиску Endress+Hauser Cerabar T PMP131-A1B01A1R зображено на рисунку 3.1.




а) б)

*Рисунок 3.1. Первинний вимірювальний перетворювач тиску Endress+Hauser Cerabar T PMP131-A1B01A1R:*
*а) загальний вигляд; б) схема електричного підключення.*

*3.1.2.2. Електромагнітний витратомір Endress+Hauser Promag 53H65-2N12/0 [8]*

Електромагнітний витратомір Endress+Hauser Promag 53H65-2N12/0 призначений для вимірювання витрати потоку рідини.

Технічні характеристики:

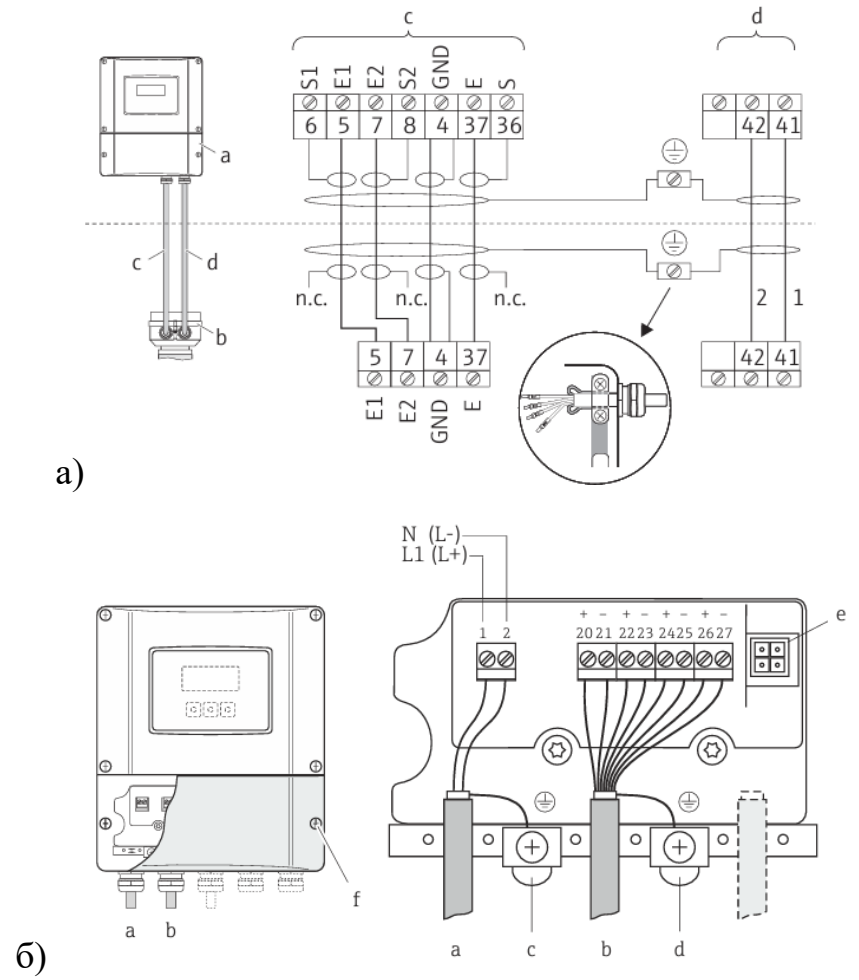
- номінальна напруга живлення: 85-260 В АС;
- аналоговий вихідний сигнал: 4 – 20 мА;
- діапазон вимірювання: 0 – 600 $м^3$/год;
- точність вимірювання: 0,2 %;
- діапазон робочих температур: -40 °С до +60 °С.

Загальний вигляд та схема електричного підключення електромагнітного витратоміру Endress+Hauser Promag 53H65-2N12/0 зображено на рисунку 3.2 та рисунку 3.3.

а) б)

*Рисунок 3.2. Електромагнітний витратомір Endress+Hauser Promag 53H65-2N12/0:*

*а) загальний вигляд вимірювальної частини; б) загальний вигляд показуючої частини.*




а)

б)

*Рисунок 3.3. Електромагнітний витратомір Endress+Hauser Promag 53H65-2N12/0:*

*а) схема електричного підключення вимірювальної частини витратоміра;*

*б) схема електричного підключення показуючої частини.*

*<u>3.1.2.3. Вібраційний давач граничного рівня Endress+Hauser Liquiphant FTL31-AA4U3BAWSJ [6]</u>*

Вібраційний давач граничного рівня Endress+Hauser Liquiphant FTL31-AA4U3BAWSJ призначений для виявлення наявності рідких або сипучих матеріалів мінімальна щільність яких більше ніж 0,7 г/см³.

Технічні характеристики:

- номінальна напруга живлення: 10 - 30 В DC;

- тип виходу: дискретний, 24 В DC.

Загальний вигляд та схема електричного підключення вібраційного давача граничного рівня Endress+Hauser Liquiphant FTL31-AA4U3BAWSJ зображено на рисунку 3.4.

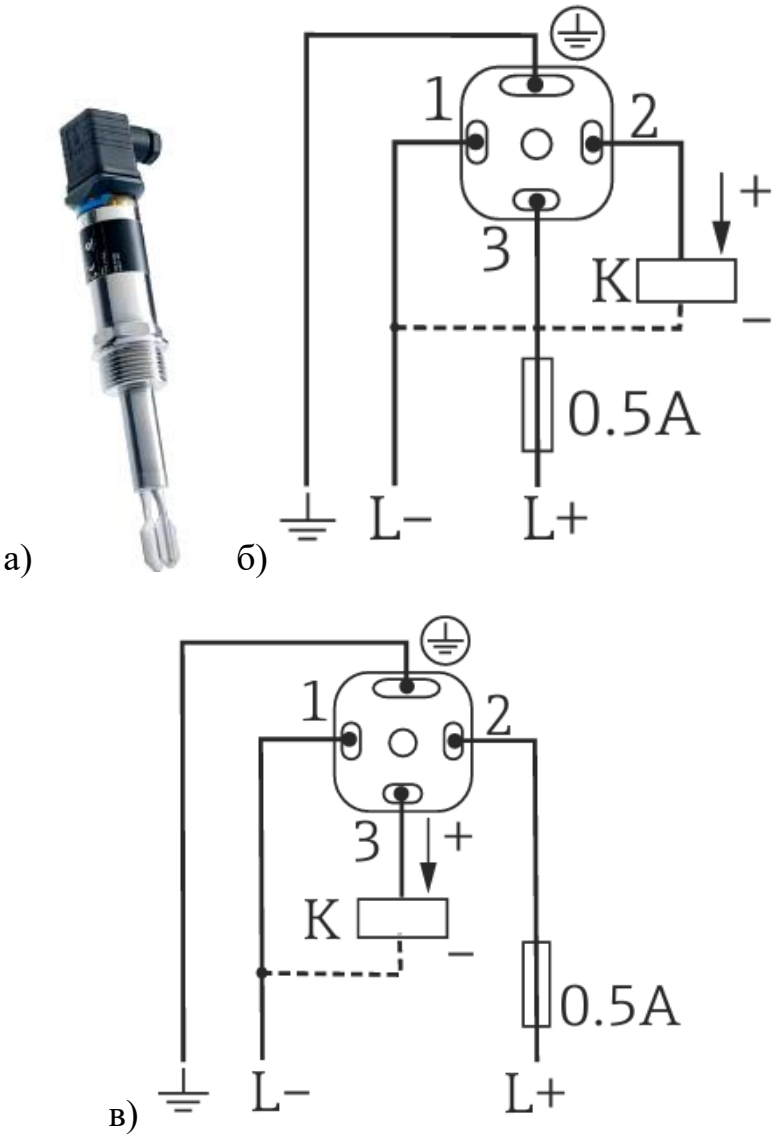



*Рисунок 3.4. Вібраційний давач граничного рівня Endress+Hauser Liquiphant FTL31-AA4U3BAWSJ:*

*а) загальний вигляд; б) схема електричного підключення при вимірюванні верхньої точки; в) схема електричного підключення при вимірюванні нижньої точки.*

*3.1.2.4. Перетворювач частоти Danfoss VLT 2875PT4B20STR1DBF10 [7]*

Перетворювач частоти Danfoss VLT 2875PT4B20STR1DBF10 – це електронний пристрій, який здійснює керування швидкістю та обертовим моментом електроприводу за допомогою зміни частоти.

Технічні характеристики:

- номінальна напруга живлення: 380 В AC;

- номінальний струм: 16 А;

- максимальний струм: 25.6 А;

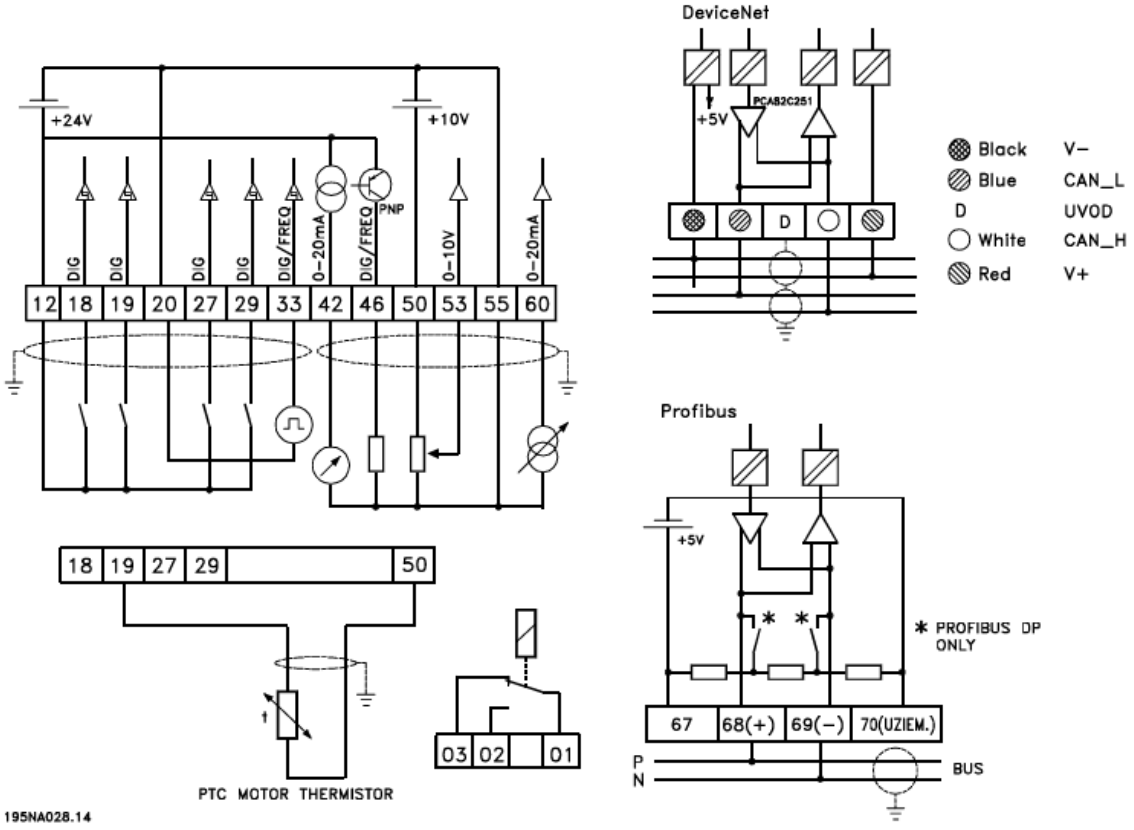
- номінальна потужність: 7.5 кВт;

- коефіцієнт корисної дії: 96 %;

- аналоговий вхідний керуючий сигнал: 4-20 мА.

Загальний вигляд та схема електричного підключення перетворювача частоти Danfoss VLT 2875PT4B20STR1DBF10 зображено на рисунку 3.5.


а)




б) 195NA028.14

*Рисунок 3.5. Перетворювач частоти Danfoss VLT 2875PT4B20STR1DBF10: а) загальний вигляд; б) схема електричного підключення.*

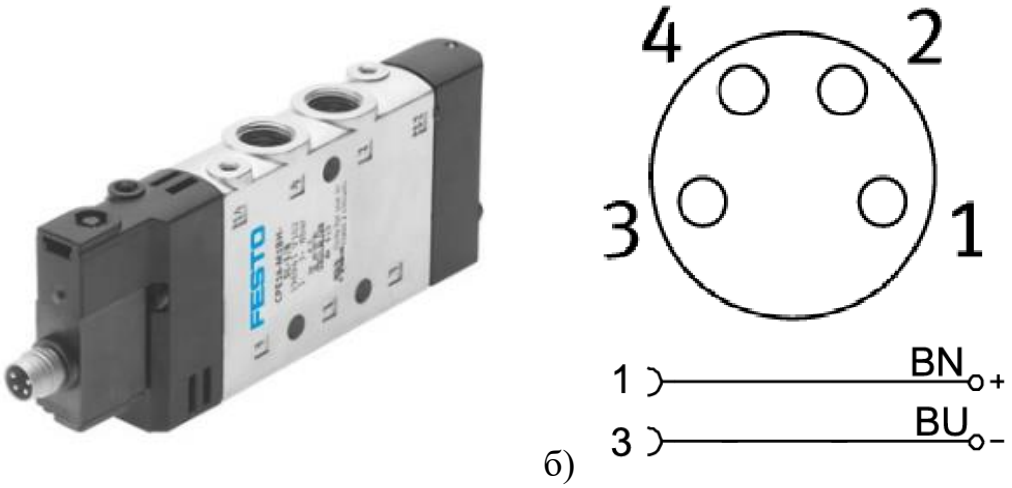
*3.1.2.5. Електромагнітний клапан Festo CPE14-M1CH-5L-1/8 [9]*

Електромагнітний клапан Festo CPE14-M1CH-5L-1/8 використовується для зміни, відкриття або блокування напрямку потоку середовища в гідравлічній або пневматичній системі.

Технічні характеристики:

- номінальна напруга кіл керування: 24 В DC;
- робочий тиск: 3-8 бар;
- тип електричного підключення: 4-pin M8x1.

Загальний вигляд та схема електричного підключення електромагнітного клапана Festo CPE14-M1CH-5L-1/8 зображено на рисунку 3.6.




а) б)

*Рисунок 3.6. Електромагнітний клапан Festo CPE14-M1CH-5L-1/8: а) загальний вигляд; б) схема електричного підключення.*

## 3.2 Мікропроцесорний програмований засіб автоматизації

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

Мікропроцесорні програмовані засоби автоматизації серії Vision V570 виробництва компанії Unitronix – це комбіновані засоби автоматизації, які поєднують у своєму складі програмований логічний контролер (ПЛК) та засіб людино-машинного інтерфейсу у вигляді багатоколірної сенсорної панелі з класом захисту IP66. Це забезпечує можливість експлуатації пристрою в умовах підвищеної вологості, запиленості та значних температурних коливань.

Контролер здатний підтримувати до 24 контурів ПІД-регулювання, дозволяє ефективно застосовувати його для реалізації складних задач автоматизації, зокрема в харчовій промисловості. Загальна кількість периферійних пристроїв, які можна підключити до ПЛК становить до 1000 шт., що забезпечує високу масштабованість системи автоматизації.

Об’єм пам’яті включає [3]:

- 2 МБ для програми функціонування;
- 16 МБ для зображень;
- 1 МБ для шрифтів.

Контролер підтримує широкий набір мережевих протоколів: MODBUS TCP, SNMP V1, BACnet, UniCAN, CANopen, CANLayer2, J1939, KNX і M-Bus, що дозволяє інтегрувати його у різноманітні промислові мережі.

Інтерфейсні порти включають в себе [3]:

- Mini USB-B (для програмування та обміну даними);
- CANbus (для підключення до промислових мереж);
- RS485/RS232 (два універсальні порти для підключення периферійних пристроїв).

Зовнішній вигляд програмованого логічного контролера серії Vision V570 наведено на рисунку 3.7.


*Рисунок 3.7. Зовнішній вигляд програмованого логічного контролера серії V570 виробництва компанії Unitronix.*

Будову ПЛК зображено на рисунку 3.8. До його основних компонентів входять [3]:

- мікропроцесорний модуль керування з вбудованою сенсорною HMI-панеллю;
- вбудований годинник реального часу для функцій керування за часом і датою;
- резервна батарея живлення, яка забезпечує збереження даних та підтримку функцій годинника реального часу;
- роз’єми для підключення модулів вводу-виводу та інтерфейсних портів (RS485/RS232, CANbus);
- роз’єм для підключення функціональних модулів розширення;
- роз’єм Mini USB-B для зручного підключення програмуючого пристрою;
- слот для карти пам’яті MicroSD для зберігання даних та резервних копій;
- роз’єм живлення на 24 В;
- DIP-перемикачі для налаштування портів інтерфейсів RS232/RS485.

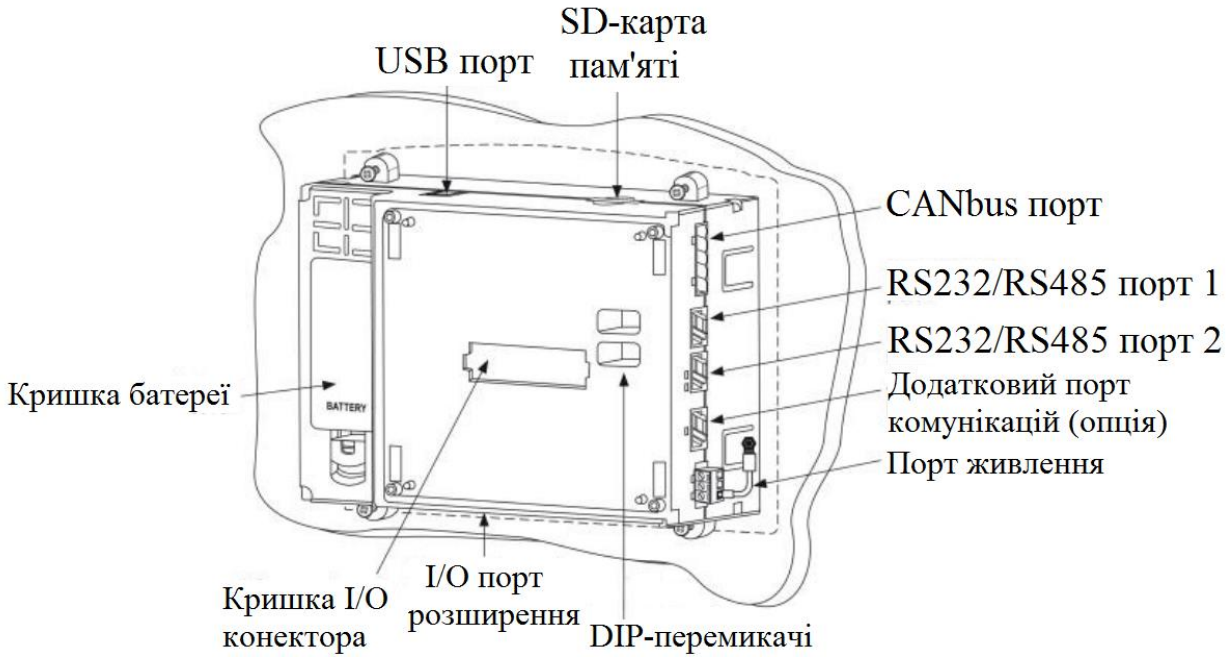



*Рисунок 3.8. Будова ПЛК серії V570 виробництва компанії Unitronix.*

Принцип компонування функціональних модулів ПЛК серії V570 виробництва компанії Unitronix зображено на рисунку 3.9.

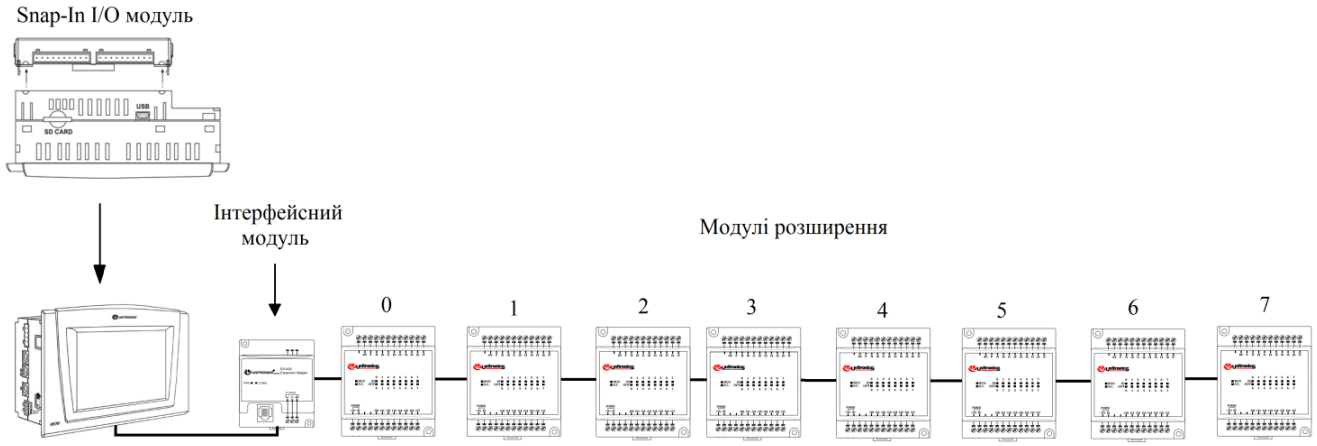


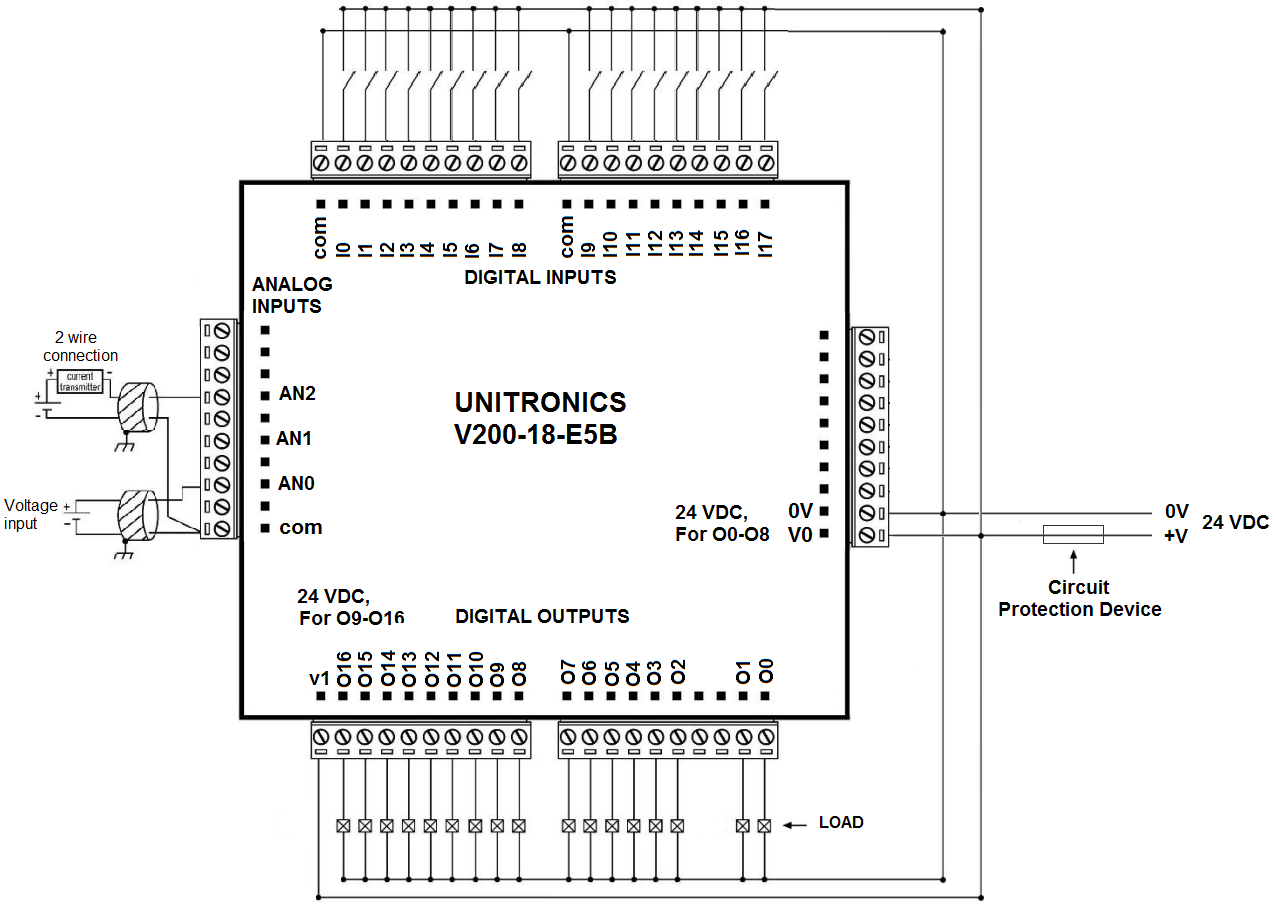

*Рисунок 3.9. Принцип компанування функціональних модулів ПЛК серії V570 виробництва компанії Unitronix.*

Як видно з рисунку 3.9 до функціональних модулів ПЛК належать:

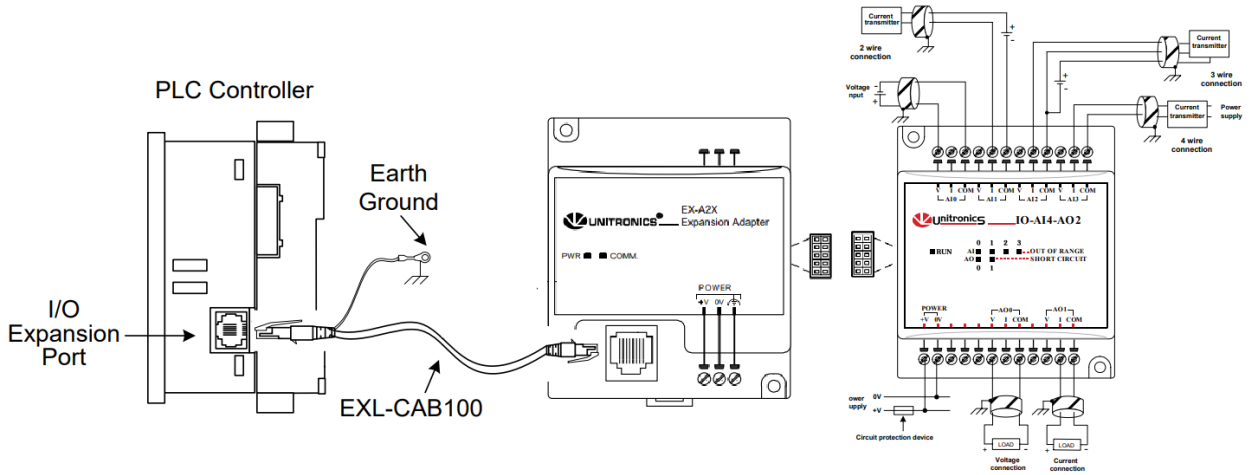
- модуль Snap-In пристроїв вводу-виводу, що кріпиться до задньої стінки ПЛК;
- інтерфейсний модуль EX-A2X для підключення до 8-ми модулів розширення вводу/виводу;
- модулі вводу/виводу інформації.

