ПІВМІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт

першого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему: «Проект автоматизації питного водопостачання. Система автоматичного частотного регулювання тиску в системі водопостачання»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 6.1743-с2
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
С.В. Фомінов
(ініціали та прізвище)
Керівник професор кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем, професор, доктор технічних наук Пазюк М.Ю.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно- інтегровані технології та робототехніка
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва)
Спеціалізація
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Д.М. Морозов
"____" _____2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ
Фомінову Сергію Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батьков)

1. Тема роботи (проєкту) Проект автоматизації питного водопостачання. Система автоматичного частотного регулювання тиску в системі водопостачання
Керівник роботи Пазюк Михайло Юрійович, доктор технічних наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року №1833-С
2. Строк подання студентом роботи «01» червня 2026 року
3. Вихідні дані до роботи: дані отримані під час виробничої практики, аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому об'єкті, технічна документація, ДСТУ
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити вивчення особливостей функціонування системи водопостачання; розробка технічного завдання; проектування системи автоматизації; розробка технічної документації; розрахунок надійності системи автоматизації; зведена специфікація на весь комплекс технічних засобів автоматизації; організаційне забезпечення системи автоматизації та розрахунок техніко-економічних показників; техніка безпеки та охорона праці
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) схема інформаційних та матеріальних потоків; функціональна схема автоматизації; принципова електрична схема; принципова електрична схема живлення; монтажно-комутаційна схема щита КВПіА; зовнішній вигляд щита та вид на внутрішнішні панелі; схема зовнішніх з'єднань; прикладна

підпрограма управління техноолгічним процесом для контролера; результати розрахунку порівняльних техніко-економічних показників

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пазюк М.Ю. професор	12.02.2026	23.02.2026
2	Пазюк М.Ю. професор	24.02.2026	10.03.2026
3	Пазюк М.Ю. професор	11.03.2026	20.03.2026
4, 5	Пазюк М.Ю. професор	23.03.2026	27.04.2026
6	Пазюк М.Ю. професор	28.04.2026	04.05.2026
7	Пазюк М.Ю. професор	05.05.2026	15.05.2026
8	Пазюк М.Ю. професор	18.05.2026	22.05.2026

7. Дата видачі завдання _09_ __лютого__ 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючого рівня автоматизації	12.02.2026 19.02.2026	
2	Розробка схеми інформаційних та матеріальних потоків	20.02.2026 23.02.2026	
3	Розробка технічного завдання	24.02.2026 10.03.2026	
4	Вибір та обгрунтування комплексу технічних засобів	11.03.2026 20.03.2026	
5	Проєктування системи автоматичного регулювання тиску в системі водопостачання	23.03.2026 15.04.2026	
6	Розробка технічної документації	16.04.2026 27.04.2026	
7	Розрахунок надійності системи автоматизації	28.04.2026 04.05.2026	
8	Розрахунок техніко-економічних показників	05.05.2026 15.05.2026	
9	Розгляд питань охорони праці та безпеки	18.05.2026 22.05.2026	
10	Розробка презентаційної роботи, проходження нормоконтролю, підготовка доповіді	25.05.2026 29.05.2026	

Студент _____ С.В. Фомінов
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ М.Ю. Пазюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Проєкт автоматизації питного водопостачання. Система автоматичного частотного регулювання тиску в системі водопостачання» викладена на 81 сторінках машинописного тексту, містить 6 рисунків, 40 таблиць та 23 джерел у списку використаної літератури.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка системи автоматизації процесу регулювання тиску в системі водопостачання.

У загальному розділі наведено характеристику технологічного процесу системи водопостачання, детально розглянуто процес регулювання тиску та його конструктивні особливості. Крім того, виконано аналіз сучасного стану автоматизації на діючому виробництві.

У спеціальній частині розроблено схему інформаційних і матеріальних потоків, функціональну схему автоматизації насосної станції, принципову електричну схему, монтажно-комутаційну схему та схему зовнішніх з’єднань. Також спроєктовано щит КВПіА, обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації та проведено оцінку надійності системи автоматичного регулювання.

У розділі з охорони праці наведено аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, а також запропоновано комплекс заходів, спрямованих на їх зниження та забезпечення безпечних умов праці.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, НАСОСНА СТАНЦІЯ, РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ, ВОДОПОСТАЧАННЯ, ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА, КОНТУР УПРАВЛІННЯ, ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ЩИТ, ПРОЄКТ

ЗМІСТ

ВСТУП 7

1. ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АГРЕГАТІВ. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ 9

1.1 Насосна станція і алгоритм її роботи 9

1.2 Етапи процесу водопостачання 11

1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації системи водопостачання на діючому виробництві 13

1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків 15

1.5 Стан рівня автоматизації на аналогічних об’єктах підприємств України та зарубіжжя 18

1.6 Недоліки існуючої системи управління 22

2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ 24

2.1 Вимоги до системи в цілому 24

2.2 Вимоги до функцій (задач), які виконує система 25

2.3 Вимоги до видів забезпечення 25

3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 27

3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА 27

3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру 28

3.3 Вибір математичної моделі системи управління 31

3.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижчого рівня СА 35

3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої, вторинні прилади ... 35

3.4.2 Промислові контролери 47

3.4.3 Виконавчі механізми та регулюючі органи 51

4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ 59

4.1 Функціональна схема автоматизації 59
4.2 Принципова електрична схема 61
4.3 Принципова електрична схема живлення 61
4.4 Монтажна комутаційна схема щита КВПіА 62
4.5 Зовнішній вигляд щита (шафи) та вид на внутрішні панелі 62
4.6 Схема зовнішніх з'єднань 63
5. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 64
6. ЗАМОВНА СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕСЬ КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 66
7. ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ 67
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації 67
7.2 Розрахунок техніко-економічних показників 69
7.2.1 Розрахунок капітальних втрат на створення АСУ 69
7.2.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування АСУ 71
7.2.3 Ефект від впровадження АСУ 72
8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ 74
ВИСНОВОК 78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 79
ДОДАТКИ 81

ВСТУП

Системи водопостачання та водовідведення, збудовані переважно у 70–80-х роках XX століття, нині характеризуються значними втратами води, підвищеним енергоспоживанням і суттєвим фізичним зносом інфраструктури. Такі проблеми є типовими для більшості підприємств України, що здійснюють діяльність у сфері водопостачання та водовідведення. Вони спричиняють не лише неефективне використання природних ресурсів — зокрема питної води та електроенергії, — а й призводять до зайвих фінансових витрат.

Метою даного проєкту є розроблення автоматизованої системи управління (АСУ) пунктом розподілу питної води дільниці житлового мікрорайону та насосною станцією системи водопостачання. Реалізація такого рішення дозволить підвищити якість обслуговування споживачів, скоротити енергетичні витрати та подовжити термін експлуатації об’єктів водопровідно-комунального господарства.

Особливості функціонування водорозподільних споруд визначаються рядом факторів. Передусім це робота в умовах постійно змінних навантажень за витратою води та величиною напору. Крім того, режим роботи значною мірою залежить від якості вихідної природної води. Важливим аспектом є і географічне розташування об’єктів: за наявності декількох станцій, що обслуговують систему, виникає потреба в централізованій координації їхньої роботи.

Окремо слід враховувати необхідність підвищення продуктивності систем водопостачання у зв’язку зі зростанням міст і збільшенням обсягів водоспоживання. Не менш важливим є забезпечення економічно доцільного режиму роботи насосних агрегатів, які належать до найбільших споживачів електроенергії в системі.

Електропривід є енергосиловою основою сучасного виробництва, адже завдяки простоті конструкції та відносно невисокій вартості він набув широкого застосування в різноманітних технологічних механізмах. Найбільш

поширеними є електроприводи з асинхронними короткозамкненими двигунами. Типовим прикладом їх використання є насосні станції холодного й гарячого водопостачання, каналізаційні насосні станції, а також системи теплопостачання.

Разом із тим у ряді випадків досі застосовуються нерегульовані електроприводи, що унеможливлює забезпечення раціонального режиму енергоспоживання. Обладнання, підібране з урахуванням максимальної продуктивності, значну частину часу функціонує з меншим навантаженням, оскільки потреба в ресурсах змінюється залежно від періоду доби чи сезону. Це призводить до неефективного використання електроенергії та перевитрат ресурсів.

У сфері комунального водопостачання варто зазначити, що фактичні режими роботи обладнання часто не відповідають оптимальним з точки зору енергоспоживання. Впровадження автоматизованої системи управління технологічним процесом дозволяє змінити характер і організацію праці, підвищити рівень безпеки та професійної підготовки персоналу, а також забезпечити більш ефективне використання енергетичних ресурсів без зниження продуктивності системи.

1. ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АГРЕГАТІВ. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Насосна станція і алгоритм її роботи

Насосна станція є важливим елементом системи питного водопостачання і призначена для забезпечення необхідного тиску та подачі води споживачам. Основним завданням насосної станції є підтримання стабільного тиску в трубопровідній мережі незалежно від змін витрати води, що виникають у процесі споживання.

До складу насосної станції, як правило, входять:

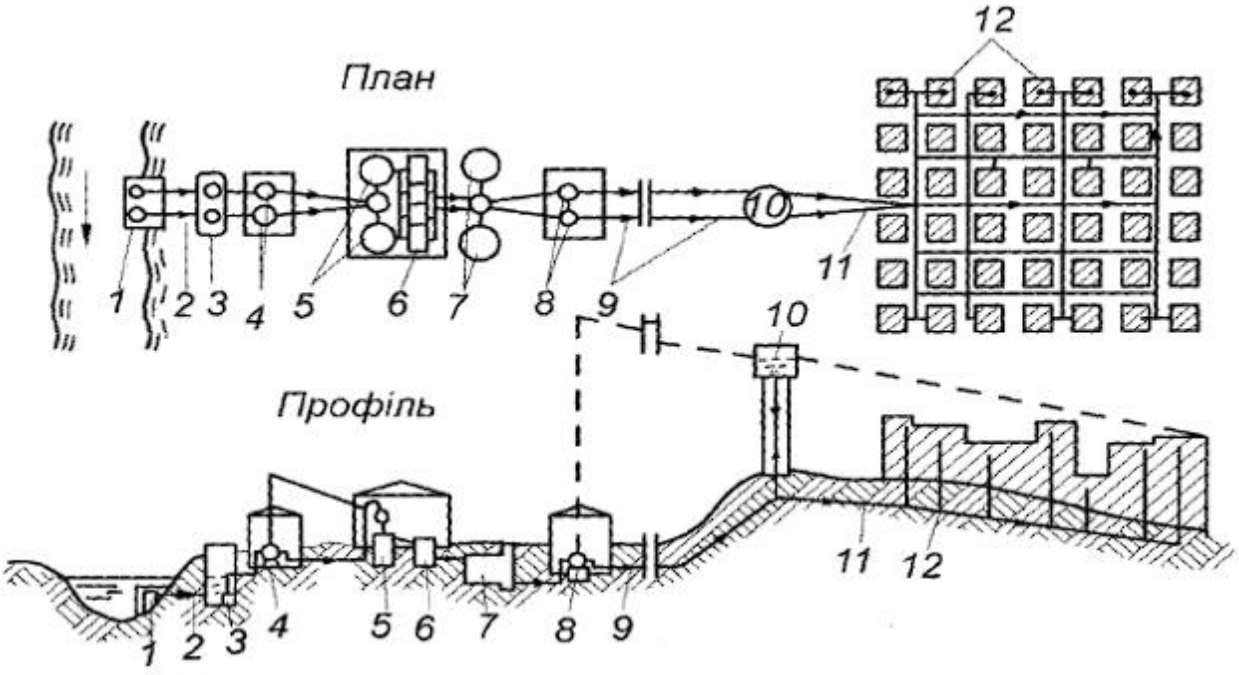
- насосні агрегати;
- електродвигуни насосів;
- частотні перетворювачі для регулювання швидкості обертання двигунів;
- датчики тиску;
- шафа керування (щит КВПіА);
- трубопровідна арматура (засувки, зворотні клапани);
- система автоматики та захисту.

У сучасних системах водопостачання для керування роботою насосів широко застосовується частотне регулювання. Використання частотних перетворювачів дозволяє плавно змінювати швидкість обертання електродвигуна насоса, що забезпечує підтримання заданого тиску в системі та зменшує енергоспоживання.

Принцип роботи насосної станції базується на безперервному контролі тиску у водопровідній мережі. Для цього на трубопроводі встановлюється датчик тиску, який передає сигнал до системи керування. Сигнал обробляється контролером або частотним перетворювачем, після чого формується керуючий вплив на електродвигун насоса.

Схема водопроводу населеного пункту залежить від виду джерела водо забезпечення.

На рисунку 1.1 приведена найбільш поширена схема водо забезпечення населеного пункту із забором води із річки.



1 – водоприймач; 2 – самотічна труба; 3 – береговий колодязь; 4 – насоси станції першого підйому; 5 – відстійники; 6 – фільтри; 7 – запасні резервуари чистої води; 8 – насоси станції другого підйому; 9 – водоводи; 10 – водонапірна башта; 11 – магістральні трубопроводи; 12 – розподільчі трубопроводи.

Рисунок 1.1 – Схема водопостачання населеного пункту

Річна вода поступає на водозабір із якого насосами станції першого подається на очисні споруди. Очищена і знезаражена вода подається в резервуари чистої води, звідки насосами станції другого підйому в магістральний водопровід. З магістрального водопроводу вода постачається в водопровідну систему населеного пункту, окремих районів, кварталів, будинків.

На території населеного пункту (за звичай на горбі) будується водонапірна башта, яка, як і резервуари чистої води, служить для зберігання і акумуляції запасів води. Необхідність спорудження башти пояснюється наступними обставинами. Витрати води із водопровідної системи на протязі доби коливається в значній мірі, в той час як подача води в водопровід станцією другого підйому постійна. В ті години коли витрати води з

водопроводу найменші, вода подається в водонапірну башту, а коли найбільші (не достатньо напору насосів другого підйому) різниця компенсується з водонапірної башти. Водонапірна башта розташована в протилежній стороні від насосної станції в іншому кінці міста називається контр-резервуаром. При наявності біля населеного пункту пагорба, замість водонапірної башти будують надземний водонапірний резервуар.

При використанні в якості джерела водопостачання підземних вод, схема водопостачання значно спрощується. В цьому разі очисні споруди не потрібні, так як підземні води не потребують очищення. В деяких випадках не споруджують резервуарів чистої води і насосної станції другого підйому, так як в водопровідну систему вода може подаватися прямо насосами із свердловин.

Іноді населений пункт може забезпечуватися водою із двох, або більше джерел. Тоді використовується система з двостороннім або багатостороннім споживанням.

Якщо джерело водо-забезпечення знаходиться на значній висоті відносно населеного пункту, то можлива подача води гравітаційним методом (самопливом).

1.2 Етапи процесу водопостачання

Технологічний процес подачі води є багаторівневою, безперервною та технічно складною системою, що об’єднує природні джерела водопостачання, сучасні інженерні споруди, очисне обладнання та автоматизовані системи управління. Його основна мета — забезпечити стабільне, якісне та безпечне водопостачання для населення, об’єктів соціальної інфраструктури та підприємств міста.

