

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ЮРІЙВ Ярослав Васильович

**КОМП'ЮТЕРНА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ
ПІДКАЧУВАЛЬНОЮ СТАНЦІЄЮ /
COMPUTER DYNAMIC MODEL OF THE CONTROLLING PROCESS OF A
BOOSTER PUMPING STATION**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Випускна кваліфікаційна робота
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконав: студент групи АКІТ–41
Я. В. Юрійв

Науковий керівник:
к.т.н., доцент А. І. Сегін

Випускну кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:
" ____ " _____ 2025 р.

Завідувач кафедри СКС
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2025

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри СКС

А. І. Сегін

" 01 " грудня 2024р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ЮРІЙВУ Ярославу Васильовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Комп'ютерна динамічна модель процесу управління підкачувальною станцією /
Computer Dynamic Model of the Controlling Process of a Booster Pumping Station

керівник роботи к.т.н., доцент Сегін А. І.

затверджено наказом по університету від « 28 » листопада 2024 р. № 938

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

15 травня 2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Технічні характеристики підкачувальної насосної станції.

2. Вимоги до системи автоматичного управління насосами підкачувальної насосної станції.

3. Вимоги до параметрів моделі автоматичного управління насосами підкачувальної насосної станції.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Розробити структурну та функціональну схеми системи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією.

2. Здійснити обґрунтований підбір технічних засобів для автоматизації підкачувальної насосної станції.

3. Здійснити теплогідравлічний розрахунок для побудови адекватної моделі системи управління підкачувальною насосною станцією.

4. Побудувати модель управління насосами підкачувальної насосної станції та субмоделі керування найважливішими технологічними параметрами.

5. Розробити алгоритми роботи системи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією при різних режимах роботи та аварійних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна схема системи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією.

2. Функціональні схема системи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією.

3. Блок-схеми алгоритмів роботи автоматизованого управління насосами та засувками підкачувальної насосної станції.

4. Графіки динаміки зміни основних параметрів технологічного процесу.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сегін А. І.		
2	Сегін А. І.		
3	Сегін А. І.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика та класифікація насосних станцій	01.12.2024 р. – 15.01.2025 р.	виконано
2	Побудова структури та підбір технічних засобів автоматизованої системи управління підкачувальною насосною станцією	16.02. 2025 р.– 15.03.2025р.	виконано
3	Моделювання процесу управління підкачувальною насосною станцією	16.03.2025 р. – 30.04.2025 р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2025 р. – 15.05.2025 р.	виконано

Студент

(підпис)

Юріїв Я. В.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н.. доц. Сегін А. І.

АНОТАЦІЯ

Юріїв Я. В. Комп'ютерна динамічна модель процесу управління підкачувальною станцією. – Рукопис.

Дослідження на здобуття першого (бакалаврського) рівня освіти за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025 р.

У кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютерна модель ефективної системи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією, яка забезпечує підтримку стабільного тиску у водопровідній мережі центрального опалення та підвищений захист від аварій та енергозберігання.

ANNOTATION

Yuriev Ya. V. Computer Dynamic Model of the Controlling Process of a Booster Pumping Station Computer Dynamic. – Manuscript.

Research for the first (bachelor's) level of education in the specialty 151 – Automation and computer-integrated technologies, educational and professional program – Automation and computer-integrated technologies – West Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

The qualification work developed a computer model of an effective automated control system for a pumping station, which ensures the maintenance of stable pressure in the central heating water supply network and increased protection against accidents and energy saving.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА КЛАСИФІКАЦІЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ.....	10
1.1 Огляд насосних станцій	10
1.2 Принцип роботи підкачувальної насосної станції	14
1.3 Опис обладнання, що застосовується на підкачувальній насосній станції водопостачання	15
1.4 Доцільність модернізації підкачувальної насосної станції.....	18
2 ПОБУДОВА СТРУКТУРИ ТА ПІДБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПІДКАЧУВАЛЬНОЮ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ.....	19
2.1 Обґрунтування вибору основних технічних засобів автоматизації підкачувальної станції	19
2.2 Структура та організація роботи системи управління підкачуючою насосною станцією в автоматичному та ручному режимах.....	31
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ПІДКАЧУВАЛЬНОЮ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ	37
3.1 Теплогідравлічний розрахунок параметрів температури і тиску в системі централізованого опалення.....	37
3.2 Моделювання системи керування насосною станцією в автоматичний режим.....	41
3.3 Комп'ютерна модель із застосуванням програми SimInTech.....	43
3.4 Моделювання ситуації зміни тиску води в подаючому трубопроводі	52
3.5 Моделювання аварійної ситуації	55

					ДП.АКІТ.9702395.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			
Розроб.		Юрій Я. В.			Комп'ютерна динамічна модель процесу управління підкачувальною станцією	Лім.	Арк.
Перевір.		Сегін А. І.					5
Консульт.		Сегін А. І.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41	
Н. Контр.		Заставний					
Затверд.		Сегін А. І.					

ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТОК А. АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛЕННЯ НАСОСАМИ ПНС.....	64
ДОДАТОК Б. АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛЕННЯ ЗАСУВКАМИ ПНС.....	65
ДОДАТОК В. ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ ПЧ НАСОСІВ.....	66
ДОДАТОК Г. АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	68

					ДП.АКІТ.9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні системи водопостачання та централізованого опалення потребують високої надійності, енергоефективності та стабільної роботи. Підкачувальні насосні станції є ключовим елементом забезпечення належного тиску в магістральних та розподільчих мережах водопостачання, особливо у багатоповерхових будівлях, промислових об'єктах та сільськогосподарських комплексах.

В умовах зростання споживання води та енергоносіїв, автоматизація процесів управління насосними станціями стає необхідною для:

- підвищення ефективності використання енергоресурсів;
- зменшення витрат на обслуговування і ремонт обладнання;
- забезпечення безперервності та якості водопостачання;
- оперативного реагування на аварійні ситуації;
- інтеграції в єдині системи диспетчеризації та моніторингу.

Автоматизовані системи дозволяють точно підтримувати необхідний тиск у мережі, адаптувати режим роботи насосів до змін навантаження, знижувати знос обладнання та оптимізувати витрати електроенергії за рахунок використання частотних перетворювачів і інтелектуальних алгоритмів управління.

Отже, розробка сучасної системи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією є вкрай актуальним завданням для забезпечення надійного, економічного та сталого функціонування інженерних мереж водопостачання.

Метою кваліфікаційної роботи є розробити ефективну систему автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією, яка забезпечує підтримку стабільного тиску у водопровідній мережі центрального опалення, оптимізацію енергоспоживання, підвищення

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

надійності роботи обладнання та інтеграцію в загальну систему моніторингу й диспетчеризації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Проаналізувати типи насосних станцій їх призначення та здійснити класифікацію за різними ознаками.

2. Дослідити роботу підкачувальної насосної станції в автоматичному та ручному режимах роботи, основне технологічне обладнання і принципи його функціонування

3. Побудувати структурну та функціональну схеми автоматизації системи управління підкачувальною насосною станцією.

4. Побудувати алгоритми роботи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією (ПНС)

5. Створити комп'ютерну модель, за допомогою якої провести моделювання системи управління насосною станцією в автоматичному режимі та роботи елементів системи, що запобігають аварії при виході за граничні умови температури та тиску води.

6. Здійснити теплогідравлічний розрахунок параметрів перепадів тиску і температури води на виході подаючого трубопроводу.