Для реалізації комп’ютерно-інтегрованої системи керування буферною ємністю після пастеризатора з урахуванням специфіки технологічного процесу та кількості каналів вводу з периферійних пристроїв та виводу керуючих сигналів на виконавчі механізми.

Принципова схема з’єднань для підключень периферійних пристроїв до модуля Snap-In та функціонального модуля розширення зображено на рисунку 3.10.




*а)*




*б)*

*Рисунок 3.10. Принципова схема з'єднань для підключень периферійних пристроїв до:*

*а) модуля Snap-In;*

*б) функціонального модуля розширення.*

### 3.2.2 Конфігурування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

У відповідності до функціональної схеми автоматизації буферної ємності пастеризатора (рисунок 2.1), для реалізації системи автоматизованого керування необхідно забезпечити:

- $DI_{ЗАД} = 4$ – дискретні вхідні сигнали;
- $DO_{ЗАД} = 13$ – дискретні вихідні сигнали;
- $AI_{ЗАД} = 4$ – аналогові вхідні сигнали;
- $AO_{ЗАД} = 1$ – аналогові вихідні сигнали.

Для забезпечення необхідної кількості каналів вхідних та вихідних сигналів необхідно застосувати ПЛК наступної конфігурації:

- модуль центрального процесора з вбудованою HMI-панеллю виробництва компанії Unitronics серії Vision V570 – 1 шт.;
- модуль вводу / виводу Snap-In типу V200-18-E5B – 1 шт.;
- інтерфейсний модуль типу EX-A2X – 1 шт.;
- модуль аналогових вхідних та вихідних сигналів типу IO-AI4-AO2 – 1 шт.

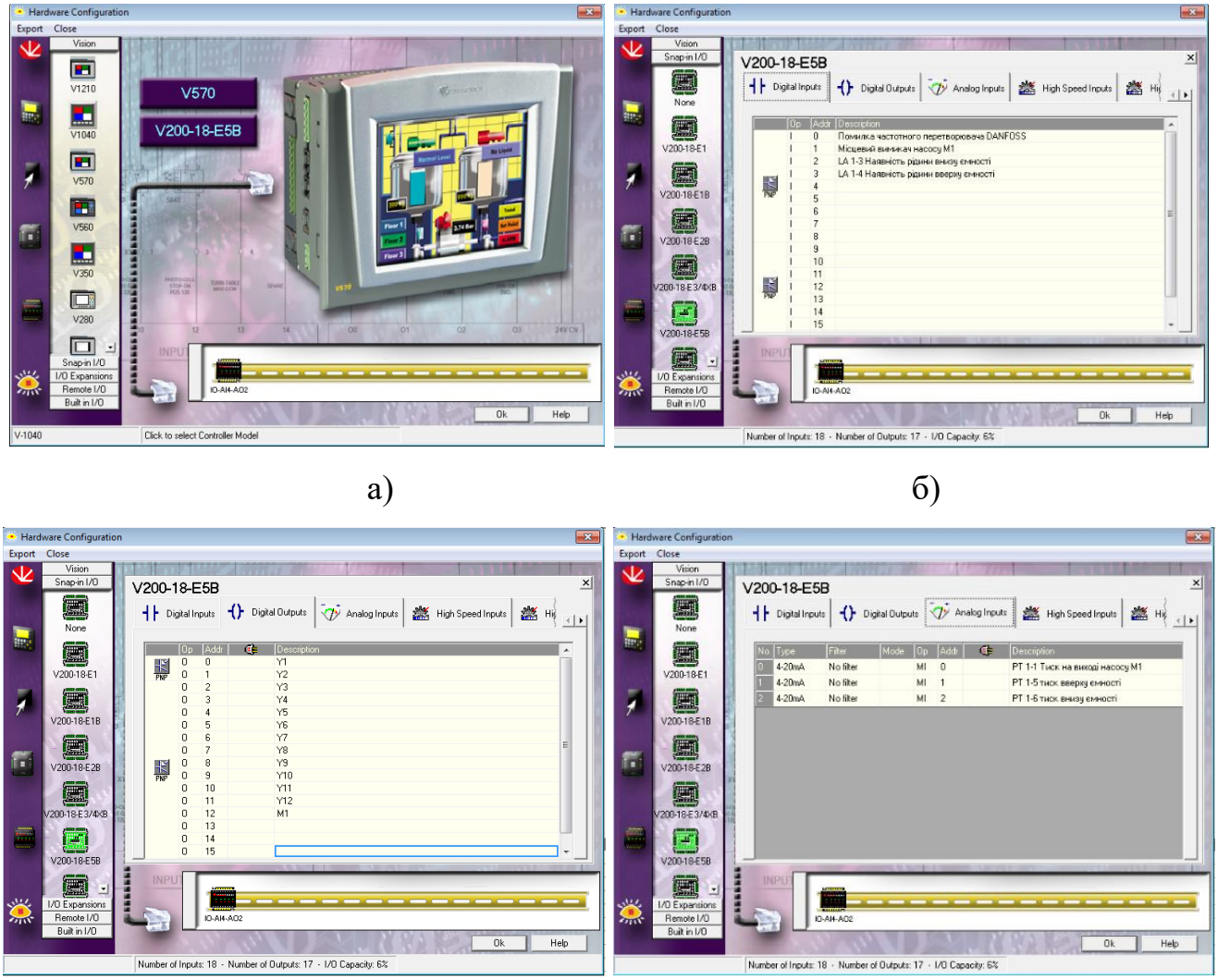
Вибрана конфігурація ПЛК забезпечує наступну кількість каналів вхідних / вихідних сигналів:

- дискретні вхідні сигнали: $DI = 18 > DI_{ЗАД} = 14$;
- дискретні вихідні сигнали: $DO = 17 > DO_{ЗАД} = 4$;
- аналогові вхідні сигнали: $AI = 7 > AI_{ЗАД} = 3$;
- аналогові вихідні сигнали: $AO = 2 > AO_{ЗАД} = 1$;

На підставі вищенаведено порівняння вибрана конфігурація ПЛК забезпечує необхідну кількість каналів вводу/виводу для реалізації системи автоматизованого керування буферною ємністю після пастеризатора.

Апаратне налаштування конфігурації ПЛК здійснюється в програмному забезпеченні VisiLogic компанії Unitronix. Зокрема здійснюємо створення нового проекту, в якому проводимо вибір моделі ПЛК, модуля Snap-In, та функціональних модулів розширення, після чого налаштовуємо канали вводу/виводу за їх

функціональним призначенням (зокрема з прив’язкою до технологічних параметрів).




а) б)

в) г)

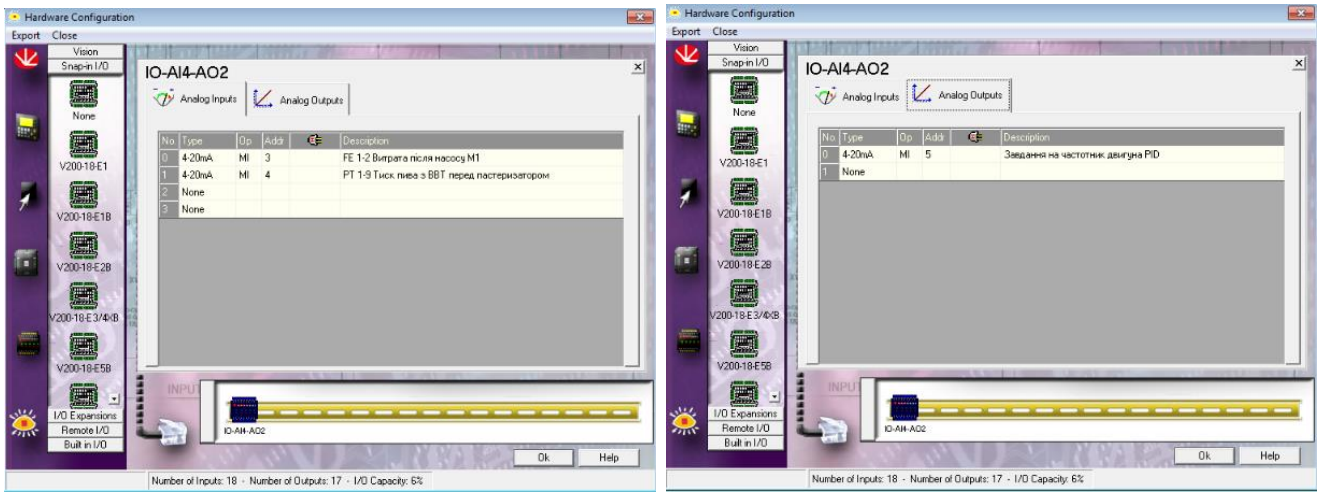
*Рисунок 3.11. Вікна конфігурації мікропроцесорного програмного засобу автоматизації серії Vision V570 в програмному забезпеченні VisiLogic:*

*а) налаштування конфігурації основних компонентів мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації;*

*б) налаштування адресації та призначення вхідних дискретних сигналів на модулі Snap-In;*

*в) налаштування адресації та призначення вихідних дискретних сигналів на модулі Snap-In;*

*г) налаштування адресації та призначення вхідних аналогових сигналів на модулі Snap-In;*




а) б)

*Рисунок 3.12. Вікна конфігурації мікропроцесорного програмного засобу автоматизації серії Vision V570 в програмному забезпеченні VisiLogic:*

*а) налаштування адресації та призначення вхідних аналогових сигналів на модулі IO-AI4-AO2;*

*б) налаштування адресації та призначення вхідних дискретних сигналів на модулі IO-AI4-AO2.*

### 3.3 Засоби людино-машинного інтерфейсу системи автоматизації

Як вже зазначалось в описі технічних характеристик ПЛК, контролери серії Vision окрім апаратної частини мікропроцесорного регулятора міститься також вбудовану панель людино-машинного інтерфейсу (Humane Machine Interface (HMI)). Зокрема ПЛК Vision V570 оснащений 5,7-дюймовим кольоровим сенсорним екраном типу TFT LCD із роздільною здатністю QVGA (320x240 пікселів), підтримкою 65 536 кольорі. Це дозволяє відображати деталізовані графічні інтерфейси, включаючи схеми, графіки, діаграми та текстову інформацію.

Екран HMI доступний у двох варіантах дизайну: із сріблястою рамкою або плоскою чорною поверхнею, що полегшує очищення, що є важливим для гігієнічних застосувань. Сенсорний екран резистивного типу забезпечує інтуїтивну взаємодію з оператором через дотики. Це дозволяє швидко вводити команди, змінювати налаштування та переглядати дані.

HMI підтримує до 1024 дисплеїв, розроблених користувачем, що забезпечує гнучкість у створенні інтерфейсів для різних потреб. На яких можна відображати в реальному часі ключові параметри технологічного процесу, у вигляді числових значень, графіків, трендів або індикаторів.

Створення та налаштування HMI відбувається через програмне забезпечення VisiLogic. Воно має інтуїтивний інтерфейс, що дозволяє легко розробляти екрани, додавати функціональні блоки (наприклад, для керування клапанами чи насосами) та налаштовувати логіку роботи. VisiLogic підтримує створення складних формул, таблиць даних, трендів, обробку аварій і журналювання подій, що забезпечує повну інтеграцію HMI з ПЛК.

Програмне забезпечення VisiLogic має вбудовані блоки для відображення трендів, архівації даних на SD-карту, надсилання SMS чи email-повідомлень про аварійні ситуації, що підвищує оперативність реагування. Також VisiLogic має підтримку багатомовних інтерфейсів, що полегшує використання в різних регіонах світу.

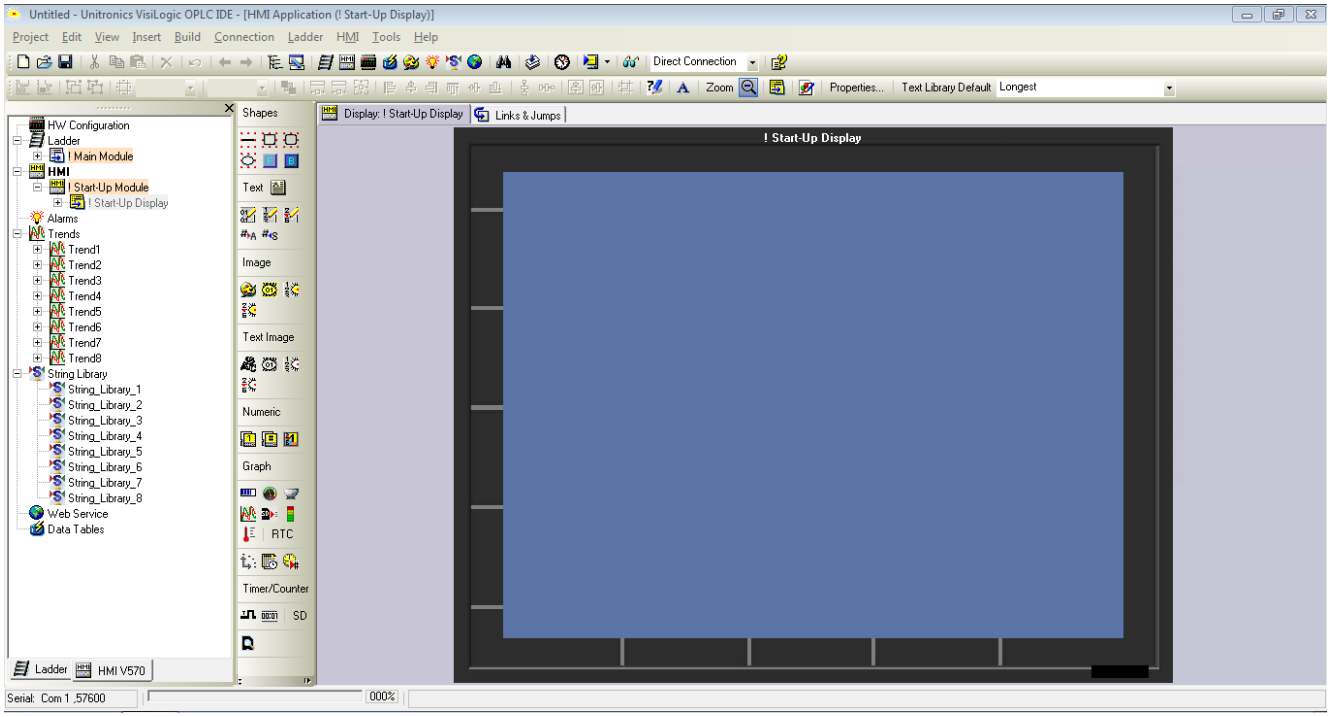



*Рисунок 3.13. Загальний вигляд вікна конфігурації людино-машинного інтерфейсу в програмному забезпеченні VisiLogic.*

Для побудови графічного зображення HMI-інтерфейсу застосовуються інструпентацій, меню яких представлено на рисунку 3.14.

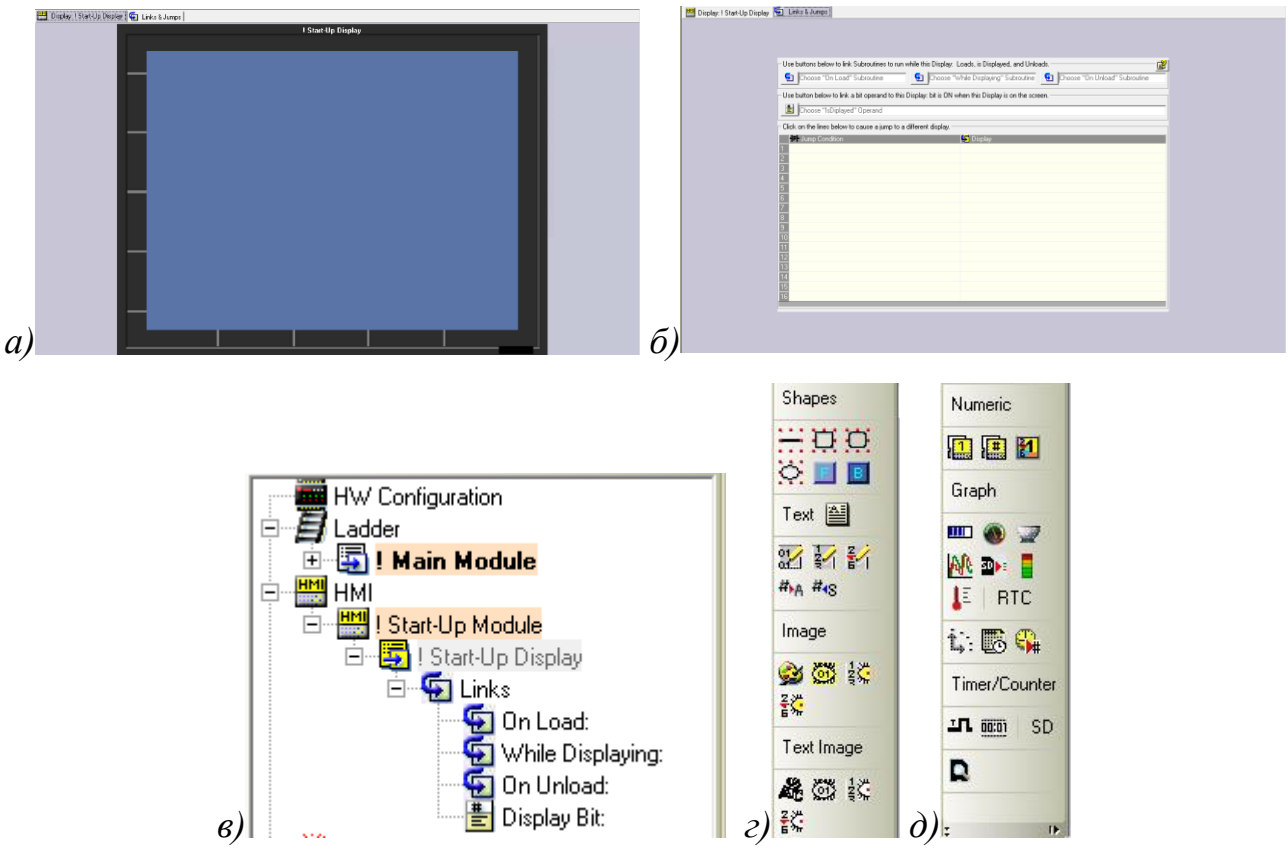



*Рисунок 3.14. Вікна конфігурації та розробки людино-машинного інтерфейсу в програмному забезпеченні VisiLogic:*

*а) вікно розробки графічного зображення HMI;*

*б) вікно налаштувань переходів між дисплеями системи керування;*

*в) вікно додавання дисплеїв HMI в дереві проекту;*

*г), д) графічні панелі інструментарію для розробки HMI.*

Налаштування об’єкту типу «Дисплей»:

- Background Picture – Зображення, що буде відображатись на тлі екрану;
- Name – Ім’я дисплею;
- Background Color – колір тла.

Налаштування об’єкту типу «Зображення»:

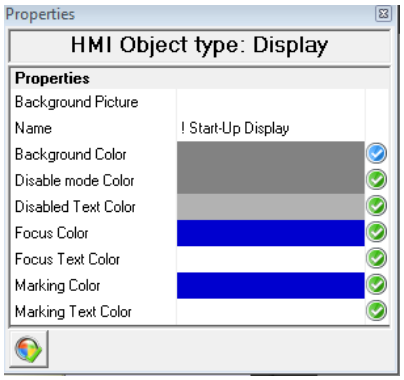
- Left, Top – означають координати положення зображення на полотні екрану, значення в пікселях, де 0, 0 – лівий верхній кут;
- Width, Height – ширина та висота зображення, відповідно;
- Picture – зображення що буде відображатись.

Налаштування об’єкту типу «Прямокутник»:

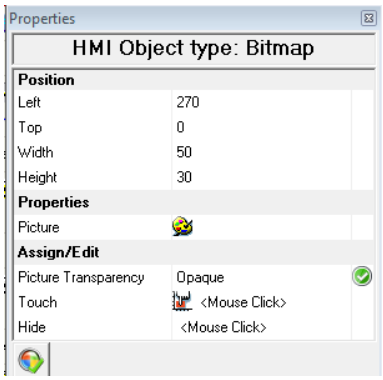
- Left, Top – означають координати положення прямокутника на полотні екрану, значення в пікселях, де 0, 0 – лівий верхній кут;
- Width, Height – ширина та висота прямокутника, відповідно;
- PenWidth – ширина рамки прямокутника, в пікселях;
- Foreground – колір рамки прямокутника.

Приклад вікон налаштувань об’єктів типу «Дисплей», «Зображення» та «Прямокутник» зображено на рисунку 3.15.

*а)*




*б)*




*в)*

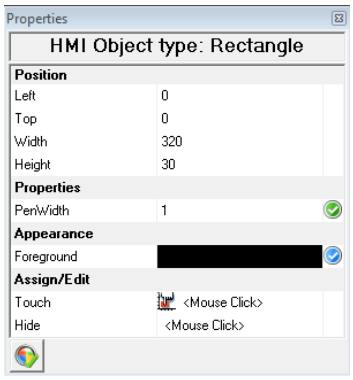



*Рисунок 3.15. Приклад налаштувань об’єктів типу:*
*а) «Дисплей»; б) «Зображення»; в) «Прямокутник».*

Налаштування об’єкту типу «Текст»:

- Left, Top – означають координати положення тексту на полотні екрану, значення в пікселях, де 0, 0 – лівий верхній кут;
- Width, Height – ширина та висота тексту, відповідно;
- Text – текст що буде відображатись;
- Alignment – положення тексту в вікні;
- Font – шрифт, який буде застосовано до цього тексту;
- Background – тло вікна тексту;
- Foreground – колір тексту.

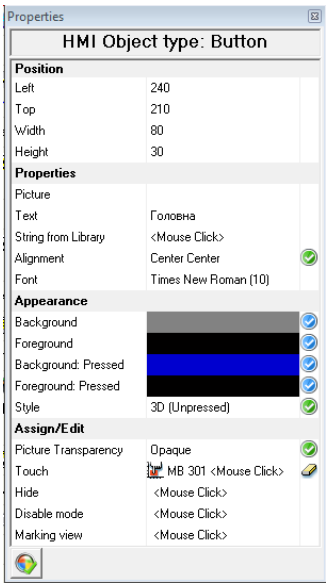
Налаштування об’єкту типу «Кнопка»:

- Left, Top – означають координати положення кнопки на полотні екрану, значення в пікселях, де 0, 0 – лівий верхній кут;
- Width, Height – ширина та висота кнопки, відповідно;
- Picture – зображення, що буде відображатись на кнопці;
- Text – текст, що буде відображатись на кнопці;

- Alignment – положення тексту на кнопці;
- Font – шрифт, який буде застосовано до тексту;
- Background – колір тла кнопки, коли вона не нажата;
- Foreground – колір тексту, коли кнопка не нажата;
- Background Pressed – колір тла, коли кнопка нажата;
- Foreground Pressed – колір тексту, коли кнопка нажата;
- Style – стиль кнопки (увігнута, опукла);
- Touch – змінна типу біт, що змінить своє значення з 0 на 1, на час поки нажата кнопка;
- Hide – змінна типу біт, значення якої якщо дорівнює 1, то кнопка буде прихована на екрані;
- Disable mode – Змінна типу біт, значення якої якщо дорівнює 1, то кнопка буде показуватись на екрані, але буде не функціональною.

Приклад налаштувань об’єктів типу «Текст» та «Кнопка» зображено на рисунку 3.16.

*а)*




*б)*

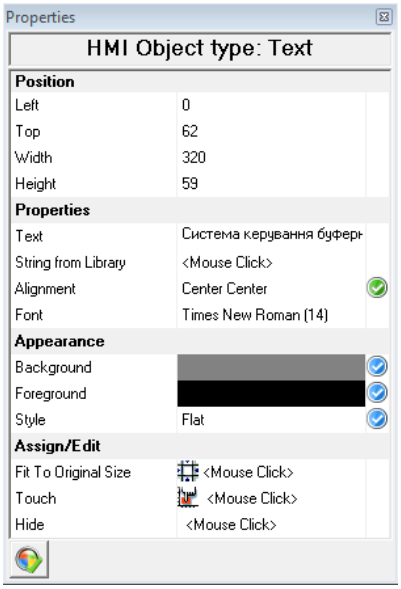



*Рисунок 3.16. Приклад налаштувань об’єктів типу: а) «Кнопка»; б) «Текст».*

Налаштування об’єкту типу «Діапазон тексту»:

- Таблиця з полями:

  1) From – перше значення діапазону числа змінної;

  2) To – останнє значення діапазону числа змінної;

3) Text – текст, що буде відображатись якщо число в змінній відповідає діапазону;

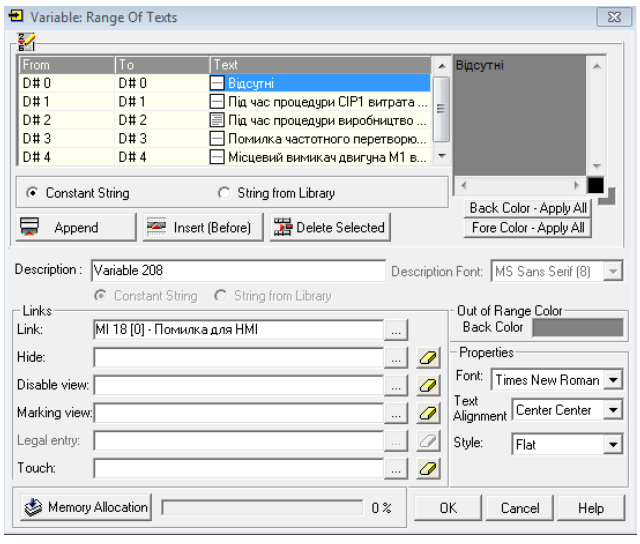
- Link – змінна, відповідно числа якої буде виводитись текст;
- Font – шрифт, який буде застосовано до тексту;
- Text Alignment – положення тексту в вікні об’єкта «Діапазон тексту»;
- Style – стиль вікна об’єкта «Діапазон тексту» (плоский, увігнутий, опуклий).

