

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**  
**Факультет комп'ютерних наук**  
**Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій**

**ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ**  
В.о. завідувача кафедри АКІТ,  
кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ М. І. Сіделєв  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА**  
на тему: **«Система автоматизації насосної станції  
водопостачання комерційного підприємства»**

**Пояснювальна записка**

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

151 – МНР – 671.22257111

Студент \_\_\_\_\_ Бенюх В.В.

Керівник \_\_\_\_\_ Сіделєв М.І.

Консультант \_\_\_\_\_ Григор'єва Л.І.  
(дата)

Миколаїв – 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чорноморський національний університет ім. Петра Могили**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення: Комп'ютерних наук  
Кафедра, циклова комісія: Автоматизація та КІТ  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: рівень вищої освіти другий (магістр)

Напрямок підготовки 151 «Автоматизація та приладобудування»  
(шифр і назва)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В. о. завідувача кафедри, голова циклової комісії**

Сіделєв М. І. \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ НАУКОВУ РОБОТУ**

Бенюха Валерія Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

«Система автоматизації насосної станції водопостачання комерційного підприємства»

Керівник проекту (роботи) кандидат технічних наук, доцент

Сіделєв Микола Іванович

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р. № \_\_\_\_

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 17.06.2024р

3. Вихідні дані до проекту (роботи): загальна проблема підвищення ефективності керування насосними станціями водопостачання шляхом зменшення трудомісткості та собівартості, за рахунок впровадження інноваційних рішень при застосуванні систем автоматизованого керування (САК) в ході комплексної модернізації насосних станцій водопостачання, Технічне завдання від комерційного підприємства, якому підпорядковується насосна станція, результати обстеження стану насосної станції та її технологічного обладнання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): провести пошук існуючих рішень при проектуванні САК насосних станцій водопостачання, визначити найбільш ефективні рішення в

Україні і світі. Розробити комплект документації та програмне забезпечення для реалізації спроектованої САК в процесі модернізації насосної станції водопостачання комерційним підприємством. Розробити модель насосного агрегату, продуктивність якого регулюється зміною частоти напруги живлення та провести тестування розробленої моделі при різних частотах напруги живлення на предмет відповідності моделі характеристикам реального насосного агрегату та стійкості значень подачі та напору в процесі керуючого впливу частотного перетворювача.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Принципова гідравлічна схема насосної станції водопостачання;
2. Структурна схема САК насосної станції водопостачання;
3. Функціональна схема автоматизації насосної станції водопостачання;
4. Електрична принципова схема САК насосної станції водопостачання;
5. Блок-схема алгоритму програми для керування насосною станцією та моніторингу поточної обстановки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Сідєлев М.І. к-т техн. наук, доцент	12.10.2023р	
2	Сідєлев М.І. к-т техн. наук, доцент	03.01.2024р	
3	Сідєлев М.І. к-т техн. наук, доцент	03.04.2024р	
4	Григор'єва Л.І., професор кафедри екології	09.04.2024р	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2023р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження пропозицій теми від керівника	20.09.2023р	
2	Обговорення із студентом затвердженої теми	02.10.2023р	
3	Формування завдання	12.10.2023р	
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	01.11.2023р	
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	15.11.2023р	
6	Виконання першої частини	01.12.2023р	
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	29.12.2023р	
8	Передзахист першої частини	26.01.2024р	
9	Опрацювання другої частини	01.03.2024р	
10	Робота над третьою частиною	05.04.2024р	
11	Робота над розділом з охорони праці	20.05.2024р	
12	Передзахисти	03.06.2024р	
13	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	17.06.2024р	

\*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Студент \_\_\_\_\_ **Бенюх В.В.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Керівник проекту (роботи)**

\_\_\_\_\_ **Сіделев М.І.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної магістерської роботи «Система автоматизації насосної станції водопостачання комерційного підприємства» студента групи 671 Бенюха Валерія Володимировича

**Актуальність теми** – автоматизація керування технологічним обладнанням насосних станцій є важливою складовою процесу модернізації систем водопостачання. Відсутність автоматизації або її низький рівень призводить до нерационального використання електроенергії, нерівномірного навантаження насосних агрегатів, неможливості оперативно реагувати на зміни в системі в реальному часі, до виникнення аварій та до збільшення витрат на обслуговування та ремонт.

**Мета даної роботи** є підвищення ефективності, надійності та стійкості системи водопостачання.

**Об'єктом дослідження** є технології подачі води в централізованій системі водопостачання міста.

**Предметом дослідження** є система автоматизованого керування технологічним обладнанням насосної станції водопостачання.

Основна частина складається з наступних розділів:

- стан, тенденції розвитку автоматизації насосних станцій водопостачання, аналіз існуючих рішень методів керування та постановка завдання на проектування;
- конструкторські, схемотехнічні та алгоритмічні рішення для реалізації САК та розробка програмного забезпечення;
- розробка математичної моделі насосного агрегату, її дослідження та аналіз результатів.

В спеціальній частині дипломної роботи з «Охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях» розглянуто умови праці та заходи щодо цивільного захисту під час надзвичайної ситуації при експлуатації насосної станції, що потребує атоматизації.

Для забезпечення комфортного світлового клімату був виконаний відповідний розрахунок системи штучного освітлення приміщень насосної станції. Застосування результатів даного розрахунку при модернізації системи освітлення забезпечить будівлю повноцінним якісним освітленням.

Магістерська робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальна кількість сторінок – 118 таблиць - 1, рисунків – 79, додатків - 5.

## ANNOTATION

to the master's thesis "Automation System for a Water Supply Pumping Station of a Commercial Enterprise" by student of group 671 Beniukh Valerii

Volodymyrovych

**Relevance of the topic** – automation of the control of technological equipment of pumping stations is an important component of the modernization process of water supply systems. The lack of automation or its low level leads to inefficient use of electricity, uneven loading of pump units, inability to promptly respond to changes in the system in real-time, emergencies, and increased maintenance and repair costs.

**The purpose** of this work is to improve the efficiency, reliability, and stability of the water supply system.

**The object of the study** is the technologies of water supply in the centralized water supply system of the city.

**The subject of the study** is the automated control system of the technological equipment of the water supply pumping station.

The main part consists of the following sections:

- The state and development trends of the automation of water supply pumping stations, analysis of existing control methods, and task setting for the design;
- Design, circuit, and algorithmic solutions for implementing the ACS and software development;
- Development of a mathematical model of the pump unit, its study, and analysis of the results.

In the special part of the diploma work on "Labor Protection and Safety in Emergency Situations," the working conditions and measures for civil protection during an emergency at the pumping station, which requires automation, are considered.

To ensure a comfortable light climate, a corresponding calculation of the artificial lighting system for the pumping station premises was performed. The

application of the results of this calculation during the modernization of the lighting system will provide the building with complete quality lighting.

The master's thesis consists of an annotation, introduction, four chapters, conclusions, and a list of references with 17 titles. The total number of pages – 118, tables – 1, figures – 79, appendices – 5.



## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1 СТАН, ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ВОДОПОСТАЧАННЯ, АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ .....	7
1.1 Стан і тенденції розвитку систем автоматизованого керування насосними станціями водопостачання.....	7
1.2 Загальні відомості про насосні станції та їх технологічне обладнання для перекачування води.....	9
1.3 Огляд та аналіз існуючих методів керування насосними станціями водопостачання.....	14
1.4 Огляд патентної інформації та технічної літератури .....	20
1.4.1 Телеметрична система керування проміжними насосними станціями STSP.....	20
1.4.2 Керування насосами для покращення енергоефективності .....	25
1.4.3 Автоматизована система керування насосною станцією .....	29
1.5 Завдання на проектування.....	32
1.5.1 Опис стану діючої насосної станції водопостачання як об'єкта для автоматизації .....	32
1.5.2 Технічне завдання на автоматизацію насосної станції від..... комерційного підприємства, до якого вона належить .....	39
1.5.3 Завдання на проектування.....	40
1.6 Висновки до розділу 1 .....	41
2 КОНСТРУКТОРСЬКІ, СХЕМОТЕХНІЧНІ ТА АЛГОРИТМІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ САК ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	43
2.1 Вибір алгоритму керування насосними агрегатами з використання частотних перетворювачів .....	43
2.2 Розробка гідравлічної принципової схеми насосної станції з урахуванням вимог Технічного завдання на автоматизацію.....	47
2.3 Структура САК насосної станції водопостачання.....	48
2.4 Вибір та опис засобів автоматизації для реалізації САК.....	50
2.5 Функціональна схема автоматизації насосної станції водопостачання	73

2.6	Схема електрична принципова насосної станції водопостачання .....	74
2.7	Блок-схема алгоритму програми для керування насосною станцією та моніторингу поточної обстановки.....	75
2.8	Розробка програмного забезпечення для керування насосною станцією водопостачання .....	77
2.9	Висновки до розділу 2 .....	87
3	РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ, ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	89
3.1	Розробка блоку, що описує роботу відцентрового насосу .....	89
3.2	Розробка блоку, що описує роботу асинхронного двигуна.....	94
3.3	Висновки до розділу 3 .....	97
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	99
4.1	Охорона праці в виробничому приміщенні насосної станції.....	100
	водопостачання комерційного підприємства міста.....	100
4.1.1	Опис виробничого приміщення насосної станції.....	100
	водопостачання та аналіз небезпечних факторів.....	100
4.1.2	Розрахунок штучного освітлення в будівлі насосної станції водопостачання .....	102
4.2	Заходи та рекомендації для забезпечення персоналу станції водопостачання у випадку надзвичайних ситуацій.....	109
4.2.1	Організаційні заходи для забезпечення персоналу насосної станції при надзвичайних ситуаціях .....	109
4.2.2	Опис рекомендованих дій для персоналу насосної станції при виникненні надзвичайних ситуацій .....	111
4.3	Висновки до розділу 4 .....	114
	ВИСНОВКИ.....	115
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	117
	ДОДАТОК А.....	119
	ДОДАТОК Б .....	120
	ДОДАТОК В.....	121
	ДОДАТОК Г .....	125
	ДОДАТОК Д.....	128

## ВСТУП

В даний час багато підприємств, включаючи ті, що мають в своєму підпорядкуванні насосні станції водопостачання, розглядають можливості впровадження автоматизованих алгоритмів керування. Це вже стало практикою для багатьох в першу чергу комерційних підприємств у цій сфері, які використовують різноманітні системи автоматизованого керування технологічним обладнанням. Проте, ефективність та якість рішень завжди залишаються предметом обговорення через різноманітність ситуацій та потреб.

**Актуальність** автоматизації у цій сфері важко переоцінити. Відсутність автоматизації або її низький рівень призводить до нераціонального використання електроенергії, нерівномірного навантаження насосних агрегатів, небажаних за своїм нерівномірним та інерційним характером перехідних процесів, неможливості оперативно реагувати на зміни в системі в реальному часі, до виникнення аварій та до збільшення витрат на обслуговування та ремонт.

В цілому, автоматизація насосних станцій водопостачання сприяє підвищенню тривалості їх експлуатації та уникненню аварій, підвищує надійність та стабільність водопостачання, а також знижує різноманітні витрати, включаючи операційні, експлуатаційні та витрати електроенергії, забезпечує ефективне управління технологічними процесами.

**Об'єктом** дослідження в даній роботі є діюча насосна станція підвищення тиску холодної води в системі водопостачання житлового масиву відносно тиску води, що подається до насосної станції з централізованої системи водопостачання міста.

Такі станції зазвичай мають кілька насосних агрегатів, які включені паралельно один відносно іншого. Насосні агрегати залежно від ситуацій та поточних потреб вимагають забезпечення їхньої злагодженої роботи, рівномірного розподілу моторесурсу та плавного переходу між різними режимами їх спільного застосування. Ця проблема залишається актуальною

для більшості насосних станцій, управління якими побудовано на основі застарілих та неефективних методів.

**Предметом** дослідження в даній роботі є технології подачі води в централізованій системі водопостачання міста.

**Мета** роботи полягає у підвищенні ефективності, надійності та стійкості системи водопостачання за рахунок впровадження автоматизованого управління насосною станцією шляхом застосування сучасних та іноваційних рішень.

Для досягнення цієї мети я планую розробити САК насосною станцією, яка буде враховувати гідроенергетичні характеристики насосних агрегатів, алгоритм їх спільної роботи, параметри системи водопостачання, дослідити роботу САК на основі розробленої математичної динамічної моделі та оцінити на її основі ефективність САК.

В контексті поставленої мети в ході роботи необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Обстеження насосної станції та аналіз її поточного технічного стану для визначення необхідного об'єму її автоматизації.
2. Визначення концепції САК на основі найбільш ефективного способу керування насосними агрегатами станції для підтримання заданого тиску води в системі водопостачання житлового масиву.
3. Розробка завдання на проектування САК насосної станції на основі результатів аналізу її поточного стану, вибраної концепції САК та технічного завдання від комерційного підприємства, якому підпорядковується насосна станція.
4. Розробка САК відповідно до вимог завдання на проектування.
5. Розробка математичної моделі САК насосною станцією.
6. Дослідження математичної моделі в середовищі застосунку Matlab/Simulink.
7. Аналіз та інтерпретація результатів дослідження моделі, оцінка ефективності САК.

8. Розробка програмного забезпечення для моніторингу і керування насосною станцією.
9. Визначення заходів безпеки та вимог з охорони праці при експлуатації насосної станції.

# **1 СТАН, ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ВОДОПОСТАЧАННЯ, АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ**

## **1.1 Стан і тенденції розвитку систем автоматизованого керування насосними станціями водопостачання**

Аналіз трендів розвитку систем автоматизації процесів водопостачання показує, що актуальною є проблема збереження енергії. Насосні станції є основними споживачами електроенергії у системах водопостачання, і кожен розробник автоматизованих систем вирішує цю проблему згідно з власним досвідом. Однак недостатній рівень автоматизації вітчизняних систем водопостачання є головною перешкодою для впровадження енергозберігаючих технологій. Існують два підходи до автоматизації процесів водопостачання: оптимальне диспетчерське управління абонентськими гідромережами та автоматизоване управління насосним устаткуванням. На сьогодні загальні принципи побудови енергозберігаючих систем управління водопостачанням ще не розроблені але вже зараз очевидно, що треба використовувати системний підхід для ефективного вирішення проблеми енергозбереження при автоматизації процесів водопостачання за допомогою нових засобів комп'ютерної техніки та інформаційних технологій управління.

Аналіз трендів розвитку систем автоматизації процесів водопостачання свідчить про те, що питання енергозбереження набуває наразі особливої важливості. У експлуатаційних витратах систем водопостачання основними споживачами електроенергії є насосні станції другого рівня. Кожен розробник систем автоматизації насосних станцій розв'язує проблему енергозбереження з врахуванням власного досвіду.

Одним з ключових чинників, що гальмують впровадження енергозберігаючих технологій у водопостачанні, є низький рівень

автоматизації технологічних процесів у вітчизняних системах водопостачання. При створенні систем автоматизації водопостачання застосовуються два підходи. Перший спрямований на оптимальне диспетчерське управління процесом водопостачання абонентських гідромереж, а другий - на автоматизоване управління насосним устаткуванням.

У системах комунального водопостачання спостерігаються добові, тижневі та сезонні коливання водоспоживання, що призводить до того, що робочі режими насосних агрегатів виходять за межі їхніх характеристик. Це вимагає регулювання подачі та тиску (напору) насосних агрегатів. Традиційні методи регулювання насосних агрегатів, які полягають у дроселюванні напірних ліній та зміні кількості працюючих насосних агрегатів, майже не враховують енергозберігаючі аспекти транспортування води.

На сьогоднішній день основною тенденцією в енергозбереженні у водопостачанні є використання регульованих електроприводів. Якість алгоритмів управління, рівень автоматизації та енергозберігаючі можливості систем управління значною мірою залежать від наявності електроприводу насосів, які можна регулювати.

Сучасні системи автоматизації водопостачання обладнані всіма необхідними датчиками та засобами контролю технологічних параметрів. Тому є всі підґрунтя для створення автоматизованих систем енергозберігаючого управління технологічним обладнанням насосних станцій.

Зниження енергоспоживання у системах водопостачання можливе, зокрема, за рахунок вдосконалення методів управління та використання сучасних інформаційних технологій [1].

## **1.2 Загальні відомості про насосні станції та їх технологічне обладнання для перекачування води.**

Насосні станції представляють собою складний технічний комплекс, що об'єднує електрогідравлічні споруди та обладнання. Вони забезпечують перетворення електричної енергії на механічну енергію руху рідини та керують цим процесом.

Класифікація насосних станцій є досить обширною, вона залежить від різних факторів, таких як сфера застосування, конструкція, технологічні вимоги, особливості монтажу та інші.

За призначенням насосні станції можуть бути:

- 1) водопровідні: для перекачування холодної або гарячої чистої води;
- 2) каналізаційні: для перекачування стоків на очисні споруди;
- 3) дренажні: для видалення надлишкової рідини з ґрунту.

Залежно від розташування в загальній схемі системи водопостачання та їхнього призначення розрізняють наступні типи насосних станцій:

- 1) насосні станції першого підйому призначені для перенесення води з джерела водопостачання на очисні споруди або, якщо очищення не потрібне, безпосередньо в мережу чи резервуари споживача;
- 2) насосні станції другого підйому використовуються для перенесення очищеної води з резервуарів чистої води у водопровідні системи або розподільну мережу;
- 3) циркуляційні насосні станції використовуються в системах водопостачання промислових підприємств та теплових електростанцій для циркуляції води.
- 4) підвищувальні насосні станції (станції підкачки) призначені для збільшення напору в мережах окремих районів міста або на окремих ділянках районних водопроводів. Вони забирають воду з водопровідних систем або розподільної мережі.



Саме для стабілізації тиску води в багатоповерхових будинках, підключених до центрального водопроводу, застосовують підвищувальні насосні станції (станції підкачки). Вони допомагають вирішити проблему слабого чи нестабільного тиску холодної або гарячої води, яка виникає через зміни в споживанні води протягом дня, коли водопровідна система не в змозі впоратися зі стрімким збільшенням використання. Особливо великі незручності спостерігаються в години пік, коли одночасно відкриваються крани у багатьох квартирах. Ці насосні станції зазвичай встановлюються в житловому масиві поруч з висотними будинками. Вони забезпечують нормальний тиск води у кранах квартир на верхніх поверхах.

В залежності від рівня надійності відрізняють такі категорії насосних станцій:

- 1) перша категорія – передбачає, що перерви у роботі насосів не допускаються ( для спеціальних виробництв, господарських та пожежних систем);
- 2) друга категорія – дозволяє короткострокові перерви в роботі насосів для активації резервної установки;
- 3) третя категорія – передбачає можливість перерви у подачі води у разі аварійної зупинки, проте не більше одного дня.

Залежно від конструктивних особливостей та умов облаштування виділяють:

- 1) наземні;
- 2) напівзаглиблені (3-4м);
- 3) заглиблені або шахтні (~8м).

Крім того, станції можуть різнитися за розміщенням обладнання та характером управління. Адміністрування насосною станцією має забезпечувати її просту та надійну роботу. Вибір режиму керування залежить від типу станції та її розташування. Розрізняють наступні режими керування:

- 1) ручне керування – оператори прямо керують запуском та контролюють роботу насосних агрегатів;

- 2) автоматичне керування– на основі даних датчиків рівня води у резервуарах, тиску у трубопроводах та використання води система автоматично керує процесом;
- 3) напівавтоматичний керування – оператор встановлює початкові умови, після чого робота відбувається автоматично;
- 4) дистанційне керування – здійснюється з диспетчерської за межами насосної станції.

При проектуванні вибирається метод керування на основі результатів обстеження насосної станції, їх аналізу та вимог Технічного завдання.

Залежно від характеру основного обладнання насосні станції поділяються на:

- 1) станції з осьовими й діагональними горизонтальними або вертикальними насосами;
- 2) станції з об'ємними насосами;
- 3) станції з водопідіймачами різних типів;
- 4) станції з відцентровими горизонтальними або вертикальними насосами.

Найбільшої популярності при облаштуванні насосних станцій набули відцентрові. Це пояснюється наступним:

- 1) низька вартість на одиницю напору або продуктивності;
- 2) високий ККД;
- 3) висока надійність та безвідмовність в роботі;
- 4) великою різноманітністю варіантів їх конфігурації;
- 5) простотою конструкції, високою ефективністю;
- 6) широким діапазоном значень подачі та напору;
- 7) відносно малою зміною значення напору в робочому діапазоні роботи насосоу при зміни подачі;
- 8) легкістю в експлуатації та обслуговуванні, низьким рівнем пульсацій в трубопроводі;

9) простотою паралельного та послідовного з'єднання насосів, що дозволяє легко масштабувати напір та подачу.

Конструкцію відцентрового насосу представлено на рисунку 1.1.

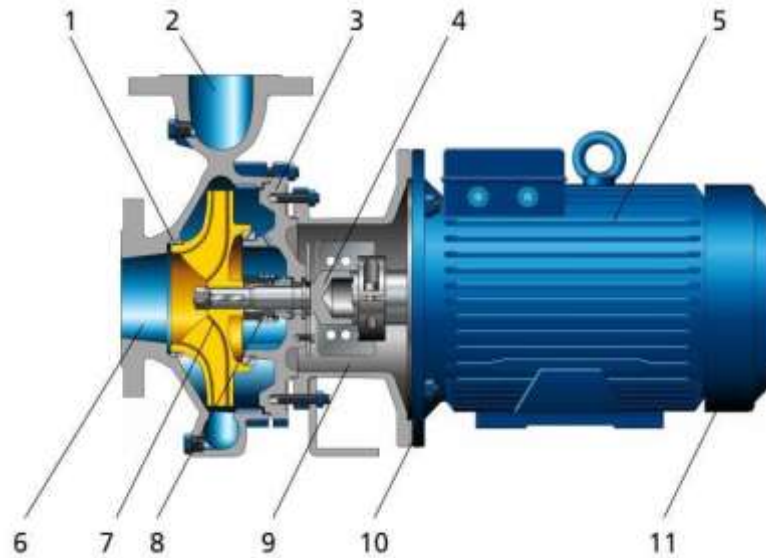


Рисунок 1.1 – Конструкція відцентрового горизонтального односекційного насосу.

- 1 – дроселюючий зазор; 2 – нагнітаючий патрубок;  
 3 – робоча камера; 4 – вал двигуна; 5 – корпус двигуна;  
 6 – всмоктуючий патрубок; 7 – робоче колесо;  
 8 – гідравлічний ущільнювач; 9 – піддон приводу;  
 10 – фланець монтажний; 11 – захисний кожух.

Робота відцентрового типу насоса відбувається за наступною схемою.

1) Рідина перебуває всередині камери, де знаходиться робоче колесо (колеса). Коли колесо починає обертатися, лопаті починають підхоплювати рідину, яка разом з ними починає рухатися.

2) Під час обертання сила відкидає рідину до стін камери, створюючи тиск, що призводить до виштовхування суміші через напірний патрубок.

3) Тим часом, коли біля стінок камери виникає надлишок тиску, у центрі утворюється зона з низьким тиском, що призводить до всмоктування нової порції рідини через патрубок.

Зовнішній вигляд горизонтальних одно- і багатосекційних відцентрових насосів приведено на рисунку 1.2 (відповідно 1.2а і 1.2б).



1.2а – Односекційний насос



1.2б – Багатосекційний насос

Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд горизонтальних відцентрових насосів

Зовнішній вигляд вертикальних одно- і багатосекційних відцентрових насосів приведено на рисунку 1.3 (відповідно 1.3а і 1.3б).



1.3а – Односекційний насос



1.3б – Багатосекційний насос

Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд вертикальних відцентрових насосів

Перевагу при проектуванні насосних станцій віддають вертикальним багатосекційним насосам через їх здатність досягати значних напорів при невеликих подачах. До того ж горизонтальні насоси суттєво економлять площу в приміщенні.

Основними характеристиками насосів являються:

- 1) Подача – об'єм води, що подається насосом в одиницю часу ( $Q$ , м<sup>3</sup>/год);
- 2) Напір – питома енергія, що передається насосом рідині вагою  $1\text{Н}$ , яка перекачується насосом ( $H$ , м.вод.ст.);
- 3) Напірно-витратна характеристика – графічне відображення залежності напору ( $H$ ) насосу від подачі ( $Q$ );
- 4) Робоча точка насосу – точка перетину кривих напірно-витратної характеристики та гідравлічної характеристики мережі (графічне відображення втрат напору в мережі від подачі);
- 5) Корисна потужність насосу – повна енергія, що передається рідині за одиницю часу ( $N_u = \rho g Q H$ , Вт);
- 6) Потужність на валу насосу – механічна потужність, що передається на вал ( $N_w = N_u / \eta$ , Вт);
- 7) ККД насосу – коефіцієнт корисної дії насосу ( $\eta = N_u / N_w$ , %);
- 8) Номінальний тиск насосу – найбільший надлишковий тиск води (при  $T_{\text{води}} = 20^\circ\text{C}$ ) при якому може довго працювати насос ( $P_N$ , бар);
- 9) Номінальний діаметр – внутрішній діаметр приєднувальних патрубків насосу ( $DN$ , мм) [5].

### **1.3 Огляд та аналіз існуючих методів керування насосними станціями водопостачання**

Керування насосними станціями водопостачання полягає в першу чергу в керуванні режимами роботи насосних агрегатів, а саме забезпеченні необхідного напору та подачі води в гідравлічній системі при зміні

гідравлічного опору різноманітних складових розподільчої мережі водопостачання, яка обслуговується насосною станцією.

Розрізняють чотири способи керування продуктивністю роботи насосних агрегатів:

- 1) дроселюванням;
- 2) рециркуляцією (байпасуванням);
- 3) зміною частоти обертання вала насосного агрегата;
- 4) застосуванням гідromуфт.

Для більш наочного пояснення процесів регулювання на нижче наведених рисунках будуть приведені графіки характеристик насоса та гідравлічної системи.

Під регулюванням насоса за допомогою дроселювання розуміють зміну опору гідравлічної системи за рахунок зміни положення відповідних заслінок тощо.

На рисунку 1.4 приведено графік, що ілюструє процес регулювання насоса за допомогою дроселювання.

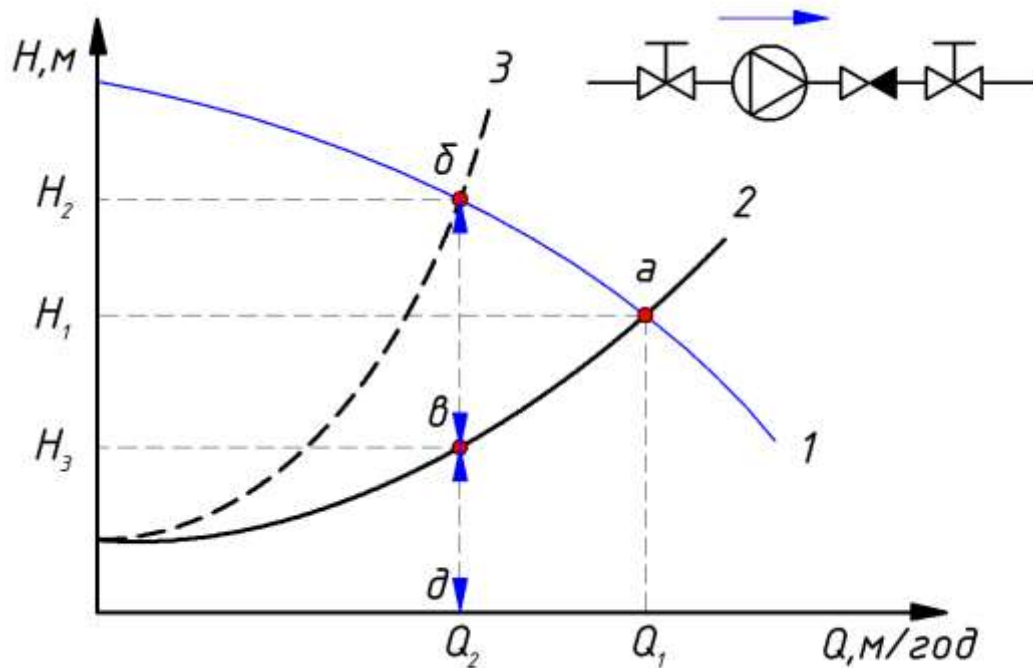


Рисунок 1.4 – Графічне відображення процесу регулювання насоса за допомогою дроселювання

Коли регулятори повністю відкриті і не змінюють положення характеристики гідравлічної системи, режим роботи насосу буде відповідати точці «а». Коли ж регулятор буде частково закрито, то опір в гідравлічній системі збільшиться, а значить збільшиться і напір насосу. При напорі режим роботи насосу вже буде відповідати точці «б». Але для того щоб забезпечувати подачу  $Q_2$  достатньо щоб насос забезпечував напір  $H_3$ . Та з графіку видно, що насос при подачі  $Q_2$  розвиває напір  $H_2$ , а значить має місце надлишковий напір  $H_{рд} = H_3 - H_2$ . Тобто мають місце втрати енергії, пов'язані з величиною дроселювання. Таким чином не затрачуючи значних коштів можна реалізувати керування продуктивністю насосною станцією але в подальшому будемо втрачати кошти на надлишкову електроенергію.

При регулюванні насосу за допомогою рециркуляції частина води зі сторони нагнітаючого патрубка насосу буде подаватися на вхід насосу, утворюючи паралельний насосу контур з низьким опором.

На рисунку 1.5 приведено графік, що ілюструє процес регулювання насосу за допомогою рециркуляції.

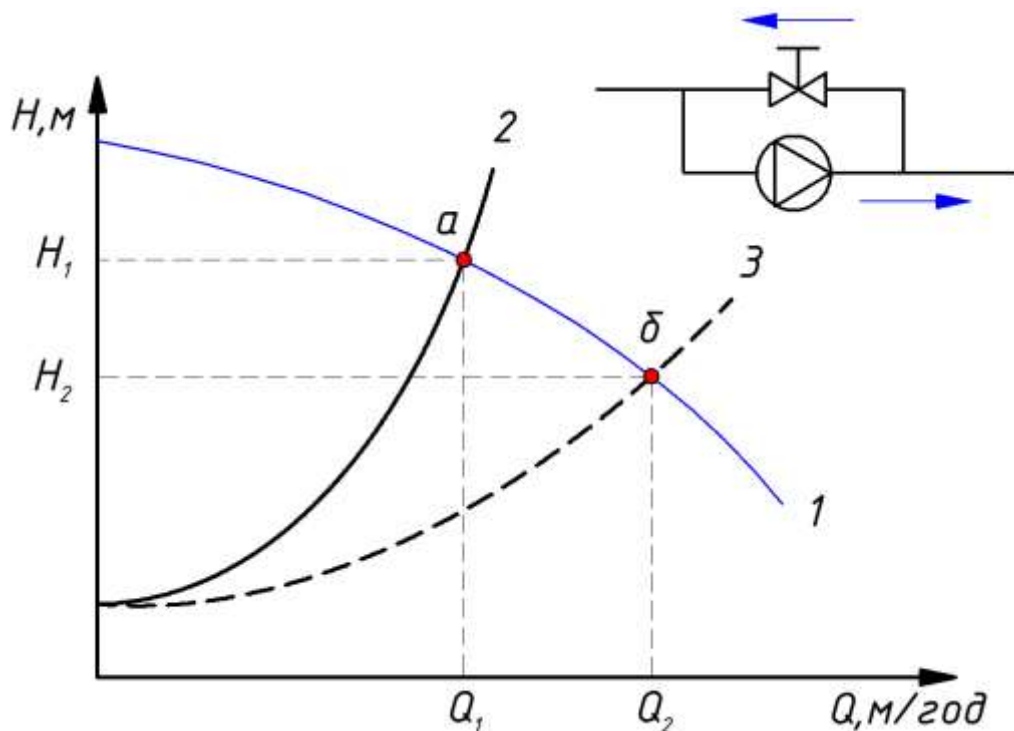


Рисунок 1.5 – Графічне відображення процесу регулювання насосу за допомогою рециркуляції

Як і на попередньому графіку режим роботи насосу при відсутньому регулюванні відповідає точці «а».

Відкриття заслінки регулятора на лінії рециркуляції збільшить витрату води через насос і згідно з його характеристикою знизить напір в гідравлічній системі, забезпечуючи зниження подачі води в мережу до необхідного значення.

Відкривання регулятора призводить до того, що насос вже працює на гідравлічну систему відмінну за своїми характеристиками від приєднаної до нього гідравлічної системи мережі водопостачання.

При постійному гідравлічному опорі мережі підтримання регулятором заданого напору, як і в попередньому варіанті регулювання забезпечує необхідну величину подачі у точці «б».

При рециркуляції мають місце додаткові затрати електроенергії, які пов'язані з перекачуванням додаткового об'єму води через лінію рециркуляції

$$Q_{\text{рец}} = Q_2 - Q_1.$$

При регулюванні параметрів насосу за допомогою зміни частоти обертання валу його електроприводу змінюються характеристика насосу майже не змінюючи форму графіку але змінюючи своє положення відносно характеристики, що відповідає номінальній частоті електроприводу насосу.

На рисунку 1.6 приведено графік, що ілюструє процес регулювання насосу зміни частоти обертання валу його електроприводу.



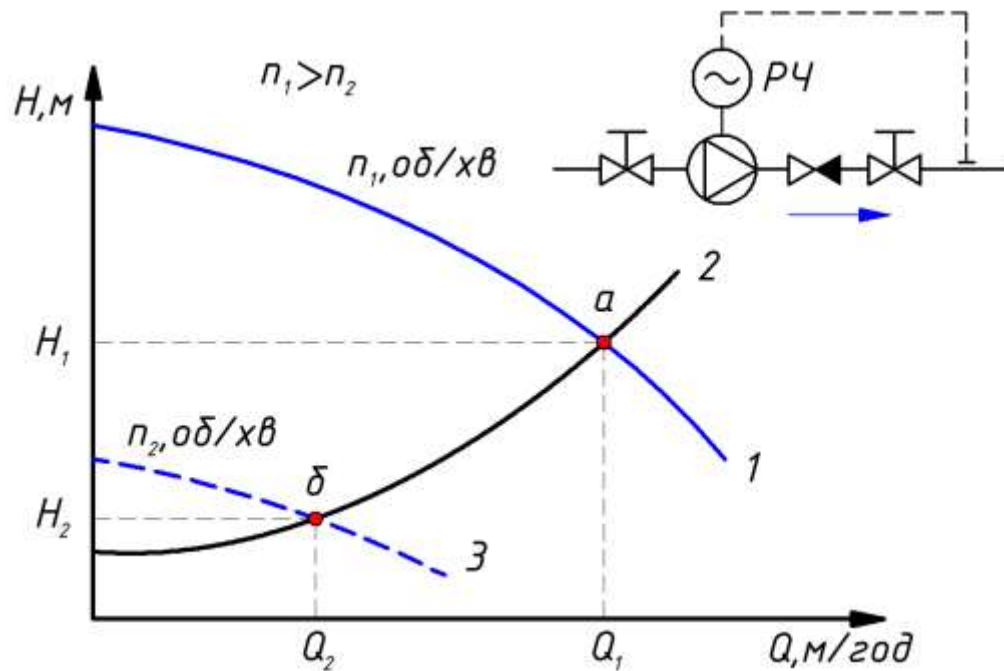


Рисунок 1.6 – Графічне відображення процесу регулювання насосу за допомогою зміни частоти обертання валу його електроприводу

Як видно на рисунку б, якщо не враховувати регулювання режиму роботи мережі та насоса, то вони відповідають точці "а", і подача води перевищує потрібне значення  $Q_2$ . Застосування частотного регулятора забезпечує зміну характеристики насоса таким чином, що її перетин з характеристикою мережі відповідає точці "б", в якій подача води в системі відповідає потрібному рівню. При цьому точка "б" знаходиться на новій характеристиці насоса (характеристиці при зниженій частоті до частоти  $n_2$ ), і втрати потужності на регулювання при цьому практично відсутні.

Регулювання насосом за допомогою гідromуфти забезпечує зміну числа обертів його робочого колеса (колес) без зміни частоти обертання валу електроприводу насоса. Конструкцію гідromуфти показано на рисунку 1.7.

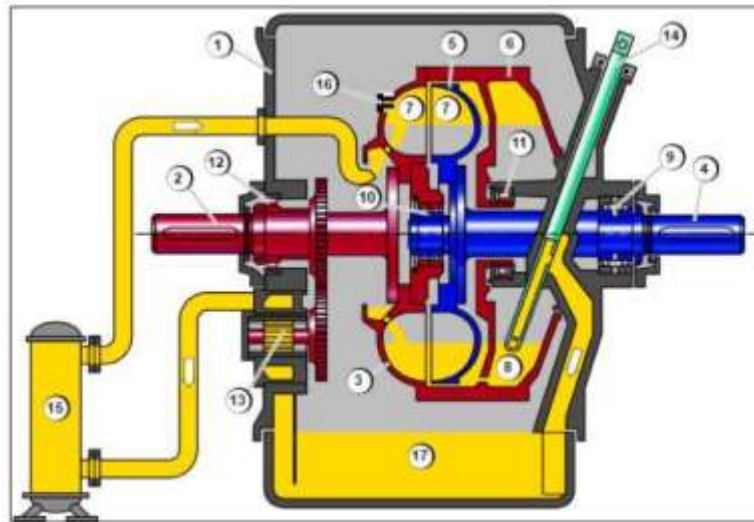


Рисунок 1.7 – Конструкція гідромуфти

Електродвигун приводить в рух первинне колесо 3 гідромуфти. Його потужність через первинне колесо передається робочому маслу. Масло, прискорюючись на першому колесі, отримує механічну його енергію, що перетворюється в енергію потоку. Після цього прискорений потік масла направляється на друге колесо 5, яке, виконуючи функцію турбіни, забирає на себе енергію потоку масла, набирає руху і знову перетворює її у механічну енергію. При максимальній кількості масла, що задіяна для передачі крутного моменту між колесами обидва колеса рухаються синхронно і частота обертання валу двигуна співпадає з частотою обертання робочого колеса насоса. При зменшенні – частота робочого колеса насоса зменшується із-за ефекту взаємного проковзування колес 3 і 5 між собою.

