

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – магістр
за освітньо-професійною програмою
«Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»

зі спеціальності
*174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка*

Тема роботи:
***«Автоматизована система керування насосними станціями
водопостачання з розробкою підсистеми дистанційного
моніторингу та керування технологічними параметрами»***

Виконав студент гр. АКІТР-23-2м	_____ Тернових С.С.
Керівник	_____ Тиханський М.П.
Нормоконтроль	_____ Маринич І.А.
Завідувач кафедри	_____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Магістр

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри: к.т.н. Рубан С.А.

« 5 » липня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студентові групи АКІТР-23-2м Тернових Святославу Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система керування насосними станціями водопостачання з розробкою підсистеми дистанційного моніторингу та керування технологічними параметрами»

затверджено наказом по університету № 595с від 04.07.2024 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 01.12.2024 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 78 с., додатки, презентація у Microsoft PowerPoint (15 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-3

доц. Тиханський М.П.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>12.07.24</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>19.07.24</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>25.08.24</i>
4	<i>Розділ 3</i>	<i>28.09.24</i>
5	<i>Висновки</i>	<i>17.10.24</i>
6	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>22.11.24</i>
7	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>29.11.24</i>
8	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>01.12.24</i>

6. Дата видачі завдання: 28.06.2024р.

Керівник _____ / **Тиханський М.П./**

7. Запевнення: Я, Тернових Святослав Сергійович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Здобувач _____ / **Тернових С.С./**

АНОТАЦІЯ

Тернових С.С. «Автоматизована система керування насосними станціями водопостачання з розробкою підсистеми дистанційного моніторингу та керування технологічними параметрами».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеню вищої освіти магістр за освітньо-професійною програмою «Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті» зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології. Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування насосними станціями водопостачання з інтеграцією підсистеми дистанційного моніторингу та керування технологічними параметрами.

Основним завданням є підвищення ефективності та надійності роботи насосних станцій, забезпечення стабільного водопостачання та зниження енергетичних витрат за рахунок автоматизації процесів і точного контролю технологічних параметрів у реальному часі.

У першому розділі проведено аналіз сучасних підходів до автоматизації насосних станцій водопостачання. Описано технологічний процес роботи насосних станцій та методи підвищення їх ефективності за допомогою сучасних систем автоматизації. Розглянуто можливості застосування SCADA-систем для моніторингу та керування, а також методи енергозбереження й оптимізації роботи насосного обладнання.

У другому розділі розроблено математичні моделі та методи синтезу системи керування насосною станцією. Проведено розрахунки передавальних функцій та моделювання роботи системи автоматичного керування насосами.

У третьому розділі розглянуто процес програмно-технічної реалізації системи керування насосною станцією. Зокрема, було розроблено програмне забезпечення для автоматизованого керування насосами та моніторингу їх роботи.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, НАСОСНА СТАНЦІЯ, NODE-RED, SCADA, ВОДОПОСТАЧАННЯ, МОНІТОРИНГ

ANNONATION

Ternovykh S.S. «Automated Control System for Water Supply Pumping Stations with Development of a Remote Monitoring and Technological Parameter Control Subsystem».

Graduation master`s work for obtaining an educational degree «Master» for the educational and professional program « Cyber-physical systems in industry, business and transport » in specialty 174 – «Automation, computer-integrated technologies, and robotics». – Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024.

The aim of the work is to develop an automated control system for water supply pumping stations with the integration of a remote monitoring and technological parameter control subsystem.

The main task is to improve the efficiency and reliability of pumping station operations, ensure stable water supply, and reduce energy costs through process automation and precise control of technological parameters in real-time.

In the first chapter, an analysis of modern approaches to automating water supply pumping stations was conducted. The technological process of pumping stations and methods for improving their efficiency through modern automation systems were described. The possibilities of applying SCADA systems for monitoring and control were examined, along with methods for energy savings and optimization of pump equipment operation.

In the second chapter, mathematical models and methods for synthesizing the control system of the pumping station were developed. Transfer function calculations and modeling of the automatic pump control system were performed.

In the third chapter, the process of software and technical implementation of the pumping station control system was discussed. Specifically, software for automated pump control and monitoring their operation was developed.

AUTOMATED SYSTEM, PUMPING STATION, SCADA, NODE-RED,
WATER SUPPLY, MONITORING

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ	10
1.1 Огляд технологічного процесу та сучасних методів автоматизації насосних станцій водопостачання.....	10
1.2 Використання SCADA систем для моніторингу та керування технологічними процесами	13
1.3 Енергозбереження та оптимізація роботи насосного обладнання.....	15
1.4. Приклади успішного впровадження автоматизованих систем керування	19
1.5. Постановка задач дослідження.....	21
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ	25
2.1 Математичне моделювання роботи насосної станції.....	25
2.1.1 Динамічні характеристики насосних агрегатів	25
2.1.2. Гідравлічна стабільність та ефективність системи	29
2.1.3. Оптимізація та контроль водорозподілу	31
2.2 Розрахунок передавальної функції виконавчого пристрою	32
2.3 Моделювання системи автоматичного керування насосною установкою.....	33
2.4 Розрахунок параметрів регулятора	35
2.5 Аналіз динамічних процесів у системі керування насосною станцією	39

2.6 Моделювання роботи системи керування: аналіз параметрів тиску, рівня води та помилки регулювання	42
Висновки за розділом	44
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ	
КЕРУВАННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ	47
3.1 Розробка програмного забезпечення для керування насосною станцією	47
3.1.1 Етапи розробки програмного забезпечення для насосної станції ..	47
3.1.2 Загальна структура програми керування насосною станцією в Machine Expert	51
3.1.3 Реалізація програми для управління насосною станцією.....	53
3.2 Розробка SCADA-СИСТЕМИ НА БАЗІ NODE-RED	57
3.2.1 Використання Node-RED для SCADA-системи насосної станції ..	57
3.2.2 Зчитування даних із ПЛК за допомогою Node-RED.....	58
3.2.3 Обробка та візуалізація даних	59
3.2.4 Дистанційне управління насосною станцією.....	63
3.2.5 Розробка архівних даних.....	67
Висновок до розділу 3	70
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	72
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	74

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ ТП - автоматизована система управління технологічними процесами;

АС – автоматизована система;

АСК ТП - автоматизована система керування технологічними процесами;

ПЛК - програмований логічний контролер;

SCADA - система диспетчерського контролю та збору даних;

НС – насосна станція;

НА – насосний агрегат;

ERP - планування ресурсів підприємства;

ПЧ – перетворювач частоти;

АСК НС – автоматизована система керування насосної станції

ВСТУП

У сучасних умовах глобалізації та інтенсивного розвитку технологій, питання автоматизації управлінських і виробничих процесів набувають особливої актуальності. Особливо важливими є автоматизовані системи управління для підприємств, що працюють у критичних галузях, таких як водопостачання, де забезпечення стабільності, надійності та безперервності процесу є критичним фактором для забезпечення якості життя населення та підтримки нормального функціонування інфраструктури [1]. Водопостачання є однією з основних складових інфраструктури міста та промислових підприємств, а від ефективності роботи насосних станцій безпосередньо залежить стабільність у постачанні води споживачам.

Насосні станції водопостачання традиційно здійснюють контроль та управління технологічними параметрами на основі класичних засобів автоматизації. Однак розвиток інформаційних технологій, а також застосування новітніх систем і засобів автоматизації, відкриває нові можливості для оптимізації таких процесів. Одним із таких інструментів є автоматизовані системи керування, що включають в себе як традиційні елементи управління, так і новітні технології, такі як SCADA-системи для моніторингу та дистанційного керування технологічними процесами [2].

Метою цієї дипломної роботи є розробка автоматизованої системи керування насосними станціями водопостачання з розробкою підсистеми дистанційного моніторингу та керування технологічними параметрами. В основу цієї системи покладено концепцію інтеграції сучасних програмних та апаратних рішень для ефективного управління насосами, контролю рівня води, тиску, температури обладнання, а також для своєчасного реагування на виникнення аварійних ситуацій.

Реалізація автоматизованої системи керування насосною станцією на основі сучасних технологій дозволить значно підвищити ефективність і надійність роботи

насосних агрегатів, зменшити час на налаштування та адаптацію системи, забезпечити гнучке управління за допомогою візуальних інтерфейсів та полегшити процес моніторингу і діагностики технічного стану обладнання.

Завдання дослідження:

1. Аналіз існуючих систем автоматизації насосних станцій та визначення їх основних недоліків.
2. Розробка математичної моделі роботи насосної станції для оптимізації технологічних параметрів.
3. Синтез системи керування насосною станцією, включаючи розробку алгоритмів оптимізації роботи насосного обладнання.
4. Створення підсистеми дистанційного моніторингу та керування на базі SCADA-системи з використанням Node-RED.
5. Розробка інтерфейсу оператора, який забезпечить зручність управління та діагностики в режимі реального часу.
6. Розробка рекомендацій щодо вдосконалення та подальшого розвитку систем автоматизації насосних установок та водопостачання.

Один із важливих аспектів роботи – це розробка підсистеми дистанційного моніторингу та керування технологічними параметрами насосної станції, що дозволяє оператору здійснювати контроль за станом насосів і інших технологічних параметрів через веб-інтерфейс у режимі реального часу. В якості програмного інструменту для створення SCADA-системи було обрано Node-RED – потужну платформу з відкритим кодом, яка дозволяє створювати інтегровані рішення на основі візуального програмування, спрощуючи підключення різних пристроїв і сенсорів та забезпечуючи масштабованість та гнучкість системи [3]. Загалом, реалізація даної автоматизованої системи керування насосними станціями водопостачання дозволить не тільки значно підвищити ефективність і надійність роботи насосних станцій, а й забезпечити зручність експлуатації та діагностики в реальному часі, що є важливим аспектом для сучасних водопостачальних підприємств.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ

1.1 Огляд технологічного процесу та сучасних методів автоматизації насосних станцій водопостачання

Насосні станції водопостачання є важливими елементами інфраструктури, які забезпечують транспортування води від джерел до кінцевих споживачів. Ефективність роботи цих станцій має значний вплив на якість водопостачання, енергоефективність та експлуатаційні витрати. Тому автоматизація насосних станцій є пріоритетом для багатьох підприємств, що займаються водопостачанням, оскільки вона дозволяє досягти високих показників надійності, безпеки та економії ресурсів.

Технологічний процес насосних станцій включає забір води з природних або штучних джерел, її транспортування по трубопровідній мережі та підтримку необхідного тиску для подачі води до кінцевих споживачів. Основними елементами системи водопостачання є насоси, трубопроводи, резервуари, водозабірні споруди, а також контрольно-вимірювальні прилади, що забезпечують моніторинг технологічних параметрів. Автоматизація цих процесів дозволяє зменшити участь людини в управлінні та контролі за роботою насосних станцій, підвищити точність вимірювань і покращити регулювання.

У традиційних насосних станціях управління здійснювалося за допомогою ручних засобів контролю і механічних систем керування які мають суттєві недоліки такі як:

- неефективне управління енергоспоживанням є однією з основних проблем традиційних систем. Часто насосні станції працюють на постійній потужності, що може призводити до надмірного споживання енергії, особливо при змінному попиті на воду;

- високий ризик аварійних ситуацій і несправностей є серйозною проблемою, оскільки несправності можуть призвести до затоплень або перебоїв у водопостачанні, що вплине на споживачів;

- низька точність контролю та регулювання у старих системах може призводити до нерегулярності у подачі води та неефективного використання ресурсів;

- обмежена можливість прогнозування та планування у традиційних системах ускладнює адаптацію до змін у попиті на воду або технічних проблем;

- складності з обслуговуванням і ремонтом обладнання можуть бути трудомісткими і дорогими без автоматизованих систем;

- обмежена можливість інтеграції з іншими системами у традиційних рішеннях може обмежувати можливості комплексного управління.

Одним з основних сучасних методів автоматизації є використання програмованих логічних контролерів, які забезпечують автоматичне управління насосами залежно від технологічних параметрів. Контролери дозволяють виконувати функції запуску та зупинки насосів, регулювання частоти обертання двигунів, управління засувками, моніторинг параметрів, таких як тиск, рівень води, витрати та споживання електроенергії. За допомогою контролерів можна програмувати складні логічні алгоритми для забезпечення оптимальної роботи насосних станцій [4].

Важливу роль у забезпеченні автоматизації відіграють частотні перетворювачі, які використовуються для регулювання швидкості обертання насосних агрегатів. Використання частотних перетворювачів дозволяє зменшити енергоспоживання за рахунок роботи насосів в економічному режимі. Це особливо важливо в умовах змінного споживання води, коли необхідно гнучко регулювати роботу обладнання залежно від поточного попиту. Частотні перетворювачі дозволяють уникати перевантажень та знижувати енергетичні витрати в періоди низького навантаження, коли не потрібно працювати на повну потужність.

Ще одним важливим інструментом автоматизації насосних станцій є SCADA-системи. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) є системою

диспетчерського управління та збору даних, яка забезпечує моніторинг і керування насосними станціями в реальному часі. SCADA-системи дозволяють збирати дані з усіх підсистем насосної станції, аналізувати їх та оперативно реагувати на зміну параметрів. Наприклад, диспетчер може контролювати рівень води у резервуарах, тиск у трубопроводах, стан насосів та інших елементів системи. Крім того, SCADA-системи дозволяють прогнозувати аварійні ситуації та своєчасно вживати заходи для їх запобігання.

Дистанційний моніторинг і керування насосними станціями стають усе більш актуальними завдяки розвитку технологій Інтернету речей. Інтеграція IoT-рішень у насосні станції дозволяє здійснювати моніторинг і керування через мобільні додатки або інтернет-портали, що забезпечує постійний доступ до інформації про стан системи та можливість оперативного втручання. Наприклад, за допомогою таких рішень можна віддалено контролювати параметри насосів, відправляти команди на зміну режиму роботи або отримувати попередження про аварійні ситуації. Це значно підвищує гнучкість у керуванні насосними станціями та дозволяє швидко реагувати на зміни в режимі роботи.

Системи виявлення несправностей, такі як аналітика даних і прогнозування збоїв, дозволяють здійснювати проактивне технічне обслуговування. Наприклад, аналіз вібрацій, температури та інших параметрів допомагає передбачити знос компонентів, що дозволяє планувати обслуговування до того, як виникне серйозна проблема. Це значно знижує ризик аварій та непередбачених зупинок, що позитивно впливає на загальну ефективність і надійність системи.

Сучасні автоматизовані системи також забезпечують можливість інтеграції з системами аварійного реагування, які автоматично активують резервні насоси або інші елементи системи в разі виникнення проблем. Це допомагає зменшити час простою та забезпечити безперебійне водопостачання навіть у випадку виходу з ладу основного обладнання.

Таким чином, автоматизація насосних станцій зокрема спрямована на підвищення енергетичної ефективності і надійності. Впровадження сучасних технологій, таких як частотні перетворювачі, SCADA-системи, PLC і дистанційний

моніторинг, сприяє значному зменшенню витрат енергії, підвищенню надійності роботи обладнання та забезпеченню стабільного і ефективного водопостачання.

1.2 Використання SCADA систем для моніторингу та керування технологічними процесами

Системи диспетчерського управління та збору даних SCADA відіграють ключову роль у сучасних автоматизованих системах керування технологічними процесами, зокрема в насосних станціях водопостачання. SCADA-системи дозволяють забезпечити моніторинг, контроль та управління в реальному часі, що значно підвищує ефективність і надійність роботи об'єктів.

Основною перевагою SCADA є її здатність забезпечувати централізоване управління складними технологічними процесами на віддалених об'єктах. Це стає особливо актуальним для насосних станцій, які можуть бути розташовані на великій відстані від основного центру керування. За допомогою SCADA-систем оператори можуть контролювати всі етапи технологічного процесу — від забору води до її подачі споживачам [5].