Налаштування об’єкту типу «Бінарне зображення»:

- Поля «0» та «1» – зображення що буде відображатись в залежності від значення прив’язаної до цього об’єкту бітової змінної, відповідно її значень «0» та «1»;
- Browse – вибір зображення що буде відображатись;
- Символ «X» – видалення вибраного зображення;
- Toggle – увімкнення/вимкнення режиму перемикача;
- Link – бітова змінна, значення якої буде мінятись в залежності від натискання на об’єкт бінарного зображення, та відповідно значення якої буде виводитись відповідне зображення.

Приклад налаштувань об’єктів типу «Діапазон тексту» та «Бінарне зображення» зображено на рисунку 3.17.

*а)*




*б)*

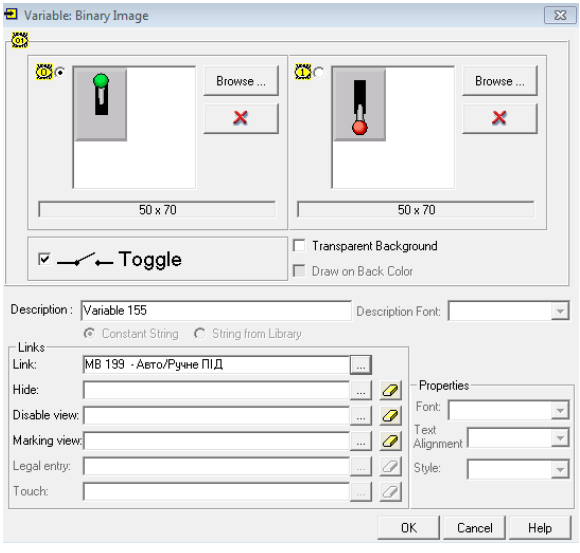



*Рисунок 3.17. Приклад налаштувань об’єктів типу:*

*а) «Діапазон тексту»; б) «Бінарне зображення».*

Налаштування об’єкту типу «Бінарний текст»:

- Text for OFF, Text for ON – текст, його колір та колір фону, що буде відображатись відповідно значення прив’язаної бітової змінної;
- Toggle – увімкнення/вимкнення режиму перемикача;
- Link – бітова змінна, значення якої буде мінятись в залежності від натискання на об’єкт бінарного тексту, та відповідно значення якої буде відображено певний текст;
- Font – шрифт, який буде застосовано до тексту;
- Text Alignment – положення тексту в вікні об’єкта «Бінарний текст»;
- Style – стиль вікна об’єкту (плоский, увігнутий, опуклий).

Налаштування об’єкту типу «Числова змінна»:

- Keypad Entry – увімкнення/вимкнення можливості відображення клавіатури, при натисканні на об’єкт та завдяки цьому міняти значення змінної;
- Start with clear field – увімкнення/вимкнення порожнього поля вводу при відкритті клавіатури, якщо вимкнено, то при відкритті клавіатури в полі вводу буде початково відображено актуальне значення змінної;
- Min, Max – мінімальне та максимальне значення діапазону який можна задати змінній з клавіатури;
- Up/Down Arrows – увімкнення відображення стрілок «вверх» та «вниз» на клавіатурі;
- Increment – значення, на скільки одиниць буде збільшуватись, або зменшуватись змінна при натисканні стрілок на клавіатурі;
- BaseFormat – формат відображення змінної (десятковий, двійковий, вісімковий) і кількість символів цілої та дробової частин;
- Leading – заповнення значення перед цілою частиною (нулями, пробілами, не заповняти);
- Text Color – колір тексту змінної;
- Keyboard Type – вибір шаблону клавіатури;

- Link – числова змінна, значення якої буде відображено, та в яку будуть вноситись зміни.

Приклад налаштувань об’єктів типу «Бінарний текст» та «Числова змінна» зображено на рисунку 3.18.

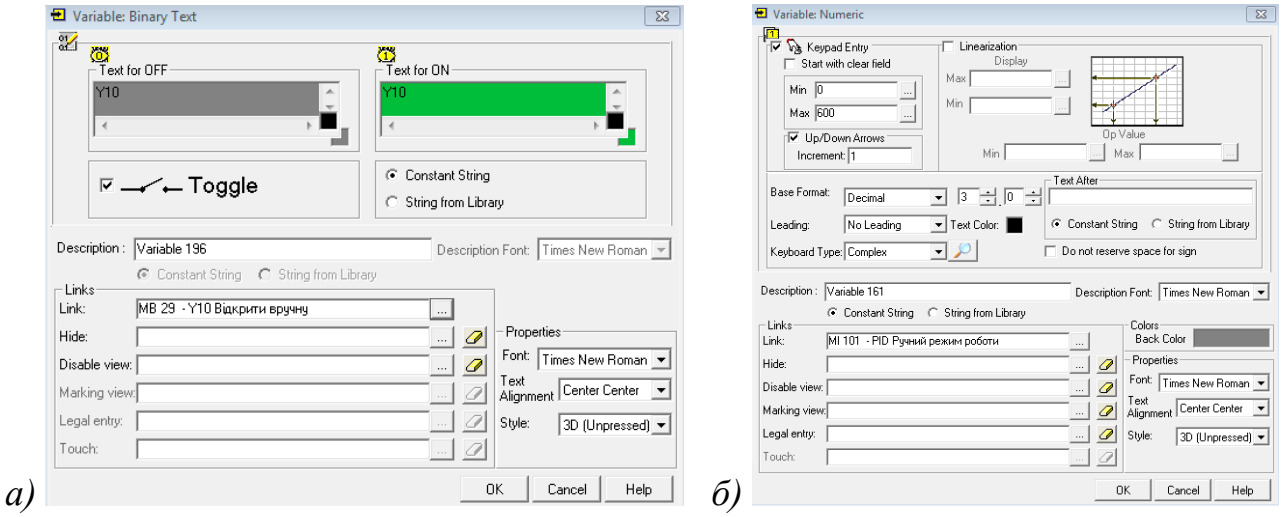



*Рисунок 3.18. Приклад налаштувань об’єктів типу:*

*а) «Бінарний текст»; б) «Числова змінна».*

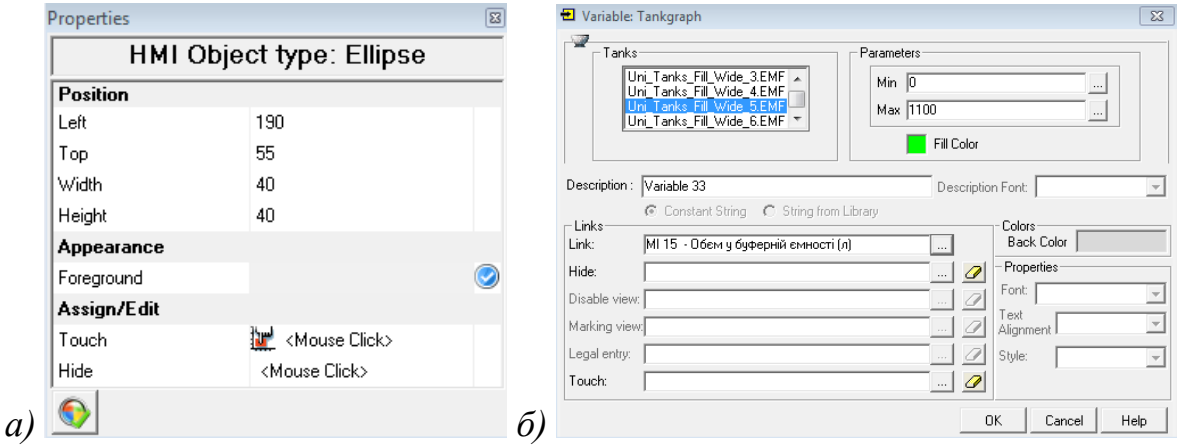
Основні налаштування об’єкту типу «Еліпс»:

- Left, Top – означають координати положення еліпса на полотні екрану, значення в пікселях, де 0, 0 – лівий верхній кут;
- Width, Height – ширина та висота еліпса, відповідно;
- PenWidth – ширина рамки еліпса, в пікселях;
- Foreground – колір рамки еліпса.

Основні налаштування об’єкту типу «Графік ємності»:

- Tanks – вибір шаблону зображення ємності;
- Min, Max – відповідно мінімальне та максимальне значення діапазону прив’язаної числової змінної, відповідно якого буде заповнюватись шкала ємності, де Min – порожня, Max – заповнена.
- Fill Color – колір яким буде заповнюватись шкала ємності;
- Link – прив’язана змінна, відповідно значень якої буде відображатись шкала заповнення ємності.

Приклад налаштувань об’єктів типу «Еліпс» та «Графік ємності» зображено на рисунку 3.19.




*а)* *б)*

*Рисунок 3.19. Приклад налаштувань об’єктів типу:*

*а) «Еліпс»; б) «Графік ємності».*

Налаштування об’єкту типу «Часова змінна».

- Type – вибір типу відображення таймера, де:

  1) Current – поточний час (змінюється, якщо таймер запущено);

  2) Preset – встановлений час (завжди відображає заданий час);

- Format – формат відображення часу за шаблонами;
- Keypad Entry – увімкнення/вимкнення можливості відображення клавіатури, при натисканні на об’єкт для зміни значення змінної;
- Keyboard Type – вибір шаблону вигляду клавіатури;
- Text Color – колір тексту часу;
- Link – часова змінна, значення якої буде відображено, та в яку будуть вноситись зміни.

Приклад налаштування об’єкту типу «Часова змінна» зображено на рисунку 3.14.

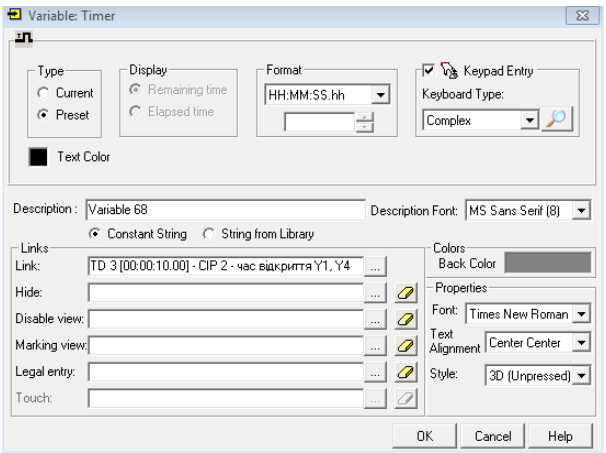



*Рисунок 3.20. Приклад налаштування об’єкту типу «Часова змінна».*

## 3.4 Специфікація технічних засобів автоматизації

*Таблиця 3.1*

Специфікація технічних засобів автоматизації

| № п/п | № позиції | Назва параметра | Місце встановлення | Назва засобу та коротка технічна характеристика | Тип | К-ть |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1-1<br>1-5<br>1-6<br>1-9 | Тиск | По місцю | Вимірювальний перетворювач тиску<br>Діапазон: 0–6 бар;<br>Вихідний сигнал: 4–20 мА;<br>Точність вимірювання: 0.5%. | Endress+Hauser Cerabar T PMP131-A1B01A1R | 4 |
| 2 | 1-2 | Витрата | По місцю | Електромагнітний витратомір<br>Діапазон 0-600м$^3$/год;<br>Вихідний сигнал: 4–20 мА;<br>Точність вимірювання 0.2%. | Endress+Hauser Promag 53H65-2N12/0 | 1 |
| 3 | 1-3<br>1-4 | | По місцю | Давач граничного рівня<br>Вихід: дискретний, 24 В DC. | Endress+Hauser Liquiphant FTL31-AA4U3BAWSJ | 2 |
| 4 | 1-7 | | В щиті | Перетворювач частоти<br>Напруга живлення: 380 В;<br>Потужність:7.5кВт. | Danfoss VLT 2875PT4B20STR 1DBF10 | 1 |
| 5 | Y1-Y12 | | В щиті | Електромагнітний клапан<br>Напруга керування: 24 В; | Festo CPE14-M1CH-5L-1/8 | 12 |
| 6 | | | В щиті | Модуль блоку живлення;<br>Напруга живлення: 230 В;<br>Вихідна напруга: 24 В. | Phoenix Contact QUINT-PS/1AC/24DC/5 | 1 |
| 7 | | | В щиті | Модуль центрального процесора<br>Напруга живлення: 24 В. | Unitronics Vision V570 | 1 |
| 8 | | | В щиті | Модуль Snap-In<br>Напруга живлення: 24 В. | Unitronics V200-18-E5B | 1 |
| 9 | | | В щиті | Інтерфейсний модуль<br>Напруга живлення: 24 В. | Unitronics EX-A2X | 1 |
| 10 | | | В щиті | Модуль аналогових вхідних та вихідних сигналів<br>Напруга живлення: 24 В. | Unitronics IO-AI4-AO2 | 1 |

**Висновки:**

У третьому розділі було проведено вибір технічних засобів автоматизації системи керування процесами у буферній ємності пастеризатора. Зокрема вибрано первинні вимірювальні перетворювачі, виконавчі пристрої та мікропроцесорний програмований логічний контролер серії V570 виробництва компанії UNITRONICS. Загальний перелік засобів автоматизації зведено в специфікацію, яку представлено в таблиці 3.1.

Окрім цього виконано опис характеристик графічного інструментарію для розробки людино-машинного інтерфейсу системи керування.

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

Функціональна схема автоматизації процесу буферної ємності після пастеризатора, розширений вигляд якої наведено на графічному плакаті №1, передбачає реалізацію таких функціональних елементів:

Для вимірювання тиску пива, на виході насосу подачі пива на розливну машину, застосовується первинний вимірювальний перетворювач тиску (поз. 1-1). Його аналоговий сигнал поступає на аналоговий вхід мікропроцесорного засобу автоматизації Vision V570 (ПЛК), який згідно з програмою функціонування підлягає лінеаризації. Лінеаризоване значення відображається я на засобі людино-машинного інтерфейсу, та використовується як параметр процесу (PV — Process Value) у контурі ПІД-регулювання. Регулююча дія, сформована ПІД-регулятором, подається через аналоговий вихід ПЛК на перетворювач частоти (ПЧ) (поз. 1-7), який керує електроприводом насосу подачі пива на розливну машину.

Окрім того на цей перетворювач частоти також поступає дискретний сигнал з виходу ПЛК, який згідно програми функціонування дозволяє запуск електроприводу. У свою чергу з перетворювача частоти на дискретний вхід ПЛК надходить сигнал про наявність помилки, а також дискретний сигнал про стан місцевого (сервісного) вимикача електроприводу. Відповідно цих сигналів на HMI відображається стан перетворювача частоти, та виводяться помилки по наявності помилок на ПЧ та стан місцевого вимикача.

Також на HMI реалізовано можливість завдання необхідного значення тиску на виході насосу (Set Point, або SP), для ПІД-регулятора, можливість зміни коефіцієнтів ПІД-регулятора, реєстрація значень SP і PV і можливість увімкнення електроприводу в ручному режимі.

Для перевірки наявності мінімального рівня в буферній ємності використано сигналізатор рівня (поз. 1-3), сигнал з якого поступає на дискретний вхід ПЛК, та відображається на засобі людино-машинного інтерфейсу. Залежно від обраної процедури функціонування, у разі спрацювання сигналізатора (тобто при зниженні

рівня нижче допустимого мінімуму), згідно з програмою, здійснюється автоматична зупинка електроприводу насосу подачі пива на розливну машину.

Для вимірювання витрати на виході насосу подачі пива на розливну машину, використовується первинний вимірювальний перетворювач витрати (поз. 1-2). Його сигнал поступає на аналоговий вхід ПЛК, відповідно до програми функціонування здійснюється лінеаризація, після чого значення відображається та реєструється на засобі людино-машинного інтерфейсу. Також згідно з програмою, в залежності від вибраної процедури, при зменшенні витрати нижче необхідної в певних процедурах відбувається формування помилки, та автоматична зупинка насосу подачі пива на розливну машину.

Для контролю тиску у верхній частині буферної ємності застосовується первинний вимірювальний перетворювач тиску (поз. 1-5). Його сигнал поступає на аналоговий вхід ПЛК, де відповідно до програми функціонування здійснюється лінеаризація. Отримане лінеаризоване значення виводиться на інтерфейс людино-машинної взаємодії та реєструється. Згідно з програмною, відповідно до вибраної процедури функціонування відбувається регулювання цього тиску за допомогою відкриття, або закриття клапанів Y7, Y8, Y9, Y10, Y11. Крім того, у певних процедурах на HMI передбачена можливість встановлення необхідного значення тиску оператором.

Для вимірювання тиску в нижній частині буферної ємності використано первинний вимірювальний перетворювач тиску (поз. 1-6). Його аналоговий сигнал надходить на ПЛК, де відповідно до алгоритму роботи здійснюється лінеаризація. Отримане лінеаризоване значення виводиться на HMI та реєструється. Далі, на основі значень тиску з перетворювачів (поз. 1-5) (верх буферної ємності) та (поз. 1-6) (низ ємності), згідно з програмою функціонування, мікропроцесорний засіб автоматизації розраховує об’єм пива в ємності. Це значення також відображається на HMI та підлягає реєстрації.

Для контролю досягнення максимального рівня в буферній ємності застосовується сигналізатор рівня (поз. 1-4). Його дискретний сигнал надходить на відповідний вхід ПЛК, де відображається на HMI. Залежно від обраної процедури

функціонування, при спрацюванні цього сигналізатора система автоматично перекриває вхідні клапани буферної ємності відповідно до запрограмованої логіки.

Згідно програми функціонування, відповідно до вибраної процедури відбувається дискретне керування електромагнітними клапанами (поз. Y1-Y12). Сигнал керування на них надходить з каналів дискретних виходів мікропроцесорного засобу автоматизації. На інтерфейсі HMI реалізовано індикацію поточного стану кожного клапана, а також передбачено можливість ручного керування ними в разі потреби.

Для вимірювання тиску на вході пастеризатора використано первинний вимірювальний перетворювач тиску (поз. 1-9), сигнал з якого поступає на канал аналогового входу ПЛК. Згідно з програмою функціонування, сигнал лінеаризується, і лінеаризоване значення виводиться та реєструється на засобі людино-машинного інтерфейсу, а також при зменшенні цього тиску нижче необхідного у відповідності до вибраної процедури відбувається закриття клапану подачі пива з пастеризатора в буферну ємність.

**Висновки:**

У четвертому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розроблено функціональну схему автоматизації технологічного процесу буферної ємності пастеризатора та виконано її детальний опис.

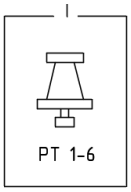
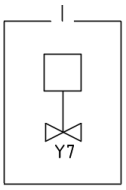
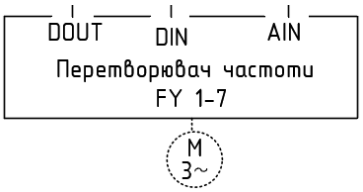
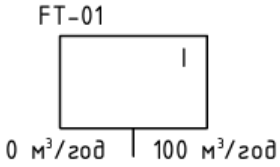
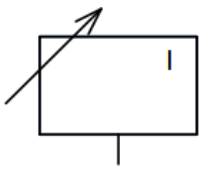
# РОЗДІЛ 5. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 5.1 Алгоритми функціонування контурів системи автоматизації

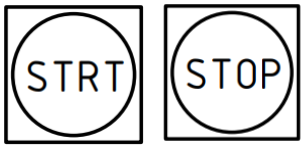
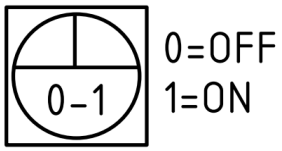
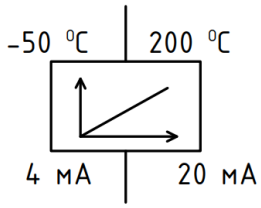
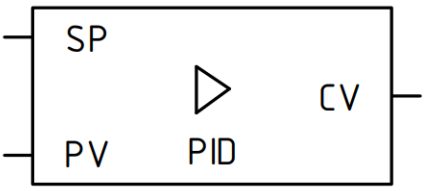
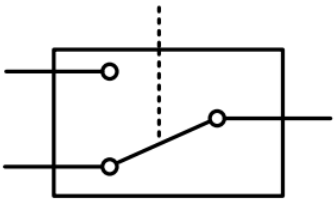
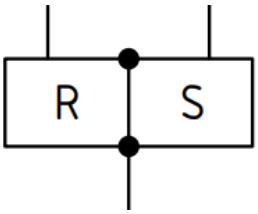
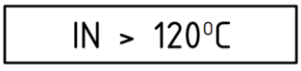
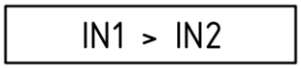
Для побудови необхідних алгоритмів функціонування контурів вимірювання, регулювання, та індикації у відповідності до функціональної схеми автоматизації буферної ємності пастеризатора, використано графічні елементи, які представлено в таблиці 5.1.

*Таблиця 5.1*

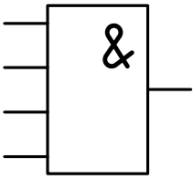
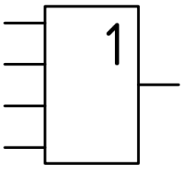
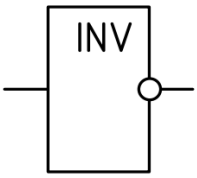
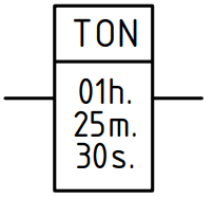
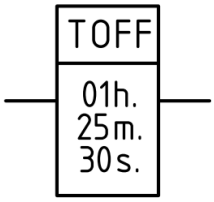
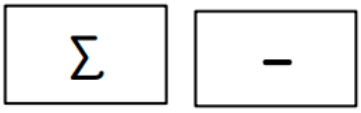
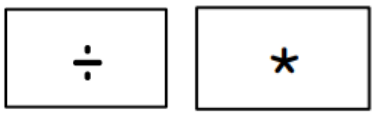
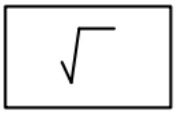
Графічні зображення функціональних елементів алгоритмів функціонування

| Графічне зображення функціонального елемента | Функціональне призначення |
|---|---|
| 1 | 2 |
|  | – Первинний вимірювальний перетворювач, пристрій збору інформації про технологічний параметр, чутливий елемент, давач; |
|  | – Виконавчий механізм з дискретним керуючим сигналом разом з регулюючим органом; |
|  | – Перетворювач частоти (частото-керований пристрій) |
|  | – Аналоговий індикатор технологічного параметру; |
|  | – Задавач аналогового сигналу; |

*Продовження таблиці 5.1*

| 1 | 2 |
|---|---|
|  | – Кнопка «стоп» (вимкнення) та «пуск» (увімкнення) відповідно; |
|  | – Перемикач на вимкнення / увімкнення; |
|  | – Лінійне перетворення (масштабування, лінеаризація) аналогового сигналу; |
|  | – Аналоговий пропорційно - інтегрально - диференційний (ПІД) регулятор; |
|  | – Селектор (перемикач) аналогових або дискретних сигналів |
|  | – Світло-звуковий індикатор аварійного стану обладнання або критичної межі технологічного параметру; |
|  | – Тригер SR (реле з запам’ятовуванням попереднього стану); |
|  <br>  | – Елементи порівняння аналогового сигналу та заданого значення, або двох аналогових сигналів на більше / менше / рівність ; |

*Продовження таблиці 5.1*

| 1 | 2 |
|---|---|
| IN > 120°C ±1°C | – Елементи порівняння аналогового сигналу та заданого значення з урахуванням значення гістерезису; |
|   | – Логічний побітовий добуток числових або дискретних значень (AND, I); |
|   | – Логічне побітове додавання числових або дискретних значень (OR, АБО); |
|   | – Логічна побітова інверсія числового або дискретного значення; |
|   | – Таймер з затримкою часу на увімкнення; |
|   | – Таймер з затримкою часу на вимкнення; |
|   | – Арифметичне сумування та віднімання числових сигналів відповідно; |
|   | – Арифметичне ділення та множення числових сигналів відповідно; |
|   | – Добування квадратного кореня з числового значення; |

Алгоритми функціонування системи автоматизованого керування

Графічне зображення алгоритму функціонування процедури №1 «Продувка вуглекислим газом» представлено на рисунку 5.1.