Регулювання насоса за допомогою гідромуфти економічно виправдано при застосованні для насосних станцій великого розміру. Наприклад для насосних агрегатів потужністю більше 500 кВт. Для малих і середніх насосних станцій водопостачання міста зазвичай такий спосіб керування продуктивністю насосної станції не застосовується.

Порівняння всіх чотирьох способів керування насосними агрегатами між собою приводить до висновку, що найбільш економічно виправданим є спосіб керування за допомогою зміни швидкості обертання валу електроприводу насоса.

## **1.4 Огляд патентної інформації та технічної літератури**

### **1.4.1 Телеметрична система керування проміжними насосними станціями STSP**

Телеметрична система керування проміжними насосними станціями (STSP) призначена для віддаленого моніторингу та керування проміжними насосними станціями, що відповідають за перекачування гарячої води (теплоносія) в мережі опалення міста Лодзь (Польща), з центрального диспетчерського пульта.

Проміжні насосні станції розташовані на відстані 4-6 км від центрального диспетчерського пульта. Їх завданням є забезпечення належного розподілу тиску в заздалегідь вибраних точках опалювальної мережі.

Це завдання виконується за допомогою адаптивного керування продуктивністю та вибору кількості працюючих насосів.

Основні функції системи такі:

- 1) автоматичний запуск насосної станції;
- 2) автоматичне планове та аварійне вимикання насосної станції;
- 3) автоматичне керування тиском – вибір кількості та продуктивності насосів;
- 4) автоматичне та планове включення резервного основного живлення;
- 5) захист приміщень насосних станцій від взлому або пожежі;
- 6) моніторинг підтоплення приміщень насосних станцій;
- 7) керування арматурою для захисту головної лінії в разі аварійного вимикання насосної станції;
- 8) аварійне вимикання насосних агрегатів в разі збільшення вібрацій або температури;
- 9) забезпечення резервного радіозв'язку з центральним диспетчерським пультом;
- 10) забезпечення альтернативного віддаленого керування;
- 11) місцевий та віддалений моніторинг роботи насосної станції (гідролічних та електричних систем);

12) реєстрація всіх важливих подій та змін обраних параметрів роботи насосних станцій.

З огляду на їх стратегічне значення для міської системи опалення, насосні станції повинні бути надійними, а їх безперебійна робота повинна бути постійно контрольована. Реалізація цієї вимоги можлива лише за умови, що надійність системи зв'язку також відповідає цим вимогам.

Як рішення була обрана радіосистема з додатковим резервним каналом зв'язку, яка найкращим чином відповідала зазначеним вимогам. Було використано два шляхи передачі даних, а саме: основний та резервний шляхи – радіомодеми, що працюють на ліцензованій частоті в діапазоні 400 МГц.

На рисунку 1.8 показана структура телеметричної системи керування проміжними насосними станціями (STSP).

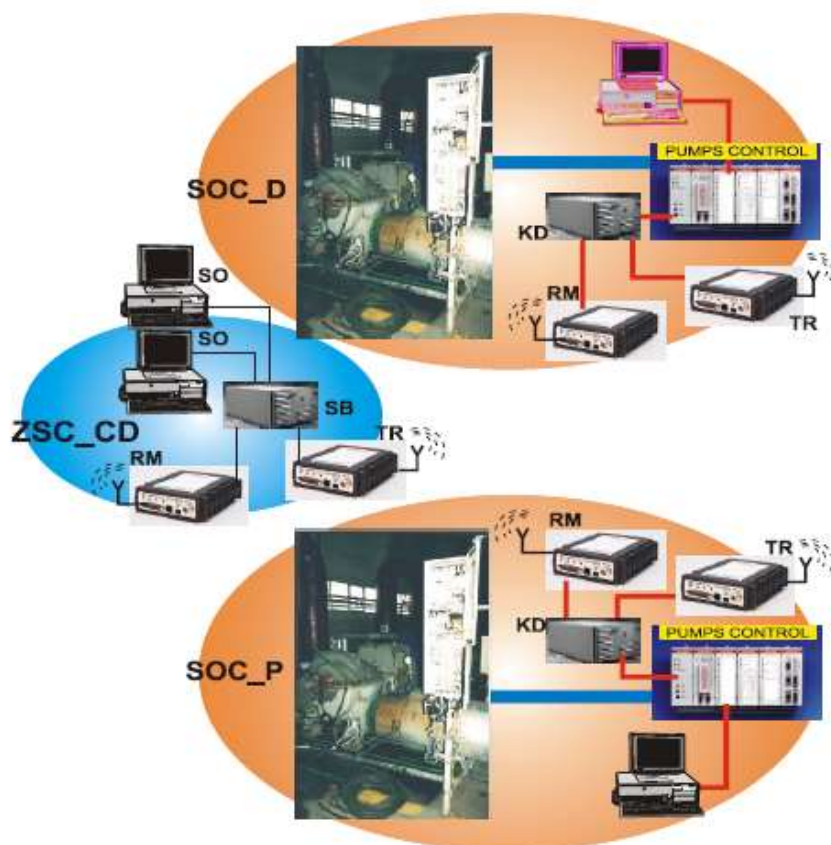


Рисунок 1.8 – Структура телеметричної системи керування проміжними насосними станціями (STSP)

STSP включає в себе наступні елементи:

- 1) центральний диспетчерський пульт тепломережі (ZSC\_CD);
- 2) проміжні насосні станції (SOC\_D, SOC\_P).

Для комунікації між центральним проміжні насосні станції та насосними станціями були застосовані спеціалізовані радіомодеми MDS 4710.

На проміжних станціях встановлені концентратори даних (KD), а на центральному диспетчерському пульті тепломережі – базову станція (SB), що забезпечує зв'язок з насосними станціями за допомогою двох додаткових операторських станцій SCADA (SO).

Операторської станції (SO) виконують наступні задачі:

- 3) візуалізація отриманих даних, що описують поточний стан технологічного процесу;
- 4) віддалене керування об'єктом вручну або параметрично автоматично;
- 5) архівування даних.

Операторські станції розташовані у приміщенні центрального диспетчерського пульта і вони дозволяють віддалене керування насосною станцією в одному з наступних режимів:

- 6) аварійний ручний режим (Режим оператора) – у разі аварійної ситуації або ремонтних робіт та обслуговування;
- 7) параметричний режим (Автоматичний режим) – дозволяє встановлення обраних параметрів для автономної системи місцевого автоматичного регулювання.

Операторські станції (SO) незалежно зчитують актуальні дані з базової станції (SB). Дані зчитуються за допомогою послідовного інтерфейсу.

Оскільки використовуються загальноприйняті стандарти, підключення базових станцій (SB), то можлива реалізація будь-якої систем візуалізації та керування, один із варіантів реалізації якої представлено на рисунку 1.9.

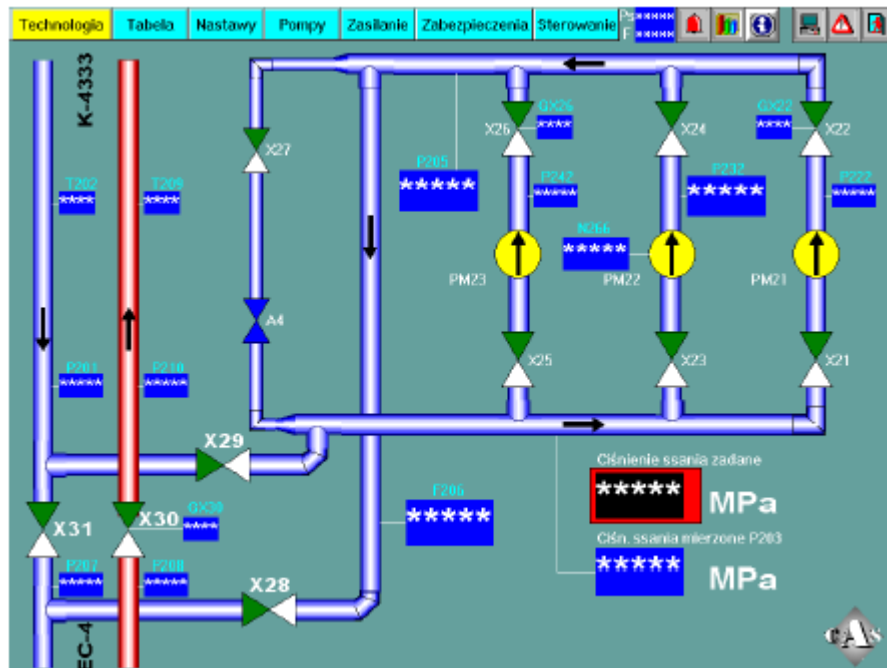


Рисунок 1.9 – Приклад реалізації людино-машинного інтерфейсу для керування насосною станцією

Базова станція (СБ) відповідає за зчитування даних з концентраторів даних (КД) за допомогою радіомодемів. MDS 4710E, використовуючи один із доступних каналів зв'язку.

Концентратори даних відповідають за забезпечення надійної передачі даних з резервуванням. Незалежні шляхи передачі збільшують надійність у разі виконання ремонтних робіт або випадкових збоїв одного з них. Передані дані захищені від випадкового втручання; потік даних контролюється, і дані відсилаються повторно в разі виявлення помилки.

Надійнаа робота телеметричних та систем керування не залежить від безперервної роботи мережі, що забезпечується за допомогою безперебійного

Основні контролери (SP) виконують більшість функцій керування та регулювання. Решту функцій виконують місцеві контролери, підключені до спільної шини.

Будь-який основний контролер відповідає за виконання таких функцій:

- 8) автоматичне керування всіма робочими пристроями гідравлічної системи насосної станції;
- 9) керування та моніторинг живлення насосної станції;

- 10) керування та моніторинг системи контролю доступу, системи протипожежного захисту та системи контролю затоплення;
- 11) моніторинг доступу до функцій дистанційного керування.

Основні контролери та місцеві контролери спроектовані так, щоб мати можливість виконувати всі функції без необхідності взаємодії з диспетчерськими станціями.

Місцеві контролери виконують функцію моніторингу та керування роботою насосних агрегатів через відповідні перетворювачі частоти, а частково - основним контролером. Структурну схему керування насосними агрегатами за допомогою контролерів приведено на рисунку 1.10.

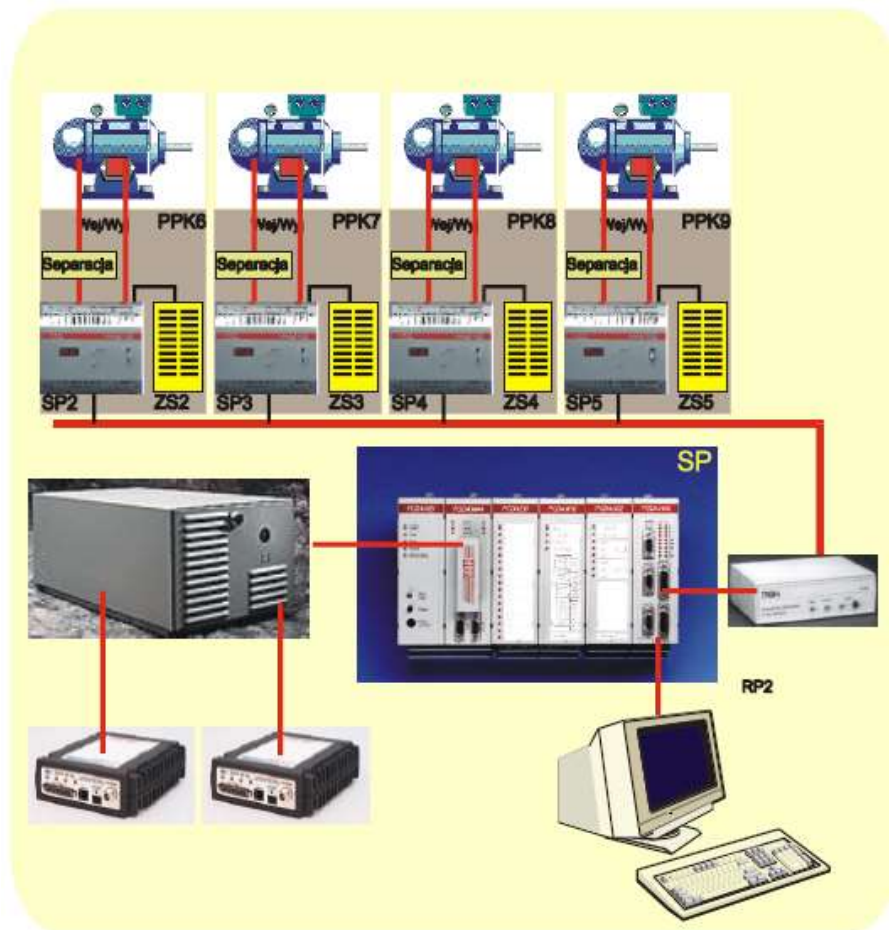


Рисунок 1.10 – Структурну схему керування насосними агрегатами за допомогою контролерів

Місцеві контролери виконують наступні задачі:

- 1) виконання алгоритмів моніторингу правильної роботи агрегатів;

- 2) місцеве вимірювання обраних параметрів;
- 3) налаштування обраних параметрів;
- 4) виявлення підтоплення в результаті витоків;
- 5) вимірювання сигналів від датчиків вібрації, температури, позиціонування заслінок, фільтрацію сигналу та порівняння вимірних значень з максимальними.

Для кожного насосного агрегату встановлено один місцевий контролер.

Основний контролер циклічно зчитує моніторингові параметри за допомогою послідовного інтерфейсу і вимикає агрегат, якщо перевищені встановлені лімітні значення.

Підшипники двигуна оснащені датчиками температури РТ100 та п'єзоелектричними датчиками вібрації.

Для забезпечення безперебійної роботи проміжних насосних станцій передбачений контроль витоків води. Програмне забезпечення місцевих контролерів налаштоване на властивості системи, і реагує лише тоді, коли будь-який великий витік, який спричиняє тривалість спрацьовування датчика понад 5 хвилин.

Це дозволяє відслідковувати виток і реагувати лише в тому випадку, коли існує реальна небезпека для проміжної насосної станції.

Також у трубопровідних проходах були встановлені датчики підтоплення, підключені до системи запобігання проривам [2].

#### **1.4.2 Керування насосами для покращення енергоефективності**

В даному підрозділі розглядається винахід згідно патенту US 9,181,953 В2 американських винахідників Перрі С. Стеджера та Девіда Марка Пірса, назва якого відповідає темі підрозділу.

Цей винахід стосується системи та методу керування насосами для покращення енергоефективності.

Насосна станція може включати один або кілька насосів. Система автоматизованого керування (САК) буде дозволяти вимірювання миттєвого



споживання електроенергії насосами, вимірювання миттєвого значення подачі насосів і визначення миттєвого специфічного споживання енергії (Specific Energy Consumption – SEC) насосами на основі визначення миттєвого споживання електроенергії та миттєвого значення подачі води в систему. Система може регулювати швидкість принаймні одного насоса відповідно до визначеної величини миттєвого SEC. САК може виконувати вказані вище кроки кілька разів для отримання зниженого значення миттєвого SEC насосів. Блок-схема системи керування насосною станцією відповідно до винаходу приведена на рисунку 1.11.

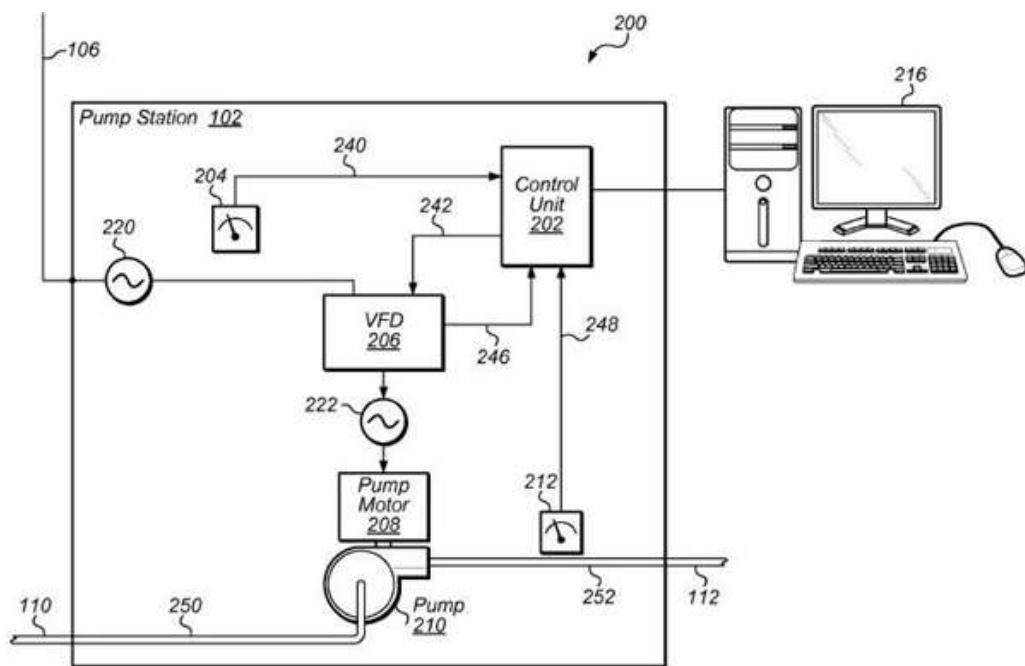


Рисунок 1.11 – Блок-схема системи керування насосною станцією відповідно до винаходу

Кутова швидкість насосів може бути налаштована відповідно до напрямку зміни, наприклад, якщо збільшується або зменшується швидкість насоса. Крім того, САК дозволяє визначати, чи поточний миттєвий SEC більший за попередній миттєвий SEC. Напрямок зміни може бути встановлений в протилежному напрямку, якщо поточний миттєвий SEC більший за попередній SEC. Наприклад, САК може збільшувати швидкість обертання валу насоса, якщо напрям зміни встановлено на збільшення, або зменшувати швидкість обертання валу насоса, якщо напрям зміни встановлено на

зменшення. Тобто мається на увазі зміна також швидкості обертання валу насоса за допомогою відповідного пристрою.

Графіки характеристик насоса залежно зміни частоти напруги його живлення (криві 300 і 302) та графік гідравлічної системи (крива 304) приведені на рисунку 1.12.

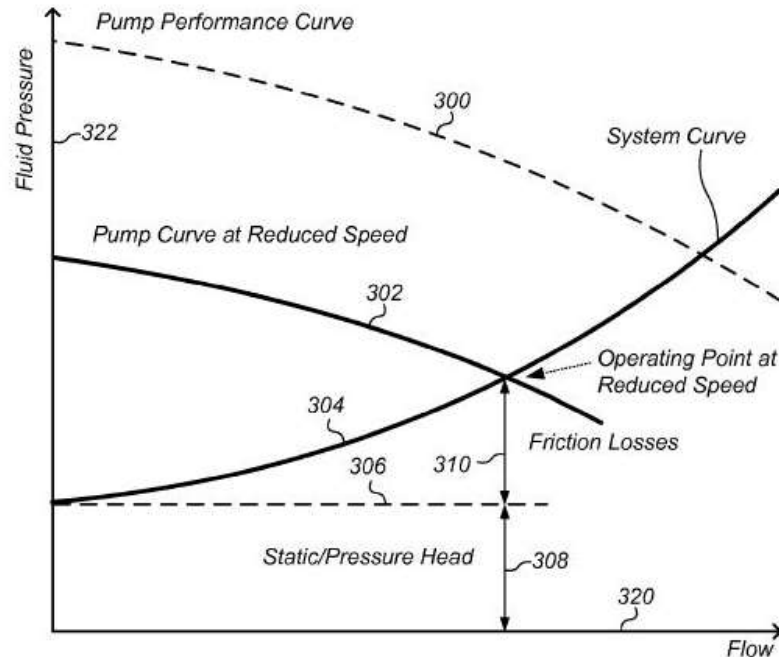


Рисунок 1.12 – Графіки характеристик насоса залежно зміни частоти напруги його живлення (криві 300 і 302) та графік гідравлічної системи (304)

Винахід також може бути застосований для керування кількома насосами насосної станції. При цьому алгоритм керування може включати наступні кроки:

- 1) встановлення напрямку зміни на збільшення або зменшення;
- 2) вимірювання миттєвого споживання електроенергії насосної системи;
- 3) вимірювання миттєвого рівня потоку насосної системи;
- 4) визначення поточного миттєвого SEC насосної системи на основі миттєвого споживання електроенергії насосної системи та миттєвого рівня потоку насосної системи;

- 5) порівняння поточного миттєвого SEC насосної системи з попереднім миттєвим SEC насосної системи,
- 6) встановлення напрямку зміни на протилежний напрямок, якщо поточний миттєвий SEC насосної системи більший, ніж попередній миттєвий SEC насосної системи;
- 7) регулювання швидкості одного з насосів з кількості насосів відповідно до напрямку зміни.

Причому кроки 2) – 4) можуть бути виконані декілька разів для відповідного насоса в насосній системі.

Кроки 1) – 4) можуть бути виконані декілька разів для кожного насоса в групі насосів.

На рисунку 1.13 приведені графіки залежності SEC від подачі (відповідно для одного (406), двох (408), трьох (410) та чотирьох (412) насосів).

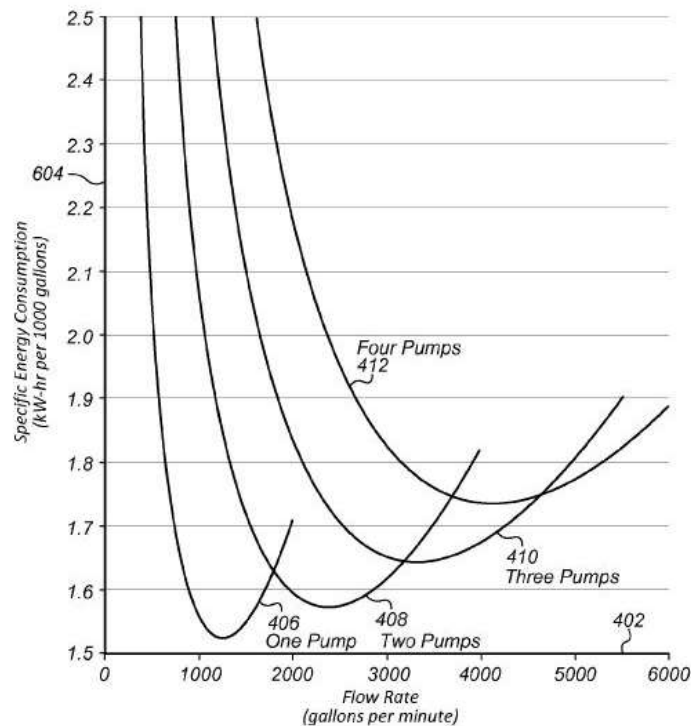


Рисунок 1.13 – Графіки залежності SEC від подачі – криві відповідно для одного (406), двох (408), трьох (410) та чотирьох (412) насосів [3]

### 1.4.3 Автоматизована система керування насосною станцією

В даному підрозділі розглядається корисна модель згідно патенту UA 51109, назва якої відповідає назві підрозділу. Дана корисна модель була розроблена Хазнаферовим Михайлом Васильовичом.

Корисна модель відноситься до пристроїв для автоматичного керування роботою насосною станцією і може бути використаний в галузі водопостачання. На рисунку 1.14 приведена блок-схема системи.

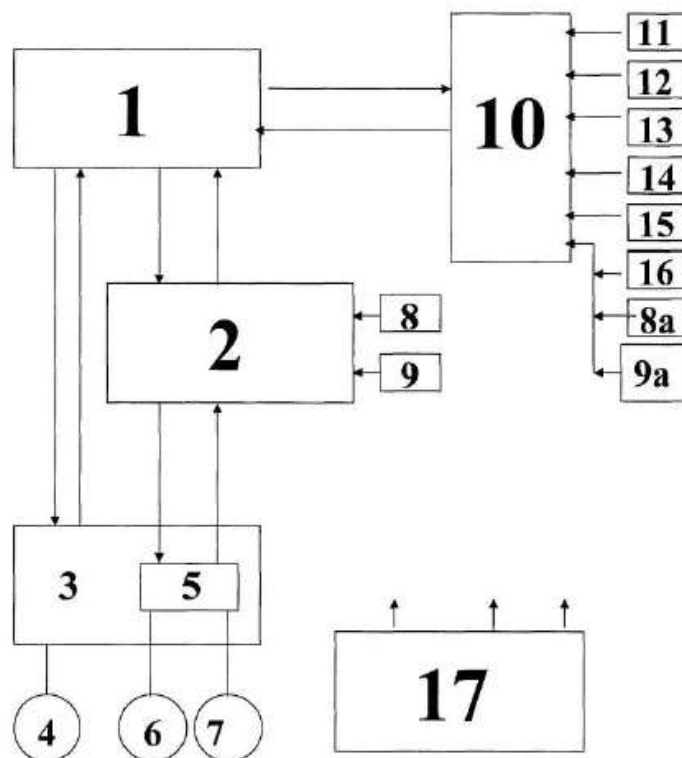


Рисунок 1.14 – Блок-схема автоматизованої системи управління насосною станцією

Автоматична система управління насосною станцією складається з блоку керування 1, до якого підключений перетворювач частоти 2 (далі – ПЧ), блоку комутації 3, до якого підключені насосний агрегат 4 з нерегульованою продуктивністю та насосні агрегати 6, 7 з регульованою продуктивністю за схемою "ВИКЛЮЧНЕ АБО", а також датчики тиску 8 і 9 (дублюючі) у вихідному колекторі з функцією формування сигналу зворотного зв'язку для прийняття рішення про пуск або зупинку насосних агрегатів блоком керування 1. Крім того, присутній додатковий програмований контролер 10 з

підключеними до нього датчиками *8a*, *9a* (зворотного зв'язку), *11*, *12*, *13*, *14*, *15*, *16* вхідних і вихідних параметрів. Додатковий програмований контролер 10 відповідає за контроль комплексу технологічних параметрів на основі моніторингу показників датчиків та формування сигналу зворотного зв'язку для блоку керування 1 за допомогою інформації з датчиків *8a*, *9a*. Блок живлення 17 використовується для забезпечення електроживлення всіх блоків схеми. Датчиками вхідних і вихідних параметрів є датчики *8a*, *9a* тиску у вихідному колекторі, датчик 11 контролю надходження води у насосну станцію, датчик 12 тиску у вхідному колекторі, датчик 13 тиску на виході насосних агрегатів, датчик 14 контролю виходу води з насосної станції, датчик 15 контролю витрати води по споживачам, датчик 16 контролю рівня води в накопичувальних ємностях. Датчики *8a* та *9a* використовуються для формування сигналу зворотного зв'язку для блоку керування 1. Автоматична система управління насосною станцією працює наступним чином. З пульта управління (далі – ПУ) блоку керування 1 встановлюють режим «ПЧ» (перетворювач частоти, частотне регулювання) і «А» - автоматичний. До ПЧ 2 подається напруга 380 В. При сигналі «Set» (запустити) з ПУ блоку керування 1 ПЧ 2 включається і формує в блоку керування 1 сигнал готовності. При цьому з програмованого контролера блоку керування 1 відбувається завантаження налаштувань ПЧ для роботи з датчиком зворотного зв'язку (далі – 33) – «перший набір параметрів». На ПУ відображається стан ПЧ 2 і встановлені відповідно до налаштувань параметри (струм, обороти, тощо). З ПУ вибирають робочий датчик 33 – 8 або 9. З ПУ задають величину тиску води у вихідному колекторі і відповідний сформований сигнал подається на вхід регулятора ПЧ 2. Запускають електродвигун НА 6 або 7 через схему "ВИКЛЮЧНЕ АБО". При цьому ПЧ 2 подає напругу управління до обмотки вибраного електродвигуна НА 6 або 7. Електродвигун НА 6 або 7 включається, відбувається плавний розгін протягом заданого часу розгону до встановлених згідно заданому вихідному тиску обертів.

Для зупинки електродвигунів насосних агрегатів 6 або 7, на пульті управління блоку 1 встановлюється режим «Стоп». Перетворювач частоти 2 вимикає напругу управління з обмотки відповідного електродвигуна, і він починає плавне зупинення протягом заданого часу гальмування. Схема 5 «ВИКЛЮЧНЕ АБО» реалізована на силових контакторах блоку 3 комутації. Правильність комутації контролюється блоком 1 керування. Блок 1 керування включає програмований контролер з дисплеєм, на якому відображаються всі параметри роботи системи в реальному часі. Програмований контролер включає функцію програмного завантаження параметрів налаштування для ПЧ 2. Електродвигун НА 4 з нерегульованою продуктивністю запускається через блок 3 комутації з блоку 1 керування. Рішення про необхідність його включення або вимикання приймає оператор через відповідні настройки блоку 1 керування. Автоматична система управління насосною станцією може працювати в режимі управління від додаткового програмованого контролера 10, який по суті є аналогічним розглянутому автоматичному. У цьому випадку на ПЧ 2 надходить готовий сформований керуючий сигнал з урахуванням сигналу 33 (датчики 8а, 9а) з додаткового програмованого контролера 10 через ключ блоку 1 керування. При цьому на пульті управління блоку 1 керування встановлюється режим «Р», і відповідно досигналу готовності від ПЧ 2 відбувається перезавантаження параметрів налаштувань ПЧ 2 – «другий набір параметрів». При цьому відключаються датчики 8 і 9. Інформація від датчиків 11, 12, 13, 14, 15, 16 дозволяє підвищити інформативність системи, приймати рішення на підставі аналізу більшої кількості параметрів системи, а, отже, підвищити якість управління. Таким чином, технічне рішення автоматичної системи управління насосною станцією, що заявляється, вирішує поставлене завдання підвищення надійності системи в автоматичному режимі за рахунок дублювання роботи функціонально значущих елементів автоматичної системи, а надійність роботи системи в автоматичному режимі забезпечує оптимізацію енергоспоживання електродвигунів НА, що, у свою чергу,

гарантує зниження енергоспоживання всієї системи в порівнянні з аналогічними відомими технічними рішеннями [4].

## **1.5 Завдання на проектування**

### **1.5.1 Опис стану діючої насосної станції водопостачання як об'єкта для автоматизації**

В результаті обстеження насосної станції водопостачання можна підсумувати, що згідно класифікації дана насосна станція згідно відомостям, викладеним в підрозділі 1.2 даної роботи, за призначення належить до водопровідних станцій для перекачування холодної води.

Залежно від розташування в загальній схемі системи водопостачання та її призначення дана насосна станція відноситься до підвищувальних насосних станцій (станцій підкачки), призначених для збільшення напору в багатоповерхових будинках житлового масиву, який вона обслуговує.

Залежно від рівня надійності дана насосна станція належить до третьої категорії і передбачає можливість перерви подачі води у разі аварійної зупинки, проте не більше одного дня.

Відповідно до конструктивних особливостей та умов облаштування насосна станція належить до наземних насосних станцій (рисунок 1.15)



Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд будівлі насосної станції

Насосна станція оснащена двома однаковими вертикальними багатосекційними (багатоступінчатими) насосними агрегатами на основі відцентрових насосів та трьохфазного асинхронного електродвигуна виробництва компанії «Grundfos», зовнішній вигляд одного із яких представлено на рисунку 1.16.



Рисунок 1.16 – Зовнішній вигляд насосного агрегата

Насосні агрегати типу CR10-04 A-FJ-A-E-HQQE мають наступні основні технічні характеристики:

- 1) рідина, що перекачується: вода;
- 2) діапазон температури рідини: 20...120 °С;
- 3) температура рідини, що перекачується: 20 °С;
- 4) щільність рідини: 998,2 кг/м<sup>3</sup>;
- 5) швидкість обертання насоса для f=50Гц (n): 2896 об./хв.;
- 6) номінальна подача (Q<sub>ном</sub>): 10 м<sup>3</sup>/год;
- 7) номінальний напір (H<sub>ном</sub>): 31.9 м;
- 8) максимальний напір (H<sub>макс</sub>): 40.8 м;
- 9) максимальна температура довкілля (T<sub>макс д</sub>): 60 °С;



- 10) максимальний робочий тиск ( $P_{\text{макс}}$ ): 16 бар;
- 11) максимальний тиск за  $T_{\text{макс}}=120$  °C ( $P_{\text{макс } T=120}$ ): 16 бар;
- 12) розмір всмоктувального патрубку: DN 40;
- 13) розмір напірного патрубку: DN 40;
- 14) номінальний тиск підключення: PN 25;
- 15) тип електродвигуна: 100LC;
- 16) номінальна потужність (P2): 1,5 кВт;
- 17) енергія (P2), необхідна для насоса: 1,5 кВт;
- 18) частота мережі живлення (f): 50 Гц;
- 19) номінальна напруга: 3 х 230-277D/400-480Y В;
- 20) номінальний струм: 10,5-9,35/6,00-5,40 А;
- 21) пусковий струм: 910-1100 %;
- 22) характеристика потужності електродвигуна ( $\cos \varphi$ ): 0.90-0.84;
- 23) ККД електродвигуна при 100% навантаженні ( $\eta_{\text{макс}}$ ): 88.5-88.5 %;
- 24) ККД двигуна за 3/4 навантаження ( $\eta_{3/4}$ ): 87.9-87.8 %;
- 25) ККД електродвигуна за 1/2 навантаження ( $\eta_{1/2}$ ): 88.2-85.4 %;
- 26) ККД насоса: 67,4%;
- 27) кількість полюсів електродвигуна: 2;
- 28) мінімальний показник ефективності (MEI=),  $MEI \geq 0.57$ ;

Робочі характеристики для одного насосного агрегата при частотах напруги живлення електродвигуна 50Гц, 45Гц, 40Гц, 35Гц, 30Гц, 25Гц, 20Гц і 12,5Гц відповідно представлені на рисунку 1.17.