7 Розробити у SimInTech модель сстеми автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією, яка може бути рекомендована для навчання практикантів та персоналу насосних станцій.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією у системах водопостачання та централізованого опалення.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та технічні засоби автоматизації управління насосами для підтримки стабільного тиску, оптимізації енергоспоживання і підвищення надійності роботи насосної станції.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Методи дослідження. В кваліфікаційній роботі використовувалися методи аналізу та порівняння існуючих насосних станцій, методи синтезу структурних та функціональних систем автоматизованого управління, методи декомпозиції складної системи на більш прості елементи, методи вимірювання, методи математичного та програмного моделювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що реалізація розробленої системи автоматизації дозволить: підвищити ефективність роботи насосної станції, зменшити витрати на енергоресурси та обслуговування обладнання, забезпечити стабільне і безперервне водопостачання споживачів, оперативно реагувати на аварійні ситуації за допомогою систем моніторингу і діагностики, а також здійснювати навчання обслуговуючого персоналу на основі розробленої програмної моделі. Крім того, це допоможе в подальшому інтегрувати насосну станцію в загальну систему диспетчеризації міських або промислових водопровідних мереж в перспективі реалізації проекту «розумне місто».

Апробація результатів роботи

Юрїїв Д. Комп'ютерна динамічна модель процесу управління підкачувальною станцією. //Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ–2025). Тернопіль, 2025. С 55–61.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА КЛАСИФІКАЦІЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

1.1 Огляд насосних станцій та їх призначення

Підкачувальні насосні станції (ПНС) відіграють ключову роль у забезпеченні стабільного та ефективного функціонування систем водопостачання та теплопостачання, особливо у багатоповерховій житловій забудові, промислових об'єктах та громадських установах. Вони служать для підвищення тиску в трубопроводах, забезпечуючи необхідний рівень подачі води в найвищі точки споживання та оптимізуючи роботу загальної гідравлічної системи. У сучасних містах, де щільність забудови висока, а споживання води нерівномірне впродовж доби, підкачувальні станції виступають важливою ланкою між джерелом водопостачання та кінцевим споживачем. Їх наявність дозволяє компенсувати втрати тиску на довгих або вертикальних ділянках мережі, а також забезпечити рівномірний розподіл ресурсів незалежно від часу доби чи пікових навантажень. Такі станції можуть бути інтегровані у систему з накопичувальними ємностями, баками, або ж працювати безпосередньо у режимі реального часу залежно від вимог об'єкта.

Вибір типу ПНС залежить від багатьох факторів, серед яких — конструктивні особливості мережі, необхідна продуктивність, наявність резервного живлення, рівень автоматизації та інтеграція з іншими інженерними системами будівлі. Різноманіття технологічних рішень дозволяє адаптувати насосні станції до найскладніших умов експлуатації, від централізованих систем теплопостачання у містах до локальних систем індивідуального опалення або водопостачання приватних будинків. Класифікація підкачувальних насосних станцій базується не лише на їх технічних характеристиках, а й на способах монтажу, призначенні, режимах

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

роботи та конструктивній компоновці. Зокрема, існують модульні компактні станції, які легко інтегруються в уже наявну інфраструктуру, а також комплексні рішення, що проектуються для великих промислових або житлових об'єктів і потребують індивідуального підходу до розміщення та керування. До уваги береться також тип регулювання продуктивності — від простих реле тиску до складних електронних систем з частотними перетворювачами.

Особливе місце серед ПНС займають установки для систем централізованого опалення. Вони повинні не лише підтримувати стабільний гідравлічний режим, а й забезпечувати роботу системи в умовах змінних теплових навантажень. Станції, призначені для опалення, зазвичай обладнуються спеціальними циркуляційними насосами, які мають високий ККД, довгий ресурс роботи та здатність функціонувати в умовах підвищеної температури. Вони часто оснащуються теплоізоляційними кожухами, автоматикою захисту від перегріву та блоками керування, що дозволяють адаптувати подачу теплоносія до змін температурного режиму зовнішнього середовища або добового графіка споживання. Крім того, у таких системах застосовуються розширювальні баки, запобіжна та зворотна арматура, що сприяє стабільній і безпечній роботі всієї мережі.

Історично розвиток підкачувальних насосних станцій був тісно пов'язаний з модернізацією міської інфраструктури. У міру того як зростав попит на водопостачання, а будівлі ставали вищими, з'являлася потреба у нових рішеннях щодо підвищення тиску. Спочатку використовувалися прості установки з одним або кількома насосами, що працювали в постійному режимі. Згодом їх було вдосконалено за рахунок автоматизації процесів, впровадження багатоступінчастих насосів і розробки систем із змінною продуктивністю. Сьогодні насосні станції є не лише виконавчими пристроями, а й елементами комплексних систем керування, що дозволяють

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

в режимі реального часу контролювати тиск, витрати, температуру та інші параметри, важливі для стабільної подачі води чи теплоносія.

Інтеграція підкачувальних насосних станцій у систему розумного управління будівлею стала новим етапом їх розвитку. Зараз можна віддалено контролювати параметри роботи насосів, аналізувати споживання ресурсів, діагностувати несправності, оптимізувати режими навантаження залежно від зовнішніх факторів. У великих житлових комплексах і бізнес-центрах такі можливості стають стандартом і дозволяють значно підвищити надійність водопостачання та опалення. Крім того, з'являються рішення, які дозволяють акумулювати аналітику про роботу систем у хмарних середовищах для подальшого прогнозування поломок, модернізації та автоматичної оптимізації витрат енергії.

Енергоефективність є ще одним важливим критерієм у виборі та експлуатації ПНС. Сучасні насоси розробляються з урахуванням мінімального споживання електроенергії, використання вискоелективних двигунів і застосування інтелектуальних систем регулювання. Це дозволяє не лише знизити експлуатаційні витрати, а й зменшити викиди вуглецю, що особливо актуально в контексті глобальних екологічних викликів. Національні та міжнародні нормативи щодо енергоефективності стають дедалі жорсткішими, тому виробники змушені впроваджувати нові технології, які забезпечують мінімальні втрати при перекачуванні рідини та високу точність регулювання.

Ще один напрям розвитку — це компактність і модульність установок. Новітні конструкції дозволяють розміщувати ПНС у технічних шафах, підвалах, на дахах або в окремих модулях, які можна швидко транспортувати й встановлювати. Це забезпечує гнучкість проектування, особливо в умовах реконструкції старих систем або при будівництві нових об'єктів у щільній міській забудові. У поєднанні з низьким рівнем шуму, простотою обслуговування та зменшеним водоспоживанням при запуску це робить

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

сучасні насосні станції максимально придатними для умов сучасного міського середовища.

Підкачувальні насосні станції — це важливий елемент сучасної інженерної інфраструктури, без якого неможливо уявити ефективну роботу систем водопостачання та опалення. Їх постійне вдосконалення, впровадження новітніх технологій, адаптація до потреб сучасного будівництва та екологічних вимог роблять їх не лише функціональним, а й стратегічно важливим компонентом у забезпеченні комфорту, безпеки та сталого розвитку житлового середовища.

Насосні станції систем, які забезпечують споживачам подачу води, тепла та водовідведення у відповідності до їх потреб, являють комплекс відповідного обладнання, установок та споруд, узагальнену структуру якого представлено на рисунку 1.1.

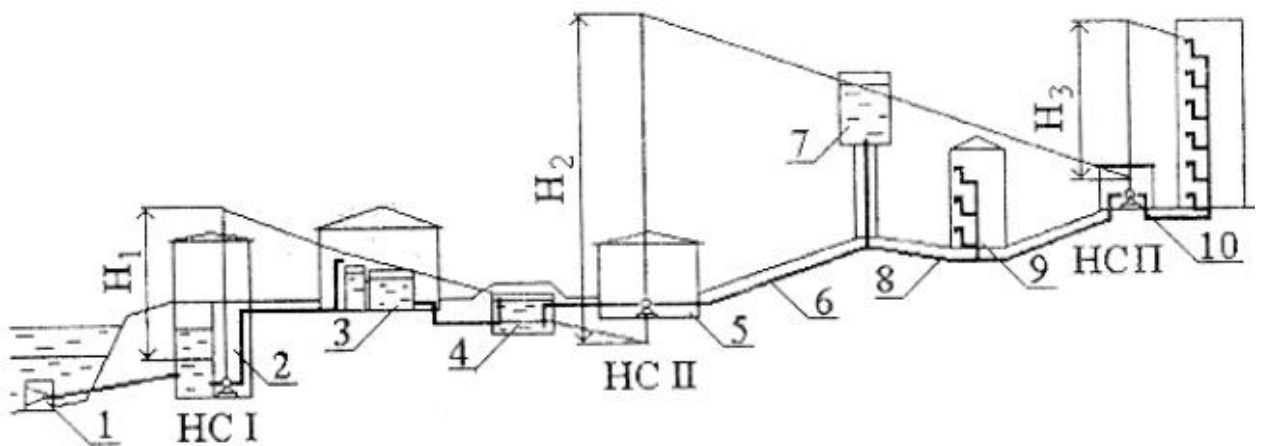


Рисунок 1.1 – Загальна схема насосної станції водопостачання

Очевидно, що кожна конкретна насосна станція має свої конструктивні особливості, які визначаються конкретними умовами їх роботи. Це диктує вимоги до насосної станції та підбір відповідного основного та допоміжного обладнання і його кількості.