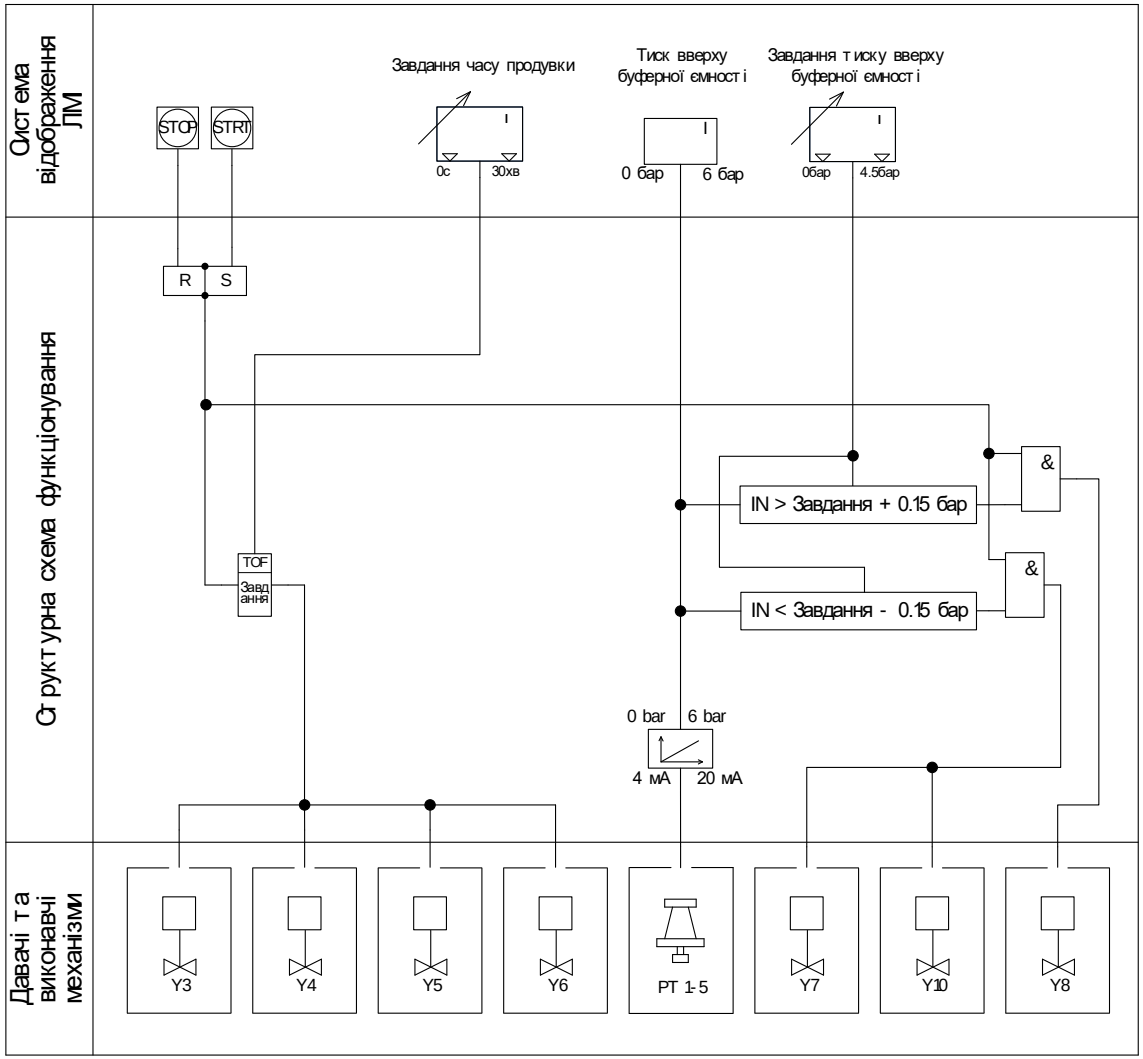



*Рисунок 5.1. Алгоритм функціонування процедури №1 «Продувка вуглекислим газом»*

Графічне зображення алгоритму функціонування процедури №2 «CIP 1» представлено на рисунку 5.2.

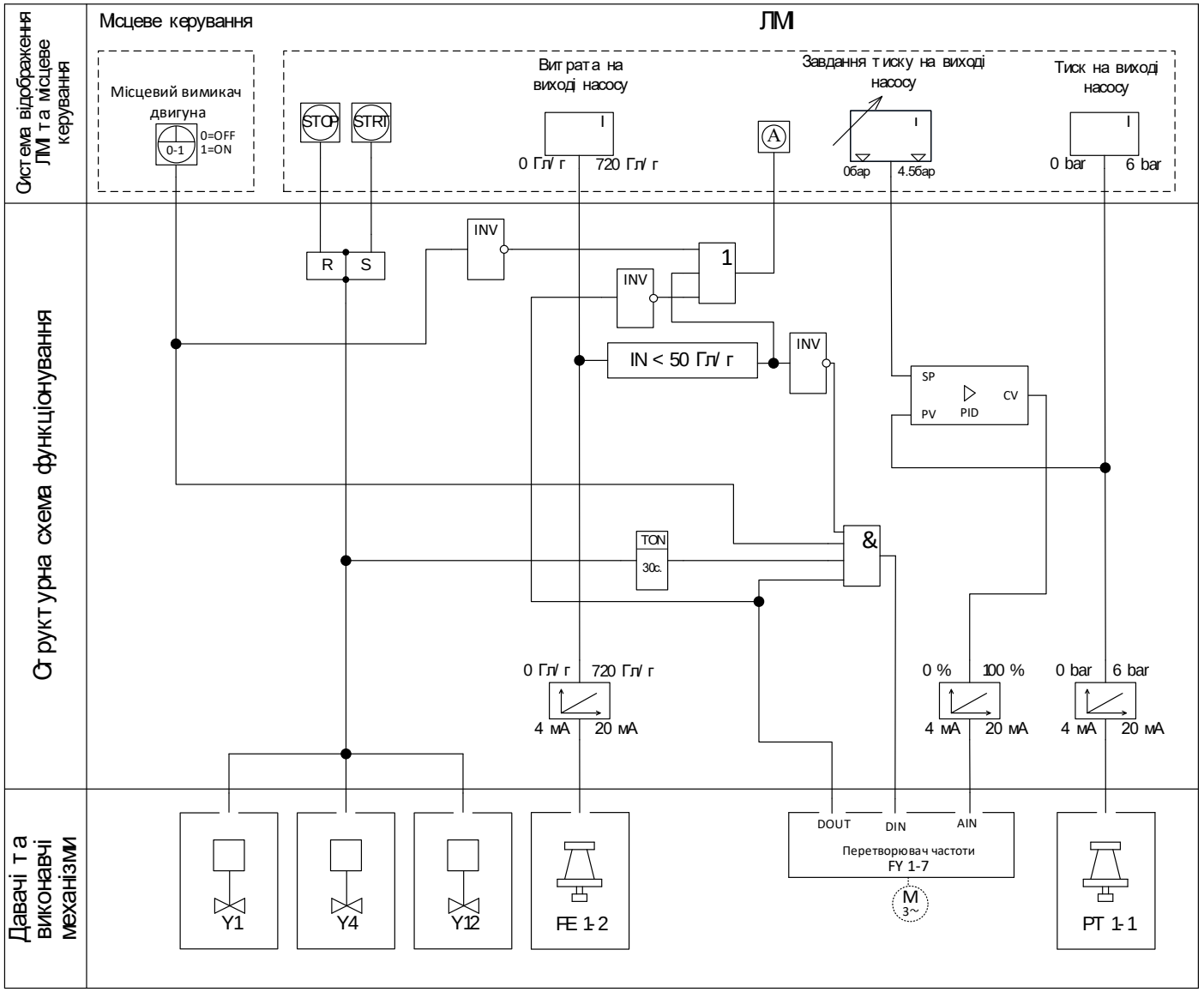



*Рисунок 5.2. Алгоритм функціонування процедури №2 «CIP 1»*

Графічне зображення алгоритму функціонування процедури №3 «CIP 2» представлено на рисунках 5.3, 5.4.

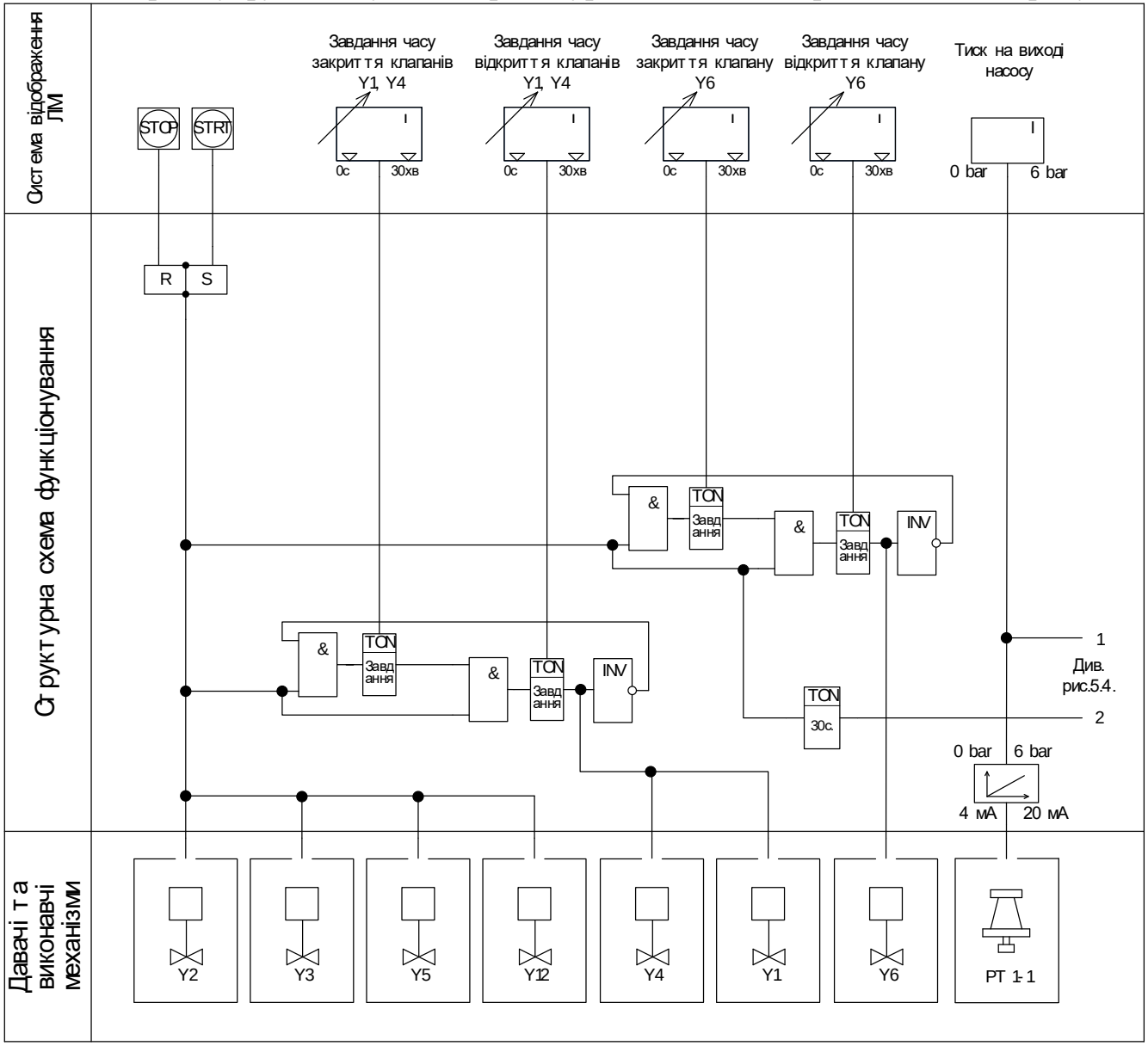



*Рисунок 5.3. Алгоритм функціонування процедури №3 «CIP 2», початок.*

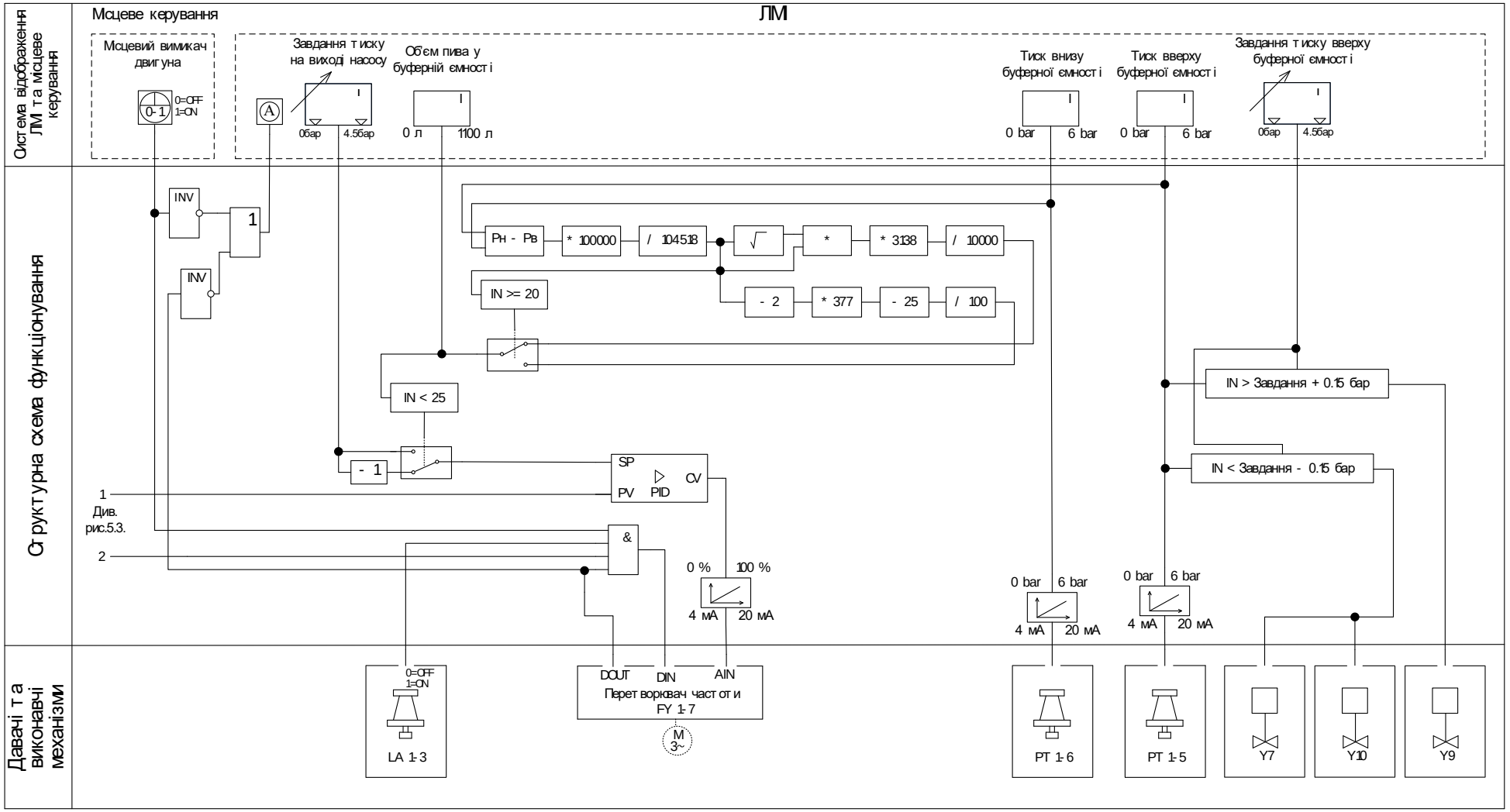



*Рисунок 5.4. Алгоритм функціонування процедури №3 «CIP 2», кінець.*

Графічне зображення алгоритму функціонування процедури №4 «CIP 3» зображено на рисунках 5.5, 5.6.

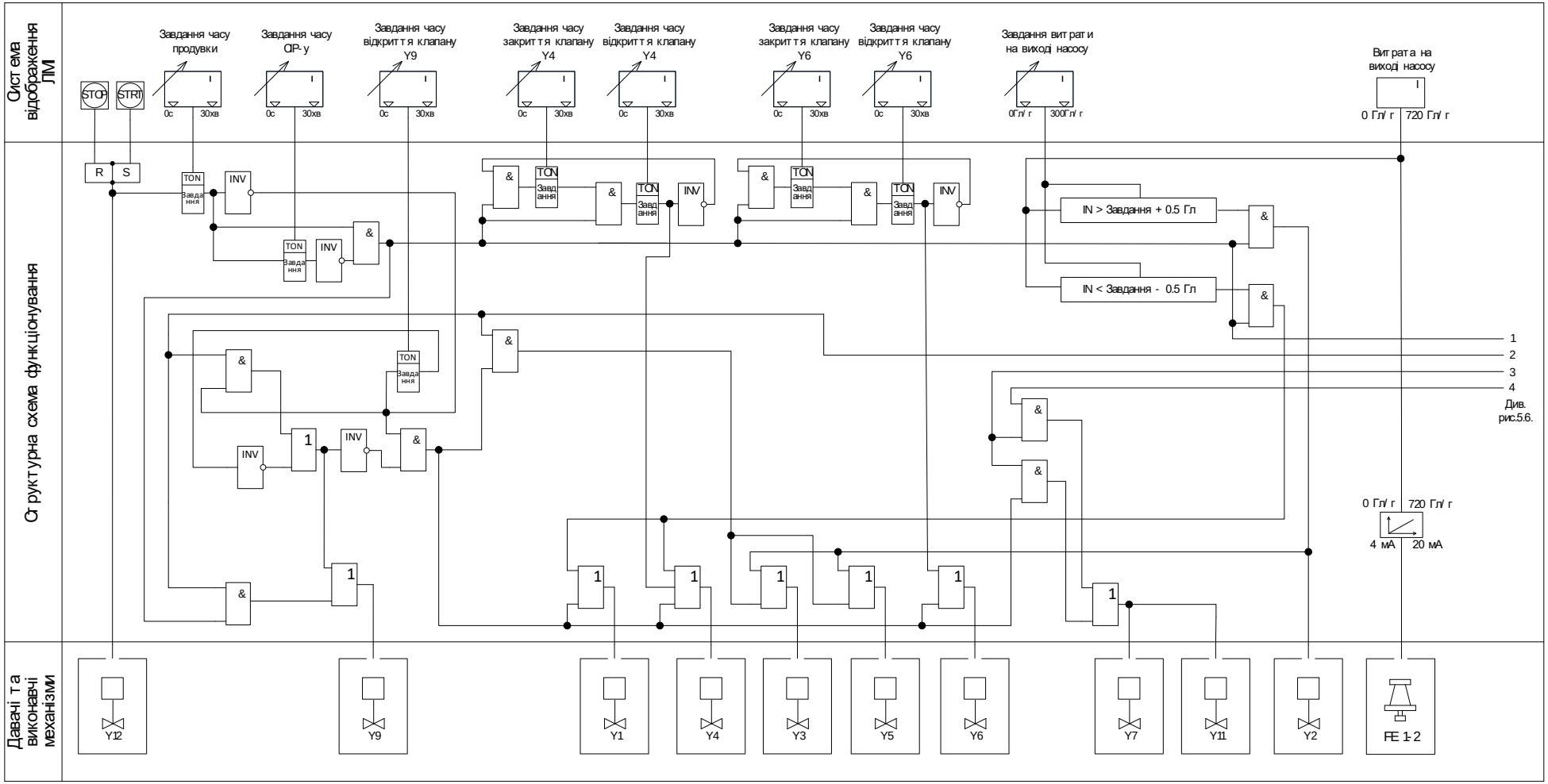



*Рисунок 5.5 Алгоритм функціонування процедури №4 «CIP 3», початок.*

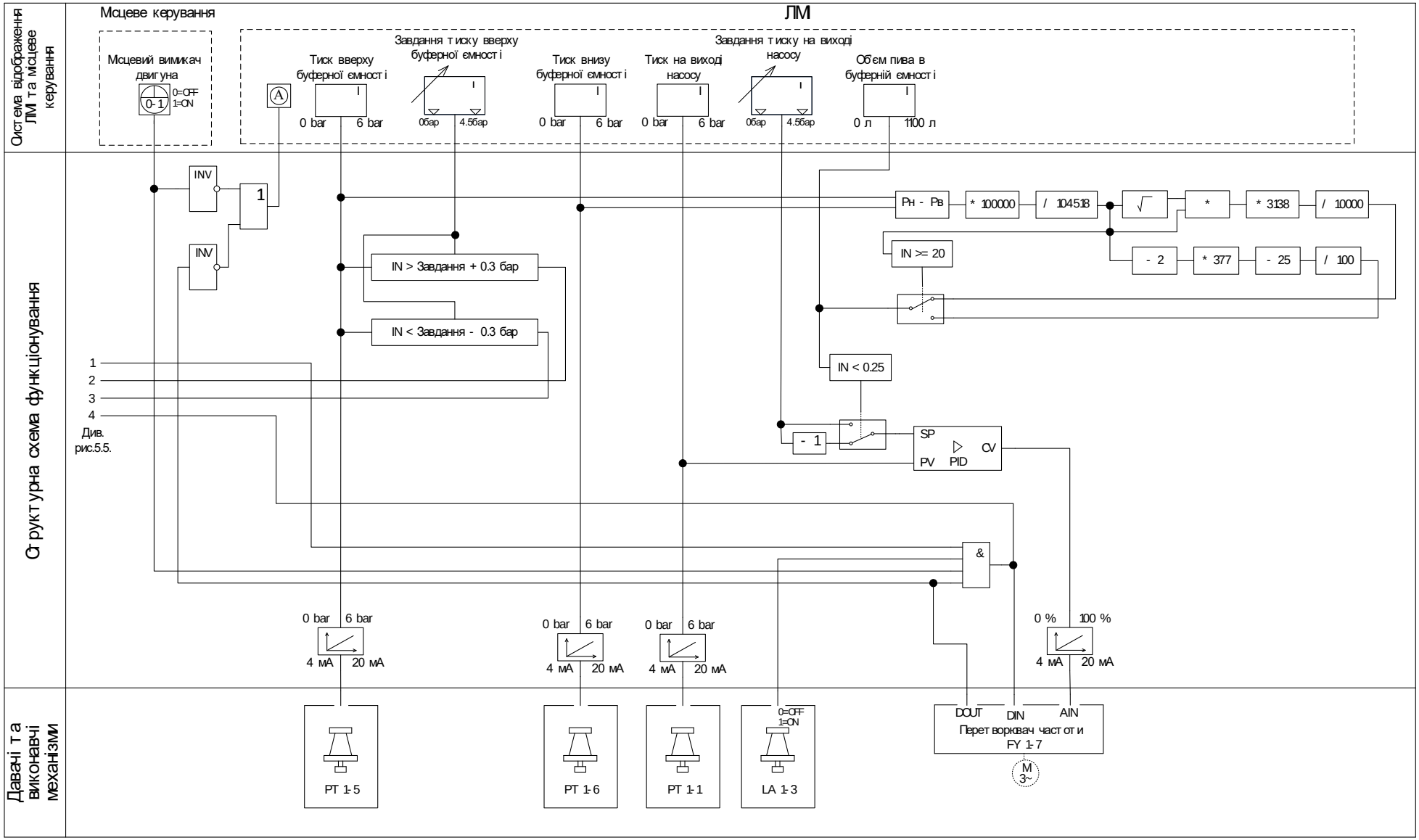



*Рисунок 5.6. Алгоритм функціонування процедури №4 «CIP 3», кінець.*

Графічне зображення алгоритму функціонування процедури №5 «Виробничий процес» зображено на рисунках 5.7, 5.8.

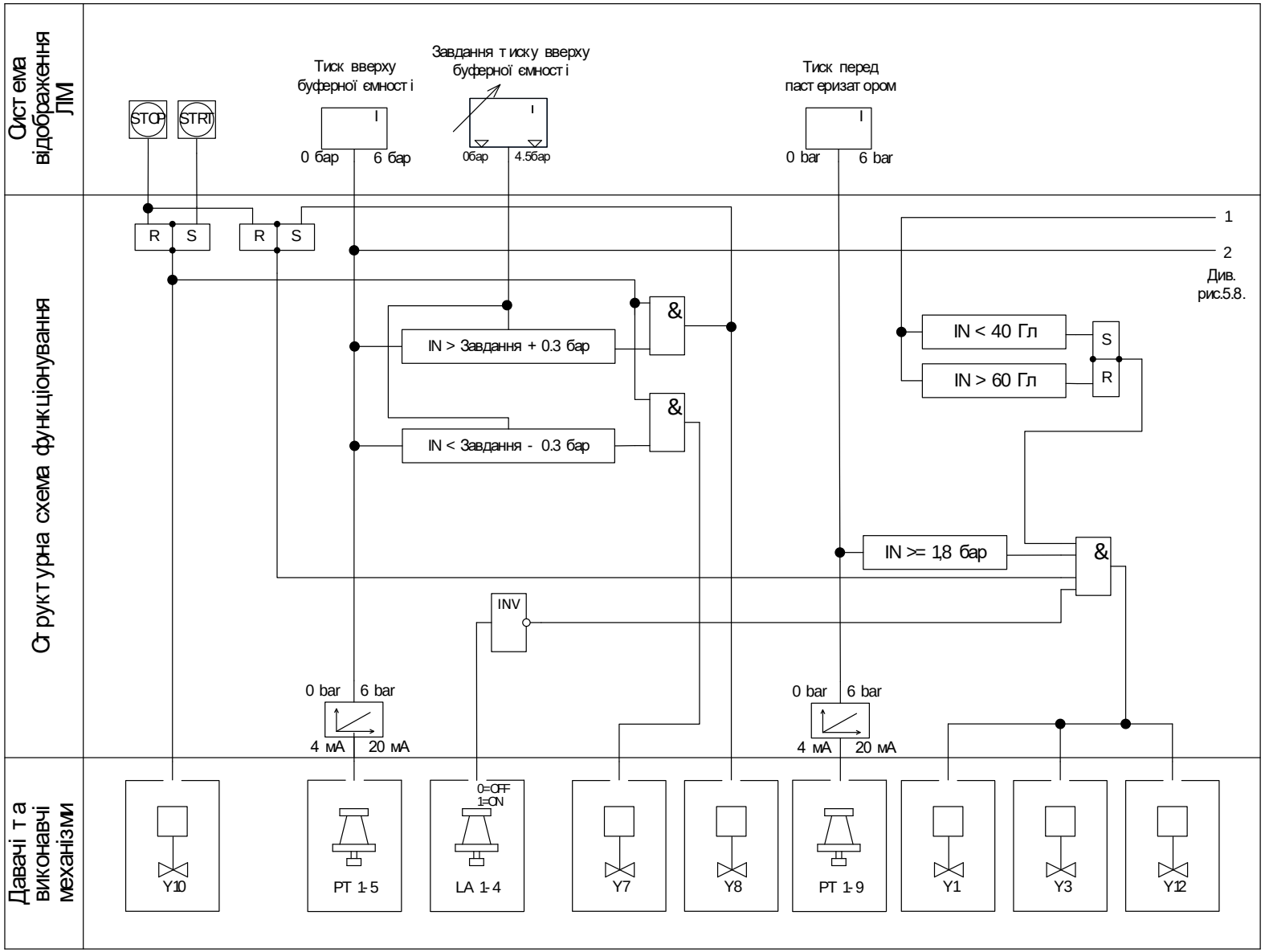



*Рисунок 5.7. Алгоритм функціонування процедури №5 «Виробничий процес», початок.*

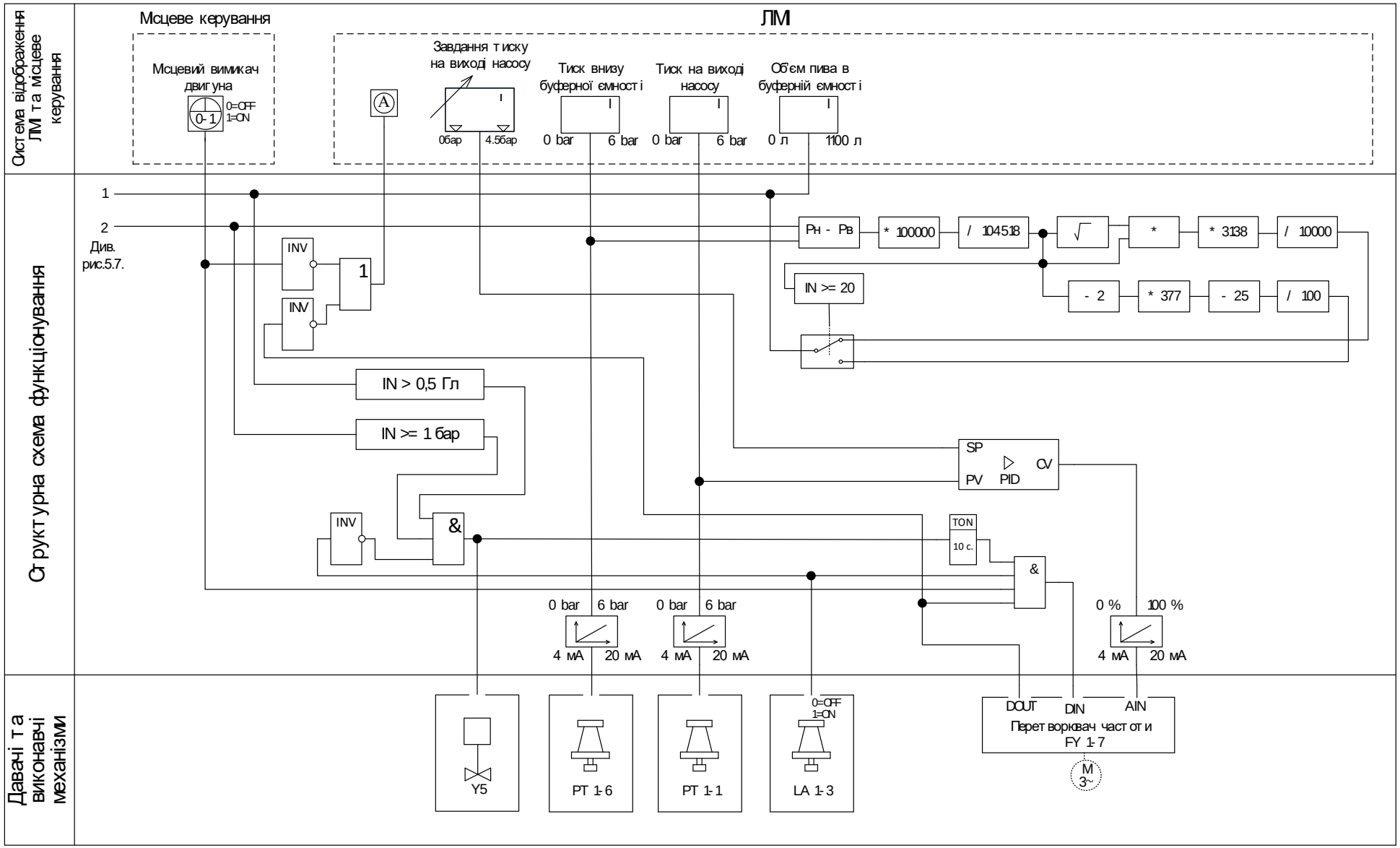



*Рисунок 5.8. Алгоритм функціонування процедури №5 «Виробничий процес», кінець.*

Графічне зображення алгоритму функціонування процедури №6 «Виробничий процес без буферної ємності» зображено на рисунку 5.9.