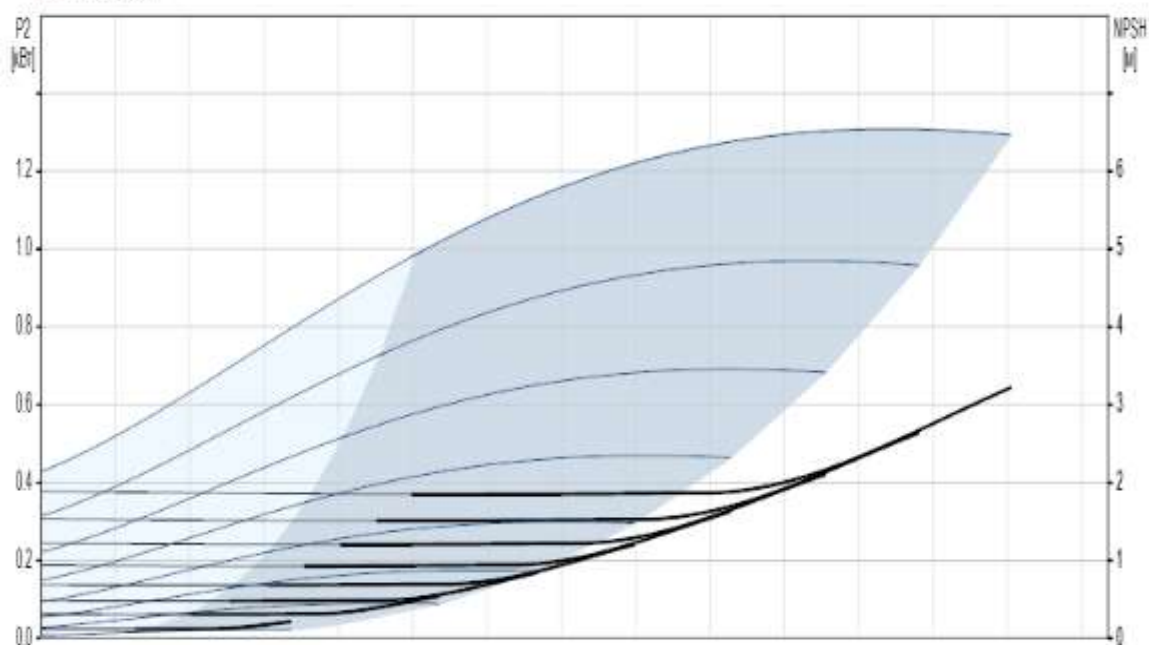
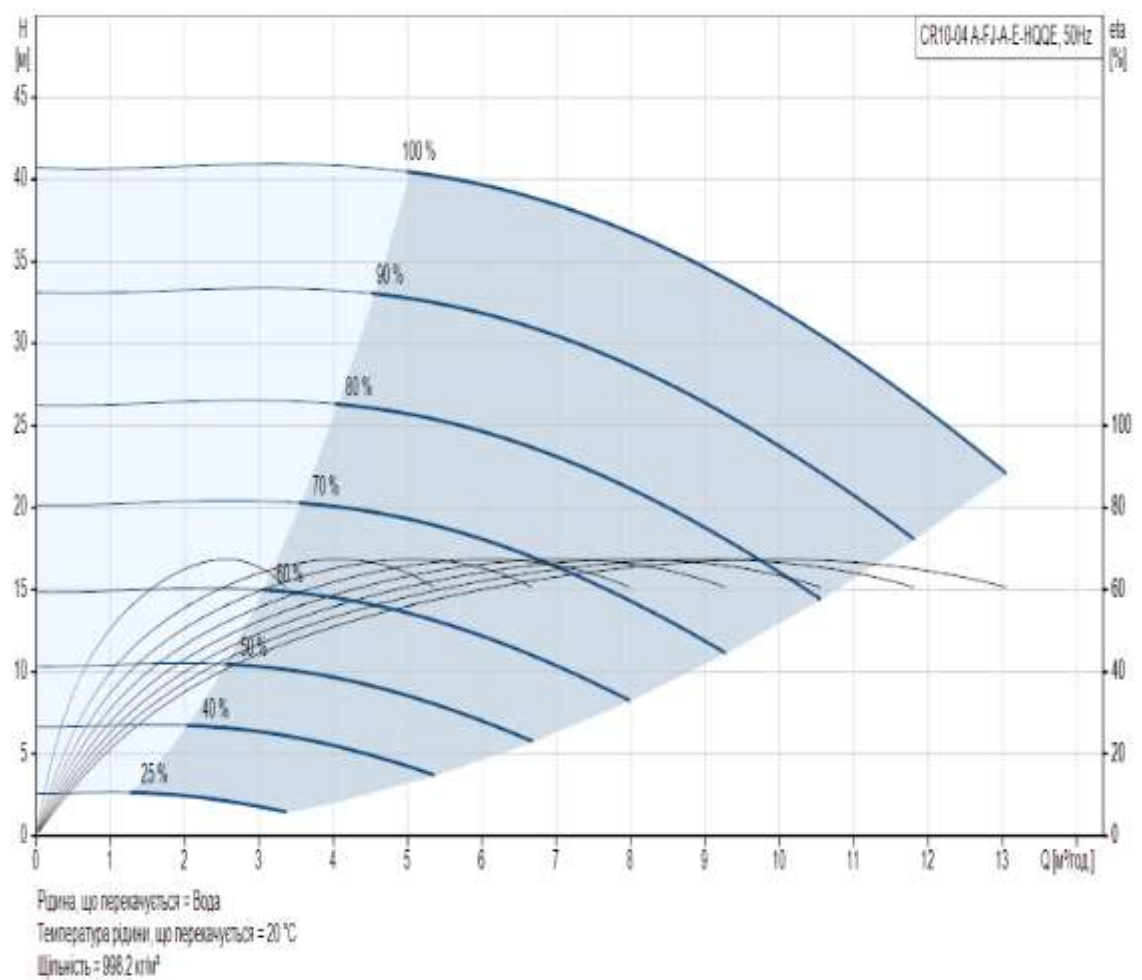


Рисунок 1.17 – Робочі характеристики насосного агрегата типу CR10-04 A-FJ-A-E-HQQE [5]

Керування напором (або тиском) в гідравлічній системі, під'єднаній до насосної станції виконується способом дроселювання за допомогою регулювання положення відповідних клиновидних заслінок. Загальний вигляд приміщення насосної станції з її технологічним обладнанням приведений на рисунку 1.18.



Рисунок 1.18 – Загальний вигляд приміщення насосної станції з її технологічним обладнанням

Для контролю тиску на вході насосних агрегатів застосовано фізично і морально застаріле реле тиску РД-8Т радянського виробництва приведені на рисунку 1.19.



Рисунок 1.19 – Реле тиску РД-8Т (реле «сухого ходу»)

Індикація значень тиску як на вході так і на виході насосних агрегатів виконується за допомогою манометрів, вигляд одного з яких показанона рисунку 1.20.



Рисунок 1.20 – Манометр для індикації тиску

Контроль за тиском на виході насосних агрегатів контролюється давачем тиску приведеним на рисунку 1.21.



Рисунок 1.21 – Давач тиску для контролю тиску на виході насосних агрегатів

Витратомір не задіяний у електричній схемі регулювання подачі води у гідравлічну систему. Поточне значення води, що споживається гідравлічною системою фіксується оператором візуально. Зовнішній вигляд витратоміра приведено на рисунку 1.22.



Рисунок 1.22 – Витратомір

Клапаном зворотного ходу води оснащено тільки один із насосних агрегатів. Конструкція клапану не дозволяє виконувати контроль положення заслінки клапану. Зовнішній вигляд клапану приведено на рисунку 1.23.



Рисунок 1.23 – Клапан зворотного ходу води

Контроль виникнення підтоплення обладнання у випадку прориву труби чи пошкодженні насосного агрегату відсутня.

Приміщення насосної станції не обладнане датчиками та сигналізацією на випадок виникнення пожежі чи у випадку спроби несанкціонованого проникнення.

Контроль поточного стану обладнання, регулювання дроселюючих заслінок, фіксація і передача даних диспетчеру Водоканала міста, реагування на аварійні ситуації покладений на оператора насосної станції.

### **1.5.2 Технічне завдання на автоматизацію насосної станції від комерційного підприємства, до якого вона належить**

Відповідно до вимог технічної служби комерційного підприємства, якому підпорядкована насосна станція було сформульовано Технічне завдання на її автоматизацію.

Вимоги Технічного завдання:

1. Забезпечити керування продуктивністю насосних агрегатів регулюючи швидкість обертання робочих колес насосів за рахунок зміни частоти напруги живлення.
2. Замінити реле тиску на вході насосних агрегатів на сучасний давач тиску.
3. Забезпечити контроль тиску на виході кожного із насосних агрегатів окремим давачем тиску.
4. Керування роботою насосних агрегатів згідно показанням датчиків і даним отриманим від диспетчера покласти на програмований логічний контролер.
5. Обмін даними між контролером і ПК диспетчера реалізувати по радіоканалу.
6. Передбачити як ручний так і автоматичний режими роботи системи керування.
7. Для створення машино-людинного інтерфейсу застосувати панель для оператора і розробити необхідне програмне забезпечення.
8. Для запобігання підтоплення насосної станції і як наслідок виходу обладнання з ладу передбачити необхідні датчики та засоби сигналізації.

9. Для своєчасного попередження про виникнення пожежі та оперативного реагування на ситуацію передбачити необхідні датчики та засоби сигналізації.
10. Для виключення можливості несанкціонованого доступу в приміщення насосної станції передбачити необхідні датчики та засоби сигналізації.

### **1.5.3 Завдання на проектування**

Відповідно до мети даної роботи, в результаті аналізу стану обладнання насосної станції та його можливостей, отриманих після обстеження, враховуючи розглянуті існуючі рішення ході огляду патентної інформації та технічної літератури, а також вимоги Технічного завдання на автоматизацію були визначені наступні задачі в межах завдання на проектування системи автоматизованого керування (САК) насосною станцією:

1. Вибір алгоритму керування насосними агрегатами з використання частотних перетворювачів;
2. Розробка гідравлічної принципової схеми насосної станції з урахуванням вимог Технічного завдання на автоматизацію;
3. Розробка структури САК насосної станції водопостачання;
4. Вибір і опис засобів автоматизації для реалізації САК;
5. Розробка конструкції клапана зворотного ходу в середовищі Onshape, яка враховує можливість контролю положення його заслінки;
6. Розробка структурної схеми САК насосної станції водопостачання;
7. Розробка функціональної схеми автоматизації насосної станції водопостачання;
8. Розробка електричної принципової схеми САК насосної станції водопостачання;
9. Розробка блок-схеми алгоритму та коду програми для керування ПЛК процесом постачання води насосною станцією;

10. Створення математичної моделі насосного агрегату, керованого за допомогою регулювання частоти напруги живлення та тестування її роботи в середовищі Simulink;
11. Аналіз результатів тестування на предмет відповідності створеної моделі характеристикам насосного агрегату та стійкості її роботи при перехідних процесах і різних частотах напруги живлення;
12. Розгляд заходів по охороні праці та безпеки при експлуатації насосної станції водопостачання.

### **1.6 Висновки до розділу 1**

1. В результаті проведеного обстеження стану насосної станції, алгоритму керування її насосними агрегатами та загального аналізу тенденцій в галузі автоматизації насосних станцій водопостачання була визначена актуальною необхідність розробки САК технологічним обладнанням насосної станції для досягнення більшої енергоефективності у її роботі.
2. В ході аналізу патентної інформації та технічної літератури були виявлені як окремі недоліки в запропонованих авторами рішеннях для апаратної реалізації процесу керування насосними станціями так і корисні рішення, які доречно було б урахувати при проектуванні САК в тому числі в контексті комплексного підходу до автоматизації насосної станції як частини системи керування водопостачанням міста і комунікації її САК із SCADA-системою МКП «Миколаївводоканал».
3. Аналіз існуючих способів керування насосними агрегатами насосних станцій та вимоги Технічного завдання на автоматизацію визначили спосіб керування за допомогою зміни швидкості обертання робочих колес насосів як найбільш вдалу альтернативу дроселюванню, що використовується на даний момент для керування продуктивністю насосної станції.



4. На базі результатів обстеження, огляду паєнтної інформації та технічної літератури, вимог Технічного завдання було розроблено завдання на проектування САК насосною станцією, яке буде визначати тактику та стратегію в процесі її проектування.

## **2 КОНСТРУКТОРСЬКІ, СХЕМОТЕХНІЧНІ ТА АЛГОРИТМІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ САК ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

### **2.1 Вибір алгоритму керування насосними агрегатами з використання частотних перетворювачів**

Є кілька варіантів побудови САК насосною станцією за допомогою частотного регулювання відповідно до алгоритмів покладених в їх основу.

Варіанти побудови САК відповідно до алгоритмів представлено на рисунку 2.1.

Розглянемо їх та визначимо їх основні переваги та недоліки для вибору оптимального згідно критеріям і вимогам Технічного завдання на автоматизацію. Для порівняння будуть використані наступні техніко-економічні критерії:

- 1) точність та діапазон регулювання;
- 2) функціональні можливості;
- 3) енергоефективність;
- 4) вартість.

#### **Групове регулювання.**

Цей алгоритм передбачає використання одного частотного перетворювача (ПЧ). для одночасного управління декількома двигунами, що зустрічається досить рідко. Точність і діапазон регулювання залежать від обраних технічних засобів і програмного забезпечення. Вимагає встановлення додаткового обладнання для захисту двигунів і агрегатів в цілому. Виключає можливість використання різних насосів у складі системи.

Енергоефективність знижується через те, що при малому споживанні води всі насоси працюють з пониженим ККД. До недоліків можна віднести те, що ПЧ великої потужності має високу вартість.

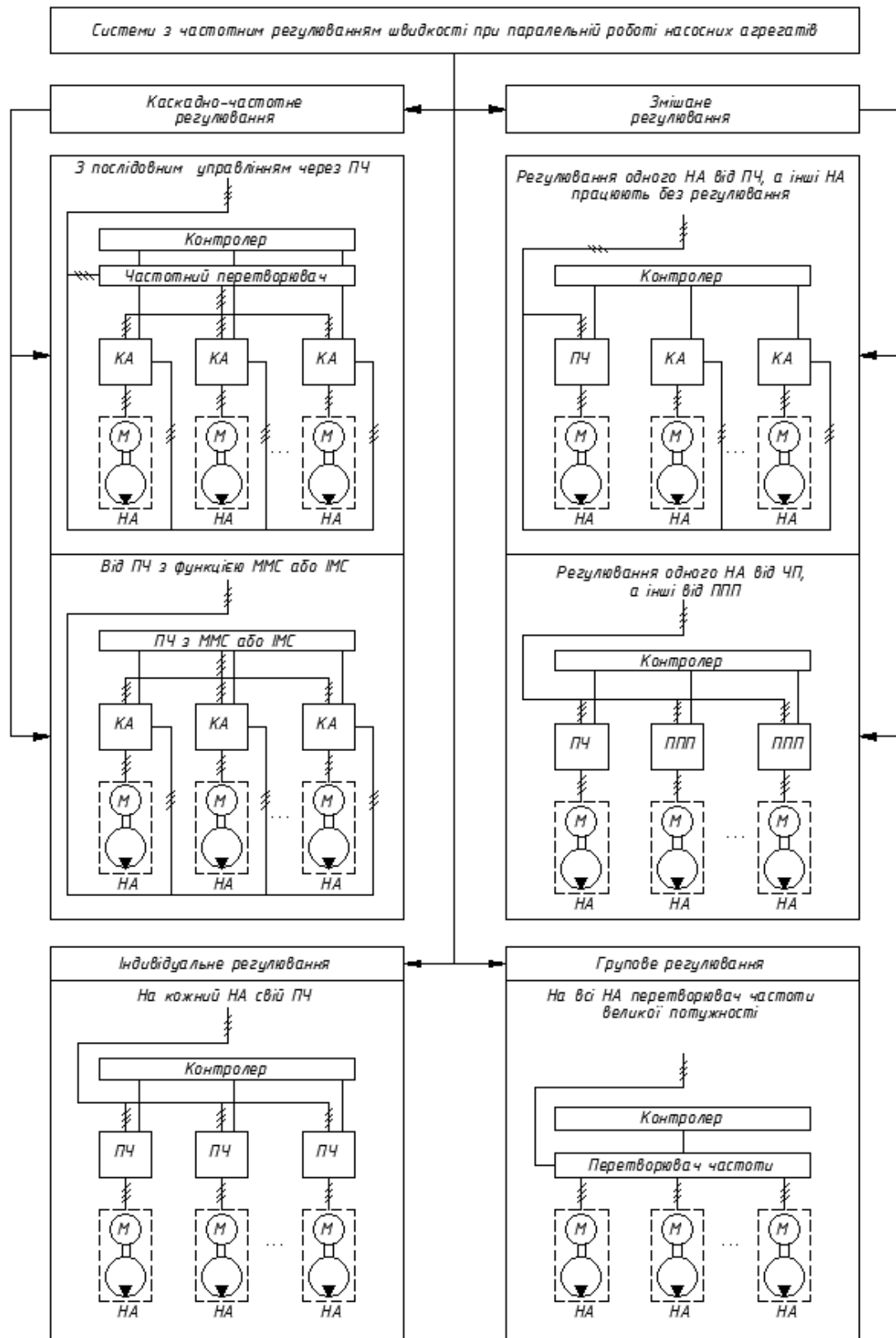


Рисунок 2.1 – Варіанти побудови САК насосної станції відповідно до алгоритмів регулювання паралельно працюючих НА.

### **Змішане регулювання.**

Цей алгоритм поєднує один частотно-регульований насосний агрегат з декількома нерегульованими, що дозволяє досягти підвищеної точності регулювання завдяки використанню перетворювача частоти та складного алгоритму управління.

Основними недоліками є стрибки напруги в мережі, пов'язані з перехідними процесами при запуску двигунів, та скорочення ресурсу обладнання.

Іншим рішенням, яке зменшує струмові стрибки в мережі, знижує знос елементів системи і запобігає гідроударам, є використання пристрою плавного пуску (УПП) разом з ПЧ у каскадному включенні насосних агрегатів.

Проте використання УПП значно підвищує вартість системи.

### **Каскадно-частотне регулювання.**

У випадку застосування в насосній станції великої кількості насосних агрегатів доцільним з точки зору техніко-економічних показників є каскадно-частотний алгоритм регулювання.

Цей алгоритм забезпечує високу якість регулювання, високу енергоефективність насосної станції та має потенціал для модернізації.

Основний частотно-регульований насосний агрегат стабілізує технологічний параметр у діапазоні навантажень, який може забезпечити один агрегат, поступово розганяючись до номінальної частоти обертання.

При подальшому зростанні навантажень електродвигун, який працює на номінальній частоті обертання, синхронізується з живильною мережею, а перетворювач перемикається на управління іншим насосним агрегатом, який стає основним.

При подальшому зростанні навантажень аналогічним чином підключається наступний додатковий агрегат.

При зниженні навантажень операції виконуються в зворотній послідовності.

## **Регулювання з застосуванням спеціалізованих ПЧ з функцією багатомоторного управління.**

Спеціалізовані ПЧ з функцією багатомоторного управління (ММС - Multi Motor Control або ІМС - Intelligent Motor Control) можуть замінити ПЛК, оскільки вся логіка вже вбудована в них. Однак ПЧ з багатомоторним управлінням є лише зручним інструментом для створення системи управління автоматизованою насосною станцією, але не є повноцінною системою управління, і мають наступні недоліки:

При управлінні від перетворювача частоти захист гарантується лише для основного двигуна. В алгоритмах, закладених у ПЧ ММС, захист забезпечується лише для того двигуна, який у даний момент керується ПЧ. Захист інших двигунів, що працюють від мережі, покладається на їх пускорегулюючу апаратуру (контактори, пускачі). Сбій у роботі якогось двигуна стає відомим ПЧ через відповідні діагностичні дискретні входи, і аварійний двигун просто виключається з подальшої роботи.

Вихід з ладу ПЧ означає неможливість продовження роботи. Спеціалізована станція управління може продовжувати роботу навіть при виході з ладу ПЧ.

Спеціалізована станція реалізує ширший спектр захисних та сервісних функцій, недоступних окремому ПЧ. Наприклад, автоматичне введення резерву при зникненні основного живлення, система телеметрії тощо. Якщо у спеціалізованій станції встановлений контролер (ПЛК), він може реалізувати значно ширший спектр сервісних функцій і захистів.

### **Індивідуальне регулювання.**

Це алгоритм управління, при якому кожен двигун оснащений власним перетворювачем частоти. Цей підхід є найбільш універсальним, забезпечуючи високу точність в широкому діапазоні регулювання.

Функціональні можливості обмежені лише енергетичними параметрами. Він забезпечує всі захисні функції (захист від перевантаження за струмом і часом, від втрати навантаження, міжфазного короткого

замикання, відхилення напруги мережі, обриву фаз, контроль послідовності фаз тощо). Дозволяє використовувати насоси з різними характеристиками.

Висока енергоефективність досягається за рахунок проведення енергетичних розрахунків для визначення оптимальних параметрів роботи насосів. Хоч застосування для кожного НА свого ПЧ збільшує вартість САК, але у випадку невеликої кількості НА вкладені кошти окупуються відносно швидко.

Враховуючи, що в насосній станції для перекачки води передбачено всього лише два насосні агрегати та враховуючи всі описані переваги індивідуального алгоритму регулювання та вимоги Технічного завдання при розробці САК насосною станцією водопостачання застосуємо саме цей алгоритм.

Беручи до уваги необхідність забезпечення роботи САК, як в автоматизованому так і ручному режимі, то передбачимо саме для ручного режиму (в тому числі і у випадку виходу з ладу ПЧ відповідного НА) роботу НА через комутаційну апаратуру (КА) на номінальній швидкості його обертання від мережі електропостачання.

## **2.2 Розробка гідравлічної принципової схеми насосної станції з урахуванням вимог Технічного завдання на автоматизацію.**

З урахуванням вимог Технічного завдання на автоматизацію необхідно модернізувати гідравлічну систему насосної станції, дооснастивши її додатковим обладнанням, а саме ще одним клапаном зворотного ходу води, встановивши його на виході НА, де він на даний момент відсутній. Причому треба застосувати клапани зворотного ходу води, конструкція яких дозволяє застосувати відповідні засоби автоматизації для визначення їх поточного стану (наприклад індуктивний датчик) або клапани, які мають вбудований електронний контроль положення їх заслінок. Необхідно також замінити фізично і морально застаріше реле тиску на вході насосних агрегатів на сучасний давач тиску. Також необхідно забезпечити давачами тиску на виході

кожний із насосних агрегатів НС. Для реалізації можливості автоматизованого дистанційного визначення поточного значення витрати води (подачі) треба застосувати витратомір з імпульсним вихідним сигналом. З урахуванням зазначеного було розроблено модернізовану гідравлічну принципову схему НС, яку приведено на рисунку 2.2 та як окремий документ АКІТ.14219612.НСВ ГЗ в додатку А даної магістерської роботи.

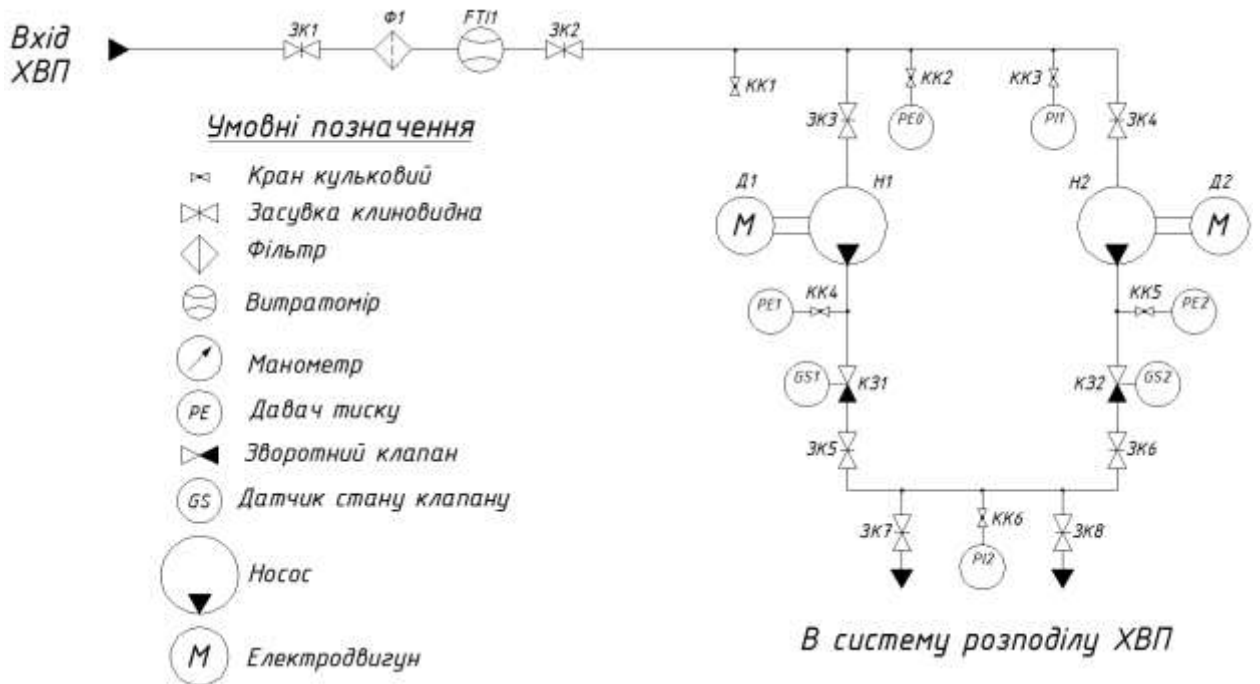


Рисунок 2.2 – Модернізована гідравлічна принципова схему НС

### 2.3 Структура САК насосної станції водопостачання.

Базуючись на алгоритмі індивідуального регулювання швидкості обертання робочих колес кожного із НА через окремі ПЧ в автоматичному режимі роботи НС та задумі реалізувати ручний режим роботи за рахунок підключення напруги електричної мережі до насосних агрегатів через відповідну комутаційну апаратуру для роботи їх на номнальній частоті напруги живлення, була побудована загальна структура САК, що представлена на рисунку 2.3.

Згідно з вимогами Технічного завдання на автоматизацію та використовуючи комплексний підхід у забезпеченні стійкої, довговічної та

безпечної роботи обладнання НС, було визначено загальну структуру САК НС відповідно до обраного алгоритму.

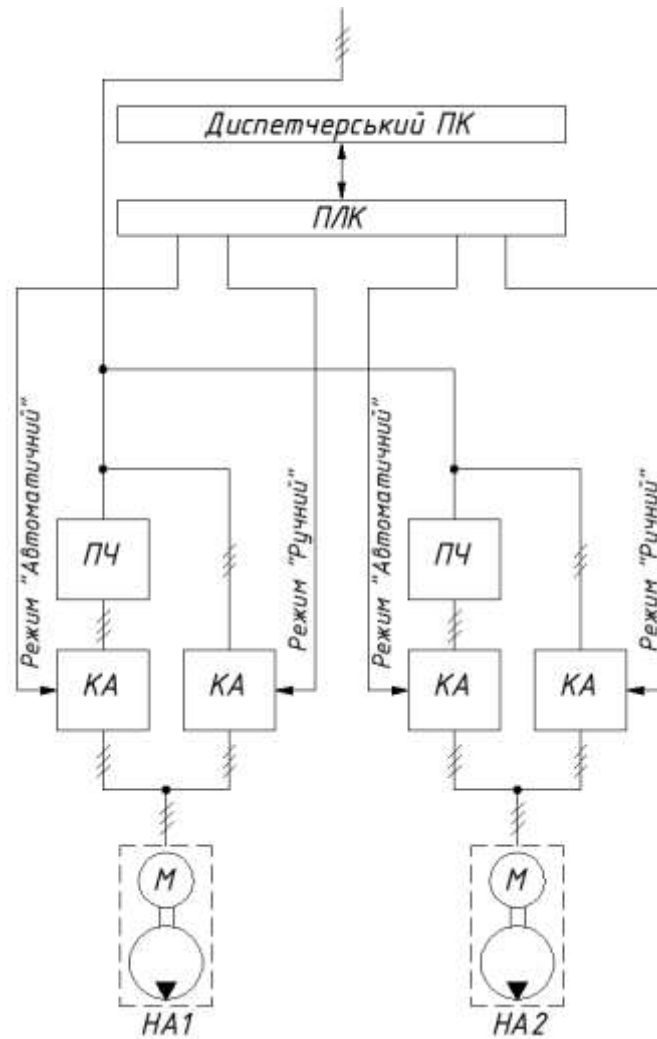


Рисунок 2.3 – Загальна структура САК НС відповідно до обраного алгоритму

При цьому на САК покладається функція не тільки функція керування продуктивністю роботи НС, контроль за параметрами технологічного обладнання але і моніторинг навколишньої обстановки в приміщенні НС, а саме відстежування задимлення повітря, підтоплення приміщення та порушення охоронного периметру НС оскільки це напряму впливає на працездатність, довговічність та безпечність роботи НС в цілому.

Передача сигналів АПС та прийом керуючих сигналів від ПК диспетчера міста забезпечується по радіоканалу, керування безпосередньо обладнанням, контроль за поточними значенням його параметрів, перехід його у відповідні



режими роботи покладається на ПЛК. Для забезпечення можливості комунікації оператора НС з САК передбачено панель НМІ. Структурну схему САК НС представлено на рисунку 2.4

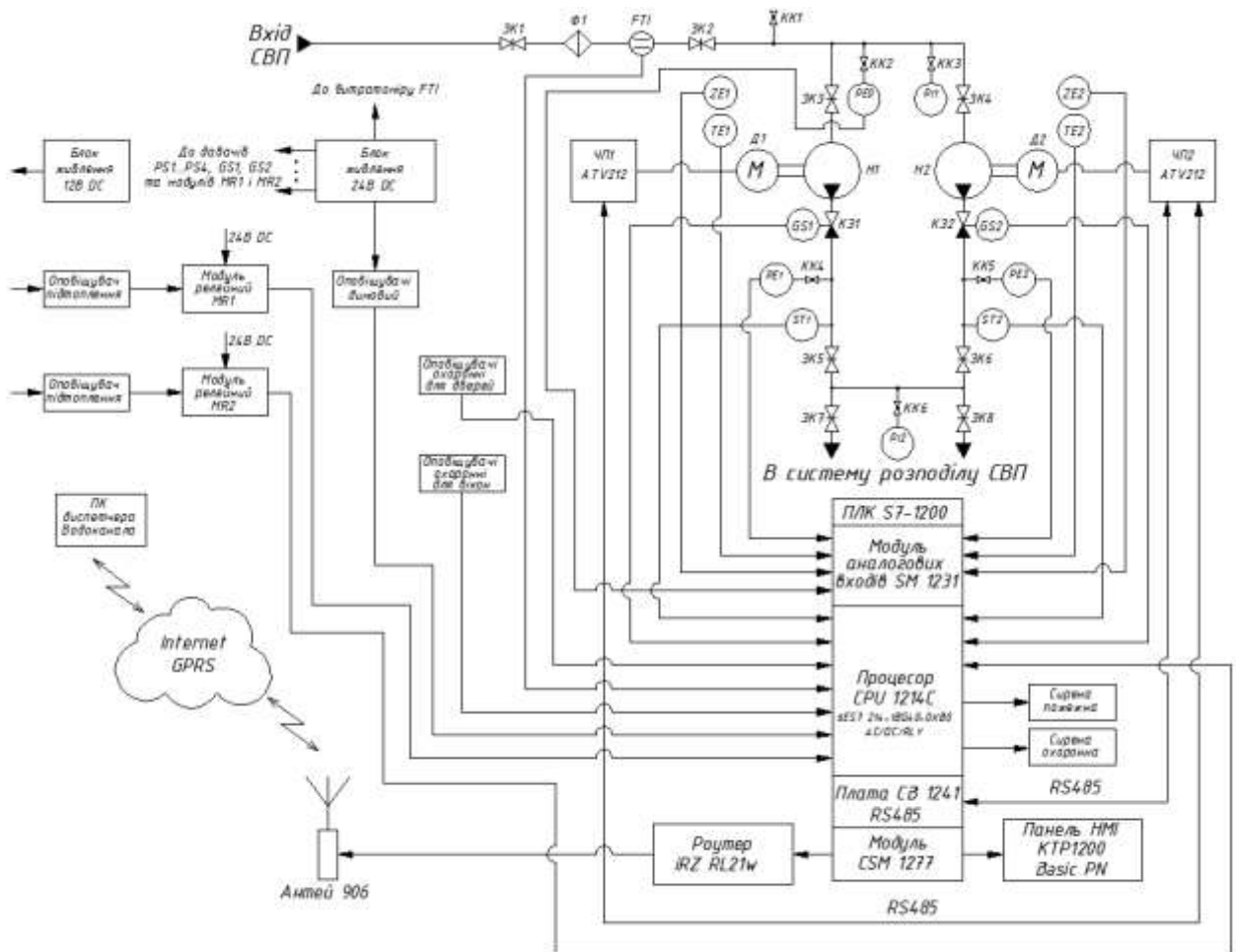


Рисунок 2.4 – Структурна схема САК НС

## 2.4 Вибір та опис засобів автоматизації для реалізації САК.

Для апаратної реалізації САК насосної станції були обрані засоби автоматизації відповідно до структурної схеми приведеної на рисунку 2.4.

**Перетворювач частоти.** Перетворювач частоти (ЧП) було підбрано згідно номінальної потужності ( $P_2$ ) насосного агрегата, яка становить 1,5кВт.

Потужність ЧП повинна бути не меншою за потужність насосного агрегата.

Для керування швидкістю обертання робочих колес кожного із насосних агрегатів був підібраний частотний перетворювач ATV212 2,2кВт 380-480В,

IP21, з ЕМС-фільтром категорії С2/С3 виробництва компанії «Schneider Electric», який представлено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Частотний перетворювач ATV212 2,2кВт

Стислі технічні характеристики ЧП:

- Призначення ЧП – асинхронні двигуни;
- Кількість фаз мережі – 3 фази;
- Потужність двигуна – 2,2 кВт;
- Межі напруги живлення – 323...528 В;
- Частота мережі живлення – 50..60 Гц  $\pm 5\%$ ;
- Лінійний струм – 3,6 А при 480 В; 4,6 А при 380 В;
- Серія продукту – Altivar 212;
- Конкретне застосування виробу – насоси та вентилятори;
- Протоколи порту обміну даними: BACnet, LonWorks, Modbus, METASYS N2,
- APOGEE FLN;
- Номінальна напруга живлення – 380..480 В  $\pm 10\%$ ;
- Електромагнітний фільтр – вбудований фільтр ЕМС класу С2;
- Ступінь захисту – IP21.

**Програмований логічний контролер.** Для контролера, на базі якого буде будуватися САК підбрано відповідні складові, що визначають його конфігурацію і можливості згідно поставлених задач в Завданні на проектування, а саме:

центральний процесор виробництва компанії «Siemens» із сімейства SIMATIC S7-1200, а саме CPU 1214C AC/DC/Reley (6ES7 212-1BE40-0XB0), який має наступні характеристики:

- Кількість дискретних входів – 14;
- Кількість дискретних виходів – 10;
- Кількість аналогових входів – 2;
- Кількість аналогових виходів – 0;
- Розширення на один CPU, не більше:
  - кількість плат CD/CM/BB – 1;
  - кількість комунікаційних модулів – 3;
  - кількість сигнальних модулів – 8;
- Кількість імпульсних виходів – 4;
- Кількість імпульсних входів – 14;
- Середовище для розробки ПЗ – TIA Portal;
- Годинник реального часу – в наявності;
- Струм навантаження внутрішньої шини – 1600мА при U=5В;
- Струм навантаження вбудованого джерела напруги – 400мА.

Зовнішній вигляд центрального процесора CPU 1214C AC/DC/Reley приведено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Центральний процесор CPU 1214C AC/DC/Reley

**Модуль аналогових входів.** Для прийому аналогових сигналів від здавачів, що входять до складу САК, застосовано модуль аналогових входів SM 1231 AI 8x13bit (6ES7231-4HF32-0XB0).

Характеристики модуль аналогових входів SM 1231 AI 8x13bit:

- Напруга живлення – 24В DC;
- Струм споживання по ланцюгу живлення – 45мА;
- Кількість диференціальних аналогових входів – 8;
- Діапазони зміни вхідних сигналів:
- сигнали напруги:  $\pm 10\text{В}$ ,  $\pm 2,5\text{В}$ ,  $\pm 5\text{В}$ ;
- сигнали струму:  $0\dots 20\text{мА}$ ,  $4\dots 20\text{мА}$ ;
- Розрядність АЦП – 12 біт + знаковий розряд;
- Довжина екранованого кабелю – 100м («вита пара»);
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд модуля аналогових входів SM 1231 AI 8x13bit приведено на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Модуль аналогових входів SM 1231 AI 8x13bit

**Комунікаційний модуль.** Для підключення до центрального процесора ПЛК як роутера так і панелі НМІ по шині Industrial Ethernet застосовано комунікаційний модуль CSM 1277 (6GK7 277-1AA10-0AA0), що представляє собою некерований коммутатор.

Характеристики комунікаційний модуль CSM 1277:

- Кількість каналів для підключення до Industrial Ethernet – 4xRJ45;
- Напруга живлення – 24В DC;
- Швидкість обміну даними – 10/100 Мбіт/сек;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд комунікаційного модуля CSM 1277 приведено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Комунікаційний модуль CSM 1277

**Комутаційна плата.** Для підключення перетворювачів частоти до центрального процесора ПЛК по кабельній лінії інтерфейса RS485 була застосована комутаційна плата CB 1241 RS485 (6ES7241-1CH30-1XB0).

Технічні характеристики комутаційної плати CB 1241 RS485:

- Напруга живлення (від внутрішньої шини) – 5В DC;
- Вхідний струм – 50мА;
- Інтерфейс – RS485 (двохпроводний полудуплекс);
- Протокол – Modbus RTU;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд комутаційної плати CB 1241 RS485 приведено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Комутаційна плата CB 1241 RS485

**Панель НМІ.** У якості панелі оператора (НМІ) обрано широкоекраний TFT дисплей КТР1200 Basic PN (6AV2123-2MB03-0AX0).

Технічні характеристики дисплею КТР1200 Basic PN:

- Діагональ екрану – 12”;
- Напруга живлення – 24В DC;
- Максимальний струм живлення – 650 мА;
- Середовище для розробки ПЗ – TIA Portal;
- Сенсорна аналогова клавіатура – в наявності;
- Кількість мембранних кнопок – 10;
- Вбудовані інтерфейси – PROFINET, MPI/PROFIBUS DP, USB Host;
- Об`єм пам'яті користувача – 10 Мбайт;
- Годинник реального часу – в наявності.

Зовнішній вигляд дисплея КТР1200 Basic PN приведено на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 – Дисплей КТР1200 Basic PN

**Роутер.** Для обміну даними по радіоканалу через мережі сотового зв'язку між ПЛК оператора та ПК диспетчера «Водоканалу» міста був обраний промисловий LTE роутер iRZ RL21w.

Технічні характеристики роутера iRZ RL21w:

- Стандарти сотового зв'язку, які підтримує роутер – GPRS/EDGE, UMTS, HSDPA/HSUPA, HSPA+, LTE;

- Динамічний ОЗП – 64 Мбайт;
- Кількість роз'ємів Ethernet – 2 x 10/100 Мбіт;
- Wi-Fi – 2,4 ГГц 802.11b/g/n 2T2R MAC;
- Напруга живлення – 8...30В DC;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд роутера iRZ RL21w приведено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Роутер iRZ RL21w

**Антенa.** Для забезпечення стійкого зв'язку навіть в умовах поганого покриття сотового зв'язку роутер iRZ RL21w укомплектовано антеною Антей 906 SMA GSM 900/1800.

Технічні характеристики антени Антей 906 SMA GSM 900/1800:

- Діапазон робочих частот – 900...1800 МГц;
- Коефіцієнт посилення – 11...13,5 дБ;
- КСХ – 1,6;
- Вхідна потужність – 20 Вт;
- Хвильовий опір – 50 Ом;
- Магнітна база – 75 мм;
- Довжина кабелю - 3м.
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд антени Антей 906 SMA GSM 900/1800 приведено на рисунку 2.12.