Подача води розпочинається з водозабору. Основним джерелом є річка Дніпро, з якої здійснюється поверхневий забір води через спеціально обладнані водозабірні споруди. У певних районах додатково

використовуються артезіанські свердловини, що дозволяє дотримуватися режиму резервного постачання та зменшувати навантаження на головне джерело у пікові періоди. Усі водозабірні вузли обладнані механічними решітками для затримання великих фракцій сміття та біологічного забруднення, а також сенсорами контролю первинної якості води — температури, мутності, вмісту заліза, марганцю, кисню тощо.

Після забору вода подається на водоочисні станції, де відбувається її повна підготовка до споживання. На сучасних станціях у Запоріжжі застосовуються технології коагуляції та флокуляції — додавання реагентів, які спричиняють злипання та осадження дрібних частинок у вигляді пластівців. Потім вода проходить через фільтрувальні установки, які можуть бути як звичайними піщаними фільтрами, так і вугільними або комбінованими.

Особливу роль у системі очищення відіграє знезараження: тут використовується гіпохлорит натрію як основний дезінфекційний агент, а також впроваджуються ультрафіолетові установки для додаткового очищення. Кожен етап контролюється системами автоматичного дозування, що забезпечує точність та стабільність процесу. Також функціонують лабораторії підприємства, які здійснюють щоденний контроль якості води за фізико-хімічними та мікробіологічними показниками.

Очищена вода транспортується до споживачів через багаторівневу систему насосних станцій. На насосних станціях першого підйому вода перекачується із джерела на очисні споруди, після чого насосні станції другого підйому забезпечують подачу в магістральні трубопроводи водогону. Для подолання перепадів висот, особливо у багатоповерховій забудові міста, система подачі доповнена додатковими підкачувальними станціями, які регулюють тиск у трубопроводах. Обладнання на насосних станціях оснащене частотними перетворювачами, що дозволяє регулювати подачу води відповідно до фактичного споживання, знижуючи енергетичні витрати та навантаження на мережу.

Ключовою особливістю запорізької водопровідної мережі є наявність великого обсягу підземних та наземних резервуарів чистої води. Ці ємності служать для добового накопичення запасу, що гарантує безперебійність постачання навіть у разі аварій, енергетичних обмежень або пікового навантаження. Встановлені датчики рівня, тиску та якості води дозволяють контролювати параметри в реальному часі. Всі резервуари періодично промиваються, проходять технічне обслуговування та мають резервні лінії підключення.

Мережа подачі води включає магістральні трубопроводи великого діаметру, що розгалужуються на розподільчі трубопроводи житлових кварталів. Усі основні вузли обліку, регулятори тиску та засувки підключені до диспетчерської системи підприємства. У місті реалізовано елементи "розумного" водопостачання: встановлено прилади телеметрії, що передають інформацію про витрати, тиск, аварії, втрати води на центральний пульт управління. Завдяки цьому у разі витоків або несанкціонованого відбору система може оперативно локалізувати проблему та скерувати аварійну бригаду.

1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації системи водопостачання на діючому виробництві

Система централізованого водопостачання міста Запоріжжя є складним інженерно-технічним комплексом, що включає водозабірні споруди, насосні станції, резервуари чистої води, магістральні та розподільчі водопровідні мережі, а також систему диспетчерського керування. Експлуатацію та обслуговування цих об’єктів здійснює комунальне підприємство КП «Водоканал», яке забезпечує подачу питної води споживачам та підтримує належний технічний стан мереж.

До складу системи водопостачання підприємства входить значна кількість насосних станцій та інших технологічних споруд, робота яких

здійснюється у безперервному цілодобовому режимі. Насосні агрегати забезпечують транспортування води по магістральних трубопроводах і підтримання необхідного тиску в мережі. Частина обладнання була модернізована в межах інвестиційних програм підприємства, що передбачали заміну насосних агрегатів та впровадження сучасних станцій керування.

Технічні засоби автоматизації

На більшості насосних станцій підприємства використовується локальна автоматизація технологічних процесів, яка включає:

- датчики тиску, рівня та витрати води;
- електродвигуни насосних агрегатів;
- пускорегулювальну апаратуру;
- локальні шафи керування;
- системи сигналізації та захисту обладнання.

Система автоматизації дозволяє здійснювати контроль основних технологічних параметрів, таких як тиск у трубопроводах, рівень води в резервуарах та режим роботи насосних агрегатів. Частина насосних станцій оснащена частотними перетворювачами, що дає змогу регулювати продуктивність насосів залежно від споживання води та підтримувати необхідний тиск у мережі.

Диспетчеризація та контроль

Керування технологічним процесом водопостачання здійснюється через диспетчерські служби підприємства. Диспетчер отримує інформацію про стан обладнання та параметри роботи системи, а також може оперативно реагувати на аварійні ситуації, пов’язані з пошкодженням трубопроводів або виходом з ладу обладнання.

Разом з тим, рівень централізованої автоматизації та інтеграції систем керування на окремих об’єктах залишається обмеженим. Частина насосних станцій працює з використанням застарілого електромеханічного обладнання, що потребує модернізації або заміни.

1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків

Управління технологічним процесом водопостачання є складним інформаційно-керуючим процесом, який забезпечує стабільне функціонування матеріального потоку води від джерела водозабору до споживачів. Для забезпечення надійної роботи системи водопостачання необхідно постійно отримувати інформацію про стан обладнання, параметри технологічного процесу та оперативно формувати керуючі дії. Саме тому система автоматизації повинна забезпечувати безперервний обмін інформацією між датчиками, контролерами, виконавчими механізмами та оператором.

Інформаційне забезпечення автоматизованої системи керування охоплює повний цикл роботи з даними: збір інформації, її обробку, передачу, зберігання та формування керуючих сигналів для впливу на технологічний процес. Ефективність управління значною мірою залежить від точності вимірювання технологічних параметрів, швидкості обробки сигналів та надійності передачі інформації між елементами системи.

З точки зору автоматизованих систем керування інформаційні потоки поділяються на вхідні, проміжні та вихідні.

Вхідна інформація надходить від первинних вимірювальних приладів, встановлених на технологічному обладнанні насосної станції. До таких параметрів належать:

- тиск води у трубопроводах;
- витрата води;
- рівень води у резервуарах;
- стан насосних агрегатів;
- електричні параметри електродвигунів.

Ці сигнали передаються від датчиків до контролера системи автоматизації, де відбувається їх подальша обробка.

Проміжна інформація формується у процесі аналізу отриманих сигналів системою керування. Контролер виконує обробку даних, порівнює фактичні значення параметрів із заданими та визначає необхідні керуючі дії для підтримання стабільного режиму роботи системи водопостачання.

Вихідна інформація представляє собою керуючі сигнали, які формуються контролером і передаються до виконавчих механізмів. До них належать команди на запуск або зупинку насосів, зміна частоти обертання електродвигунів через частотні перетворювачі, а також керування подачею реагентів у процесі підготовки води.

Матеріальні потоки у системі водопостачання представлені потоками води, електроенергії та допоміжних реагентів. Основним джерелом води є природне джерело водозабору, зокрема річка. Вода подається на станцію попереднього очищення, де відбувається її механічна підготовка та осадження домішок у відстійниках. Для покращення процесу очищення використовується коагулянт, який подається дозатором у необхідній кількості.

Після попереднього очищення вода проходить через систему мікрофільтрів, де відбувається її додаткове очищення. На наступному етапі здійснюється знезараження води шляхом дозування хлору. Після цього вода надходить до насосної станції, де за допомогою насосних агрегатів забезпечується її транспортування до споживачів через водопровідну мережу.

Робота насосних агрегатів регулюється за допомогою перетворювачів частоти, що дозволяє змінювати швидкість обертання електродвигунів і підтримувати необхідний тиск у системі водопостачання. Електроенергія для живлення обладнання надходить від трансформаторної підстанції.

Важливу роль у функціонуванні системи відіграє контролер або ЕОМ, який виконує обробку інформації та формує керуючі сигнали для обладнання. Система автоматизації забезпечує обмін даними між датчиками, контролером та оператором, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг технологічного процесу та своєчасно реагувати на відхилення від заданих режимів роботи.

Схема інформаційних і матеріальних потоків подана на рисунку 1.2.

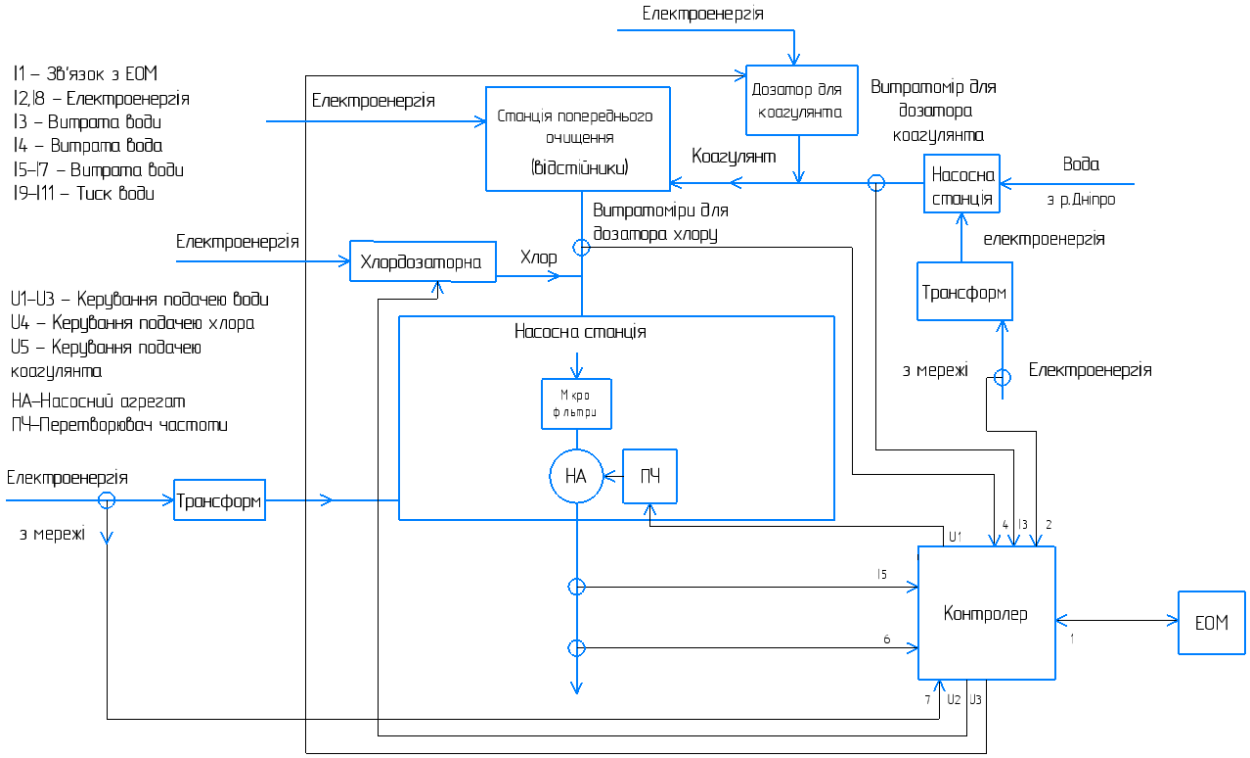


Рисунок 1.2 – Схема інформаційних і матеріальних потоків

У загальному вигляді матеріальні потоки у системі водопостачання включають:

- потік сирої води від джерела водозабору;
- потік води після очищення;
- подачу реагентів (коагулянт, хлор);
- електроенергію для живлення обладнання.

Інформаційні потоки включають:

- сигнали від датчиків тиску, витрати та рівня;
- інформацію про стан насосних агрегатів;
- сигнали керування насосами та дозаторами реагентів;
- передачу інформації до системи диспетчерського контролю.

Таким чином, схема матеріальних та інформаційних потоків відображає взаємозв’язок між технологічним обладнанням, системою автоматичного керування та оператором. Її розробка дозволяє визначити основні джерела

інформації, канали передачі сигналів та виконавчі механізми, що забезпечують стабільну та ефективну роботу системи водопостачання.

1.5 Стан рівня автоматизації на аналогічних об’єктах підприємств України та зарубіжжя

На сучасному етапі розвитку комунального господарства автоматизація систем водопостачання є одним із ключових напрямів підвищення ефективності роботи підприємств. Насосні станції, водозабірні споруди, резервуари чистої води та розподільчі мережі у багатьох країнах оснащуються сучасними автоматизованими системами керування, що дозволяє забезпечити стабільну подачу води, зменшити енергоспоживання та підвищити надійність роботи обладнання.

У більшості сучасних систем водопостачання автоматизація базується на використанні програмованих логічних контролерів (PLC), частотних перетворювачів, датчиків технологічних параметрів, систем диспетчерського керування (SCADA) та засобів дистанційного зв’язку. Такі системи забезпечують збір інформації про технологічний процес, обробку даних і передачу сигналів керування до виконавчих механізмів.

Автоматизовані системи керування водопостачанням дозволяють контролювати основні технологічні параметри: тиск, витрату, рівень води у резервуарах, стан насосних агрегатів, енергоспоживання обладнання. Крім того, оператори можуть дистанційно керувати роботою насосів, змінювати режими роботи системи та отримувати повідомлення про аварійні ситуації.

Автоматизація систем водопостачання на підприємствах України

В Україні автоматизація об’єктів водопостачання активно впроваджується на водоканалах великих міст. Найчастіше модернізація стосується насосних станцій другого та третього підйому, де застосовуються частотні перетворювачі для регулювання швидкості обертання насосів та підтримання стабільного тиску в мережі.

Сучасні автоматизовані насосні станції дозволяють працювати у повністю автоматичному режимі. Контролери здійснюють запуск та зупинку насосів залежно від рівня води, тиску або витрати, а також забезпечують захист обладнання від аварійних режимів роботи.

На багатьох підприємствах впроваджуються системи диспетчеризації, які об’єднують декілька насосних станцій у єдину систему управління. Такі системи дозволяють оператору контролювати роботу обладнання з центрального диспетчерського пункту, отримувати дані про стан насосів, тиск у трубопроводах та інші параметри технологічного процесу.

У рамках модернізації водоканалів України застосовуються такі технічні засоби автоматизації:

- програмовані логічні контролери (Siemens, Schneider Electric та ін.);
- частотні перетворювачі для регулювання швидкості насосів;
- датчики тиску, витрати та рівня;
- операторські панелі (HMI);
- системи диспетчерського керування SCADA.

Впровадження таких систем дозволяє значно підвищити ефективність роботи насосних станцій, зменшити енергоспоживання та забезпечити стабільну роботу системи водопостачання.

Перелік основних функцій автоматизованих систем водопостачання на підприємствах України наведений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні функції автоматизованих систем водопостачання на підприємствах України

Функція системи	Опис
Контроль технологічних параметрів	Вимірювання тиску, рівня, витрати та температури
Автоматичне керування насосами	Запуск і зупинка насосів залежно від параметрів системи
Частотне регулювання	Плавна зміна швидкості обертання електродвигунів насосів

Функція системи	Опис
Система аварійного захисту	Захист від перевантаження, сухого ходу та аварійних режимів
Диспетчеризація	Передача інформації до центрального диспетчерського пункту

Автоматизація систем водопостачання у зарубіжних країнах

У розвинених країнах автоматизація систем водопостачання знаходиться на більш високому рівні. Більшість підприємств використовує інтегровані системи управління водопостачанням, які об’єднують водозабірні станції, насосні станції, резервуари та розподільчі мережі в єдину інформаційну систему.