Як видно з рисунку 1.1. комплекс насосної станції складається з різних споруд. НС 1 – станція першого підйому, яка здійснює безпосередній забір води з водойми чи іншого джерела води з водозабірника 1 та подачу її на очистку в очисні споруди 3, або до резервуарів накопичення чи інших споруд в залежності від конкретної структури НС. Якщо вода подається на підприємства і не потребує додаткової очистки, то насосна станція першого підйому може напяму постачати воду на це підприємство. Також може здійснюватися паралельно подача води на підприємство та в резервуари накопичення. Звідти насосна станція другого підйому (НС II) перекачує воду у водонапірні башти 7 або резервуари для зберігання води другого підйому (чистої води), що вже безпосередньо подається споживачам. Якщо насосна станція використовується в системі водовідведення, то вона забезпечує подачу відпрацьованої води в резервуари системи очистки води.

В залежності від певних умов рельєфу насосні станції першого та другого підйому можуть розміщуватися в одній споруді і бути об'єднані, що дозволяє скоротити витрати на будівництво споруд та обслуговування обладнання.

Насосна станція підкачувальна (НСП), використовується для підвищення тиску в системах водо- або теплопостачання до необхідного рівня та його підтримування в заданих межах. Узагальнена структура підкачувальної насосної станції представлена на рисунку 1.2.

Такі станції використовуються для подачі води чи теплоносіїв для промислових підприємств, житлових мікрорайонів чи населених пунктів, адміністративних комплексів, а також інших потреб [9].

Підкачувальні станції можуть працювати безперервно або в періодичному режимі. У разі цілодобової роботи станція підключається безпосередньо до трубопроводу й автоматично вмикається при зниженні тиску. Такий режим характерний для виробничих систем.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

В житлових будинках тиск води зазвичай зменшується в години пікового споживання. В таких ситуаціях насосна станція включається тільки в періоди пікового споживання, тобто працює періодично і насосна група з'єднується з трубопроводом через накопичувальний резервуар. Коли рівень води в резервуарі падає до певної межі, датчики подають сигнал на запуск насосів.

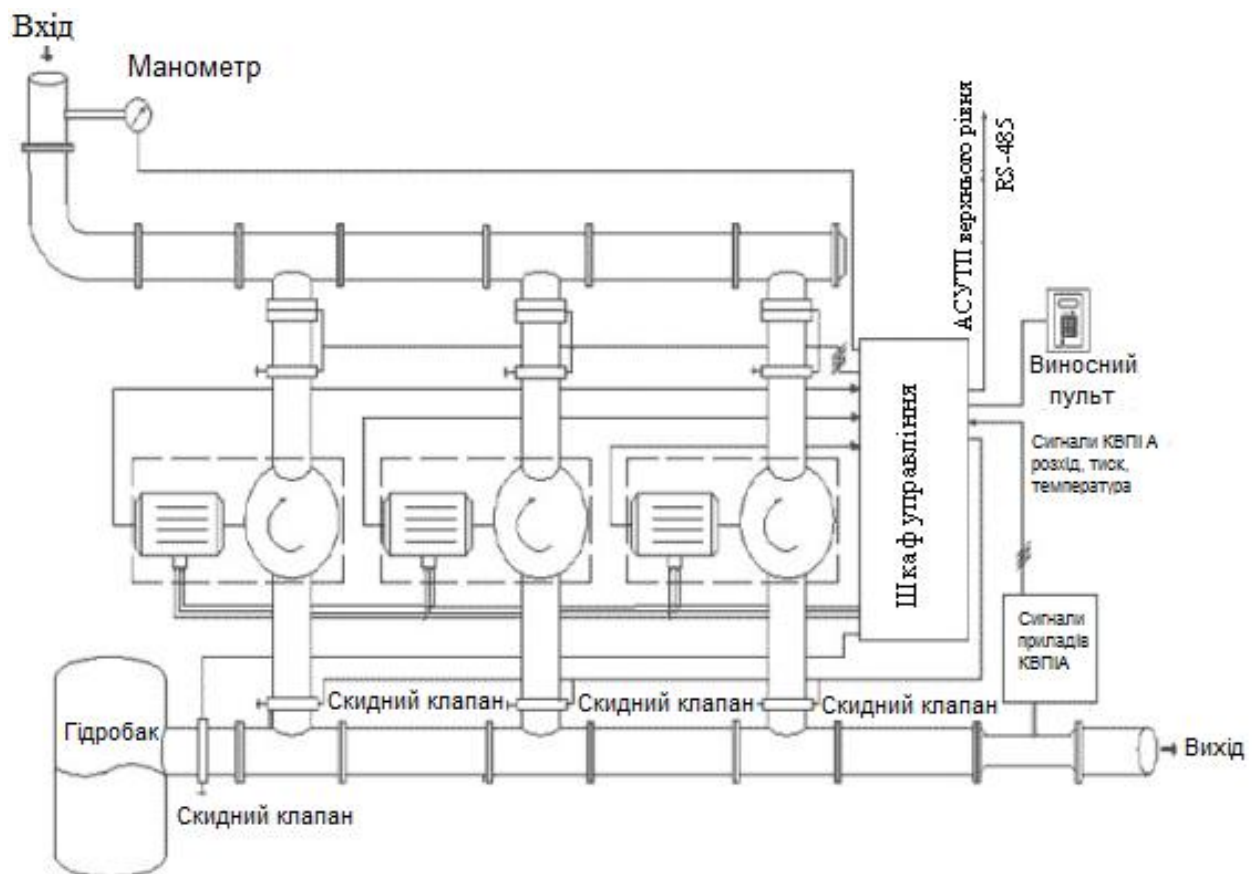


Рисунок 1.2 – Загальна схема підкачувальної насосної станції.

Розміщення підкачувальної станції до громадських та житлових будівель розраховується у відповідності до забезпечення норм гранично допустимого рівня шуму та підтримання заданого рівня тиску у водогонах.

1.2 Призначення, принцип роботи та характеристики підкачувальної насосної станції

Підкачувальні насосні станції є невід'ємною частиною сучасних систем водопостачання та теплопостачання, виконуючи функцію стабілізації та підтримки належного тиску в мережах. Їхнє основне призначення полягає у забезпеченні належного гідравлічного режиму, необхідного для ефективного транспортування води або теплоносія до кінцевих споживачів у різних типах будівель – від житлових і адміністративних до виробничих та комерційних. У багатоповерхових будівлях, де висота подачі перевищує можливості централізованої системи, підкачувальні станції дозволяють подавати воду на верхні поверхи без втрати напору, забезпечуючи комфортне водокористування незалежно від часу доби.

Принцип роботи підкачувальної насосної станції полягає у включенні насосного обладнання у той момент, коли тиск у трубопроводі знижується до критичного рівня. Це забезпечується системою автоматики, яка виявляє зміну параметрів і подає команду на запуск відповідного насоса або групи насосів. У момент досягнення заданого рівня тиску система відключає обладнання або знижує його продуктивність до мінімально необхідного рівня. Завдяки такому принципу роботи забезпечується не тільки стабільний тиск, але й енергоефективність, оскільки насоси працюють лише тоді, коли це справді потрібно.