Рисунок 2.12 – Антена Антей 906 SMA GSM 900/1800

**Давач тиску.** Для вимірювання тиску як на вході насосних агрегатів так і на їх виході обрано давач тиску Danfoss MBS 3000 2011-1A04 (0-10бар).

Технічні характеристики давача тиску Danfoss MBS 2002011:

- Вимірюване середовище – повітря, газу, рідини;
- Напруга живлення – 9...32В DC;
- Діапазон виміру тиску – 0...10 бар (абсолютний і відносний тиск);
- Стандарт підключення – 4...20мА;
- Допустима довжина кабелю підключення – 500м;
- Технологічне з'єднання – G1/4А;
- Ступінь захисту – IP 65.

Зовнішній вигляд давача тиску Danfoss MBS 3000 2011-1A04 приведено на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Давача тиску Danfoss MBS 3000 2011-1A04



**Давач стану клапану зворотного потоку води.** Для визначення стану клапану зворотного потоку, розробленого в цій магістерській роботі, було застосовано індуктивний давач XS618B1PAL2.

Технічні характеристики індуктивного давача XS618B1PAL2:

- Напруга живлення – 12...48В DC;
- Функція дискретного виходу – 1 НО;
- Електричне виконання – DC PNP;
- Тип сенсора – індуктивний;
- Номінальна дистанція спрацьовування – 8мм;
- Тип різьби – M18x1;
- Ступінь захисту – IP 68.

Зовнішній вигляд індуктивного давача XS618B1PAL2 представлено на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Індуктивний давач XS618B1PAL2

**Росходомір води.** Для визначення поточного розходу води (або подачі Q) застосовано імпульсний розходомір Apator MWN-65-NK.

Технічні характеристики розходоміра Apator MWN-65-NK:

- Номінальний діаметр DN – 65мм;
- Передавач імпульсів НК – 1 дм<sup>3</sup>/імпульс;
- Допустиме значення похибки,  $\varepsilon$  –  $\pm 2\%$ ;
- Середній об'єм потоку – 1,6 м<sup>3</sup>/год;
- Порог запуску – 0,3 м<sup>3</sup>/год.

Зовнішній вигляд розходоміра Arator MWN-65-NK представлено на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 – Розходомір Arator MWN-65-NK

**Давач вібрації.** Для реєстрації гранично допустимих значень вібрації насосних агрегатів з метою своєчасного реагування і виконання регламентних чи ремонтних робіт передбачене застосування давачів вібрації ST5484E-122-BBCD-EF.

Технічні характеристики давача вібрації ST5484E-122-BBCD-EF:

- Напруга живлення – 11...30В DC;
- Стандарт підключення – 4...20мА;
- Максимальне вимірюване значення вібрації – 12,7 мм/сек;
- Ступінь захисту – IP 68.

Зовнішній вигляд давача вібрації ST5484E-122-BBCD-EF приведений на рисунку 2.16.



Рисунок 2.16 – Давач вібрації ST5484E-122-BBCD-EF

**Давач температури.** Для контролю температури корпусів приводів насосних агрегатів передбачене застосування давачів температури серії Milli-Temp 4-20mA виробництва компанії «4В».

Технічні характеристики давача температури серії Milli-Temp 4-20mA:

- Напруга живлення – 15...28V DC;
- Стандарт підключення – 4...20mA;
- Діапазон вимірюваних температур –  $-40^{\circ}\text{C} \dots +120^{\circ}\text{C}$ ;
- Ступінь захисту – IP 66.

Зовнішній вигляд давача температури серії Milli-Temp 4-20mA приведений на рисунку 2.17.



Рисунок 2.17 – Давач температури серії Milli-Temp 4-20mA

**Давач потоку.** Для точного визначення факту роботи насосного агрегату застосовано давач потоку SI5002 SID10ADBFPKGUS-100 ifm, який однозначно підтверджує факт того, що насосний агрегат перекачує воду.

Технічні характеристики давача потоку SI5002 SID10ADBFPKGUS-100 ifm:

- Напруга живлення – 18...36V DC;
- Струм живлення – до 60mA;
- Електричне виконання – DC PNP;
- Вихідні сигнали без наявності потоку – NO;
- Діапазон вимірюваних значень –  $3 \dots 300$  см/сек;
- Ступінь захисту – IP 65/IP67.

Зовнішній вигляд давача потоку SI5002 SID10ADBFPKGUS-100 ifm приведений на рисунку 2.18.



Рисунок 2.18 – Давач потоку SI5002 SID10ADBFPKGUS-100 ifm

**Давач контролю задимленості повітря.** Для моніторингу пожежно небезпечної ситуації в будівлі насосної станції застосовані давачі диму комбінований ИП 212/101-2М-А1R.

Технічні характеристики давача диму комбінований ИП 212/101-2М-А1R:

- Напруга живлення – 8...30В DC;
- Діапазон робочих температур – -30°C...+70°C;
- Вихідний сигнал без наявності диму – NC;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд давача диму комбінованого ИП 212/101-2М-А1R приведений на рисунку 2.19.



Рисунок 2.19 – Давач диму комбінований ИП 212/101-2М-А1R

**Давач підтоплення.** Для сигналізації у випадку виникнення протікання води всередині будівлі станції передбачені давачі підтоплення Ostorus, що встановлюються безпосередньо біля постаменту кожного із насосних агрегатів і підключаються до ПЛК через відповідні релейні модулі Com-01 Mini.

Технічні характеристики давача підтоплення Ostorus підключеного до релейного модуля Com-01 Mini:

- Напруга живлення – 5...12В DC;
- Опір між контактами давача в черговому режимі – 330 МОм;
- Струм живлення в черговому режимі – не більше 5мкА;
- Діапазон робочих температур – +5°C...+55°C;
- Вихідний сигнал без наявності підтоплення – NO.

Зовнішній вигляд давача підтоплення Ostorus приведений на рисунку 2.20.



Рисунок 2.20 – Давач підтоплення Ostorus

**Давач охоронний для дверей.** Для попередження несанкціонованого проникнення зломисників в будівлю НС через двері їх передбачено облаштувати відповідними магнітоконтатним охоронними давачами типу СМК-1Е.

Технічні характеристики охоронного давача СМК-1Е:

- Напруга живлення – не потребує;
- Поріг спрацьовування давача (черговий режим/режим тривоги) – 10мм/25мм;
- Максимальне значення струму комутації – не більше 100мА;
- Діапазон робочих температур – -40°C...+50°C;
- Вихідний сигнал в черговому режимі – NC.

Зовнішній вигляд охоронного давача СМК-1Е приведений на рисунку 2.21.



Рисунок 2.21 – Давач охоронний СМК-1Е

**Давач охоронний для вікон.** Для попередження несанкціонованого проникнення зловмисників в будівлю НС через вікна їх передбачено облаштувати відповідними давачами типу «фольга», що наклеюється на поверхню скла по його периметру всередині приміщення. При порушенні цілісності вікна фольга розривається і сигнал, який подається через шлейф з такими давачами на вхід ПЛК пропадає. Тобто по суті це нормально замкнений контакт (NC).

**Оповіщувач пожежний.** Для оповіщення обслуговуючого персоналу НС всередині її будівлі або біля неї передбачено застосування світлозвукового оповіщувача ОСЗ-2 «Пожежа».

Технічні характеристики оповіщувача ОСЗ-2 «Пожежа»:

- Напруга живлення – 12В DC;
- Струм споживання – 35мА;
- Тип підключення – провідне;
- Акустична потужність – 75Дб;
- Діапазон робочих температур – -10°С...+55°С;

Зовнішній вигляд оповіщувача ОСЗ-2 «Пожежа» приведений на рисунку 2.22.



Рисунок 2.22 – Оповіщувач світлозвуковий ОСЗ-2 «Пожежа»

**Оповіщувач охоронний.** Для оповіщення порушення охоронного периметру передбачено застосування охоронного світлозвукового оповіщувача TIRAS "Джміль", вкнаного у вандалостійкому металевому корпусі.

Технічні характеристики оповіщувача TIRAS "Джміль":

- Напруга живлення – 24В DC;
- Струм споживання – 70мА;
- Тип підключення – провідне;
- Акустична потужність – 80Дб;
- Діапазон робочих температур – -30°С...+60°С;
- Ступінь захисту – IP 33С.

Зовнішній вигляд оповіщувача TIRAS "Джміль" приведений на рисунку 2.23.



Рисунок 2.23 – Оповіщувач світлозвуковий TIRAS "Джміль"

**Джерела живлення на 12В DC та 24В DC.** Для забезпечення напругою живлення засобів автоматизації підібрано два джерела живлення:

- HDR-15-12 Mean Well DC 12V 15W;
- HDR-30-24 Mean Well DC 24V 30W.

Технічні характеристики джерела живлення HDR-15-12 Mean Well DC 12V 15W:

- Напруга живлення – 12В DC;
- Вихідний струм – не більше 1,25А;
- Діапазн начень вхідної напруги – 85...264 В AC;
- Вихідна потужність – 15Вт;

- Діапазон робочих температур –  $-40^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$ ;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд джерела живлення HDR-15-12 Mean Well DC 12V 15W приведений на рисунку 2.24.



Рисунок 2.24 – Джерело живлення HDR-15-12 Mean Well DC 12V 15W

Технічні характеристики джерела живлення HDR-30-24 Mean Well DC 24V 30W:

- Напруга живлення – 24V DC;
- Вихідний струм – не більше 1,5А;
- Діапазон начень вхідної напруги – 85...264 В AC;
- Вихідна потужність – 36Вт;
- Діапазон робочих температур –  $-30^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$ ;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд джерела живлення HDR-30-24 Mean Well DC 24V 30W приведений на рисунку 2.25.



Рисунок 2.25 – Джерело живлення HDR-30-24 Mean Well DC 24V 30W



**Реле контролю фаз.** Для високоточного контролю якості напруги живлення від трифазної мережі застосовано реле контролю фаз RKF-37 EKF PROxima.

Технічні характеристики реле контролю фаз RKF-37 EKF PROxima:

- Діапазн значень вхідної напруги – 280...520 В АС;
- Максимальна затримка на включення – 0,5с;
- Максимальна затримка на відключення – 0,5с;
- Контроль перекося фаз – в наявності;
- Контроль чергування фаз – в наявності;
- Контроль обрива фаз – в наявності;
- Контроль мінімальної напруги – в наявності;
- Контроль максимальної напруги – в наявності;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд реле контролю фаз RKF-37 EKF PROxima приведений на рисунку 2.26.



Рисунок 2.26 – Реле контролю фаз RKF-37 EKF PROxima

**Реле проміжне для ланцюгів управління.** У якості проміжного реле для ланцюгів управління було обрано реле типу F&F РК-4PZ-24V 24В 2х8 А.

Технічні характеристики реле F&F РК-4PZ-24V 24В 2х8 А:

- Напруга живлення катушки – 24В АС/DC;
- Струм живлення катушки – 25мА;
- Номінальний струм комутації – 8А;

- Диапазон робочих температур –  $-25^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$ ;
- Кількість та типи контактів –  $2 \times \text{NO}$ ,  $2 \times \text{NO/NC}$ ;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд реле F&F PK-4PZ-24V 24В 2х8А приведений на рисунку 2.31.



Рисунок 2.31 – Реле F&F PK-4PZ-24V 24В 2х8А

**Контактори для насосних агрегатів.** Для управління роботою та захисту приводів насосних агрегатів застосовано по два контактори з механічним взаємним блокуванням їх роботи типу TeSys D 25A 24V DC Schneider LC1D25BD.

Технічні характеристики контактора TeSys D 25A 24V DC Schneider LC1D25BD:

- Застосування – управління електродвигунами;
- Категорії застосування – AC1, AC-2, AC-3;
- Кількість полюсів – 3P;
- Кількість силових контактів – три;
- Напруга котушки – 24В DC;
- Номінальний струм – 25А;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд контактора TeSys D 25A 24V DC Schneider LC1D25BD приведений на рисунку 2.27.



Рисунок 2.27 – Контактор TeSys D 25A 24V DC Schneider LC1D25BD

**Автоматичні вимикачі для насосних агрегатів.** Для захисту та контролю електродвигунів насосних агрегатів застосовано автоматичні вимикачі GZ1E14 Schneider GZ1 3п 6..10А.

Технічні характеристики автоматичного вимикача GZ1E14 Schneider GZ1 3п 6..10А:

- Номінальний струм – 10А;
- Кількість полюсів – 3Р;
- Відключаюча властивість – до 100кА;
- Номінальний струм – 25А;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд автоматичного вимикача GZ1E14 Schneider GZ1 3п 6..10А приведений на рисунку 2.28.



Рисунок 2.28 – Автоматичний вимикач GZ1E14 Schneider GZ1 3п 6..10А

**Автоматичні вимикачі для частотних перетворювачів.** Для захисту від перенавантаження або короткого замикання у входних ланцюгах частотних перетворювачів застосовано автоматичні вимикачі типу іС60Н 3Р 25А С 10кА Schneider.

Технічні характеристики автоматичного вимикача іС60Н 3Р 25А С 10кА Schneider:

- Характеристика відключення – С;
- Номінальний струм – 25А;
- Кількість полюсів – 3Р;
- Відключаюча властивість – до 10кА;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд автоматичного вимикача іС60Н 3Р 25А С 10кА Schneider приведений на рисунку 2.29.



Рисунок 2.29 – Автоматичний вимикач іС60Н 3Р 25А С 10кА Schneider

**Автоматичні вимикачі для ланцюгів управління.** Для ланцюгів управління від перенавантаження або короткого замикання застосовано автоматичні вимикачі RESI9 6А 1Р С 6кА Schneider.

Технічні характеристики автоматичного вимикача RESI9 6А 1Р С 6кА Schneider:

- Характеристика відключення – С;
- Номінальний струм – 6А;

- Кількість полюсів – 1P;
- Відключаюча властивість – до 6кА;
- Ступінь захисту – IP 20.

Зовнішній вигляд автоматичного вимикача RESI9 6A 1P С 6кА Schneider приведений на рисунку 2.30.



Рисунок 2.30 – Автоматичний вимикач RESI9 6A 1P С 6кА Schneider

**Кнопки для керування в ручному режимі.** Для керування в ручному режимі передбачено кнопки зеленого кольору (LAY5-BW3361 з підсвіткою 1NO ІЕК) і червоного кольору (LAY5-BW3461 з підсвіткою 1NC ІЕК).

Зовнішній вигляд кнопки LAY5-BW3361 з підсвіткою 1NO ІЕК та кнопки LAY5-BW3461 з підсвіткою 1NC ІЕК приведено відповідно на рисунках 2.31а і 2.31б.



а



б

Рисунок 2.31 – Кнопка LAY5-BW3361 1NO ІЕК (а) та кнопка LAY5-BW3461 1NC ІЕК (б)

**Лампи індикації.** Для індикації режимів роботи та стану обладнання застосовано світлодіодні лампи індикації на 220В AC червоного кольору (AD-22DS-BLS10-ADDS-230-K04 230V IEK), а також лампи індикації зеленого кольору на 24В DC (AD-22DS-BLS10-ADDS-024-K06 24В AC/DC IEK) та на 220В AC (AD-22DS-BLS10-ADDS-230-K06 230V IEK).

Зовнішній вигляд лампи індикації на 220В AC червоного кольору та ламп індикації зеленого кольору на 220В і на 24В DC приведено відповідно на рисунках 2.32а, 2.32б і 2.32в.



Рисунок 2.32 – Лампа індикації на 220В AC червоного кольору (а) та лампи індикації зеленого кольору на 220В (б) і на 24В DC (в)

### **Клапан зворотного ходу з електронним контролем стану.**

Клапан зворотного ходу (далі – Клапан) призначений для захисту трубопроводу від виникнення зворотного ходу робочого середовища та впливу тиску. Клапан встановлюється поруч із чутливим до зміни напрямку потоків обладнанням та вирішує відразу кілька проблем:

- 1) Захищає трубопровідну систему та обладнання від різких стрибків тиску.
- 2) Не дає робочому середовищу змінити напрямок руху потоку..
- 3) Стабілізація тиску у системі.

Відомі Клапани різноманітної конструкції, а саме:

- Кулькові;

- Дводискові;
- Підйомні.

Найбільшу популярність здобули підйомні Клапани.

Та не зважаючи на велику кількість конструктивних реалізацій зокрема клапанів підйомного принципу дії та клапанів зворотного ходу води взагалі, є необхідність у вдосконаленні їх конструкції з точки зору технологічності виробництва, надійності в процесі експлуатації, зручності в процесі монтажу та можливості контролю їх стану системою автоматизованого керування.

Тому в даній роботі в середовищі Oneshape була розроблена конструкція Клапану, що враховує потреби і вимоги в контексті його використання при павтоматизації насосної станції водопостачання.

Зовнішній вигляд Клапану у розрізі у відкритому стані приведено на рисунку 2.33.

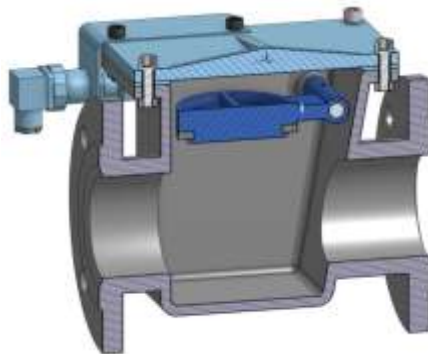


Рисунок 2.33 – Розріз Клапану у відкритому стані

Зовнішній вигляд Клапану у розрізі у закритому стані приведено на рисунку 2.34.

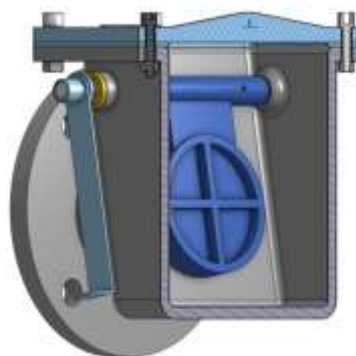


Рисунок 2.34 – Розріз Клапану у закритому стані

Таким чином розроблений Клапан вигідно відрізняється від існуючих клапанів наступним:

- 1) Запропонована конструкція Клапану має більш геометрично просту і як наслідок більш технологічну при виготовленні форму його корпусу.
- 2) Конструкція Клапану дає можливість контролювати його стан системою автоматизованого керування за допомогою датчика, що входить до складу його конструкції.
- 3) Конструкція вісі надає можливість за необхідності закріпити на не зайнятому важелю датчика кінці важіль з обтяжувачем, який надасть можливість більш швидко закриватися Клапану у випадку протікання води з більшою щільністю (наприклад забруднена вода в системі водовідведення).

## **2.5 Функціональна схема автоматизації насосної станції водопостачання**

Базуючись на розробленій структурній схемі САК насосної станції, приведеної на рисунку 2.4, комплекту засобів автоматизації приведену в підрозділі 2.4 і алгоритму роботи САК, як в автоматичному так і в ручному режимі була розроблена функціональна схема автоматизації САК насосної станції АКІТ.14219612.НСВ Е2, яка приведена в Додатку Б даної магістерської роботи.

Відповідно до функціональної схеми автоматизації давачі вібрації (ZE1, ZE2), тиску (PE0, PE1, PE2), потоку (ST1, ST2), підтоплення (RE1, RE2), температури (TE1, TE2), стану клапанів зворотного ходу (GS1, GS2), диму (BTH1...BTH4), давачів охоронного периметру дверей (SP1, SP2) і вікон (BGS1... BGS3), а також витратомір монтується безпосередньо по місцю виконання їх функцій по контролю стану технологічного обладнання чи моніторингу поточної навколишньої ситуації.

Програмований логічний контролер S7-1200 (з CPU і усіма модулями), панель оператора (HMI), роутер (SW1), релейні модулі (MR1, MR2) для



обробки сигналів від датчиків підтоплення (RE1, RE2) і лампи індикації режиму роботи насосних агрегатів монтується в шафі управління (ШУ).

Частотні перетворювачі (A1, A2) та всі інші засоби автоматизації монтується у шафі приводів (ШП).

## **2.6 Схема електрична принципова насосної станції водопостачання**

На основі схеми автоматизації (Додаток Б), комплекту засобів автоматизації приведеному в підрозділі 2.4 та алгоритму роботи САК було розроблено електричну принципову схему АКІТ.14219612.НСВ ЕЗ приведену у Додатку В даної магістерської роботи.

В схемі передбачений контроль якості напруги живлення від трифазної мережі на базі реле контролю фаз RKF-37 EKF PROxima (KV1).

Перехід кожного із насосних агрегатів (НА1, НА2) в автоматичний режим роботи забезпечується за рахунок перемикання комутаційних контактів відповідних проміжних реле F&F PK-4PZ-24V 24B 2x8 A (K1, K2).

При автоматичному режимі роботи через контакти K1.1 та K2.1 напруга 24В подається відповідно на катушки контакторів KM2 і KM4 (TeSys D 25A 24V DC Schneider LC1D25BD), які підключають перетворювачі частоти UZ1 і UZ2 відповідно до приводів PU1 і PU2.

Керування перетворювачами частоти виконується ПЛК по інтерфейсу RS485.

При цьому за рахунок механізму механічного блокування блокується паралельне підключення приводів до електромережі через автоматичні вимикачі QF1 та QF2.

У випадку коли на катушки реле K1 та K2 не подається керуючий сигнал від ПЛК, то обидва насосні агрегати працюють в ручному режимі, живлячись безпосередньо від електромережі через автоматичні вимикачі QF1 та QF2. При цьому швидкість обертання робочих колес насосів відповідає значенню їх номінальної швидкості 2896 об/хв (при  $f=50$ Гц). При цьому у ручному режимі повністю зберігається моніторинг за станом усіх датчиків і можливість

реагування на всі критичні або аварійні ситуації, що обумовлені алгоритмом роботи програми ПЛК.

У ручному режимі запуск насосних агрегатів НА1 та НА2 виконується відповідно натисканням кнопок SB2 та SB4 («Пуск НА1» та «Пуск НА2»), а зупинка їх роботи – кнопками SB1 та SB2 («Стоп НА1» та «Стоп НА2»).

Обмін даними по радіоканалу сотової мережі забезпечує роутер iRZ RL21w. Передача даних між ПЛК і роутером та між ПЛК і панеллю НМІ відбувається по внутрішньої мережі Ethernet.

У разі появи ознак пожежі або несанкціонованого проникнення подаються світлозвукові сигнали відповідно оповіщувачами ВА1 та ВА2.

Керуючі сигнали від ПЛК подаються через дискретні виходи центрального процесор CPU 1214C (DQa0... DQa4, DQb1... DQb5), а вхідні сигнали від давачів подаються на дискретні входи центрального процесор CPU 1214C (DIa0... DIa7, DIb0... DIb5) та на аналогові входи модуля аналогових входів SM 1231 AI 8x13bit.

## **2.7 Блок-схема алгоритму програми для керування насосною станцією та моніторингу поточної обстановки**

Згідно концепції покладеної в основу алгоритму роботи САК була розроблена блок-схема алгоритму програми керування насосними агрегатами.

Після визначення уставок, з якими будуть порівнюватися поточні значення даних від засобів автоматизації САК і прийому поточних значень від давачів, програма аналізує який режим роботи насосних агрегатів активований.

Якщо для обох насосних агрегатів є дозвіл на роботу в автоматичному режимі, то порівнюється кількість моточасів, які напрацювали агрегати. Команда на запуск дається тому агрегату, який напрацював меншу кількість моточасів.

Після запуску певного агрегату включається лічильник його моточасів.

У випадку якщо не було отримано підтвердження від давача потоку, що після команди запуску насосний агрегат почав працювати, формується сигнал АПС «Аварія НА1» або «Аварія НА2» для ПК диспетчера і подається команда на запуск іншого насосного агрегату.

Після отримання підтвердження про те, що запущений насосний агрегат працює виконується перевірка значення поточної подачі  $Q$ . Якщо її значення перевищує значення уставки  $Q_{av}$ , то формується АПС диспетчеру «Прорив» і програма продовжує роботу далі згідно алгоритму.

Далі виконується перевірка поточного значення тиску  $P$  на вході системи водорозподілу житлового масиву. Якщо його значення знаходиться в нижньому діапазоні можливих значень (між  $P_{\min}$  і  $P_{\text{ном-х}}$ ), то перевіряється чи працює на даний момент інший насосний агрегат. Якщо працює інший насосний агрегат, то збільшується частота напруги іншого агрегату до моменту коли вона не досягне значення 50Гц. Якщо ж ні, то виконується така ж перевірка поточної частоти напруги першого агрегату. Якщо частота його напруги не досягла 50Гц, то виконується збільшення її частоти. Якщо ж досягла, то запускаємо другий насосний агрегат.

Коли значення тиску  $P$  на вході системи водорозподілу досягло значень верхнього діапазону можливих значень, то знову ж таки виконується перевірка чи не працюють обидва насосні агрегати паралельно. Якщо ні, то збільшується частота напруги того агрегату, який був вибраний на початку в результаті порівняння значень моточасів. Якщо ж працюють обидва агрегати, то виконується поступове зменшення частоти напруги додаткового агрегату аж до повної його зупинки при досягненні значення частоти його напруги значення  $F_{\min}$ .

Якщо ж по якійсь причині значення тиск  $P$  вийшло за межі допустимих значень і досягло значення  $P_{\max}$  або  $P_{sx}$ , то формується сигнал АПС для диспетчера «Перевищена межа тиску» і виконується зупинка основної програми керування роботою насосних агрегатів.

На фоні основної програми паралельно працюють підпрограми моніторинга критичних або аварійних ситуацій.

Як блок-схеми алгоритму основної керуючої програми так і блок-схеми підпрограми моніторинга критичних або аварійних ситуацій приведені в Додатку Г даної магістерської роботи.

## **2.8 Розробка програмного забезпечення для керування насосною станцією водопостачання**

Перш ніж приступити до розробки програмного забезпечення треба визначитися з кількістю сигналів, їх призначенням, відповідністю їх щодо задіяних апаратних каналів та відповідністю тим змінним, якими будемо оперувати при розробці програмного забезпечення. Ці всі дані представлені в таблиці 2.1.

Розробку програмного забезпечення для САК виконано програмному середовищі TIA Portal. Для цього було створено в ньому проект відповідно до обраного раніше центрального процесора CPU 1214C (AC/DC/RLY) для ПЛК SIMATIC S7-1200. При розробці програмного забезпечення для обраного ПЛК було застосовано вид програмування Function та мову програмування LAD.

LAD або LD (Ladder Diagram) – графічна мова, заснована на принципах релейно-контактної схеми (елементи релейно-контактної логіки: контакти, обмотки реле, вертикальні та горизонтальні перемички та ін.) з можливістю використання великої кількості різних функціональних блоків.

Вигляд вікна проекту з приведеним вмістом організаційного блоку проекту Main OB1 представлений на рисунку 2.35. В лівій частині вікна приведено перелік програмних блоків, задіяних при розробці програмного забезпечення, а саме: інших організаційних блоків, функціональних блоків і блоків даних.

Організаційний блок Maine [OB1] – це блок який циклічно викликається в процесі роботи програми і який в свою чергу організовує роботу функціональних блоків, відповідаючих за обробку сигналів від давачів вібрації

насосних агрегатів (GetVibration[FC4]), датчиків температури їх приводів (GetTemperatures[FC3]), датчиків потоку (GetWaterflowRate[FC8]) та датчиків тиску (GetPressure[FC2]).

У блоці Main [OB1] виконується також порівняння значення тиску на вході насосних агрегатів зі значенням тиску «сухого ходу» і формується відповідна реакція програми, організовується постійне опитування частотних перетворювачів по інтерфейсу RS485, викликається є функціональний блок, що відповідає за зміну частоти напруги живлення приводів насосних агрегатів, залежно від тиску  $P$  на виході насосної станції.

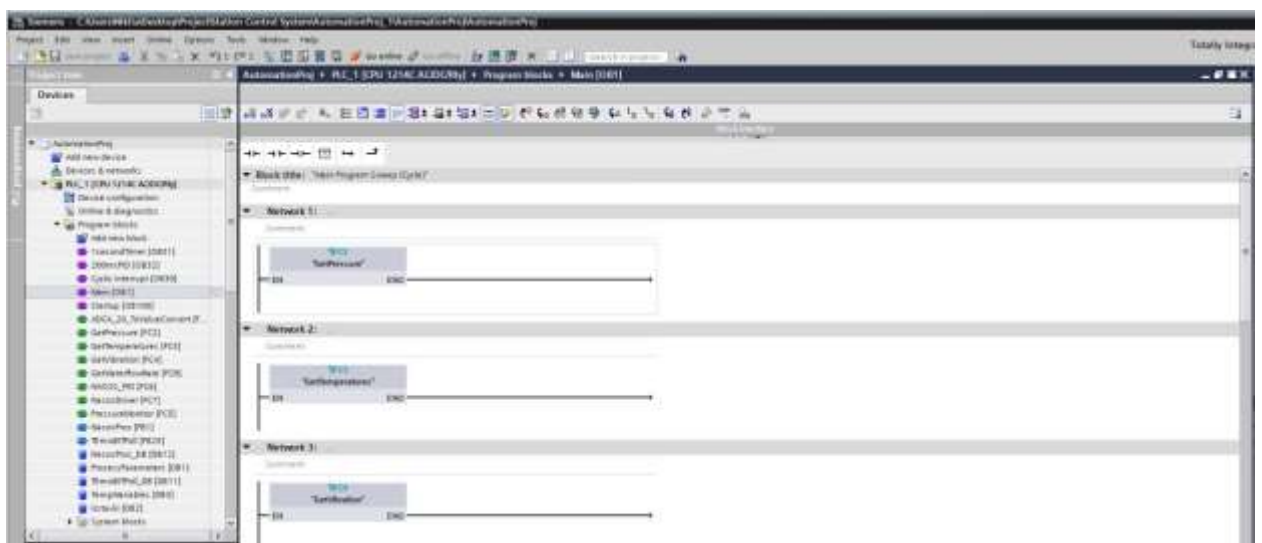


Рисунок 2.35 – Вигляд вікна проекту з вмістом блоку Main OB1

Блок 200msPID [OB32] відповідає за роботу ПІД-регулятора, який запускається в роботу з періодичністю 1 раз в 200 мілісекунд.

Організаційний блок 1secondTimer [OB31] циклічно 1 раз в секунду перевіряє який із насосних агрегатів запущений і запускає підрахунок моточасів працюючого агрегату.

В організаційному блоці Cyclic interrupt [OB30] перевіряються спрацьовування датчиків охоронних периметрів дверей і вікон та вмикається відповідна сирена за допомогою відповідного світлозвукового оповіщувача.

Таблиця 2.1 – Опис сигналів САК та відповідних їм змінних, задіяних при розробці програмного забезпечення.

№ п/п	Назва змінної для програми	Призначення сигналу	Найменування обладнання	Канал	Джерело або Приймач сигналу	Примітки
1	Nw1	Підтвердження того, що НА1 працює	Процесор CPU 1214C (AC/DC/RLY)	DIa0	НО контакт	24В після замикання контакту приходить на вхід DIa0 - НА1 працює
2	Nw2	Підтвердження того, що НА2 працює		DIa1	НО контакт	24В після замикання контакту приходить на вхід DIa1 - НА2 працює
3	Kp1	Стан клапану Кз1		DIa2	Датчик з рпр-виходом	24В - Кз1 відкритий
4	Kp2	Стан клапану Кз2		DIa3	Датчик з рпр-виходом	24В - Кз2 відкритий
5	Kw1	Підтоплення НА1		DIa4	НО контакт	24В - підтоплення НА1
6	Kw2	Підтоплення НА2		DIa5	НО контакт	24В - підтоплення НА2
7	Q	Витрата (подача) води		DIa6	Витратомір імпульсний	Імпульси 24В

Продовження таблиці 2.1

№ п/п	Назва змінної для програми	Призначення сигналу	Найменування обладнання	Канал	Джерело або Приймач сигналу	Примітки
8	Sbd	Контроль дверей	Процесор CPU 1214C (AC/DC/RLY)	DIa7	НЗ контакт	0В - порушення периметру дверей
9	Sbw	Контроль вікон		DIb0	НЗ контакт	0В - порушення периметру вікон
10	Ssm	Контроль задимленості повітря		DIb1	НЗ контакт	0В - наявність диму в повітрі
11	Sf1	Наявність потоку води на виході НА1		DIb2	Датчик з рnr-виходом	24В - наявність потоку на виході НА1
12	Sf2	Наявність потоку на виході НА2		DIb3	Датчик з рnr-виходом	24В - наявність потоку на виході НА1
13	–			DIb4		Не задіяний

Продовження таблиці 2.1

№ п/п	Назва змінної для програми	Призначення сигналу	Найменування обладнання	Канал	Джерело або Приймач сигналу	Примітки
14	–		Процесор CPU 1214C (AC/DC/RLY)	D1b5		Не задіяний
1	Ns1	Запуск НА1		DQa0	Катушка контактора КМ2	Замикаємо контакт DQa0 (подаємо 24В на КМ2) - НА1 запущено в роботу в режимі "Автоматичний"
2	Ns2	Запуск НА2		DQa1	Катушка контактора КМ4	Замикаємо контакт DQa1 (подаємо 24В на КМ4) - НА2 запущено в роботу в режимі "Автоматичний"
3	Alf	Активація сирени пожежної		DQa2	Оповіщу-вач пожежний	Замикаємо контакт DQa2 (подаємо 24В на оповіщувач) - пожежна сирена активована
4	Als	Активація сирени охоронної		DQa3	Оповіщу-вач охоронний	Замикаємо контакт DQa3 (подаємо 24В на оповіщувач) - охоронна сирена активована



Продовження таблиці 2.1

№ п/п	Назва змінної для програми	Призначення сигналу	Найменування обладнання	Канал	Джерело або Приймач сигналу	Примітки
5	Sm1	Вибір режиму "Ручний або" "Автоматичний" для НА1	Процесор CPU 1214C (AC/DC/RLY)	DQa4	Переключаючий контакт K1.1 реле K1	24В з DQa4 через НВ контакт K1.1 в схему - режим "Автоматичний" НА1.
7	–					Не задіяний
8	–					Не задіяний
9	–					Не задіяний
10	–					Не задіяний
1	P0	Тиск на вході НА1 и НА2	Модуль аналогових входів SM 1231 8ai	AI0	Давач тиску	4мА...20мА

Продовження таблиці 2.1

№ п/п	Назва змінної для програми	Призначення сигналу	Найменування обладнання	Канал	Джерело або Приймач сигналу	Примітки
2	P1	Тиск на виході НА1	Модуль аналогових входів SM 1231 8ai	AI1	Давач тиску	4мА...20мА
3	P2	Тиск на виході НА2		AI2	Давач тиску	4мА...20мА
4	Td11	Температура двигуна НА1		AI3	Давач температу-ри	4мА...20мА
5	Td12	Температура двигуна НА2		AI4	Давач температу-ри	4мА...20мА
6	Sz1	Вібрація НА1		AI5	Давач вібрації	4мА...20мА
8	–					Не задіяний

Закінчення таблиці 2.1

№ п/п	Назва змінної для програми	Призначення сигналу	Найменування обладнання	Канал	Джерело або Приймач сигналу	Примітки
1	–	Обмін даними з CPU 1214C	Комунаційний модуль CSM 1277	P1	Процесор CPU 1214C	PROFINET (10/100 Мбит/с)
2	–	Обмін даними з панеллю HMI KTP1200 Basic PN		P2	Панель HMI KTP1200 Basic PN	
3	–	Обмін даними з роутером iRZ RL21w		P3	Роутер iRZ RL21w	
4	–			P4	Не задіяний	
1	F1	Частота напруги живлення приводу HA1	Комунаційна плата CB 1241	X20	ПЧ 1	RS48 (9600 бод, протокол Modbus)
	F2	Частота напруги живлення приводу HA2			ПЧ 2	

В цьому ж блоці відслідковується стан клапанів зворотного ходу води та формується сигнал при спрацьовуванні здавачів підтоплення, по якому виконується відключення насосних агрегатів та формується попереджувальний сигнал.

В організаційному блоці Startup [OB100] виконується ініціалізація налаштувань роботи інтерфейсу RS485 згідно протоколу Modbus для опитування частотних перетворювачів.

В функціональному блоці AD4\_20\_ToValueCjnverter [FC1] виконується перетворення сигналів від давачів стандарту 4мА...20мА .

Функціональний блок GetVibration[FC4] відповідає за обробку сигналів від давачів вібрації насосних агрегатів.

Функціональний блок GetTemperatures[FC3] відповідає за обробку сигналів від давачів температури їх приводів.

Функціональний блок GetWaterflowRate[FC8] відповідає за обробку сигналів від давачів потоку.

Функціональний блок GetPressure[FC2] відповідає за обробку сигналів від здавачів тиску.

Функціональний блок PID\_MASTER\_NASOS [FC6] описує роботу ПІД-регулятора насосного агрегату.

Функціональний блок NasosDriver [FC7] описує алгоритм керування роботою насосного агрегату.

Функціональний блок PressureMonitor [FC5] відповідає за прийняття рішень щодо запуску або зупики насосних агрегатів залежно від поточного значення тиску відповідно до уставок.

Функціональний блок NasosProc [FB1] відповідає за визначення пріоритету запуску насосного агрегату відповідно до значення його моточасів, виконує керування насосними агрегатами використовуючи функціональний блок NasosDriver [FC7], зміну значення частоти конкретного агрегату залежно від значень тиску.