У таких системах широко застосовуються SCADA-системи, які забезпечують централізований контроль та керування всіма об’єктами водопровідної мережі. SCADA дозволяє здійснювати:

- дистанційний контроль параметрів технологічного процесу;
- управління насосними агрегатами;
- збір і архівування даних;
- аналіз роботи системи;
- формування звітів і сигналів аварій.

Наприклад, у сучасних системах водопостачання насосні станції можуть працювати під керуванням PLC-контролерів, які передають інформацію до центральної SCADA-системи через радіоканали або мережу Інтернет. Оператор може в режимі реального часу отримувати дані про стан насосів, витрату води, рівень резервуарів та інші параметри.

Крім того, у багатьох країнах активно впроваджуються інтелектуальні системи управління водними мережами, що використовують сучасні інформаційні технології, хмарні сервіси та аналітичні алгоритми для оптимізації режимів роботи обладнання.

Перелік технічних засобів автоматизації, що використовуються у зарубіжних системах водопостачання наведений в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні засоби автоматизації, що використовуються у зарубіжних системах водопостачання

Засіб автоматизації	Призначення
PLC-контролери	Автоматичне керування технологічними процесами
SCADA-системи	Централізований контроль та диспетчеризація
Частотні перетворювачі	Регулювання продуктивності насосів
Датчики технологічних параметрів	Вимірювання тиску, витрати, рівня
Системи дистанційного зв’язку	Передача даних між об’єктами системи

Порівняльна характеристика рівня автоматизації систем водопостачання України і зарубіжжя наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняння рівня автоматизації систем водопостачання

Показник	Україна	Зарубіжні країни
Рівень автоматизації	Часткова автоматизація	Високий рівень автоматизації
Використання SCADA	На окремих об’єктах	Практично на всіх об’єктах
Частотне регулювання насосів	Поступово впроваджується	Широко використовується
Диспетчеризація	Частково централізована	Повністю централізована
Інтелектуальні системи	Рідко застосовуються	Активно впроваджуються

Аналіз рівня автоматизації систем водопостачання на підприємствах України та зарубіжжя показує, що сучасні системи управління базуються на використанні програмованих логічних контролерів, частотних перетворювачів та SCADA-систем. В Україні впровадження таких технологій поступово розширюється, однак значна частина обладнання ще потребує модернізації.

У зарубіжних країнах системи водопостачання характеризуються більш високим рівнем автоматизації, централізованим диспетчерським керуванням

та використанням інтелектуальних систем моніторингу. Тому подальший розвиток автоматизації на підприємствах водопостачання України повинен бути спрямований на впровадження сучасних систем керування, що дозволить підвищити енергоефективність, надійність та стабільність роботи системи водопостачання.

1.6 Недоліки існуючої системи управління

Незважаючи на те, що на підприємствах водопостачання впроваджені окремі елементи автоматизації, існуюча система управління має ряд суттєвих недоліків, які знижують ефективність роботи насосних станцій та всієї системи водопостачання в цілому.

Одним із основних недоліків є використання застарілого технологічного обладнання та систем керування. Значна частина насосних агрегатів і електротехнічного обладнання експлуатується протягом тривалого часу, що призводить до зниження їх надійності, підвищення ймовірності відмов та збільшення витрат на технічне обслуговування і ремонт.

Ще одним суттєвим недоліком є недостатній рівень автоматизації процесу регулювання тиску в системі водопостачання. У багатьох випадках керування роботою насосів здійснюється за допомогою простих схем пуску та зупинки, без плавного регулювання продуктивності. Це призводить до коливань тиску в мережі та нерівномірної роботи обладнання.

Також важливою проблемою є високе енергоспоживання насосних агрегатів. При відсутності частотного регулювання електродвигуни насосів працюють у номінальному режимі незалежно від фактичної потреби у воді. У періоди зниженого водоспоживання це призводить до перевитрат електроенергії та зниження економічної ефективності роботи підприємства.

Суттєвим недоліком існуючої системи є обмежені можливості централізованого диспетчерського контролю. Частина технологічних параметрів контролюється лише на місці встановлення обладнання, що

ускладнює оперативне реагування на зміну режимів роботи системи або виникнення аварійних ситуацій.

Крім того, у системі управління спостерігається недостатня кількість сучасних засобів вимірювання технологічних параметрів, таких як тиск, витрата та рівень води. Це знижує точність контролю та регулювання процесів водопостачання.

Також слід відзначити підвищений знос трубопровідної мережі, що призводить до втрат води та зниження стабільності гідравлічних режимів. Через це насосне обладнання працює з підвищеним навантаженням, що негативно впливає на його довговічність.

Таким чином, наявні недоліки існуючої системи управління обумовлюють необхідність подальшої модернізації системи автоматизації насосних станцій. Впровадження сучасних засобів автоматичного керування, зокрема систем частотного регулювання насосних агрегатів, дозволить підвищити енергоефективність, надійність та стабільність роботи системи водопостачання.

2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Вимоги до системи в цілому

Розроблювана система автоматичного частотного регулювання тиску в системі питного водопостачання призначена для забезпечення стабільної, безпечної та енергоефективної роботи насосної станції. Основним призначенням системи є підтримання необхідного тиску у водопровідній мережі незалежно від зміни режимів водоспоживання та умов роботи насосного обладнання. Система повинна забезпечувати безперервне функціонування технологічного процесу, високу точність регулювання та мінімізацію впливу людського фактору на процес керування.

У сучасних системах водопостачання важливим завданням є підтримання стабільного тиску у трубопроводах, оскільки його коливання можуть призводити до порушення роботи мережі, пошкодження трубопроводів, збільшення витрат електроенергії та зниження ресурсу насосного обладнання. Для вирішення цього завдання у проєкті передбачається використання частотного перетворювача Schneider Electric Altivar Process ATV960, який забезпечує плавне регулювання швидкості обертання насосних агрегатів відповідно до поточного навантаження системи.

Система повинна працювати у цілодобовому режимі та забезпечувати надійність функціонування навіть при зміні технологічних параметрів або виникненні аварійних ситуацій. Особлива увага приділяється стійкості до перепадів напруги, електромагнітних завад, підвищеної вологості, температурних коливань і вібрацій, що виникають під час роботи насосів. Усі технічні засоби системи повинні відповідати вимогам промислової експлуатації та мати необхідний рівень захисту.

Система автоматизації повинна забезпечувати можливість роботи як в автоматичному, так і в ручному режимі. Основним є автоматичний режим, у якому підтримання заданого тиску здійснюється без участі оператора. Ручний

режим використовується під час налагодження, технічного обслуговування або аварійних ситуацій.

2.2 Вимоги до функцій (задач), які виконує система

Система автоматичного регулювання тиску повинна забезпечувати контроль, керування, регулювання, сигналізацію, захист та диспетчеризацію технологічного процесу водопостачання. Основною функцією системи є підтримання стабільного тиску у водопровідній мережі незалежно від змін витрати води та режимів роботи насосного обладнання.

Для реалізації цієї функції система отримує сигнали від датчиків тиску, встановлених у трубопроводах насосної станції. На основі отриманих даних контролер формує керуючі сигнали для частотного перетворювача Schneider Electric Altivar Process ATV960, який змінює швидкість обертання електродвигунів насосів та забезпечує автоматичне підтримання заданого тиску. Система також повинна контролювати витрату води, рівень у резервуарах, температуру обладнання, стан насосів, а також показники якості води — рівень pH і концентрацію залишкового хлору. Це дозволяє своєчасно виявляти відхилення та запобігати аварійним ситуаціям.

Передбачається автоматичний пуск і зупинка насосів залежно від режиму водоспоживання, а також автоматичне підключення резервного насоса у разі відмови основного обладнання або збільшення навантаження.

2.3 Вимоги до видів забезпечення

Для забезпечення ефективного функціонування системи автоматичного регулювання тиску необхідно передбачити комплекс видів забезпечення (показані в таблиці 2.1), до яких належать технічне, програмне, інформаційне, метрологічне, математичне, організаційне та експлуатаційне забезпечення. Усі

ці складові повинні працювати у взаємозв’язку та забезпечувати стабільну роботу системи водопостачання в умовах промислової експлуатації.

Таблиця 2.1 – Види забезпечення системи автоматизації

Вид забезпечення	Призначення
Технічне	Реалізація функцій контролю та керування
Програмне	Виконання алгоритмів автоматичного регулювання
Інформаційне	Передача та обробка технологічних даних
Метрологічне	Забезпечення точності вимірювань
Математичне	Реалізація алгоритмів ПІД-регулювання
Організаційне	Регламентація роботи персоналу
Експлуатаційне	Технічне обслуговування системи

3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір та обґрунтування функціональної структури СА

Функціонально автоматизована система керування системою водопостачання на нижньому рівні управління поділяється на кілька підсистем. До них належать підсистеми керування насосними агрегатами та клапанними пристроями, а також підсистеми, що забезпечують контроль стану водопостачального обладнання та формування законів керування тиском у мережі.

Підсистеми контролю та керування виконують низку важливих функцій. Насамперед вони забезпечують збір інформації про стан обладнання та передачу цих даних до автоматизованої системи управління. До такої інформації належать дані про:

- стан насосних агрегатів та клапанної апаратури;
- роботу систем автоматики насосів та регулювальних пристроїв;
- спрацювання захистів, аварійних сигналізацій і блокувань.

Також здійснюється контроль комутаційної апаратури, розміщеної на постах місцевого керування та операторських панелях.

Окрім збору інформації, система приймає керуючі сигнали та забезпечує управління насосами, клапанами та пристроями плавного пуску, за допомогою яких регулюється тиск у водопровідній мережі. Одночасно вирішуються локальні завдання керування допоміжними підсистемами та узгоджується робота різних насосних агрегатів та клапанів. Також формується передпускова та аварійна сигналізація, що дозволяє оперативно інформувати персонал про стан обладнання та можливі відхилення тиску.

У комплексі всі підсистеми повинні забезпечувати контроль основних технологічних параметрів водопостачальної системи. До них належать тиск у магістральних трубопроводах, витрати води на вводах і розподільних вузлах, рівень води у резервуарах та напірні характеристики насосних агрегатів.

Контролюється також температура води у трубопроводах, витрати насосів, швидкість подачі води та стабільність тиску у ключових точках мережі.

Окрім контролю параметрів, система автоматизації забезпечує їх регулювання. Зокрема, регулюється тиск у магістральних трубопроводах, рівень води у резервуарах та напір на вводах до споживачів. Важливими параметрами регулювання є оптимальна робота насосних агрегатів, швидкість подачі води та відкриття/закриття клапанів для підтримання стабільного тиску. Окремо здійснюється регулювання тиску у критичних точках мережі для забезпечення надійного водопостачання споживачів.

3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру

Надійна та ефективна робота системи водопостачання безпосередньо залежить від правильного вибору принципів управління основними технологічними параметрами. Оскільки процес водопостачання є динамічним (споживання води постійно змінюється протягом доби), система автоматизації повинна оперативно реагувати на ці зміни та забезпечувати стабільність роботи обладнання.

У даній системі до основних технологічних параметрів, що підлягають контролю та регулюванню, відносяться: тиск у мережі, витрата води, рівень у резервуарах, якість води (дозування реагентів), а також параметри роботи насосного обладнання. Для кожного з них реалізується свій принцип управління, який забезпечує досягнення заданих технологічних режимів.

Управління тиском у системі водопостачання

Тиск є ключовим параметром системи водопостачання, оскільки саме він визначає можливість доставки води до споживачів на необхідну висоту та відстань. Нестабільний тиск може призводити до перебоїв у водопостачанні або навіть до аварійних ситуацій у мережі.

У даній системі реалізується автоматичне регулювання тиску за замкненим принципом (із зворотним зв’язком). Це означає, що значення тиску

постійно вимірюється датчиком і порівнюється із заданим значенням (уставкою).

Якщо фактичний тиск відхиляється від заданого:

- при зниженні тиску система збільшує продуктивність насосів;
- при підвищенні — зменшує.

Регулювання здійснюється за допомогою частотного перетворювача, який змінює швидкість обертання електродвигуна насоса. Такий підхід дозволяє уникнути різких пусків і зупинок, забезпечує плавність регулювання та зменшує знос обладнання.

У більшості випадків застосовується ПІ-регулятор (пропорційно-інтегральний закон), який забезпечує:

- швидке реагування на зміну тиску;
- відсутність статичної похибки;
- стабільність системи без коливань.

Управління рівнем води у резервуарах

Резервуари чистої води виконують функцію накопичення та вирівнювання нерівномірності водоспоживання. Тому контроль рівня води в них є важливим елементом управління системою.

Для цього використовуються датчики рівня, які передають інформацію до системи керування. Залежно від умов застосовується один із двох принципів:

- Двопозиційне (релейне) управління

Насоси вмикаються при досягненні мінімального рівня та вимикаються при досягненні максимального. Це простий і надійний метод, але він може викликати часті пуски обладнання.

- Безперервне (аналогове) регулювання

Продуктивність насосів змінюється плавно залежно від рівня води. Такий підхід є більш сучасним і дозволяє зменшити знос обладнання.

Основні завдання системи:

- підтримання рівня у заданих межах;

- запобігання переповненню резервуарів;
- захист насосів від роботи без води.

Управління дозуванням реагентів

Якість питної води забезпечується за рахунок її очищення та знезараження. Для цього у воду додаються реагенти, зокрема коагулянт та хлор.

Управління дозуванням реагентів здійснюється за принципом пропорційного регулювання — кількість реагенту залежить від витрати води. Система працює таким чином:

- витратомір визначає кількість води, що проходить через систему;
- контролер розраховує необхідну дозу реагенту;
- дозуючий насос подає відповідну кількість речовини.

Це дозволяє:

- забезпечити стабільну якість води;
- уникнути перевитрати реагентів;
- підвищити економічність процесу.

У більш складних системах може додатково враховуватись якість води (наприклад, мутність або залишковий хлор), що дозволяє реалізувати більш точне регулювання.

Управління роботою насосних агрегатів

Насосні агрегати є основними виконавчими механізмами системи, тому їх робота повинна бути чітко скоординована.

У системі реалізуються такі принципи управління:

- Каскадне керування — насоси вмикаються або вимикаються по черзі залежно від навантаження;
- Частотне регулювання — плавна зміна продуктивності одного або декількох насосів;
- Резервування — наявність резервного насоса, який автоматично підключається у разі відмови основного.

Контролер визначає оптимальну кількість працюючих насосів і їх режими, що дозволяє забезпечити:

- рівномірне навантаження обладнання;
- підвищення надійності системи;
- зменшення енергоспоживання.

Управління енергоспоживанням

Оскільки насосні станції є енергоємними об’єктами, важливим завданням є оптимізація споживання електроенергії.

Це досягається за рахунок:

- використання частотних перетворювачів;
- роботи насосів у зоні максимального ККД;
- зменшення кількості пусків двигунів;
- оптимального розподілу навантаження між агрегатами.

Такий підхід дозволяє не лише знизити витрати електроенергії, але й продовжити термін служби обладнання.

3.3 Вибір математичної моделі системи управління

Для побудови моделі системи керування насосною станцією використовується середовище Simulink, що входить до складу програмного комплексу MATLAB. Слід зазначити, що в реальних умовах запуск насосної станції та зміна тиску в мережі споживачів відбуваються не миттєво, а плавно та поступово. Основною метою цього розділу є дослідження роботи станції в критичних режимах і перевірка правильності синтезу регулятора. Аналіз перехідних процесів у системі стабілізації тиску здійснюється на основі спрощеної моделі з урахуванням часової сталої насоса.