Для забезпечення теплопостачання мікрорайону необхідно підтримувати наступні нормативних показників системи централізованого [5].:

- тиск у системі теплопостачання в споживача: до 7 кгс/см³;
- температура теплоносія: 65 – 100°C,
- тиски в нагнітальному та зворотному трубопроводі: 2200/1900 т/год.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.3 Опис обладнання та їх характеристик на підкачувальній насосній станції водопостачання

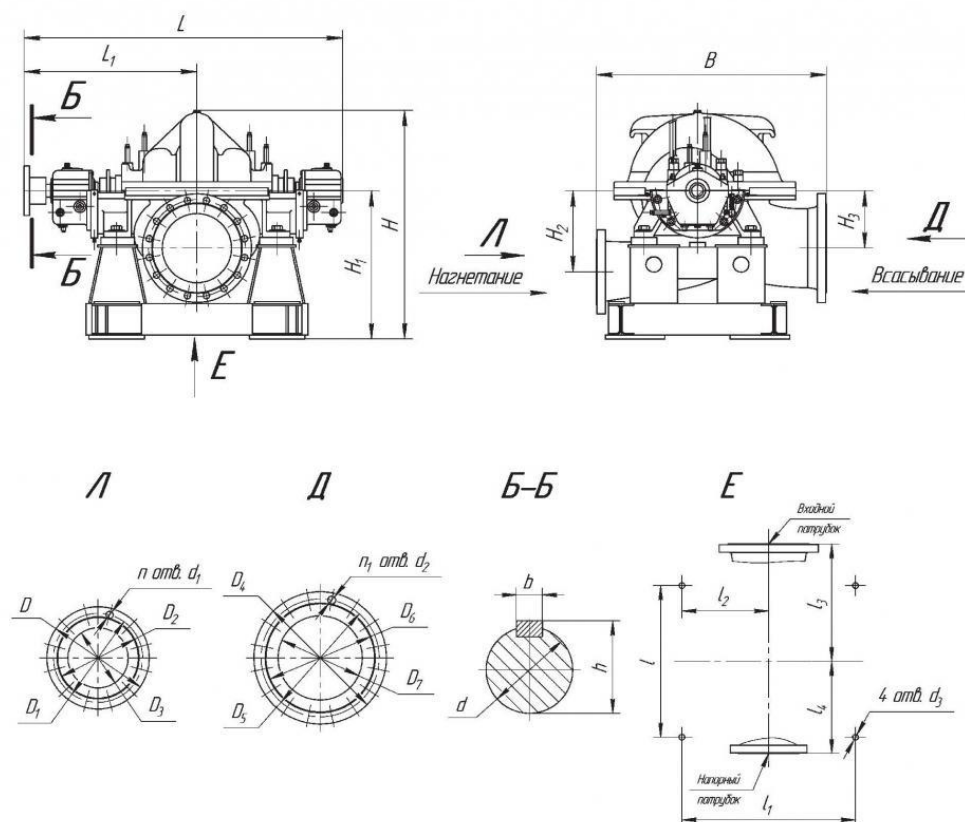
До складу обладнання, яке формує підкачувальну насосну станцію, входять насоси, трубопроводи, зворотні клапани, запірна арматура, датчики тиску і витрати, а також система керування, яка відповідає за координацію роботи окремих елементів станції. Сучасні установки можуть бути оснащені частотними перетворювачами, що дозволяють плавно регулювати оберти електродвигунів, забезпечуючи таким чином економне енергоспоживання та продовження терміну служби обладнання. Система автоматичного керування станцією здатна адаптуватися до змінних умов у системі, забезпечуючи безперебійну подачу води навіть за умов пікових навантажень.

Інноваційні рішення в галузі насосних станцій передбачають використання інтелектуальних технологій моніторингу та керування, які забезпечують віддалений доступ до інформації про стан обладнання, його продуктивність, енерговитрати та технічний стан. Це дозволяє не тільки оперативно реагувати на зміни в роботі системи, але й здійснювати профілактичне технічне обслуговування, що суттєво знижує ризик аварійних ситуацій. Крім того, сучасні ПНС можуть бути інтегровані в загальні системи диспетчеризації об'єкта, що значно підвищує ефективність управління інженерними мережами на великих об'єктах.

В умовах високих вимог до енергоефективності будівель підкачувальні насосні станції нового покоління проектуються з урахуванням мінімізації втрат енергії. Завдяки застосуванню вискоелективних насосних агрегатів, сучасної електроніки, програмованих логічних контролерів та адаптивних алгоритмів керування вдається досягти значного зниження експлуатаційних витрат. У великих житлових комплексах та промислових зонах такі рішення дозволяють оптимізувати загальне споживання енергоресурсів без шкоди для комфорту користувачів.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

В досліджуваній насосній станції використовується три насоси СЕ1250/70-11 (рисунок 1.3), які приводяться в дію електродвигунами АІР 355 М4УЗ. В робочому режимі знаходяться два насоси, а один є резервним. Всі три насоси мають однакові характеристики, що забезпечує їх повну взаємозамінність без потреби пере налаштування характеристик в алгоритмі роботи системи автоматичного управління. Їх потужність становить $N = 315$ кВт; частота обертів валу: $n = 1500$ об/хв; продуктивність: $Q = 1250$ м³/год; номінальний тиск: $H = 0.68$ МПа.



Типоразмер насоса	Размеры в мм															
	L	L ₁	I	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	B	H	H ₁	H ₂	H ₃	h	d	d ₃	b
СЭ 500-70-16	1305	700	858	870	435	550	500	1050	1080	750	275	265	43	40	28	12
СЭ 800-55-11	1480	804	800	660	330	585	570	1155	1100	660	280	378	59	55	32	16
СЭ 1250-70-11	1610	872	840	960	420	650	510	1160	1160	750	410	290	64	60	34	18

Типоразмер насоса	Размеры в мм															
	Фланец напорный							Фланец входной								
	D	D ₁	D ₂	D ₃	d ₁	n	P _у , МПа (кгс/см ²)	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	d ₂	n ₁	P _у , МПа (кгс/см ²)		
СЭ 500-70-16	445	385	345	250	33	12	2,5(25)	550	490	450	350	33	16	1,6(16)		
СЭ 800-55-11	405	355	320	250	27	12	1,6(16)	460	410	378	300	27	12	1,6(16)		
СЭ 1250-70-11	425	370	335	250	30	12	2,5(25)	550	490	450	350	33	16	1,6(16)		

Рисунок 1.10 – Схема та характеристики насоса СЕ 1250/70-11

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ

Арк.

18

Резервний насос в підкачувальній насосній станції має важливе значення для забезпечення її безперебійної роботи. Станція в нормальному робочому стані працює в автоматичному режимі і тільки при запуску, ремонті чи інших виключних випадках переходить в ручний режим управління. При невеликих навантаженнях працює, як правило один насос, а коли його потужності не вистачає автоматично підключається другий. Якщо один з насосів з якихось причин не запрацював протягом 10сек., то автоматично запускається резервний насос.

Насосна станція за нормативними даними повинна забезпечувати потужність подачі води у нагнітальний трубопровід 10м³/год. Якщо потужність буде меншою, то у всмоктуючій трубі може виникнути вакуум, що призведе до деформації обладнання або розгерметизації трубопроводу з підсмоктуванням брудного повітря, що є не припустимим.

Для запобігання такої ситуації вхідні та вихідні трубопроводи обладнуються відповідними датчиками тиску, запірною арматурою (засувками, кранам), регуляторами тиску, зворотними клапанами та іншим обладнанням в тому числі і контрольно-вимірювальними пристроями. Також на входах та виходах насосів встановлюється відповідна запірна арматура (засувки). Крім того, всі дані надходять на панель управління оператора, який також може реагувати на непередбачувані ситуації та аварії.