Крім організаційних та функціональних блоків програма також містить в собі блоки даних.

Блок даних NasosProc\_DB [DB12] містить дані для роботи функціонального блоку NasosProc [FB1].

Блок даних ProcessParameters [DB1] містить змінні, якими оперує програма в процесі керування роботою насосною станцією.

Блок даних Ustavki [DB2] містить значення уставок, з якими порівнюються поточні значення змінних.

В блоці даних TempVariables [DB3] знаходяться змінні, що відповідають значенню здавачів охоронних периметрів станції.

Зміст всіх організаційних і функціональних блоків програми, а також блоків даних приведений в Додатку Д магістерської роботи.

В даному проекті був розроблений людинно-машинний інтерфейс оператора на базі панелі НМІ моделі KTP1200 Basic PN.

Вигляд вікна інтерфейсу НМІ в проекті приведено на рисунку 2.36.

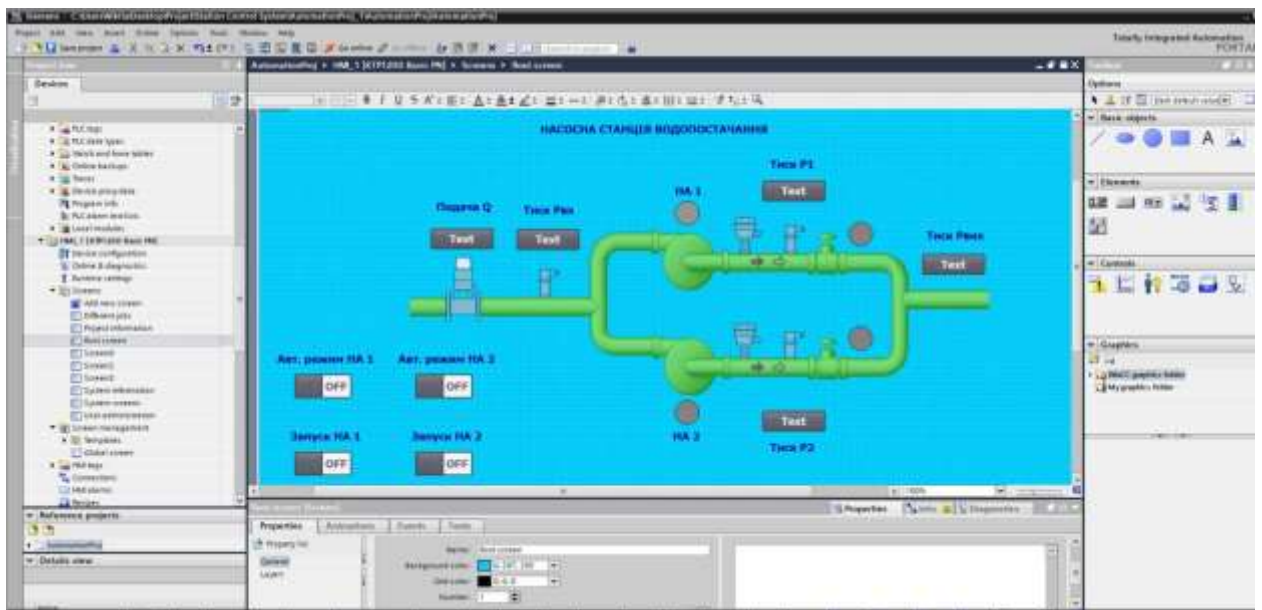


Рисунок 2.36 – Вигляд вікна інтерфейсу НМІ в проекті

Вигляд вікна інтерфейсу НМІ в процесі його роботи, симуляція якої була реалізована за допомогою симулятора S7-PLCSIM, що імітує взаємодію

центрального процесора SIMATIC S7 з областю відображення процесу, приведено на рисунку 2.37.

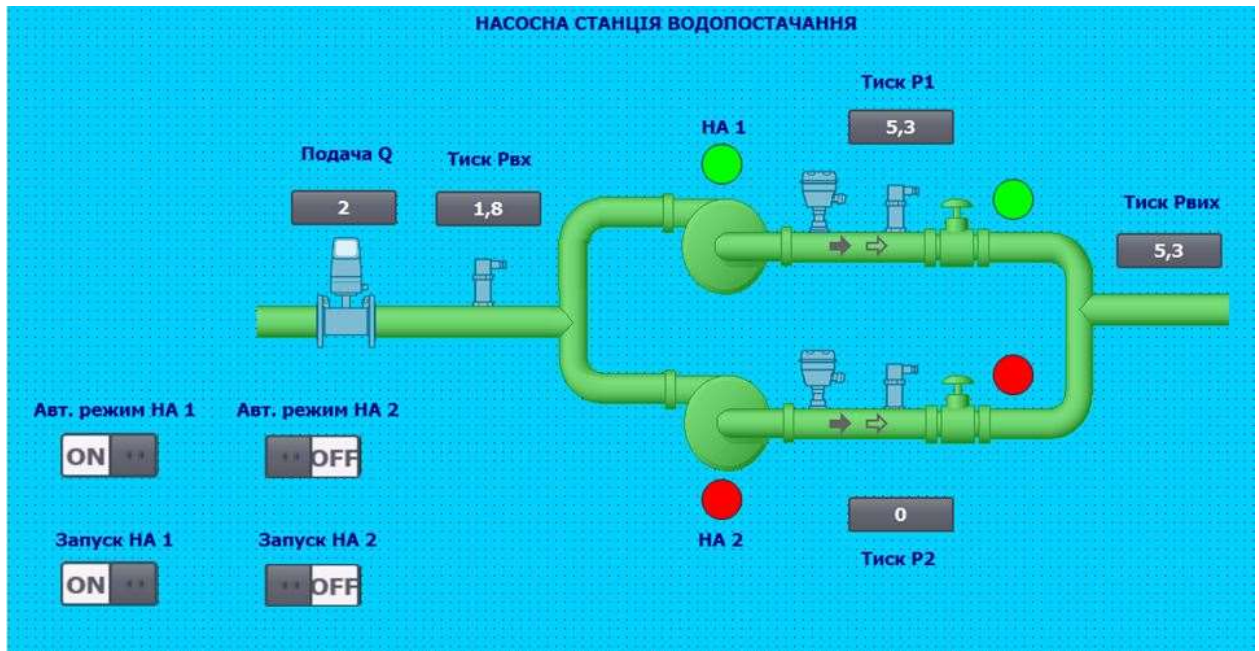


Рисунок 2.37 – Вигляд вікна інтерфейсу НМІ в процесі його роботи

## 2.9 Висновки до розділу 2

1. У розділі описані існуючі на сьогодні варіанти алгоритмів керування насосними агрегатами з застосуванням зміни частоти напруги їх живлення, проаналізовані їх переваги та недоліки і обрано найбільш оптимальний, стійкий, гнучкий і технологічний алгоритм індивідуального керування коли для кожного насосного агрегату передбачено індивідуальний перетворювач частоти.

2. Відповідно до обраного алгоритму керування і на основі задач завдання на проектування була проведена модернізація гідравлічної схеми насосної станції в контексті її автоматизації. Була розроблена відповідна гідравлічна принципова схема, в якій враховане необхідне технічне переоснащення.

3. Розроблена як структурна схема САК насосної станції так і на її основі функціональна схема автоматизації.

4. Підібрані і описані технічні характеристики необхідних засобів автоматизації.

5. На основі функціональної схеми автоматизації, обраного комплексу необхідних засобів автоматизації та алгоритму індивідуального керування була розроблена принципова електрична схема САК, що забезпечує як автоматичний так і ручний режими керування.
6. Розроблений алгоритм керуючої програми САК для обраного ПЛК.
7. В середовищі TIA Portal з використання виду програмування Function та мову програмування LAD було розроблено програмне забезпечення для САК.
8. В середовищі TIA Portal також був розроблений користувацький інтерфейс на базі панелі НМІ моделі KTP1200 Basic PN і проведена перевірка роботи програмного забезпечення з використанням можливостей симулятора S7-PLCSIM.

### **3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ, ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ**

Розробка моделі насосного агрегату базується на витратно-напірній характеристиці насосного агрегата типу CR10-04 A-FJ-A-E-HQQE, яка приведена в розділ I даної магістерської роботи. Його продуктивність регулюється перетворювачем частоти, що вносить зміни до рівняння, яке описує витратно-напірну характеристику, а відповідно і до моделі розробленої в програмі SIMULINK.

Математична модель умовно поділена на два блоки:

- Блок, що на основі математичного рівняння витратно-напірної характеристики, описує роботу відцентрового насосу.
- Блок, що на основі передатної функції, описує роботу асинхронного двигуна.

Етап розробки першого блоку полягає в обчисленні коефіцієнтів, що входять до складу рівняння, яке описує графік витратно-напірної характеристики.

Другий блок моделі складається з аперіодичної ланки першого порядку, яка являється передатною функція асинхронного двигуна і є аперіодичною ланкою другого порядку. Проте, враховуючи інерцію електродвигуна та насоса, електромагнітною сталою можна знехтувати, що перетворює передаточну функцію на аперіодичну ланку першого порядку.

#### **3.1 Розробка блоку, що описує роботу відцентрового насосу**

Перший блок запропонованої моделі насоса включає математичні розрахунки величини витрати за відомою частотою напруги живлення та за напором з використанням рівняння витратно-напірної характеристики (рисунок 3.1).

Витратно-напірна характеристика насоса аналітично описується рівнянням повної квадратичної параболи [9]:

$$H_H = a_0 + a_1 Q_H + a_2 H_H^2 \quad (1)$$



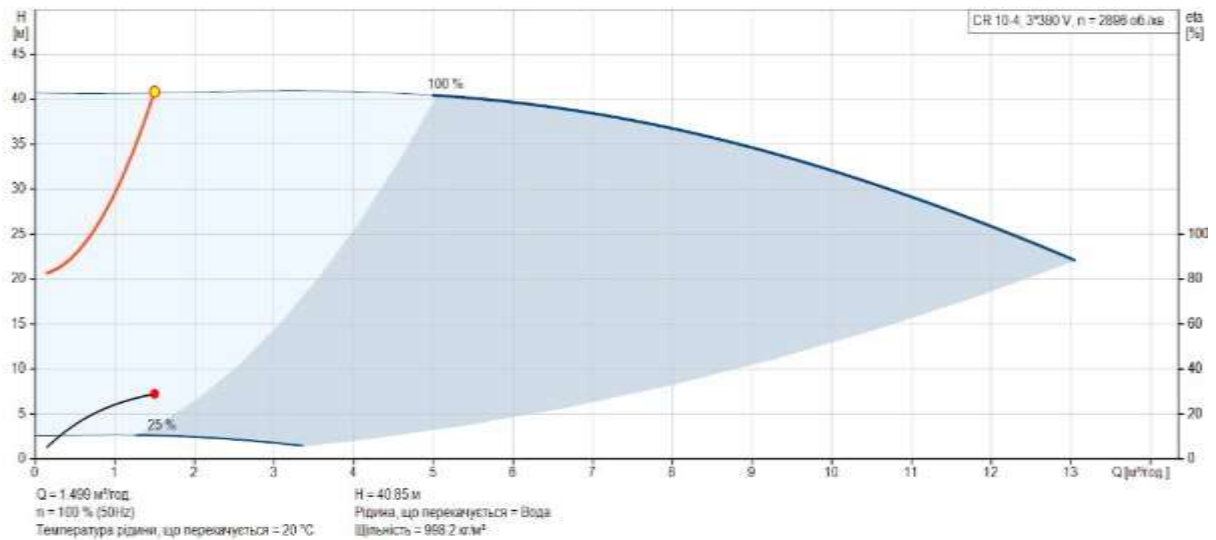


Рисунок 3.1 – Витратно-напірна характеристика

Тут  $H_n$  і  $Q_n$  відповідно є напором, що розвивається насосом, і подачею (або продуктивністю) насоса при будь-якому режимі його роботи ( $Q_n \neq 0$ ).

Ці величини вимірюються в метрах і кубічних метрах за годину відповідно;  $a_0$  – це напір, який розвивається насосом при  $Q_n=0$ ;  $a_0$  і  $a_1$  – це постійні величини, знаки яких залежать від форми расходно-напірної характеристики.

Оскільки подача насоса регулюється за допомогою перетворювача частоти (ПЧ), то рівняння витратно-напірної характеристики (1) набуде наступного вигляду:

$$H_n = a_0 \left( \frac{f}{f_{ном}} \right)^2 + a_1 Q_n \frac{f}{f_{ном}} + a_2 H_n^2 \quad (2)$$

де  $f$  — це поточна частота напруги живильної (в Герцах), а  $f_{ном}$  — номінальна частота живильної напруги для даного насоса (в Герцах). У разі регулювання подачі насоса входними параметрами моделі є частота живильної напруги і напір. Номінальне значення частоти напруги живлення приведено в технічних характеристиках насоса і становить 50Гц.

Невідомі коефіцієнти, які входять до формули (1), необхідно розрахувати з графіка витратно-напірної характеристики. Один з варіантів - розрахувати коефіцієнти за трьома відомими точками, тобто розрахувати першу і другу похідні та розв'язати систему рівнянь:

$$\begin{cases} H_H = a_0 + a_1 Q_H + a_2 H_H^2 \\ \dot{H}_H = a_1 + 2a_2 H_H \\ \ddot{H}_H = a_2 \end{cases} \quad (3)$$

де  $a_0$ ,  $a_1$  і  $a_2$  є шуканими коефіцієнтами.

Інший варіант – скористатися програмним забезпеченням для апроксимації функції однієї змінної за кількома точками.

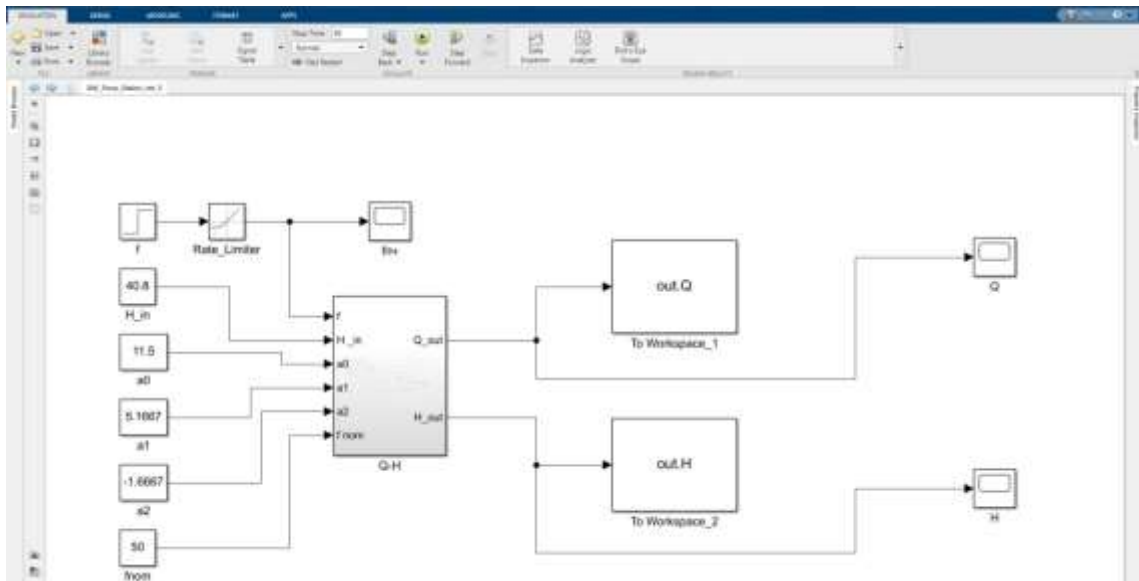


Рисунок 3.2 – Блок , що описує роботу відцентрового насосу

У моделі, представленій на рисунку 3.2, використовується блок «Rate Limiter», який обмежує швидкість зміни частоти. Для перевірки роботи блоку візьмемо робочу точку: подача 1,5 м<sup>3</sup>/год та напір 40,8 м. Робоча частота дорівнює номінальній – 50 Гц (рисунок 3.3).

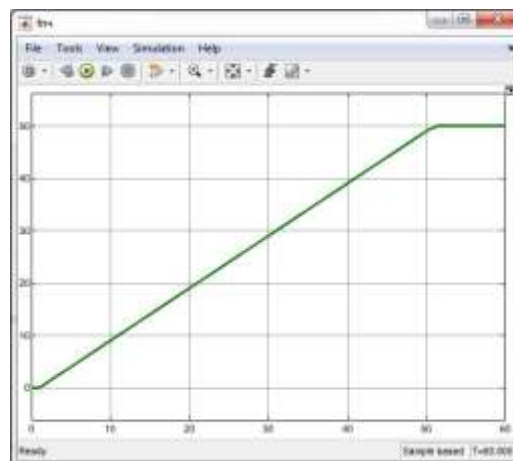


Рисунок 3.3 – Графік виходу на робочу частоту 50Гц

Таким чином, на виході моделі повинна бути витрата  $1,5 \text{ м}^3/\text{год}$ . На рисунку 3.4 видно, що в момент часу 53 с значення витрати майже відповідає необхідному і становить  $1,53 \text{ м}^3/\text{год}$ .



Рисунок 3.4 – Подача, що забезпечує модель при  $f_{роб} = 50 \text{ Гц}$

Графік зміни в часі напору при  $f_{роб} = 50 \text{ Гц}$  приведено на рисунку 3.5



Рисунок 3.5 – Напір, що забезпечує модель при  $f_{роб} = 50 \text{ Гц}$

Таким чином, аналізуючи графічні дані представлені на рисунках 3.1 – 3.5, можемо стверджувати що побудована модель працює відповідно до витратно-напірної характеристик насососного агрегату і на 53 секунді, коли робоча частота нпруги живлення досягає 50Гц, то подача і напір досягають значень відповідних до характеристики.

У ході дослідження моделі було зафіксовано, що на схилі графіку з'являється точка перелому. Однак кінцеве значення відповідало необхідному.

Трансформуємо рівняння 2 до вигляду:

$$H_n = a_2 H_n^2 + a_1 Q_n \frac{f}{f_{ном}} + \left( a_0 \left( \frac{f}{f_{ном}} \right)^2 - H_n \right) = 0 \quad (4)$$

У цьому рівнянні невідомою є витрата  $Q_n$ . Знаходимо дискримінант. Якщо значення дискримінанту негативне, отримуємо комплексно спряжені корені. Це унеможливило подальші розрахунки, тому в моделі встановлено було блок порівняння, і якщо дискримінант менший за нуль, то його значення прирівнюється до нуля. Далі знаходимо корені і вибираємо більший з них.

Дослідження показало, що до точки зламу графіка дискримінант дорівнює нулю. Після того, як дискримінант стає більшим за нуль, відбувається різке збільшення витрати. Причина цього в тому, що модель використовує значення тиску, відповідне робочій точці, у розрахунку.

Насправді значення тиску квадратично залежить від значення частоти:  $H = kf^2$ . Щоб дізнатися значення коефіцієнта  $k$ , потрібно знати дві точки.

Одна з них – точка  $(0, 0)$ . Друга точка –  $(H, f_{ном})$ , тобто напір і номінальна частота мережі живлення.

Удосконалення моделі дало можливість отримати графічні залежності напору і подачі від часу без точок перелому.

Зміст субмодуля моделі з внесеними удосконаленнями приведено на рисунку 3.6.

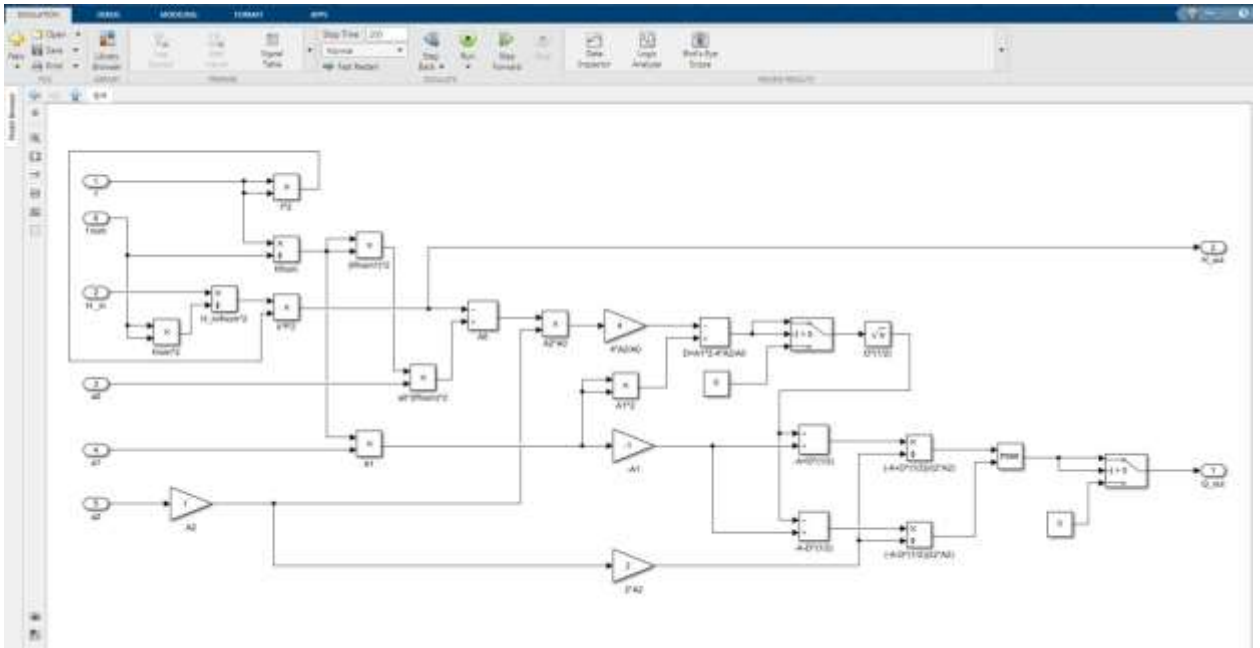


Рисунок 3.6 – Зміст субмодуля моделі з внесеними змінами відповідно до результатів дослідження

### 3.2 Розробка блоку, що описує роботу асинхронного двигуна

Насос приводиться в дію асинхронним двигуном (АД). Передаточна функція АД має наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{1}{T_e \cdot T_M \cdot s^2 + T_M \cdot s + 1}, \quad (5)$$

де  $T_e$  — електромагнітна стала часу, а  $T_M$  — електромеханічна стала часу.

З урахуванням інерційності електродвигуна і насоса, електромагнітною сталою часу можна знехтувати. Отже, передаточна функція АД буде аперіодичною ланкою першого порядку.

Для врахування інерції, введеної робочим колесом АД, введемо сталу часу  $T_{pk}$  (стала часу робочого колеса) і позначимо суму сталих часу  $T_H = T_M + T_{pk}$  як сталу часу насоса.

Тоді передаточна функція матиме вигляд:

$$W(s) = \frac{1}{T_H \cdot s + 1}, \quad (6)$$

З урахуванням інерційності і згідно виразу 6 до блоку, що відтворює роботу відцентрового насосу до нього було додано блок, що враховує інерційність як насосу так і його приводу.

З урахуванням додаткових удосконалень розроблена модель приймає вигляд представлений на рисунку 3.7.

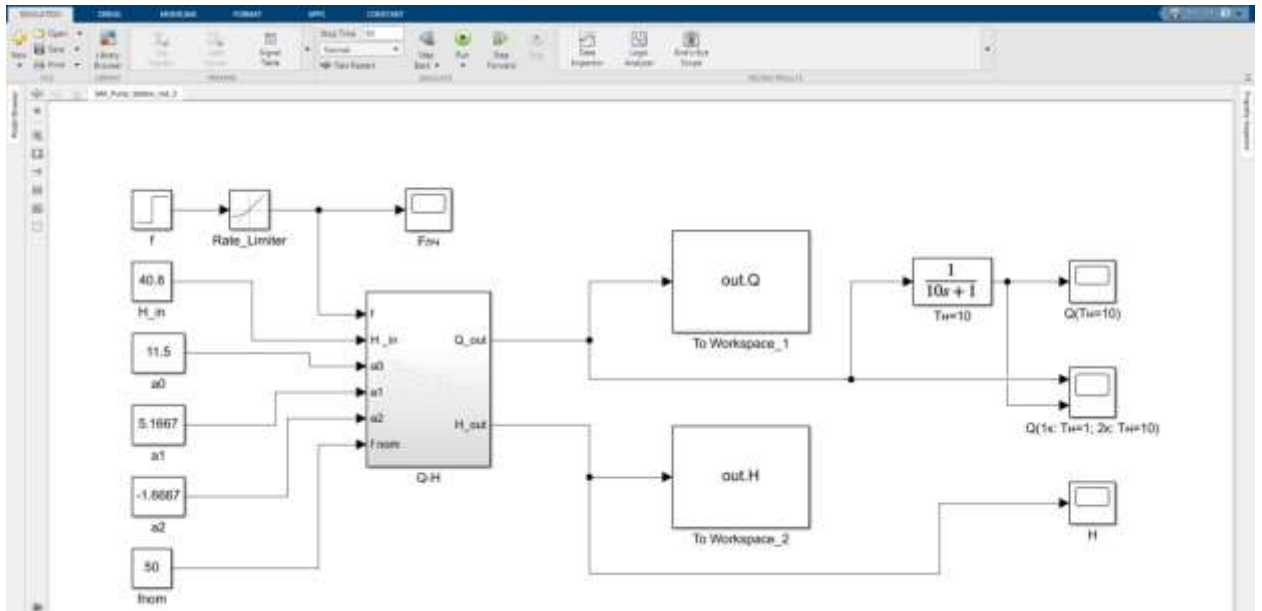


Рисунок 3.7 – Модель з урахуванням інерційності насосу та АД

Перехідні процеси при сталих часу  $T_H = 1$  та при  $T_H = 10$  при робочій частоті напруги живлення, що дорівнює 50Гц приведені на рисунку 3.8

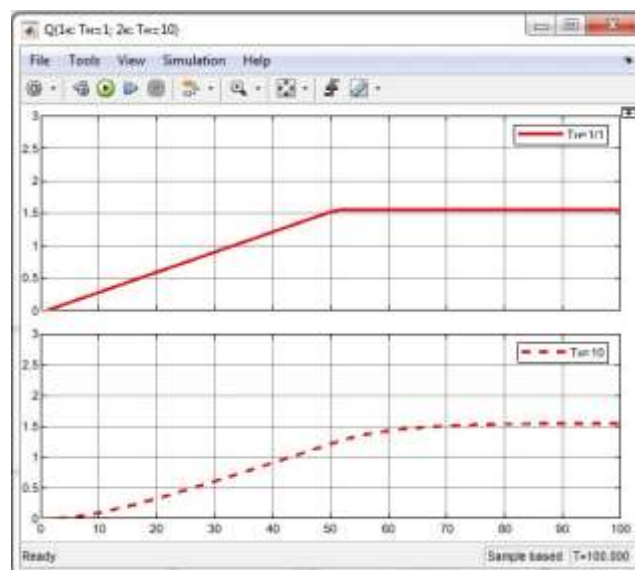


Рисунок 3.8 – Графік  $Q(t)$  при  $T_H = 1$  та  $T_H = 10$  та  $f_{роб} = 50\text{Гц}$

Визначимо настільки стійко і точно працює розроблена модель на частоті напруги живлення відмінної від номінальної.

Задамо робочу частоту 30Гц відповідно до графіку приведенному на рисунку 3.9.

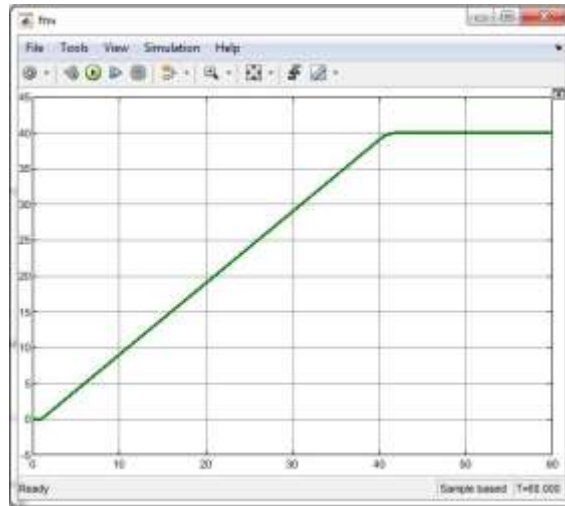


Рисунок 3.9 – Графік виходу на робочу частоту 40Гц

Таким чином на виході моделі при частоті 40Гц (80%) вона повинна забезпечувати напір 27м при подачі 0,9 м<sup>3</sup>/год.

Графік зміни в часі напору при  $f_{роб} = 40$ Гц приведено на рисунку 3.10.

З графіку приведенному на рисунку видно, що в момент часу 32 с значення подачі майже відповідає необхідному і становить 0,93 м<sup>3</sup>/год. Невідповідність становить всього 3,3%.

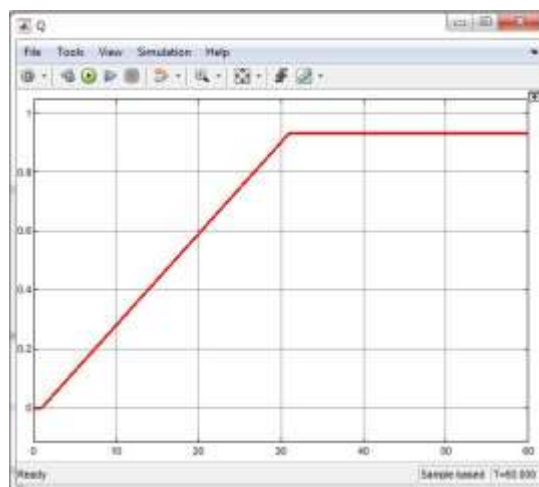


Рисунок 3.10 – Графік зміни в часі подачі при  $f_{роб} = 40$ Гц

Графік залежності подачі від часу, що приведено на рисунку 3.11 також відповідає значенням згідно напірно-витратної характеристики.



Рисунок 3.11 – Графік зміни в часі напору при  $f_{роб} = 40$ Гц

### 3.3 Висновки до розділу 3

В даному розділі було побудовано, на основі математичних залежностей, що описують роботу відцентрового насоса та асинхронного двигуна, математичну модель в середовищі SIMULINK.

Робота даної моделі була досліджена в цьому ж середовищі.

Порівняльний аналіз результатів дослідження показав, що розроблена модель відтворює роботу насосного агрегату як на номінальній частоті так і на частоті, що відрізняється від неї у випадку коли продуктивність насосного агрегату регулюється за допомогою частотного перетворювача.

Зафіксовані стійкі результати без перерегулювання в ході перехідних процесів.

Невідповідність в отриманих даних в ході дослідження складає не більше 3,3%, що цілком допустимо.

На вході моделі встановлений блок "Rate Limiter", який обмежує швидкість зміни частоти, імітуючи таким чином перетворювач частоти з активованою функцією Ramp. Для моделювання системи з цією моделлю насоса можна використовувати більш детальну модель перетворювача частоти



замість блоку "Rate Limiter", що буде зроблено в процесі подальшого вдосконалення і дослідження розробленої математичної моделі.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Студент \_\_\_\_\_ В. В. Бенюх  
25 травня 2024 р.

Консультант \_\_\_\_\_ Л. І. Григор'єва  
д. б. н., професор 27 травня 2024 р.

**Миколаїв – 2024**

## **4.1 Охорона праці в виробничому приміщенні насосної станції водопостачання комерційного підприємства міста**

В даному розділі розглянуті питання охорони праці в виробничому приміщенні діючої насосної станції водопостачання комерційного підприємства міста, приведені можливі небезпечні фактори для обслуговуючого персоналу та проаналізовані мікрокліматичні умови праці, а також розглянуті питання убезпечення персоналу на випадок виникнення надзвичайних ситуацій.

### **4.1.1 Опис виробничого приміщення насосної станції водопостачання та аналіз небезпечних факторів**

Виробниче приміщення насосної станції розташоване в одноповерховій окремій будівлі, зовнішній вигляд якої приведено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд будівлі насосної станції

Будівля включає в себе дві приміщення, більше з яких представляє собою машинний зал, де розташоване все технологічне обладнання, а друге призначене для оператора. Вигляд приміщення машинного залу приведено на рисунку 4.2



Рисунок 4.2 – Вигляд приміщення машинного залу насосної станції

На рисунку 4.3 представлено вигляд приміщення для оператора.



Рисунок 4.3 – Вигляд ззовні приміщення для оператора

Аналізуючи стан насосної станції як ззовні так і з середини можна визначити наступні небезпечні фактори з точки зору охорони праці [12, 14]:

1. Можливість ураження електричним струмом внаслідок порушення ізоляції кабелів або проводів, внаслідок відсутності резинових килимків безпосередньо біля шкафів з електроприладами, внаслідок підтоплення насосних агрегатів в результаті пошкодження труб, внаслідок контакту із незаземленими токоведучими частинам.

2. Можливість травмування через водопровідні труби, які перетинають майже все приміщення на висоті коліна людини і заважають безпечно для здоров'я пересуватися та обслуговувати обладнання, через відкриті оглядові люки (рисунок 4.3) та відсутність будь-яких попереджувальних табличок, написів та відповідних кольорових маркувань небезпечних місць чи спеціальних тимчасових огорож.



Рисунок 4.3 – Відчинений оглядовий люк

3. Недостатнє штучне освітлення машинного залу та приміщення оператора внаслідок того, що вікна, які повинні були забезпечувати відповідне додаткове сонячне освітлення, були закладені цеглою та для освітлення застосовано лампи накаливання.
4. Малоефективні два обігрівуючі пристрої, які взимку не зможуть створити комфортний для оператора мікроклімат в приміщенні та відсутній кондиціонер, внаслідок чого не можна досягти комфорту в спекотну пору року.
5. Постійний виробничий шум, що спричиняють насосні агрегати.

#### **4.1.2 Розрахунок штучного освітлення в будівлі насосної станції водопостачання**

Освітлення робочого приміщення насосної станції має величезне значення з точки зору безпеки, продуктивності та комфорту працівників. Ось чому це важливо:

**Безпека:** Достатнє освітлення зменшує ризик травматизму та нещасних випадків на робочому місці. Погане освітлення може призвести до необачності, зіткнень з обладнанням, або спотворення оцінки ситуацій.

**Ефективність роботи:** Якісне освітлення підвищує продуктивність працівників. Коли приміщення добре освітлене, люди краще концентруються, менше утомлюються і здатні зосередитися на своїй роботі.

**Здоров'я працівників:** Недостатнє освітлення може спричинити напругу для очей, головний біль та навіть погіршення зору. При надмірному напруженні очей працівники можуть відчувати втому швидше та страждати від зниження продуктивності.

**Безпека обладнання:** Деяке обладнання на насосних станціях може вимагати додаткового освітлення для правильного обслуговування та ремонту. Якщо робоче місце не належним чином освітлене, це може призвести до неправильної роботи з обладнанням та навіть аварій.

**Зручність та комфорт:** Добре освітлене робоче середовище забезпечує комфорт та зручність для працівників. Це важливо для їхнього загального самопочуття та задоволення від роботи.

Отже, освітлення робочого приміщення насосної станції необхідне для забезпечення безпеки, ефективності, здоров'я працівників та зручності їхньої роботи.

Тому важливо правильно розрахувати штучне освітлення в будівлі насосної станції. На рисунку 4.4 приведено план будівлі насосної станції.

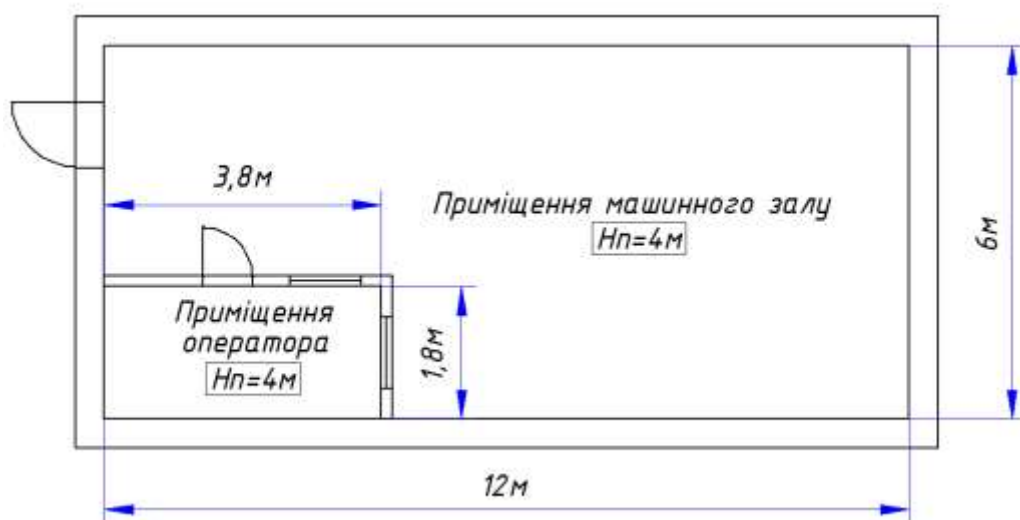


Рисунок 4.4 – План будівлі насосної станції

Як джерело штучного освітлення використовуємо трубчасті люмінесцентні лампи, оскільки в кімнаті відсутнє природне освітлення.