У середовищі Simulink розроблено модель насосної установки, яка дає змогу проводити моделювання як з урахуванням обмежень регулятора тиску, так і без них, а також подавати на вхід системи сигнали різного типу.

Структурну схему моделі системи автоматичного керування насосною станцією наведено на рисунку 3.1.

Дослідження системи виконуються для таких режимів роботи — як без обмежень регулятора тиску, так і з їх урахуванням:

- стрибкоподібне прикладання навантаження величиною Мс=0,9·0,707=636,3Н*м;
- плавний пуск від задатчика інтенсивності з одночасним прикладанням навантаження;
- пуск стрибком на холостому ході (Мс=0).

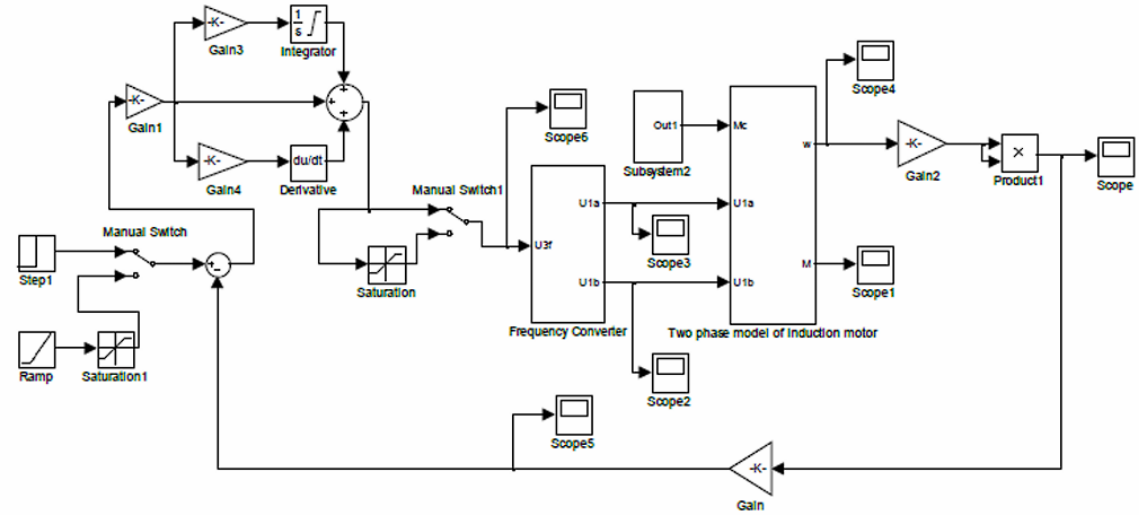


Рисунок 3.1 – Схема моделі САР

У роботі прийнято, що вплив гідромережі на асинхронний двигун враховується у вигляді ступінчастої зміни моменту навантаження Мс. Оскільки параметри гідромережі визначаються її конкретною конфігурацією та зазвичай забезпечують поступове зростання навантажувального моменту, такий режим є досить складним для системи керування. Керування плавним зростанням моменту потребує точно налаштованих регулювальних пристроїв, здатних адаптуватися до змін характеристик гідромережі, зокрема швидкості потоку, тиску та інших динамічних параметрів. Це ускладнює задачу оптимізації роботи насосної установки та забезпечення заданих показників ефективності.

У створеній моделі насосної установки в середовищі Simulink застосовано спеціалізовані блоки, призначені для керування та дослідження різних режимів роботи системи, що дає змогу адаптувати її до конкретних умов експлуатації.

Блок **Saturation** використовується для врахування обмежень, задаючи максимальне значення вихідного сигналу. У даному випадку граничний рівень встановлено на позначці 20, що дозволяє запобігти перевантаженню системи в екстремальних режимах.

Блок **Manual Switch-1** призначений для перемикання між різними типами вхідного сигналу: стрибкоподібним або сигналом від задатчика інтенсивності, що забезпечує можливість моделювання плавного зростання до заданого рівня.

Блок **Manual Switch-2** використовується для ввімкнення режиму обмеження, що дає змогу аналізувати роботу системи з урахуванням обмеження вихідного сигналу.

Блок **Manual Switch-3** реалізує наброс навантаження, дозволяючи досліджувати поведінку системи при раптовій зміні навантаження.

Крім того, модель містить інші елементи, які забезпечують її функціонування та відображення результатів моделювання. На графіку, наведеному на рисунку 3.2, показано зміну тиску у відповідь на стрибкоподібний вхідний сигнал без урахування обмежень регулятора тиску. У свою чергу, на рисунку 3.3 представлені графіки реакції системи на плавне зростання сигналу завдання, також без урахування обмежень.

Застосування цих засобів моделювання та візуалізації дозволяє визначити оптимальні параметри регулятора і адаптувати систему до реальних умов експлуатації шляхом аналізу її поведінки в критичних режимах.

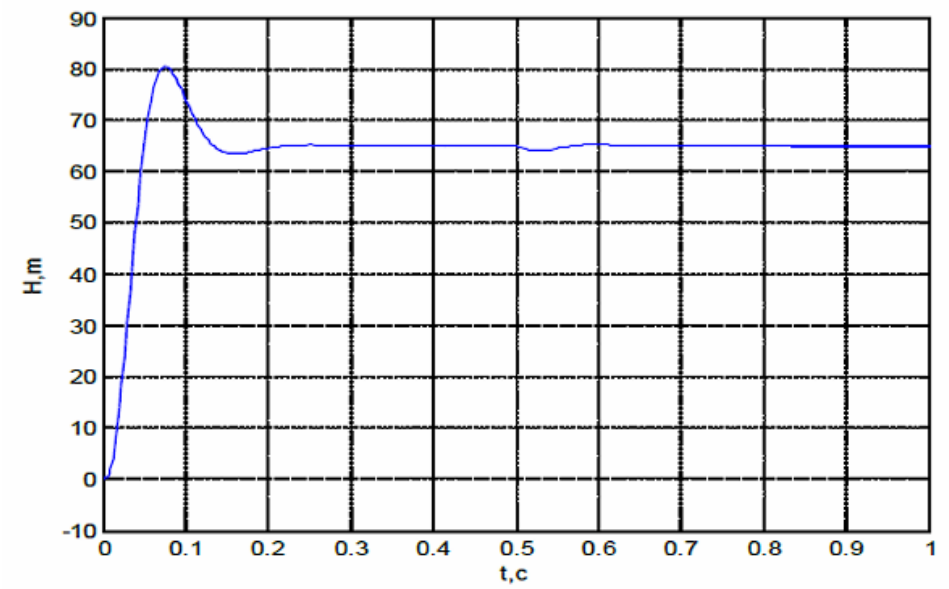


Рисунок 3.2 – Перехідний процес зміни тиску (реакція на скачок сигналу завдання й збільшенні навантаження)

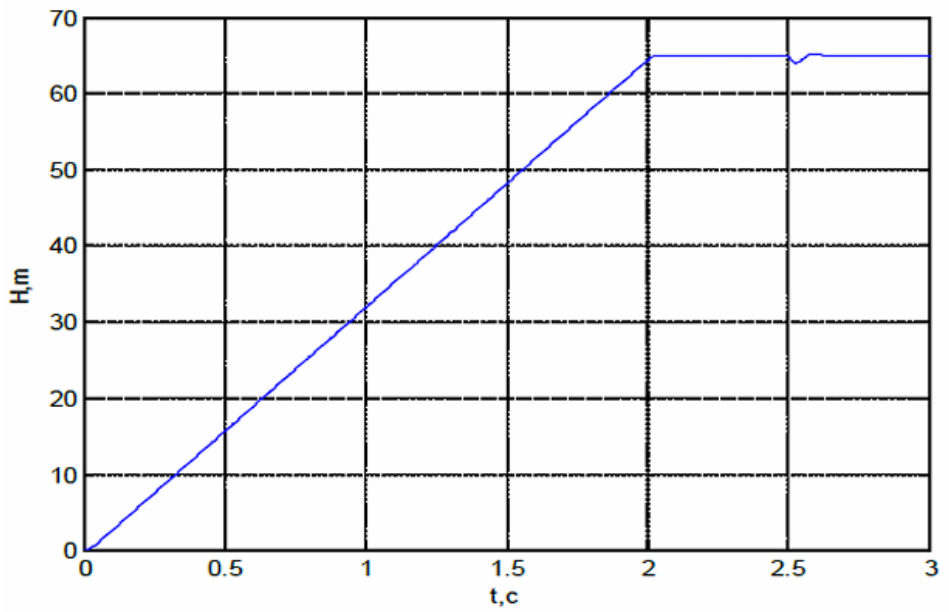


Рисунок 3.3 – Перехідний процес зміни тиску (реакція на скачок сигналу, на плавне наростання сигналу завдання й збільшенні навантаження)

З аналізу результатів моделювання можна зробити такі висновки:

- При відпрацюванні стрибкоподібного сигналу завдання без обмежень регулятора спостерігаються деякі відмінності від стандартного налаштування на модульний оптимум. Це пояснюється динамікою насоса, яка не враховувалася при розрахунках параметрів регулятора.

- Контур навантаження відпрацьовує без статичної помилки завдяки наявності інтегральної складової в регуляторі тиску.
- Введення обмежень на вихідний сигнал регулятора погіршує якість перехідних процесів: сповільнюється реакція системи та збільшується перерегулювання.
- Використання задавача інтенсивності на вході системи забезпечує плавний пуск насосної установки у заданий час, що знижує ризик гідроудару та перерегулювання.

3.4 Вибір та обґрунтування технічних засобів нижчого рівня СА

3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої, вторинні прилади

Витратомір УВР–011

Витратомір УВР–011 є ультразвуковим приладом, призначеним для вимірювання об’ємної витрати води у напірних трубопроводах систем водопостачання. Він застосовується на насосних станціях, магістральних водогонах та у вузлах обліку води.

Принцип роботи витратоміра базується на ультразвуковому методі вимірювання часу проходження сигналу (transit-time). Ультразвукові імпульси передаються вздовж та проти потоку рідини, а різниця часу їх проходження використовується для визначення швидкості потоку, за якою обчислюється витрата.

Основними перевагами ультразвукового витратоміра є:

- відсутність рухомих частин;
- відсутність гідравлічного опору;
- висока надійність та довговічність;
- можливість монтажу без врізки в трубопровід (накладні перетворювачі);
- широкий діапазон застосування за діаметрами труб.

У системі автоматизації водопостачання витратомір використовується для контролю витрати води, оптимізації роботи насосів та ведення

комерційного і технологічного обліку. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 24 В DC / 220 В AC	Електричний	Живлення приладу
Вихід 4–20 мА	Аналоговий	Пропорційний сигнал витрати
Імпульсний вихід	Дискретний	Облік об’єму
Частотний вихід	Дискретний	Передача витрати
RS-485 (Modbus RTU)	Цифровий	Обмін з ПЛК/SCADA
Діагностичний сигнал	Дискретний	Стан/помилка
Вхід температури (опц.)	Аналоговий	Компенсація

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип витратоміра	Ультразвуковий
Метод вимірювання	Transit-time
Діаметр трубопроводу	DN50…DN1400
Швидкість потоку	0,1…10 м/с
Діапазон вимірювання витрати	Залежить від DN (до 1 000 000 м³/добу)
Похибка	±1 % (типово)
Повторюваність	±0,2 %
Вихідні сигнали	4–20 мА, імпульсний, RS-485
Живлення	24 В DC або 220 В AC
Споживана потужність	≤ 10 Вт
Температура середовища	–10…+60 °C
Температура рідини	0…+90 °C
Ступінь захисту	IP65 / IP68 (датчики)
Тип встановлення	Накладний / врізний
Час відгуку	≤ 1 с
Довжина кабелю датчиків	до 100 м
Вимоги до рідини	Чиста / слабозабруднена

Датчик тиску Aplisens PC-28

Датчик тиску Aplisens PC-28 призначений для безперервного вимірювання надлишкового тиску води у трубопроводах системи водопостачання. Він є основним вимірювальним елементом у системі автоматичного регулювання тиску.

Сигнал із датчика використовується контролером або частотним перетворювачем для формування керуючого впливу на електродвигуни насосів. Таким чином реалізується замкнена система регулювання, яка забезпечує підтримання заданого тиску незалежно від змін водоспоживання.

Застосування датчика дозволяє:

- підтримувати стабільний тиск у мережі;
- уникати гідравлічних ударів;
- зменшити енергоспоживання;
- підвищити надійність системи водопостачання.

Датчик характеризується високою точністю, швидкодією та стійкістю до впливу агресивного середовища. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.3 і 3.4.

Таблиця 3.3 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 24 В DC	Електричний	Живлення датчика
Вихід 4–20 мА	Аналоговий	Пропорційний сигнал тиску
Вихід 0–10 В (опційно)	Аналоговий	Альтернативний сигнал
HART (поверх 4–20 мА)	Цифровий	Налаштування та діагностика
Діагностичний сигнал	Дискретний	Стан / помилка
Екран/заземлення	Захисний	Захист від завад

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип датчика	Тензорезистивний
Вимірюваний параметр	Надлишковий тиск
Діапазон вимірювання	0…1,6 МПа
Похибка	±0,25…0,5 %
Вихідний сигнал	4–20 мА, HART
Живлення	12…36 В DC
Споживаний струм	≤ 25 мА
Час відгуку	≤ 10 мс
Температура середовища	–20…+80 °C
Температура вимірюваного середовища	0…+100 °C
Ступінь захисту	IP65 / IP67
Перевантажувальна здатність	до 2× від номіналу
Матеріал мембрани	Нержавіюча сталь
Тип приєднання	Різьбове G1/2
Стійкість до вібрацій	Висока
Довготривала стабільність	≤ 0,2 %/рік

Датчик рівня Aplisens SC-25

Датчик рівня Aplisens SC-25 призначений для безперервного вимірювання рівня води у резервуарах чистої води або проміжних ємностях системи водопостачання. Він відіграє важливу роль у забезпеченні стабільності роботи насосної станції та безперервності подачі води споживачам.

Сигнали з датчика рівня використовуються системою автоматичного керування для:

- підтримання заданого рівня води в резервуарах;
- керування режимами роботи насосів;
- запобігання переповненню або спорожненню резервуарів;
- реалізації аварійних алгоритмів (захист від «сухого ходу»).

У системах автоматизації датчик рівня часто працює у взаємозв’язку з датчиком тиску та витратоміром, забезпечуючи комплексний контроль технологічного процесу.

Датчик характеризується високою точністю, герметичністю та можливістю роботи у складних умовах (волога, занурення). Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.5 і 3.6.

Таблиця 3.5 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 24 В DC	Електричний	Живлення датчика
Вихід 4–20 мА	Аналоговий	Пропорційний рівень води
Вихід 0–10 В (опційно)	Аналоговий	Альтернативний сигнал
RS-485 (Modbus)	Цифровий	Передача даних у систему
Дискретні порогові виходи	Дискретний	Мін/макс рівень
Діагностичний сигнал	Дискретний	Стан датчика

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип датчика	Гідростатичний (занурюваний)
Діапазон вимірювання	0…10 м
Похибка	±0,25…0,5 %
Вихідний сигнал	4–20 мА, RS-485
Живлення	12…36 В DC
Споживана потужність	≤ 1 Вт
Час відгуку	≤ 100 мс
Температура середовища	–10…+70 °C
Температура рідини	0…+60 °C
Ступінь захисту	IP68
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь
Довжина кабелю	5…30 м
Стійкість до корозії	Висока
Перевантаження	до 1,5×
Довготривала стабільність	≤ 0,2 %/рік

Датчик pH S-pH-01

Датчик pH S-pH-01 призначений для безперервного вимірювання кислотно-лужного показника (pH) води у системі водопідготовки та водопостачання. Контроль pH є важливим етапом забезпечення якості питної води, оскільки від цього параметра залежить ефективність процесів коагуляції, знезараження та безпечність води для споживачів.