В досліджуваній ПНС підведені підземні трубопроводи (дві труби ізольовані мінералізованою ватою у залізобетонних лотках) із зовнішнім діаметром 529 мм кожна та загальною довжиною 133 м.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

1.4 Обґрунтування модернізації системи автоматизованого управління підкачувальної насосної станції

В даний час на підкачувальній станції використовуються методи напівручного управління технологічним обладнанням, світлодіодна індикація на пульті управління не забезпечує повноти інформації про параметри технологічного процесу, система управління потужністю та включенням/виключенням насосів є неоптимальною. Алгоритми управління також потребують вдосконалення за рахунок впровадження повністю автоматичної системи керування роботою насосів на базі програмованого логічного контролера.

Основною метою модернізації системи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією є комплексне покращення її роботи. Це підрозуміває зниження експлуатаційних витрат, продовження строку служби обладнання, зменшення енергозатрат, зменшення кількості аварій за рахунок вчасного реагування на критичні зміни параметрів технологічного процесу та багато інших покращень. Крім того, модернізація передбачає інтеграцію підкачувальної насосної станції в цілісну систему управління комунально-житловим господарством та системи «розумного міста» в майбутньому.

Для реалізації поставлених завдань необхідно, перш за все, організувати якісне управління електродвигунами, які є приводами насосних агрегатів (НА). На сьогоднішній день, найбільш ефективним способом керування потужністю електродвигунів базується на використанні перетворювачів частоти (ПЧ), які є джерелом живлення для електродвигунів. За рахунок керування частотою ПЧ здійснюється відповідне регулювання потужність електронасосів, які підтримують заданий тиск в системі водопроводів. Крім керування насосами, модернізація системи управління передбачає також управління іншими виконавчими механізмами – засувками.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Важливою частиною модернізації є також покращення інформаційно – вимірювальної підсистеми, яка дозволить в реальному режимі часу отримувати інформацію про всі параметри технологічного процесу, зберігання її для аналізу та формуванні звітів.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2 ПОБУДОВА СТРУКТУРИ ТА ПІДБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПІДКАЧУВАЛЬНОЮ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ

2.1 Обґрунтування вибору основних технічних засобів автоматизації підкачувальної станції

Модернізація системи автоматизованого управління підкачувальної станції забезпечує не тільки покращення режиму роботи системи водопостачання, а ще й дозволяє здійснювати диспетчеризацію та контроль технологічного процесу. Це, в свою чергу, дозволяє інтегрувати її в єдину інформаційно-управляючу систему, яка в реальному режимі часу надає інформацію про значення контрольованих параметрів, що дозволить підвищити надійність роботи підкачувальної насосної станції, знизити, енергоспоживання, кількість аварійних ситуацій та затрати на експлуатацію в цілому.

Для здійснення автоматизації необхідно обрати відповідні технічні засоби, вимірювальні прилади, виконавчі пристрої, які дозволять контролювати та регулювати відповідні параметри в системах об'єктів водопостачання, зокрема, в підкачувальній насосній станції.

Диспетчеризація насосних станцій, що входить в комплекс системи автоматизованого управління, є однією зі складових ефективної роботи централізованої системи водопостачання. Ефективне управління її компонентами забезпечує скоординовану та злагоджену роботу всіх об'єктів, що входять до комплексу подачі води та обслуговуючих підрозділів.

Сучасні тенденції розвитку технологій та техніки веде до створення «розумних підприємств, «розумних житлово-комунальних комплексів», «розумних міст». Такі тенденції передбачають отримання даних про об'єкти управління в реальному режимі часу та можливість управління ними в

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

автоматичному та ручному (при потребі) режимах, що вимагає розвиток систем диспетчеризації.

Системи автоматизованого управління та диспетчеризації насосними станціями повинні виконувати наступні функції:

1. Забезпечення безперебійного водопостачання споживачів з заданими значеннями параметрів тиску та температури в системі;
2. Підвищення рівня надійності системи, за рахунок ефективного контролю експлуатаційних параметрів обладнання та технологічного процесу;
3. Здійснення поточного моніторингу та періодичного збереження інформації про функціонування мережі водопостачання з її подальшою статистичною та аналітичною обробкою;
4. Здійснення обліку споживання води та підготовка графіків експлуатації насосів;
5. Скорочення часу аналізу технологічних даних та прийняття рішень у нестандартних ситуаціях;
6. Зниження експлуатаційних витрат, за рахунок більш раціональному використанні обладнання та енергоносіїв за рахунок підвищення ефективності використання агрегатів і оптимізацією чисельності обслуговуючого персоналу;
7. Управління обладнанням підкачувальної станції, що забезпечує стабільний тиск у водопровідних магістралях при зміні обсягу споживання;
8. Зменшення нераціональної витрати енергоресурсів без порушення технологічного процесу водопостачання.

Диспетчерське керування роботою системи водопостачання здійснюється з використанням програмного комплексу, забезпечує оператору інтерактивний доступ до архіву даних про функціонування агрегатів та можливість управління технологічним обладнанням.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Дані, що виводяться у вигляді мнемосхем, графіків, таблиць і зображень відображають стан агрегатів і пристроїв із зазначенням ключових експлуатаційних параметрів, дозволяють диспетчеру ефективно контролювати ситуацію і приймати необхідні рішення.

На сервері, розташованому в пункті диспетчерського управління, знаходиться архів даних показників параметрів функціонування системи, що використовуються для аналітичних та статистичних досліджень, а також для планування роботи системи водопостачання.

Отримання достовірної інформації про параметри технологічного процесу визначається вибором відповідного методу вимірювання та технічних засобів.

Метод вимірювання та первинні перетворювачі визначається особливостями середовищем і технологічного процесу, діапазоном вимірювання параметрів і необхідної точності, тобто конкретними умовами та вимогами до вимірювань [2].

При виборі датчиків та вимірювальних елементів, необхідно враховувати ряд наступних параметрів: діапазон вимірювання, точність, ступінь агресивності та агрегатний стан середовища вимірювання, тип вихідного сигналу та інші.

Для створення працездатної системи управління потрібно забезпечити сумісність вхідних та вихідних сигналів різних елементів і, при необхідності, забезпечити їх узгодження.

Виходячи з цих міркувань, для забезпечення узгодженості аналогових сигналів, обрано модуль введення аналоговий MB110-224.8A (рисунок 2.1), який здійснює перетворення аналогових сигналів відповідних вимірюваних параметрів значень фізичних величин і подальшої передачі цих даних через інтерфейс RS-485.

Датчики здійснюють вимірювання відповідних параметрів об'єкту управління, тобто перетворення значень фізичних величин у, зазвичай,

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

значення напруги електричного сигналу, що забезпечує необхідну узгодженість сигналів та зручність подальшої обробки.

Виміряні величини з датчиків, які по чергово опитуються, передаються у даний модуль аналогового вводу MB110-224.8A. В подальшому, отримані аналогові сигнали від датчиків в пристрої MB110-224.8A за допомогою АЦП перетворюються в цифрові сигнали. Потім оцифровані сигнали фільтруються від завад та здійснюється корекція вимірянних значень.

Модуль аналогового вводу циклічно опитує датчики і опрацювання отримані від них сигнали описаним вище способом.



Рисунок 2.1 – Модуль аналогового вводу MB110-224.8A.

Також даний модуль також може використовуватись для збору даних вбудованих дискретних входів з їх передачею в мережу RS-485. Крім того, MB110-224.8A може контролювати подачу напруги живлення на виконавчі механізми (наприклад, захисту трифазного двигуна методом реєстрації обриву однієї з фаз, яка живить його), а також для підрахунку кількості включень обладнання або перебоїв в подачі електроживлення на обладнання.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Модуль працює від мережі 220 В частотою 50 Гц або джерела постійного струму.