Відповідно до умов експлуатації обираємо підвісний пиловологозахисний люмінесцентний світильник типу ПВЛМ-2х40, IP65 (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Світильник типу ПВЛМ-2х40

Світильник має наступні розміри:

$$a = 1325\text{мм};$$

$$b = 148\text{мм};$$

$$h = 160\text{мм}.$$

Згідно ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення» (таблиця 5.1) [17], виходячи із характеристики зорових робіт та мінімальних розмірів об'єкта визначаємо розряд зорової роботи як такі, що відносяться до розряду зорової роботи IV. Рівень нормованого загального освітлення ( $E_n$ ), який потрібно забезпечити становить 200 лк, коефіцієнт запасу  $K_z = 1,5$ .

Для визначенні загального світлового потоку, необхідного для досягнення необхідного рівня освітленості на робочій поверхні, враховуючи параметри приміщення і властивості його оздоблення зкористаємось методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Визначимо необхідні коефіцієнти відбиття світла внутрішніми поверхнями будівлі:

$$\rho_1 - \text{коефіцієнт відбиття стелі, } \rho_1 = 70\%;$$

$$\rho_2 - \text{коефіцієнт відбиття стін, } \rho_2 = 50\%;$$

$$\rho_3 - \text{коефіцієнт відбиття підлоги, } \rho_3 = 30\%.$$

Висота підвісу світильника ( $h_{\text{св}}$ ) становить 0,2м.

Висота розташування робочої поверхні по відношенню до полу ( $h_p$ ) становить 0,6м.

Висота положення світильника над робочою поверхнею ( $h_{сп}$ ) визначимо як різницю між висотою приміщення ( $H_{п}$ ) та значеннями  $h_{св}$  та  $h_p$

$$h_{сп} = H_{п} - h_{св} - h_p = 4 - 0.2 - 0,6 = 3.2\text{м}$$

Розрахуємо необхідну кількість рядів світильників ( $N_p$ ) у приміщенні по формулі:

$$N_p = \frac{B}{(H_{п} - h_p) \times [L/h]}$$

де  $B$  – ширина приміщення, м;

$H_{п}$  – висота приміщення, м;

$h_p$  – висота робочої поверхні, м;

$L/h$  – числове значення коефіцієнту світильника.

$$N_p = \frac{6}{(4 - 0,6) \times 1,3} = \frac{6}{4,42} = 1,36 \approx 2$$

Максимально допустиму відстань між світильниками визначимо за формулою:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p}$$

де  $B$  – ширина приміщення, м;

$N_p$  – кількість рядів світильників у приміщенні, шт.

$$L_{max} = \frac{6}{2} = 3,$$

Визначимо умовну загальну кількість світильників у приміщенні за формулою:

$$N_c = \frac{A \cdot B}{L_{max}^2}$$

де  $A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – висота приміщення, м;



$L_{max}$  – максимально допустима відстань між світильниками, м.

$$N_c = \frac{12 \cdot 6}{3^2} = \frac{72}{9} = 8 \text{ шт}$$

Визначимо значення індексу приміщення  $i$ , що характеризує співвідношення розмірів освітлювального приміщення і висоти розміщення світильників за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{\text{сп}} \cdot (A+B)},$$

де  $A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – висота приміщення, м;

$h_{\text{сп}}$  – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

$$N_c = \frac{12 \cdot 6}{3,2 \cdot (12 + 6)} = 1,25$$

Визначимо значення коефіцієнта використання світлового потоку  $\eta$ , створюваного світильниками вибраного типу, який вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення та індексу приміщення згідно таблиці Е1[17]. Отримаємо значення:  $\eta = 47\%$ .

Визначимо сумарний світловий потік системи освітлення приміщення за формулою:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n A B k_3 z}{\eta},$$

де  $E_n$  – рівень нормованого загального освітлення, лк;

$A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – висота приміщення, м;

$k_3$  – коефіцієнт запасу ( $k_3 = 1.5$ );

$z$  – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості (відношення середньої освітленості до мінімальної) для люмінесцентних ламп дорівнює:  $z=1,1$ ;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,47} = \frac{23760}{3,76} = 50553 \text{ лм}$$

Розрахуємо світловий потік умовного джерела світла  $\Phi_{л}$  за формулою:

$$\Phi_{л} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{с}},$$

де  $\Phi_{\Sigma}$  – сумарний світловий потік системи освітлення, лм;

$N_{с}$  – умовна загальна кількість світильників у приміщенні, шт.

$$\Phi_{л} = \frac{50533}{8} = 6319,15 \approx 6319 \text{ лм}$$

Вибираємо для світильника лампу ЛБ 40-2, яка має наступні технічні характеристики:

$$\Phi_{лб 40} = 3000 \text{ лм}, P_{л} = 40 \text{ Вт}$$

Оскільки в кожному світильнику встановлюється по дві лампи, то світловий потік світильника становить:

$$\Phi_{св} = 2 \cdot \Phi_{лб 40} = 2 \cdot 3000 = 6000 \text{ лм}$$

Знайдемо коефіцієнт  $m$  (співвідношення між розрахунковим світловим потоком умовної лампи  $\Phi_{л}$  та фактичним світловим потоком світильника на базі двох вибраних стандартних ламп  $\Phi_{св}$ ), який розраховується за формулою:

$$m = \frac{\Phi_{л}}{\Phi_{св}} = \frac{6319}{6000} = 1,053,$$

Тобто різниця між значеннями становить 5,3%.

Визначимо загальну розрахункову освітленість освітленість ( $E_{р}$ ), що створюється у приміщенні при застосуванні стандартних ламп за формулою:

$$E_{р} = \frac{\Phi_{л} \cdot N_{л} \cdot \eta}{A \cdot B \cdot k_{з} \cdot z},$$

де  $\Phi_{л}$  – фактичний світловий потік вибраної стандартної лампи, лм;

$N_{л}$  – фактична кількість ламп у приміщенні, шт;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку;

$A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$k_3$  – коефіцієнт запасу;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості.

Звідси:

$$E_p = \frac{3000 \cdot 16 \cdot 0,47}{12 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = \frac{22560}{118,8} = 189,9 \text{ лк}$$

При правильному виборі типу і кількості стандартних ламп повинна виконуватись умова:

$$E_p = (-10\% \dots + 20\%) \cdot E_n, \text{ лк}$$

де  $E_n$  – рівень нормованого загального освітлення, лк.

Визначимо різницю між значеннями  $E_p$  та  $E_n$ :

$$\Delta = \frac{E_p - E_n}{E_p} \cdot 100\% = \frac{189,9}{200} \cdot 100\% = -5,3\%$$

Отриманий результат підтверджує правильність зроблених розрахунків.

План з розташуванням світильників згідно результатів проведених розрахунків для забезпечення світлового комфортного клімату в насосній станції приведений на рисунку 4.6.

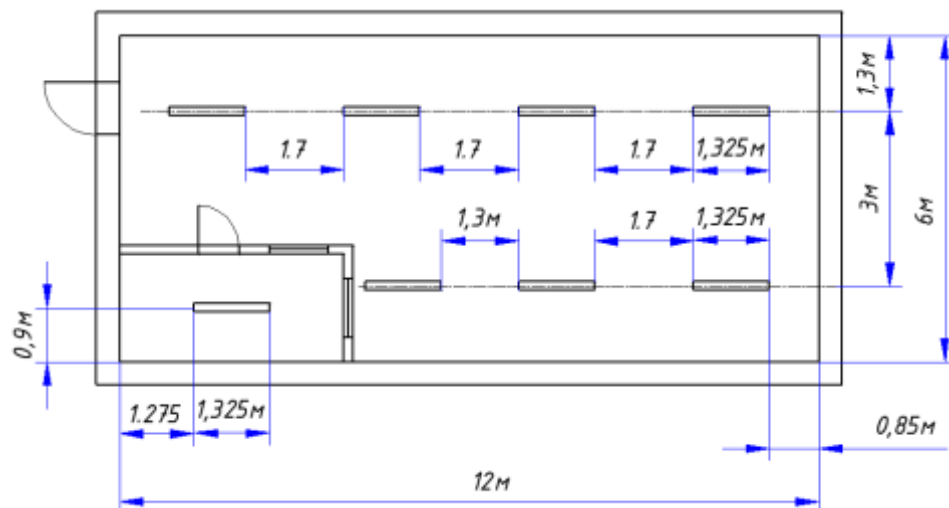


Рисунок 4.6 – План з розташуванням світильників згідно результатів проведених розрахунків

## **4.2 Заходи та рекомендації для забезпечення персоналу станції водопостачання у випадку надзвичайних ситуацій**

Надзвичайна ситуація – це подія або стан, що загрожує життю, здоров'ю, майну або довкіллю людей, і вимагає негайного реагування для запобігання або усунення наслідків. Надзвичайні ситуації класифікуються за характером походження, ступенем поширення, масштабом людських втрат і матеріальних збитків.

Забезпечення безпеки персоналу станції водопостачання у випадку надзвичайних ситуацій є критично важливим завданням. Для цього необхідно впровадити комплекс організаційних заходів, які охоплюють планування, навчання та впровадження відповідних процедур і обладнання.

### **4.2.1 Організаційні заходи для забезпечення персоналу насосної станції при надзвичайних ситуаціях**

Доречно впровадити наступні основні організаційні заходи, які можуть допомогти забезпечити персонал:

#### **1. Розробка плану дій на випадок надзвичайної ситуації**

Аналіз ризиків – визначення потенційних загроз і оцінка ризиків, які можуть вплинути на станцію.

План евакуації – розробка детальних маршрутів евакуації та призначення місць збору для персоналу.

План комунікації – встановлення чіткої процедури оповіщення та інформування персоналу про надзвичайні ситуації.

#### **2. Навчання та тренування персоналу**

Проведення регулярних тренувань – організація навчальних семінарів і практичних тренувань з евакуації та реагування на надзвичайні ситуації.

Інструктажі з безпеки – регулярне проведення інструктажів з безпеки для нових і поточних співробітників.

Сертифікація – забезпечення сертифікації персоналу в наданні першої допомоги та використанні протипожежного обладнання.

### **3. Забезпечення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ)**

Наявність ЗІЗ – забезпечення всіх співробітників необхідними засобами індивідуального захисту, такими як каски, захисні окуляри, маски, респіратори, рукавиці тощо.

Контроль стану ЗІЗ – регулярна перевірка і оновлення ЗІЗ, щоб забезпечити їх ефективність.

### **4. Обладнання станції системами безпеки**

Системи оповіщення – встановлення систем раннього оповіщення про пожежу, витік газу чи інші небезпеки.

Автономні джерела енергії – наявність резервних генераторів для забезпечення роботи критичних систем в разі відключення електроенергії.

Контроль доступу - обладнання станції системами контролю доступу для запобігання несанкціонованому входу на об'єкт.

### **5. Співпраця з місцевими екстреними службами**

Спільні навчання – проведення спільних навчань з місцевими пожежними, медичними службами та поліцією.

Налагодження зв'язків – установа контактів з місцевими екстреними службами для швидкого реагування на надзвичайні ситуації.

### **6. Регулярний аудит та оновлення заходів безпеки**

Періодичний аудит – регулярне проведення аудитів безпеки для виявлення та усунення потенційних недоліків.

Оновлення планів і процедур – постійне оновлення планів дій і процедур відповідно до нових ризиків та нормативних вимог.

Впровадження цих заходів допоможе мінімізувати ризики для персоналу та забезпечити безперебійну роботу станції водопостачання у випадку виникнення надзвичайних ситуацій.

#### **4.2.2 Опис рекомендованих дій для персоналу насосної станції при виникненні надзвичайних ситуацій**

Для підвищення шансів персоналу насосної станції на виживання у випадку виникнення відповідних надзвичайних ситуацій пропонується наступний перелік вказівок, які доцільно взяти за основу при складанні інструкції для дій персоналу насосної станції у випадку надзвичайних ситуацій [16]:

##### **1. Дії при обстрілах:**

Якщо ви потрапили в перестрілку на вулиці негайно лягайте на землю і озирніться, виберіть найближче укриття (під'їзд, підземний перехід, виступ будівлі, пам'ятник, бетонний стовп, бордюр, канава) і проберіться до нього, не піднімаючись на повний зріст, сховайтеся і дочекайтеся закінчення перестрілки. Якщо знаходитися в межах будівлі насосної станції, то перемістіться в приміщення оператора, як більш захищене і безпечне, розташуйте аптечку безпосередньо біля себе та сповістіть диспетчера про своє місцеположення та стан здоров'я.

##### **2. Дії при виявленні предмета, схожого на вибуховий пристрій:**

Не чіпайте, не підходьте, не пересувайте підозрілий предмет! Не куріть, утримайтеся від використання засобів радіозв'язку, поблизу підозрілого предмета, негайно повідомте про виявлення підозрілого предмета в правоохоронні органи, зафіксуйте час і місце виявлення, по можливості забезпечте охорону підозрілого предмета і небезпечної зони, дочекайтеся прибуття представників правоохоронних органів, вкажіть місце розташування підозрілого предмета, час і обставини його виявлення.

##### **3. Дії при хімічних аваріях:**

Закрийте вікна, відключіть електроенергію, одягніть одяг і головний убір із щільної тканини і швидко виходьте із зони можливого зараження перпендикулярно до напрямку вітру. Для захисту органів дихання використовуйте протигаз, респіратор або ватно-марлеву пов'язку або шматок тканини, змочений водою. У разі неможливості залишити зону зараження

щільно закрийте вікна, двері, вентиляційні отвори. Наявні в них щілини заклейте папером або скотчем. По можливості та сповістіть диспетчера про своє місцеположення та стан здоров'я.

#### **4. Дії при радіаційній загрозі:**

Перебуваючи на вулиці, негайно захистіть органи дихання хусткою, шарфом або частиною одягу і поспішіть сховатися в приміщенні. У приміщенні закрийте вікна та двері, негайно сповістіть диспетчер водоканалу про ваше місцеположення та ваш стан, увімкніть радіоприймач для отримання додаткової інформації про аварію та вказівок місцевої влади про ваші подальші дії. Загерметизуйте вентиляційні отвори та щілини на вікнах та дверях. Зробіть запас води. Для захисту органів дихання використовуйте ті самі засоби, що й за хімічної аварії або штатні захисні засоби, що повинні знаходитися в приміщенні насосної станції.

#### **5. Дії під час урагану:**

Якщо ураган застав Вас у будівлі, відійдіть від вікон або дверей і займіть безпечне місце біля стін внутрішніх приміщень, вимкніть електроенергію.

Якщо ураган застав Вас на вулиці, тримайтеся якнайдалі від легких будівель, будівель, мостів, естакад, ліній електропередач, щоглів, дерев, річок, озер та промислових об'єктів. Для захисту від уламків і уламків скла використовуйте листи фанери, картонні та пластмасові ящики, дошки та інші підручні засоби. Намагайтеся швидше сховатися в кам'яних будинках, підвалах, льохах, укриттях та інших заглиблених приміщеннях. Не заходьте у пошкоджені будівлі, оскільки вони можуть обрушитися під час нових поривів вітру. Для захисту від уламків і уламків використовуйте будь-які підручні засоби. Не заходьте у пошкоджені та старі будівлі. По можливості та сповістіть диспетчера про своє місцеположення та стан здоров'я

#### **6. Дії при пиловій бурі:**

Сховайтеся у будівлі, закрийте обличчя марлевою пов'язкою, хусткою, шматком тканини, а очі окулярами.

Якщо ураган застає Вас на відкритій місцевості, ховайтесь на дні дорожнього кювету, в ямах, ровах, вузьких ярах, щільно притискаючись до землі, закривши голову одягом або гілками дерев.

Не залишайтеся в автомобілі, виходьте з нього та ховайтесь, як зазначено вище. По можливості та сповістіть диспетчера про своє місцеположення та стан здоров'я.

### **7. Дії при землетрусі:**

Якщо ви перебуваєте всередині будівлі і поблизу немає надійного прихистку, то залишайтеся всередині приміщення, заховайтеся під міцний стіл або інший меблевий предмет, який може захистити від падаючих об'єктів. Якщо немає поруч меблів, станьте біля внутрішньої стіни, далеко від вікон, дзеркал та важких предметів, які можуть впасти. Закрийте голову та шию руками або іншими предметами, щоб захиститися від уламків. Тримайтеся подалі від вікон, скляних дверей та інших джерел скла. Якщо ви перебуваєте на відкритій території, то залишайтеся на відкритому просторі, подалі від будівель, дерев, ліній електропередач та інших об'єктів, які можуть впасти, лягайте на землю та прикрийте голову і шию руками. По можливості та сповістити диспетчера про своє місцеположення та стан здоров'я.

### **8. Дії у випадку пожежі:**

Негайно повідомте про диспетчера та пожежну службу за номером "101" або "112". Евакуауйтеся з приміщення насосної станції згідно з планом евакуації. Якщо пожежа незначна і ви пройшли відповідне навчання, спробуйте загасити її за допомогою доступних засобів (вогнегасників, пожежних шлангів). Не ризикуйте життям – якщо пожежа виходить з-під контролю, залиште приміщення і дочекайтеся прибуття пожежної служби. Уникайте задимлених зон. Якщо неможливо уникнути диму, використовуйте вологу тканину для прикриття рота і носа. Переміщуйтеся до виходу в нахиленому положенні або повзком, щоб уникнути вдихання диму.



### 4.3 Висновки до розділу 4

1. В даній роботі був виконаний детальний опис насосної станції водопостачання та аналіз її стану з точки зору вимог охорони праці, були визначені небезпечні фактори, які мають місце. Дуже вагомим небезпечним фактором, що потребує термінового розгляду є дуже слабке освітлення всередині будівлі насосної станції, яке виникло в зв'язку з архітектурними змінами будівлі. Для вирішення цієї проблеми був виконаний відповідний розрахунок системи штучного освітлення приміщень насосної станції. Застосування результатів даного розрахунку при модернізації системи освітлення забезпечить будівлю повноцінним якісним освітленням.
2. Для забезпечення персоналу насосної станції водопостачання у випадку виникнення надзвичайних ситуацій був розроблений комплекс організаційних заходів, які треба впровадити на виробництві для зменшення погрози здоров'ю та життю персоналу, а також був сформований опис конкретних дій персоналу під час надзвичайних ситуацій, який рекомендовано включити до відповідних інструкцій на випадок надзвичайних ситуацій.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі вирішені наступні питання:

1. В результаті огляду літератури та патентного пошуку був обраний найбільш ефективний і надійний метод індивідуального керування насосним агрегатами станції за допомогою частотних перетворювачів і визначена загальна структура САК.
2. Згідно аналізу поточного стану станції та тенденцій сьогодення була розроблена концепція комплексного підходу в побудові САК, що включає в себе не тільки підтримання технологічних параметрів, а й гарантування безпеки обладнання і персоналу.
3. Відповідно до вимог автоматизації насосної станції було розроблено удосконалену принципову гідравлічну схему насосної станції.
4. Підібрані необхідні засоби автоматизації для реалізації САК, в тому числі розроблена конструкція клапану зворотного потоку, з електронним контролем його стану.
5. Розроблено комплект схем для впровадження САК, а саме: структурну схему, функціональну схему автоматизації та електричну принципову схему.
6. В середовищі TIA Portal на мові програмування LAD було розроблено програмне забезпечення для САК.
7. В середовищі TIA Portal також був розроблений користувацький інтерфейс на базі панелі HMI і виконано тестування роботи програми з використанням можливостей симулятора S7-PLCSIM.
8. Було побудовано математичну модель насосного агрегату з регулюванням його продуктивності за допомогою зміни частоти напруги живлення в середовищі SIMULINK.
9. Було проведено тестування моделі та виконаний порівняльний аналіз результатів дослідження, який показав, що розроблена модель відповідає характеристикам насосного агрегату, як на номінальній

частоті так і на частоті, що відрізнється від неї і показує стійкі результати при перехідних процесах регулювання моделі.

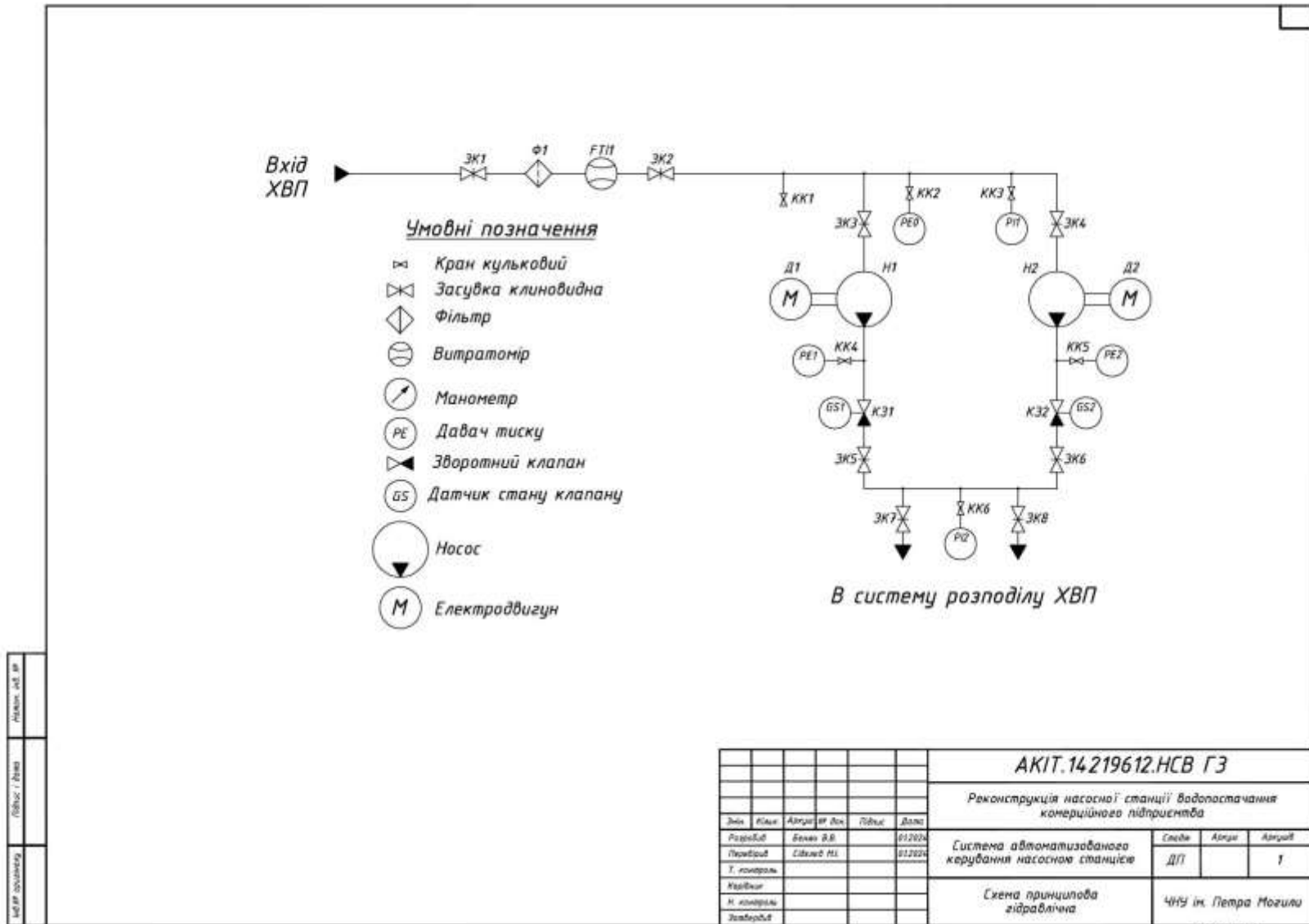
10. Розраховано систему штучного освітлення в приміщеннях насосної станції розроблені заходи для забезпечення охорони праці та безпеки персоналу при виникненні надзвичайних ситуацій.
11. Результати роботи апробовані на Міжнародних наукових конференціях "Ольвійський форум - 2023", "Ольвійський форум - 2024" та Всеукраїнській конференції "Могилянські читання - 2024».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

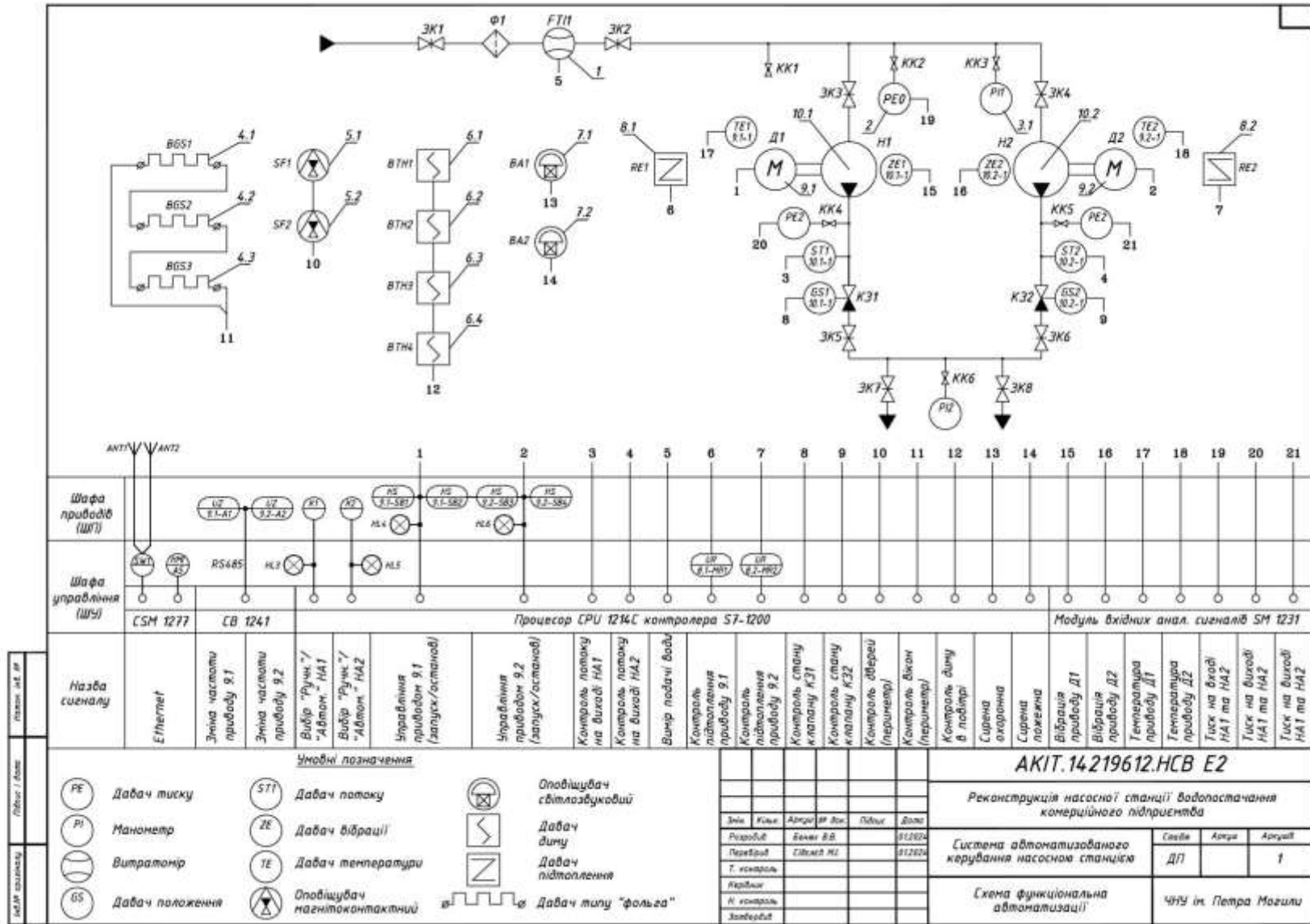
1. Гриценко К.Г., Черв'яков В.Д. Системний підхід до вирішення проблеми енергозбереження під час автоматизації процесів водопостачання: Вісник Сумського державного університету. 2002. № 12. 45 с.
2. Mariusz Postol. Telemetric System Of Intermediate Pumping Stations Control: Technical Report. Lodz: Lodz University of Technolodgy, 2005. 4 p / URL: <https://www.researchgate.net/publication/334259489> (Дата звернення 15.04.24).
3. Patent for an invention US 9,181,953 B2 USA, Int. Cl. (2006) F04D 15/00. Controlling pumps for ivproved / Perry C. Steger, Georgetown, David Mark Pierce. № 12/571,895; filed: 01.10. 2009, date of patent: 10.11. 2015 URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d0/95/e5/714625fcdf76f9/US9181953.pdf> (Дата звернення 20.04.24).
4. Пат. на корисну модель 51109 Україна, МПК (2009) F04D 15/00. Автоматизована система управління насосною станцією /Хазанферов М.В. № u201005428; заявл. 05.05.2010; опубл. 25.06.2010, Бюл. 12. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=146926&chapter=biblio> (Дата звернення 20.04.24).
5. Характеристики насосного агрегата типу CR10-04 A-FJ-A-E-HQQE. URL: <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/service-special/cr-service-special/cr10-04-a-fj-a-e-hqqe-96530589?pumpsystemid=2328056717&tab=variant-curves> (Дата звернення 21.04.24).
5. Герасимов Г.Г. Проектування автоматизованих насосних станцій підкачки: навч. посібник-довідник. Рівне: НУВГП, 2007. 552 с.
6. Гейер В.Г., Козиряцький Л.Н., Пашенко В.С., Антонов Я.К. Насосні установки. Донецьк: ДПШ, 1982, 152с.
7. Ильїн В.Г. Розрахунок спільної роботи насосів, водопровідних мереж та резервуарів. Київ: Держбудвидав УРСР, 1963, 134с.
8. Centrifugal Pumps Handbook. Third edition. Sulzer pumps LTD, Butterworth -

- Heinemann, 2010.
9. Карелін В.Я., Мінаєв А.В. Насоси та насосні станції. К.: Будвидав, 1986, 320с.
  10. Задачин В. М., Конюшенко І. Г. Моделювання систем: конспект лекцій. Харків: ХНЕУ, 2010, 268с.
  11. Василенко О.В. Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Системи автоматичного керування» для студентів для спеціальності 152. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020, 96 с.
  12. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу //Охорона праці. – 2001. –№ 12. – С. 12-20. – 37 с.
  13. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: УАД, 2006. – 336 с.
  14. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори – Режим доступу: <https://helper.by/nebezpechni-i-shkidlyvi-vyrobnychi-factory-zapylenisti.html> (Дата звернення 12.05.24).
  15. Лекція про небезпечні умови праці. Класифікація виробничих факторів та вимоги до виробничої зони – Режим доступу: [http://www.dut.edu.ua/uploads/1\\_1333\\_18764683.pdf](http://www.dut.edu.ua/uploads/1_1333_18764683.pdf) (Дата звернення 13.05.24).
  16. Організація заходів цивільного захисту: методичний посібник. Тернопіль: Видавець ФОП Андріішин В. П.: Тернопіль, 2016– 568 с.
  17. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-02-28]. Київ, 2001. 133 с. (Інформація та документація).