Датчик встановлюється у технологічних лініях після етапів очищення або дозування реагентів. Отримані дані передаються до системи автоматичного керування, де використовуються для:

- контролю якості води;
- коригування дозування реагентів;
- сигналізації відхилень від нормативних значень;
- забезпечення відповідності санітарним нормам.

Датчик працює за принципом вимірювання електрохімічного потенціалу між вимірювальним та опорним електродами, що забезпечує високу точність і стабільність показів. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.7 і 3.8.

Таблиця 3.7 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 24 В DC	Електричний	Живлення датчика
Вихід 4–20 мА	Аналоговий	Значення pH
Вихід 0–10 В (опційно)	Аналоговий	Альтернативний сигнал
RS-485 (Modbus RTU)	Цифровий	Передача даних у ПЛК/SCADA
Температурний датчик (PT100)	Аналоговий	Температурна компенсація
Діагностичний сигнал	Дискретний	Помилка / обрив електрода
Екран/заземлення	Захисний	Захист від завад

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип датчика	Електрохімічний
Діапазон вимірювання	0…14 pH
Похибка	±0,05…0,1 pH
Час відгуку	≤ 30 с
Вихідний сигнал	4–20 мА, RS-485
Живлення	12…24 В DC
Споживана потужність	≤ 1 Вт
Температурна компенсація	Автоматична
Робоча температура	0…+80 °C
Тиск середовища	до 0,6 МПа
Ступінь захисту	IP65 / IP68
Матеріал електрода	Скло / полімер
Термін служби електрода	1–2 роки
Калібрування	2–3 точки
Стійкість до забруднень	Середня
Монтаж	Потоковий / занурюваний

Датчик хлору HYCHLOR Cl+pH-Rx-T

Датчик хлору HYCHLOR Cl+pH-Rx-T призначений для безперервного вимірювання концентрації залишкового хлору у воді після процесу знезараження. Контроль цього параметра є критично важливим для забезпечення санітарної безпеки питної води.

Залишковий хлор повинен підтримуватись у вузькому діапазоні: його недостатня концентрація призводить до ризику бактеріального забруднення, а надлишкова — до погіршення якості води та шкідливого впливу на здоров’я.

Датчик встановлюється у вихідних трубопроводах після станції знезараження. Отримані дані використовуються системою автоматичного керування для:

- контролю якості води;
- автоматичного регулювання дозування хлору;
- сигналізації відхилень від допустимих значень;

- ведення архіву параметрів якості.

Датчик працює на основі електрохімічного або амперометричного принципу, що забезпечує високу точність вимірювання навіть при малих концентраціях хлору. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.9 і 3.10.

Таблиця 3.9 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 24 В DC	Електричний	Живлення датчика
Вихід 4–20 мА (Cl)	Аналоговий	Концентрація хлору
Вихід 4–20 мА (pH)	Аналоговий	Значення pH (комбінований датчик)
Вихід 0–10 В (опційно)	Аналоговий	Альтернативний сигнал
RS-485 (Modbus RTU)	Цифровий	Передача даних у ПЛК/SCADA
Температурний датчик	Аналоговий	Компенсація вимірювання
Діагностичний сигнал	Дискретний	Стан / помилка
Сигнал калібрування	Дискретний	Обслуговування

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип датчика	Амперометричний
Вимірюваний параметр	Залишковий вільний хлор
Діапазон вимірювання	0…5 мг/л
Похибка	±2…5 %
Час відгуку	≤ 60 с
Вихідний сигнал	4–20 мА, RS-485
Живлення	12…24 В DC
Споживана потужність	≤ 2 Вт
Робоча температура	0…+50 °C
Тиск середовища	до 0,5 МПа
Ступінь захисту	IP65 / IP68
Матеріал сенсора	Мембранний електрод
Термін служби мембрани	6–12 міс
Калібрування	Регулярне (1–2 рази/міс)
Чутливість	Висока
Сумісність з pH	Вбудована компенсація

Реєструючий прилад MAS-100

Реєструючий прилад MAS-100 призначений для безперервного збору, відображення, реєстрації та збереження технологічних параметрів системи водопостачання. Він є важливим елементом системи контролю та диспетчеризації.

Прилад отримує сигнали від різних датчиків (тиску, витрати, рівня, pH, хлору) та забезпечує їх обробку і архівацію. Це дозволяє:

- здійснювати контроль технологічного процесу в реальному часі;
- вести історію параметрів (архіви);
- аналізувати роботу системи;
- виявляти відхилення та аварійні ситуації;
- формувати звітність.

MAS-100 може працювати як автономно, так і у складі SCADA-системи, передаючи дані на верхній рівень автоматизації. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.11 і 3.12.

Таблиця 3.11 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 220 В AC	Електричний	Живлення приладу
Аналогові входи 4–20 мА	Аналоговий	Прийом сигналів від датчиків
Аналогові входи 0–10 В	Аналоговий	Альтернативні сигнали
Дискретні входи	Дискретний	Сигнали стану/аварій
Дискретні виходи	Дискретний	Сигналізація
RS-485 (Modbus RTU)	Цифровий	Обмін даними з ПЛК
Ethernet	Цифровий	Передача у SCADA
USB/SD	Цифровий	Збереження архівів
Релейні виходи	Дискретний	Аварійні сигнали

Таблиця 3.12 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип приладу	Багатоканальний реєстратор
Кількість аналогових каналів	4…8

Параметр	Значення
Кількість дискретних входів	до 8
Кількість виходів	до 4
Типи сигналів	4–20 мА, 0–10 В
Пам’ять	до 1 ГБ
Частота запису	1 с…1 хв
Дисплей	LCD кольоровий
Живлення	220 В AC
Споживана потужність	≤ 15 Вт
Інтерфейси	RS-485, Ethernet, USB
Температура роботи	0…+50 °C
Ступінь захисту	IP54
Формат даних	CSV / архів
Синхронізація часу	Автоматична
Надійність зберігання	Висока

Блок живлення БПС24-4к

Блок живлення БПС24-4к призначений для перетворення змінної напруги мережі 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В, необхідну для живлення приладів і засобів автоматизації.

У системі водопостачання блок живлення забезпечує електроенергією:

- датчики (тиску, рівня, витрати, pH, хлору);
- контролери та реєстратори;
- блоки керування (БРУ);
- інші елементи КВПіА.

Стабільність напруги живлення є критично важливою для коректної роботи вимірювальних приладів, оскільки навіть незначні відхилення можуть призводити до похибок вимірювання або збоїв у роботі системи.

БПС24-4к забезпечує захист від короткого замикання, перевантаження та перенапруги, що підвищує загальну надійність системи автоматизації. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.13 і 3.14.

Таблиця 3.13 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Вхід 220 В AC	Силовий	Живлення від мережі
Вихід 24 В DC	Електричний	Живлення приладів
Захисне заземлення	Захисний	Безпека
Сигнал «Норма»	Дискретний	Робочий стан
Сигнал «Аварія»	Дискретний	Перевантаження / збій
Світлодіодна індикація	Візуальний	Стан роботи
Резервний вихід (опц.)	Електричний	Резервне живлення

Таблиця 3.14 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип пристрою	Імпульсний блок живлення
Вхідна напруга	220 В AC ±10 %
Частота мережі	50 Гц
Вихідна напруга	24 В DC
Номінальний струм	4 А
Потужність	96 Вт
ККД	≥ 85…90 %
Пульсації напруги	≤ 50 мВ
Захист від КЗ	Є
Захист від перевантаження	Є
Захист від перенапруги	Є
Температура роботи	–10…+50 °C
Ступінь захисту	IP20
Тип охолодження	Пасивне
Монтаж	DIN-рейка
Середній ресурс роботи	≥ 50 000 год

Показуючий прилад SITRANS RD100

Показуючий прилад SITRANS RD100 призначений для відображення значень технологічних параметрів у зручному для оператора вигляді. Він використовується як локальний індикатор у системах автоматизації водопостачання для візуального контролю таких параметрів, як тиск, витрата, рівень або інші величини, що передаються у вигляді уніфікованого сигналу.

Прилад встановлюється на щитах керування або безпосередньо біля технологічного обладнання. Його застосування дозволяє оперативно оцінювати стан системи без необхідності підключення до SCADA чи контролера.

SITRANS RD100 працює з аналоговими сигналами типу 4–20 мА або 0–10 В і перетворює їх у цифрове значення, яке відображається на дисплеї. Прилад також може виконувати функції сигналізації при виході параметра за встановлені межі. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.15 і 3.16.

Таблиця 3.15 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 24 В DC / 230 В AC	Електричний	Живлення приладу
Вхід 4–20 мА	Аналоговий	Вимірювальний сигнал
Вхід 0–10 В	Аналоговий	Альтернативний сигнал
Дискретні виходи (реле)	Дискретний	Сигналізація (мін/макс)
RS-485 (опційно)	Цифровий	Передача даних
Кнопки керування	Дискретний	Налаштування
Світлодіодна індикація	Візуальний	Стан роботи
Заземлення	Захисний	Електробезпека

Таблиця 3.16 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип приладу	Цифровий індикатор
Вхідні сигнали	4–20 мА, 0–10 В
Діапазон індикації	Програмований
Точність	±0,1 %
Дисплей	LCD/LED

Параметр	Значення
Живлення	24 В DC або 230 В AC
Споживана потужність	≤ 5 Вт
Кількість релейних виходів	1–2
Інтерфейси	RS-485 (опційно)
Температура роботи	–10…+50 °C
Ступінь захисту	IP65 (панель)
Монтаж	Панельний
Час відгуку	≤ 1 с
Налаштування	Кнопкове меню
Стійкість до завад	Висока

3.4.2 Промислові контролери

Визначення кількості та типів вхідних і вихідних сигналів мікропроцесорного контролера для системи водопостачання здійснюється на основі аналізу даних від датчиків, що контролюють основні параметри роботи (тиск води, рівень у резервуарах, витрата, якість води тощо), а також способів керування виконавчими механізмами (насоси, клапани, засувки).

Для побудови автоматизованої системи водопостачання необхідно забезпечити безперервний моніторинг цих параметрів та коректне приймання вхідних сигналів, типи й характеристики яких наведено в таблицях.

Таблиця 3.17 – Датчики контролю технологічних параметрів.

№ п/п	Параметр	Назва датчика	Вихідний сигнал датчика
1	Датчик PH	S-ph-01	4-20 мА
2	Датчик хлору	HYCHLOR Cl+pH-Rx-T	4-20 мА
3	Датчик рівня рідини	Aplisens SG-25	4-20 мА
4	Датчик тиску	Aplisens PC-28	4-20 мА

Таблиця 3.18 – Виконавчі пристрої, що змінюють параметри.

№ п/п	Параметр	Назва виконавчого пристрою	Сигнал керування виконавчим механізмом
1	Керування засувкою резервуара з коагулянтом	МЕО-16/63-0,25-90	Імпульсний
2	Керування засувкою резервуара з хлором	МЕО-16/63-0,25-90	Імпульсний
3	Блок ручного керування	БРУ-110	Аналоговий
4	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-21	Аналоговий
5	Перетворювач частоти	Schneider ATV960C25Q4X1	Імпульсний

Вибір контролера для системи автоматизації водопостачання здійснювався з урахуванням необхідної кількості аналогових входів для підключення датчиків якості та параметрів води, а також дискретних виходів для керування засувками, насосами та частотними перетворювачами.

На основі аналізу технічних вимог було обрано **контролер Schneider Electric M172**, який має достатню кількість аналогових каналів, підтримує уніфіковані сигнали 4–20 мА, забезпечує роботу з дискретними виходами та дозволяє реалізувати алгоритми керування процесами водопідготовки.

Контролер M172 належить до компактних і функціональних PLC, підтримує програмування в середовищі EcoStruxure Machine Expert – HVAC, містить широкий набір функціональних блоків, у тому числі PID-регулятори, та оснащений засобами самодіагностики для підвищення надійності роботи.

У системі контролер приймає аналогові сигнали 4–20 мА від датчиків pH, хлору, рівня рідини та тиску, обробляє їх і формує керуючі дії для виконавчих механізмів, таких як електроприводи МЕО-16/63-0,25-90, блоки ручного керування БРУ-110, безконтактні пускачі та частотні перетворювачі Schneider серії ATV.

Для розширення можливостей контролер M172 підтримує роботу з модулями введення/виведення, а також має вбудований інтерфейс RS-485 (Modbus RTU) для зв’язку з периферійними пристроями й панелями індикації. Живлення контролера здійснюється від напруги 24 В DC, що відповідає вимогам промислових систем водопостачання.

Таким чином, контролер Schneider Electric M172 забезпечує необхідну кількість каналів, підтримку аналогових та дискретних сигналів, стабільну роботу алгоритмів керування й повністю відповідає вимогам автоматизованої системи водопостачання.

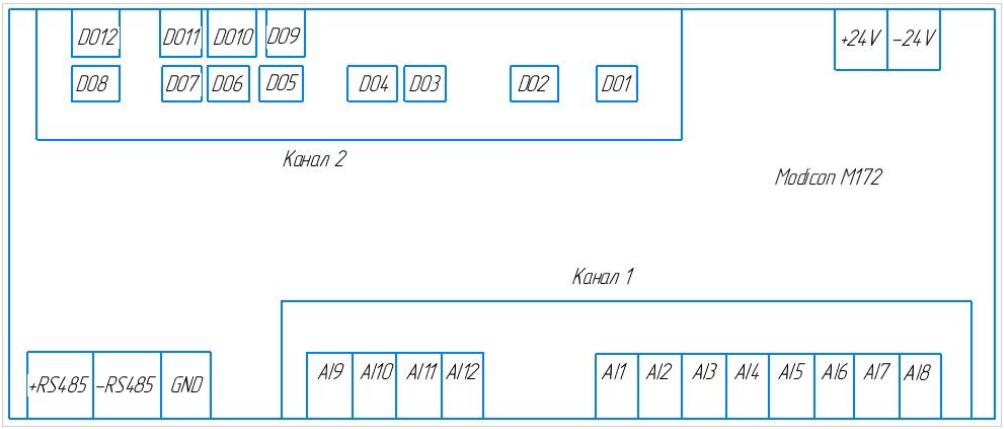


Рис. 3.4 - Схема компонування контролера.

Програмне забезпечення EcoStruxure Machine Expert – HVAC для контролера Schneider Electric M172

Контролер Schneider Electric M172 є промисловим програмованим логічним контролером (ПЛК), який широко застосовується для автоматизації систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC), насосних станцій, водопостачання та інших технологічних процесів. Для забезпечення ефективної роботи цього контролера необхідне спеціалізоване програмне забезпечення, розроблене компанією Schneider Electric, яке дозволяє здійснювати налаштування, програмування та моніторинг контролера в реальному часі. Таким програмним продуктом є EcoStruxure Machine Expert – HVAC, раніше відомий під назвою SoMachine HVAC.