Основним елементом на низовому рівні системи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією є програмований логічний контролер (ПЛК), який здійснює первинну обробку отриманих від датчиків даних, а також генерує відповідні сигнали для виконавчих механізмів за програмованим алгоритмом. За проаналізованими технічними характеристиками та необхідним функціоналом для розроблювальної системи автоматизованого управління насосами підкачувальною станцією обрано програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК160-24.А-М (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд програмованого логічного контролера ПЛК160-24.А-М ОВЕН

Обраний програмований логічний контролер ПЛК160-24.А-М ОВЕН за своїми технічними характеристиками та функціональними можливостями задовільняє всім вимогам, відносно не дорогий і за відношенням ціни та якості є оптимальним [22]. Внутрішня архітектура ПЛК160-24.А-М ОВЕН представлена на рисунку 2.3.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

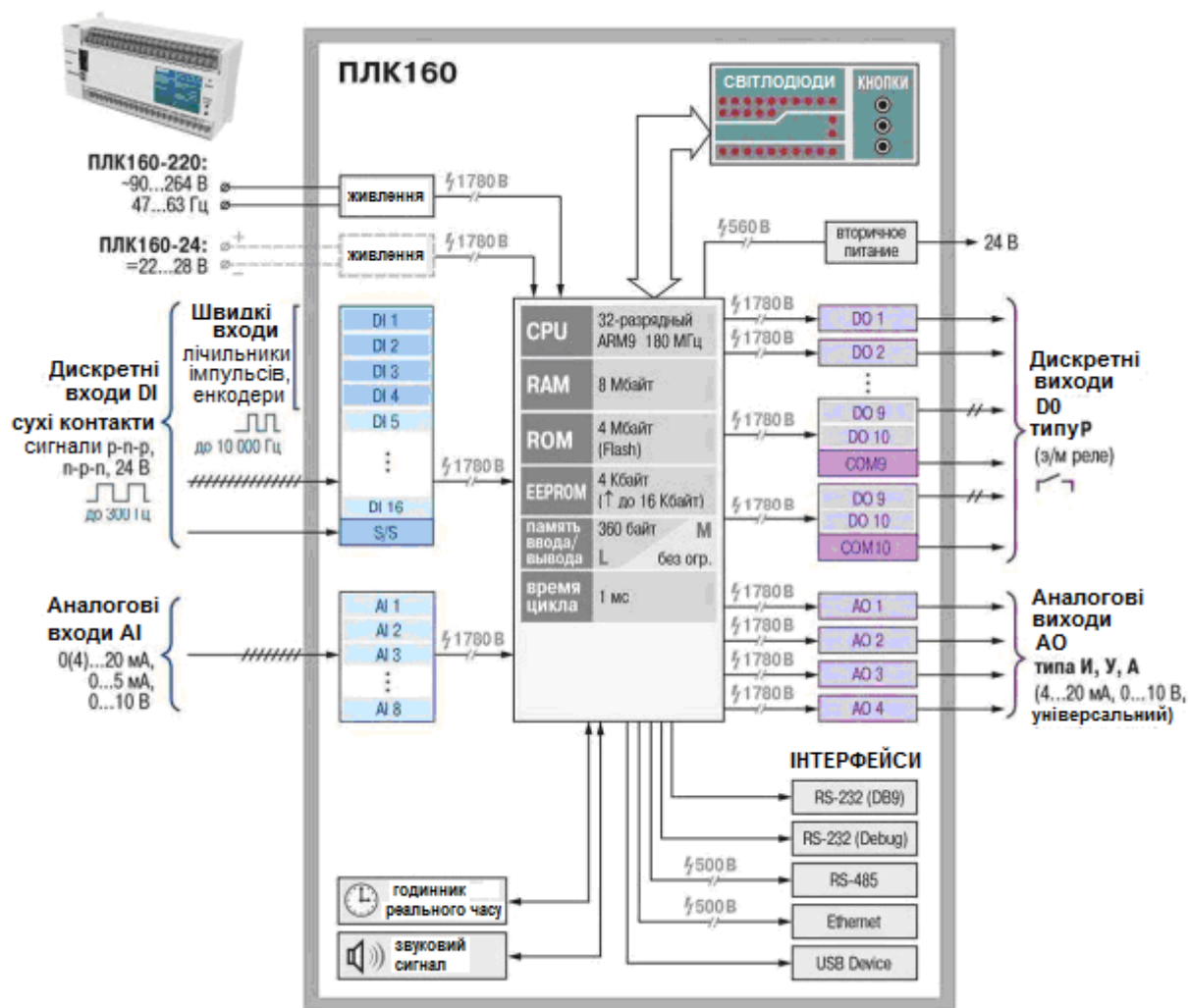


Рисунок 2.3 – Архітектура ПЛК 160-24.А-М ОВЕН

До переваг контролера ПЛК 160-24.А-М ОВЕН відносять наступні характеристики:

- достатньо великі об'єм пам'яті та обчислювальні потужності;
- достатня кількість аналогових та цифрових входів/виходів;
- наявність у контролера послідовних інтерфейсів RS-232, RS-485.
- наявність Ethernet-порту для підключення до локальних мереж різного рівні ієрархії системи автоматизованого управління;
- підтримка протоколів обміну DCON, Modbus, RTU, ASCII.
- можливість підключати до портів ПЛК зовнішніх пристроїв з

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ

Арк.

27

нестандартними протоколами обміну даних, завдяки прямого доступу до портів вводу/виводу;

- наявність вбудованого таймера дозволяє створювати системи управління запрограмованих за часовими відліками та періодами;

- наявність вбудованого акумулятора дозволяє забезпечити безперебійне живлення при короткочасних періодах зникнення зовнішнього живлення, уникнути збоїв при кидках напруги живлення та забезпечення інших функцій.

Для наочного відображення значень параметрів та оперативного керування (виводу результатів вимірювань технологічних параметрів та ручного керування у разі потреби), а також ведення архіву подій чи значень використовується сенсорна панель оператора ОВЕН СП310Б (рисунок 2.4).

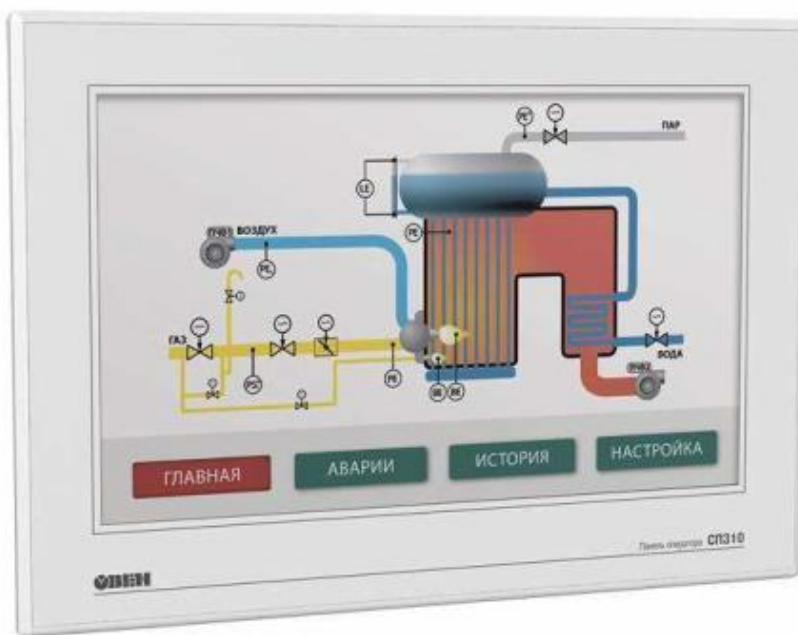


Рисунок 2.4 – Панель оператора ОВЕН СП310-Б

Обрана сенсорна панель оператора СП310-Б забезпечує людинно-машинний інтерфейс, який дозволяє завантажувати керуючу програму функціонування ПЛК в «ручному режимі», редагувати параметри

налаштувань роботи автоматизованої системи та її компонентів, відображати поточні і фіксовані параметри технологічного процесу та вимірювані значення. На екрані сенсорної панелі відображається стан об'єкта управління в режимі реального часу у вигляді графіків, діаграм, мнемосхем та іншого. Також на ньому можливо організувати меню для обрання певних дій, а за допомогою графічних піктограм оператор може обирати різні функції відображення даних, стану параметрів технологічного процесу та пристроїв і здійснювати безпосереднє управління об'єктом керування.