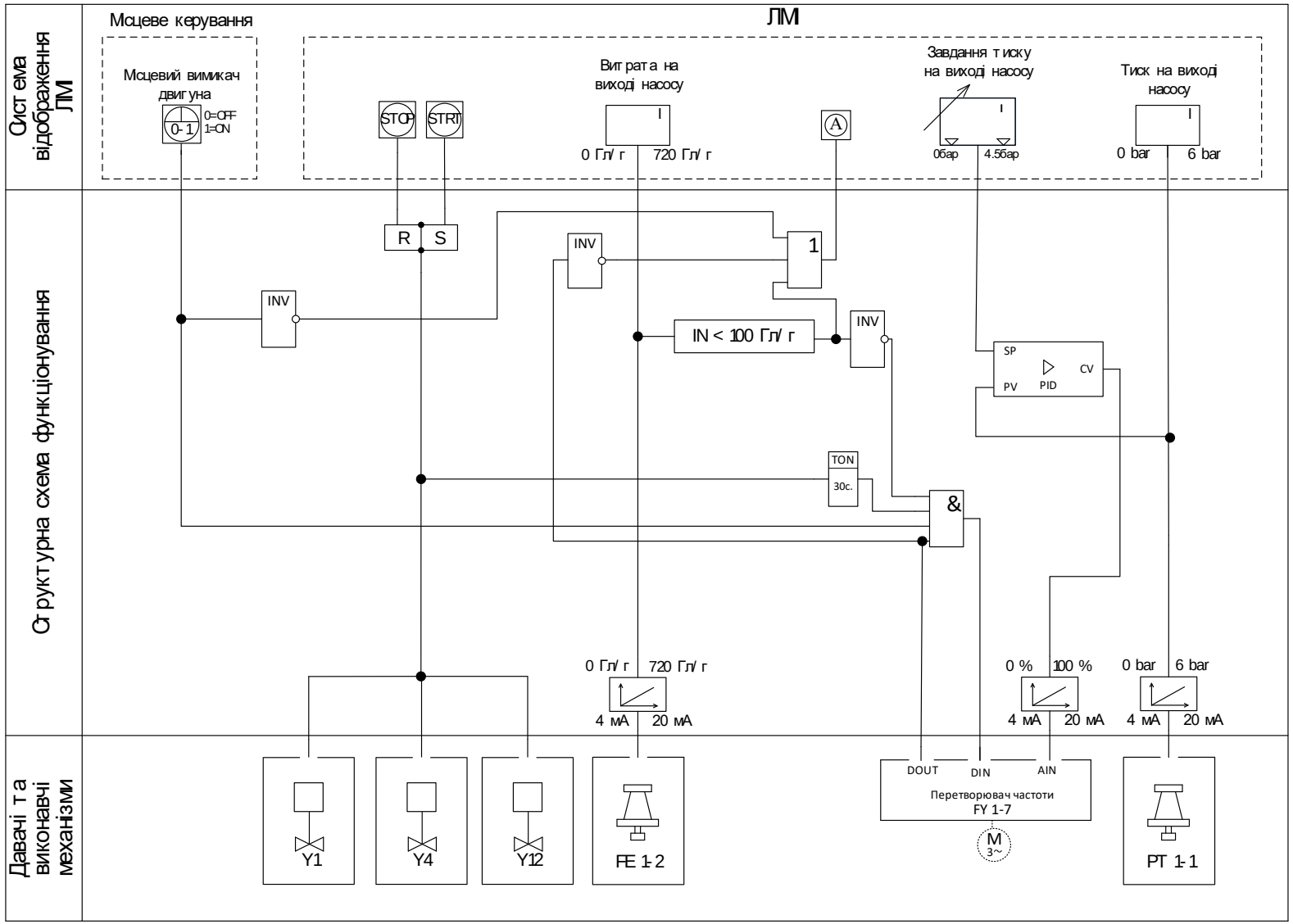



*Рисунок 5.9 Алгоритм функціонування процедури №6 «Виробничий процес без буферної ємності»*

Графічне зображення алгоритму функціонування процедури №7 «Видавлювання води» зображено на рисунку 5.10.

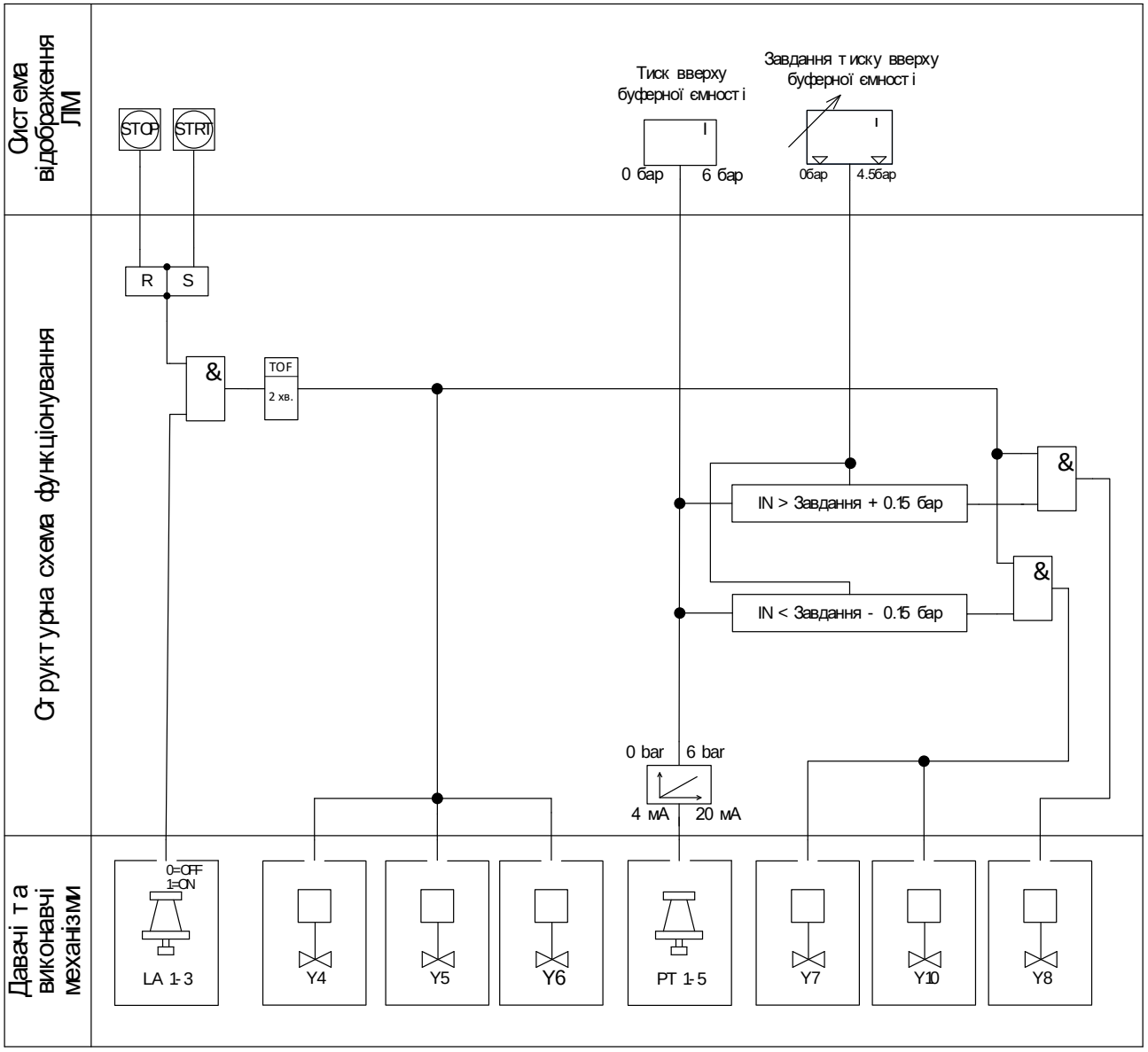



*Рисунок 5.10. Алгоритм функціонування процедури №7 «Видавлювання води»*

## 5.2 Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

Згідно розроблених алгоритмів процедур функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи керування буферною ємністю після пастеризатора, в програмному забезпеченні VisiLogic, здійснено розробку програми функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації серії Vision V570 виробництва корпорації Unitronics. Програма складається з відповідних функцій, зокрема:

1. Головного циклу «!Main Routine», в якому відбувається вибір процедури функціонування системи керування буферною ємністю після пастеризатора. Вибір відбувається за допомогою натискання на панелі оператора відповідних клавіш, дискретний сигнал з яких потрапляє на функцію «SR Flip-Flop», яка в залежності від сигналу на вході або активує сигнал на виході, або деактивує. А також передає в змінну числове значення, за допомогою якого на засобі людино-машинного інтерфейсу відображається вибрана процедура. Приклад вибору процедури функціонування наведено на рисунку 5.11.

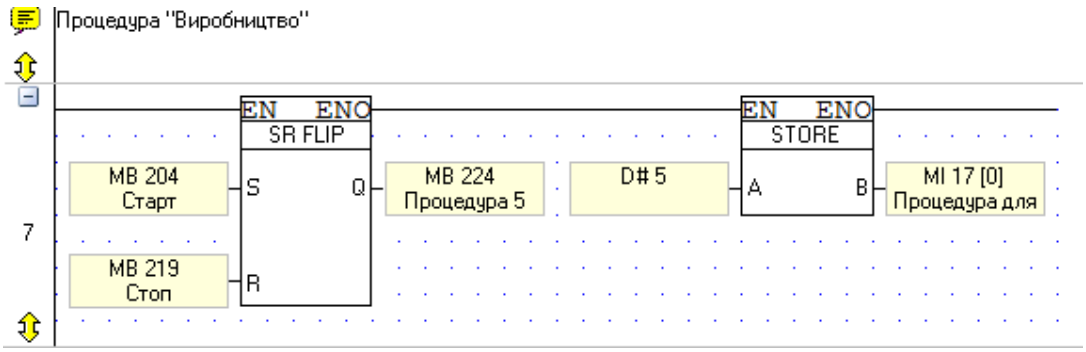



*Рисунок 5.11. Уривки програми керування, які відображають принцип вибору процедури функціонування.*

І в залежності від вибраної процедури функціонування в цьому організаційному блоці відбувається виклик функції цієї процедури, а також функцій необхідних для функціонування програми керування. Приклад виклику функції вибраної процедури та функцій необхідних для функціонування програми керування наведено на рисунку 5.12.

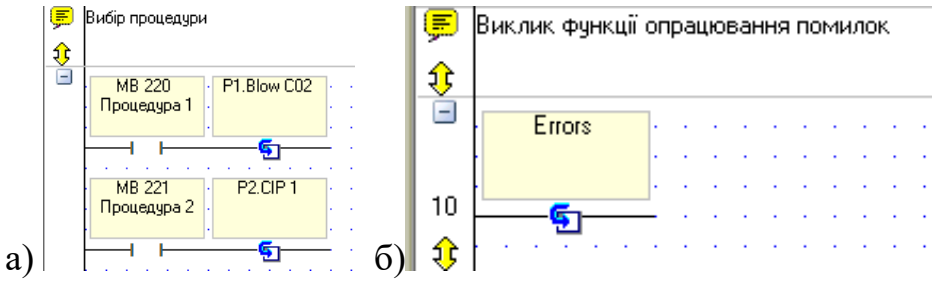



*Рисунок 5.12. Уривок програми керування:*

*а) який відображає виклик функції роботи вибраної процедури; б) який відображає виклик функцій необхідних для функціонування програми керування.*

2. Функція «Analog signal», в якій відбувається обробка вхідних аналогових сигналів, а також їх масштабування (лінеаризація).

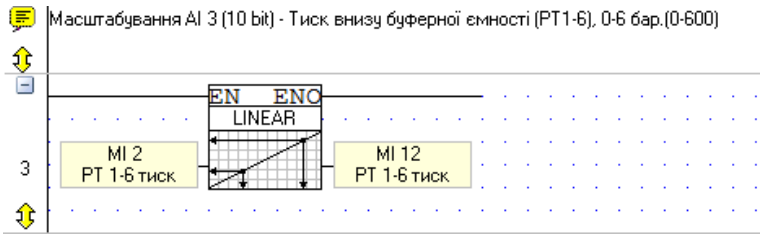



*Рисунок 5.13. Уривок програми функціонування, що відображає процедуру масштабування вхідного аналогового сигналу.*

Для масштабування вхідного аналогового сигналу використовується функція «Linear», яка з лінійною залежністю приводить вхідне значення до значення діапазону вимірювання первинного перетворювача.

| Params | Func | Operand | Address | | | Format | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IN | X1 | D# | 204 | | | DEC | Linear conversion: X1 Value |
| | Y1 | D# | 0 | | | DEC | Linear conversion: Y1 Value |
| | X2 | D# | 1023 | | | DEC | Linear conversion: X2 Value |
| | Y2 | D# | 600 | | | DEC | Linear conversion: Y2 Value |
| | X | MI | 0 | | | DEC | PT 1-1 Тиск на виході насосу M1 |
| OUT | Y | MI | 10 | | | DEC | PT 1-1 Тиск на виході насосу M1 відмасштабова |

*Рисунок 5.14. Вікно конфігурації параметрів функції масштабування «Linear»*

Як видно з рисунку 5.14 вісь X відображає числове значення вхідного аналогового сигналу від 10 бітового аналого-цифрового перетворювача, а вісь Y відображає діапазон вимірювання первинного перетворювача.

Де: X1 – початок діапазону вхідного сигналу, X2 – кінець діапазону вхідного сигналу, Y1 – початок діапазону вихідного сигналу,Y2 – кінець діапазону вихідного сигналу.

Також у цій функції відбувається розрахунок об’єму продукту у буферній ємності через непрямий метод вимірювання, який зображено на рисунку 5.15. Для цього за допомогою функції «SUB» проводимо віднімання відмасштабованих значень тисків внизу та вверху буферної ємності, і отримане значення передаємо у функцію «FORMULA», у якій є можливість задати власну формулу для розрахунку, зразок зображено на рисунку 5.16.

Після першого розрахунку за допомогою функції «Compare Less Than» проводимо порівняння отриманого значення з заданим і якщо це твердження правдиве то далі значення попередньо пораховане значення об’єму продукту у буферній ємності потрапляє у функцію «SQRT», яка видобуває квадратний корінь з числа заданого на вході і записує отримане значення в змінну задану на виході. І далі отримане значення потрапляє на функцію «Formula».

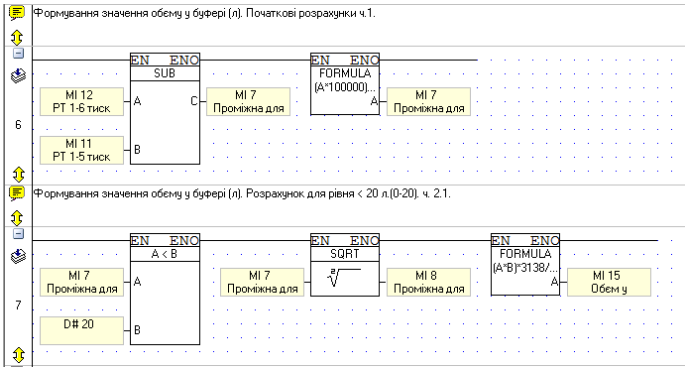



*Рисунок 5.15. Розрахунок об’єму продукту у буферній ємності через непрямий метод вимірювання.*

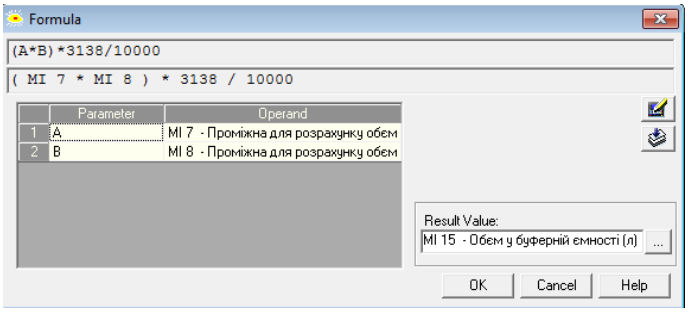



*Рисунок 5.16. Вікно конфігурації функції «FORMULA».*

3. Функція «All mechanism», в якій відбувається активація дискретних виходів програмованого засобу автоматизації, в залежності від необхідності відповідно логіки роботи програми керування, або натискання відповідної піктограми на панелі оператора, при виборі ручного режиму керування.

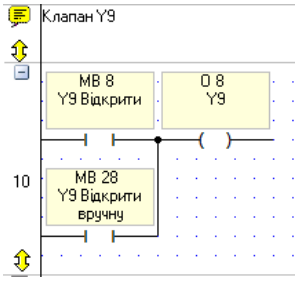



*Рисунок 5.17. Уривок програми, що відображає керування дискретним виходом програмованого засобу автоматизації.*

4. Функція «Errors», в якій відбувається формування біта відображення помилки процесу в залежності від вибраної процедури, та параметра по якому повинна сформуватися помилка. А також формується числове значення помилки, для коректного відображення повідомлення помилки на панелі оператора.

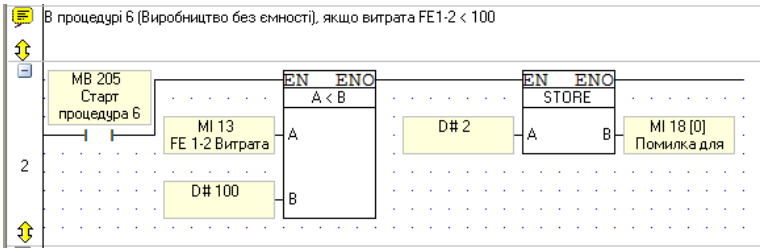



*Рисунок 5.18. Уривок програми що відповідає за формування помилки.*

5. Функція «PID», в якій відбувається керування ПІД-регулятором електроприводу насосу, автоматична конфігурація цього регулятора відповідно до заданого значення (SP) та дійсного значення виміряного первинним перетворювачем (PV), та масштабування вихідного сигналу до масштабу аналогового виходу. Ця функція викликається з функції процедури, що вибрана на даний момент, якщо в цій процедурі необхідно використовувати електропривід насосу.

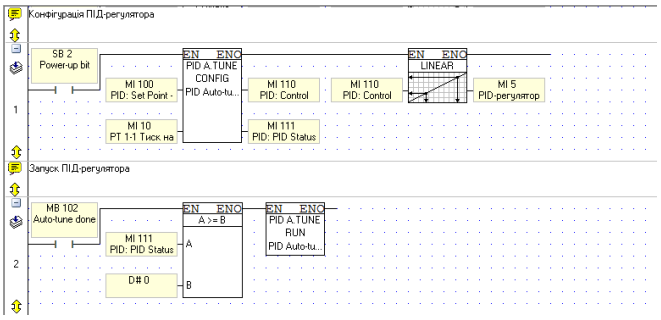



*Рисунок 5.19. Уривок програми керування функцією ПІД-регулятора електроприводу насосу.*

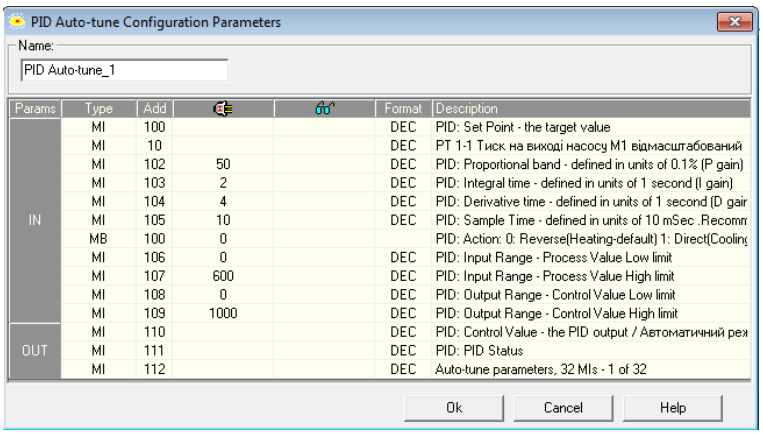



*Рисунок 5.20. Вікно конфігурації функції ПІД-регулятора.*

Як видно з рисунку 5.20 функція конфігурації ПІД-регулятора має наступні параметри налаштування:

Вхідні:

- SP (Set Point) – це цільове значення для процесу. Задане значення та значення процесу повинні бути вказані в однакових одиницях вимірювання (градуси Цельсія, бари, метри за секунду тощо).
- PV (Process Value) – це значення процесу. PV є значення отриманим з первинного вимірювального перетворювача та програмно змасштабованим відповідно діапазону вимірювального перетворювача.
- KP (Proportional Band) – це параметр для визначення зони пропорційності в одиницях 0,1%. Зона пропорційності – це відсоток від загального значення процесу (PV). Це діапазон, визначений навколо заданого значення. Коли PV знаходиться в межах цього діапазону, функція PID активна.
- Ti (Integral Time) – цей параметр використовується для визначення часу інтегрування в одиницях 1 секунди. Інтегральна дія реагує на швидкість зміни вихідного сигналу контролера відносно зміни похибки. Встановлений час інтегрування – це час, розрахований контролером, необхідний для досягнення процесу заданого значення.
- Td (Derivative Time) – цей параметр використовується для визначення часу похідної в одиницях 1 секунди. Дія похідної реагує на швидкість та напрямок зміни похибки. Це означає, що швидка зміна похибки викликає сильну реакцію контролера. Дія похідної «передбачає» значення PV відносно заданого значення та

відповідно коригує коефіцієнт перетворення (CV), скорочуючи таким чином час реакції функції PID.

- ST (Sample Time) - цей параметр використовується для визначення інтервалів між оновленнями функції ПІД-регулятора в одиницях 10 мс.
- Action (0; 1) – Виберіть «0», щоб активувати зворотну дію (тип керування = нагрів), «1», щоб активувати пряму дію (тип керування = охолодження).
- Input Range (Process Value Low limit) – цей параметр необхідний для визначення нижньої межі значення процесу.
- Input Range (Process Value High limit) – цей параметр необхідний для визначення верхньої межі значення процесу.
- Output Range (Control Value Low limit) – цей параметр необхідний для визначення нижньої межі контрольного значення.
- Output Range (Control Value High limit) – цей параметр необхідний для визначення верхньої межі контрольного значення.

Вихідні:

- CV (Control Value) - CV – це вихідний сигнал функції PID.
- Status Messages – Вихідне значення цього параметру дає розуміння про помилку в ПІД-регуляторі.
- Auto-tune parameters - Початок вектора автоналаштування довжиною 32 MI, який містить параметри автоналаштування.

6. Функції P1-P7, які відповідають за основне керування однією з процедур, яку вибрано на даний момент часу в організаційному блоці «!Main Routine». В залежності від поточної процедури в функції буде відбуватися контроль та регулювання потрібних технологічних параметрів за допомогою задіювання необхідних для цього виконавчих механізмів. Для прикладу при виборі на панелі оператора процедури №7 - «Видавлювання води», в організаційному блоці «!Main Routine» буде вибрано функцію «P7». В цій функції буде запущено таймер на час виконання цієї процедури, та до закінчення часу цього таймеру буде відбуватися відкриття клапанів Y4, Y5, Y6, та відбуватися контроль тиску вверху буфера, за допомогою відкриття клапанів Y7, Y10, якщо тиск буде нижче заданої межі, та

клапана Y8, якщо тиск буде вище заданої межі. Приклад уривку програми функції «P7» наведено на рисунку 5.21.