Програмне забезпечення EcoStruxure Machine Expert – HVAC призначене виключно для контролерів серії M171/M172 та забезпечує інтегроване середовище розробки, що дозволяє здійснювати повний цикл автоматизації: від проєктування та програмування логіки керування до конфігурації підключених датчиків і виконавчих пристроїв, налаштування мережевих протоколів та візуалізації стану системи. Програма підтримує стандарт IEC 61131-3, що дозволяє використовувати різні мови програмування, включно з Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD) та Structured Text (ST). Такий підхід забезпечує гнучкість розробки, дозволяючи вибирати оптимальний спосіб реалізації логіки керування залежно від складності та специфіки автоматизованої системи.

Однією з ключових можливостей програмного забезпечення є конфігурація входів та виходів контролера. M172 може працювати з цифровими сигналами, що надходять від кнопок, реле та інших дискретних пристроїв, а також з аналоговими сигналами від температурних, тискових або газових датчиків. EcoStruxure Machine Expert – HVAC дозволяє точно призначати функції кожному входу та виходу, проводити тестування логіки керування у симуляторі, а також здійснювати моніторинг та налагодження системи без підключення до реального обладнання. Це значно підвищує надійність та безпечність процесу автоматизації.

Програмне забезпечення також забезпечує підтримку мережевих протоколів, необхідних для інтеграції контролера M172 у комплексні системи управління будівлею (BMS) або виробничої автоматизації (SCADA). Зокрема, підтримуються Modbus TCP/RTU, BACnet та Ethernet/IP, що дозволяє обмінюватися даними з іншими пристроями та забезпечувати централізоване керування всією автоматизованою системою.

Для полегшення розробки логіки керування EcoStruxure Machine Expert – HVAC надає бібліотеки готових функціональних блоків, спеціально розроблених для систем HVAC. Це включає блоки для управління насосами, клапанами, вентиляторами та контролю технологічних параметрів, таких як

температура, тиск або вологість. Крім того, користувач може створювати власні функціональні блоки для повторного використання у різних проєктах, що значно підвищує ефективність розробки та скорочує час на впровадження системи.

EcoStruxure Machine Expert – HVAC також дозволяє здійснювати налагодження та діагностику системи у режимі реального часу. Можливість відслідковувати стан входів і виходів, контролювати сигнали датчиків та вести журналювання подій забезпечує надійність роботи та своєчасне виявлення можливих несправностей.

3.4.3 Виконавчі механізми та регулюючі органи

Блок ручного керування БРУ-110

Блок ручного керування БРУ-110 призначений для забезпечення можливості локального (ручного) керування виконавчими механізмами та обладнанням насосної станції. Він використовується під час налагодження, технічного обслуговування, а також у разі відмови автоматичної системи керування.

БРУ-110 дозволяє оператору безпосередньо подавати команди на пуск, зупинку або зміну режиму роботи обладнання, минаючи автоматичний контур керування. Це значно підвищує надійність системи, оскільки забезпечує можливість оперативного втручання у разі аварійних ситуацій.

Основні функції блоку:

- ручний пуск і зупинка насосів;
- керування виконавчими механізмами (відкрити/закрити);
- перемикання режимів «Ручний / Автоматичний»;
- індикація стану обладнання;
- передача сигналів у систему автоматизації.

Блок встановлюється у шафі керування або безпосередньо на панелі оператора. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.19 і 3.20.

Таблиця 3.19 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 24 В DC	Електричний	Живлення блоку
Кнопка «Пуск»	Дискретний	Запуск обладнання
Кнопка «Стоп»	Дискретний	Зупинка обладнання
Кнопка «Відкрити»	Дискретний	Керування МЕО
Кнопка «Закрити»	Дискретний	Керування МЕО
Перемикач «Ручний/Авто»	Дискретний	Вибір режиму
Вихідні сигнали керування	Дискретний	Передача команд
Сигнали стану	Дискретний	Індикація
Світлодіодна індикація	Візуальний	Відображення стану
Заземлення	Захисний	Електробезпека

Таблиця 3.20 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип пристрою	Блок ручного керування
Напруга живлення	24 В DC
Споживаний струм	≤ 0,2 А
Кількість каналів керування	2…4
Тип керуючих елементів	Кнопки, перемикачі
Тип виходів	Релейні / транзисторні
Кількість дискретних входів	до 6
Кількість виходів	до 4
Індикація	Світлодіодна
Ступінь захисту	IP54
Температура роботи	–10…+50 °C
Монтаж	Панельний
Ресурс кнопок	≥ 1 млн натискань
Габарити	Компактні
Надійність	Висока

Частотний перетворювач Schneider ATV960

Частотний перетворювач Schneider ATV960 призначений для керування швидкістю обертання асинхронних електродвигунів насосних агрегатів шляхом зміни частоти та напруги живлення. У системі водопостачання він є

основним виконавчим елементом, що забезпечує реалізацію автоматичного регулювання тиску.

Принцип його роботи полягає у перетворенні вхідної змінної напруги промислової частоти у напругу змінної частоти, що подається на електродвигун. Зміна частоти дозволяє плавно регулювати продуктивність насоса.

Частотний перетворювач працює у складі замкненої системи автоматичного керування, отримуючи сигнал від датчика тиску (4–20 мА) або контролера. На основі цього сигналу він змінює швидкість обертання двигуна таким чином, щоб підтримувати заданий тиск у системі.

Застосування частотного перетворювача дозволяє:

- забезпечити плавне регулювання тиску;
- зменшити енергоспоживання до 30–50 %;
- уникнути гідравлічних ударів;
- знизити пускові струми;
- продовжити термін служби насосного обладнання.

Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.21 і 3.22.

Таблиця 3.21 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 380…480 В АС	Силовий	Живлення перетворювача
Аналоговий вхід 4–20 мА	Аналоговий	Сигнал тиску
Аналоговий вхід 0–10 В	Аналоговий	Альтернативне керування
Дискретні входи (DI)	Дискретний	Пуск/стоп, режими
Дискретні виходи (DO)	Дискретний	Сигнали стану
Аналоговий вихід 4–20 мА	Аналоговий	Зворотний зв’язок
RS-485 (Modbus)	Цифровий	Обмін з ПЛК
Ethernet / Modbus TCP	Цифровий	SCADA
CANopen / Profibus (опц.)	Цифровий	Промислові мережі
Вихід на двигун	Силовий	Живлення двигуна

Таблиця 3.22 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип пристрою	Частотний перетворювач
Потужність	0,75…750 кВт
Вхідна напруга	380…480 В AC
Частота мережі	50/60 Гц
Вихідна частота	0…500 Гц
ККД	≥ 98 %
Перевантажувальна здатність	150 % (60 с)
Тип керування	Векторне / V/F
Кількість аналогових входів	2–3
Кількість дискретних входів	до 6–8
Інтерфейси	Modbus, Ethernet, CANopen
Час розгону/гальмування	0,1…999 с
Ступінь захисту	IP20 (шафне виконання)
Температура роботи	–10…+50 °C
Захисти	КЗ, перевантаження, перегрів, обрив фази
Охолодження	Примусове
Монтаж	Шафа / підлоговий

Електродвигун насосного агрегату

Електродвигун насосного агрегату призначений для перетворення електричної енергії у механічну та забезпечення обертання робочого колеса насоса. Саме він безпосередньо здійснює подачу води в системі водопостачання.

У даній системі використовується асинхронний трифазний електродвигун, який працює у складі автоматизованої системи керування разом із частотним перетворювачем. Така схема дозволяє змінювати швидкість обертання двигуна в широкому діапазоні, що є основою для регулювання тиску.

Електродвигун працює у різних режимах залежно від потреб системи:

- номінальний режим — при стабільному водоспоживанні;
- регульований режим — при зміні витрати (через ПЧ);
- пусковий режим — із плавним запуском;

- аварійний режим — при відключенні або перевантаженні.

Застосування частотного керування значно зменшує механічні навантаження на двигун, знижує пускові струми та підвищує загальний ККД системи. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.23 і 3.24.

Таблиця 3.23 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 3×380…690 В AC	Силовий	Живлення від ПЧ
Керуючий сигнал (частота)	Керуючий	Регулювання швидкості
Заземлення	Захисний	Електробезпека
Датчик температури (PTC/PT100)	Аналоговий/дискретний	Контроль нагріву
Сигнал аварії	Дискретний	Перегрів / перевантаження
Вібраційний датчик (опц.)	Аналоговий	Контроль стану
Енкодер (опц.)	Цифровий	Зворотний зв’язок

Таблиця 3.24 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип двигуна	Асинхронний, короткозамкнений
Номінальна потужність	5,5…750 кВт
Номінальна напруга	380…690 В
Частота живлення	50 Гц (з ПЧ – 0…500 Гц)
Номінальний струм	залежить від потужності (10…1200 А)
Частота обертання	500…3000 об/хв
ККД	≥ 92…96 %
Коефіцієнт потужності (cosφ)	0,8…0,95
Клас ізоляції	F / H
Ступінь захисту	IP55 / IP56
Охолодження	IC411 (вентилятор)
Температура роботи	–20…+40 °C
Режим роботи	S1 (тривалий)

Параметр	Значення
Пусковий струм	5–7 Ін (без ПЧ)
Сумісність з ПЧ	Повна
Тип монтажу	IM B3 / B5
Маса	50…3000 кг

Виконавчий механізм МЕО–16/63

Виконавчий механізм типу МЕО–16/63 призначений для дистанційного та автоматичного керування запірно-регулюючою арматурою (засувками, клапанами) у системі водопостачання. Він забезпечує переміщення регулюючого органа відповідно до керуючих сигналів, що надходять від контролера або блоку керування.

У системі автоматизації водопостачання виконавчий механізм використовується для:

- регулювання витрати води;
- керування потоками між резервуарами;
- аварійного перекриття трубопроводів;
- реалізації алгоритмів технологічного захисту.

Механізм працює у складі замкненої системи керування, де його положення може контролюватися за допомогою зворотного зв’язку (кінцеві вимикачі або потенціометр). Це дозволяє точно позиціонувати запірний орган.

Виконавчий механізм характеризується високою надійністю, простотою конструкції та здатністю працювати у важких експлуатаційних умовах. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.25 і 3.26.

Таблиця 3.25 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 220 В AC	Силовий	Живлення механізму
Сигнал «Відкрити»	Дискретний	Команда на відкриття
Сигнал «Закрити»	Дискретний	Команда на закриття

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Кінцевий вимикач «Відкрито»	Дискретний	Досягнення крайнього положення
Кінцевий вимикач «Закрито»	Дискретний	Досягнення крайнього положення
Сигнал положення (0–10 В / 4–20 мА)	Аналоговий	Поточне положення органа
Аварійний сигнал	Дискретний	Перевантаження / заклинювання
Заземлення	Захисний	Електробезпека

Таблиця 3.26 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип механізму	Електричний однооборотний
Крутний момент	до 63 Н·м
Кут повороту	0…90°
Час повного ходу	~16 с
Напруга живлення	220 В AC
Частота	50 Гц
Споживана потужність	до 100 Вт
Режим роботи	Повторно-короткочасний
Ступінь захисту	IP54
Температура роботи	–20…+50 °C
Тип редуктора	Черв’ячний
Кількість включень	до 600/год
Наявність кінцевих вимикачів	Так
Зворотний зв’язок	Потенціометр
Монтаж	Фланцевий

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-21

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-21 - це електронний пристрій, призначений для безконтактного керування виконавчими механізмами з однофазними електродвигунами, оснащеними електромеханічним гальмом. Він широко використовується в системах автоматизації

промислових об'єктів, особливо в енергетиці, металургії та хімічній промисловості. Сигнали і технічні параметри наведені в таблицях 3.27 і 3.28.

Таблиця 3.27 – Вхідні та вихідні сигнали

Сигнал	Тип сигналу	Призначення
Живлення 220/380 В АС	Силовий	Живлення пристрою
Вхід «Вперед»	Дискретний	Обертання в одному напрямку
Вхід «Назад»	Дискретний	Реверс
Вхід «Стоп»	Дискретний	Зупинка двигуна
Вихід на двигун	Силовий	Керування двигуном
Сигнал стану	Дискретний	Робота/зупинка
Аварійний сигнал	Дискретний	Перевантаження / несправність
Заземлення	Захисний	Електробезпека

Таблиця 3.28 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Тип пристрою	Безконтактний реверсивний пускач
Номінальна напруга	220 В АС
Номінальний струм	до 10 А
Частота мережі	50 Гц
Тип комутації	Напівпровідникова
Час спрацювання	≤ 0,1 с
Кількість включень	до 10^6 циклів
Температура роботи	–40…+70 °C
Ступінь захисту	IP30

4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

4.1 Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації є одною з основних схем кваліфікаційної роботи. На ній зображена функціонально-блокова структура управління. Також на схемі представлені різні контури управління системою подачі води наприклад:

- САК витрати води;
- САР кислотності води;
- САР залишку хлору;
- САР рівня води;
- САР тиску.

Функціональна схема автоматизації представленана аркуші ЗНУ ІННІ Д2 23625.002.ФСА.

САК витрати води

Система автоматичного контролю призначена, як сказано в назві для контролю витратою води на різних етапах роботи системи. В неї входять 3 витратоміри УВР-011 (1а, 1в, 1д), які передають сигнал на показуючі прилади SITRANS RD100 (1б, 1в, 1е) розташовані на щиті.

САР кислотності води

Система автоматичного регулювання кислотності води призначена для забезпечення заданого значення pH води, для подальшої її обробки.

Сигнал від датчика pH (2а) надходить до показуючого приладу ІТМ-310А (2б), який показує значення кислотності і передає його на реєструючий прилад MAS-100 (2в) та на контролер.

Контролер обробляє сигнал датчика і генерує керуючий сигнал, який передає на блок ручного керування БРУ-110 (2д). В свою чергу блок ручного керування передає його на пускач ПБР-21 (2е), який напряму керує виконавчим механізмом (2ж).

САР залишку хлору

Система автоматичного регулювання залишку хлору призначена для подачі необхідної кількості хлору, щоб забезпечити правильність процесу очистки води.

Сигнал від датчика хлору HYCHLOR Cl+pH-Rx-T (2а) надходить до показуючого приладу ITM-310A (3б), який показує значення кількості хлору і передає його на реєструючий прилад MAS-100 (3в) та на контролер.

Контролер обробляє сигнал датчика і генерує керуючий сигнал, який передає на блок ручного керування БРУ-110 (3д). В свою чергу блок ручного керування передає його на пускач ПБР-21 (3е), який напряму керує виконавчим механізмом (3ж).

САР рівня води

Система автоматичного регулювання рівня води призначена для забезпечення необхідного рівня води в резервуарах-відстійниках.

Сигнал від датчика рівня Aplisens SG-25 (4а) надходить до показуючого приладу ITM-310A (4б), який показує значення рівня і передає його на реєструючий прилад MAS-100 (4в) та на контролер.

Контролер обробляє сигнал датчика і генерує керуючий сигнал, який передає на блок ручного керування БРУ-110 (4д). В свою чергу блок ручного керування передає його на перетворювач частоти ATV-960 (4е), який напряму регулює потужність електродвигуна насосного агрегату (4ж).

САР тиску

Система автоматичного регулювання тиску призначена для забезпечееня необхідного тиску в системі подачі води.

Сигнал від датчика тиску Aplisens PC-28 (5а) надходить до показуючого приладу ITM-310A (5б), який показує значення тиску і передає його на реєструючий прилад MAS-100 (5в) та на контролер.

Контролер обробляє сигнал датчика і генерує керуючий сигнал, який передає на блок ручного керування БРУ-110 (5д). В свою чергу блок ручного

керування передає його на перетворювач частоти ATV-960 (5е), який напряму регулює потужність електродвигуна насосного агрегату (5ж).