Дана сенсорна панель включає власний процесор AT91SAM9G35-CU з об'ємом оперативної пам'яті 128 Мб та можливістю додавання Flash-пам'яті об'ємом до 128 Мб. Напруга живлення сенсорної панелі ОВЕН СП310-Б повинна бути в діапазоні 23-27 В [21].

Основними параметрами, що контролюються є тиск води в трубопроводі та значення температури. Тиск води в подаючому та зворотному трубопроводах вимірюється за допомогою відповідних дифманометрів різного типу. З проведеного аналізу характеристик сучасних пристроїв вимірювання тиску, було обрано датчик тиску ОВЕН ПД100-ДИ1-311-1 (рисунок 2.5), який здійснює вимірювання на основі тензодатчиків на керамічній мембрані.

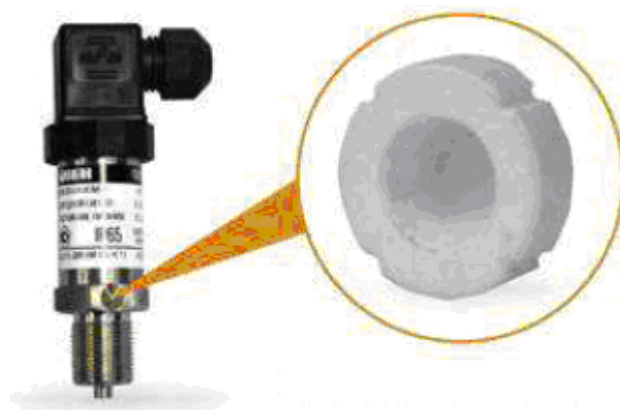
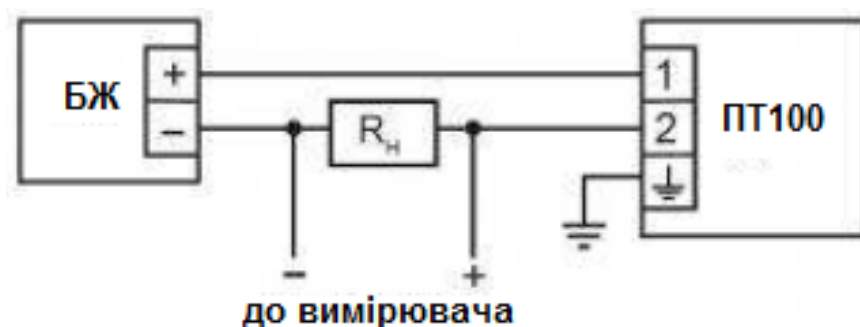


Рисунок 2.5 – Датчик тиску тиску ОВЕН ПД100-ДИ1-311-1 з керамічною мембраною

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Принцип роботи первинного перетворювача тиску ОВЕН ПД100-ДИ1-311-1 базується на схемі «міст Уітстона» з тензорезисторів, розміщених на мембрані, яка виготовлена з декількох видів матеріалу. Мембрана неоднорідно деформується під дією тиску, при цьому змінюється опір тензорезисторів, що спричинює розбалансування моста. Ступінь розбалансування моста, що виражається у величині струму на виході датчика, пропорційна вимірюваному тиску. Обраний тип датчика є стійким до агресивних середовищ, забезпечує необхідну точність і є відносно недорогим. Його можна використати для вимірювання тиску в подаючому та зворотньому трубопроводах в мережах водопостачання, в тому числі, в системі підкачувальної станції, де не потрібна висока точність вимірювань тиску [15]. Підключення датчика тиску ПД100-ДИ1-311-1 здійснюється за схемою показаною на рисунку 2.6.



БЖ – блок живлення; ПТ – перетворювач тиску

Рисунок 2.6 – Схема підключення датчика тиску ПД100-ДИ1-311-1

Нижче представлені загальні характеристики перетворювача тиску ПД100-ДИ1-311-1:

- вимірювання тиску в різних слабоагресивних газоподібних та рідких середовищах;
- вихідний сигнал постійного струму в діапазоні 4...20 мА;
- діапазон вимірюваного тиску – від 0,1 до 10,0 МПа;

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

- здатність витримувати перегрузку не менше 200%;
- основна похибка – 1,0%.

Другим важливим параметром після тиску води в трубопроводах є температура води. Для її вимірювання обрано датчик температури ОВЕН ДТС035-РТ100.В3.200 (рисунок 2.7), здатний проводити безперервні вимірювання температуру твердих, сипучих, рідких та газоподібних середовищ, неагресивних до матеріалу чутливого елемента (ЧЕ) датчика. Чутливим елементом пристрою є термоопір з комутаційною головкою для зручності монтажу. Діапазон вимірювань температури: -196...+500 °С (з мідним чутливим елементом). Рекомендується підключати датчик ДТС035-РТ100.В3.200 мідним кабелем для зменшення похибки вимірювання. Принцип роботи датчика полягає у зміні опору чутливого елемента пропорційно температурі навколишнього середовища і, як наслідок, відповідній зміні сили постійного струму [16].



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд датчик температури ДТС035-РТ100.В3.200 зкомутаційною головкою

Всі харатерисики датчика температури ДТС035-РТ100.В3.200 задовільняють вимогам по характеристикам, ціні і якості.

Для включення та вимкнення насосів підкачувальної станції при перепадах тиску в водогонах під час зміни споживання, обрано реле тиску Danfoss KPI35(рисунок 2.8).

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

Дане реле реагує на зміну тиску в водопровідній мережі та генерує сигнал включення насосу при падінні тиску нижче критичного значення та вимкнення насосу при перевищенні значення тиску води більше встановленого рівня.

Електромеханічне реле тиску Danfoss KPI 35 із змінним диференціалом з діапазон налаштування – 0,2-8 МПа може використовуватися в рідких та газоподібних середовищах для регулювання тиску, а також для сигналізації критичній зміні тиску як в сторону перевищення так і зниження. В структуру реле тиску включено однополюсні перемикачі SPDT, які замикають або розмикають електричне коло при зміні тиску за межі встановленої апертури. Монтуються реле тиску за допомогою різьбового з'єднання у верхню частину трубопроводу та здатно працювати в діапазоні температури навколишнього середовища від -40 °С до 100 °С, і тиску до 18 МПа [17].



Рисунок 2.8 – зовнішній вигляд реле тиску Danfoss KPI 35

Найбільш оптимальний спосіб, на сьогоднішній день, управління електродвигунами базується на використанні частотних перетворювачів., які забезпечують плавне та точне керування потужністю двигуна. Тому для управління електродвигунами насосних установок підкачувальної станції підібрано перетворювач частоти Danfoss VLT FC202P315, загальний вигляд якого представлено на рисунок 2.9. Потужність даного частотного

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

перетворювача складає 315 кВт, що цілком достатнє для ефективного управління двигунами змінного струму, які використовуються у підкачувальній станції водопостачання та водовідведення. Він характеризується широким набором вбудованих стандартизованих функцій та режимів роботи. Частотний перетворювач є джерелом живлення для електродвигунів насосних установок, і за рахунок зміни потужності живлення дозволяє змінювати частоту оборотів двигуна тим самим керуючи підтриманням тиску насосами у водогонях на належному рівні при значних добових змінах споживання води. Для живлення частотного перетворювача Danfoss VLT FC202P315 необхідна вхідна напруга 380...480, при цьому на виході отримаємо частоту 0...590 Гц [18].

Аналогічно, управління електроприводами засувки здійснюється перетворювачами частоти, але меншої потужності Danfos VLT Micro Drive (рисунок 2.10), які виступають джерелом живлення для універсальних двигунів змінного струму потужністю до 22 кВт.



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд перетворювача частоти
Danfoss VLT FC202P315

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.10 – Перетворювач частоти Danfos VLT Micro Drive

В основному, Danfos VLT Micro Drive застосовується в системах автоматизованого управління для підтримки певних параметрів технологічного процесу на заданому стабільному рівні. Значення цих параметрів вимірюються відповідними датчиками, які передають ці значення на контроллер, що генерує керуючі сигнали для виконавчих механізмів, в тому числі на перетворювачі частот, які, в свою чергу, керують електроприводами різних виконавчих механізмів. В окремих випадках. Сигнал від датчика на пряму може подаватися на частотний перетворювач.