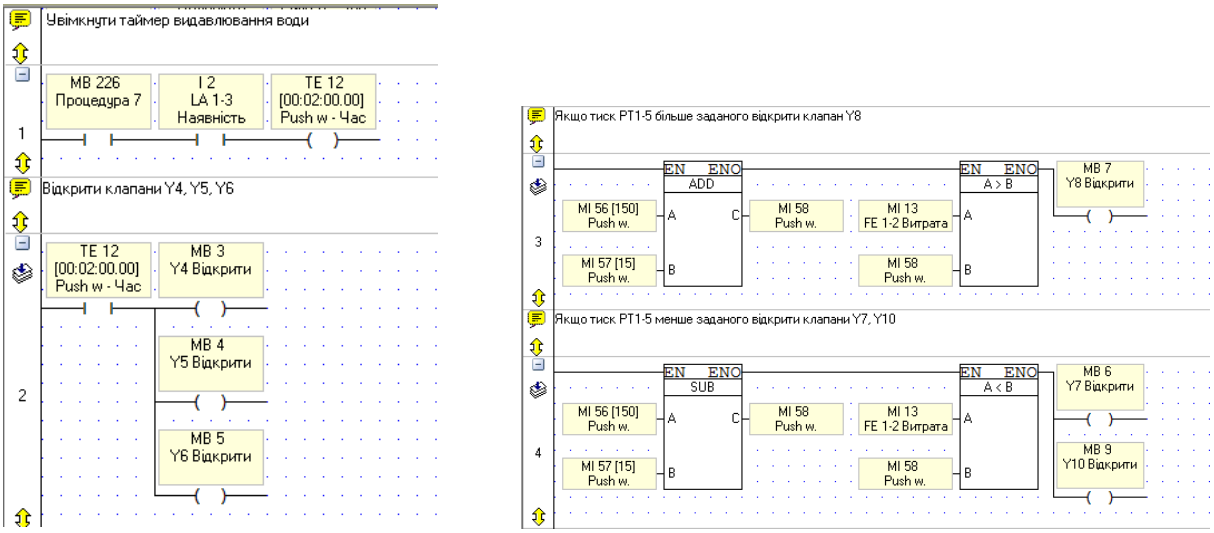



*Рисунок 5.21. Уривок програми функції «P7» процедури «Видавлювання води».*

7. Функція керування людино-машинним інтерфейсом «HMI + Trends». В ній відбувається: конфігурація трендів, що відображаються на панелі оператора, за допомогою функції «Trend Config»; загрузка початкового екрану, при увімкненні контролера, за допомогою функції «Select Display»; обновлення вибраного екрану на HMI кожну секунду, для актуальності відображення технологічних параметрів, за допомогою функції «Refresh HMI». Приклад програми наведено на рисунку 5.22, а вікна конфігурації програмних блоків на рисунку 5.23.

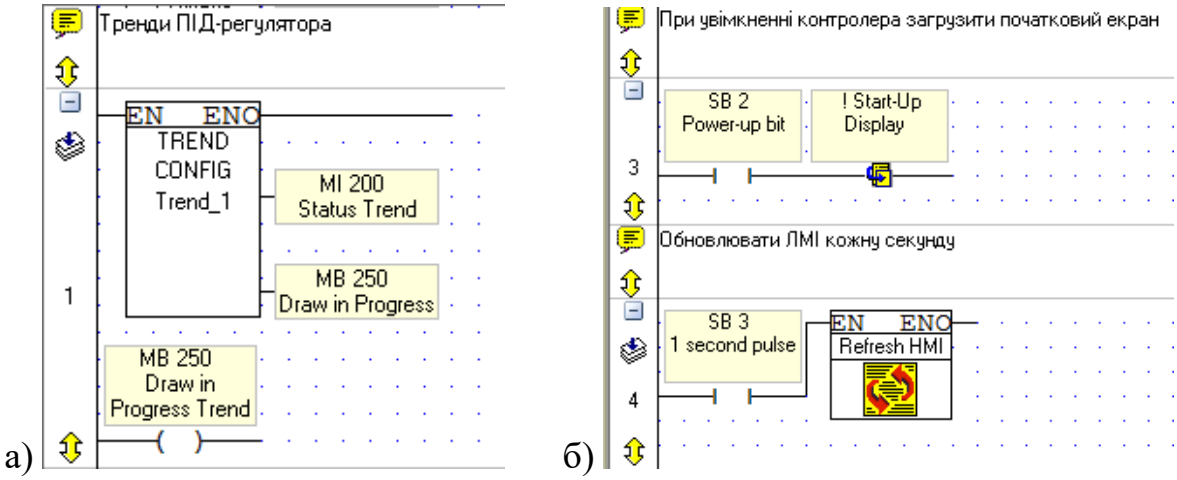
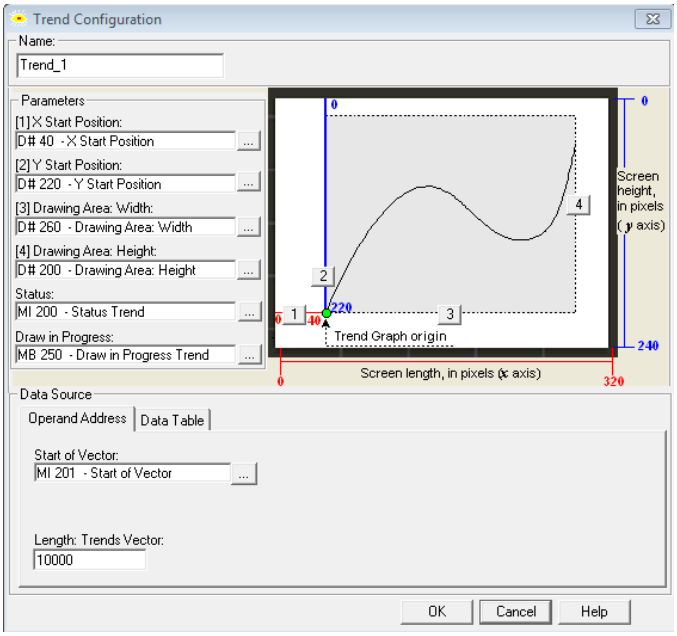



*Рисунок 5.22. Уривок програми функції «HMI + Trends»:*
*а) конфігурації трендів; б) загрузки початкового екрану та обновлення вибраного екрану.*

а)




б)

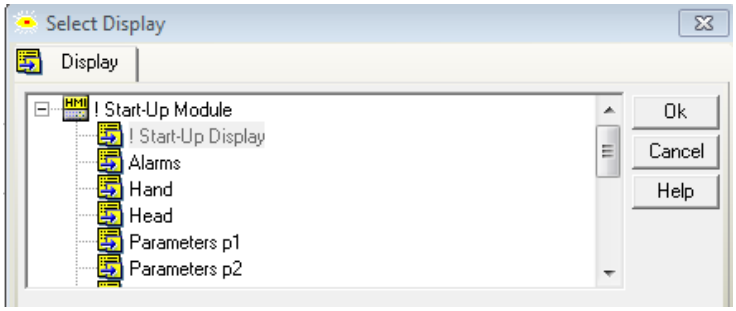



*Рисунок 5.23. Вікно конфігурації програмного блоку:*

*а) «Trend Configuration»; б) «Select Display».*

Як видно з рисунка 5.23.а програмний блок «Trend Display» містить наступні параметри налаштування:

- X Start Position, Y Start Position – Встановлюють початок координат графіка трендів по осях «x» та «y» у пікселях. Початкові точки мають бути в межах фактичних розмірів екрана.
- Drawing Area: Width, Height – Визначають ширину та довжину області, в пікселях, в якій малюється графік. Область малювання повинна відповідати фактичним розмірам екрана.
- Status – Значення пов'язаного MI вказує на попередньо визначенні повідомлення, про статус цього програмного блоку.
- Draw in Progress - Вмикається, коли активовано малювання тренду, і залишається ввімкненим, коли операція малювання виконується. Вимикається, коли операція малювання завершується.

Як видно з рисунка 5.23.б програмний блок «Trend Display» містить перелік дисплеїв у вигляді дерева. Вибраний в цьому програмному блоці дисплей буде відображуватись як початковий, після запуску ПЛК.

Структура дерева проекту програм функціонування (функцій) системи керування буферною ємністю пастеризатора представлено на рисунку 5.24.

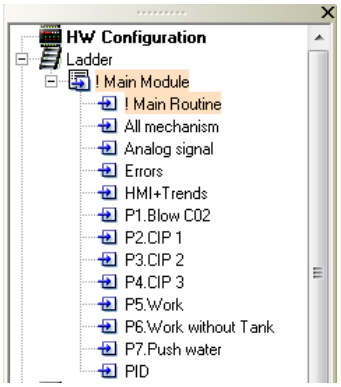



*Рисунок 5.24. Структура дерева проекту програми функціонування системи керування буферною ємністю після пастеризатора.*

Загальну програму функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації серії Vision V570 виробництва корпорації Unitronics для реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи керування буферною ємністю пастеризатора зображено на графічному плакаті №2.

## 5.3 Розроблення програми функціонування людино-машинного інтерфейсу

Згідно розробленої програми функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації серії Vision V570, алгоритмів процедур функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи керування та функціональної схеми автоматизації буферної ємності після пастеризатора, в програмному забезпеченні VisiLogic, розробленого компанією Unitronics, здійснено розробку програми функціонування людино-машинного інтерфейсу.

З використанням графічних об'єктів описаних в розділі 3.3. розроблено програму функціонування (графічну візуалізацію) людино-машинного інтерфейсу, яка включає в себе наступні дисплеї:

- стартовий дисплей людино-машинного інтерфейсу («!Start-up display»);

- дисплей реєстрації аварійних подій («Alarms»);
- дисплей ручного керування технологічним процесом («Hand»);
- дисплей мнемосхеми системи автоматизації («Head»);
- дисплей налаштування параметрів процедури №1 «Заповнення буферної ємності вуглекислим газом ($CO_2$)» («Parameters p1»);
- дисплей налаштування параметрів параметрів процедури №2 «CIP 1» («Parameters p2»);
- дисплей налаштування параметрів процедури №3 «CIP 2» («Parameters p3»);
- дисплей налаштування параметрів процедури №4 «CIP 3» («Parameters p4»);
- дисплей налаштування параметрів процедури №5 «Виробничий процес» («Parameters p5»);
- дисплей налаштування параметрів процедури №6 «Виробничий процес без буферної ємності» («Parameters p6»);
- дисплей налаштування параметрів процедури №7 «Видавлювання води» («Parameters p7»);
- дисплей налаштування параметрів ПІД-регулятора «Parameters PID» («Parameters PID»);
- дисплей вибору процедури керування технологічним процесом («Procedures»);
- дисплей відображення трендів зміни параметрів технологічного процесу («Trend1» та «Trend2»);

Для кожного з вище перерахованих дисплеїв здійснено конфігурацію переходів між ними у вікні переходів (Links & Jumps), що представлено у вигляді таблиці з двома основними полями — «Jump Condition» та «Display». У полі «Jump Condition» вказується змінна типу «біт», яка активується при натисканні відповідної кнопки. У полі «Display» задається назва екрана, на який має бути здійснено перехід при виконанні умови. Змінні, що використовуються для умов переходу, прив’язані до графічних об’єктів типу «Кнопка», розміщених у нижній частині кожного дисплею, із відповідним текстовим маркуванням, що дозволяє оператору швидко орієнтуватись у навігації. Це забезпечує зручний і логічний

інтерфейс користувача з можливістю миттєвого перемикання між різними розділами системи керування. Приклад конфігурації переходів між дисплеями показано на рисунку 5.25.

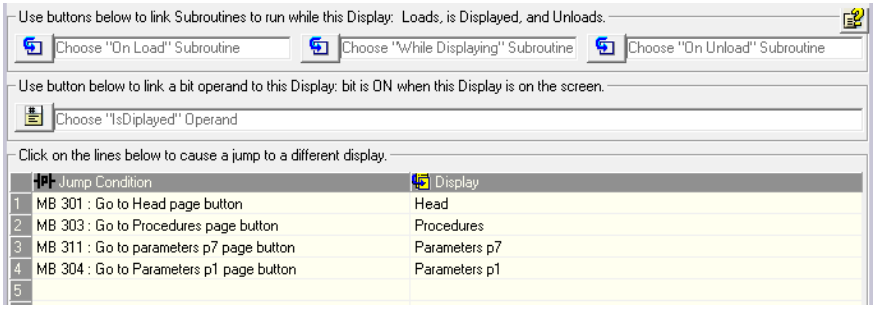



*Рисунок 5.25. Приклад конфігурації вікна «Links & Jumps» переходів між екранами проекту екрану.*

Розглянемо деякі з розроблених дисплеїв та їх елементи детальніше.

1. Початковий дисплей «!Start-up display».

Цей екран з’являється першим після запуску та завантаження ПЛК Vision V570 відповідно до програми його функціонування. На ньому розміщено загальну інформацію про систему керування та розробника. З функціональних елементів передбачено кнопку «Головна», яка забезпечує перехід до головного екрана HMI «Head».

Графічне зображення початкового дисплею зображено на рисунку 5.26.

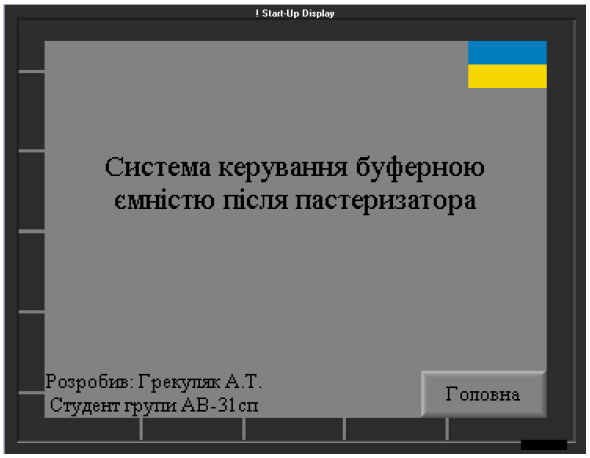



*Рисунок 5.26. Загальний вигляд початкового дисплею «!Start-up display».*

2. Дисплей помилок «Alarms».

На дисплеї помилок здійснюється відображення повідомлень про аварійні ситуації в роботі системи. Для цього використовується об’єкт типу «Діапазон тексту», який, залежно від значення пов’язаної з ним змінної, автоматично

виводить відповідне попередньо підготовлене повідомлення. Такий підхід дозволяє оперативно інформувати оператора про характер і місце виникнення несправності, що значно спрощує діагностику та контроль стану буферної ємності. На дисплеї також передбачено кнопку для скидання аварії, та кнопку з підписом «Головна» для переміщення на дисплей головної сторінки HMI «Head».

Загальний вигляд екрану помилок «Alarms» зображено на рисунку 5.27.

3. Дисплей функцій ручного керування «Hand».

На цьому дисплеї розміщено перемикач режимів «Автоматичний – Ручний». Після переведення його в положення «Ручний» користувач отримує можливість вручну керувати роботою виконавчих механізмів. За допомогою кнопок з відповідними підписами можна відкривати або закривати клапани Y1–Y12, запускати електропривід M1 насоса подачі пива на розливну машину, а також задавати значення продуктивності цього електроприводу. Крім того, тут відображається поточне встановлене значення, а також стандартне (еталонне) значення параметра продуктивності електроприводу насосу. На дисплеї також показується обрана технологічна процедура, а в нижній частині розміщено кнопки навігації з відповідними назвами для зручного переміщення між дисплеями проекту.

Загальний вигляд дисплею функцій ручного керування «Hand» зображено на рисунку 5.28.

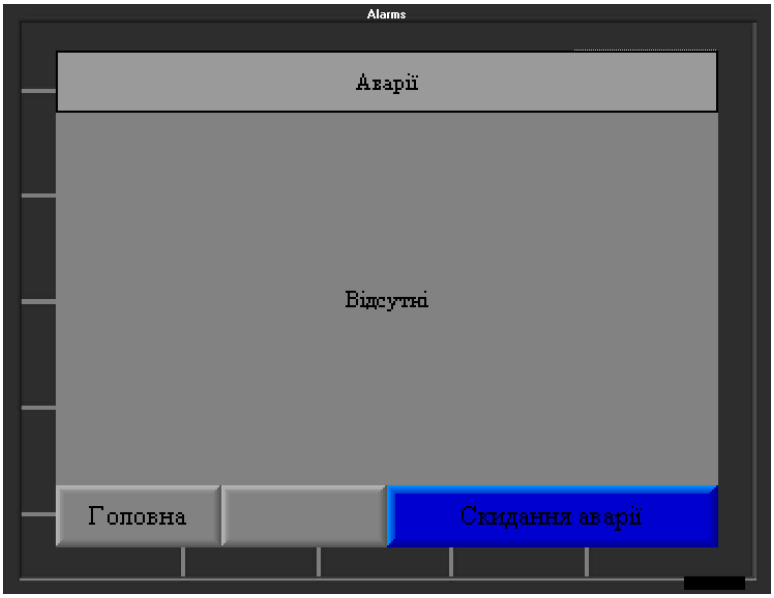



*Рисунок 5.27. Загальний вигляд дисплею помилок «Alarms».*

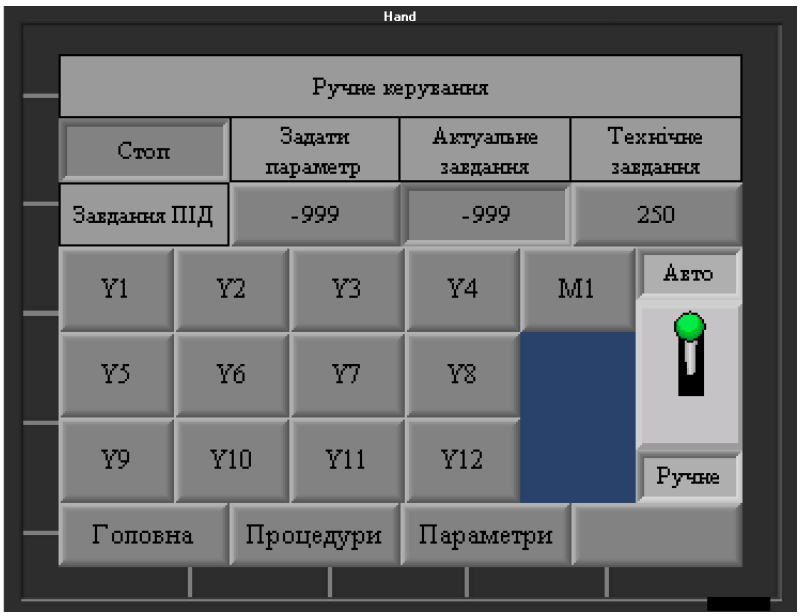



*Рисунок 5.28. Загальний вигляд дисплею функцій ручного керування «Hand».*

4. Дисплей головної сторінки HMI «Head».

На цьому дисплеї представлено зображення технологічного об’єкта з усіма його компонентами. В режимі реального часу відображається стан клапанів, електроприводу, буферної ємності, а також сигнали з давачів мінімального та максимального рівня. Передбачено числове відображення таких параметрів, як: об’єм у буферній ємності, тиск на вході пастеризатора, тиск у буферній ємності, а також тиск і витрата на виході насоса подачі пива на розливну машину. У верхній частині дисплея виводиться інформація про вибрану технологічну процедуру, активний режим керування та наявність аварійних ситуацій (у вигляді відповідного символу). Для зручної навігації між дисплеями проекту в нижній частині дисплея розміщено функціональні кнопки з відповідними підписами.

Загальний вигляд дисплею головної сторінки наведено на рисунку 5.29.

5. Дисплей «Parameters p3» параметрів процедури №3 «CIP 2».

На цьому дисплеї відображається поточна вибрана процедура та є можливість переглянути поточне, стандартне значення і задати нове значення параметрів процедури №3, а саме: час відкриття і час закриття клапанів Y4, Y1, час відкриття і час закриття клапана Y6, тиск на виході насосу подачі миючого розчину на розливну машину, тиск в верхній частині буферної ємності. Для зручного

переходу між дисплеями проекту в нижній частині дисплея розміщено функціональні кнопки з відповідними підписами.

Загальний вигляд дисплею процедури №3 зображено на рисунку 5.30

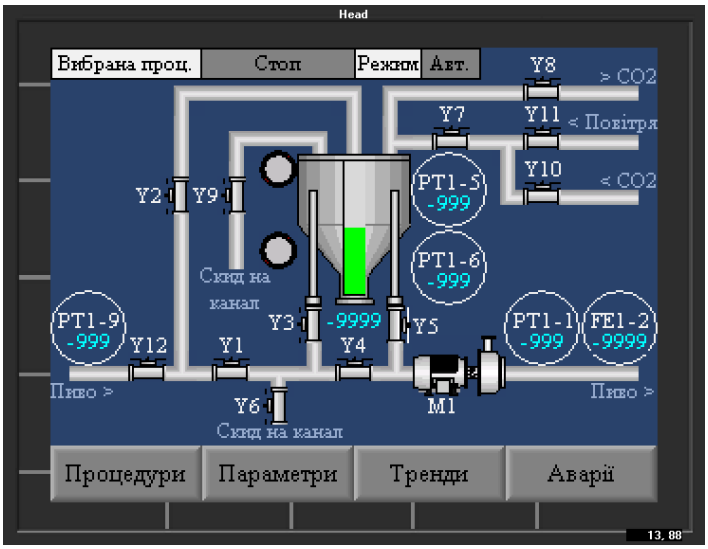



*Рисунок 5.29. Загальний вигляд дисплею головної сторінки HMI «Head».*


*Рисунок 5.30. Загальний вигляд дисплею «Parameters p3» параметрів процедури №3 «CIP 2».*

Для параметрів інших процедур застосовано той самий принцип проектування екранів.

6. Дисплей параметрів ПІД-регулятора «Parameters PID».

На цьому дисплеї відображається поточна вибрана процедура, а також передбачено можливість перегляду та редагування параметрів коефіцієнтів ПІД-регулятора. Користувач може ознайомитися з поточними та стандартними значеннями, а також задати нові. Для застосування нових значень необхідно

натиснути кнопку з підписом «Встановити параметри». У нижній частині дисплея розміщено набір функціональних кнопок для переміщення між основними дисплеями проекту. Загальний вигляд дисплею параметрів ПІД-регулятора «Parameters PID» наведено на рисунку 5.31.

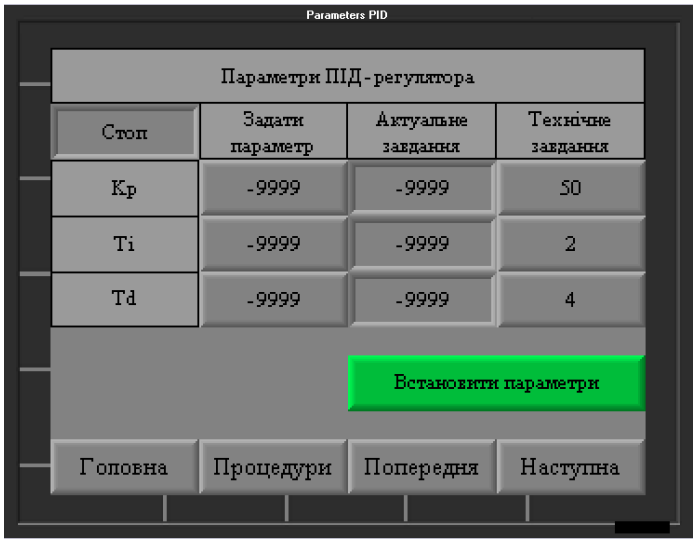



*Рисунок 5.31. Загальний вигляд дисплею параметрів ПІД-регулятора «Parameters PID».*

7. Дисплей вибору процедур «Procedures».

На цьому дисплеї відображається поточна вибрана процедура, а також розміщено кнопки з відповідними підписами для запуску необхідної процедури функціонування буферної ємності. Передбачено можливість зупинки виконання активної процедури за допомогою кнопки «Стоп». У нижній частині дисплея розташовано набір функціональних кнопок, що забезпечують зручну навігацію між дисплеями системи. Загальний вигляд дисплею вибору процедур «Procedures» зображено на рисунку 5.32.

8. Дисплей «Trend1» відображення трендів технологічного процесу.

На цьому дисплеї знаходиться графік параметрів ПІД-регулятора, що дозволяє візуально відстежувати динаміку зміни значень цих технологічних параметрів у реальному часі. У нижній частині дисплея передбачено набір кнопок для переміщення між дисплеями проекту. Загальний вигляд дисплею «Trend1» відображення трендів технологічного процесу зображено на рисунку 5.33.

Для розробки дисплея «Trend2» було використано той самий принцип проектування, що й для «Trend1». Однак на цьому дисплеї відображається графік ключових параметрів технологічного процесу, зокрема: тиск і витрата на виході насоса подачі пива на розливну машину, тиск у верхній та нижній частинах буферної ємності, тиск на вході до пастеризатора та об’єм у буферній ємності.

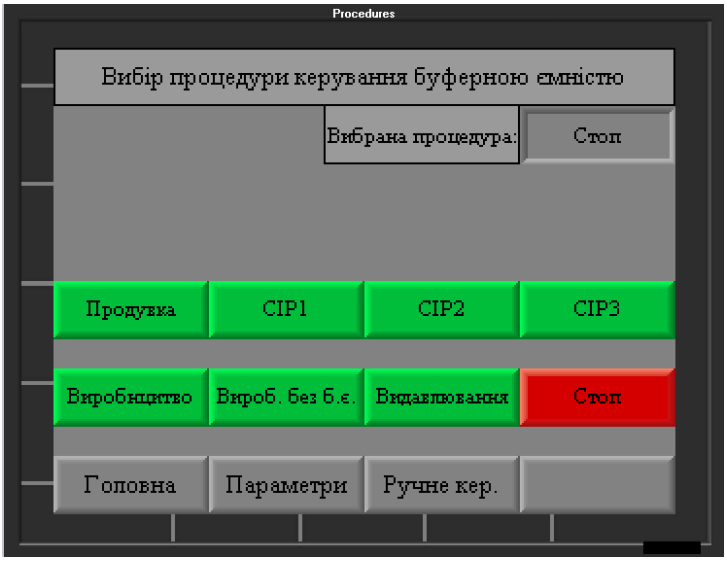



*Рисунок 5.32. Загальний вигляд дисплею вибору процедур «Procedures».*

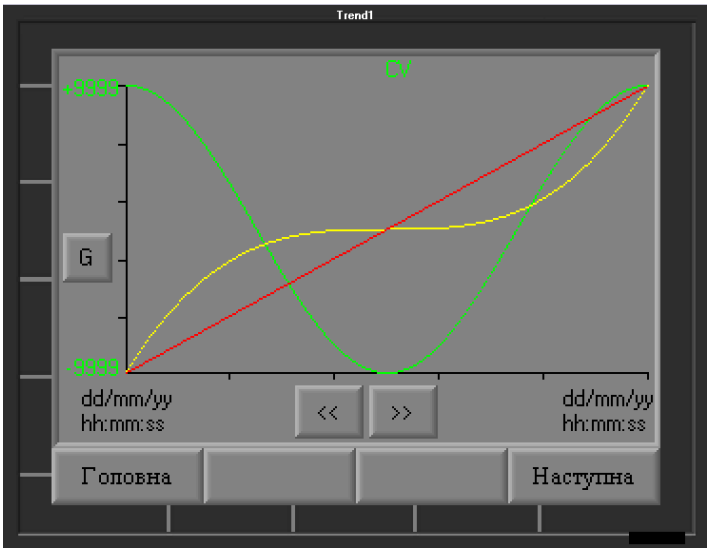



*Рисунок 5.33. Загальний вигляд дисплею «Trend1» відображення трендів технологічного процесу.*

**Висновки:**

Виконано розробку алгоритмів та програм функціонування ПЛК та HMI системи автоматизації буферною ємністю пастеризатора.