4.2 Принципова електрична схема

Принципова електрична схема САР тиску розроблена на основі функціональної схема автоматизації і зображує повний список приладів та зв’язків між ними. Схема представлена на аркуші ЗНУ ІННІ Д2 23625.003.ПЕС

Сигнали на схемі промарковані наступним чином:

- 100-108 інформаційні;
- 800-813 живлення.

Значення тиску в системі вимірюється датчиком тиску Aplisens PC-28 (5а), який передає його обробленим уніфікованим сигналом 4-20 мА на аналоговий вхід показуючого приладу ІТМ-310А (5б), який показує значення тиску і передає його на реєструючий прилад MAS-100 (5в) через інтерфейс RS-485, та через аналоговий вихід на контролер.

Контролер обробляє сигнал датчика і генерує керуючий сигнал, який через аналоговий вихід передає на блок ручного керування БРУ-110 (5д). В свою чергу блок ручного керування передає уніфікований сигнал управління на аналоговий вхід перетворювача частоти ATV-960 (5е), який напряму регулює потужність електродвигуна насосного агрегату (5ж).

4.3 Принципова електрична схема живлення

Принципова електрична схема живлення є важливим елементом проєктування будь-якої електротехнічної або автоматизованої системи. Схема представлена на аркуші ЗНУ ІННІ Д2 23610.004.ПЕСЖ.

Майже всі прибори в цій системі живляться напругою 220 В, через це живлення на них подається на автоматичні вимикачі Schneider Electric RESI9 номіналом 16А позначені на схемі В1-В5. Також після кожного автоматичного

вимикача на кабелі фази стоїть плавкий запобіжник номіналом 1А, на схемі запобіжники позначені З1-З5.

Перетворювач частоти ATV-960 живиться напругою 380 В, тому живлення на нього поступає через автоматичний вимикач Schneider Electric C120N номінальм 100А. Також після автоматичного вимикача на кожному кабелі фаз стоїть плавкий запобіжник номіналом 100А.

4.4 Монтажна комутаційна схема щита КВПіА

На монтажній комутаційній схемі щита КВПіА зображене розташування і підключення всіх приладів використовуваних в САР тиску. МКС представлена на аркуші ЗНУ ІННІ Д2 23625.005.МКС

У верхній частині схеми розташований показуючий прилад ІТМ-310А (5б) на який з клемника приходить сигнал від датчика тиску. Під ним знаходиться реєструючий прилад MAS-100 (5в) який підключений до ІТМ-310А через інтерфейс RS-485. Нижче розташований блок ручного управління БРУ-110 (5д) він через клемник з'єднаний з контролером і перетворювачем частоти, розташованим на об'єкті. В нижній частині схеми знаходиться блок живлення БПС24-4к (5г), який живить всі прибори в щиті.

4.5 Зовнішній вигляд щита (шафи) та вид на внутрішні панелі

На схемі зовнішнього виду щита зображена модель щита в масштабі 1:10, на якому зображена вся розміщена в ньому апаратура з урахуванням їх розмірів і розташування. Схема представлена на аркуші ЗНУ ІННІ Д2 23625.006.ЗВЩ

На вигляді зпереду показані всі прилади для яких потрібен виріз в щиті та вказані висоти на яких вони розташовані. А саме ІТМ-310А на висоті 1600 мм, Реєструючий прилад MAS-100 на висоті 1200 мм, блок ручного керування

на висоті 800 мм, а також на окремому щиті розташований контролер Modicon M172 на висоті 1400 мм.

На виді ззаду показане розташування блоків живлення, DIN-рейки для кріплення реєструючого приладу MAS-100 та контролера, а також клемних колодок длля підключення зовнішніх кабелів.

4.6 Схема зовнішніх з’єднань

На схемі зовнішніх з’єднань показані електричні зв’язкпи між приладами встановленими на об’єкті та приладами встановленими на щиті КВПіА. Схема представлена на аркуші ЗНУ ІННІ Д2 23625.007.СЗЗ

Датчик тиску Aplisens PC-28 з’єднаний з показуючим приладом ІТМ-310А через клемник кабелем АКВВГ 4х2,5 на відстані 0,5 метри до та 34 метри після клемника.

Перетворювач частоти ATV-960 з'єднаний з блоком ручного керування БРУ-110 через клемник кабелем АКВВГ 4х2,5 на відстані 0,5 метри до та 30 метрів після клемника. Також перетворювач частоти підключається до системи живлення 380 В через клемник кабелем ВВГНГД 4х200 на відстані 1 метр. І напряму підключений до електродвигуна кабелем ВВГНГД 4х200 на відстані 3 метри.

5. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

САР складається з наступних компонентів:

- Датчик тиску Aplisens PC-28
- Реєструючий прилад MAS-100
- Показуючий прилад ITM-310A
- Блок ручного керування БРУ-110
- Перетворювач частоти ATV-960
- Контролер Modicon M172

САР тиску виконує регулюючу функцію, а отже задамо середній час відновлення працездатності Тв = 4год та – допустимий час функціонування відмовної функції АСУ ТП Тдоп=1год відмовної функції.

Інтенсивність відмов окремих компонентів системи зведемо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Інтенсивність відмов компонентів САР

№	Компонент САР	$\lambda*10^{-6}$
1	Aplisens PC-28	2
2	MAS-100	3
3	ITM-310A	2,5
4	БРУ-110	1,5
5	ATV-960	8
6	Modicon M172	5

Загальна інтенсивність відмов

$$\lambda = \sum_1^n \lambda_i = 22 * \ 10 - 6 \ 1/\text{год} \qquad (5.1)$$

Середнє напрацювання до відмови

$$\text{Тср} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{22 * 10^{-6}} = 45454{,}54 \text{ год} \qquad (5.2)$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи протягом τ =1000 годин:

$$P_б(\tau) = e^{-(\sum \lambda)*\tau} = e^{-(22)*10^{-6}*1000} = 0{,}9782 \quad (5.3)$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи САР протягом 1000 годин складає 97,82%.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом часу, з урахуванням відновлення відмовної функції за час Тв:

$$P_с(\tau) = P_б(\tau) + [1 - P_б(\tau)] * P_б(\tau) \quad (5.4)$$

$$P_с(\tau) = 0{,}9782 + [1 - 0{,}9782] * 0{,}9782 = 0{,}9995,\ 99{,}95\%$$

Ймовірність відновлення працездатності визначимо за формулою:

$$\frac{Тдоп}{Тв} = ¼ = 0{,}25\ ,\ 25\% \quad (5.5)$$

Коефіцієнт готовності

$$K_{гот} = \frac{Tср}{Тср+Тв} = \frac{45454{,}54}{45454{,}54\ +4} = 0{,}9999 \quad (5.6)$$

Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваного завдання:

$$P_{оч}(\tau) = K_{гот} * P_б(\tau) = 0{,}9999 * 0{,}9782 = 0{,}9781 \quad (5.7)$$

Тср, год = 45454,54 >1000 год, середній час відновлення функції менше 4 годин, коефіцієнт готовності $K_{гот}$ = 0,9999. Тому резервування елементів САР не потрібне.

6. ЗАМОВНА СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕСЬ КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Замовна специфікація комплексу технічних засобів оформлена у вигляді таблиці та поділена на окремі тематичні розділи. У кожному розділі наведено найменування обладнання або приладу, його тип чи маркування, одиницю вимірювання та необхідну кількість для реалізації системи автоматизації.

У розділі «Прилади та засоби автоматизації» наведено перелік основних засобів контролю та керування технологічним процесом. До нього входять датчики тиску, витратоміри, реєструючі та показуючі прилади, блоки ручного керування, виконавчі механізми, а також частотні перетворювачі.

У розділі «Агрегатні комплекси та засоби обчислювальної техніки» зазначено програмований логічний контролер Schneider Electric Modicon M172 та необхідні модулі розширення, які були вибрані під час розроблення системи автоматизації та компоновки шафи керування.

У розділі «Щити та пульти управління» наведено типи та характеристики шаф КВПіА, призначених для встановлення засобів автоматизації.

Розділ «Електроапаратура» містить перелік комутаційного та захисного обладнання, зокрема автоматичних вимикачів, плавких запобіжників і клемних колодок, що використовуються для забезпечення надійної та безпечної роботи системи.

У розділі «Трубопровідна арматура» наведено захисні труби із зазначенням їх розмірів та довжини.

Розділ «Кабелі та проводка» включає інформацію про кабельну продукцію, яка використовується у системі автоматизації. Для кожного кабелю вказано його тип, переріз, призначення та необхідну довжину.

У розділі «Монтажні матеріали» наведено перелік допоміжних елементів, необхідних для монтажу обладнання в шафі КВПіА.

7. ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації

Розроблювана система автоматизації працює переважно в автоматичному режимі, тому основна роль персоналу полягає у контролі технологічного процесу, спостереженні за станом обладнання та своєчасному реагуванні на аварійні повідомлення або відхилення параметрів від заданих значень. Оператор насосної станції повинен контролювати тиск у мережі, стан насосних агрегатів, роботу частотних перетворювачів та показання контрольно-вимірювальних приладів. У разі виникнення несправностей персонал повинен оперативно вживати необхідних заходів для відновлення нормальної роботи системи.

Для забезпечення ефективної роботи автоматизованої системи необхідно організувати регулярне технічне обслуговування обладнання. Воно включає перевірку справності датчиків, контролера, виконавчих механізмів, кабельних ліній та елементів захисту. Особлива увага повинна приділятися стану електричних з’єднань, роботі частотних перетворювачів та систем аварійного захисту. Регулярне проведення профілактичних робіт дозволяє своєчасно виявляти несправності, запобігати аваріям та підвищувати надійність функціонування системи водопостачання.

Важливим елементом організаційного забезпечення є підготовка персоналу. Працівники, які обслуговують систему автоматизації, повинні мати відповідну кваліфікацію та знання з електробезпеки, автоматизації технологічних процесів і правил експлуатації насосного обладнання. Перед початком роботи персонал проходить вступний та первинний інструктажі, а також періодичну перевірку знань з охорони праці та техніки безпеки. Це дозволяє знизити ризик помилок під час експлуатації обладнання та

підвищити безпеку роботи на насосній станції. Організаційні заходи для забезпечення роботи системи надані в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Організаційні заходи для забезпечення роботи системи

Захід	Призначення
Проведення інструктажів	Підвищення рівня безпеки
Технічне обслуговування	Підтримання працездатності обладнання
Перевірка систем захисту	Запобігання аваріям
Ведення журналів	Контроль роботи системи
Навчання персоналу	Правильна експлуатація АСУ
Періодична діагностика	Виявлення несправностей

Організаційне забезпечення також передбачає чіткий розподіл обов’язків між працівниками насосної станції. Кожен працівник повинен відповідати за визначену ділянку роботи та виконувати свої функції відповідно до посадових інструкцій, основні функції обслуговуючого персоналу надані в таблиці 7.2. Це дозволяє забезпечити узгоджену роботу персоналу та підвищити ефективність експлуатації системи автоматизації.

Таблиця 7.2 – Основні функції обслуговуючого персоналу

Посада	Основні функції
Оператор насосної станції	Контроль роботи системи та параметрів процесу
Електромеханік	Обслуговування електрообладнання
Інженер КВПіА	Налаштування та діагностика системи автоматизації
Черговий персонал	Реагування на аварійні ситуації

7.2 Розрахунок техніко-економічних показників

7.2.1 Розрахунок капітальних втрат на створення АСУ

Одноразові виплати на створення АСУ визначають за формулою:

$$К^{А} = К^{А}_{Д} + К^{А}_{К} \quad (7.1)$$

де $К^{А}_{Д}$ – довиробничі втрати, грн;

$К^{А}_{К}$ – капітальні втрати, грн.

Довиробничі витрати на розробку АСУ розраховується за формулою:

$$К^{А}_{Д} = К^{А}_{ПР} + К^{А}_{ПЗ} + К^{А}_{ІЗ} = 45000 + 45000 + 30000 = 120000 \text{ грн} \quad (7.2)$$

де $К^{А}_{ПР}$ – витрати на проектування АСУ, грн;

$К^{А}_{ПЗ}$ – витрати на розробку програмного забезпечення, грн;

$К^{А}_{ІЗ}$ – витрати на підготовку інформаційного забезпечення тривалого користування (створення бази даних АСУ), грн.

Величина капітальних витрат визначається за формулою:

$$К^{А}_{К} = К^{А}_{КТЗ} + К^{А}_{М} - К^{А}_{ВИВ} = 2984900 + 298490 - 0 = 3283290 \text{ грн} \quad (7.3)$$

де $К^{А}_{КТЗ}$ – кошторисна вартість комплексу технічних засобів, грн;

$К^{А}_{М}$ – витрати на установку, монтаж і запуск КТЗ в роботу, грн;

$К^{А}_{ВИВ}$ – кошторисна вартість комплексу технічних засобів, що вивільнилися у результаті впровадження АСУ, грн.

Комплекс технічних засобів для створення АСУ наведений в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – КТЗ для створення АСУ

Найменування	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн	Встановлена потужність, W
УВР-011	3	20000	60000	10
SITRANS RD100	3	15500	46500	1
S-pH-01	1	7000	42000	5
HYCHLOR Cl+pH-Rx-T	1	91500	91500	8
Aplisens SG-25	1	4000	4000	3
Aplisens PC-28	1	3500	3500	2
ІТМ-310А	4	8000	24000	8
MAS-100	4	6700	26800	8,5
БПС24-4к	4	5800	23200	10
БРУ-110	4	16000	64000	5
Schneider ATV960	2	1250000	2500000	750000
ПБР-21	2	7700	5000	7
МЕО-630/63-0,25	2	30000	60000	250
Modicon M172	1	24000	24000	18
Разом	35		2984900	750335,5

Перелік одноразових витрат приведений в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Перелік одноразових витрат

Найменування	Сума, грн
1. Довиробничі витрати на розробку АСУ	
Витрати на проектування АСУ	45000
Витрати на розробку програмного забезпечення	45000
Витрати на підготовку інформаційного забезпечення	30000
2. Капітальні витрати	
Вартість компексу технічних засобів	2984900
Вартість на установку, монтаж і запуск КТЗ в роботу	298490
Вартість КТЗ, що вивільнилися у результаті впровадження	-
Всього одноразових витрат на створення АСУ	3403390

7.2.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування АСУ

Розрахунок річних експлуатаційних витрат на функціонування АСУ здійснюється за формулою:

$$З_{ЕКСП} = З_{ЗП} + З_{ЕЛ} + З_{А} + З_{МАТ} + З_{РЕМ} \quad (7.4)$$

де $З_{ЗП}$ – річні витрати на заробітню плату спеціалістів в умовах функціонування АСУ з відрахуванням на соціальне страхування, грн;

$З_{ЕЛ}$ – річні витрати на електроенергію, грн;

$З_{А}$ – річна сума амортизаційних відрахувань, грн;

$З_{МАТ}$ – Річна вартість матеріалів, необхідних для функціонування АСУ (2% від вартості КТЗ), грн;

$З_{РЕМ}$ – річна вартість ремонта обладнання (7% від вартості КТЗ), грн.

Розрахунок заробітньої плати фахівця в умовах функціонування АСУ здійснюється за формулою:

$$З_{ЗП} = ЄСВ + ФОП \quad (7.5)$$

де ЄСВ – єдиний соціальний внесок (22% від ФОП), грн;

ФОП – фонд оплати праці (річна ставка за рік), грн.