Однією з головних функцій SCADA-систем є збір і обробка даних з датчиків і вимірювальних приладів, встановлених на об'єктах. Система отримує інформацію про такі параметри, як тиск, рівень води в резервуарах, витрати води, температура насосів, споживання електроенергії тощо. Отримані дані відображаються на екранах у вигляді графіків і таблиць, що дозволяє операторам оперативно оцінювати стан об'єктів і приймати рішення щодо подальших дій. Приклад розробленої SCADA-системи зображений на рисунку 1.1 та 1.2

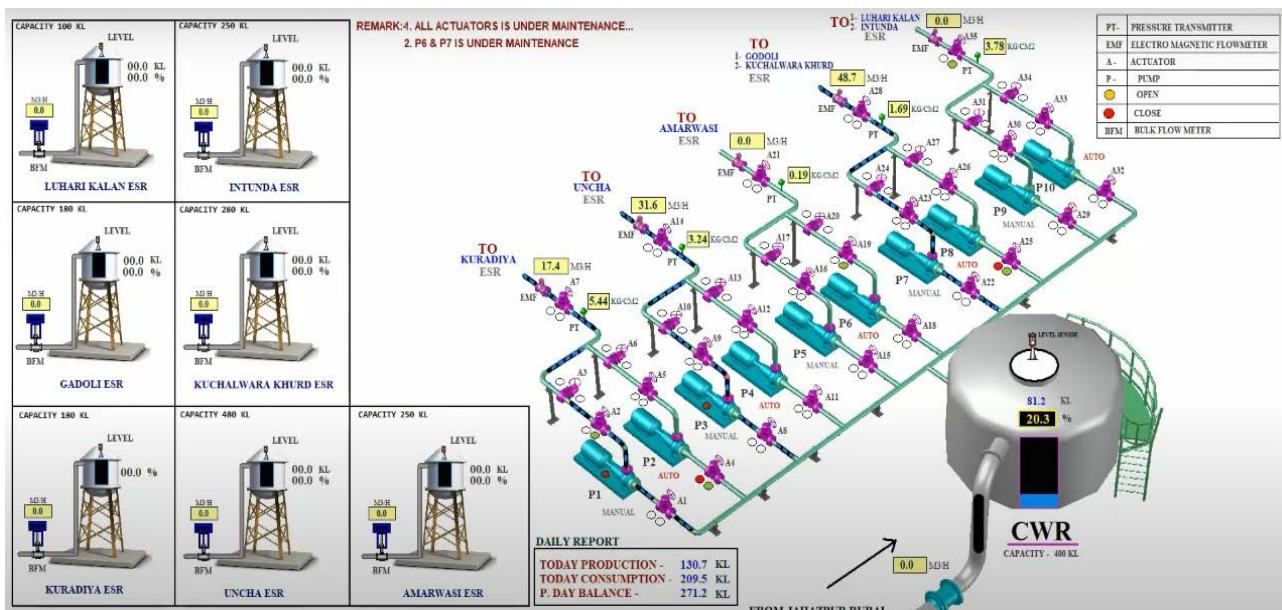


Рисунок 1.1 – Приклад SCADA-системи

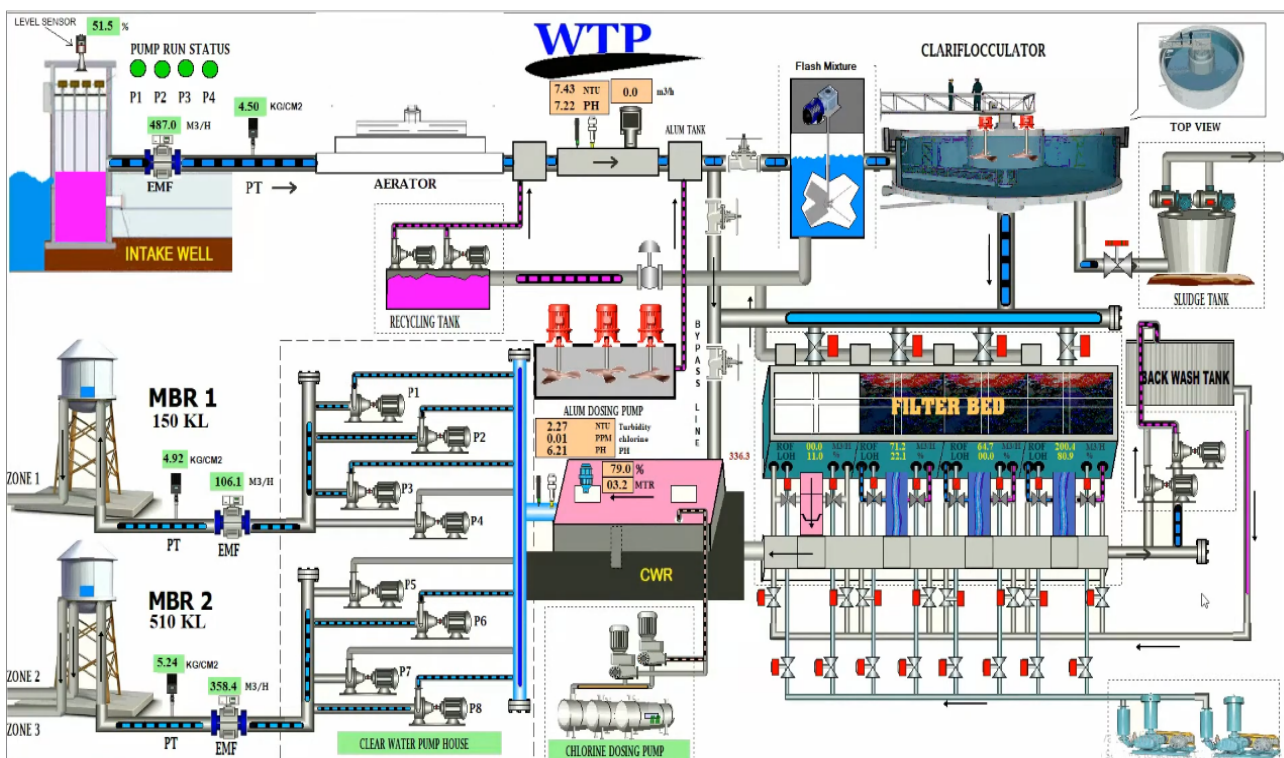


Рисунок 1.2 – Приклад SCADA-системи

Крім моніторингу, SCADA-системи забезпечують можливість дистанційного управління обладнанням насосних станцій. Оператори можуть вмикати та вимикати насоси, змінювати режими їх роботи, регулювати тиск та витрати води, а

також управляти засувками й клапанами. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни у роботі системи та мінімізувати можливі ризики.

Завдяки можливості інтеграції SCADA з іншими інформаційними системами, такими як ERP або системи управління технічним обслуговуванням, можна забезпечити більш комплексний підхід до керування технологічними процесами. Наприклад, інформація про несправності або перевантаження може автоматично передаватися до відділу технічного обслуговування для планування ремонтних робіт.

Одним із ключових аспектів використання SCADA є її здатність до прогнозування аварійних ситуацій та надання рекомендацій для запобігання можливим поломкам. За допомогою аналітичних інструментів SCADA-системи можуть виявляти відхилення в роботі обладнання, аналізувати їх і надавати оператору рекомендації щодо необхідності проведення профілактичних заходів.

Таким чином, впровадження SCADA-систем дозволяє значно підвищити ефективність управління насосними станціями водопостачання за рахунок поліпшення моніторингу технологічних процесів, дистанційного керування обладнанням та своєчасного реагування на аварійні ситуації. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню надійності водопостачання, зниженню експлуатаційних витрат та покращенню енергетичної ефективності.

1.3 Енергозбереження та оптимізація роботи насосного обладнання

Насосні станції водопостачання є одними з найбільших споживачів енергії на підприємствах комунального господарства. Через високі витрати на електроенергію актуальним є питання енергозбереження та підвищення ефективності роботи насосного обладнання. Впровадження автоматизованих систем керування дозволяє значно зменшити споживання енергії, оптимізуючи роботу насосів та інфраструктури загалом.

Основні заходи для енергозбереження:

1. Впровадження частотних перетворювачів є одним із ключових рішень для енергозбереження на насосних станціях водопостачання. Частотні перетворювачі дозволяють плавно регулювати швидкість обертання насосів, що, у свою чергу, забезпечує більш економне споживання електроенергії та зменшує механічне зношення обладнання. ПЧ дозволяє змінювати швидкість двигунів насосів відповідно до змін у попиті на воду. Це особливо важливо для насосних станцій, де споживання води може суттєво змінюватися протягом дня. Наприклад, у пікові години насос може працювати на повну потужність, а в періоди низького споживання його швидкість може бути знижена до мінімуму.

Основні переваги використання ПЧ:

- Зниження енергоспоживання. Встановлення частотних перетворювачів дозволяє знизити енергоспоживання на 20-50%. Це досягається завдяки тому, що насоси працюють тільки тоді, коли це необхідно, і на тій швидкості, яка відповідає реальній потребі;

- Продовження терміну служби обладнання. Завдяки плавному старту та зупинці насосів зменшується механічне навантаження на деталі, що знижує знос і дозволяє уникнути частих аварій;

- Зменшення витрат на технічне обслуговування. Оптимізація роботи насосів та використання режимів з низьким навантаженням сприяє зменшенню кількості планових та позапланових ремонтів;

- Зниження рівня шуму. Робота насосів на нижчій швидкості дозволяє значно зменшити рівень шуму, що особливо важливо для об'єктів, розташованих у густонаселених районах.

На рисунку 1.3 зображено принцип роботи перетворювача частоти.

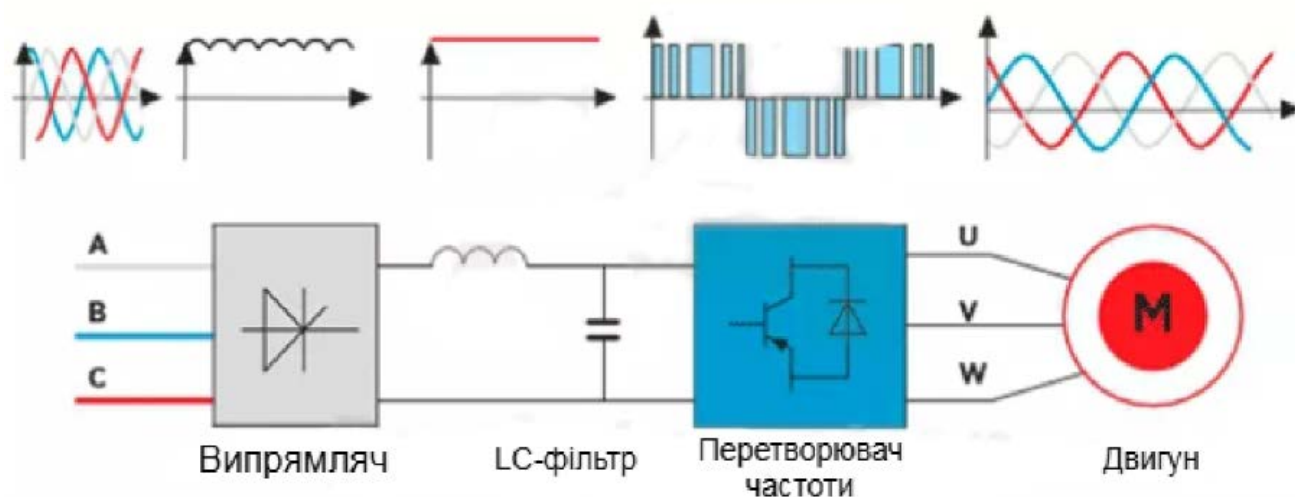


Рисунок 1.3 - Принцип роботи перетворювача частоти

У рамках огляду літератури та існуючих методів керування асинхронними двигунами, особливу увагу було приділено роботі В.В. Ткаченка «Дослідження методів частотного керування асинхронним двигуном». У цій роботі детально розглянуто основні методи частотного керування асинхронними електродвигунами, включно з їх можливостями, сферами застосування, а також проаналізовано переваги та недоліки таких двигунів. Дослідження підкреслює важливість використання частотного керування для підвищення ефективності роботи електродвигунів, зменшення енергоспоживання та оптимізації технологічних процесів. У цій статті розглядаються основні методи частотного керування асинхронним двигуном:

- Скалярне керування - змінює частоту напруги живлення, зберігаючи її амплітуду;
- Векторне керування - змінює частоту і амплітуду напруги живлення, забезпечуючи контроль моменту і швидкості двигуна.

Автор статті проводить порівняльний аналіз цих методів за такими параметрами, як:

- Ефективність - витрати електроенергії;
- Стабільність - плавність регулювання і відсутність вібрацій;
- Точність - точність відтворення заданої швидкості;

За результатами дослідження, векторне керування має такі переваги:

- Більша ефективність - до 30%;
- Більша стабільність - відсутність вібрацій;
- Більша точність - точніше відтворення заданої швидкості.

Однак, векторне керування має і такі недоліки:

- Більш складне - вимагає більш складного обладнання і програмного забезпечення;
- Більше коштує - вартість обладнання і програмного забезпечення вище, ніж у випадку скалярного керування.

Використання частотних перетворювачів у системах водопостачання може суттєво покращити їх роботу [6].

2. Оптимізація графіків роботи насосів. Автоматизовані системи керування насосними станціями дозволяють створювати гнучкі графіки роботи насосів, враховуючи пікові періоди споживання води. Завдяки цьому насосне обладнання не працює вхолосту під час низького попиту, що допомагає зменшити енерговитрати.

3. Впровадження систем моніторингу та діагностики. Завдяки системам SCADA, можна оперативно відстежувати стан насосного обладнання, виявляти збої та швидко реагувати на відхилення в роботі. Це дозволяє уникати аварійних ситуацій та непередбачених зупинок, що може призводити до зайвих витрат енергії. Регулярна діагностика обладнання дозволяє прогнозувати його зношення та своєчасно проводити технічне обслуговування, що також сприяє зниженню енергоспоживання.

4. Використання енергоефективних насосів. Сучасні насоси споживають значно менше енергії порівняно з устаткуванням старих зразків. Насоси з високим ККД дозволяють забезпечувати той самий об'єм води при меншій кількості витраченої енергії.

Технологічні рішення для оптимізації роботи насосів:

- За допомогою PLC можливо здійснювати автоматизоване регулювання режиму роботи насосів залежно від поточних технологічних параметрів (тиск,

рівень води, потреба в подачі). Автоматизація цих процесів значно знижує втрати енергії, оскільки обладнання працює в оптимальному режимі;

- Застосування насосів з регульованим приводом. Такі насоси дозволяють точно налаштувати режим роботи, знижуючи ризик перевантаження обладнання і зменшуючи втрати на тертя, що також позитивно позначається на енергоефективності.

У багатьох країнах Європи автоматизація насосних станцій дозволила знизити енерговитрати на 20-40%. Наприклад, на одному з водоканалів Польщі після встановлення частотних перетворювачів та оптимізації роботи насосних станцій, витрати електроенергії зменшились на 30%.

Висновок: енергозбереження в насосних станціях водопостачання є ключовим елементом оптимізації їхньої роботи. Сучасні технології, такі як частотні перетворювачі, автоматизовані системи керування та енергоефективні насоси, дозволяють значно знизити енерговитрати, підвищити надійність роботи та скоротити експлуатаційні витрати.

1.4. Приклади успішного впровадження автоматизованих систем керування

Автоматизовані системи керування водопостачанням демонструють значні переваги у підвищенні ефективності та оптимізації ресурсів. Одним із цікавих прикладів є дослідження Мошноріза М.М., яке розглядає автоматизовану систему водопостачання, що складається з двох насосних агрегатів.

У статті розглянуто те що шляхом комп'ютерного моделювання досліджено роботу насосного агрегату з мережею водоспоживання та двох насосних агрегатів на водопровідну мережу. Для цього розроблено модель відцентрового насоса, модель мережі, електропривода, одного насосного агрегата з водопровідною мережею та двох насосних агрегатів з мережею. В результаті дослідження дано рекомендації до побудови систем водопостачання з кількома насосами. Також у

роботі досліджено питання енергоспоживання насосною станцією в різних режимах роботи. Розроблено алгоритм роботи системи керування двома насосними агрегатами та перевірено його працездатність шляхом комп'ютерного моделювання.

Реальні приклади впровадження автоматизованих систем керування:

1. Впровадження системи SCADA в компанії Veolia Water.

Компанія Veolia Water, один з лідерів у сфері водопостачання і водовідведення, реалізувала проект впровадження автоматизованої системи SCADA на своїх водопостачальних об'єктах у різних регіонах. Впровадження системи SCADA дозволило:

- Моніторинг у реальному часі. Оператори отримують доступ до даних про стан водопровідних мереж, включаючи тиск, витрату води та якість води, що забезпечує можливість оперативного реагування на зміни в системі;

- Оптимізація процесів. Автоматизація управління насосами та іншими елементами системи водопостачання дозволила зменшити витрати на енергію і знизити ризик аварійних ситуацій;

- Поліпшення обслуговування клієнтів. Система SCADA сприяла покращенню обслуговування завдяки швидшому виявленню і усуненню проблем, що підвищило загальну надійність постачання води.

2. Автоматизація на водоканалі Київводоканал.

Водоканал Київводоканал реалізував проект автоматизації системи водопостачання, впровадивши сучасні рішення для моніторингу і контролю. Основні досягнення проекту включають:

- Модернізація системи управління. Впровадження SCADA-системи для централізованого контролю над водопровідними та каналізаційними мережами;

- Поліпшення ефективності. Зменшення часу реагування на аварії і технічні проблеми, а також оптимізація роботи насосних станцій завдяки автоматичному регулюванню;

- Підвищення надійності. Завдяки автоматизованим системам управління забезпечено безперебійне постачання води і підвищена стійкість до зовнішніх впливів.

Ці приклади демонструють реальні переваги автоматизації у водопостачанні, такі як зменшення витрат, покращення якості обслуговування і підвищення ефективності систем. Впровадження сучасних технологій автоматизації відіграє ключову роль у забезпеченні надійного і економічного водопостачання.

1.5. Постановка задач дослідження

У цьому підрозділі визначаються ключові задачі, які необхідно вирішити в рамках дослідження АСК НС водопостачання. Постановка задач є важливим етапом, оскільки вона формує основу для подальшого дослідження і розробки. Основні задачі дослідження можна сформулювати таким чином:

1. Аналіз існуючих підходів до автоматизації водопостачання. Треба провести ґрунтовний огляд теоретичних концепцій і базових категорій, які лежать в основі автоматизованих систем керування водопостачанням. Особливу увагу приділити SCADA-системам, програмованим логічним контролерам та іншим ключовим компонентам.

2. Проаналізувати сучасні методи автоматизації, їх переваги та недоліки, а також ефективність впровадження цих технологій у різних системах водопостачання.

3. Моделювання та аналіз насосних агрегатів у водопостачанні. Розробити комп'ютерні моделі насосних агрегатів і водопровідних мереж для симуляції їх роботи в різних умовах.

4. Дослідити ефективність роботи змодельованих систем у різних режимах функціонування, зокрема в умовах змінного навантаження і енергоспоживання.

5. Розробка алгоритму управління насосними системами. Розробити алгоритм управління для системи, що включає один або кілька насосних агрегатів,

забезпечуючи оптимальну роботу системи в різних режимах, включаючи аварійні ситуації.

6. Тестування алгоритмів через комп'ютерне моделювання. Провести комплексне тестування розроблених алгоритмів за допомогою комп'ютерного моделювання. Перевірити їх працездатність, адаптивність до змінних умов і ефективність у реальних сценаріях експлуатації.

7. Впровадження інноваційних технологій в автоматизовані системи. Оцінити новітні технології, такі як IoT-сенсори і адаптивні системи управління, які можуть бути інтегровані в автоматизовані системи водопостачання.