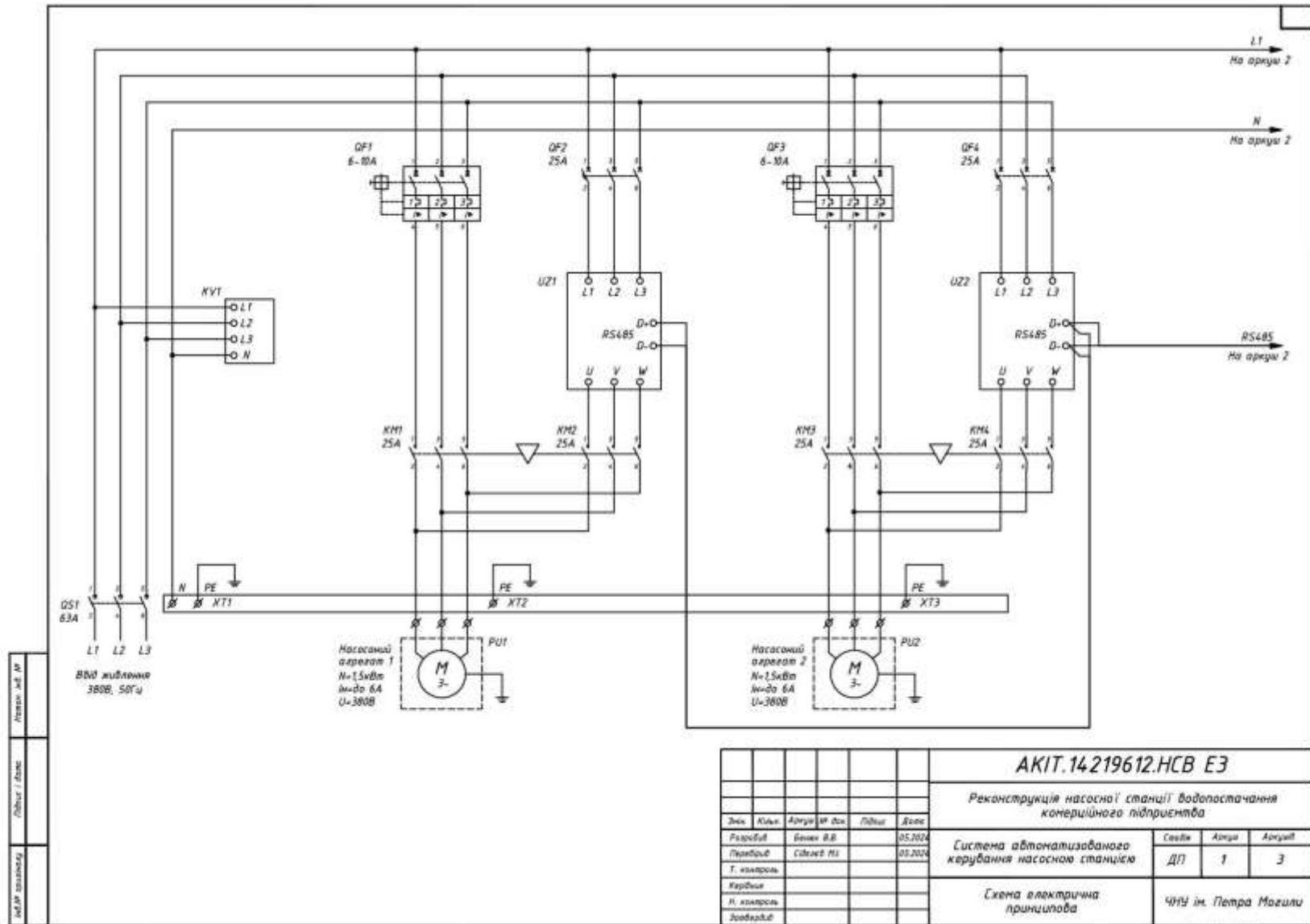
## ДОДАТОК А



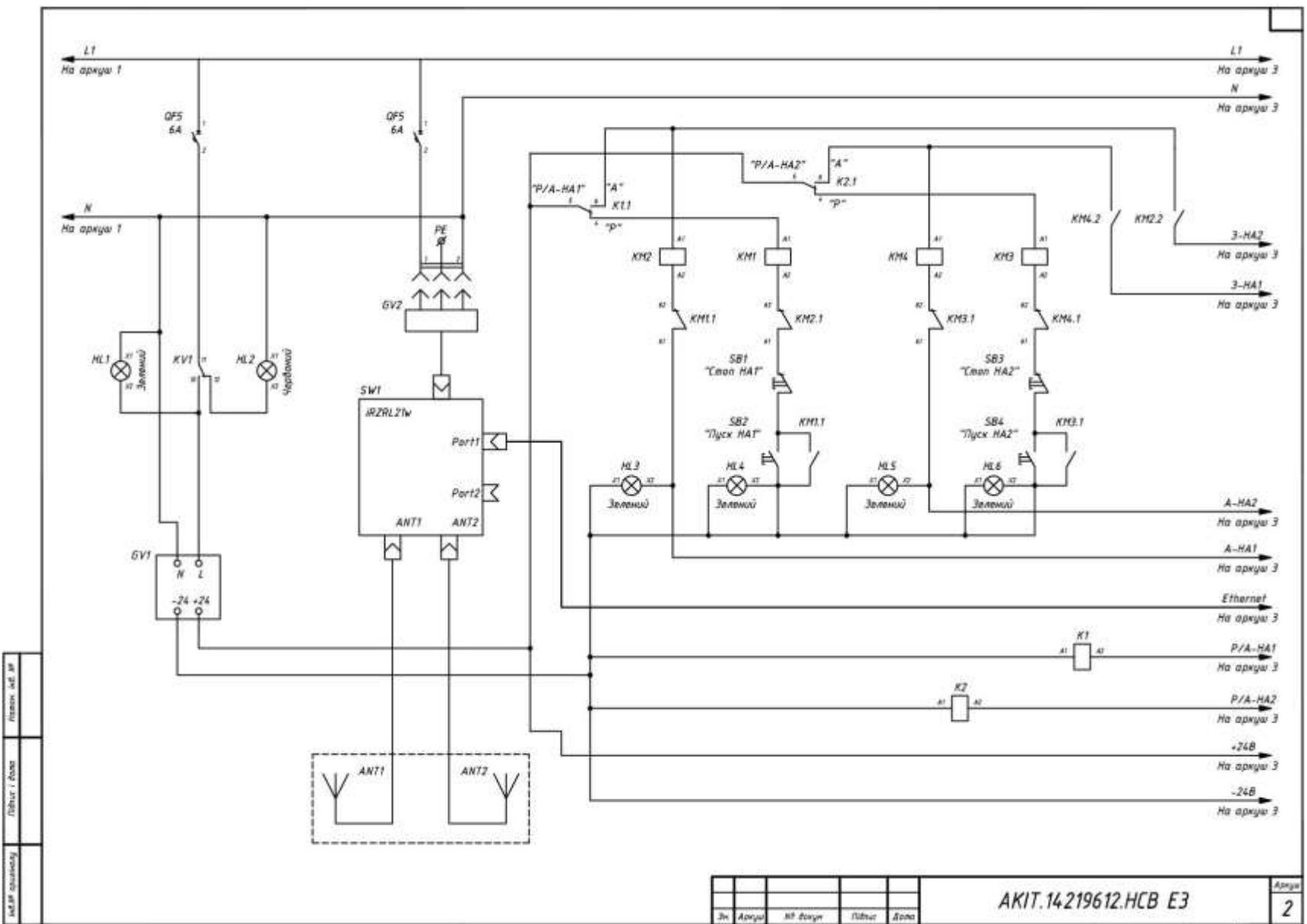
### ДОДАТОК Б

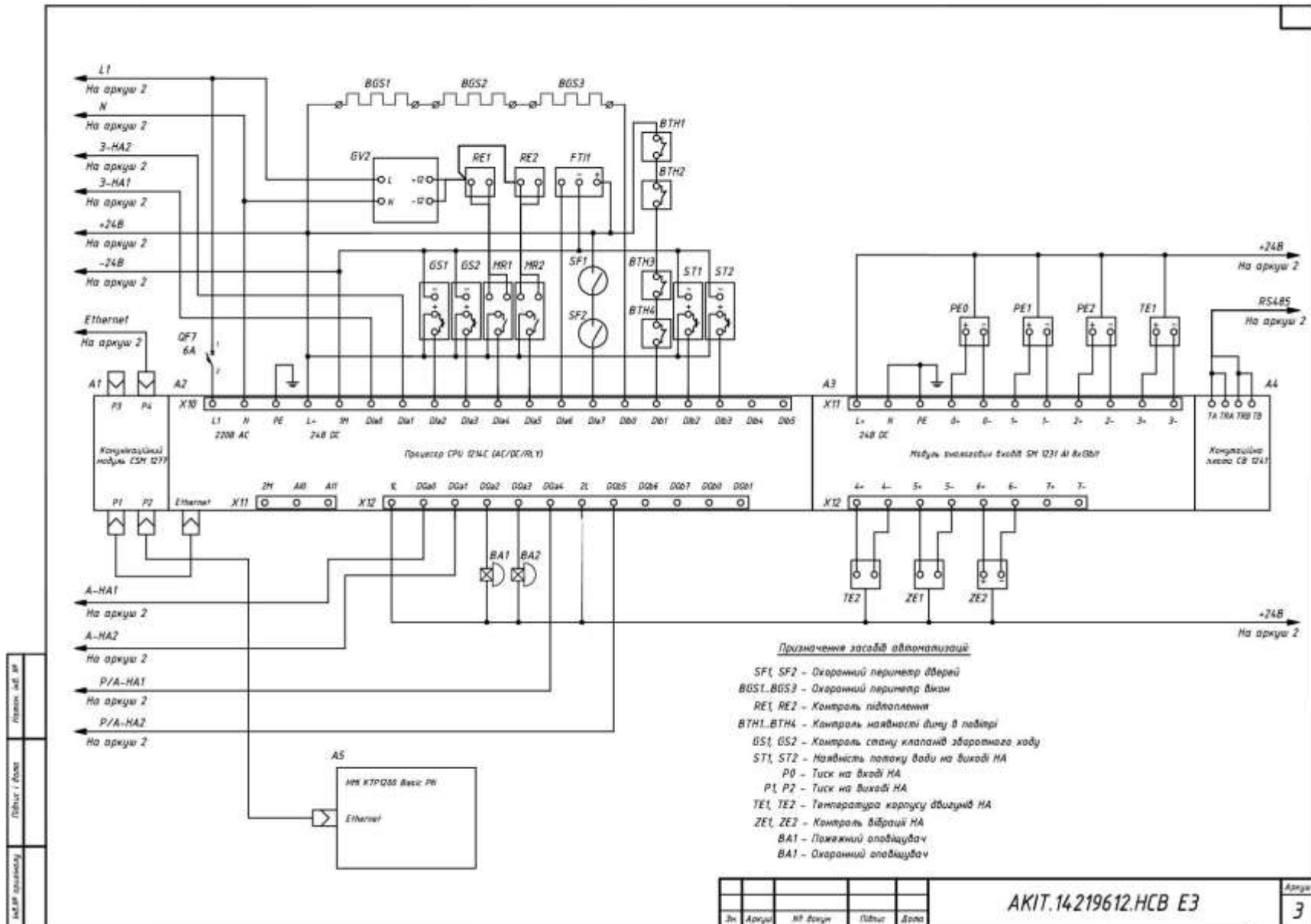


## ДОДАТОК В









Позиц. познач.	Найменування	Кіл.	Примітки
A1	Комунікаційний модуль CSM 1277	1	
A2	Процесор CPU 1214C (AC/DC/RLY)	1	
A3	Модуль аналогових входів SM 1231 AI 8x13bit	1	
A4	Комутаційна плата CB 1241	1	
A5	Панель HMI KTP1200 Basic PN	1	
ANT1,ANT2	Антенa "АНТЕЙ-906" SMA GSM 900/1800	2	
BA1	Оповіщувач світлозвукoвий OC3-2 Ex "Пожежа"	1	
BA2	Оповіщувач охоронний TIRAS "Джміль"	1	
BTH1...			
...BTH1	Давач диму комбінований ИП 212/101-2М-А1R	4	
FT11	Росходомір води імпульсний Арагор MWN-65-NK	1	
GS1, GS2	Індуктивний датчик XS618B1PAL2	2	M18, NO, PNP
GV1	Блок живлення HDR-15-12 Mean Well DC 12V 15W	1	
GV2	Блок живлення HDR-30-24 Mean Well DC 24V 30W	1	
HL1	Лампа AD22DS d22mm зелений 230V	1	
HL2	Лампа AD22DS d22mm червоний 230V	1	
HL3...HL4	Лампа AD-22DS BLS10-ADDS-024-K06 зелений 24V	4	
KM1...KM4	Контактор 3п TeSys E 1HO 25A 400V AC3 220V 50Гц	4	
KV1	Реле контролю фаз RKF-37 EKF PROxima	1	
MR1, MR2	Релейний модуль MR	2	
PE0...PE2	Давач тиску Danfoss MBS 3000 2011-1A04 0-10бар	3	
PU1, PU2	Насосний агрегат CR 10-04 A-FJ-A-E-HQOE	2	
QF1, QF3	Автоматичний вимикач GZ1E14 Schneider GZ1 3п 6..10A	2	
QF2, QF4	Автоматичний вимикач iC60H 3P 25A C 10kA Schneider	2	
QF5...QF7	Автоматичний вимикач RESI9 6A 1P C 6kA Schneider	3	
QS1	Вимикач навантаження EZ9 3P 63A Schneider	1	
RE1, RE2	Давач підтоплення Octopus	2	
SF1, SF2	Давач потоку SI5002 SID10ADBFPKGUS-100 ifm	2	
TE1, TE2	Давач температури серії Milli-Temp 4-20mA 4В	2	
UZ1, UZ2	Перетворювач частоти ATV212 2,2кВт 380-480В	2	
XT1...XT3	Клема NSYTRV62PE 6 мм кв жовто-зелена Schneider	3	
ZE1, ZE2	Давач вібрації ST5484E-122-BBCD-EF (12,7мм/с)	2	
Напоки №1 №2		<p style="text-align: center;"><b>АКІТ.14219612.НСВ ПЕЗ</b></p> <p style="text-align: center;">Реконструкція насосної станції водопостачання комерційного підприємства</p> <p style="text-align: center;">Система автоматизованого керування насосною станцією</p> <p style="text-align: center;">Перелік елементів</p> <p style="text-align: right;">ЧНУ ім. Петра Могили</p>	
Підпис / дата			
Змін.			
Кільк.			
Архив			
№ док.			
Підпис			
05.2024			
05.2024			
№1 №2 організації	Склад		
Розробив	Бенек В.В.		
Перебрав	Сіделев М.І.		1
Т. контроль			
Керівник			
Н. контроль			
Залберієв			

## ДОДАТОК Г

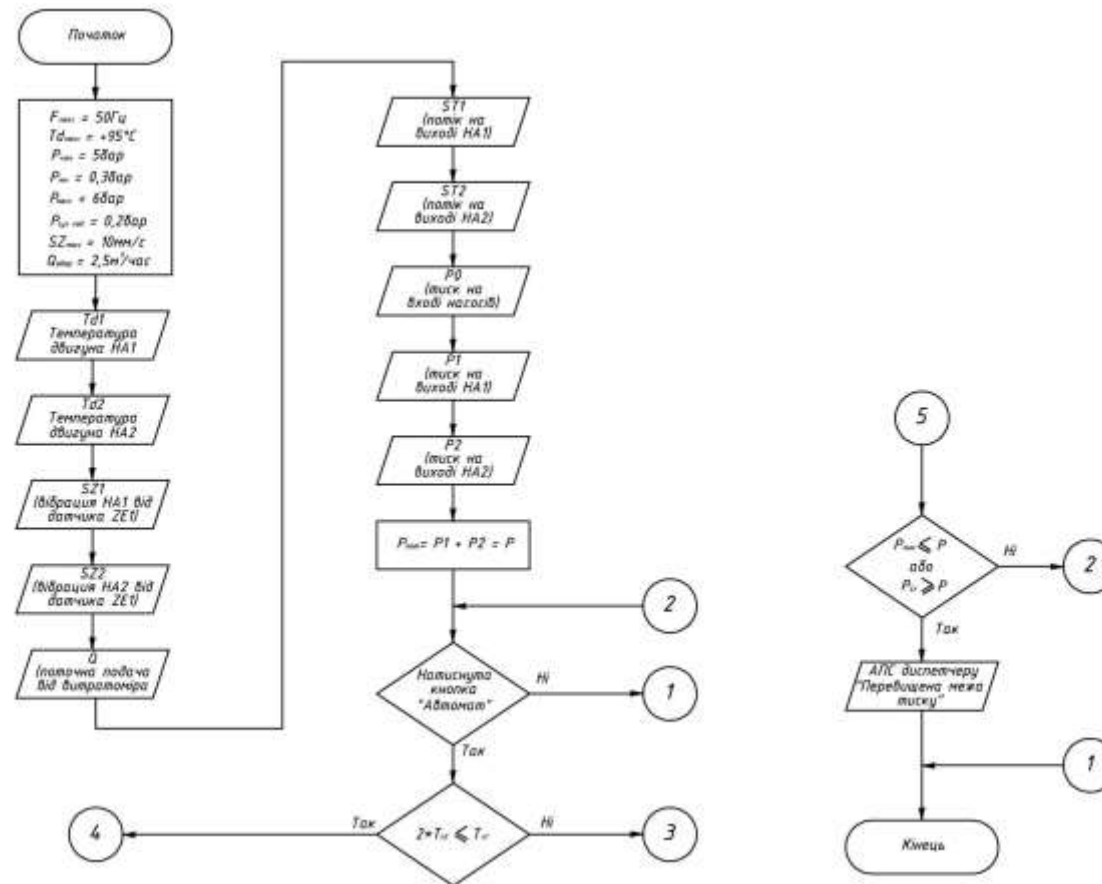
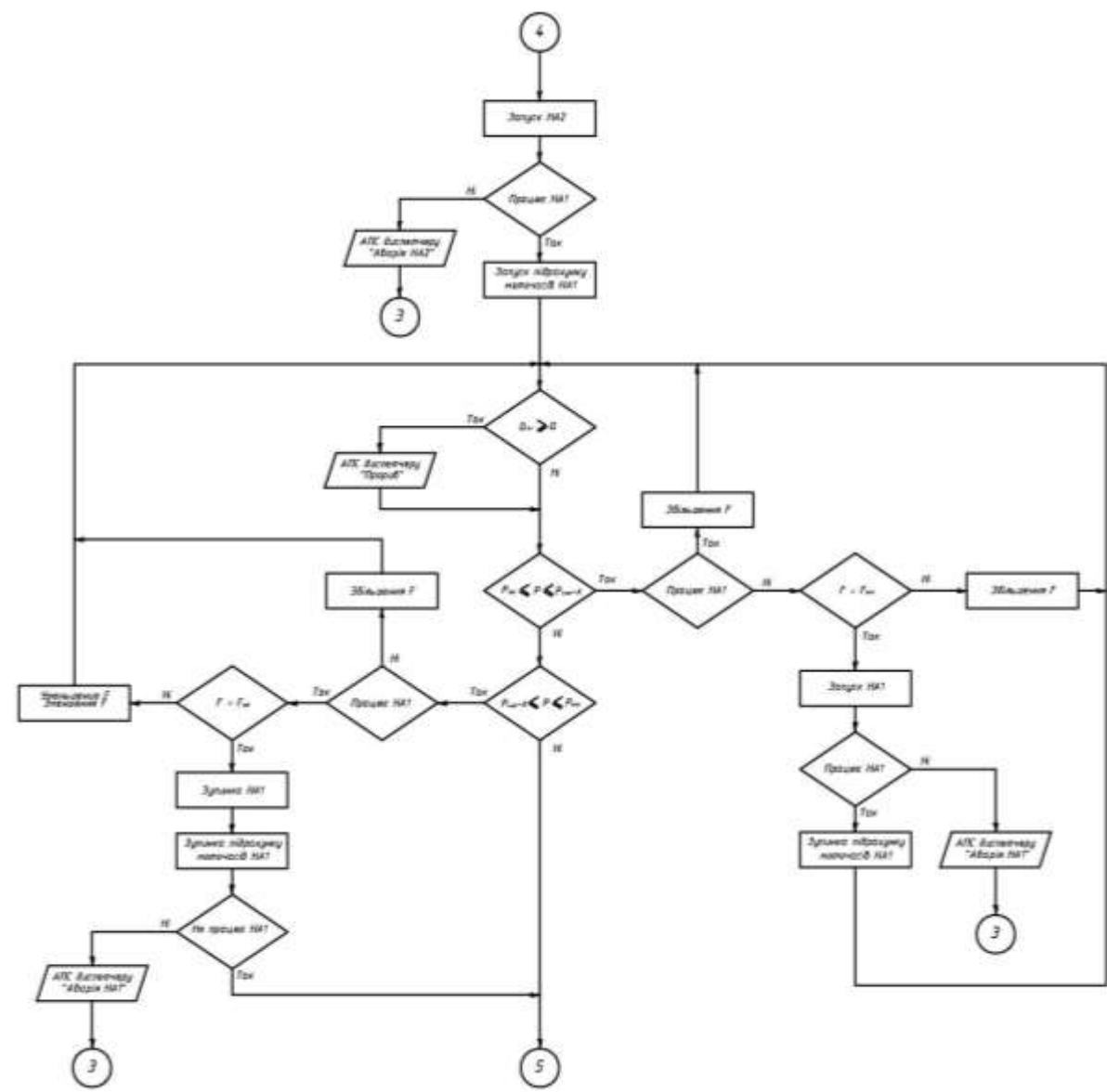
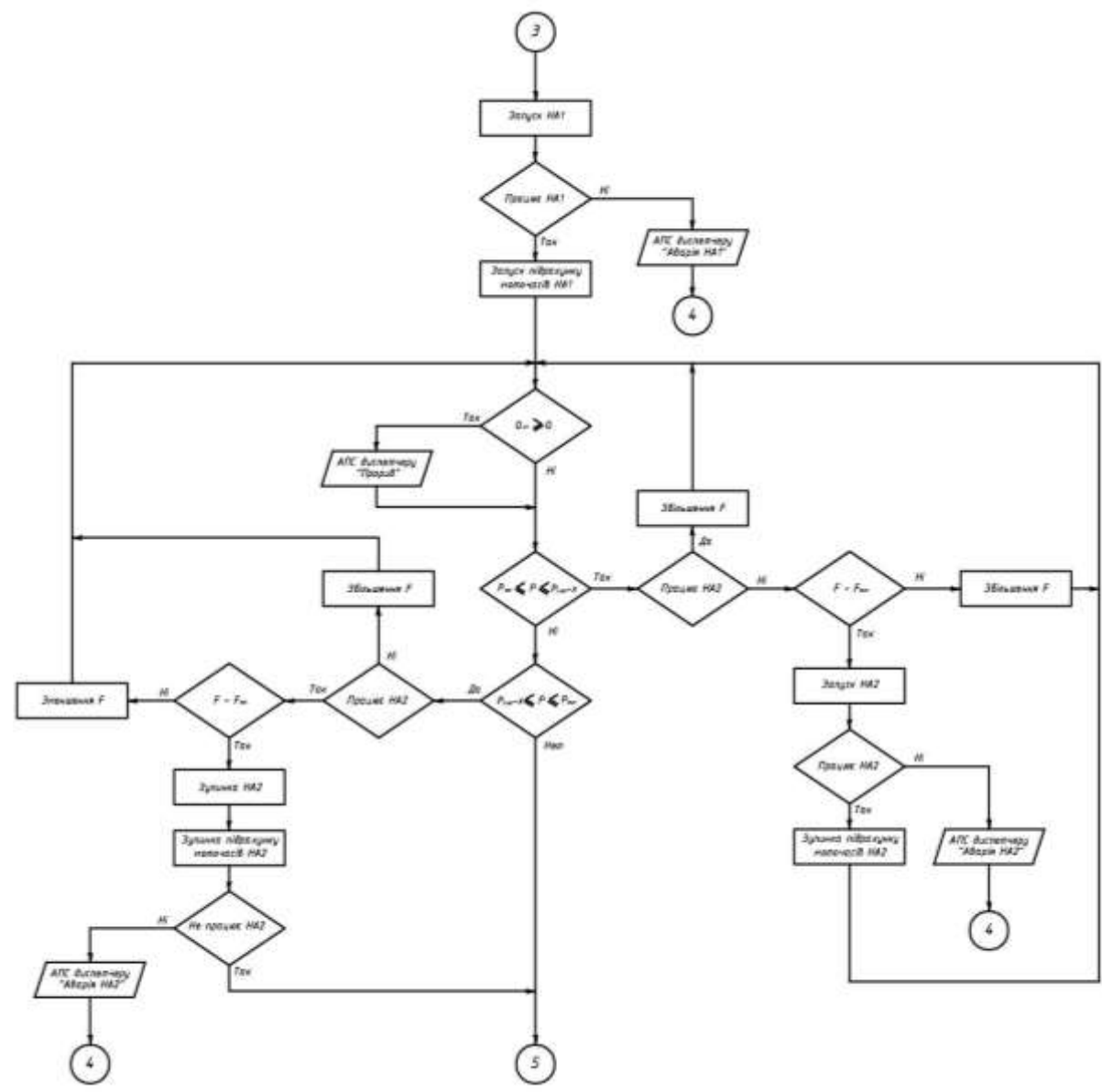


Рисунок Г.1 – Блок-схема алгоритму програми для керування насосною станцією та моніторингу поточної обстановки



Продовження рисунку Г.1



Закінчення рисунку Г.1

## ДОДАТОК Д

Код програми для керування насосною станцією та моніторингу поточної обстановки

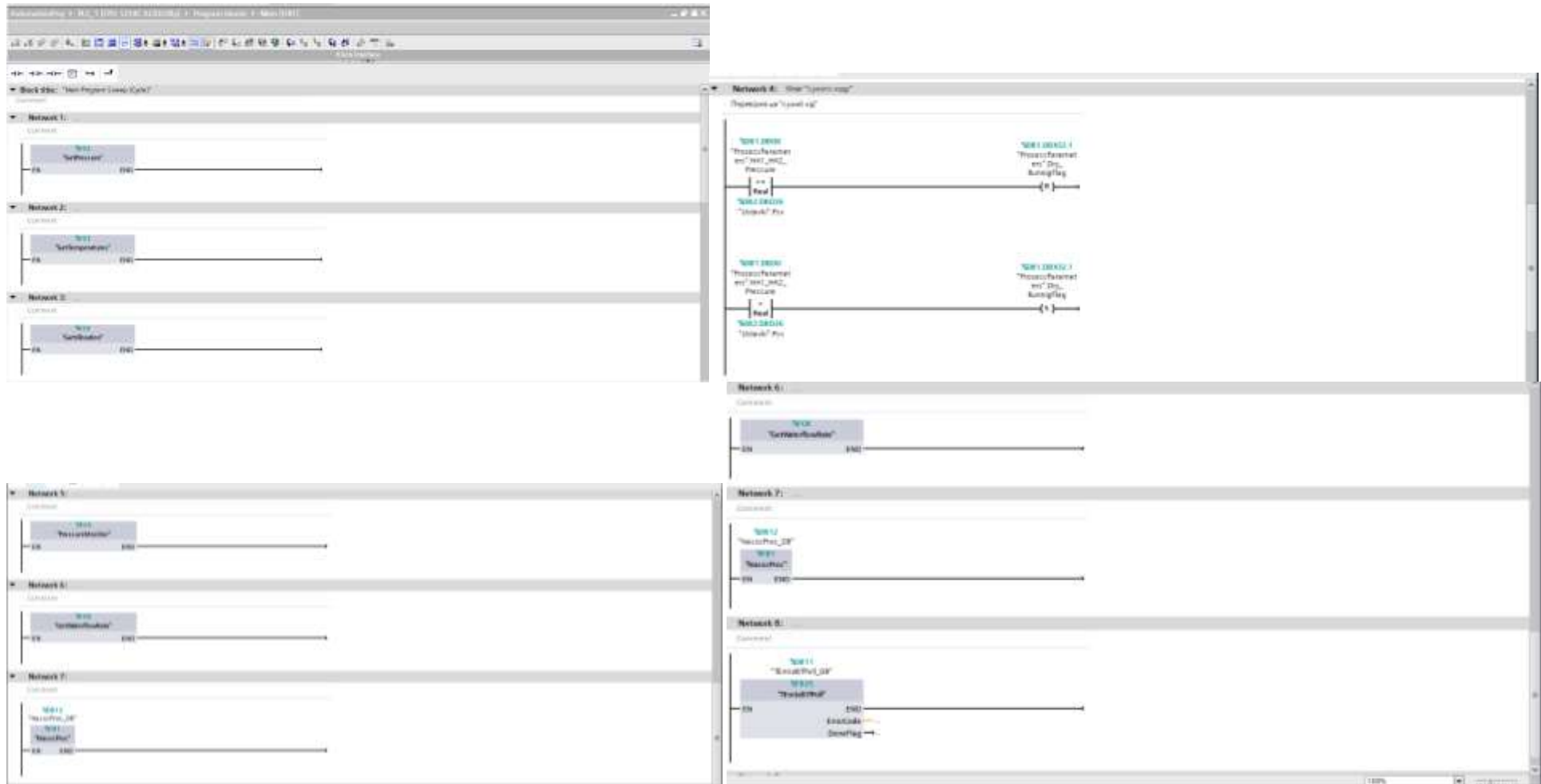


Рисунок Д.1 – Зміст програмного блоку Mane [OB1]

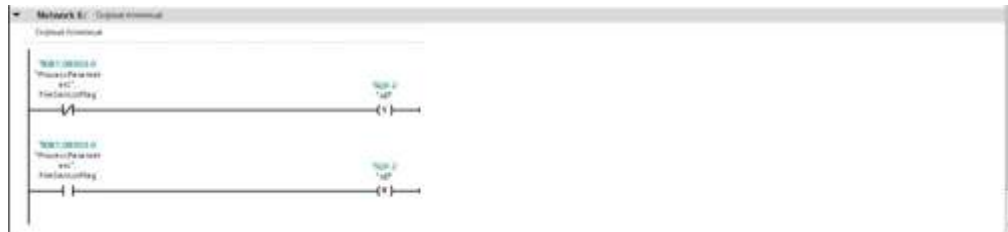
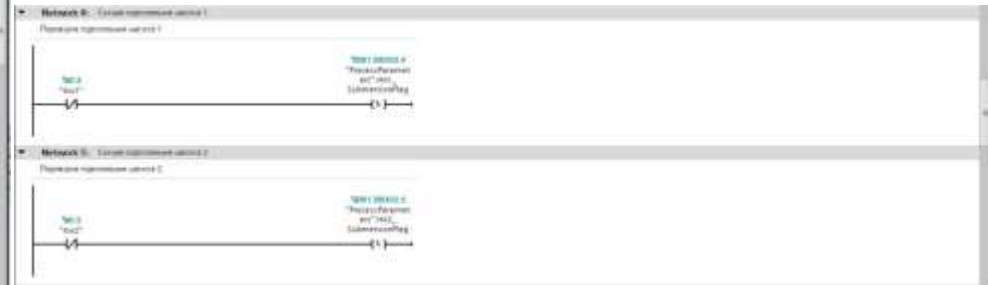
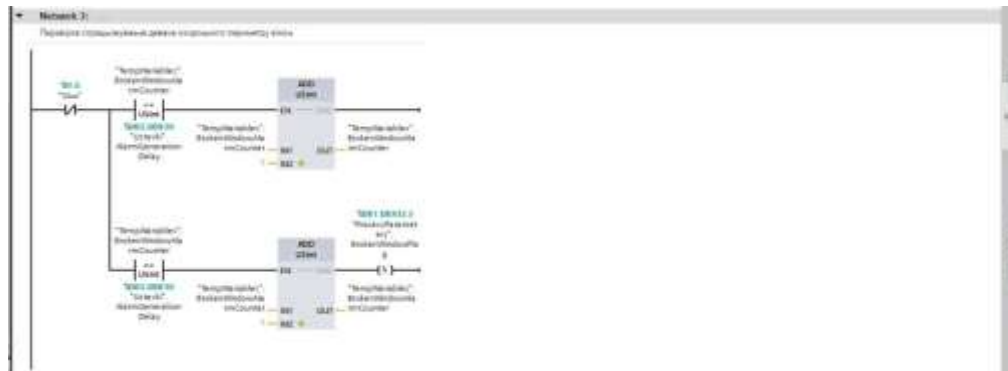


Рисунок Д.2 – Зміст програмного блоку Сусліс interrupt [ОВ30]





Закінчення рисунку Д.2

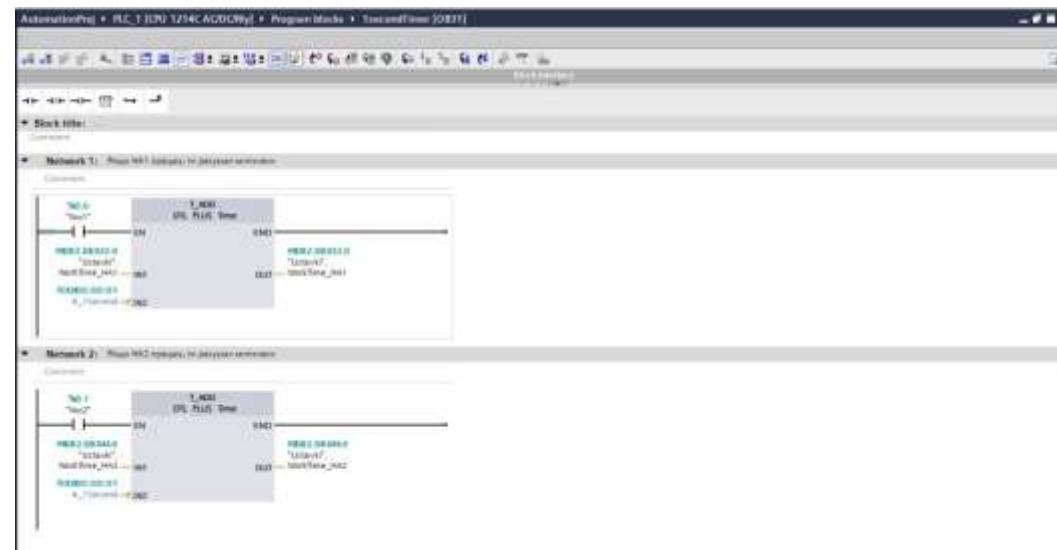


Рисунок Д.3 – Зміст програмного блоку 1secondTimer [OB31]



Рисунок Д.4 – Зміст програмного блоку 200msPID [OB32]

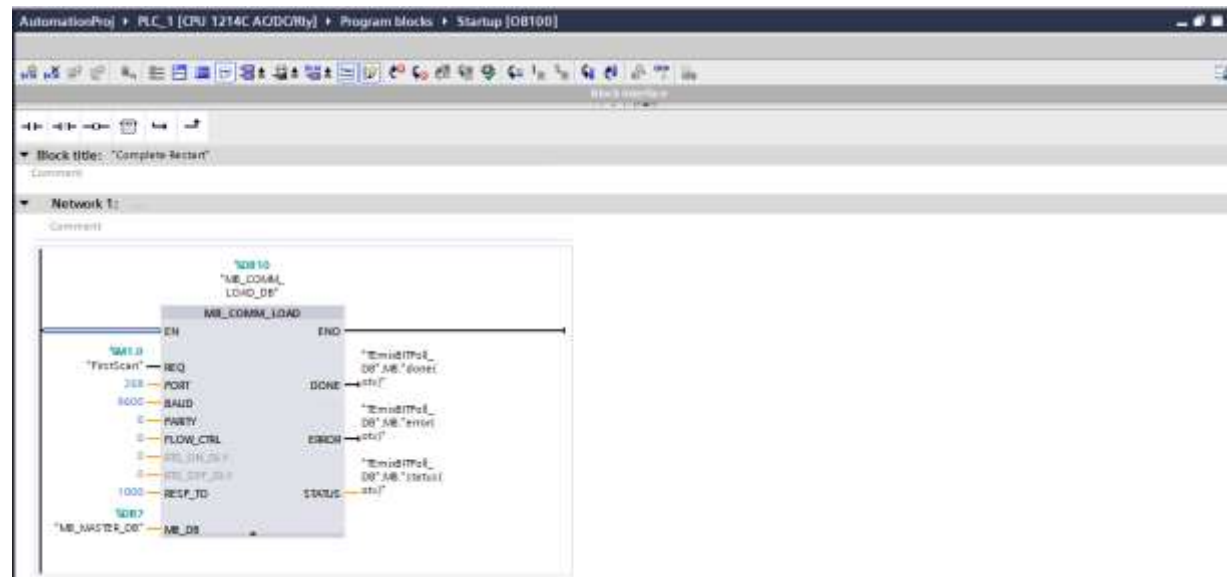


Рисунок Д.5 – Зміст програмного блоку Startup [OB100]

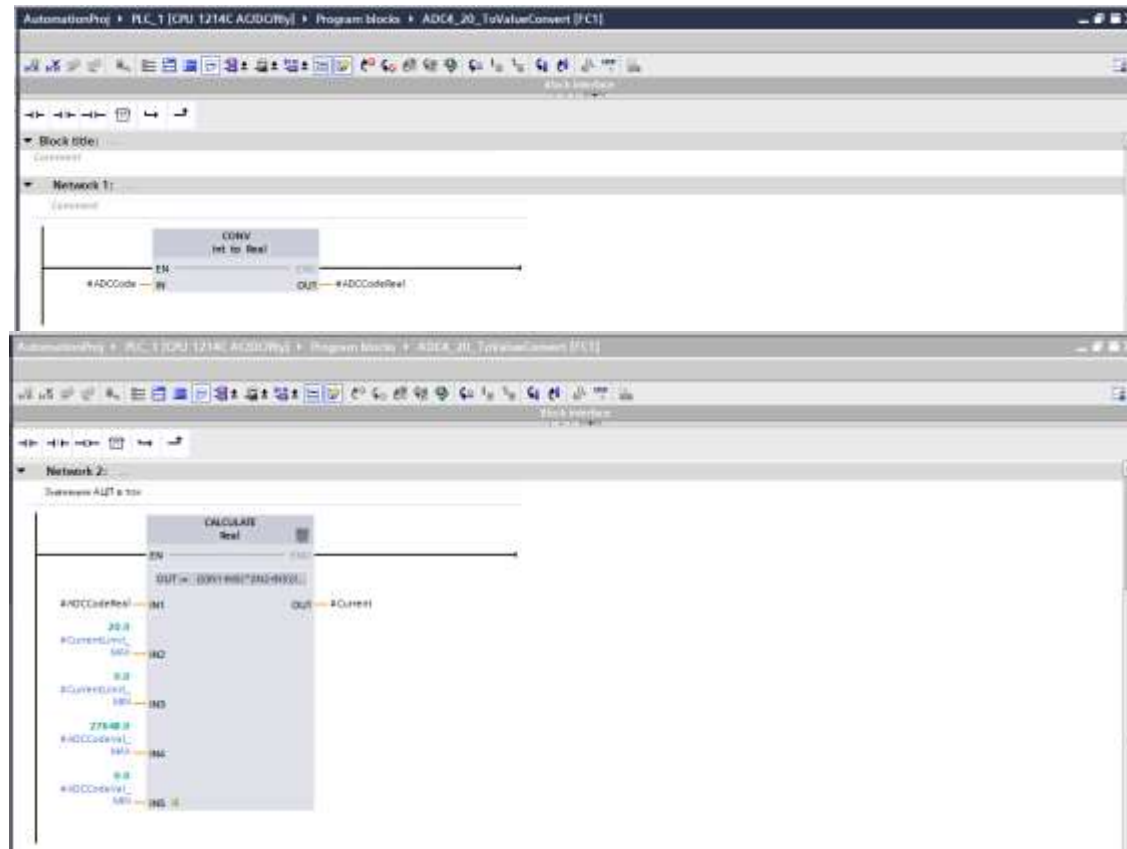


Рисунок Д.6 – Зміст функціонального блоку AD4\_20\_ToValueConverter [FC1]

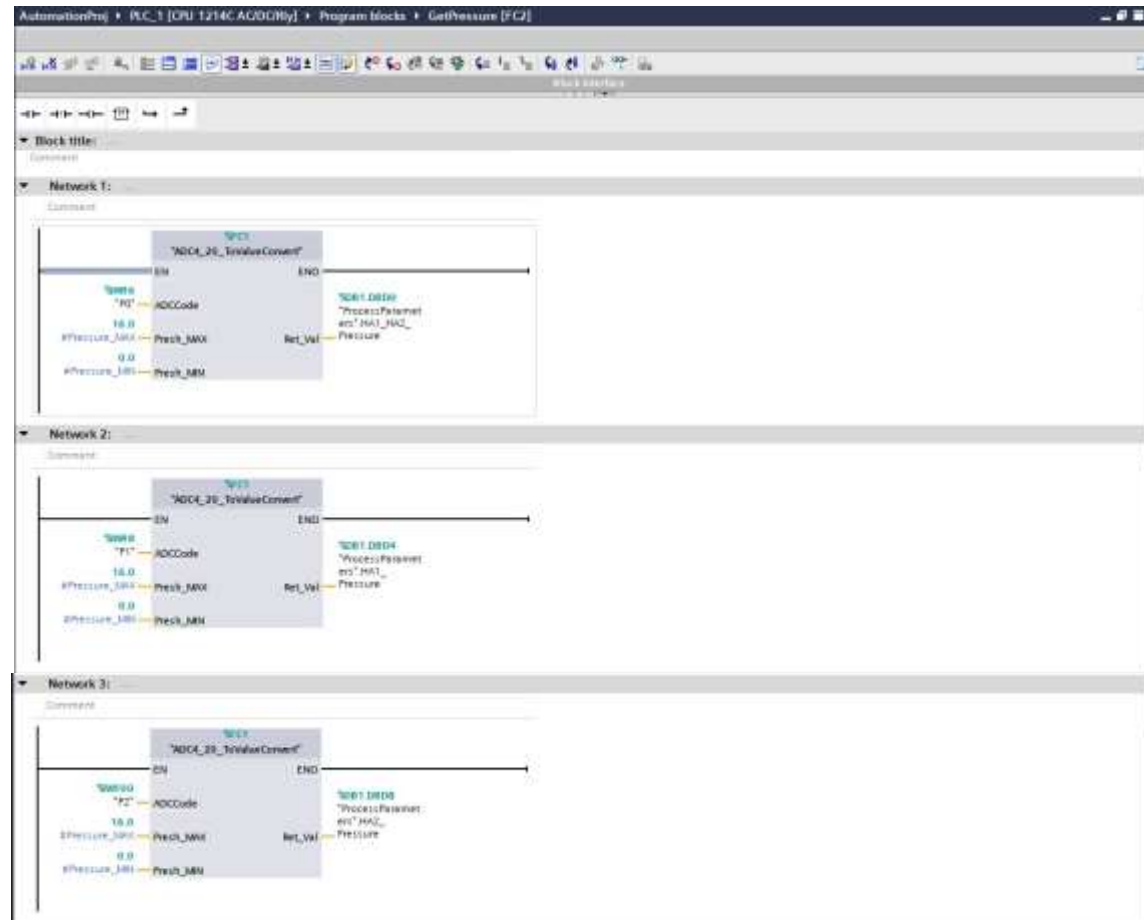


Рисунок Д.7 – Зміст функціонального блоку GetPressure [FC2]