Оскільки ставка робітника в місяць складає = 19000 грн.

Звідси маємо, що ФОП = 12 * 19000 = 228000 грн.

За формулою (7.5):

$$З_{ЗП} = 228000 + 50160 = 278160 \text{ грн}$$

Річна вартість електроенергії, споживаної АСУ, визначається за формулою:

$$З_{ЕЛ} = W * Т_{еф} * Ц_{Е} = 750{,}335 * 15000 * 4{,}8 = 54024120 \text{ грн} \quad (7.6)$$

де W – встановлена потужність КТЗ, кВт;

$Т_{еф}$ – ефективний фонд часу роботи КТЗ, год.;

$Ц_{Е}$ вартість 1 кВт*год електроенергії, грн.

Річна сума амортизаційних відрахувань розраховуються за формулою:

$$З_{А} = \frac{К_{К}^{А} * Н_{А}}{100} = \frac{3271950 * 10}{100} = 327195 \text{ грн} \quad (7.7)$$

де $Н_{А}$ – норма амортизації, % (10%).

За формулою (7.4):

$$З_{ЕКСП} = 278160 + 54024120 + 327195 + 59698 + 208943 = 54898116 \text{ грн}$$

7.2.3 Ефект від впровадження АСУ

Впровадження автоматизованої системи керування процесом регулювання тиску в системі водопостачання дозволяє підвищити надійність та ефективність роботи насосної станції. Основний ефект від впровадження системи має технічний та експлуатаційний характер, оскільки для комунальних підприємств важливим є не отримання прямого прибутку, а забезпечення стабільного та безперебійного водопостачання споживачів.

Застосування частотного регулювання насосних агрегатів забезпечує більш раціональне використання електроенергії, зменшує навантаження на електродвигуни та дозволяє підтримувати стабільний тиск у мережі незалежно від змін водоспоживання. Крім того, автоматизація процесу знижує ймовірність виникнення аварійних ситуацій, зменшує вплив людського

фактору та підвищує загальний рівень надійності системи водопостачання. Основні ефекти від провадження АСУ наведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Основні результати впровадження АСУ

Показник	Результат впровадження
Споживання електроенергії	Зменшення
Надійність роботи системи	Підвищення
Кількість аварійних ситуацій	Зменшення
Гідравлічні удари	Зменшення
Термін служби насосів	Збільшення
Якість водопостачання	Покращення
Навантаження на персонал	Зменшення
Точність підтримання тиску	Підвищення
Енергоефективність системи	Підвищення

8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час експлуатації насосної станції та системи автоматичного регулювання тиску необхідно приділяти значну увагу питанням охорони праці та безпечним умовам роботи персоналу. Насосна станція є об’єктом підвищеної небезпеки, оскільки в процесі роботи використовуються потужні електродвигуни, електрообладнання високої напруги, трубопроводи з підвищеним тиском, а також автоматизовані системи керування. Наявність великої кількості електротехнічного обладнання та рухомих механізмів створює потенційну небезпеку для обслуговуючого персоналу, тому необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів для мінімізації шкідливих і небезпечних факторів.

Одним із найбільш небезпечних факторів є електричний струм. У системі використовуються трифазні електродвигуни великої потужності, шафи керування, частотні перетворювачі Schneider Electric Altivar Process ATV960 та інше силове обладнання, яке працює від мережі 380 В. Дотик до струмоведучих частин або пошкоджених кабелів може призвести до важкого ураження електричним струмом. Для запобігання таким ситуаціям усі металеві корпуси обладнання повинні бути заземлені, а силові кола — обладнані автоматичними вимикачами та пристроями захисного вимкнення. Кабелі повинні мати надійну ізоляцію та прокладатися у кабельних каналах або металевих лотках. Усі ремонтні роботи дозволяється виконувати лише після повного відключення обладнання від мережі та перевірки відсутності напруги.

Ще одним небезпечним фактором є підвищений тиск у трубопроводах системи водопостачання. Під час роботи насосів у магістралях створюється значний тиск, і у випадку аварійного режиму можливі розриви трубопроводів або пошкодження арматури. Такі аварії можуть призвести до затоплення приміщень, пошкодження обладнання та створення небезпеки для персоналу. Для зменшення ризику виникнення аварій необхідно забезпечити

автоматичний контроль тиску та використання аварійного захисту. У системі автоматизації передбачаються датчики тиску та алгоритми аварійного вимкнення насосів у разі перевищення допустимих значень.

Під час роботи насосних агрегатів виникає підвищений рівень шуму та вібрації. Джерелами шуму є електродвигуни, насоси та потоки рідини у трубопроводах. Тривалий вплив шуму негативно впливає на стан здоров’я працівників, викликає втому та зниження концентрації уваги. Вібрації також можуть спричиняти пошкодження обладнання та зменшувати термін його служби. Для зниження рівня шуму насосні агрегати встановлюють на антивібраційні основи, а стіни приміщення можуть обладнуватися шумоізоляційними матеріалами. За необхідності персонал повинен використовувати індивідуальні засоби захисту органів слуху — навушники або беруші.

Важливим фактором є підвищена вологість у приміщеннях насосної станції. Вода та конденсат можуть негативно впливати на стан електрообладнання, спричиняти пошкодження ізоляції та збільшувати ризик коротких замикань. Для забезпечення безпечних умов роботи приміщення насосної станції повинні мати ефективну систему вентиляції та водовідведення. Усі електротехнічні засоби повинні мати відповідний ступінь захисту IP, що забезпечує захист від потрапляння вологи та пилу.

Під час роботи електродвигунів та частотних перетворювачів виділяється значна кількість тепла. Перегрів обладнання може призвести до аварійних режимів роботи, пошкодження електронних компонентів або навіть пожежі. Для зниження температури у приміщенні насосної станції повинна використовуватися вентиляція або система кондиціювання повітря. Частотні перетворювачі та електродвигуни повинні бути обладнані системами температурного контролю та захисту від перегріву.

Не менш важливим фактором є пожежна безпека. Причинами виникнення пожеж можуть бути короткі замикання, перегрів кабелів, несправність електрообладнання або порушення правил експлуатації. Для

забезпечення пожежної безпеки необхідно використовувати негорючі кабельні матеріали, автоматичні вимикачі та системи аварійного вимкнення живлення. У приміщенні насосної станції повинні бути встановлені порошкові або вуглекислотні вогнегасники, пожежні щити та системи оповіщення про пожежу.

Особлива увага повинна приділятися організації безпечної роботи персоналу. Працівники, які обслуговують систему автоматизації, повинні проходити вступний та періодичний інструктаж з охорони праці, навчання з електробезпеки та перевірку знань правил експлуатації обладнання. Під час виконання робіт персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, захисне взуття, спецодяг та ізольований інструмент.

Для підтримання безпечних умов експлуатації необхідно регулярно проводити технічне обслуговування системи автоматизації, перевірку стану кабельних ліній, справності заземлення, датчиків та систем аварійного захисту. Своєчасне виявлення несправностей дозволяє запобігти виникненню аварійних ситуацій та забезпечити безперебійну роботу насосної станції.

Список шкідливих факторів та заходи щодо їх зниження подані в таблицях 8.1 та 8.2.

Таблиця 8.1 – Шкідливі та небезпечні виробничі фактори

Шкідливий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Електричний струм	Електродвигуни, шафи керування	Ураження персоналу
Підвищений тиск	Насосні агрегати, трубопроводи	Розрив труб, аварії
Шум	Робота насосів та двигунів	Погіршення слуху
Вібрація	Насосне обладнання	Пошкодження обладнання

Шкідливий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Підвищена вологість	Водопровідне обладнання	Короткі замикання
Перегрів обладнання	Електродвигуни, ПЧ	Вихід обладнання з ладу
Пожежонебезпека	Короткі замикання	Пожежа

Таблиця 8.2 – Заходи щодо зниження шкідливих факторів

Небезпечний фактор	Заходи захисту
Ураження струмом	Заземлення, автомати захисту
Перевищення тиску	Датчики тиску, аварійне вимкнення
Шум та вібрація	Антивібраційні опори, шумоізоляція
Підвищена вологість	Вентиляція, герметизація обладнання
Перегрів обладнання	Система охолодження
Пожежна небезпека	Вогнегасники, кабельний захист
Травмування персоналу	Інструктажі та ЗІЗ

ВИСНОВОК

У кваліфікаційнфій роботі розроблено проєкт автоматизації процесу подачі води. Особлива увага була надана системі автоматичного регулювання тиску в системі водопостачання.

У загальній частині кваліфікаційної роботи наведено опис системи питного водопостачання та розглянуто технологічний процес регулювання тиску у водопровідній мережі. Проведено аналіз існуючого рівня автоматизації насосної станції та визначено основні недоліки діючої системи керування. На основі зібраної інформації розроблено схему матеріальних та інформаційних потоків, а також сформовано технічне завдання на проєктування автоматизованої системи керування.

У спеціальній частині кваліфікаційної роботи розроблено систему автоматизації на базі програмованого логічного контролера Schneider Electric Modicon M172, виконано вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації. Розроблено функціональну схему автоматизації насосної станції та на її основі створено принципову електричну схему, принципову схему живлення, монтажно-комутаційну схему шафи КВПіА, зовнішній вигляд шафи керування та схему зовнішніх з’єднань.

Також у роботі виконано розрахунок надійності системи автоматичного регулювання тиску в системі водопостачання. На основі розроблених схем сформовано замовну специфікацію обладнання та проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження автоматизованої системи керування.

У розділі техніки безпеки та охорони праці розглянуто основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що можуть виникати під час експлуатації насосної станції, а також запропоновано заходи щодо забезпечення безпечних умов праці та підвищення рівня електро- і пожежної безпеки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Архангельський О. Г., Бойко В. В. Автоматизація технологічних процесів Київ: Либідь, 2018. 456 с.
2. Пупена О. М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах:навчальний посібник.Київ:Ліра-К, 2015. 552 с.
3. Системи автоматизації та керування технологічними процесами: навчальний посібник / В. С. Харченко. Київ: Каравела, 2017. 344 с.
4. Сопільник Л. І. Технічні засоби автоматизації. Львів: Новий Світ-2000, 2019. 410 с.
5. Шандров Б. В. Автоматизація насосних установок та систем водопостачання. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 238 с.
6. Орлов В. О., Яковлєв А. М. Водопостачання та водовідведення. Київ : Знання, 2011. 359 с.
7. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).Харків: Форт, 2017. 760 с.
8. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Загальні вимоги. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
9. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ : Мінрегіон України, 2013.
10. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
11. ДСТУ IEC 61131-3:2017. Програмовані контролери. Мови програмування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
12. Каталог продукції Schneider Electric. Частотні перетворювачі Altivar Process ATV960. URL:https://www.se.com/ww/en/product-range/62057-altivar-process-atv900/ (дата звернення 15.04.2026)
13. Каталог продукції Schneider Electric Modicon M172. URL:https://www.se.com/ww/en/product-range/2226-modicon-m172/ (дата звернення 10.04.2026)

14. Каталог контрольно-вимірювальних приладів Siemens URL:https://www.siemens.com (дата звернення 21.03.2026)
15. Каталог засобів автоматизації Aplisens. Датчики тиску та рівня. URL:https://aplisens.com.ua/product/ (дата звернення 27.03.2026)
16. Каталог продукції Microl. URL: https://microl.ua (дата звернення 19.03.2026)
17. MATLAB Simulink. Documentation and User Guide. URL:https://www.mathworks.com/products/simulink.html (дата звернення 21.03.2026)
18. Автоматизація систем водопостачання та водовідведення / О. І. Ладанюк. Київ: НУХТ, 2015. 276 с.
19. Попович М. Г., Лозинський О. Ю. Системи керування електроприводами. Київ: Либідь, 2005. 680 с.
20. Енергозбереження в системах водопостачання: монографія / С. О. Коваленко. Дніпро: Акцент ПП, 2018. 312 с.
21. Охорона праці в галузі: навчальний посібник / В. Ц. Жидецький. Львів : Афіша, 2014. 336 с.
22. Надійність автоматизованих систем керування : навчальний посібник / В. В. Бичковський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. 248 с.
23. Офіційний сайт КП «Водоканал» м. Запоріжжя URL:https://vodokanal.zp.ua (дата звернення 21.03.2026)

ДОДАТКИ

Додаток А

Позиція	Найменування та технічна характеристика обладнання	Тип, марка обладнання	Одиниця вимірювання: Найменування	Одиниця вимірювання: Код	Код завода-виробника	Код обладнання, матеріалу	Ціна одиниці, грн	Кількість	Маса одиниці обладнання, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1 Прилади та засоби автоматизації								
1а, 1б, 1в	Витратомір	VBP-011	шт.					3	
1Г, 1ґ, 1е	Показуючий прилад	SITRANS RD100	шт.					3	
2п	Лічильник РН	S-pH-01	шт.					1	
3п	Лічильник хлору	HYDROTech-Rx-T	шт.					1	
4и	Шатник рівня рідини	Alpicns SG-25	шт.					1	
5п	Шатник тиску	Alpiens PL 28	шт.					1	
1Ж, 1З, 4Л, 5Р	Показуючий прилад	ITM 3100A	шт.					4	
1Ж, 1З, 4Л, 5Р	Реєструючий прилад	MAS-100	шт.					4	
2а, 2в, 4г, 5о	Блок живлення	БПС24-4к	шт.					4	
2д, 2ї, 4д, 5к	Блок ручного керування	БРУ-110	шт.					4	
4е, 5р	Частотний перетворювач	Schneider ATV960	шт.					2	
4ж, 5к	Електромагніт		шт.					2	
2г, 3с	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-21	шт.					4	
2к, 3к	Виконавчий механізм	MEO 16/63 0,25-90	шт.					2	
2т, 3т	Шлюзовий кран	2Ч-30нж	шт.					2	
	2 Агрегатні комплекси та засоби обчислювальної техніки								
	Контролер	Schneider electric M172	шт.					1	
	3 Щити та пульти управління								
	Однобічна підлогова шафа	MLS22000GR5	шт.					2	
	4 Електроапаратура								
В1..В5	Автоматичний вимикач Schneider Electric	RF519 16A 2P C	шт.					5	
В6, В7	Автоматичний вимикач Schneider Electric	C120N 100A 4P	шт.					2	
З1..З5	Запобіжник плавкий	ЕП ЦП 5х20 1А	шт.					2	
З6..З11	Запобіжник плавкий	Е II NH 000 100А	шт.					6	
КК1, КК2	Клеми клемні	КК	шт.					2	
	5 Трубопровідна арматура								
	Труба захисна	Тр 20х1,5	м					60	
	6 Кабелі та провідні								
	Кабель	АКВВГ 4х2,5	м					64	
	Кабель	ПВПГП 4х2,00	м					13	
	7 Монтажні матеріали								
	DIN рейка	TS 35 1,5	шт.					4	

ЗНУ ІННІ Д2 23625.008.С

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Фоменко С.В.		
Перев.		Ковальчук М.П.		
Т.контр.		Ковальчук М.П.		
Н.контр.		Бишній С.В.		
Затв.		Мирський Д.М.		

Проект автоматизації типового водопостачання. Система автоматичного регулювання тиску в системі водопостачання

Літ.	Маса	Масштаб
Д Т		1:1
Аркуш	Аркушів: 1	

Специфікація

ЗНУ, ІННІ, каф. ЕлтаКФС, гр. 6.174.3-с2