# РОЗДІЛ 6 ПРИНЦИПОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ З'ЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Відповідно до розробленої функціональної схеми автоматизації комп'ютерно-інтегрованої системи керування буферною ємністю пастеризатора, спрощений вигляд якої представлено на рисунку 2.1, а також з урахуванням програми функціонування мікропроцесорного програмованого пристрою автоматизації серії Vision V570, а також експлуатаційних вимог та технічної документації до технічних засобів автоматизації було розроблено принципову електричну схему з'єднання засобів автоматизації для реалізації сземи автоматизації.

Принципова електрична схема складається з наступних частин:

1. Електрична схема живлення модулів мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації [3].

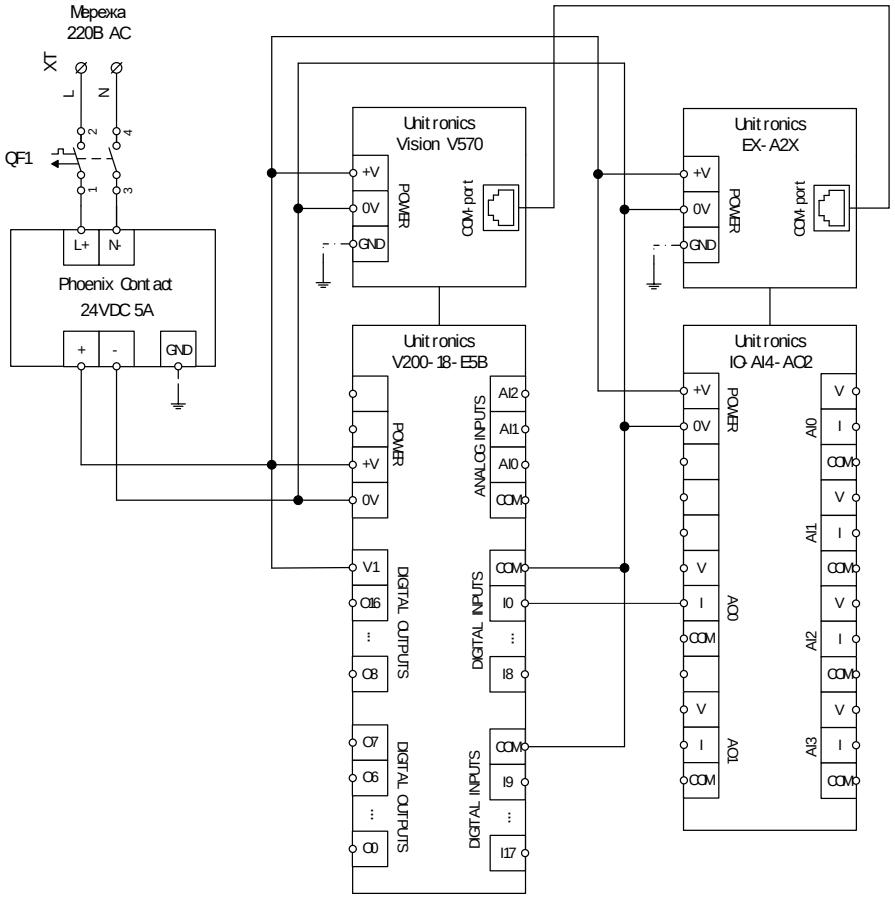



*Рисунок 6.1. Принципова електрична схема живлення модулів мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації.*

2. Схема приєднання периферійних пристроїв до дискретних та аналогових каналів вводу/виводу функціонального модуля V200-18-E5B [4]. Зокрема:

- Електромагнітних клапанів типу CPE14-M1CH-5L-1/8;
- Первинних вимірювальних перетворювачів тиску типу Cerabar T PMP131-A1B01A1R, по двохпровідній схемі підключення;
- Дискретного каналів входу та виходу перетворювача частоти Danfoss VLT 2875PT4B20STR1DBF10;
- Вібраційних давачів граничного рівня типу Liquiphant FTL31-AA4U3BAWSJ.

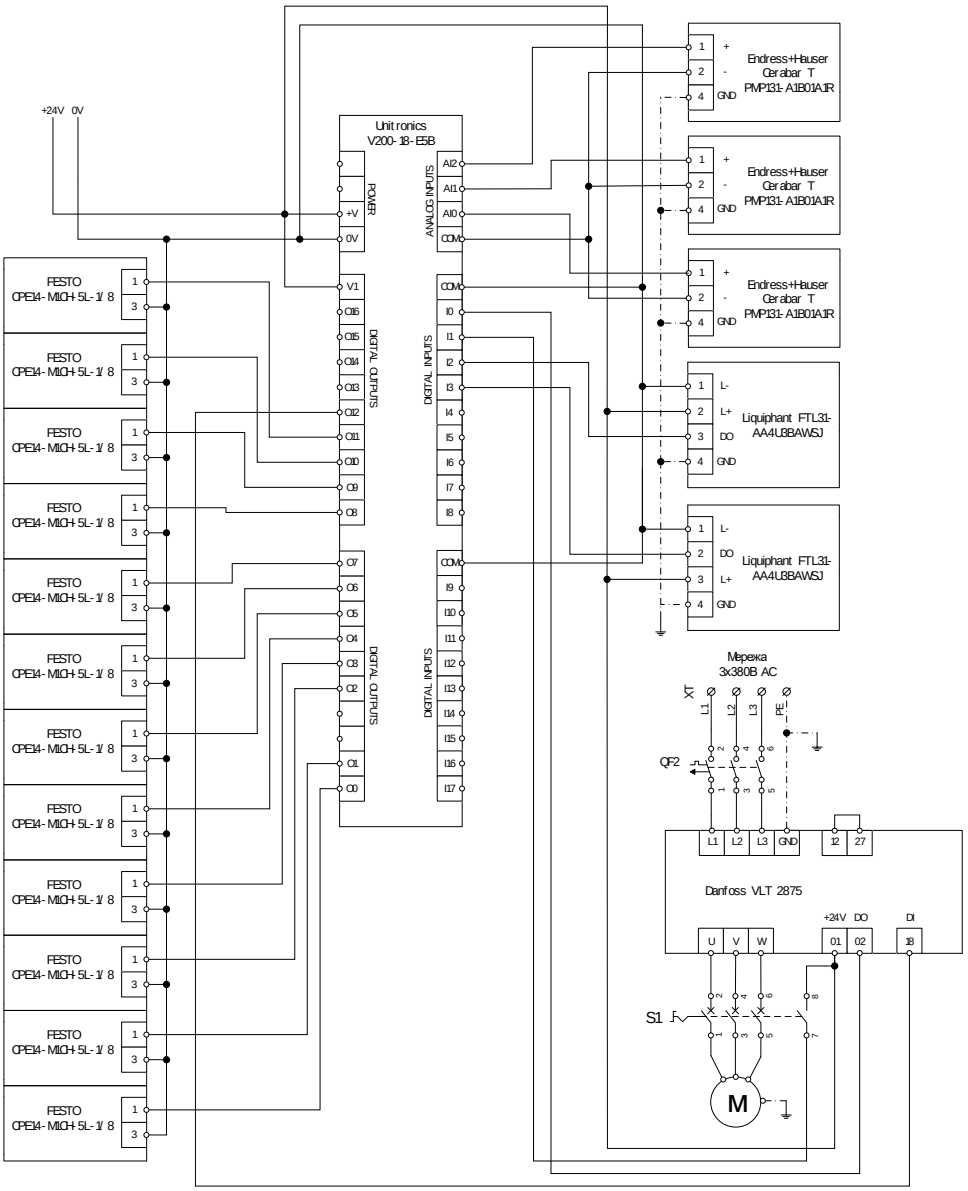



*Рисунок 6.2. Принципова електрична схема підключення периферійних пристроїв до функціонального модуля V200-18-E5B.*

3. Схема приєднання периферійних пристроїв аналогових каналів вводу/виводу функціонального модуля IO-AI4-AO2 [4]. Зокрема:

- Аналогового каналу входу перетворювача частоти Danfoss VLT 2875PT4B20STR1DBF10, по двохпровідній схемі підключення;
- Первинного вимірювального перетворювача тиску типу Cerabar T PMP131-A1B01A1R, по двохпровідній схемі підключення;
- Електромагнітного витратоміра типу Proline Promag 53H65-2N12/0, по двохпровідній схемі підключення.

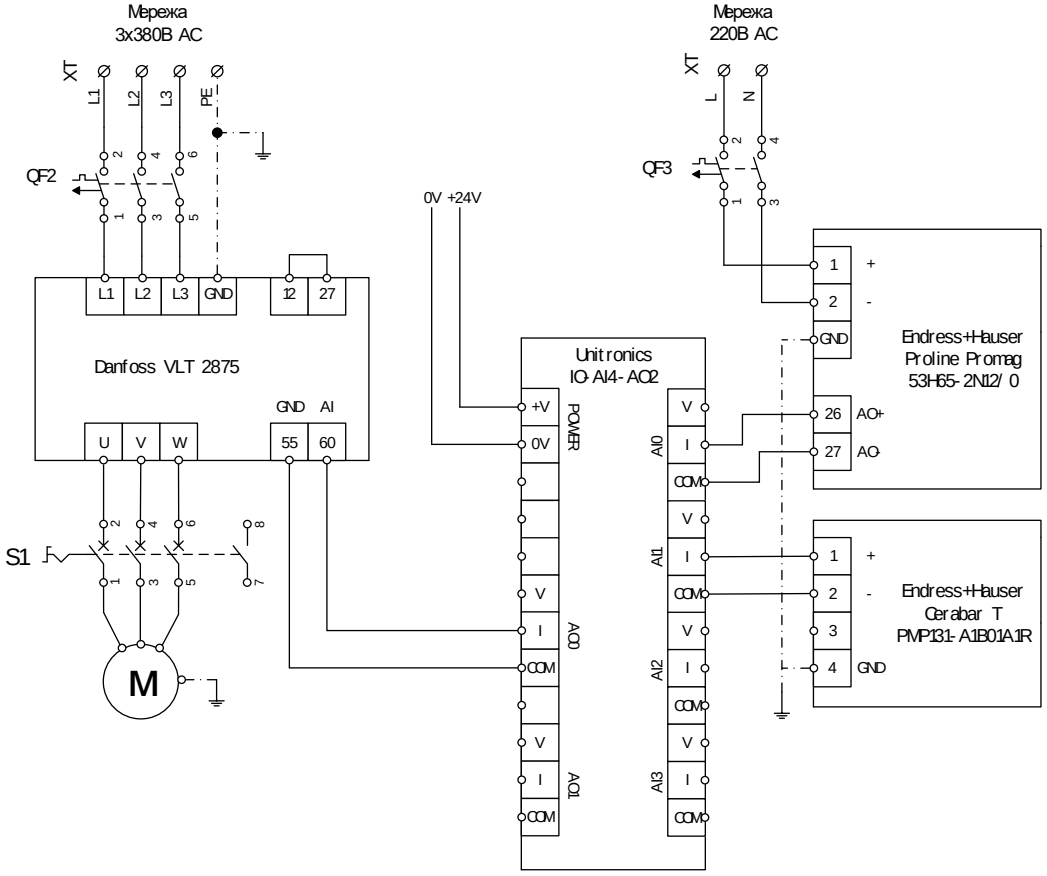



*Рисунок 6.3. Принципова електрична схема підключення периферійних пристроїв до функціонального модуля IO-AI4-AO2.*

Загальна принципова електрична схема з'єднань засобів автоматизації представлена на графічному плакаті №4

**Висновки:**

У цьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи представлено розробку принципових електричних схем підключення засобів автоматизації, призначених для забезпечення роботи буферної ємності, а також подано їх детальний опис.

# РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 7.1. Аналіз небезпек

У процесі автоматизації технологічних об’єктів, зокрема буферної ємності пастеризатора, питання охорони праці посідає особливе місце. Робота з подібним обладнанням пов’язана з низкою потенційно небезпечних факторів: підвищеною температурою, тиском, використанням електроенергії, а також ризиками, пов’язаними з порушенням герметичності чи несправністю окремих елементів. У таких умовах завдання полягає не лише в тому, щоб забезпечити стабільну й безперебійну роботу всієї системи, але й у тому, щоб виключити можливість травмування персоналу або виникнення аварійних ситуацій, які можуть загрожувати як працівникам, так і технологічному процесу загалом.

Безпечна експлуатація починається ще на етапі проектування. Саме тут закладаються принципи, які згодом впливають на всі аспекти роботи обладнання.

Особливу увагу слід приділити стабільності роботи системи у нестандартних умовах. У практиці промислової автоматизації неминуче трапляються ситуації, коли виникають перебої з живленням, коливання тиску, відмови датчиків або часткові збої у зв’язку. Надійна система повинна передбачати такі випадки і мати внутрішні механізми, які дозволяють їй реагувати м’яко та безпечно.

Важливо, щоб робоче місце було не лише технічно оснащеним, а й комфортним та безпечним для тривалого перебування. Це означає, що температурний режим, вентиляція, відсутність небезпечних випаровувань чи ризику травмувань мають відповідати необхідним нормам та стандартам.

Правила, які застосовані при розробці заходів з охорони праці в бакалаврській кваліфікаційній роботі це: НПАОП 15.9-1.28-17 «Правила охорони праці для працівників виробництва солоду, пива та безалкогольних напоїв», НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електрообладнання споживачів», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

### 7.2. Технічні рішення щодо безпечної експлуатації засобів автоматизації

Засоби автоматизації, які використовуються в системі керування буферною ємністю пастеризатора, повинні експлуатуватись з дотриманням вимог техніки безпеки, охорони праці та електробезпеки. Основною метою є запобігання травматизму персоналу, запобігання аварійним ситуаціям та забезпечення надійної роботи обладнання.

Для безпечної експлуатації засобів автоматизації в проекті передбачено такі технічні рішення відповідно до НПАОП 40.1-1.32-01 і ДСТУ Б В.2.5-82:2016 [22], [23]:

- Усі елементи системи автоматизації сертифіковані та відповідають чинним стандартам безпеки (ДСТУ, ISO, CE).
- Монтаж обладнання здійснюється з дотриманням вимог щодо класу захисту IP, обов'язковим заземленням, використанням автоматичних вимикачів та пристроїв захисного відключення (ПЗВ). Усі щити та розподільчі коробки мають відповідне маркування і герметичну конструкцію.
- Сигнальні лінії прокладаються окремо від силових кабелів для мінімізації електромагнітних завад та запобігання коротких замикань.
- Розподільчі шафи оснащені тепловими реле, автоматичними вимикачами та пасивними або активними системами охолодження.
- Програмне забезпечення ПЛК виявляє помилки та аварійні режими, блокуючи потенційно небезпечні операції та забезпечуючи своєчасну сигналізацію для оператора.
- Засоби автоматизації розміщуються у захисних щитах поза межами агресивних середовищ, зон підвищеної вологості або можливого контакту з продуктами.
- Передбачено можливість ручного аварійного зупину обладнання у разі виникнення позаштатних ситуацій.
- Система забезпечена всіма необхідними схемами та попереджувальними написами, а персонал проходить обов'язковий інструктаж з охорони праці.

## 7.3. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 7.3.1. Мікроклімат

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень", основні параметри мікроклімату, що підлягають нормуванню повинні підтримуватися на рівні, що забезпечує безпечні та комфортні умови праці відповідно до характеру роботи та категорії приміщення [11].

*Таблиця 7.1*

Параметри мікроклімату [11]

| Період року | Оптимальні | | | Допустимі | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | t°C | W,% | V, м/с | t°C | W,% | V, м/с |
| теплий | 22 - 24 | 40 - 60 | 0,2 | 21 - 28 | 70 (при 27 °C) | 0,1 - 0,3 |
| холодний | 21 - 23 | 40 - 60 | 0,1 | 17 - 23 | До 75 | 0,2 |

Для забезпечення необхідних відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 параметрів мікроклімату передбачено [11]:

- щоб запобігти перегріванню та переохолодженню працівників, використовують засоби індивідуального захисту, включаючи медико-біологічні засоби та спеціальний одяг;
- у приміщеннях з великими засклениими поверхнями, особливо в теплий період року, від перегрівання сонячними променями захищаються встановленням жалюзі;
- у виробничих приміщеннях з надлишком тепла ефективно застосовують природну вентиляцію, а біля точкових джерел тепловиділення обладнання оснащують місцевою витяжною вентиляцією, як-от локальні відсмоктувачі або витяжні зонти;
- для комфорту та належних умов праці в невеликих, закритих приміщеннях, таких як пульти керування або кімнати відпочинку, встановлюють системи кондиціонування повітря. Ці системи дозволяють індивідуально регулювати температуру та об'єм подачі повітря, забезпечуючи оптимальний мікроклімат.

### 7.3.2. Склад повітря робочої зони

Якість повітря в робочій зоні регламентується відповідно до нормативних вимог шляхом встановлення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих

речовин у повітряному середовищі. Ці показники визначають максимально допустимий вміст хімічних або фізичних домішок у міліграмах на кубічний метр (мг/м³), який не повинен викликати несприятливих впливів на здоров'я працівників у разі щоденного перебування у приміщенні протягом повної робочої зміни протягом тривалого періоду [13].

У процесі експлуатації буферної ємності пастеризатора можливими джерелами забруднення повітря можуть бути, та їх ГДК відповідно до гігієнічних регламентів хімічних речовин у повітрі робочої зони [13]:

Вуглекислий газ ($CO_2$) - 20 мг/м³;

Пил – 4 мг/м³.

Для забезпечення належного складу повітря в робочій зоні та зниження рівня потенційного забруднення в роботі відповідно до гігієнічних регламентів хімічних речовин у повітрі робочої зони передбачені наступні технічні заходи [13]:

- На підприємстві передбачена витяжна механічна вентиляція, яка запобігає збиранню конденсату на робочих поверхнях. Вентиляція відповідає вимогам ДБН В.2.5-67-2012 нормам технологічного проектування підприємств виробництва солоду та пива, НПАОП 15.9-1.28-17 «Правила охорони праці для працівників виробництва солоду, пива та безалкогольних напоїв»;
- регулярне очищення фільтрів вентиляційних систем та контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі за допомогою газоаналізаторів;
- за ДБН В.2.5-67-2012 припливна система вентиляції забезпечує 20 м$^3$/год повітря на одного працюючого;
- у приміщеннях встановлена змішана вентиляція з частковим використанням штучного припливу повітря;
- для витяжки диму у випадку пожежі передбачена аварійна витяжна вентиляція;
- два рази в рік проводиться контроль стану повітряного середовища.

### 7.3.3 Вентиляція

Для реалізації умов мікроклімату відповідно до чинних нормативів було передбачено таке технічне рішення, як встановлення вентиляційного обладнання,

розрахунок якого здійснено відповідно до [12], з врахуванням параметрів мікроклімату, які визначено в таблиці 7.1, та газовиділення в цеху:

*Розрахунок вентиляції за тепловиділенням обладнання.*

Визначаємо необхідну кількість повітрообміну за тепловиділенням в цеху, за формулою 7.1:

$$L = \frac{Q_{надл}}{c \cdot p \cdot (t_{вн} - t_{зовн})} = \frac{32\ 205{,}63}{0{,}239 \cdot 1{,}181 \cdot (25 - 16)} = 12\ 677{,}73 \frac{м^3}{год} \qquad (7.1)$$

де: L – необхідний витратний об'єм припливного повітря, який забезпечує компенсацію теплових надлишків у приміщенні, м³/год;

с - це фізична величина, яка характеризує здатність повітря акумулювати теплову енергію при нагріванні, за незмінного тиску, та дорівнює 0,239 кДж/(кг•град);

ρ — густина зовнішнього повітря, кг/м³. Яка дорівнює 1,181 кг/м³;

$t_{вн}$ і $t_{зовн}$ — це температури відповідно внутрішнього повітря приміщення та зовнішнього (припливного) повітря, °С ;

$Q_{надл}$ – Кількість надлишкового тепла, ккал/год. Визначається за формулою 7.2:

$$Q_{надл} = Q_{надх} - Q_{відх} = 38\ 685{,}63 - 6\ 480 = 32\ 205{,}63 \frac{ккал}{год}; \qquad (7.2)$$

де: $Q_{надх}$ – кількість тепла що надходить. Визначається за формулою 7.3;

$Q_{відх}$ – кількість тепла що відходить. Визначається за формулою 7.8.

$$Q_{надх} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 28\ 380 + 4\ 309{,}63 + 580 + 4\ 416 = 38\ 685{,}63 \frac{ккал}{год} \qquad (7.3)$$

де: $Q_1$ - надходження тепла від техніки, ккал/год. Визначається за формулою 7.4.

$Q_2$ - надходження тепла від світильників, ккал/год. Визначається за формулою 7.5.

$Q_3$ - надходження тепла від людей, ккал/год. Визначається за формулою 7.6.

$Q_4$ - надходження тепла від сонячної радіації через вікна, ккал/год. Визначається за формулою 7.7.

$$Q_1 = 860 \cdot k \cdot N_1 \cdot n = 860 \cdot 6 \cdot 1{,}1 \cdot 5 = 28\,380 \frac{ккал}{год} \qquad (7.4)$$

де: 860 - тепловий еквівалент, ккал/кВт;

k - коефіцієнт втрат;

$N_1$ - потужність техніки;

n - кількість одиниць техніки.

$$Q_2 = 860 \cdot n \cdot k \cdot p_n \cdot S = 860 \cdot 8 \cdot 0{,}45 \cdot 1{,}392 = 4\,309{,}63 \frac{ккал}{год} \qquad (7.5)$$

де: n - кількість світильників;

k - коефіцієнт втрат (k= 0,4 – 0,6 - для люмінісцентних ламп);

S – площа приміщення, м$^2$;

$p_п$ – питома потужність освітлення, Вт/ м$^2$ .

$$Q_3 = n \cdot q_{люд} = 4 \cdot 145 = 580 \frac{ккал}{год} \qquad (7.6)$$

де: n - кількість працюючих;

$q_{люд}$ - надходження тепла від однієї людини.

$$Q_4 = m \cdot S \cdot k \cdot q_{скл.} = 16 \cdot 4{,}6 \cdot 1 \cdot 60 = 4\,416 \frac{ккал}{год} \qquad (7.7)$$

де: m - число вікон;

S - площа одного вікна, м$^2$;

k - коефіцієнт, який враховує матеріал віконного переплетення, k=1.0, металеві подвійні;

$q_{скл}$ - надходження тепла через 1м$^2$ вікна при різній орієнтації вікон, дорівнює 60 ккал/(м$^2$ •год) – схід, захід;

$$Q_{відх} = \lambda \cdot S \cdot (t_{вн} - t_{зв}) / \delta = \frac{0.75 \cdot 240 \cdot (25 - 16)}{0.25} = 6\,480 \frac{ккал}{год} \qquad (7.8)$$

де: λ - теплопровідність стін, ккал/(год•град•м) (λ = 0.75 для будівель з силікатної цегли);

S - площа стін, м$^2$;

δ - товщина стін, м (δ= 0.25 *м* для будівель 1-ої групи).

*Розрахунок повітрообміну за вологовиділенням.*

Визначаємо необхідну кількість повітрообміну за вологовиділенням в цеху, за формулою 7.9:

$$L = \frac{\Sigma W}{\rho \cdot (d_{вн} - d_{зовн})} = \frac{460}{1{,}162 \cdot (9{,}75 - 9{,}45)} = 1\,319{,}56 \frac{м^3}{год} \qquad (7.9)$$

де : ΣW – сумарна кількість надлишкової вологи в приміщенні, г/год;

L - об′єм повітря необхідний для зниження відносної вологості до вимог ДСН 3.3.6.042-99 та ГОСТ 12.1.005-88, м$^3$/год;

ρ - густина зовнішнього повітря, кг/м³. Яка дорівнює 1,162 кг/м$^3$.;

$d_{вн}$ ,$d_{зовн}$ – відповідно вміст вологи у внутрішньому та зовнішньому повітрі при заданій температурі (абсолютна вологість), $d_{вн}$ = 9.75 г/кг, $d_{зовн}$ = 9.45 г/кг.