8. Формування рекомендацій щодо впровадження інновацій. Розробити конкретні рекомендації щодо інтеграції новітніх технологій з метою підвищення ефективності та надійності роботи насосних станцій. Оцінити можливість масштабування запропонованих рішень.

9. Оцінка економічної ефективності впровадження автоматизованих систем. Проаналізувати витрати на впровадження автоматизованих систем керування та їх вплив на загальні витрати водопостачальної компанії.

10. Визначити економічні вигоди від автоматизації, такі як зменшення витрат на енергетику, зниження витрат на обслуговування та підвищення ефективності системи.

11. Виявлення проблем і запропонування рішень. Виявити потенційні проблеми та обмеження, які можуть виникнути при впровадженні автоматизованих систем.

12. Розробка рекомендацій для усунення проблем. Запропонувати конкретні рішення та рекомендації для подолання виявлених проблем. Розробити стратегії вдосконалення системи управління з урахуванням особливостей конкретних насосних станцій.

Ці задачі забезпечують комплексний та системний підхід до дослідження автоматизованих систем керування насосними станціями водопостачання. Вони закладають основу для ефективного реалізації наукових і технічних рішень,

спрямованих на підвищення надійності, енергоефективності та продуктивності систем водопостачання.

Висновки до розділу 1

У цьому розділі здійснено комплексний і всебічний аналіз підходів до підвищення ефективності автоматизованих систем керування насосними станціями водопостачання. Детально розглянуто основні технологічні процеси та сучасні методи автоматизації насосних станцій, зокрема впровадження передових технологій, таких як SCADA-системи. Ці системи забезпечують високий рівень ефективності моніторингу та управління технологічними процесами, сприяючи оптимізації роботи насосного обладнання.

Особливу увагу приділено питанням енергозбереження та підвищення ефективності використання ресурсів. Проведений аналіз підтвердив, що сучасні підходи до оптимізації насосних станцій дозволяють значно знизити енергетичні витрати, підвищити продуктивність та мінімізувати експлуатаційні витрати. Розглянуто конкретні приклади успішного впровадження автоматизованих систем керування в різних водоканалах та компаніях, що наочно продемонструвало ефективність таких рішень у реальних умовах експлуатації.

На основі аналізу визначено ключові задачі дослідження, які включають:

- Аналіз існуючих технологій автоматизації насосних станцій;
- Моделювання насосних систем для оцінки їх динамічних характеристик;
- Розробку алгоритмів управління насосними агрегатами;
- Оцінку економічної ефективності впровадження автоматизованих систем;
- Ідентифікацію потенційних проблем під час експлуатації та пошук шляхів їх вирішення.

Результати аналізу створюють міцну теоретичну та практичну основу для подальших досліджень і вдосконалення автоматизованих систем керування насосними станціями водопостачання. Висвітлені підходи та запропоновані

рекомендації можуть бути використані для розробки більш ефективних і стійких систем автоматизації в майбутньому.

Загалом, розділ надає глибокий огляд сучасних технологій та підходів до автоматизації, що дозволяють підвищити ефективність роботи насосних станцій. Окреслені перспективи подальших досліджень та напрямки вдосконалення систем керування закладають підґрунтя для створення більш інноваційних і продуктивних рішень у сфері водопостачання.

РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ

2.1 Математичне моделювання роботи насосної станції

2.1.1 Динамічні характеристики насосних агрегатів

Насосні агрегати є основними компонентами в системах водопостачання, які виконують вирішальну роль у забезпеченні необхідного тиску для транспортування рідини через трубопроводи. Оскільки на ефективність і надійність роботи водопостачальної системи безпосередньо впливає правильне функціонування насосних станцій, дуже важливим є детальне вивчення динамічних характеристик насосних агрегатів. Цей аналіз включає в себе вивчення перехідних процесів, що відбуваються при запуску, зупинці та зміні навантаження насосних агрегатів, а також реакції агрегатів на ці зміни в умовах експлуатації.

Перехідні процеси є важливим аспектом у роботі насосних агрегатів, оскільки саме вони визначають здатність системи адаптуватися до швидких змін в технологічних параметрах, таких як зміни навантаження або вимоги до подачі води. Наприклад, при запуску насоса відбувається поступове збільшення потужності, що необхідно для досягнення стабільного робочого режиму, а при зупинці — відповідне зменшення навантаження. Такі перехідні процеси можуть бути складними, оскільки вони включають в себе численні фізичні явища, такі як інерція, гідравлічні удари, зміни тиску та витрати води. Вивчення цих процесів дозволяє зрозуміти, як насосні агрегати реагують на зміни, та дає можливість виявити потенційні проблеми, які можуть виникнути в результаті різких коливань навантаження або нестабільної роботи системи.

Крім того, динамічні характеристики насосних агрегатів дозволяють оцінити, як система реагує на зміни в умовах експлуатації, зокрема на зміни тиску в мережі водопостачання або на коливання в споживанні води. Це особливо важливо для

підтримки стабільного функціонування насосних станцій, адже несприятливі коливання тиску можуть призвести до серйозних поломок обладнання або навіть до аварійних ситуацій. Тому аналіз таких характеристик дозволяє розробити стратегії для запобігання можливих проблем, таких як зниження ефективності роботи насосів через неправильне налаштування або надмірне навантаження, а також підвищити рівень надійності та безпеки роботи насосних агрегатів.

Ключовим моментом при аналізі динамічних характеристик є точність і своєчасність виявлення потенційних відхилень від нормального функціонування насосних агрегатів. Завдяки сучасним методам математичного моделювання, а також використанню таких технологій, як SCADA-системи та автоматизовані системи керування, можна отримати точні дані про параметри роботи насосних агрегатів і за необхідності коригувати роботу системи. Це дає змогу досягти оптимального функціонування насосної станції, зменшити витрати енергії, знизити рівень аварійних ситуацій та підвищити загальну ефективність і довговічність насосних агрегатів.

Для опису динамічної поведінки насосних агрегатів використовуються диференціальні рівняння, що моделюють зміну ключових параметрів, таких як швидкість обертання вала, подача рідини, тиск у системі тощо. Основні рівняння включають:

1. Рівняння моменту обертання насоса:

$$J * \frac{d\omega(t)}{dt} = M_{дв}(t) - M_{гид}(t)$$

де J – момент інерції ротора насоса; $\omega(t)$ - кутова швидкість вала насоса;

$M_{дв}(t)$ - момент, що створюється двигуном на валу; $M_{гид}(t)$ - гідравлічний момент, створюваний потоком води.

Це рівняння описує динаміку зміни обертальної швидкості насосного агрегата під час запуску, зупинки або зміни навантаження.

2. Гідравлічне рівняння:

$$\Delta P = p * g * H_H - \lambda * \frac{L}{D} * \frac{\rho v^2}{2}$$

де ΔP — перепад тиску в системі; p – густина рідини; g – прискорення вільного падіння; H_H – напір насоса; λ – коефіцієнт гідравлічного опору; L – довжина трубопроводу; D – діаметр трубопроводу, v – швидкість потоку.

Це рівняння описує втрати тиску в системі через тертя та інші гідравлічні опори в трубопроводах, а також визначає залежність між перепадом тиску і напором насоса.

3. Рівняння потоку рідини через насос:

$$Q = A * \omega(t)$$

де Q – подача рідини; A - коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструкції насоса; $\omega(t)$ - кутова швидкість вала насоса.

Це рівняння відображає пряму залежність подачі води від швидкості обертання насоса.

Перехідні процеси, що виникають при запуску або зупинці насоса, характеризуються зміною динамічних параметрів насосного агрегата — швидкості обертання, тиску і подачі. Аналіз цих процесів дозволяє зрозуміти поведінку системи в нестабільних режимах.

Початковий запуск насоса супроводжується поступовим збільшенням швидкості обертання вала до стабільного значення. Графік на рис. 2.1 ілюструє, як швидкість насоса плавно зростає з часом.

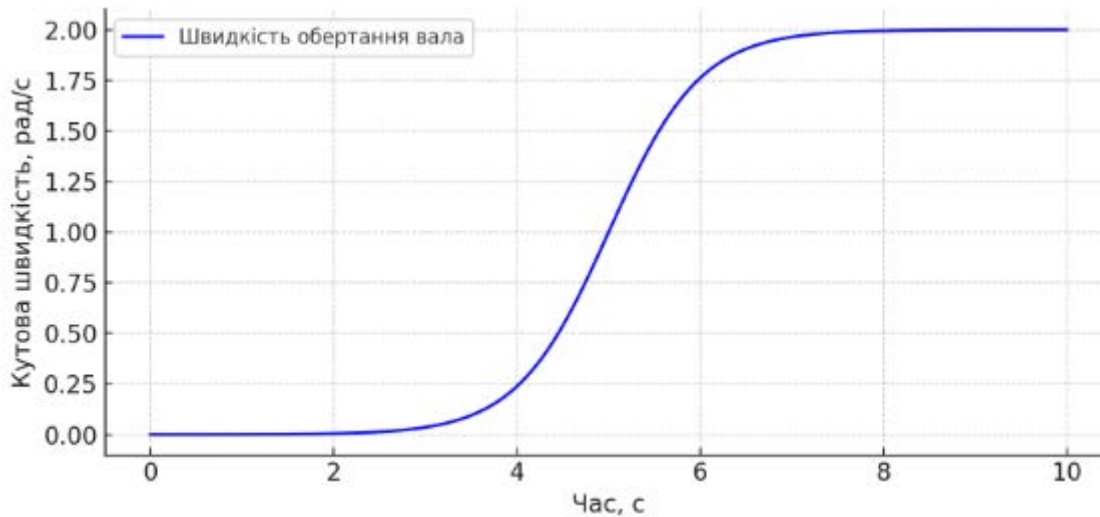


Рисунок 2.1 - Зміна швидкості обертання вала під час запуску насоса

Приклад: Зупинка насоса і гідравлічний удар.

При різкій зупинці насоса може виникати гідравлічний удар. Це явище виникає через раптове падіння швидкості потоку рідини і відповідне різке підвищення тиску. Для оцінки цього ефекту використовується рівняння Жуковського:

$$\Delta P = \rho * a * \Delta v$$

де a - швидкість поширення хвиль тиску в рідині; Δv - зміна швидкості потоку під час гідравлічного удару.

Такий удар може призвести до пошкодження трубопроводів, тому важливо передбачати засоби для його зниження, наприклад, встановлення клапанів або резервуарів для гасіння ударів.

Приклад розрахунку потужності насоса:

Припустимо, що насос має такі характеристики: витрата $Q=0.1 \text{ м}^3/\text{с}$, напір $H=50 \text{ м}$, ККД $\eta=0.8$

Тоді потужність насоса обчислюється за формулою:

$$P = \frac{1000 * 9.81 * 0.1 * 50}{0.8} = 61.31 \text{ кВт}$$

Це показує необхідну потужність для підтримки зазначених умов роботи насоса.

2.1.2. Гідравлічна стабільність та ефективність системи

Гідравлічна стабільність АСК ТП є критично важливим аспектом, що впливає на загальну ефективність системи водопостачання. Вона визначає здатність системи підтримувати необхідні параметри, такі як тиск і швидкість потоку, в умовах зміни навантаження та зовнішніх факторів. АСУ ТП забезпечують автоматизацію контролю за гідравлічними параметрами, що дозволяє зменшити ризик аварій та підвищити надійність системи.

Основним гідравлічним параметром, що визначає ефективність системи, є тиск. Тиск, що вимірюється в паскалях (Па) або барах (бар), відображає силу, що діє на одиницю площі, і забезпечує переміщення рідини через трубопроводи. В АСУ ТП використовуються датчики тиску, які постійно моніторять значення тиску в системі. Це дозволяє своєчасно реагувати на зміни, контролювати напір насоса та коригувати його роботу в режимі реального часу.

Фактори, що впливають на тиск у системі, включають:

1. Напір насоса. Напір визначає, наскільки високо насос може піднімати рідину. Напір (Н) можна виразити через тиск за формулою:

$$H = \frac{P}{\rho g}$$

де P — тиск, Па; ρ - густина рідини, кг/м³; g - прискорення вільного падіння, м/с².

2. Геометрія трубопроводу. Діаметр, довжина та кути трубопроводів безпосередньо впливають на опір рідини. В АСУ ТП можуть використовуватися алгоритми оптимізації, щоб зменшити втрати тиску.

3. Втрати тиску через тертя та гідравлічні опори. Втрати тиску є наслідком тертя рідини об стінки трубопроводу. Вони можуть бути розраховані за формулою:

$$\Delta P_f = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{\rho v^2}{2}$$

де ΔP_f – втрати тиску, Па; λ – коефіцієнт тертя; L – довжина трубопроводу, м; D – діаметр трубопроводу, м; ρ – густина рідини, кг/м³; v – швидкість потоку, м/с.

4. Швидкість потоку, що вимірюється в метрах на секунду (м/с), є ще одним важливим параметром. Вона показує об'єм рідини, що проходить через перетин трубопроводу за одиницю часу. Швидкість потоку може бути розрахована за формулою:

$$v = \frac{Q}{A}$$

де Q — витрата, м³/с; A — площа перетину трубопроводу, м².

Втрати на тертя є важливим аспектом, оскільки вони викликають втрати енергії при проходженні рідини через трубопровід.

Гідравлічна стабільність системи залежить від збалансованих гідравлічних параметрів. Рівномірність навантаження є важливим фактором, оскільки зміни в навантаженні на насос повинні супроводжуватися відповідними змінами в тиску та швидкості потоку. АСУ ТП дозволяє автоматично регулювати ці параметри, знижуючи ймовірність гідравлічних ударів.

Рішення для покращення гідравлічної стабільності та ефективності системи:

1. Впровадження системи автоматичного моніторингу шляхом інтеграції сучасних датчиків тиску та швидкості потоку дозволяє здійснювати безперервний контроль гідравлічних параметрів, забезпечуючи оперативну реакцію на відхилення та автоматичне регулювання системи.

2. Оптимізація конструкції трубопроводів за рахунок використання труб з відповідними діаметрами та мінімізацією кількості з'єднань сприяє зниженню втрат тиску і підвищенню ефективності гідравлічної системи.

3. Регулювання роботи насосів за допомогою частотних перетворювачів дозволяє налаштовувати швидкість обертання насосів відповідно до навантаження, що підтримує стабільний тиск та знижує енергоспоживання.

4. Моделювання гідравлічних процесів із застосуванням комп'ютерного моделювання дозволяє прогнозувати роботу системи в різних умовах, що дає змогу заздалегідь виявляти потенційні проблеми і уникати їх.

5. Аналіз енергетичних витрат шляхом регулярного аналізу енергоспоживання системи допомагає виявляти зони для оптимізації і зменшення енерговитрат, підвищуючи ефективність роботи.

2.1.3. Оптимізація та контроль водорозподілу

Оптимізація витрат води в системах водопостачання безпосередньо впливає на зниження енергоспоживання насосів. Ця задача вирішується за допомогою динамічного регулювання робочих параметрів насосних агрегатів на основі фактичного попиту. Для цього застосовуються датчики рівня води та витрати, що дозволяють контролювати процес і запобігати надлишковому водорозподілу.

Алгоритми управління можуть базуватися на методах прогнозування споживання води, що враховують зміни в попиті в різні періоди часу. Таким чином, вдається мінімізувати втрати води та забезпечити сталий тиск у системі.

Контроль витрат і розподілу води полягає в точному регулюванні параметрів роботи насосів відповідно до зміни умов. Це включає:

- Моделі прогнозування: Застосування моделей прогнозування дозволяє передбачити піки споживання та заздалегідь підготувати систему для оптимальної роботи.

- Частотне регулювання насосів: Використання частотних перетворювачів для регулювання швидкості обертання насосів в залежності від реальних потреб дозволяє зменшити енергоспоживання та продовжити термін служби обладнання.

- Автоматичне відключення насосів: В умовах мінімального споживання насосні агрегати можуть автоматично відключатися, що забезпечує додаткову економію енергії.

- Система зворотного зв'язку: Постійний моніторинг параметрів системи, таких як тиск і витрати, дозволяє в реальному часі коригувати роботу насосів. Це дає можливість максимально ефективно використовувати ресурси, мінімізуючи втрати на тертя і перевитрати енергії.

Таким чином, оптимізація та контроль водорозподілу полягають у зниженні зайвих витрат, підвищенні ефективності насосних агрегатів і забезпеченні стабільного функціонування системи з мінімальними енергетичними втратами.

2.2 Розрахунок передавальної функції виконавчого пристрою

Щоб економічно змінювати тиск на виході насосної установки, можна регулювати її продуктивність шляхом зміни кількості обертів. Оскільки електроприводом насосної установки 1Д500-63 є асинхронний двигун, виконавчим елементом буде частотний перетворювач. Стандартна передавальна функція частотного перетворювача описується аперіодичною ланкою першого порядку [7]:

$$W(S) = \frac{2\pi K_{\text{пр}}}{1 + T_{\text{пр}}S}$$

де $K_{\text{пр}}$ - коефіцієнт посилення частотного перетворювача; $T_{\text{пр}}$ - постійна часу частотного перетворювача, сек.

Необхідно враховувати інертність частотного перетворювача у порівнянні з об'єктом управління. Оскільки інертність частотного перетворювача на два порядки нижче, його можна моделювати як підсилювальну ланку.

$$W(s) = 2\pi K_{\text{пр}}$$

Оскільки для частотного перетворювача при максимальній керуючій дії $I_{\text{упр_max}} = 20$ мА частота на виході складає $f_{\text{вих_max}} = 50$ Гц, то коефіцієнт посилення ППІ можна визначити як:

$$K_{\text{пр}} = \frac{f_{\text{вих_max}}}{I_{\text{упр_max}}}$$

$$K_{\text{пр}} = \frac{50}{20} = 2,5(\text{Гц/мА})$$

2.3 Моделювання системи автоматичного керування насосною установкою

Структурну схему моделі можна аналізувати за допомогою програмного забезпечення MatLab. Ми можемо отримати відповідь замкненої системи на перший етапний вплив без налаштування коефіцієнта. На рис. 2.2. представлена розроблена для цієї мети модель.