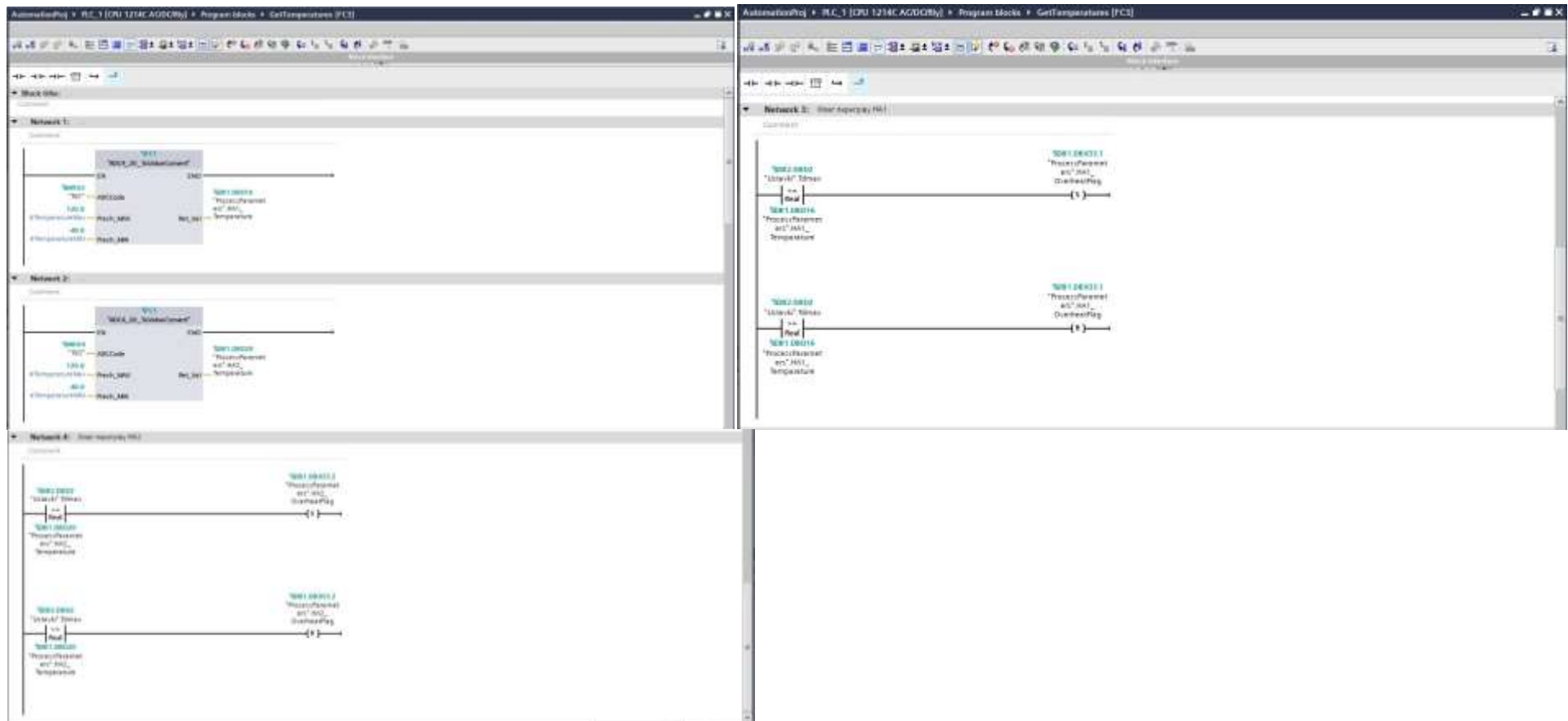


Рисунок Д.8 – Зміст функціонального блоку `GetTemperatures [FC3]`

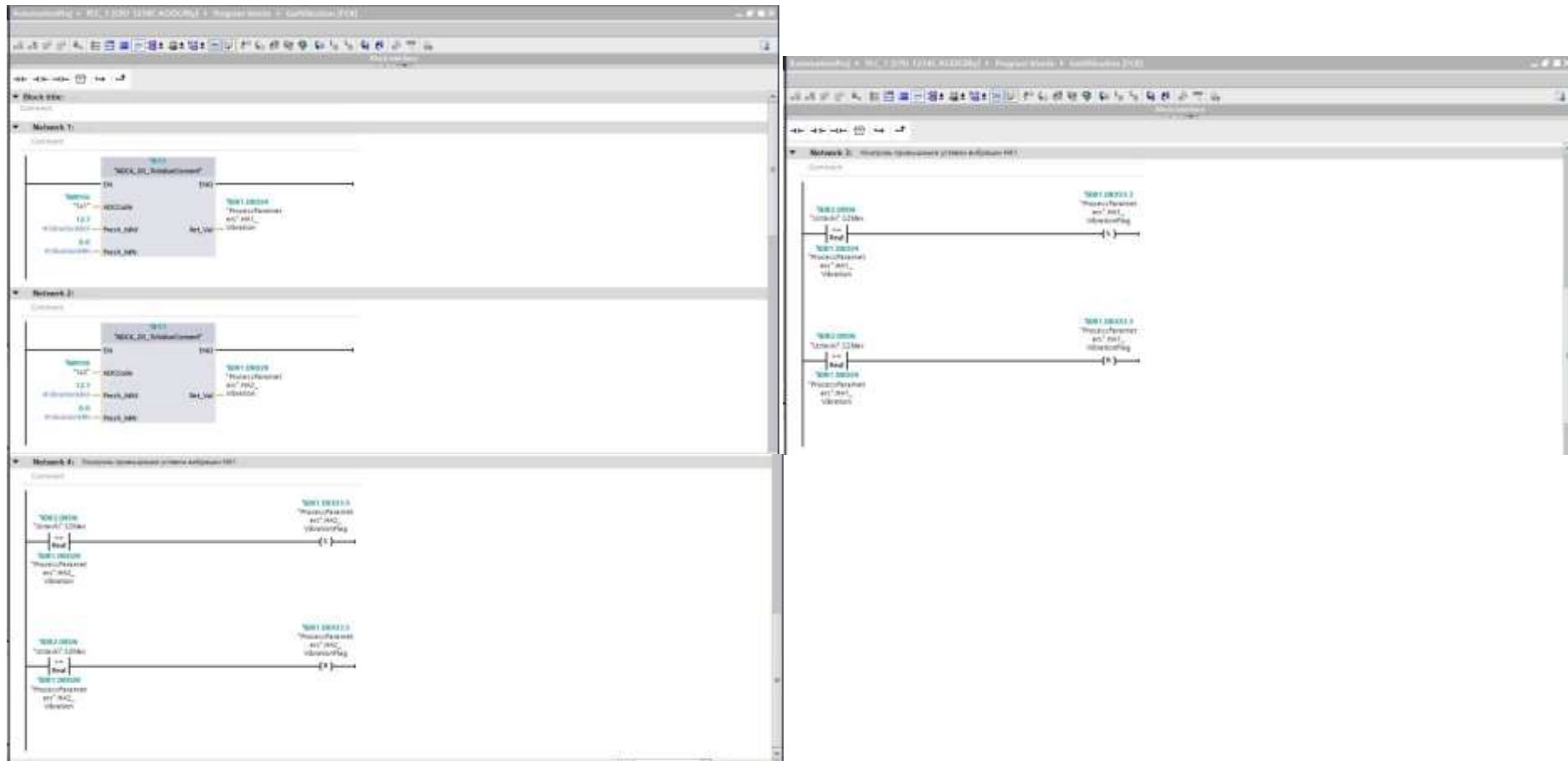


Рисунок Д.9 – Зміст функціонального блоку GetVibration [FC4]

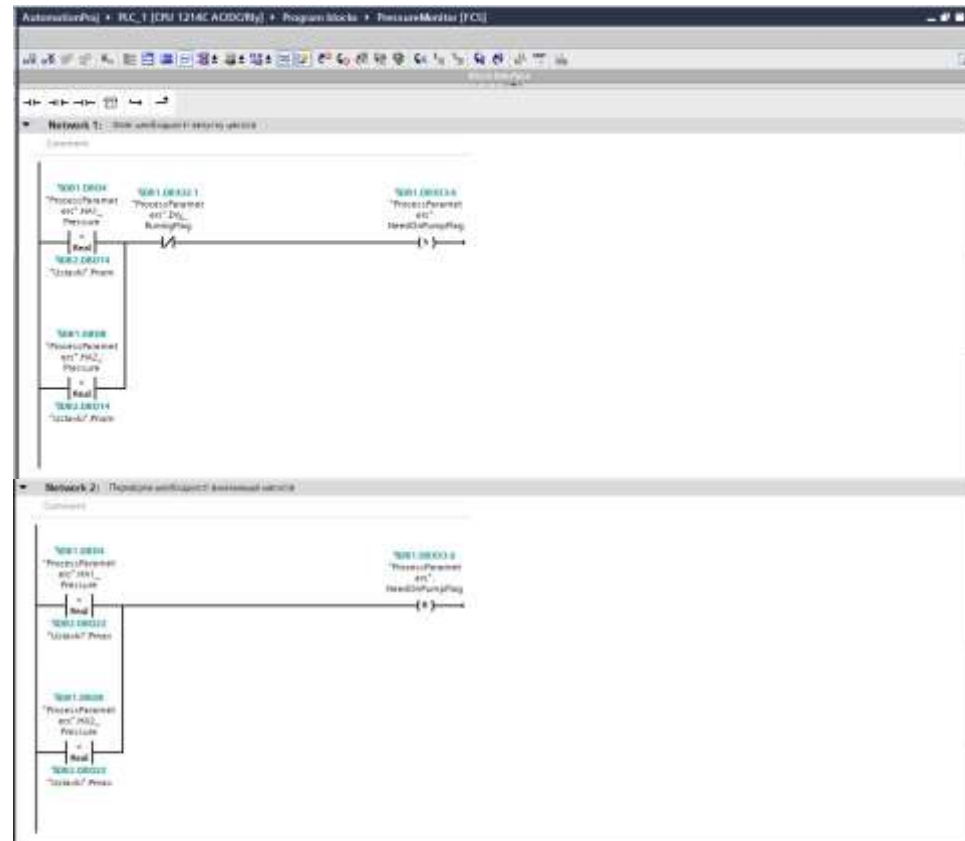


Рисунок Д.10 – Зміст функціонального блоку PressureMonitor [FC5]

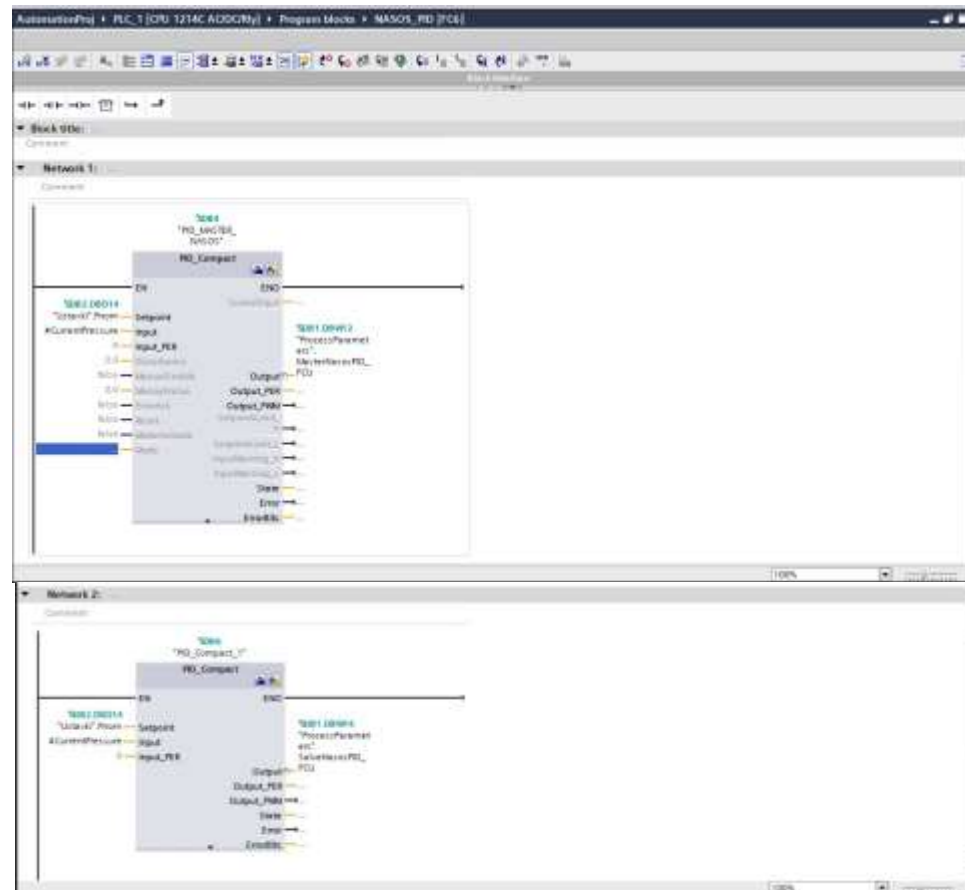


Рисунок Д.11 – Зміст функціонального блоку NASOS\_PID [FC6]



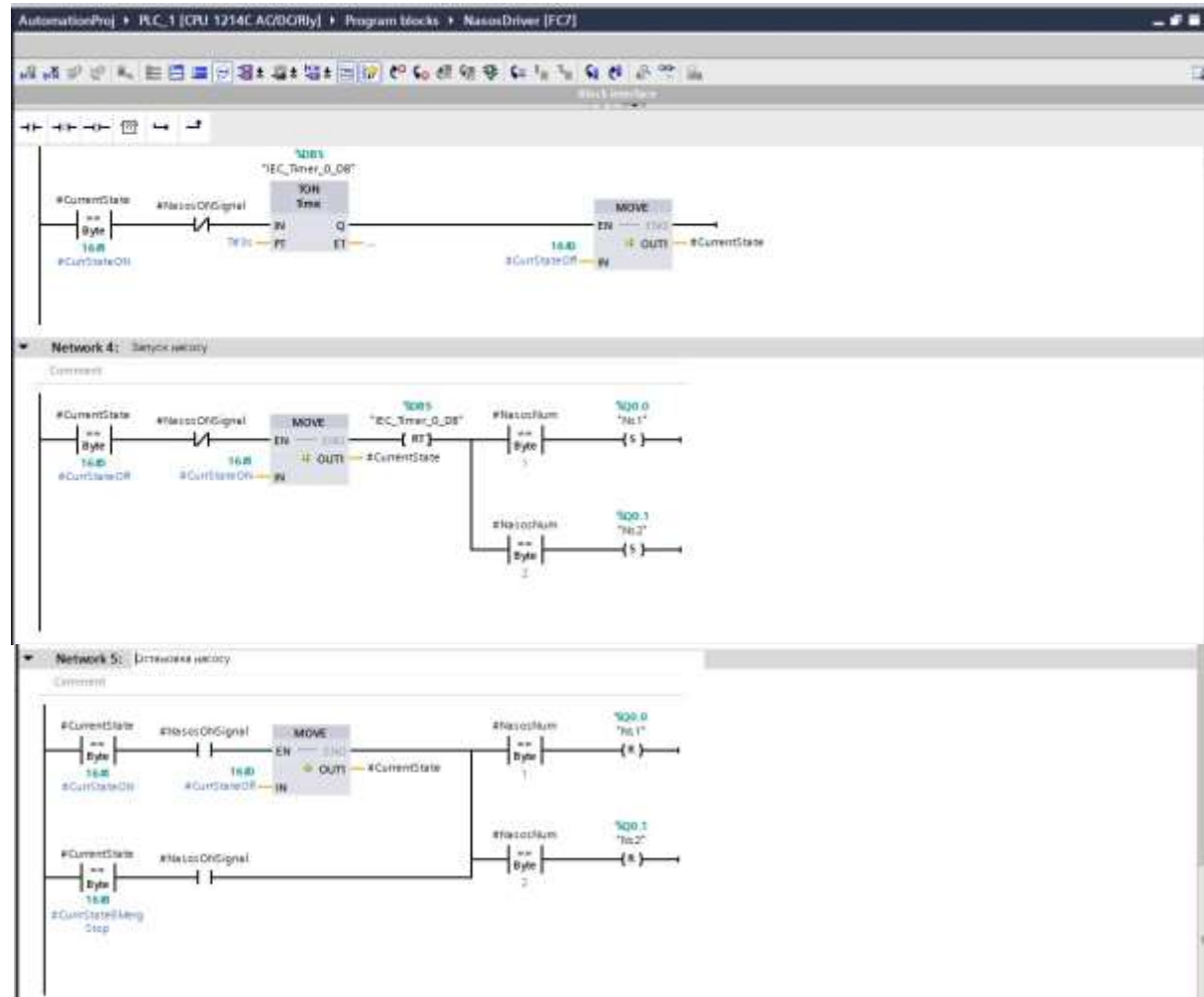


Рисунок Д.12 – Зміст функціонального блоку NasosDriver [FC7]

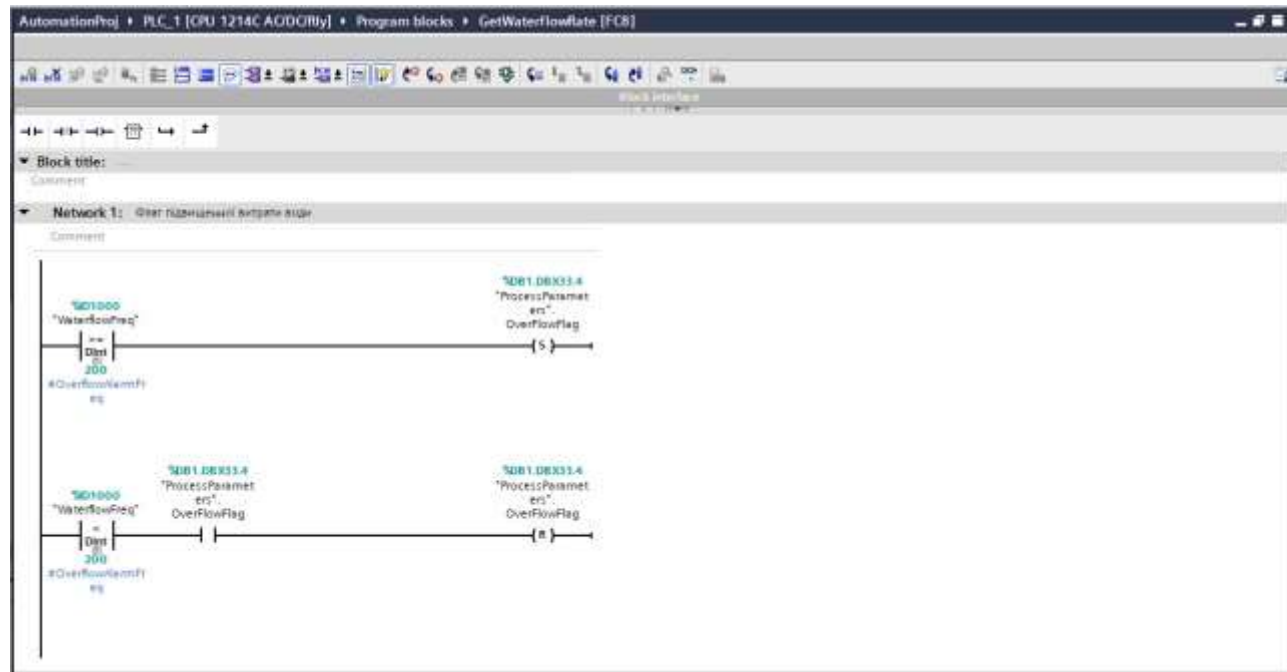


Рисунок Д.13 – Зміст функціонального блоку GetWaterflowRate [FC8]

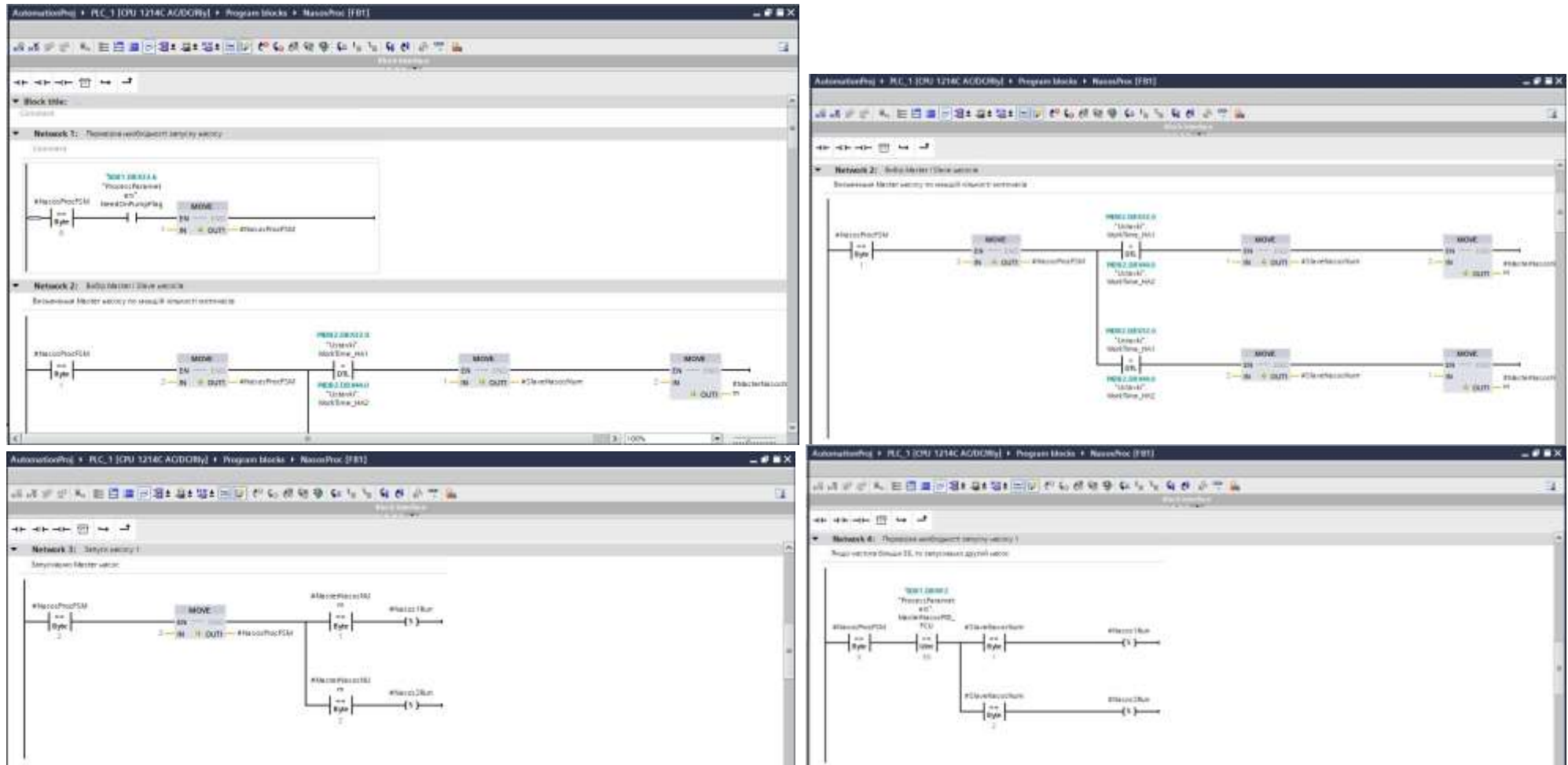
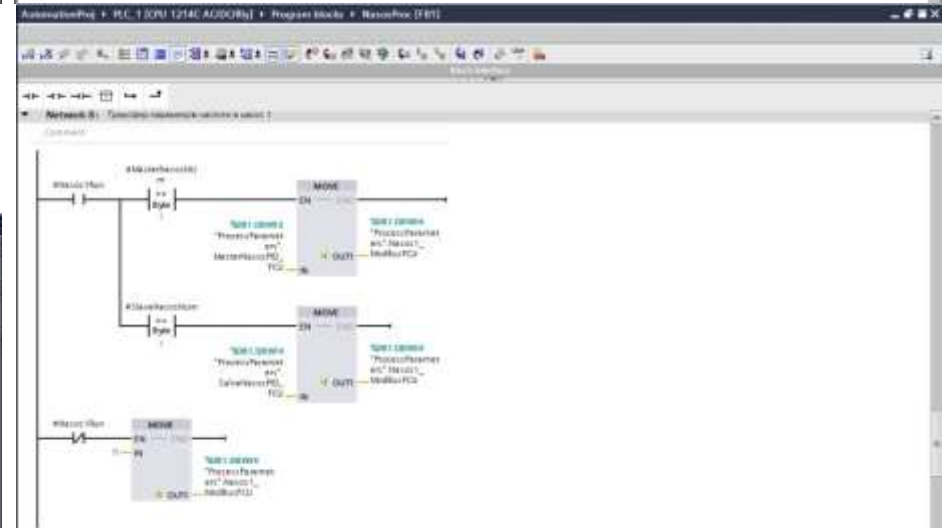
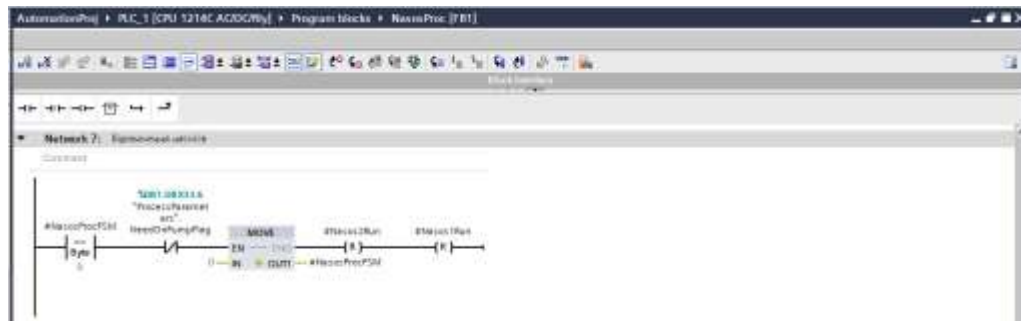
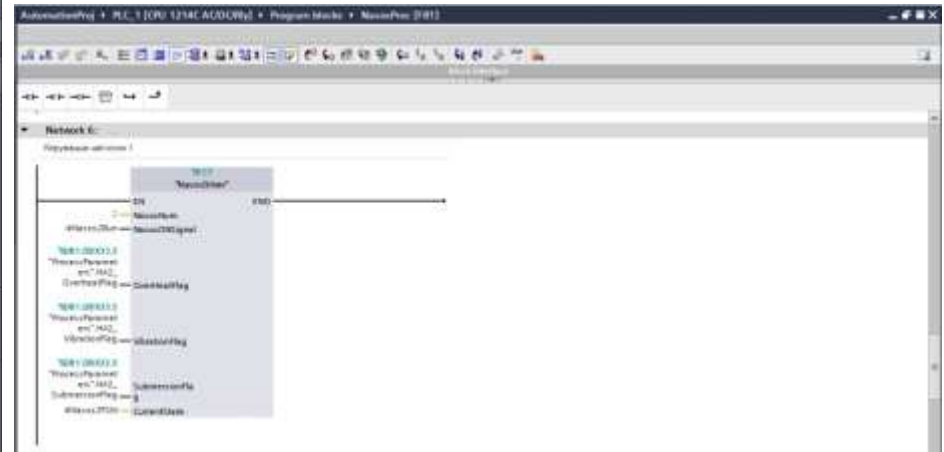
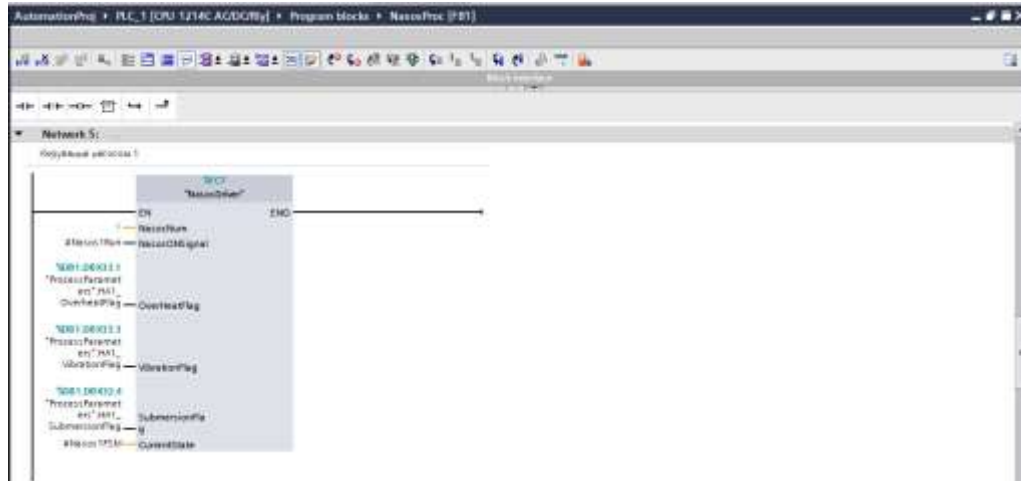
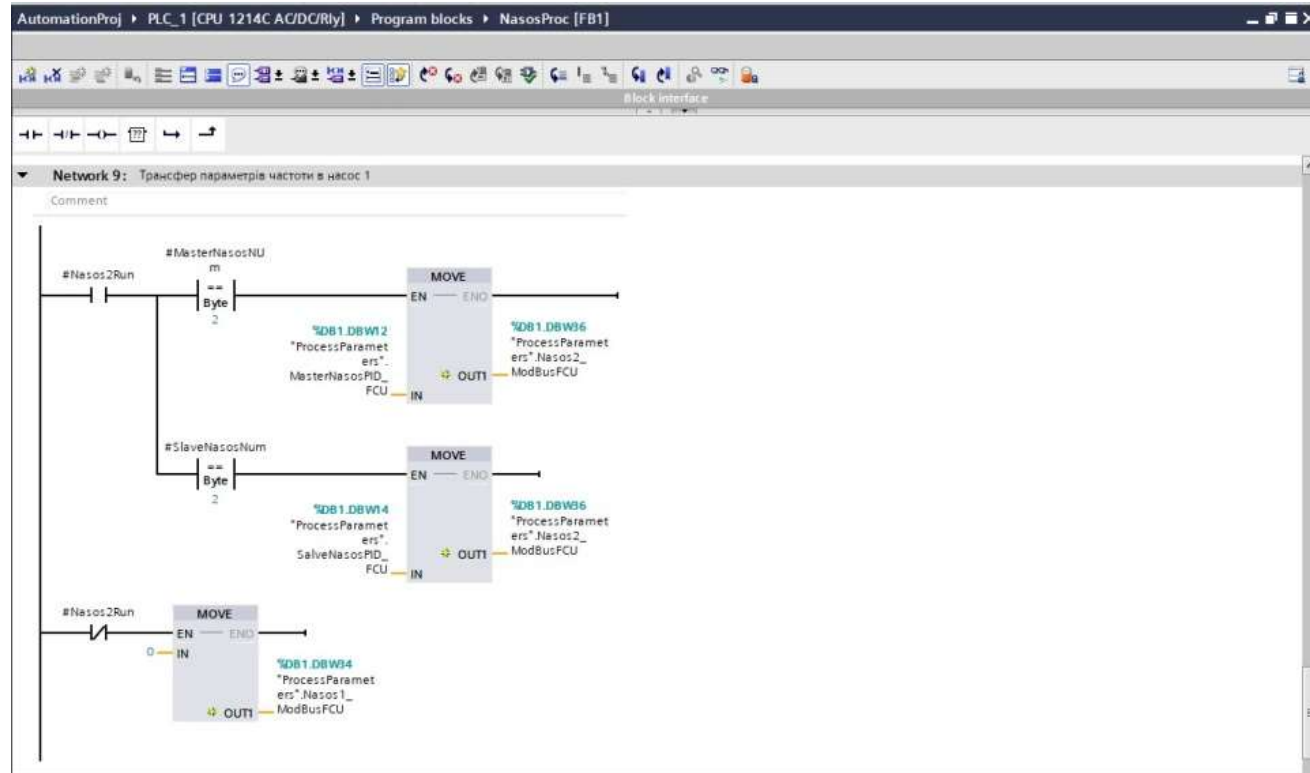


Рисунок Д.14 – Зміст функціонального блоку NasosProc [FB1]



Продовження Рисунку Д.14



Закінчення Рисунок Д.14

AutomationPro | PLC\_1 [CPU 1214C AGDO/Ry] | Program blocks | ProcessParameters [DB1]

Keep actual values | Snapshot | Copy snapshots to start values | Load start values as actual values

ProcessParameters

Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f.	Write	Visible in	Setpoint	Comment
State									
HA1_HAZ_Pressure	Real	0.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Тест на впад'язисю
HA1_Pressure	Real	4.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Тест на впад'язисю 1
HA2_Pressure	Real	8.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Тест на впад'язисю 2
MasterNasosPD_FCU	UInt	12.0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Значення частоти ПИ для Master насосу
SlaveNasosPD_FCU	UInt	14.0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Значення частоти ПИ для Slave насосу
HA1_Temperature	Real	18.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Температура тривогу HA1
HA2_Temperature	Real	20.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Температура тривогу HA2
HA1_Vibration	Real	24.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вибрацiя на HA1 (поточна значення)
HA2_Vibration	Real	28.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вибрацiя на HA2 (поточна значення)
FireSensorFlag	Bool	32.0	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг спрацювання пожежної сигналяци
Dry_RunningFlag	Bool	32.1	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг "сушого ходу"
BrokenDoorFlag	Bool	32.2	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг перешкоди дверей
BrokenWindowFlag	Bool	32.3	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг перешкоди вiкна
HA1_SubmersionFlag	Bool	32.4	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Сигнал підтоплення насосу 1
HA2_SubmersionFlag	Bool	32.5	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Сигнал підтоплення насосу 2
Klapan_1AlarmFlag	Bool	32.6	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Сигнал несправности клапану 1
Klapan_2AlarmFlag	Bool	32.7	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Сигнал несправности клапану 2
ResetAlarmTrigger	Bool	33.0	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Сигнал (поруцiя) для підтоплення аварiї
HA1_OverheatFlag	Bool	33.1	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг перегреву HA1
HA2_OverheatFlag	Bool	33.2	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг перегреву HA2
HA1_VibrationFlag	Bool	33.3	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг перевищення уставки вiбрацiї HA1
OverflowFlag	Bool	33.4	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг перевищення уставки витокiв води
HA2_VibrationFlag	Bool	33.5	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг перевищення уставки вiбрацiї HA2
NeedOnPumpFlag	Bool	33.6	False		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг необхідности запусту насосу
Nasos1_NeedsFCU	UInt	34.0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Частота насосу 1 на ПИ
Nasos2_NeedsFCU	UInt	38.0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Частота насосу 2 на ПИ

Рисунок Д.15 – Зміст блоку даних ProcessParameters [DB1]

AutomationPro | PLC\_1 [CPU 1214C AGDO/Ry] | Program blocks | Ustavki [DB2]

Keep actual values | Snapshot | Copy snapshots to start values | Load start values as actual values

Ustavki

Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f.	Write	Visible in	Setpoint	Comment
State									
fmax	UInt	0.0	50		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Максимальна частота черпача
Tbmax	Real	2.0	95.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Уставка температури корпусу тривогу
SZMax	Real	6.0	11.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Уставка максимальної вiбрацiї
Qav	Real	10.0	2.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Уставка аварийної подави
fmin	Real	14.0	5.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Номiнальний тиск, Bar
fmin	Real	18.0	0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Мiнимальний тиск, Bar
fmax	Real	22.0	6.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Максимальний тиск, Bar
frc	Real	26.0	0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Тест "сушого ходу", Bar
AlarmGenerationDelay	Byte	30.0	4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Затримка генерацiї аварiї по дiтянкам
WorkTime_HA1	D/L	32.0	DTL,F1970-01-01		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Можливи HA1
WorkTime_HA2	D/L	44.0	DTL,F1970-01-01		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Можливи HA2

Рисунок Д.16 – Зміст блоку даних Ustavki [DB2]

AutomationProj > PLC\_1 [CPU 1214C AC/DC/Ry] > Program blocks > TempVariables [DB3]

Keep actual values Snapshot Copy snapshots to start values Load start values as actual values

TempVariables

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
Static								
BrokenDoorAlarmCounter	Byte	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
BrokenWindowAlarmCounter	Byte	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок Д.17 – Зміст блоку даних TempVariables [DB3]

AutomationProj > PLC\_1 [CPU 1214C AC/DC/Ry] > Program blocks > TEmixBITPoll\_DB [DB11]

Keep actual values Snapshot Copy snapshots to start values Load start values as actual values

TEmixBITPoll\_DB

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
Input								
Output								
ErrorCode	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0 - ОК, 1 не має обробки біта в ChannelP...
DoneFlag	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Принцип завершення опитування блоку
InOut								
Static								
TP_NeedRequest	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг ставиться коли чинить запит даних с...
Channels amount	USInt	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Кількість каналів в блоку BIT-132
Requestaptr	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Тригер запиту по Modbus
BITindex	USInt	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Номер каналу BIT-132
BITnum	Int	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Номер BIT
BITPollState	Word	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Составить конечного автомата опроса BIT
BIT_runflag	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Принцип того чи BIT інцидентарова
RequestCondition	Byte	16#0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ф-тоток к запиту, 1 запити інцидентарова
ModbusRetryCounter	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Счетчик повторів запиту по Modbus
BITstatus	Byte	16#0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Статус біта
MB	*MODBUS_VAR		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Варти в реєстрі MODBUS
DATA	Array(0..80) of Byte		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
BITPollError	Byte	16#0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0 - все хорошо, 1 - BIT не откликнет, 2 - статус...
BypassBITnum	Int	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Номер біта для которого сигнал провалити
OverTempFlag	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Флаг преревищення температури
OverTempReg2	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок Д.18 – Зміст блоку даних TemBITPoll\_DB [DB11]