Причому:

$$d = \frac{d_{max}}{100} = \frac{19{,}5 \cdot 50}{100} = 9{,}75 \frac{г}{кг} \qquad (7.10)$$

де: d – абсолютна вологість, г/кг;

$W_п$ – вологовиділення одного працівника, г/год; $\varphi$ - відносна вологість повітря, $\varphi$ = 50%;

$d_{макс}$ – максимальний вміст вологи у повітрі при робочій температурі, $d_{макс}$ = 19.5 г/кг;

Кількість вологи, яка виділяється від перебування людей у приміщенні визначимо за формулою 7.11:

$$W = n \cdot W_n = 4 \cdot 115 = 460 \frac{г}{год} \qquad (7.11)$$

де: n – кількість працюючих;

$W_п$ – вологовиділення одного працівника, дорівнює 115 г/год;

*Розрахунок повітрообміну за газовиділенням.*

Враховуючи, що в приміщенні можливе виділення вуглекислого газу, який хоч і нетоксичний, але небезпечний для людей, продуктивність вентилятора розраховуємо за формулою 7.12:

$$L = \frac{\left(G_{CO_2} + n \cdot G_л\right)}{\rho_{пов} \cdot \left(C_{гдк} - C_0\right)} = \frac{\left(337 + 4 \cdot 45\right)}{1{,}162 \cdot \left(1{,}75 - 0{,}4375\right)} = \frac{517}{1{,}4525} = 355{,}94 \frac{м^3}{год} \quad (7.12)$$

де: $\sum G_{CO_2}$ – сума виділень вуглекислого газу, дорівнює 337 г/год;

n – кількість людей, що перебувають у приміщенні, n = 4;

$G_л$ – кількість вуглекислого газу, який виділяє одна людина, що дорівнює 45 г/год;

$C_{гдк}$ – ГДК вуглекислого газу в повітрі приміщення, дорівнює 1,75 г/кг;

$C_0$ – ГДК вуглекислого газу в припливному повітрі, дорівнює 0,5 г/кг;

$\rho_{пов}$ – густина повітря при температурі приміщення, дорівнює 1,162 кг/м$^3$;

На основі проведених розрахунків визначено загальну необхідну кількість повітрообміну в приміщенні цеху з урахуванням тепловиділень, вологовиділень та газовиділень. Розрахункове значення кратності повітрообміну забезпечує підтримання мікроклімату в межах нормативних значень, що є необхідним для створення безпечних та комфортних умов праці персоналу. Отримані значення приймаються як основа для проектування системи вентиляції.

### 7.3.4. Виробниче освітлення

Приміщення, в якому розміщена буферна ємність пастеризатора, повинно бути обладнане як природним, так і штучним освітленням відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Природне освітлення забезпечується через вікна, які мають достатню світлопроникність та розміщені таким чином, щоб виключити появу глибоких тіней або засліплення персоналу.

У випадках, коли природне освітлення неможливе або недостатнє, передбачена ефективна система загального електричного освітлення. Світильники забезпечують рівномірну освітленість робочих поверхонь відповідно до санітарних норм — не менше 300 лк для зони обслуговування обладнання [14].

Крім основного, приміщення обладнано аварійним освітленням (не менше 10% від нормативного) для безпечної евакуації та завершення операцій у разі відключення живлення. Його передбачено поблизу ємностей, трубопроводів, у

проходах між обладнанням, біля щитів керування, на сходах/платформах/драбинах та біля вузлів контролю [14].

Світильники, встановлені нижче 2,5 м, повинні бути закритого типу, що унеможливлює контакт із гарячими/рухомими частинами. Для тимчасових робіт рекомендуються переносні світильники не більше 12 В із захисними решітками чи ковпаками [14].

### 7.3.5. Виробничий шум

Рівень шуму у виробничих приміщеннях регламентується ДБН В.1.1-31:2013., ДСП 173-96, ДСН 3.3.6.037-99 та ДСТУ ISO 11690-1:2003 "Акустика. Загальні аспекти застосування засобів шумозахисту".

У виробничому приміщенні, де встановлено буферну ємність пастеризатора, основним джерелом шуму є електропривід насосу, який перекачує продукт. Враховуючи, що він може створювати шум у межах 65–80 дБА, важливо забезпечити захист персоналу від його впливу. Допустимий рівень звуку в приміщеннях постійного перебування персоналу згідно з чинними нормами не повинен перевищувати 80 дБА — для приміщень з технологічним обладнанням [15], [16], [17].

Для забезпечення нормативних умов роботи передбачено такі технічні рішення заходів для зниження рівня шуму:

- використання віброізолюючих основ під електроприводи;
- застосування глушників шуму на повітропроводах і компресорах;
- звукоізоляція стін і стелі;
- дотримання режиму профілактичного обслуговування механізмів;
- обмеження перебування персоналу біля гучного обладнання;
- на підприємстві забезпечений контроль рівня шуму та вібрації на робочих місцях один раз в рік.

У разі неможливості забезпечення допустимого рівня шуму виключно технічними засобами, передбачено використання засобів індивідуального захисту органів слуху: протишумових навушників або вкладишів [15], [17].

### 7.3.6. Виробничі вібрації

Вібрація як фактор виробничого середовища регламентується ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації», а також ДСТУ 12.1.012:2008 «Вібрація. Загальні вимоги по безпеці».

В умовах функціонування буферної ємності пастеризатора основним джерелом вібрації може бути електропривід насосу.

Для операторів та обслуговуючого персоналу в умовах автоматизованого керування через сенсорні або дистанційні панелі локальна вібрація зазвичай відсутня, або її рівень — мінімальний. Основну увагу приділяють загальній вібрації. Для забезпечення допустимого рівня вібрації у виробничому приміщенні передбачені наступні заходи [18], [19]:

- встановлення обладнання на віброізоляційні подушки;
- балансування обертових елементів насосів і мішалок;
- профілактичний технічний огляд обладнання;
- обмеження тривалості перебування персоналу в зонах підвищеної вібрації;
- використання дистанційного керування для мінімізації фізичного контакту з джерелами вібрації.

У разі перевищення допустимого рівня вібрацій, які не вдається усунути організаційними або технічними заходами, передбачено використання засобів індивідуального захисту (віброізолюючі рукавички, взуття) [18], [19].

### 7.3.7. Виробничі випромінювання

Регламентація допустимих рівнів виробничого випромінювання здійснюється згідно з ДГН 6.6.1-5.001-98 та ДСП 173-96.

У виробничих умовах буферної ємності пастеризатора відсутні джерела випромінювань, які могли б негативно впливати на персонал. У процесі не використовуються прилади чи обладнання, що могли б створювати будь-яке з видів випромінювання [20], [21]. Відповідно, показники цього фактору не перевищують природного фону.

Отже умови праці за цим параметром відповідають чинним санітарним нормам. Спеціальних захисних заходів для цього виду впливу не потребується.

## 7.4. Пожежна безпека

### 7.4.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Під час експлуатації технологічного обладнання, зокрема буферної ємності пастеризатора, ми передбачаємо низку заходів для запобігання виникненню пожежонебезпечних ситуацій. Ці заходи відповідають вимогам нормативних документів, таких як ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», ДСТУ EN ISO 19353:2017 «Запобігання пожежі та протипожежний захист» та НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Враховуючи характер технологічного процесу, наявність електричних компонентів та енергоживлення, основними джерелами потенційної пожежної небезпеки є коротке замикання в електрообладнанні, а також перегрівання електричних вузлів або електроприводів.

Для мінімізації цих ризиків та запобігання виникненню пожежі в системі автоматизації ми реалізуємо такі технічні рішення:

- Застосування автоматичних вимикачів та теплового захисту в колах живлення.
- Захисне заземлення всього електрообладнання, відповідно до вимог ПУЕ.
- Використання негорючих та важкогорючих матеріалів у конструкції корпусів електрошаф, прокладках кабелів і кріплень згідно з вимогами до вогнестійкості.
- Застосування кабелів із вогнетривкою ізоляцією та пониженою здатністю до поширення полум'я.
- Використання кабельних лотків із негорючих матеріалів та спеціальних ущільнень у місцях проходу через пожежні перешкоди.
- Обладнання електрощитів негорючими перегородками, що відповідають класу вогнестійкості EI 30 або вище.
- Зонування приміщень, що передбачає ізоляцію пожежонебезпечного обладнання для обмеження поширення вогню.
- Розроблено чіткі інструкції щодо роботи персоналу з вогневими роботами, доступ до яких отримується тільки за наряд-допуском.

### 7.4.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Для забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації обладнання та систем автоматизації буферної ємності пастеризатора передбачено комплекс технічних рішень, які відповідають чинним нормативним документам: ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» та ПУЕ.

Основна мета протипожежного захисту – виявлення та ліквідація загоряння на ранній стадії, а також недопущення його поширення на інші частини технологічного об’єкта.

До складу протипожежного захисту включено:

- Систему виявлення пожежі, що базується на встановленні автоматичних пожежних сповіщувачів (теплових або димових) у безпосередній близькості до електрощитів, кабельних трас та обладнання з підвищеним тепловиділенням.
- Систему оповіщення та управління евакуацією персоналу, яка забезпечує передавання сигналів тривоги за допомогою світлових та звукових засобів (сирен, сигнальних ламп).
- Можливість аварійного відключення енергоживлення, реалізовану за допомогою відповідних реле або ручних вимикачів на випадок виявлення займання.
- Монтаж первинних засобів пожежогасіння – вогнегасників типу ВВК-2 або ВП-5 – на доступних ділянках поблизу технологічного обладнання. Вони встановлюються відповідно до категорії приміщення та класу пожежної небезпеки обладнання.
- Підключення обладнання до автоматизованої системи оповіщення та пожежогасіння.

За потреби, система протипожежного захисту може бути інтегрована з АСУ ТП. Це дозволить виконувати автоматичне блокування обладнання при виникненні надзвичайної ситуації, сповіщати оператора через панель ПЛК та ініціювати дії персоналу згідно з інструкціями.

**Висновки:**

У сьомому розділі визначено критичне значення охорони праці при автоматизації буферної ємності пастеризатора, інтегруючи безпеку на всіх етапах - від проектування до повсякденної експлуатації.

Це передбачає глибокий аналіз потенційних небезпек, таких як підвищена температура, тиск, використання електроенергії, а також ризики, пов’язані з порушенням герметичності чи несправністю елементів. На основі цього аналізу розроблено комплексні технічні рішення, що спрямовані на виключення можливості травмування персоналу та запобігання аварійним ситуаціям.

Ці рішення охоплюють широкий спектр аспектів безпеки, які підкріплені відповідними нормативно-правовими актами України, такими як НПАОП 15.9-1.28-17, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.32-01 та інші, що гарантує їхню обґрунтованість і відповідність чинним нормам законодавства.

Таким чином, усі ці інтегровані заходи спільно забезпечують мінімізацію ризиків для персоналу та надійну, безпечну експлуатацію технологічного обладнання. Це підтверджує, що всебічна охорона праці є не просто вимогою, а ключовим елементом успішного та ефективного виробництва.

# РОЗДІЛ 8 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 8.1 Розрахунок і обґрунтування витрат на здійснення заходів для впровадження системи автоматизації

Для визначення витрат, пов’язаних із впровадженням розробленої системи автоматизації буферної ємності після пастеризатора, складається кошторис, що включає витрати на придбання та монтаж технічних засобів автоматизації, необхідних для реалізації відповідної схеми.

*Таблиця 8.1*

Кошторис витрат для впровадження системи автоматизації

| № п/п | Назва приладу | Тип приладу | К-ть, шт. | Вартість, грн | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Одиниці | Монтажу одиниці | Повна |
| 1 | Вимірювальний перетворювач тиску | Endress+Hauser Cerabar T PMP131-A1B01A1R | 4 | 6 250,00 | 1 875,00 | 26 875,00 |
| 2 | Електромагнітний витратомір | Endress+Hauser Promag 53H65-2N12/0 | 1 | 32 000,00 | 9 600,00 | 41 600,00 |
| 3 | Давач граничного рівня | Endress+Hauser Liquiphant FTL31-AA4U3BAWSJ | 2 | 5 700,00 | 1 710,00 | 13 110,00 |
| 4 | Перетворювач частоти | Danfoss VLT 2875PT4B20STR1DBF10 | 1 | 20 350,00 | 6 105,00 | 26 455,00 |
| 5 | Електромагнітний клапан | Festo CPE14-M1CH-5L-1/8 | 12 | 3 000,00 | 900,00 | 36 900,00 |
| 6 | Модуль блоку живлення | Phoenix Contact QUINT-PS/1AC/24DC/5 | 1 | 12 200,00 | 3 660,00 | 15 860,00 |
| 7 | Модуль центрального процесора | Unitronics Vision V570 | 1 | 41 150,00 | 12 345,00 | 53 495,00 |

*Продовження таблиці 8.1*

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | Модуль Snap-In | Unitronics V200-18-E5B | 1 | 11 200,00 | 3 360,00 | 14 560,00 |
| 9 | Інтерфейсний модуль | Unitronics EX-A2X | 1 | 3 250,00 | 975,00 | 4 225,00 |
| 10 | Модуль аналогових вхідних та вихідних сигналів | Unitronics IO-AI4-AO2 | 1 | 9 500,00 | 2 850,00 | 12 350,00 |
| | | | | | Разом, грн: | 245 430,00 |

Таким чином, загальна вартість впровадження системи автоматизації становить 245 430,00 грн, що охоплює вартість технічних засобів, а також витрати на їх монтаж і налаштування.

Окрім того, необхідно врахувати додаткові витрати:

25 000,00 грн — на транспортні витрати.

У підсумку загальна вартість впровадження системи автоматизації становить 270 430,00 грн.

Окрім цього, необхідно виконати розрахунок амортизаційних відрахувань. Амортизація представляє собою поступове перенесення вартості основних засобів на собівартість продукції, робіт або послуг протягом терміну їх експлуатації. Розрахунок здійснюється на основі балансової вартості обладнання, що використовується в системі автоматизації. За умови застосування річної норми амортизації у розмірі 20% від загальної вартості основних засобів, річна сума амортизаційних відрахувань становить 49 086,00 грн.

### 8.2 Розрахунок впливу автоматизації на техніко-економічні показники

Впровадження розробленої системи автоматизації керування буферною ємністю після пастеризатора сприятиме підвищенню ефективності роботи ділянки розливу пива, забезпечуючи стабільність технологічного процесу та відповідність вимогам до якості продукції.

Серед основних очікуваних техніко-економічних переваг впровадження системи можна виділити:

- підвищення стабільності подачі пива на розливну лінію за рахунок точного регулювання рівня та тиску в буферній ємності;

- зменшення втрат продукції внаслідок коливань тиску або раптових зупинок розливної лінії;
- зниження витрат на обслуговування, завдяки автоматичному режиму роботи і виявленню аварійних ситуацій на ранньому етапі;
- оптимізацію енергоспоживання, зокрема шляхом ефективного управління насосним обладнанням.

У результаті впровадження очікується:

- збільшення стабільної продуктивності розливу пива за рахунок зменшення часу простоїв на 9%;
- зменшення втрат продукту в середньому на 300 літрів/місяць, або 3 600 літрів/рік, що особливо важливо при виробництві великих обсягів;
- економія електроенергії за рахунок впровадження ПІД-регулятора насосу та раціонального режиму роботи буферної ємності – від 6% на рік.

Річна економія від впровадження автоматизації буферної ємності складає:

- економічний ефект ($E_{11}$) завдяки зменшенню втрат продукту, при собі вартості 18,32 грн/л становитиме:

$$E_{11} = 3\,600 \cdot 18{,}32 = 65\,952\ грн \quad (8.1)$$

- економічний ефект ($E_{12}$) за рахунок зменшення енергоспоживання завдяки впровадженню ПІД-регулятора та раціонального режиму роботи обладнання, при тарифній ставці 4,32 грн/кВт·год становитиме:

$$E_{12} = 60\,827{,}65 \frac{кВт}{рік} \cdot 0{,}06 \cdot 4{,}32 = 15\,766{,}50\ грн \quad (8.2)$$

- економічний ефект ($E_{13}$) за рахунок збільшення стабільності продуктивності розливу через зменшення часу простоїв становитиме, при продуктивності лінії 20 000 л/год, та маржі 2 грн на 1 л продукту :

$$E_{13} = 7\,920\,год \cdot 0{,}09 \cdot 20\,000 \cdot 2 = 28\,512\,000\,грн \quad (8.3)$$

Таким чином, загальний економічний ефект впровадження системи автоматизації керування буферною ємністю становить:

$$E_1 = E_{11} + E_{12} + E_{13} = 65\,952 + 15\,766{,}5 + 28\,512\,000 = 28\,593\,718{,}5\ грн \quad (8.4)$$

### 8.3 Розрахунок кількості основних працівників та їх щорічної заробітної плати

Внаслідок впровадження розробленої системи автоматизації буферної ємності після пастеризатора відбуваються зміни у штатній чисельності обслуговуючого персоналу. Якщо до автоматизації для обслуговування процесу було необхідно 8 працівників, то після її впровадження достатньо 4 осіб.

Враховуючи, що заробітна плата одного працівника становить 26 500,00 грн на місяць, економія на фонді оплати праці складе:

- Місячні витрати на заробітну плату до впровадження системи автоматизації становили:

$$З_{зд} = 26\,500 \cdot 8 = 212\,000\ грн \quad (8.5)$$

- Місячні витрати на заробітну плату після впровадження системи автоматизації становлять:

$$З_{зп} = 26\,500 \cdot 4 = 106\,000\ грн \quad (8.6)$$

- Місячна економія на заробітній платі:

$$E_{зм} = З_{зд} - З_{зп} = 212\,000 - 106\,000 = 106\,000\ грн \quad (8.7)$$

- Річна економія на оплаті праці становитиме:

$$E_2 = 106\,000 \cdot 12 = 1\,272\,000\ грн \quad (8.8)$$

Таким чином, сумарна економія коштів у результаті впровадження системи автоматизації становить:

$$E_c = E_1 + E_2 = 28\,593\,718{,}5 + 1\,272\,000 = 29\,865\,718{,}50\ грн \quad (8.9)$$

де: $E_1$ – річна економія коштів за використання електроенергії, збільшення продуктивності та зменшення втрат продукції;

$E_2$ – річна економія на оплаті праці працівників.

### 8.4 Розрахунок експлуатаційних витрат на автоматизацію

1. Енергозатрати на живлення технічних засобів автоматизації.

У цьому підпункті виконано розрахунок встановленої потужності обладнання, що використовується для реалізації запропонованої системи автоматизації, а також визначено загальне електроспоживання системи.

*Таблиця 8.2*

Розрахунок максимального споживання електроенергії системою автоматизації

| № п/п | Тип приладу | Встановлена потужність, Вт | К-ть, шт. | Загальна встановлена потужність, Вт | К-кість годин роботи на рік, год. | Витрати електроенергії в рік, кВт·год |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Endress+Hauser Cerabar T PMP131-A1B01A1R | 0,8 | 4 | 3,2 | 7 920 | 25,34 |
| 2 | Endress+Hauser Promag 53H65-2N12/0 | 15 | 1 | 15 | 7 920 | 118,8 |
| 3 | Endress+Hauser Liquiphant FTL31-AA4U3BAWSJ | 0,85 | 2 | 1,7 | 7 920 | 13,46 |
| 4 | Danfoss VLT 2875PT4B20STR 1DBF10 | 7500 | 1 | 7500 | 7 920 | 59 400,00 |
| 5 | Festo CPE14-M1CH-5L-1/8 | 1,28 | 12 | 15,36 | 7 920 | 121,65 |
| 6 | Phoenix Contact QUINT-PS/1AC/24DC/5 | 145 | 1 | 145 | 7 920 | 1 148,4 |
| 7 | Unitronics Vision V570 | 0 | 1 | 0 | 7 920 | 0 |
| 8 | Unitronics V200-18-E5B | 0 | 1 | 0 | 7 920 | 0 |
| 9 | Unitronics EX-A2X | 0 | 1 | 0 | 7 920 | 0 |
| 10 | Unitronics IO-AI4-AO2 | 0 | 1 | 0 | 7 920 | 0 |
| | | | | | Разом, кВт·год: | 60 827,65 |

Таким чином, витрати на електроенергію, необхідну для роботи модернізованої системи автоматизації, становитимуть:

$$З_1 = 60\,827{,}65 \cdot 4{,}32 = 262\,775{,}45\ грн \quad (8.10)$$

2. Відрахування на амортизацію обладнання:

$$З_2 = 49\,086{,}00\ грн$$

3. Витрати, пов'язані з обслуговуванням і ремонтом установки:

$$З_3 = 8\,000\ грн$$

4. Витрати на забезпечення охорони праці та дотримання техніки безпеки:

$$З_4 = 22\,000\ грн$$

У підсумку, загальний обсяг експлуатаційних витрат становить:

$$З_Е = З_1 + З_2 + З_3 + З_4 = 262\,775{,}45 + 49\,086 + 8\,000 + 22\,000 = 341\,861{,}45\ грн \quad (8.11)$$

### 8.5 Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

1. Річний економічний ефект визначаємо за формулою:

$$Е_р = Е_{заг} - К \cdot Е_Н = 29\,523\,857{,}05 - 245\,430 \cdot 0{,}15 = 29\,487\,042{,}60\ грн \quad (8.12)$$

де: $Е_{заг}$ – сумарна умовно-річна економія, отримана завдяки різним джерелам, яка розраховується за наступною формулою:

$$Е_{заг} = Е_с - З_Е = 29\,865\,718{,}50 - 341\,861{,}45 = 29\,523\,857{,}05\ грн \quad (8.13)$$

де: Ес – економія за рахунок і-го джерела (витрат, матеріалів, зарплати);

К – капітальні витрати на автоматизацію (згідно кошторису);

$Е_Н$ – коефіцієнт ефективності ($Е_Н$ = 0,15);

$З_Е$ – експлуатаційні витрати на автоматизацію.

2. Термін окупності впровадження системи автоматизації:

$$Т_{ок} = \frac{К}{Е_{заг}} = \frac{245\,430}{29\,523\,857{,}05} = 0{,}0083\,(роки) \approx 3\ дні \quad (8.14)$$

3. Коефіцієнт економічної ефективності:

$$Е = \frac{1}{Т_{ок}} = \frac{1}{0{,}0083} = 120{,}48 \quad (8.15)$$

Ключові техніко-економічні показники реалізації запропонованої системи автоматизації буферної ємності пастеризатора наведено в таблиці 8.3.

*Таблиця 8.3*

Основні техніко-економічні показники впровадження системи автоматизації

| № п/п | Показник | Одиниці | Величина |
|---|---|---|---|
| 1 | Витрати на автоматизацію | грн. | 245 430,00 |
| 2 | Чисельність працівників | чол. | 4 |
| 3 | Фонд оплати праці | грн. | 1 272 000,00 |
| 4 | Річний економічний ефект | грн. | 29 487 042,60 |
| 5 | Термін окупності | дні | 3 |
| 6 | Коефіцієнт економічної ефективності | - | 120,48 |

**Висновки:**

У восьмому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи здійснено обґрунтування економічної доцільності впровадження спроектованої системи автоматизації буферної ємності пастеризатора.

Проведено розрахунки загального кошторису витрат на впровадження системи, визначено економію коштів, пов’язану з її використанням, обсяг фонду оплати праці обслуговуючого персоналу, річний економічний ефект, строк окупності та коефіцієнт економічної ефективності.

Результати аналізу свідчать про отримання позитивного економічного ефекту, при цьому строк окупності впровадження становить близько 3 днів.

Таким чином, можна зробити висновок, що реалізація розробленої системи автоматизації буферної ємності пастеризатора є економічно обґрунтованою та доцільною.

# ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано проектування системи автоматизації буферної ємності пастеризатора у виробництві пива на ПрАТ «Carlsberg Ukraine». Зокрема виконано аналіз технологічного процесу з точки зору реалізації автоматизованої системи. Визначено функціональні ознаки автоматизації технологічного процесу та побудовано схему взаємозв'язків між ними та координати керування.

В розділі 3 проведено вибір технічних засобів автоматизації для реалізації системи автоматизації технологічного процесу в буферній ємності пастеризатора. В якості головного керуючого пристрою застосовано мікропроцесорний програмований засіб автоматизації серії V570 виробництва компанії Unitronics, який окрім функції керування може виконувати функції людино-машинного інтерфейсу за допомогою вбудованої сенсорної багатоколірної HMI-панелі.

В четвертому розділі виконано розробку функціональної схеми автоматизації розгорнутим способом та описано її.

В п'ятому розділі описано процедуру розробки програми функціонування системи керування та людино-машинного інтерфейсу схеми автоматизації в програмному середовищі VisiLogic.

В шостому розділі виконано розробку схем електричних з'єднань засобів автоматизації та здійснено їх опис.

У розділі з охорони праці проаналізовано потенційні небезпеки, притаманні автоматизації даного об'єкта, і запропоновано комплекс технічних заходів, спрямованих на підвищення безпеки.

В економічній частині проведено оцінку доцільності впровадження розробленої системи. Виконано розрахунок загальних витрат, економічного ефекту, фонду заробітної плати персоналу, терміну окупності та коефіцієнта економічної ефективності. Результати розрахунків свідчать про отримання значного позитивного ефекту – строк окупності впровадження становить близько трьох днів.

# СПИСОК ДЖЕРЕЛ І ПОСИЛАННЯ

1. Кунце В. Технологія солоду та пива. VLB BERLIN, 2001. – 883 с.

2. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації» для студентів бакалаврського (першого) рівня вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укл. І.В.Костик, В.О.Джигирей – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2023.

3. Vision570™ - програмований логічний контролер + вбудований елегантний HMI. Електронний ресурс. URL: https://www.unitronicsplc.com/vision-series-visi on570.

4. Модулі введення/виведення та COM. Електронний ресурс. URL: https://www.unitronicsplc.com/io-expansion-modules/.

5. Первинний вимірювальний перетворювач тиску типу Cerabar T PMP131. Електронний ресурс. URL: https://www.eus.endress.com/en/field-instruments-overview/pressure/Absolute-gauge-Cerabar-PMP131.

6. Вібраційний давач граничного рівня типу Liquiphant FTL31. Електронний ресурс. URL: https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/level-measurement/Vibronic-level-Liquiphant-FTL31.

7. Перетворювач частоти Danfoss VLT серії 2800. Електронний ресурс. URL: https://files.danfoss.com/download/Drives/MG28M204.pdf.

8. Електромагнітний витратомір типу Promag 53H. Електронний ресурс. URL: https://www.fr.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measu rement-pro duct-overview/electromagnetic-flowmeter-promag-53h .

9. Електромагнітний клапан Festo CPE14-M1BH-5L-1/8. Електронний ресурс. URL: https://www.festo.com/at/en/a/196941/.

10. Львіварня. Електронний ресурс. URL: https://lvivarnya.com.ua/lvivske

11. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ Мінохорони України 1999.

12. Розрахунок систем вентиляції. Методичні вказівки до виконання практичної роботи для студентів інженерно-технічних спеціальностей. Укладачі:

С.С.Левуш, В.П,Скачко – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 21 с.

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

14. ДБН В.2.5-28:2018. Природне та штучне освітлення. К., Мінрегіон України, 2018.

15. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій будинків і споруд від шуму. К., Мінрегіон України, 2013.

16. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів.

17. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

18. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

19. ДСТУ 12.1.012:2008 «Вібрація. Загальні вимоги по безпеці».

20. ДГН 6.6.1-5.001-98 Державні гігієнічні нормативи. Норми радіаційної безпеки (НРБУ-97).

21. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів.

22. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.

23. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Наказ № 272 Мінпраці України;