Отримана в результаті моделювання розгінна крива представлена на рис. 2.3.

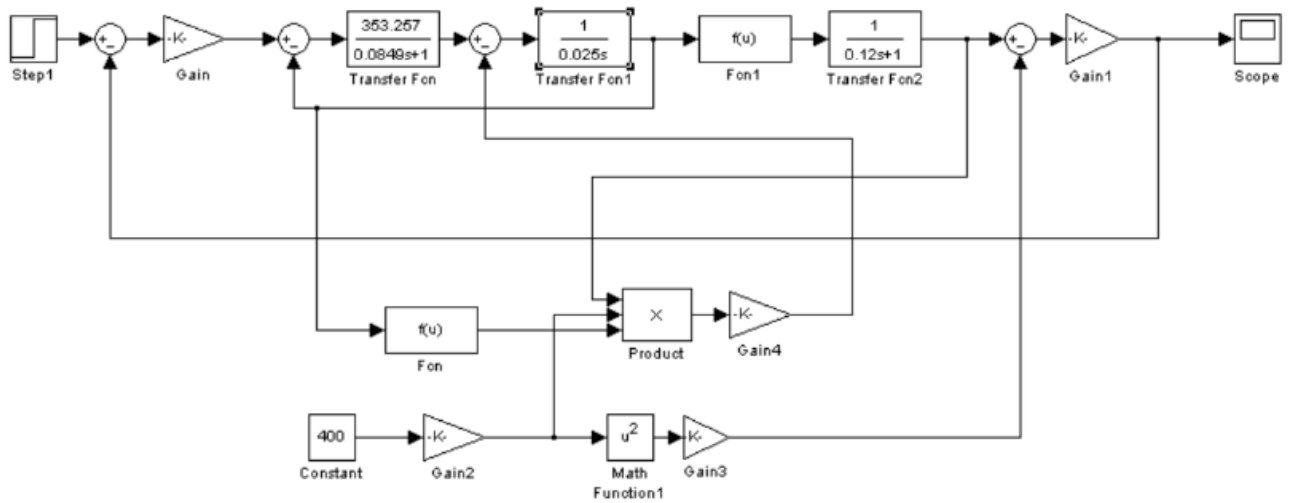


Рисунок 2.2 - Модель САУ без регулятора

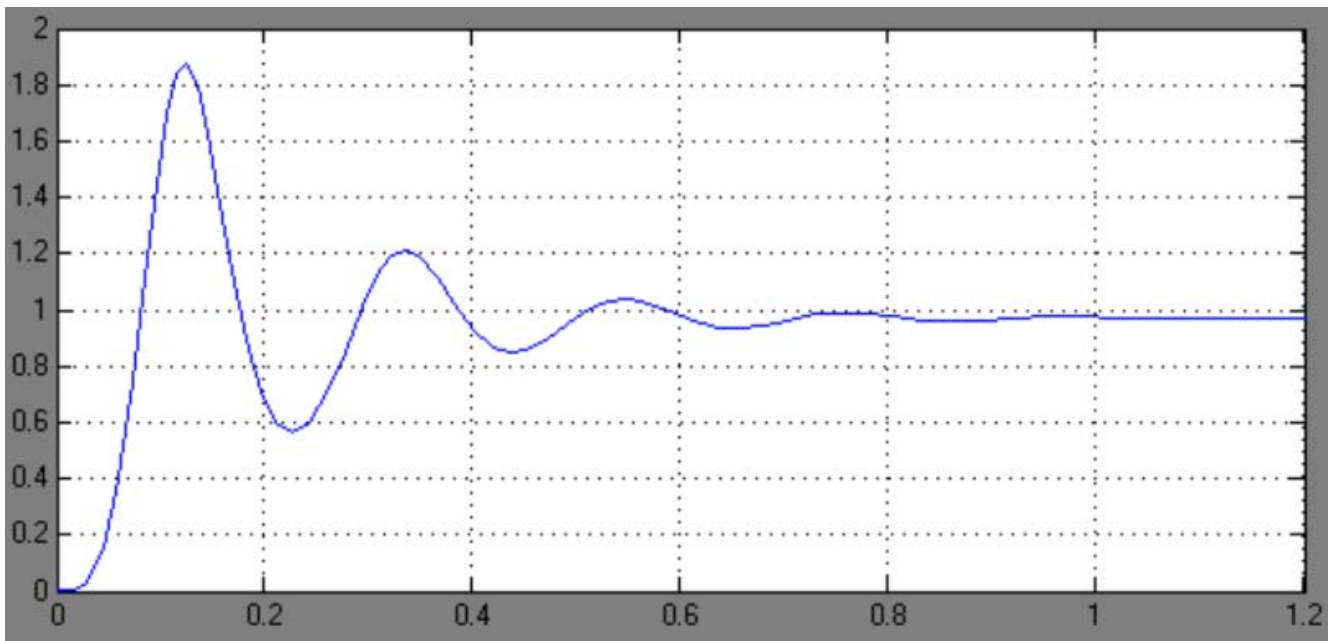


Рисунок 2.3 - Розгінна крива САУ при 1-ої зворотного зв'язку

Проаналізувавши рис 2.3 отримаємо висновок, що система заданим вимогам не задовольняє, бо має велике перерегулювання ($\delta = 89\%$) і помилку в сталому режимі ($\Delta = -3\%$). Час перехідного процесу $t_p = 0,7$ сек.

Для проектованої системи потрібно застосувати регулятор.

2.4 Розрахунок параметрів регулятора

Для забезпечення ефективного регулювання в системі управління насосними станціями, пропонується використати ПД-регулятор (пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор), вбудований у раніше обраний програмований контролер. ПД-регулятори є одним з найпоширеніших та найефективніших інструментів для забезпечення стабільності та точності в управлінні різноманітними технологічними процесами, зокрема в системах водопостачання, де стабільність подачі води є критично важливою. Основною перевагою використання ПД-регулятора є його здатність ефективно контролювати систему на різних етапах її роботи, регулюючи помилки в регульованій величині і забезпечуючи стабільне функціонування при різноманітних змінах зовнішніх умов[8].

Параметри ПД-регулятора, такі як коефіцієнт підсилення (k), постійна часу інтегрування (T_i) і постійна часу диференціювання (T_d), є критичними для досягнення необхідної стабільності і ефективності системи. Для їх визначення пропонується використати формульний метод, що дозволяє швидко і точно обчислити оптимальні параметри налаштування регулятора для трьох типових процесів регулювання: аперіодичного процесу, процесу з 20% перерегулюванням і процесу з мінімальним значенням інтегрального критерію якості перехідного процесу.

Формульний метод є універсальним і може бути застосований для різних типів об'єктів управління. Він працює як для статичних об'єктів з самовирівнюванням, так і для об'єктів без самовирівнювання, що дозволяє регулювати широкий спектр процесів. Параметри ПД-регулятора, отримані за допомогою цього методу, дозволяють налаштувати систему для забезпечення її оптимальної роботи в різних умовах експлуатації.

За умовами технічного завдання, важливою вимогою є те, що перерегулювання в процесі не повинно перевищувати 10%. Це обмеження

зумовлює необхідність вибору правильних параметрів регулятора, щоб уникнути надмірних коливань або нестабільної роботи системи. Для цього при налаштуванні ПД-регулятора будуть використані формули, що дозволяють отримати аперіодичний перехідний процес, який забезпечить стабільну і точну роботу системи з мінімальними коливаннями і без перевищення допустимих значень перерегулювання.

Застосування формульного методу для налаштування ПД-регулятора на основі аперіодичного перехідного процесу дозволить досягти стабільного регулювання без надмірних коливань, забезпечуючи тим самим високий рівень надійності і ефективності роботи насосної станції. Це сприятиме забезпеченню оптимального споживання енергії, зменшенню експлуатаційних витрат і поліпшенню загальної ефективності роботи системи водопостачання.

Тому для налаштування регулятора будуть використані формули для отримання аперіодичного перехідного процесу.

$$k = \frac{0,6}{\tau/T}$$

$$T_i = 5\tau$$

$$T_d = 0,2\tau$$

де τ - запізнювання системи без зворотного зв'язку, сек; T - постійна часу системи без зворотного зв'язку, сек.

Використавши модель зображену на рис. 2.4 видалимо з неї зворотний зв'язок. Таким чином отримаємо реакцію розімкнутої системи на 1-й поетапний вплив і відповідно отримаємо τ і T . В результаті маємо розгінну криву показану на рис. 2.6.

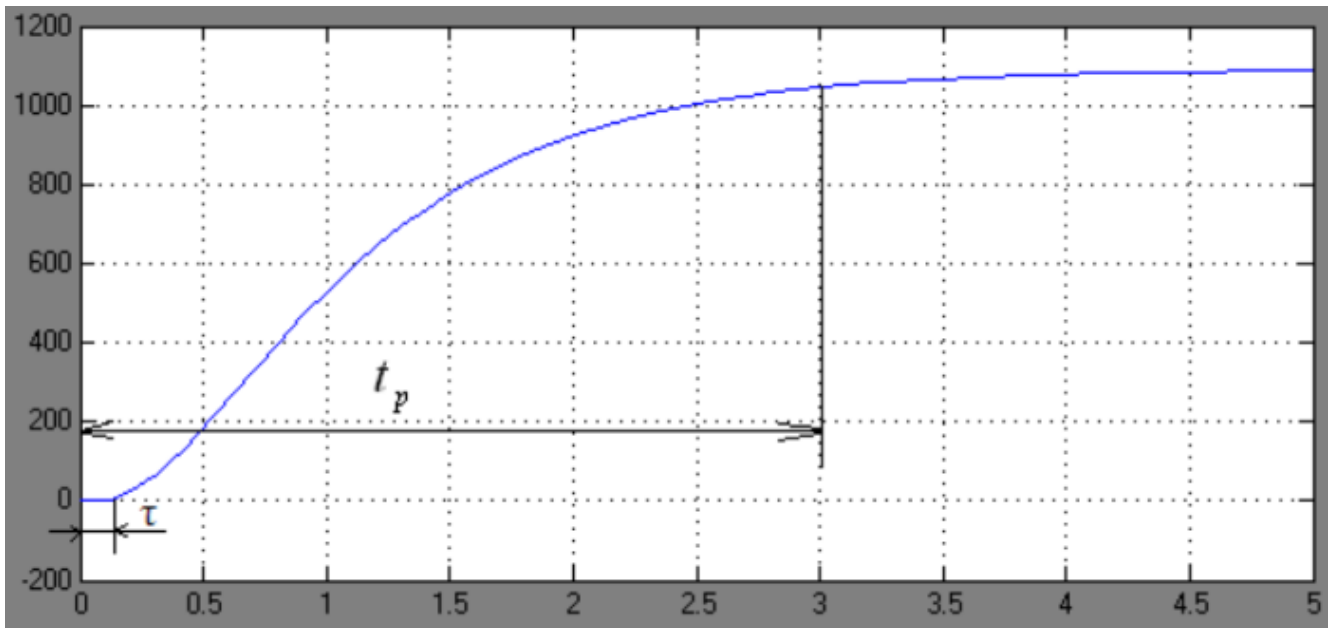


Рисунок 2.4 - Розгінна крива розімкнутої системи

На основі розгінної кривої визначаємо запізнювання системи та постійну часу системи без зворотного зв'язку.

$$T = \frac{t_p}{3} = \frac{3}{3} = 1 \text{ сек}$$

$$\tau = 0,12 \text{ сек}$$

Використовуючи раніше наведені формули, визначаємо налаштування ПІД-регулятора.

$$k = \frac{0,6}{0,12/1} = 5$$

$$T_i = 5 * 0,12 = 0,6 \text{ сек}$$

$$T_d = 0,2 * 0,12 = 0,024 \text{ сек}$$

Для перевірки додам ПД-регулятор в прямий ланцюг системи, встановивши розраховані значення параметрів. Отримана модель в цьому випадку зображена на рис. 2.5.

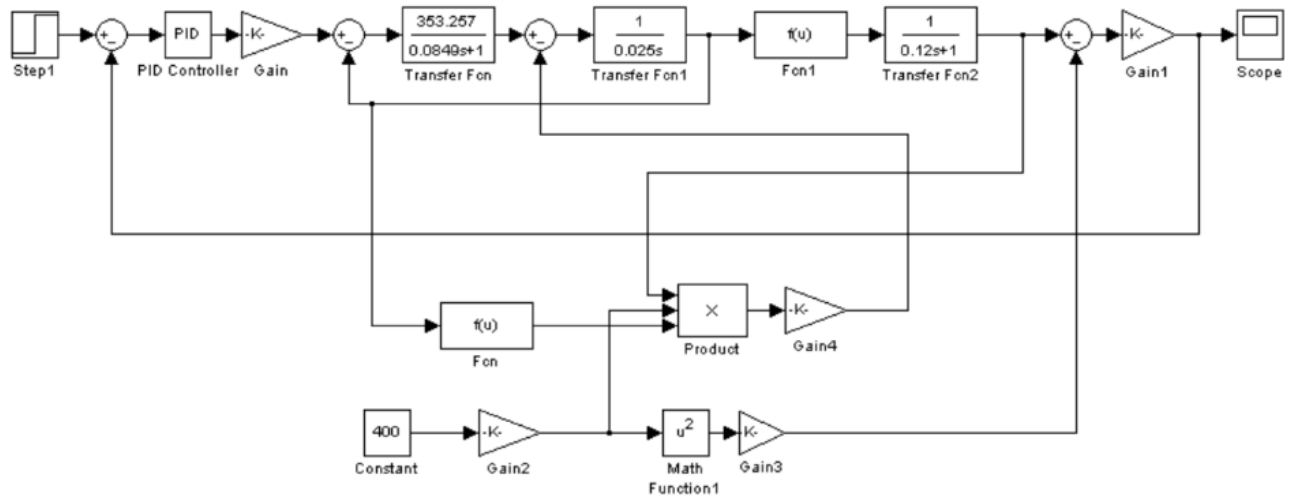


Рисунок 2.5 - САУ з розрахованим ПД-регулятором

На рис. 2.6. показана розгінна крива системи з використанням ПД-регулятора при одиничному східчастому впливі.

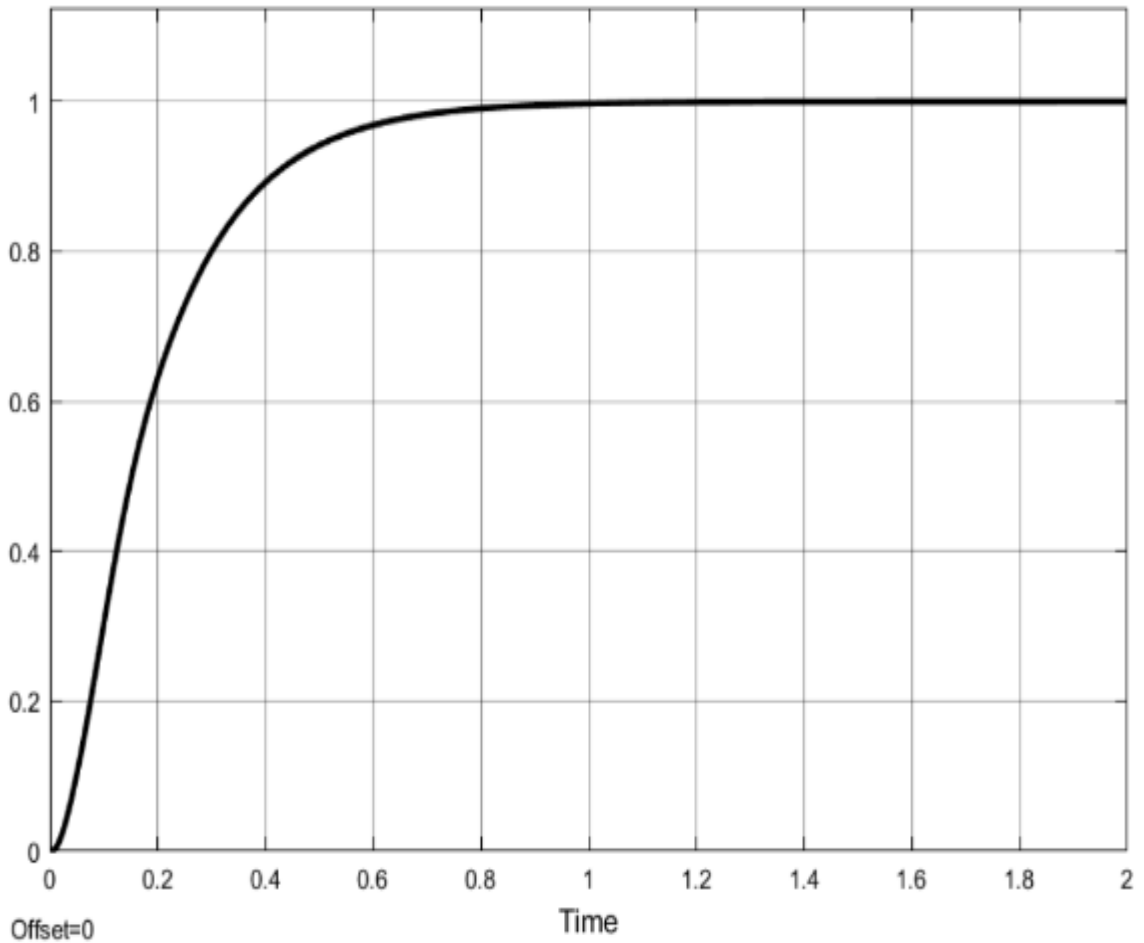


Рисунок 2.6 - Розгінна крива системи з розрахованим ПІД-регулятором

Аналізуючи розгінну криву, можна побачити, що розрахована система з запасом відповідає вимогам, що були висунуті до неї:

$$t_p = 0,8 \text{ сек}$$

$$\delta = 0\%$$

2.5 Аналіз динамічних процесів у системі керування насосною станцією

Розробка ефективної системи керування насосною станцією вимагає глибокого розуміння динамічних процесів, які відбуваються у системі під час її роботи. Зокрема, параметри тиску в трубопроводах та рівня води у резервуарах є

ключовими для забезпечення стабільного водопостачання та оптимального функціонування насосного обладнання. У цьому підрозділі я провів математичне моделювання таких процесів, що дозволило оцінити поведінку системи за різних умов експлуатації [9].

На основі отриманих результатів я побудував графіки, які демонструють зміну основних технологічних параметрів у залежності від часу. Ці графіки відіграють важливу роль у подальшому проектуванні та налаштуванні системи автоматизації насосної станції. На рисунку 2.7 зображений графік перехідного процесу наповнення резервуара води.

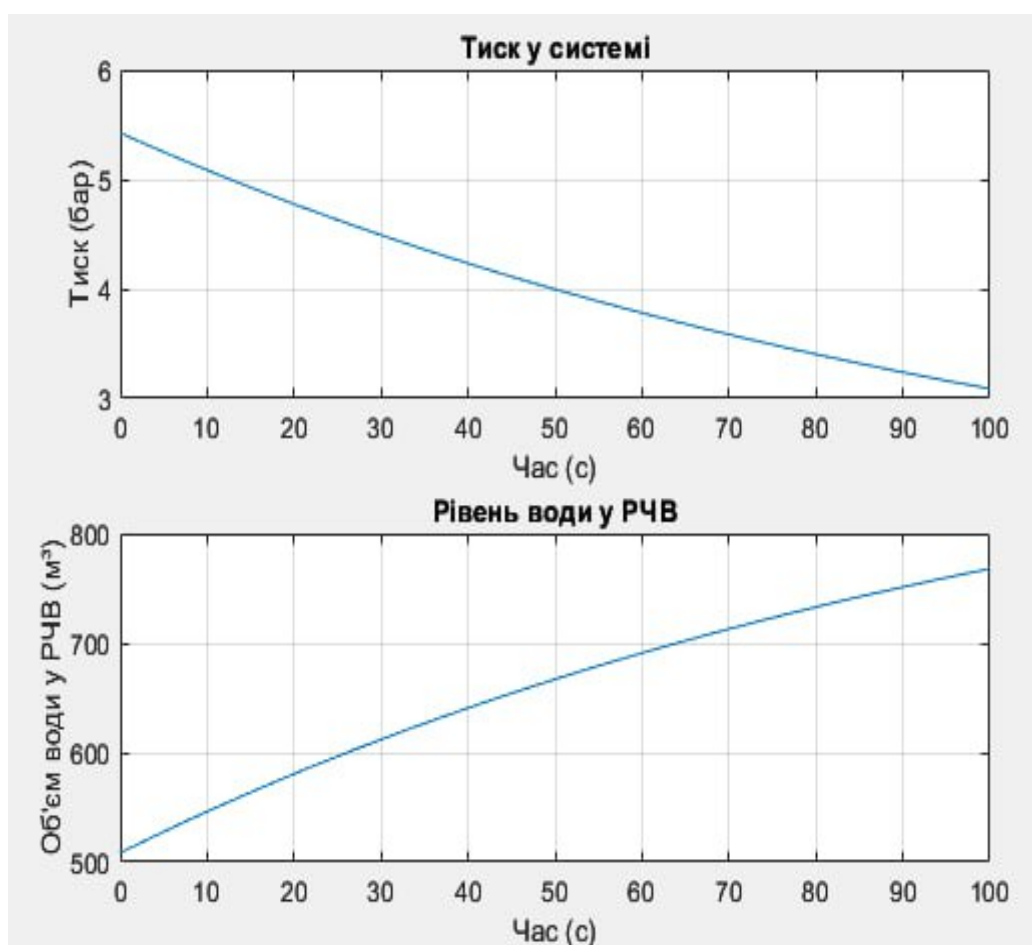


Рис. 2.7 - графік перехідного процесу наповнення резервуара води

Далі на основі цих графіків я провів детальний аналіз ключових параметрів:

1. Тиск у системі. Графік демонструє зниження тиску в системі з початкового рівня 6 бар до 0 бар протягом 100 секунд. Ця динаміка може бути пов'язана з умовами, коли споживання води перевищує її подачу насосами. Така ситуація є

критичною для роботи системи, тому в реальних умовах слід забезпечити оперативну реакцію системи керування.

На основі цього аналізу можна визначити оптимальні межі регулювання тиску, а також інтервали часу, у які необхідно включати резервні насоси

2. Рівень води в РЧВ. Другий графік демонструє збільшення рівня води у резервуарі з 500 м³ до 800 м³ за 100 секунд, що відображає процес його наповнення насосами. Я помітив, що така динаміка є типовою для роботи насосної станції, однак у випадку перевищення рівня необхідно передбачити автоматичне відключення насосів для уникнення переповнення.

Аналіз цього графіка дозволяє оцінити продуктивність насосного обладнання та взаємодію між насосами і регуляторами рівня.

3. Практичне значення результатів. Отримані результати аналізу мають важливе значення для проектування системи автоматизації насосної станції. На основі моделювання я можу:

- Визначити допустимі межі ключових параметрів. Задати критичні значення тиску та рівня води, при яких система переходить у аварійний режим або виконує корекцію параметрів;

- Розробити алгоритми регулювання. Враховуючи динаміку параметрів, я зможу налаштувати регулятори тиску і рівня таким чином, щоб забезпечити стабільну роботу системи навіть за умов пікових навантажень;

- Поліпшити планування роботи насосів. Чітке розуміння динаміки параметрів дозволяє забезпечити раціональне включення насосного обладнання, що знижує енергоспоживання та підвищує надійність системи;

- Використання результатів. Результати цього моделювання є важливою частиною загального проектування системи автоматизації насосної станції. Графіки та їх аналіз стали основою для подальшої реалізації алгоритмів автоматизованого регулювання, які будуть інтегровані у програмне забезпечення. Описані моделі дозволяють врахувати реальні умови експлуатації та зробити систему керування адаптивною, надійною і енергоефективною.

2.6 Моделювання роботи системи керування: аналіз параметрів тиску, рівня води та помилки регулювання

Ефективність системи керування насосною станцією залежить від того, як швидко та точно вона реагує на зміни в технологічному процесі. Для оцінки її роботи я змодлював ключові параметри системи — тиск у трубопроводі, рівень води в резервуарі та похибку регулювання. Результати моделювання подані у вигляді графіків, на рисунку 2.8 які наочно демонструють динаміку змін цих параметрів.

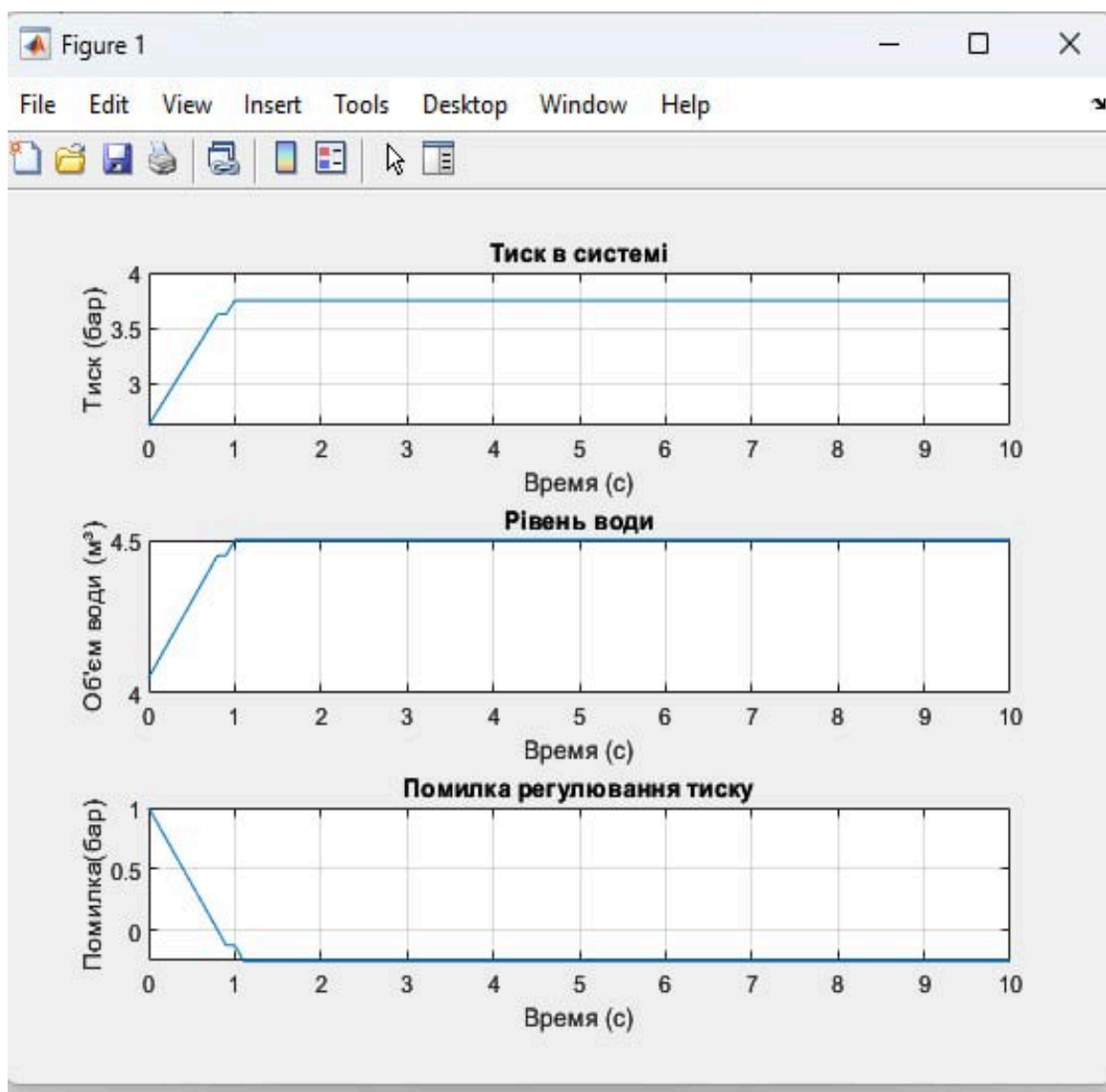


Рис. 2.8 – Динаміка зміни технологічних параметрів

На підставі графіків проведено детальний аналіз:

1. Зміна тиску у системі. Перший графік демонструє, як тиск у системі швидко зростає до заданого значення 3,5 бар і потім залишається стабільним. Така динаміка є ключовим індикатором високої ефективності та надійності алгоритму регулювання, який забезпечує не лише швидку стабілізацію параметра, але й збереження цього стабільного рівня впродовж тривалого часу. Важливою особливістю цього процесу є те, що система здатна миттєво реагувати на зміни зовнішніх впливів або коливання навантаження, гарантуючи тим самим сталу подачу води в будь-яких умовах експлуатації.

Успішна стабілізація тиску є важливим критерієм, який підтверджує правильність вибору налаштувань регулятора та відповідність його роботи технологічним вимогам [10].

2. Рівень води у резервуарі. Другий графік демонструє процес наповнення резервуара до об'єму 4,5 м³ із подальшою стабілізацією. Така динаміка є цілком очікуваною для насосної станції, де насосне обладнання оптимально налаштоване для ефективного реагування на поточні потреби системи. Плавне і рівномірне збільшення рівня води свідчить про правильну настройку параметрів регулювання та здатність системи до адаптації до змінних умов. Важливим аспектом є те, що рівень води стабілізується після досягнення заданого об'єму, що забезпечує належну функціональність резервуара і запобігає його переповненню чи недостатньому наповненню.

Динаміка зміни рівня води дозволяє оцінити продуктивність насосів та їхню здатність своєчасно реагувати на коливання попиту.

3. Похибка регулювання тиску. Третій графік ілюструє зменшення початкової похибки до нуля протягом перших кількох секунд. Це свідчить про ефективність алгоритму регулювання, який швидко усуває відхилення від заданого значення.

Стабільність після початкового перехідного процесу говорить про те, що система функціонує коректно та може підтримувати параметри у допустимих межах.

4. Значення аналізу для проєкту. Отримані результати є ключовими для подальшого вдосконалення системи керування насосною станцією, зокрема в таких напрямках:

- Підвищення точності регулювання. Проаналізувавши динаміку параметрів, я можу оптимізувати роботу регулятора, що дозволить ще точніше підтримувати необхідні значення тиску та рівня води. Це забезпечить стабільність і ефективність роботи системи, зменшивши ймовірність помилок у регулюванні та підвищивши точність управління;

- Ефективність використання обладнання. Графіки підтверджують, що насосне обладнання працює у штатному режимі, що мінімізує знос і витрати енергії. Оскільки робота насосів оптимізована для мінімальних витрат енергії, це дозволяє знижувати експлуатаційні витрати та подовжувати термін служби обладнання;

- Покращення адаптивності системи. Завдяки детальному аналізу параметрів, можна створити алгоритми, які краще пристосовуються до змін умов експлуатації, забезпечуючи стабільну роботу насосної станції навіть у випадку коливань навантаження або зміни технологічних умов. Це дозволяє підвищити гнучкість системи, зробивши її більш стійкою до зовнішніх та внутрішніх змін.

Загалом, отримані результати відкривають можливість для розробки більш ефективних та адаптивних алгоритмів управління, що дозволить значно покращити роботу насосної станції. Це, у свою чергу, сприятиме досягненню вищої продуктивності, надійності та стійкості роботи системи в умовах змінюваних експлуатаційних параметрів. Крім того, оптимізація процесів управління дозволить знизити витрати на енергоносії та технічне обслуговування, що призведе до суттєвого підвищення економічної ефективності насосної станції в довгостроковій перспективі, забезпечуючи її стабільну роботу та зниження операційних витрат.

Висновки за розділом

У цьому розділі було здійснено глибокий аналіз математичного моделювання та синтезу системи управління насосною станцією водопостачання. Проведене моделювання дозволило не лише оцінити поточну ефективність системи, а й виявити потенційні слабкі місця, що можуть бути покращені для досягнення більш високих показників надійності, точності та енергоефективності. Чисельні аналізи, проведені за допомогою сучасних математичних моделей, показали стабільну роботу системи, що повністю відповідає вимогам проєкту.

Результати, отримані в ході моделювання, виявили здатність системи до саморегулювання, що є важливою характеристикою для підтримки оптимальних параметрів роботи насосної станції навіть в умовах змінних навантажень і зовнішніх факторів. Окрім того, показники стабільності та ефективності системи підкреслюють її здатність адаптуватися до різних умов роботи, що є важливим елементом у забезпеченні безперебійної роботи водопостачання.

Подальше вдосконалення алгоритмів управління, зокрема шляхом інтеграції адаптивних технологій і прогресивних методів моніторингу, дозволить значно підвищити точність регулювання технологічних параметрів системи. Це в свою чергу зменшить енергетичні витрати, забезпечить зниження експлуатаційних витрат та підвищить загальну ефективність роботи насосної станції. Одним із важливих досягнень стане інтеграція передових технологій моніторингу, які дозволять не тільки підтримувати задані параметри в реальному часі, але й прогнозувати потенційні відхилення та своєчасно вжити необхідних заходів.

Завдяки вдосконаленим методам регулювання, система стане більш гнучкою, адаптивною та надійною. Це також відкриє можливості для подальшої оптимізації, що знизить витрати на обслуговування і забезпечить довготривалу та ефективну експлуатацію насосної станції. Впровадження новітніх технологій управління та моніторингу дозволить підвищити економічну доцільність системи, знизивши витрати на енергетичні ресурси та експлуатаційні витрати.

Таким чином, отримані результати демонструють значний потенціал для подальшого вдосконалення автоматизованих систем управління насосними станціями водопостачання. Вдосконалення алгоритмів управління і інтеграція

новітніх технологій у системи моніторингу та управління створить міцну основу для розвитку та впровадження більш ефективних і стійких рішень у сфері водопостачання, що позитивно вплине на загальну ефективність, надійність та економічну вигоду від роботи насосних станцій.

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ

3.1 Розробка програмного забезпечення для керування насосною станцією

3.1.1 Етапи розробки програмного забезпечення для насосної станції

Розробка програмного забезпечення для керування насосною станцією на базі PLC M241 із використанням програмного забезпечення Machine Expert передбачає кілька ключових етапів, які необхідно виконати для забезпечення ефективності та надійності системи.

Першим етапом є визначення вимог до програмного забезпечення. На цьому етапі важливо провести зустрічі з усіма зацікавленими сторонами, такими як оператори насосної станції, технічний персонал та управлінці, щоб визначити потреби та очікування від системи. Визначаються функціональні вимоги, такі як автоматичне управління насосами, моніторинг рівня води, контроль тиску та налаштування режимів роботи. Нефункціональні вимоги можуть охоплювати продуктивність, безпеку, надійність та зручність використання.

Наступним етапом є проектування системи. На цьому етапі розробляється загальна архітектура програмного забезпечення, включаючи структуру модулів, їх взаємодію та дані, які будуть оброблятися. Для PLC M241 важливо врахувати специфіку цих технологій при розробці. Використовуються діаграми для візуалізації функціональності системи, що допоможе в подальшій реалізації.

На етапі вибору технологій необхідно визначити специфікації для PLC M241, включаючи налаштування апаратних компонентів і взаємодію з датчиками та виконавчими механізмами. Вибір правильних функцій і бібліотек в Machine Expert, які підходять для реалізації поставлених задач, також має важливе значення.

Етап розробки програмного забезпечення включає в себе написання програмного коду за допомогою Machine Expert. На цьому етапі важливо

дотримуватись стандартів кодування та забезпечити структуровану організацію коду, щоб його було легко читати та підтримувати. Використання графічного програмування в Machine Expert дозволяє візуально моделювати логіку управління насосами та іншими компонентами системи. При створенні програми управління насосною установкою можуть бути виділені наступні основні етапи:

1. Визначення вхідних та вихідних сигналів. Цей етап полягає у визначенні всіх вхідних та вихідних сигналів, які будуть використовуватися у системі для забезпечення правильної роботи насосної установки. Основними вхідними сигналами є:

- Датчики рівня води - це сигнали, що відображають поточний рівень рідини у резервуарах;

- Тиск у системі - це вхідні сигнали від манометрів або датчиків тиску, які визначають тиск води в трубопроводах;

- Сигнали аварійних станів такі як датчики перегріву двигуна, перевантаження системи, витіки та інші аварійні події.

Вихідні сигнали, які керують роботою обладнання:

- Управління насосами – це сигнали включення/виключення насосів та перемикання режимів роботи;

- Клапани та заслінки – це сигнали керування положенням клапанів для забезпечення правильного розподілу потоків;

- Аварійна сигналізація –це індикація стану аварій на панелі управління або НМІ для інформування оператора про критичні ситуації.

2. Проектування логіки керування. На цьому етапі створюється структурована логіка роботи насосної установки з урахуванням усіх можливих режимів та сценаріїв. Розробка логіки включає:

- Режим роботи насосів. Автоматичний режим роботи, ручне керування, режим чергування, аварійний режим. Визначення умов для переходу між різними режимами та їх налаштування;

- Алгоритми включення та виключення насосів. Визначення умов для запуску та зупинки насосів на основі рівня води, тиску в системі або вимог технологічного процесу;

- Логіка захисту: впровадження умов для автоматичного відключення насосу у разі перевищення допустимих параметрів або виникнення аварійних ситуацій.

3. Розробка алгоритмів контролю та обробки помилок. Створення логіки обробки помилок, таких як відсутність вхідних сигналів, перевантаження або несправність насосу:

- Впровадження алгоритмів повторного запуску та автоматичного відновлення роботи у разі виникнення помилок;

- Створення алгоритмів чергового автоматичного запуску насосу у разі виходу з ладу основного агрегату.

4. Реалізація програми в середовищі Machine Expert. Програмна реалізація охоплює написання коду за допомогою одного з форматів програмування, доступних у Machine Expert, таких як Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD) або Structured Text (ST). Основні кроки:

- Побудова структури програми. Розробка основних функціональних блоків (наприклад, блоків керування насосами, захисту, обробки помилок);

- Використання стандартних бібліотек, а саме використання вбудованих функцій для роботи з вхідними та вихідними сигналами, таймерів, лічильників та інших елементів;

- Оптимізація коду. Налаштування оптимальної послідовності виконання команд для мінімізації затримок у роботі системи.

5. Конфігурація параметрів зв'язку та інтеграція. На даному етапі налаштовуються параметри обміну даними між PLC M241 та іншими компонентами системи:

- Налаштування протоколів зв'язку. Конфігурація Ethernet, Modbus TCP або інших протоколів для забезпечення стабільного обміну даними;

- Інтеграція з НМІ-панелями. Налаштування обміну даними для відображення поточних станів системи на графічному інтерфейсі;

- Забезпечення безпеки зв'язку. Налаштування захищеного обміну даними, що включає паролі доступу, шифрування та інші механізми безпеки.

6. Візуалізація процесу на НМІ та моніторинг. Візуалізація системи дає можливість оператору керувати процесом у реальному часі та оперативно реагувати на зміни:

- Створення графічних схем насосної установки, відображення стану насосів, рівня рідини, тиску та температури;

- Реалізація моніторингу аварійних станів та можливість віддаленого доступу для управління.

7. Тестування програми:

- Функціональне тестування - це перевірка коректності виконання основних функцій, таких як запуск/зупинка насосів, перемикання режимів;

- Інтеграційне тестування – це перевірка взаємодії між окремими блоками та модулями;

- Системне тестування - це тестування роботи всієї системи на реальному обладнанні для виявлення можливих недоліків.

8. Налагодження та оптимізація. Після тестування відбувається налагодження програмного коду з метою усунення помилок, оптимізації алгоритмів та поліпшення швидкодії. Це включає:

- Оптимізацію часу виконання окремих функцій;

- Налаштування параметрів безпеки для уникнення аварійних станів;

- Підлаштування алгоритмів під конкретні умови роботи насосної станції.

9. Впровадження та експлуатація. На останньому етапі програмне забезпечення завантажується на PLC M241, після чого відбувається підключення до реального обладнання. Проводяться фінальні тестування та навчання операторів, створюються інструкції з експлуатації. Забезпечується подальший супровід програми та її оновлення для підтримки стабільної роботи системи.

Таким чином, розробка програмного забезпечення для насосної установки охоплює всі ключові етапи створення, тестування, налаштування та впровадження рішення, що забезпечує надійну та ефективну роботу системи автоматизації.

3.1.2 Загальна структура програми керування насосною станцією в Machine Expert

Загальна структура програми для керування насосною станцією, розроблена в програмному забезпеченні Machine Expert для ПЛК M241, складається з ряду функціональних блоків та модулів, які забезпечують автоматизоване управління процесами насосної установки. Важливою характеристикою є те, що всі компоненти системи повинні взаємодіяти таким чином, щоб забезпечити безпечну та надійну роботу насосів у різних режимах експлуатації.

Програма розподіляється на окремі логічні сегменти, що дозволяє легко керувати функціональністю та налагоджувати систему. Серед основних блоків можна виділити: обробку вхідних сигналів, реалізацію алгоритмів управління, аварійний захист, моніторинг стану системи та зворотній зв'язок.

Основні блоки структури програми:

1. Оголошення змінних та параметрів системи. На початковому етапі програми створюються змінні, які використовуються для зберігання значень параметрів насосної станції та відстеження стану окремих компонентів. Це можуть бути змінні для таких показників, як:

- Поточний стан насосів (включений/виключений);
- Параметри середовища (тиск, рівень води, температура);
- Логічні змінні для аварійних сигналів (перевищення тиску, перегрів двигуна);
- Налаштування робочих параметрів системи (максимальні та мінімальні значення, допустимі відхилення).

Оголошення змінних також включає створення структур даних для обробки групових сигналів та масивів, що спрощує їх подальшу обробку у програмі.

2. Модуль ініціалізації виконує налаштування всіх початкових значень змінних і параметрів системи перед початком роботи. Це забезпечує коректний запуск системи та унеможливорює помилкове спрацювання насосів.

До типових дій ініціалізації належить:

- Встановлення початкових значень для логічних змінних (наприклад, всі насоси вимкнені, аварійні сигнали скинуті);
- Запуск початкових режимів роботи (вибір ручного або автоматичного режиму);
- Перевірка наявності зв'язку з датчиками та іншим обладнанням.

3. Основний цикл програми (обробка вхідних сигналів):

- Головний сегмент структури програми — це основний цикл, який виконує обробку даних з датчиків, обчислення поточних параметрів і реалізацію алгоритмів керування. До основних дій входять зчитування даних з вхідних модулів (наприклад, рівень у резервуарі, температура двигуна, тиск у трубопроводі), перевірка стану вхідних сигналів та визначення режиму роботи насоса, обробка команд оператора, отриманих через інтерфейс НМІ. Обчислення поточних умов роботи (наприклад, потреба у запуску резервного насоса у разі аварії);

- Алгоритм основного циклу реалізує такі операції як пуск/зупинка насосів на основі вхідних даних, регулювання швидкості обертання двигунів, перемикання між різними режимами роботи залежно від умов експлуатації.

4. Модуль обробки аварій та безпеки. Цей модуль відповідає за виявлення та обробку аварійних ситуацій. Програма автоматично контролює стан насосів, перевіряючи наявність несправностей, таких як перевищення допустимого тиску, падіння рівня води нижче мінімально допустимого значення, перегрів двигуна або відсутність струму. У разі виявлення аварії, модуль обробки аварій виконує відповідні дії такі як автоматичне відключення насоса, запуск резервного насоса або активація аварійного сигналу, надсилання повідомлень оператору через НМІ або систему SCADA.

5. Логіка управління насосами. Включає алгоритми керування, які визначають порядок включення та виключення насосів залежно від поточних умов. Для забезпечення безперервного постачання води програма повинна враховувати такі сценарії:

- Запуск насосів при підвищенні рівня води до заданого порогу;

- Відключення насоса у разі досягнення оптимального тиску;
- Перемикання між робочими насосами для забезпечення рівномірного навантаження;

- Додатково, передбачаються режими енергозбереження (наприклад, зниження швидкості обертання двигуна в періоди низької потреби).

6. Модуль візуалізації та інтерфейсу оператора (НМІ):

- Забезпечує зручний інтерфейс для управління насосною станцією. На екрані НМІ відображаються такі параметри, як поточний стан насосів, рівень у резервуарі, тиск у трубопроводах та аварійні сигнали;

- Оператор може вибирати режими роботи, налаштовувати параметри та відслідковувати події в реальному часі;

- Інтерфейс включає графічні елементи, такі як індикатори, гістограми та діаграми, що спрощують сприйняття інформації.

7. Модуль архівації та зворотного зв'язку:

- Записує всі критичні параметри системи, включаючи аварійні події, зміни у налаштуваннях, запуск/зупинку насосів тощо. Це дозволяє аналізувати роботу станції у різні періоди та виявляти можливі проблеми;

- Дані архіву можуть використовуватись для побудови звітів та оптимізації роботи системи.

3.1.3 Реалізація програми для управління насосною станцією

У цьому підрозділі наводиться реалізація програми для управління насосною станцією, розробленої на платформі Machine Expert. Код програми включає в себе основні функціональні блоки для управління насосами, регулювання рівня води та вихідного тиску, а також для контролю температури насосів і обробки аварійних ситуацій.

Програма забезпечує автоматичне управління основним та резервним насосами залежно від заданих параметрів. Вона реалізує механізм контролю рівня води в резервуарі та вихідного тиску, активує резервний насос за вибором

оператора, а також включає температурний захист основного насоса. У разі виникнення аварії програма автоматично зупиняє всі насоси та виводить повідомлення про помилку.

Нижче наведено код реалізації програмного забезпечення для управління насосною станцією.

(* Оголошення змінних *)

VAR

(* Управління основним і резервним насосами *)

Main_Pump_Pressure_Setpoint : REAL := 3.5; (* Завдання тиску для основного насоса *)

Reserve_Pump_Active : BOOL := FALSE; (* Стан резервного насоса: активний *)

Main_Pump_Active : BOOL := FALSE; (* Стан основного насоса: активний *)

(* Вихідний тиск та рівень води *)

Outlet_Pressure : REAL := 0.0; (* Вимірний тиск на виході насосної станції *)

Tank_Level : REAL := 4.0; (* Вимірний рівень води в резервуарі *)

Level_Setpoint : REAL := 4.0; (* Бажаний рівень води в резервуарі (4 метри) *)

Water_Valve : BOOL := FALSE; (* Стан електроклапана: відкритий / закритий *)

(* Температурний захист *)

Main_Pump_Temperature : REAL := 25.0; (* Температура основного насоса *)

Max_Temperature : REAL := 80.0; (* Максимальна допустима температура *)

(* Сигналізація та аварійні ситуації *)

Error : BOOL := FALSE; (* Змінна для обробки аварій *)

Error_Message : STRING; (* Повідомлення про помилку *)

Reset_Error : BOOL := FALSE; (* Змінна для скидання помилки

*)

(* Сигнали для вибору насоса *)

Select_Main_Pump : BOOL; (* Сигнал для вибору основного насоса (DI1) *)

Select_Reserve_Pump : BOOL; (* Сигнал для вибору резервного насоса (DI2) *)

END_VAR

(* Основна програма керування насосною станцією *)

IF Error = FALSE THEN

(* 1. Контроль рівня води в резервуарі *)

IF Tank_Level < Level_Setpoint - 0.2 THEN

Water_Valve := TRUE; (* Відкрити електроклапан для поповнення резервуара *)

ELSIF Tank_Level >= Level_Setpoint + 0.2 THEN

Water_Valve := FALSE; (* Закрити електроклапан *)

END_IF;

(* 2. Регулювання вихідного тиску основним насосом *)

IF Outlet_Pressure < Main_Pump_Pressure_Setpoint THEN

Main_Pump_Active := TRUE; (* Основний насос активний *)

ELSE


```
Main_Pump_Active := FALSE;          (* Основний насос вимкнений,  
якщо тиск досяг уставки *)
```

```
END_IF;
```

```
(* 3. Активація резервного насоса за вибором оператора *)
```

```
IF (NOT Main_Pump_Active) AND Select_Reserve_Pump THEN
```

```
    Reserve_Pump_Active := TRUE;      (* Резервний насос активний за  
вибором оператора *)
```

```
ELSE
```

```
    Reserve_Pump_Active := FALSE;     (* Вимкнення резервного  
насоса, якщо основний активний або оператор не вибрав *)
```

```
END_IF;
```

```
(* 4. Контроль температури основного насоса *)
```

```
IF (Main_Pump_Temperature > Max_Temperature) THEN
```

```
    Error := TRUE;
```

```
    Error_Message := 'Аварія: Перегрів основного насоса!';
```

```
END_IF;
```

```
(* 5. Скидання аварії *)
```

```
IF Reset_Error THEN
```

```
    Error := FALSE;
```

```
    Error_Message := '';
```

```
    Reset_Error := FALSE;
```

```
END_IF;
```

```
ELSE
```

```
(* Обробка аварійних ситуацій *)
```

```
Main_Pump_Active := FALSE;
```

```
Reserve_Pump_Active := FALSE;
```

```

Water_Valve := FALSE;
Error_Message := 'Аварійний режим: всі насоси зупинені!';
END_IF;

```

3.2 Розробка SCADA-СИСТЕМИ НА БАЗІ NODE-RED

3.2.1 Використання Node-RED для SCADA-системи насосної станції

Node-RED — це потужне інструментальне середовище з відкритим кодом для побудови автоматизованих систем управління. Спочатку розроблене IBM, Node-RED використовує візуальне програмування і дозволяє інтегрувати різноманітні системи, сенсори та пристрої з мінімальним кодом. Основою є концепція "flows" — потоки даних, які легко налаштовуються та керуються через веб-інтерфейс.

Ключові особливості Node-RED:

- Простота інтеграції: Node-RED забезпечує простоту при підключенні різних промислових компонентів і пристроїв через підтримку різних протоколів (Modbus, MQTT, OPC UA тощо);

- Візуальне програмування: робота в Node-RED реалізується за допомогою графічного інтерфейсу. Користувачі можуть створювати потоки даних, просто перетягуючи блоки (nodes) на робочий стіл і з'єднуючи їх між собою;

- Гнучкість та масштабованість: Node-RED можна використовувати як для простих задач моніторингу, так і для складних SCADA-систем, інтегруючи їх з іншими інструментами та системами для збору та обробки даних.

Застосування в насосній станції:

Node-RED використовується для створення SCADA-системи, яка забезпечує моніторинг і керування насосною станцією в реальному часі. Система дозволяє оператору переглядати параметри роботи насосів (тиск, швидкість потоку, витрати води тощо) через веб-інтерфейс.

3.2.2 Зчитування даних із ПЛК за допомогою Node-RED

Під час реалізації SCADA-системи на базі Node-RED для насосної станції я налаштував зчитування даних із ПЛК за допомогою протоколу Modbus. Для цього я використав ноди Node-RED і встановив розширення `node-red-contrib-modbus`, що дозволяє інтегрувати Modbus TCP/RTU для обміну даними з ПЛК.

Основні кроки:

1. Налаштування підключення до ПЛК через Modbus: Спершу я налаштував Modbus-з'єднання між Node-RED і ПЛК через Modbus TCP. Для цього потрібно було вказати IP-адресу ПЛК, порт (502 за замовчуванням), а також інші параметри з'єднання. Мій контролер мав активований Modbus-сервер, що дозволило здійснити зв'язок і передавати дані;

2. Встановлення розширення Modbus у Node-RED: Для роботи з протоколом Modbus я через веб-інтерфейс Node-RED встановив розширення `node-red-contrib-modbus`. Це дало мені змогу використовувати ноди для зчитування та запису даних у реєстри ПЛК, зокрема ноди Modbus Read та Modbus Write;

3. Налаштування ноди для зчитування даних: Наступним кроком було додавання та налаштування ноди Modbus Read у робочому середовищі Node-RED. У ноді я вибрав відповідний Modbus TCP Client, вказав IP-адресу ПЛК і налаштував параметри для зчитування реєстрів. Я використав функцію Read Holding Registers для зчитування даних із певних реєстрів, зокрема, налаштував зчитування масиву реєстрів (а саме, від 1 до 25);

4. Зчитування масиву даних: В результаті зчитування я отримував масив даних із реєстрів ПЛК, де кожен елемент масиву відповідав конкретному реєстру. Наприклад, якщо я зчитував 25 реєстрів, то отримував масив із 25 значень, які надходили в Node-RED для подальшої обробки. Також додав ноду `debug`. В Node-RED нода `debug` використовується для виведення повідомлень в панель налагодження, що допомагає відслідковувати дані, які проходять через потік. На рисунку 3.1 зображений результат зчитування даних.

```

▼ array[25]
  ▼ [0 .. 9]
    0: 403
    1: 686
    2: 304
    3: 40
    4: 3824
    5: 290
    6: 22
    7: 0
    8: 0
    9: 33
  ▶ [10 .. 19]
  ▶ [20 .. 24]

```

Рисунок 3.1 – Дані, отримані з регістрів ПЛК

Цей підхід дозволив мені забезпечити надійний моніторинг насосної станції, зчитуючи необхідні дані з ПЛК через Node-RED.

3.2.3 Обробка та візуалізація даних

У рамках розробки SCADA-системи на базі Node-RED важливим етапом є обробка та візуалізація даних, отриманих з ПЛК. Процес обробки даних включає в себе вчитку, аналіз та подальшу візуалізацію, що дозволяє ефективно моніторити стан насосних станцій.

Після вчитки даних за допомогою ноди Function я обробляв масив даних, отриманих з ПЛК. На цьому етапі я виконував кілька ключових дій:

- Фільтрація та нормалізація: Я відбирав лише коректні значення та нормалізував дані, щоб уникнути впливу аномальних значень на результати аналізу;

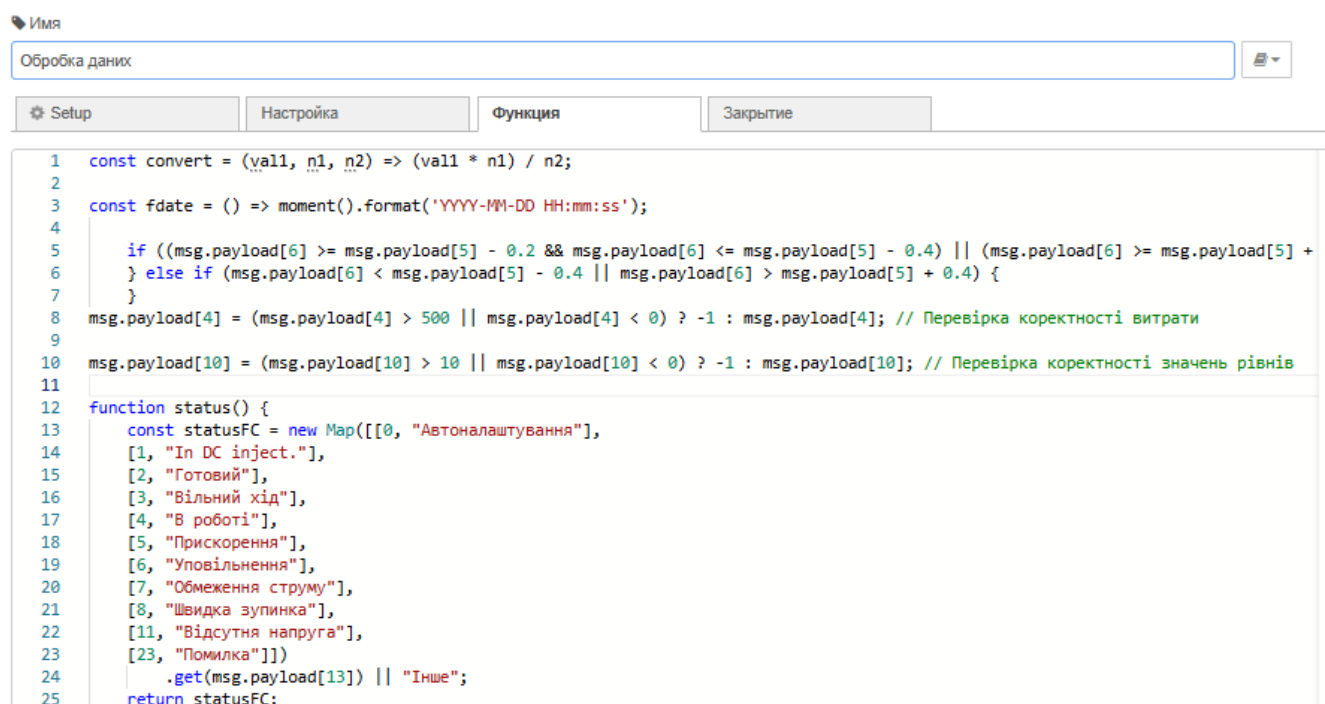
- Агрегація: Обробляючи дані, я отримував середні значення, максимуми та мінімуми за певні проміжки часу. Це дозволяло зменшити обсяг інформації та підвищити зрозумілість результатів;

- Декілька виходів функції: Для зручності я реалізував декілька виходів у функції, а саме кожен вихід функції це реєстр який ми зчитували. Наприклад перший вихід функції це поточна частота на виході ПЧ, другий це струм і т.д. З виходу функцій показники далі йдуть на ноди, що відповідають за візуалізацію;

- Підготовка до візуалізації: Я формував структуру даних, зручну для відображення на дашборді, включаючи групування даних за категоріями та підготовку специфічних показників;

- Додавання бібліотек: У функції є можливість додавати зовнішні бібліотеки, такі як moment.js, що дозволяє зручно працювати з датами та часом, спростивши обробку часових міток.

На рисунку 3.2 зображений приклад програмного коду обробки даних.



```

1  const convert = (val1, n1, n2) => (val1 * n1) / n2;
2
3  const fdate = () => moment().format('YYYY-MM-DD HH:mm:ss');
4
5  if ((msg.payload[6] >= msg.payload[5] - 0.2 && msg.payload[6] <= msg.payload[5] - 0.4) || (msg.payload[6] >= msg.payload[5] +
6  } else if (msg.payload[6] < msg.payload[5] - 0.4 || msg.payload[6] > msg.payload[5] + 0.4) {
7  }
8  msg.payload[4] = (msg.payload[4] > 500 || msg.payload[4] < 0) ? -1 : msg.payload[4]; // Перевірка коректності витрати
9
10 msg.payload[10] = (msg.payload[10] > 10 || msg.payload[10] < 0) ? -1 : msg.payload[10]; // Перевірка коректності значень рівнів
11
12 function status() {
13   const statusFC = new Map([[0, "Автоналаштування"],
14   [1, "In DC inject."],
15   [2, "Готовий"],
16   [3, "Вільний хід"],
17   [4, "В роботі"],
18   [5, "Прискорення"],
19   [6, "Уповільнення"],
20   [7, "Обмеження струму"],
21   [8, "Швидка зупинка"],
22   [11, "Відсутня напруга"],
23   [23, "Помилка"]])
24   .get(msg.payload[13]) || "Інше";
25   return statusFC;

```

Рисунок 3.2 – Програмний код обробки даних

Етапи візуалізації даних:

1. Після обробки даних я перейшов до встановлення розширення для візуалізації в Node-RED, що дозволило ефективно відображати інформацію. Цей етап є критично важливим для візуалізації даних та моніторингу стану насосної станції. Встановив розширення node-red-dashboard .

2. Створення дашборда: Після встановлення розширення я створив новий дашборд, для чого перетягнув ноду ui_tab з панелі нод. Я дав йому зрозумілу назву, наприклад, Моніторинг насосної станції, щоб було легше орієнтуватися в інтерфейсі.

3. Додавання елементів дашборда: Далі я почав додавати різні візуальні елементи. Я перетягнув ноду `ui_chart` для відображення графіка. Після цього я налаштував її, визначивши, які дані з ПЛК потрібно відображати, наприклад, тиск і рівень води. У налаштуваннях графіка я вказав тип графіка (лінійний), а також встановив осі X і Y, щоб вони відповідали значенням, що відображаються.

4. Налаштування графіка: Я налаштував графік для автоматичного оновлення даних у реальному часі, налаштувавши інтервал оновлення в полі `Update Rate`. Це дозволило мені спостерігати за змінами параметрів у режимі реального часу, що є критично важливим для моніторингу стану насосної станції.

5. Додавання інших елементів дашборда: Крім графіка, я додав ноду `ui_gauge` для відображення значень тиску та рівня води у вигляді індикаторів. У налаштуваннях я вказав максимальні та мінімальні значення, що дозволило мені візуалізувати статус насосної станції: зелений колір сигналізував про нормальні умови, жовтий – про попереджувальні, а червоний – про критичні.

6. Робота з SVG: Я встановив розширення `node-red-contrib-ui-svg`, яке дозволяє використовувати SVG (Scalable Vector Graphics) для створення динамічних візуалізацій на дашборді. Це розширення забезпечує можливість інтерактивного представлення даних у векторному форматі, що є дуже зручним для візуалізації складних систем, таких як насосні станції.

SVG є векторним графічним форматом, що дозволяє створювати графіку, яка залишається чіткою та якісною при будь-якому масштабуванні. Завдяки цьому я для прикладу зміг створити невеличку візуалізацію роботи насосного агрегату, а також в цю візуалізацію вивів поточні параметри вхідного та вихідного тиску, які ілюструють процеси у насосній станції. На рисунку 3.3 зображено SVG – ілюстрацію роботи насосного агрегату.



Рисунок 3.3 - Ілюстрація роботи насосного агрегату.

7. Організація елементів: Я організував елементи дашборда, розташувавши їх логічно, щоб швидко отримувати доступ до важливої інформації. Я також налаштував групи для пов'язаних параметрів, що дозволило зменшити безлад на екрані.

8. Тестування дашборда: Після завершення налаштування дашборда я протестував його, запустивши потоки в Node-RED. Я перевіряв, як дашборд відображає дані в реальному часі, переконавшись, що всі значення оновлюються коректно, і графіки відображають зміни.

На рисунку 3.4 зображена частина веб-інтерфейсу, а саме графіків технологічних параметрів роботи насосної станції.

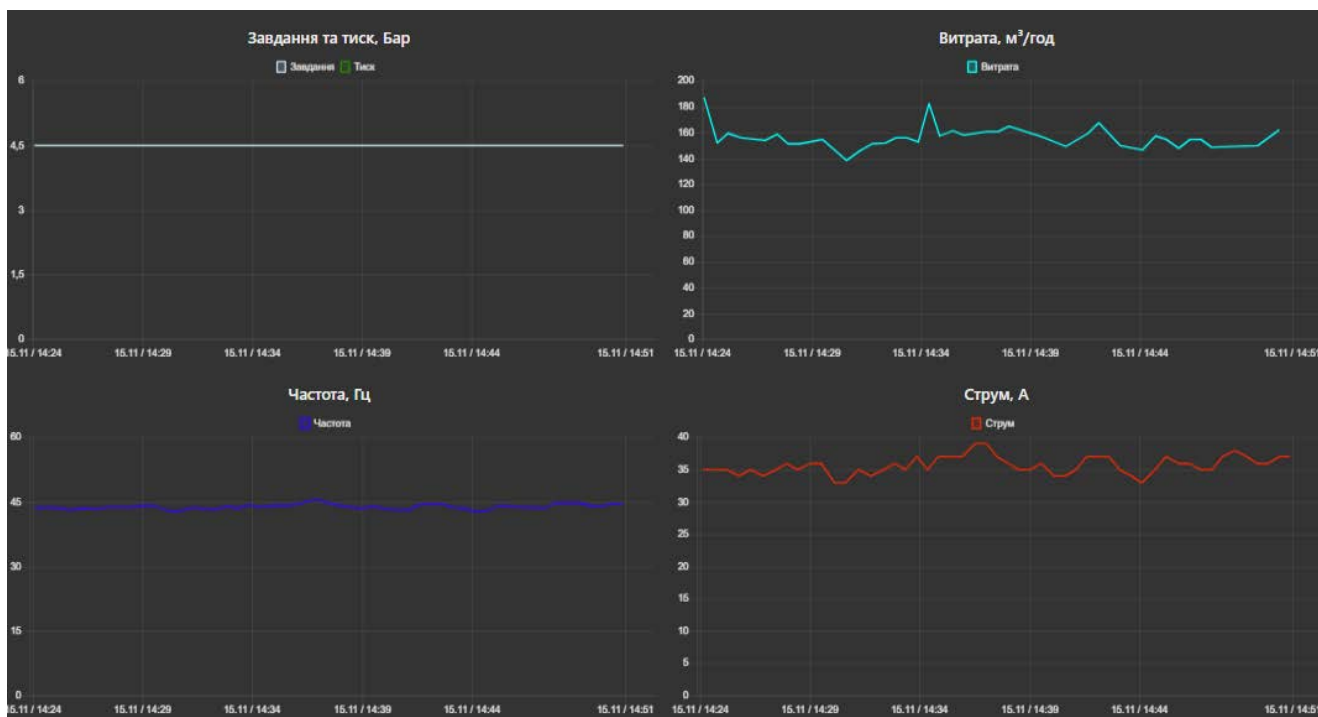


Рисунок 3.4 – Тренди роботи насосної станції

3.2.4 Дистанційне управління насосною станцією

В рамках реалізації SCADA-системи я впровадив можливість дистанційного управління насосною станцією безпосередньо через дашборд. Це дозволило операторам ефективно моніторити і контролювати роботу насосів у режимі реального часу, що є критично важливим для забезпечення надійності та безпеки водопостачання.

Основні можливості управління:

1. Запуск та зупинка насосів: Оператори мають змогу запускати або зупиняти насоси одним натисканням кнопки на дашборді. Це забезпечує швидке реагування на зміну потреб у водопостачанні та дозволяє уникнути простоїв у системі.

2. Регулювання уставок: На дашборді реалізовано можливість зміни уставок насосів. Оператори можуть налаштовувати такі параметри, як тиск та швидкість потоку, відповідно до поточних умов та вимог системи. Це забезпечує гнучкість у управлінні насосами та оптимізацію їх роботи.

3. Моніторинг стану насосів: Дашборд надає візуалізацію поточного стану насосів, що включає відображення їхньої роботи, помилок та інших критичних

параметрів. Це дозволяє оперативно виявляти проблеми та вживати необхідних заходів.

4. Автоматизація процесів: За допомогою налаштувань дашборду можна автоматизувати деякі процеси, такі як запуск насосів у визначений час або при досягненні певних показників (наприклад, рівня води). Це значно спрощує управління насосною станцією та знижує навантаження на операторів.

Для реалізації функцій дистанційного управління насосною станцією в SCADA-системі я використовував Node-RED. Одним із ключових компонентів, що забезпечують управління насосами, стала нода MODBUS - WRITE, яка дозволяє взаємодіяти з ПЛК насосної станції.

Налаштування ноди MODBUS – WRITE:

- Додавання ноди: Спочатку я додав ноду MODBUS - WRITE до мого потоку в Node-RED. Ця нода забезпечує можливість запису значень безпосередньо до регістрів ПЛК, що відповідають за управління насосами;

- Конфігурація параметрів: Я налаштував параметри підключення до PLC, включаючи IP-адресу контролера, порт та інші необхідні налаштування. Це забезпечило стабільний зв'язок між дашбордом і насосною станцією.

- Прив'язка до кнопок управління: Я створив кнопки на дашборді для управління насосами, використовуючи ноди button. Кожна кнопка була пов'язана з нодою MODBUS - WRITE, що дозволяло операторам запускати або зупиняти насос, натискаючи відповідну кнопку. Налаштування кнопок та результат зображені на рисунках 3.5-3.7

Изменить узел button

Удалить Отмена Готово

Свойства

Group: [ВНС №45] НА №1 прилади

Size: 3 x 1

Icon: optional icon

Label: Пуск НА №1

Tooltip: optional tooltip

Color: white

Background: green

When clicked, send:

Payload: true

Topic: msg. topic

If msg arrives on input, emulate a button click:

Class: Optional CSS class name(s) for widget

Имя: Пуск насосного агрегату

Рисунок 3.5 – Налаштування кнопки пуск

Изменить узел button

Удалить Отмена Готово

Свойства

Group: [ВНС №45] НА №1 прилади

Size: 3 x 1

Icon: optional icon

Label: Зупинка НА №1

Tooltip: optional tooltip

Color: white

Background: red

When clicked, send:

Payload: false

Topic: msg. topic

If msg arrives on input, emulate a button click:

Class: Optional CSS class name(s) for widget

Имя: Зупинка насосного агрегату

Рисунок 3.6 – Налаштування кнопки стоп



Рисунок 3.7 – Кнопки управління насосним агрегатом в Дашборді

Крім кнопок управління, я також реалізував поле для зміни уставок, яке дозволяє операторам налаштовувати тиск у насосній станції:

- Поле введення: Я додав поле введення типу text input, яке дає можливість операторам вводити нове значення уставки тиску. Це поле тісно інтегровано з ногою MODBUS - WRITE, що дозволяє відправляти нові значення безпосередньо до ПЛК. Результат зображений на рис 3.8

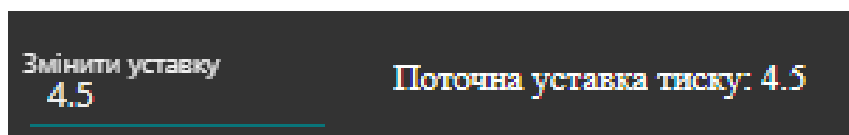


Рисунок 3.8 – Поля відображення та зміни уставок тиску

- Обробка даних: Коли оператор вводить нове значення уставки тиску і натискає кнопку "Застосувати", дані обробляються через ноду function, яка форматує їх у потрібний вигляд для запису в регістри PLC. Це забезпечує коректність переданих даних і їх відповідність формату, який очікує контролер.

- Візуалізація поточних уставок: Я також реалізував можливість відображення поточних уставок на дашборді за допомогою ноди gauge, що дозволяє операторам швидко оцінювати, які значення встановлені на момент управління. На рисунку 3.9 зображена реалізація управління в середовищі розробки

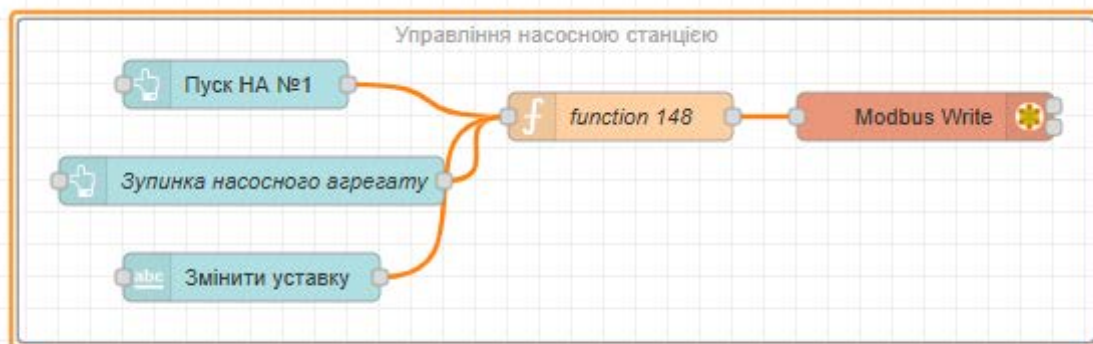


Рисунок 3.9 – Блок для управління насосною станцією

Переваги технологічної реалізації

Ця система дистанційного управління значно спростила роботу операторів, дозволяючи їм не тільки моніторити стан насосної станції, але й оперативно реагувати на зміни в реальному часі. Завдяки використанню Node-RED та модулю MODBUS, управління насосами стало інтуїтивно зрозумілим і доступним, що підвищує загальну ефективність роботи насосної станції. На рисунку 3.10 зображена частина веб-сторінки розробленої системи

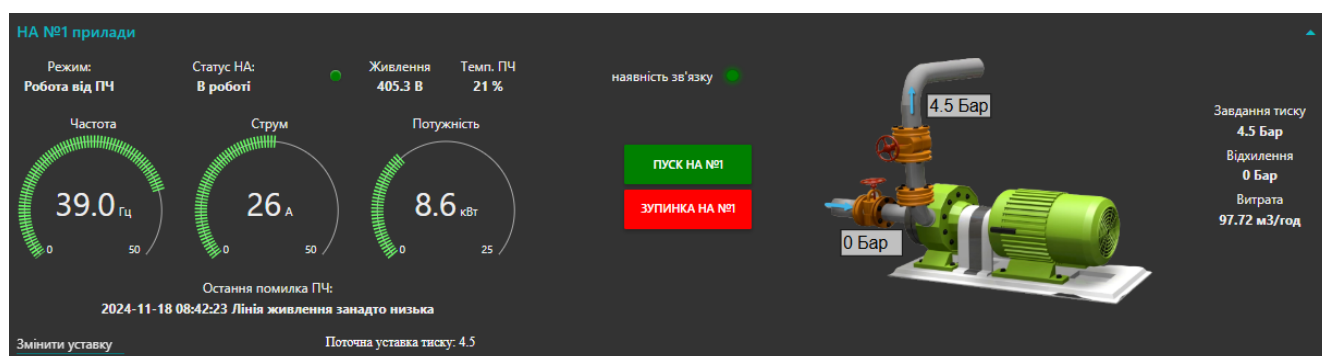


Рис. 3.10 – Моніторинг та управління насосної станції

3.2.5 Розробка архівних даних

Розробка архівних даних забезпечує накопичення історичних параметрів роботи насосної станції для подальшого аналізу, моніторингу та виявлення тенденцій у роботі обладнання. Архівування здійснюється за допомогою Node-

RED із використанням бази даних MySQL. Для інтеграції Node-RED із MySQL спочатку необхідно встановити відповідне розширення `node-red-node-mysql`, що дозволяє працювати із запитом до бази даних.

Для розробки архівних даних у своєму проєкті я обрав використання MySQL у зв'язці з Node-RED. Моя мета полягала в тому, щоб створити зручну систему для збереження та аналізу технічних параметрів насосної установки. Ось як я це реалізував:

Спершу я встановив розширення для роботи з MySQL у Node-RED. Це розширення дозволяє легко підключатися до бази даних і виконувати SQL-запити. Встановлення відбувалося через вкладку "Manage Palette". Після завершення встановлення стало можливим використовувати вузли MySQL у потоках Node-RED.

Налаштування підключення до бази даних

Далі я створив вузол MySQL для підключення до своєї бази даних, використовуючи необхідні облікові дані: хост, ім'я користувача, пароль та ім'я бази даних. Це дозволило мені зберігати дані в базу й виконувати запити на їх читання.

Створення таблиці для архівування даних

Для зберігання архівних даних я створив таблицю `VNS1` у MySQL. Вона зберігає інформацію про ключові параметри насосної станції:

```
CREATE TABLE VNS1 (
  id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
  timestamp DATETIME NOT NULL,
  motor_freq FLOAT,      -- Частота роботи електродвигуна
  motor_cur FLOAT,      -- Струм електродвигуна
  temp FLOAT,           -- Температура
  press_in FLOAT,       -- Вхідний тиск
  press_out FLOAT,      -- Вихідний тиск
  status INT,           -- Статус системи (наприклад, 0 - вимкнено, 1 - працює)
  err VARCHAR(255),     -- Повідомлення про помилки
  consumption FLOAT     -- Споживання (енергія або обсяг)
```

);

Запис даних у таблицю

Для забезпечення архівування даних я налаштував потік у Node-RED, що збирає необхідні параметри насосної установки і передає їх у вузол MySQL для збереження. Створив функцію яка записує дані в БД. Код для запису даних в функції:

```
msg.topic = `INSERT INTO VNS1 (timestamp, motor_freq, motor_cur, temp,
press_in, press_out, status, err, consumption)
VALUES (NOW(), ${msg.payload[0]}, ${msg.payload[1]},
${msg.payload[2]}, ${msg.payload[3]}, ${msg.payload[4]}, ${msg.payload[5]},
' ${msg.payload[6]} ', ' ${msg.payload[7]} ', ${msg.payload[8]});`;
return msg;
```

Таким чином, всі зібрані дані про частоту роботи, тиск, температуру, струм та інші параметри зберігаються в таблиці MySQL. Це забезпечує можливість моніторингу стану системи, аналізу її роботи та пошуку шляхів для оптимізації. На рис. 3.11 ілюстровано блок запису даних в середовищі розробки Node-RED.

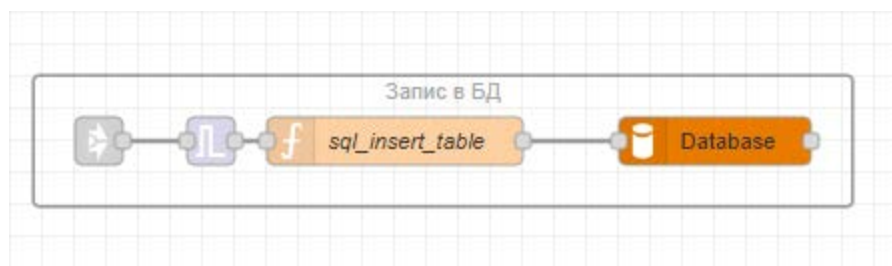


Рис 3.11 – структура запису даних в БД

Це рішення дозволило мені організувати зручне і ефективне збереження історичних даних, що допомагає в майбутньому приймати обґрунтовані рішення на основі реальних показників роботи насосної станції.

Виведення архівних даних до Node-RED

Після збереження даних у таблиці MySQL, організованої для архівування технологічних параметрів насосних станцій, виникає потреба в зручному виведенні цих даних для аналізу та моніторингу.

Для реалізації виведення даних з MySQL я створив запит, що дозволяє витягувати дані з бази даних за заданими параметрами (наприклад, за часом, типом параметра або іншими критеріями).

В Node-RED було використано ноду Form, яка дозволяє формувати запити користувачем через інтерфейс. Користувач може вказати необхідні параметри, після чого система виконує запит до бази даних. А в функції була написана SQL команда для отримання необхідних даних. На рис. 3.12 ілюстровано блок отримання архівних даних в середовищі Node-RED.

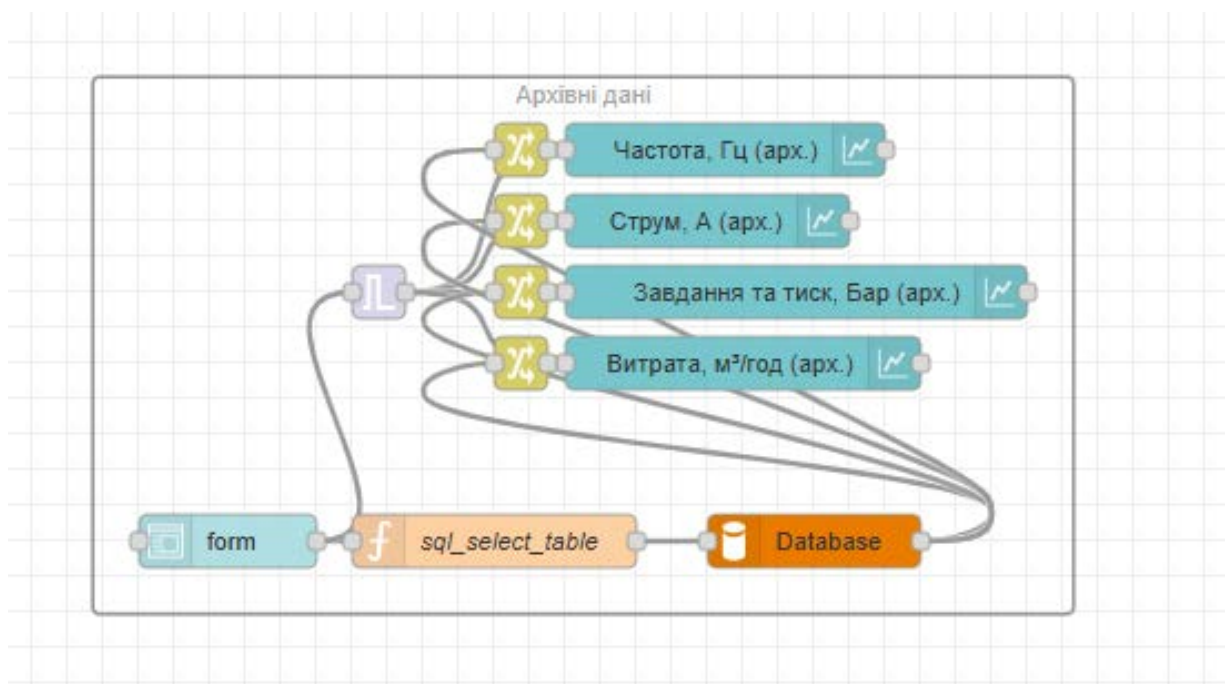


Рис 3.12 – Блок отримання архівних даних в середовищі Node-RED.

Для очистки даних я використав триггер який через 5 хвилин посилає пустий масив що очищує поля даних в Node-Red.

Висновок до розділу 3

У даному розділі було розглянуто програмно-технічну реалізацію системи керування насосною станцією водопостачання, зокрема етапи розробки

програмного забезпечення для керування насосною установкою, а також інтеграцію SCADA-системи на платформі Node-RED.

На етапі розробки програмного забезпечення для насосної станції були детально описані ключові етапи створення програмного забезпечення, а також структура програми для керування насосною станцією в середовищі Machine Expert. Це дозволило забезпечити гнучке та ефективне керування насосами, підтримку технологічних параметрів та реалізацію алгоритмів для оптимальної роботи установки.

Впровадження SCADA-системи на базі Node-RED значно спростило процес зчитування, обробки та візуалізації даних з ПЛК, а також дозволило забезпечити можливість дистанційного управління насосною станцією. Завдяки використанню Node-RED, система отримала інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для оператора та можливість інтеграції з іншими технологічними системами.

Особливу увагу було приділено розробці архівних даних, що дозволяє здійснювати моніторинг та зберігання історичних даних, таких як температура, тиск, частота та інші параметри. Використання бази даних MySQL та інтеграція з Node-RED забезпечили ефективне зберігання, доступ і виведення даних для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Таким чином, реалізація програмного забезпечення та SCADA-системи забезпечує стабільну, надійну та ефективну роботу насосної станції, а також дає можливість дистанційного моніторингу і управління, що є важливим кроком до автоматизації технологічних процесів водопостачання.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У магістерській роботі на тему «Автоматизована система керування насосними станціями водопостачання з розробкою підсистеми дистанційного моніторингу та керування технологічними параметрами» вирішено поставлені завдання, які охоплюють аналіз, моделювання та програмно-технічну реалізацію системи керування насосними станціями.

Аналіз сучасних підходів до автоматизації показав, що впровадження SCADA-систем і алгоритмів оптимізації дозволяє значно підвищити енергоефективність та надійність насосних станцій. Дослідження існуючих рішень дозволило визначити ключові напрямки вдосконалення автоматизації.

Математичне моделювання динамічних процесів насосної станції дало змогу проаналізувати взаємодію обладнання в системі, оцінити гідравлічну стабільність та ефективність регулювання. Проведено розрахунок передавальних функцій, параметрів регуляторів і синтезовано алгоритми, які забезпечують стабільність роботи системи.

Програмно-технічна реалізація системи включала розробку програмного забезпечення в середовищі Machine Expert, а також створення SCADA-системи на базі Node-RED. Це забезпечило:

- автоматичне регулювання параметрів насосної станції;
- зручний інтерфейс для операторів;
- моніторинг технологічних параметрів у реальному часі;
- архівацію даних у базі MySQL для подальшого аналізу.

Система забезпечує високу точність регулювання, енергоефективність і швидке реагування на зміни параметрів, що підтверджено результатами моделювання і тестування.

Подальше вдосконалення алгоритмів регулювання. На основі розробленої моделі можна досліджувати адаптивні регулятори для підвищення енергоефективності в умовах змінного навантаження.

Масштабування системи. Розроблену архітектуру можна адаптувати для інших насосних станцій водопостачання чи споріднених технологічних процесів, таких як водовідведення або зрошення.

Розширення функціоналу SCADA-системи. Доцільно інтегрувати функції прогнозування аварійних ситуацій та оптимізації графіків роботи насосного обладнання

Навчання персоналу. Для забезпечення ефективного використання системи рекомендується проведення навчальних програм для операторів і технічного персоналу.

Моніторинг та аналіз даних. Регулярне оновлення архівних даних і їхній аналіз допоможуть виявляти тенденції у роботі насосних станцій, що сприятиме прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

Результати магістерської роботи мають високу практичну значущість і можуть бути використані для впровадження сучасних систем автоматизації, які сприятимуть підвищенню ефективності та надійності насосних станцій водопостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іванченко В.В., Чорний С.А., Михайленко О.М. Автоматизовані системи управління насосними станціями. Київ: Техніка. 2010. 268 с.
2. Mays, L. W. Water Resources Engineering. John Wiley & Sons. Tempe, Arizona, 2011 // p. 101-117
3. Node-RED: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Node-RED>
4. Parker, D., & Rani, S. (2012). Control and Automation of Water Supply Systems. // p. 25-31
5. Boyer, S. A. (2016). SCADA: Supervisory control and data acquisition. ISA. // p. 51-65
6. Ткаченко, В. В. Дослідження методів частотного керування асинхронним двигуном. Харківський Національний Університет Радіоелектроніки. 2017, с. 23-27
7. Гриценко К.Г. Автоматизоване енергозберігаюче управління насосною станцією системи водопостачання : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.07. Донецьк. 2002. 141 с.
8. Шулік П.В. Стохастичні моделі і методи оперативного управління режимами роботи насосних станцій систем водопостачання і водовідведення в реальному часі : дис. канд. техн. наук : 01.05.04. Харків, 2003.
9. Сердюк, А.А., Коренькова Т.В. Особливості моделей водопровідних насосних комплексів. Вісник КДПУ. 2007. № 4. С. 143–147.
10. Reducing energy consumption and leakage by active pressure control in a water supply system / Bakker M., Rajewicz T., Kien H., Rietveld L.C. ICEAM2013: International Conference of Economics and Asset Management «Asset Management for Enhancing Energy Efficiency in Water and Wastewater Systems» Marbella 2013. P.8
11. Автоматизована система керування насосною станцією водопостачання / О.В. Бондаренко, В.В. Гунько, О.О.Зайцев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ».-2014.-№72(1076).- С. 110-114

12. Бондар С.Г., Бакай В.Г., Жданов А.П. Автоматика насосних станцій і систем водопостачання. Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. 240 с.
13. Кикачейшвілі Г.Е. Методологія оптимізації систем подачі та розподілу води: дис. ...канд. тех. наук: 05.13.05. Тбілісі, 2012. 218 с.
14. Гулевич О.І., Марущак П.О., Білодід І.Ю. Автоматизовані системи управління водопостачанням і водовідведенням. Київ: НТУ "КПІ", 2005. 216 с.
15. Бур'ян С.О. Підвищення енергоефективності електромеханічної системи автоматичного керування послідовно з'єднаними насосами водопостачання. Наукові праці ДНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика». Донецьк : ДНТУ, 2013. №(14)'2013. С. 47-52.
16. Pupenasan. Node-RED Guide (UKR). URL: <https://pupenasan.github.io/NodeREDGuidUKR/>
17. Node-RED. Офіційний сайт. URL: <https://nodered.org/>
18. Node-RED table. URL: <https://flows.nodered.org/node/node-red-node-ui-table>
19. Node-RED MySQL. URL: <https://flows.nodered.org/node/node-red-node-mysql>
20. Node-RED Dashboard. URL: <https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard>
21. Modicon M241 Logic Controller. URL: <https://iportal2.schneider-electric.com/Contents/docs/MODICON%20M241%20LOGIC%20CONTROLLER%20USER%20GUIDE.PDF>
22. MATLAB. URL: https://cions.kpi.ua/Arhiv/Lazarev/dovidnyk_Matlab.pdf
23. Node-RED Modbus. URL: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-modbus>
24. Node-RED Modbus github. URL: <https://pupenasan.github.io/NodeREDGuidUKR/modbus/>
25. Сидоренко В.В., Буравченко К.О. Аналіз причин коливання тиску у системах водопостачання з метою їх мінімізації : зб. наукових праць. Національний

університет кораблебудування імені адмірала Макарова. 2015. № 28 (460). С. 113-117.

26. Simulink. MathWorks. URL: https://www.mathworks.com/help/releases/R2022b/simulink/index.html?searchHighlight=simulink&s_tid=doc_srchtile

27. Надійність та якість процесів регулювання сучасних систем газопостачання: монографія / В.С. Седак и др. Х.:ХНАГХ, 2011, 226с.

28. Маринич І. А., Тронь В. В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2022. 50с.

29. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

30. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

31. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація)

32. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).