Обраний перетворювач частоти побудований на технології логіки PNP/NPN, має 5 програмованих цифрових входів, імпульсний вхід з діапазоном 20 – 5000 Гц, один аналоговий вхід 0 –10 або 0 – 20 мА, один аналоговий вхід 0 – 20 мА, Вхід термістора (аналоговий або цифровий), один

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

аналоговий вихід, одне реле ~ 240 В, 2 А, можливість передачі даних по мережі RS-485 [19].

Для регулювання потоком води в водогонах обрано засувки з електроприводами ПЕМ Б5У (рисунок 2.11) з номінальною потужністю 1,1 кВт. Ці засувки можуть працювати як в автоматичному так і в ручному режимі, що встановлюються на трубопроводах для зміни поперечного перерізу потоку води



Рисунок 2.11 – Загальний вигляд засувки з електроприводом ПЕМ Б5У

Приводи забезпечують відкриття та закриття засувки, регулюючи потік води. Засувка може приймати крайні положення «Відкрито», «Закрито» і будь-яке проміжне положення. Управління приводом засуви може здійснюватися в ручному режимі з пульта керування або в автоматичному режимі, шляхом керування електропроводом, який встановлює засувку у задане положення. Живлення електричних двигунів забезпечується трифазним підключенням до мережі напругою 280 В. і стандартною частотою 50 Гц. [20].

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.2 Структура та організація роботи системи управління підкачуючою насосною станцією в автоматичному та ручному режимах

Робота підкачувальної насосної станції здійснюється наступним чином: на насосну станцію надходить вода з ТЕЦ певної температури і тиску. При нормальних температурі і тиск засувки на подаючому і зворотному трубопроводі відкриті, а на перемичці закрита.

Якщо тиск у системі знижується нижче необхідного, в роботу включаються насоси, підвищуючи тиск у системі. Якщо ж у системі температура перевищує необхідне значення, то засувка на перемичці відкривається, внаслідок чого гаряча вода, що надходить з ТЕЦ, підмішується холодною водою з міста, таким чином, загальна температура в системі падає.

У системі управління ПНС передбачено 2 режими управління – ручний та автоматичний. Для вибору режиму необхідно повернути перемикач на щиті керування у відповідне положення. У ручному режимі пуск-стоп насоса виконується з кнопок на щиті керування (рисунок 2.12), а частота обертання задається потенціометром на дверцятах щита керування, сигнали керування від контролера блокуються. У автоматичному режимі насосами управляє ПЛК за заданим алгоритмом.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

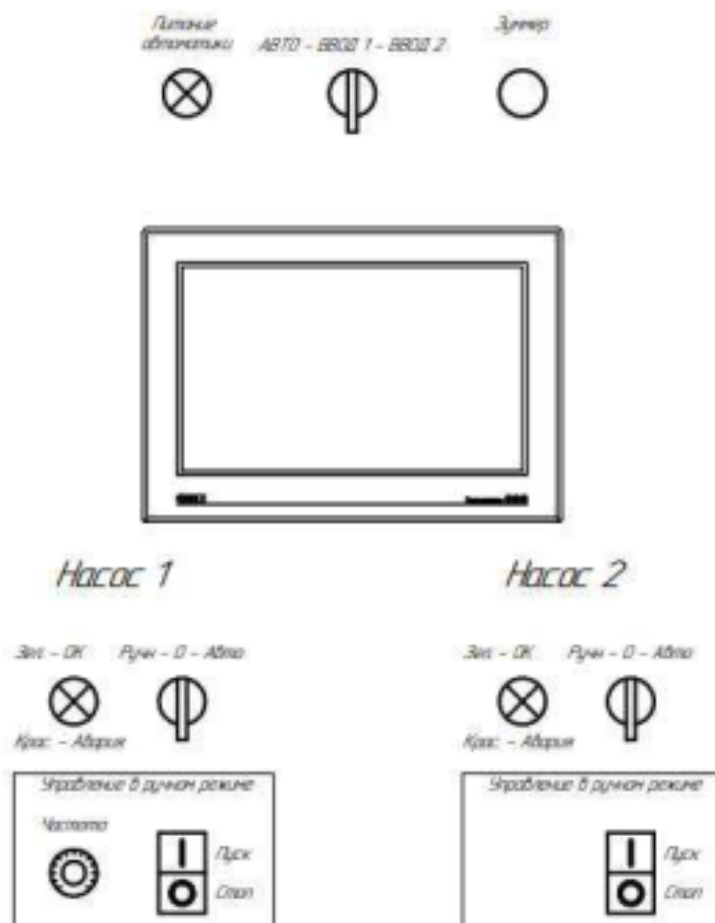


Рисунок 2.12 – Шафа управління

Налаштування та налаштування автоматичного режиму змінюються з панелі оператора, сигнали від ручних органів керування блокуються.

Структурна схема визначає основні функціональні частини виробу, їх призначення та взаємозв'язки між ними. Схема відображає принцип дії виробу у найзагальнішому вигляді.

У системі є 4 дискретних вхідних сигнали та 10 аналогових уніфікованих вхідних сигналів. 4 уніфіковані аналогових сигнали 4 до 20 мА і 4 дискретні сигнали 24 надходять від датчиків на вхідні аналогові і дискретні модулі. Шість аналогових сигналів надходять з виконавчих механізмів, які повідомляють про положення засувки та стан насосів. Шість дискретних сигналів приймають дискретні вхідні модулі. Також Шість

управляющих сигналов відправляються з вихідного аналогового модуля і надходять на виконавчі механізми.

На рисунку 2.13 наведена структурна схема системи підкачуючої насосної станції якій зазначені всі датчики, виконавчі механізми, що використовуються для регулювання параметрів процесу. Дана схема дозволяє легко з'ясувати, які модулі необхідно використовувати в контролері, а також наочно показує типи і кількість вхідних і вихідних сигналів.

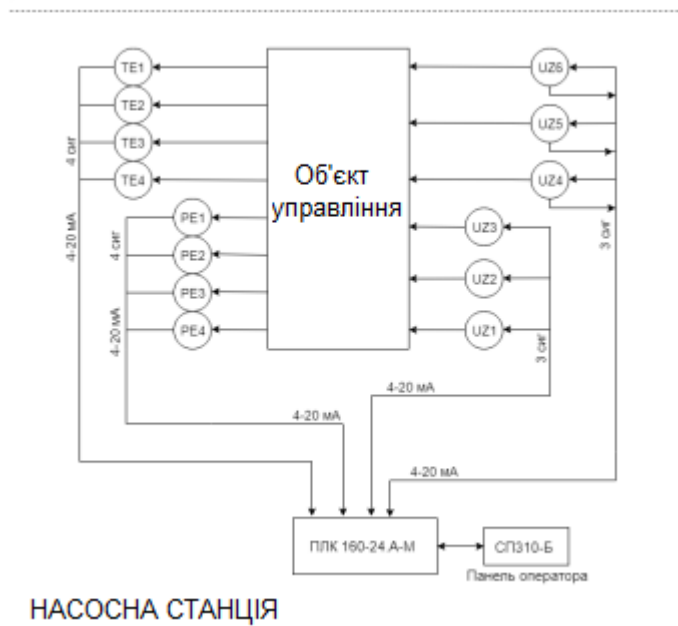


Рисунок 2.13 – Структурна схема автоматизації підкачувальної насосної станції.

Функціональна схема показана на рисунку 2.14 є основним технічним документом, що визначає структуру та характер автоматизації технологічного процесу проектного об'єкта та оснащення його приладами та засобами автоматизації. На функціональній схемі умовно зображують технологічне обладнання, комунікації, пристрої керування, прилади та засоби автоматизації, а також зв'язок між ними.

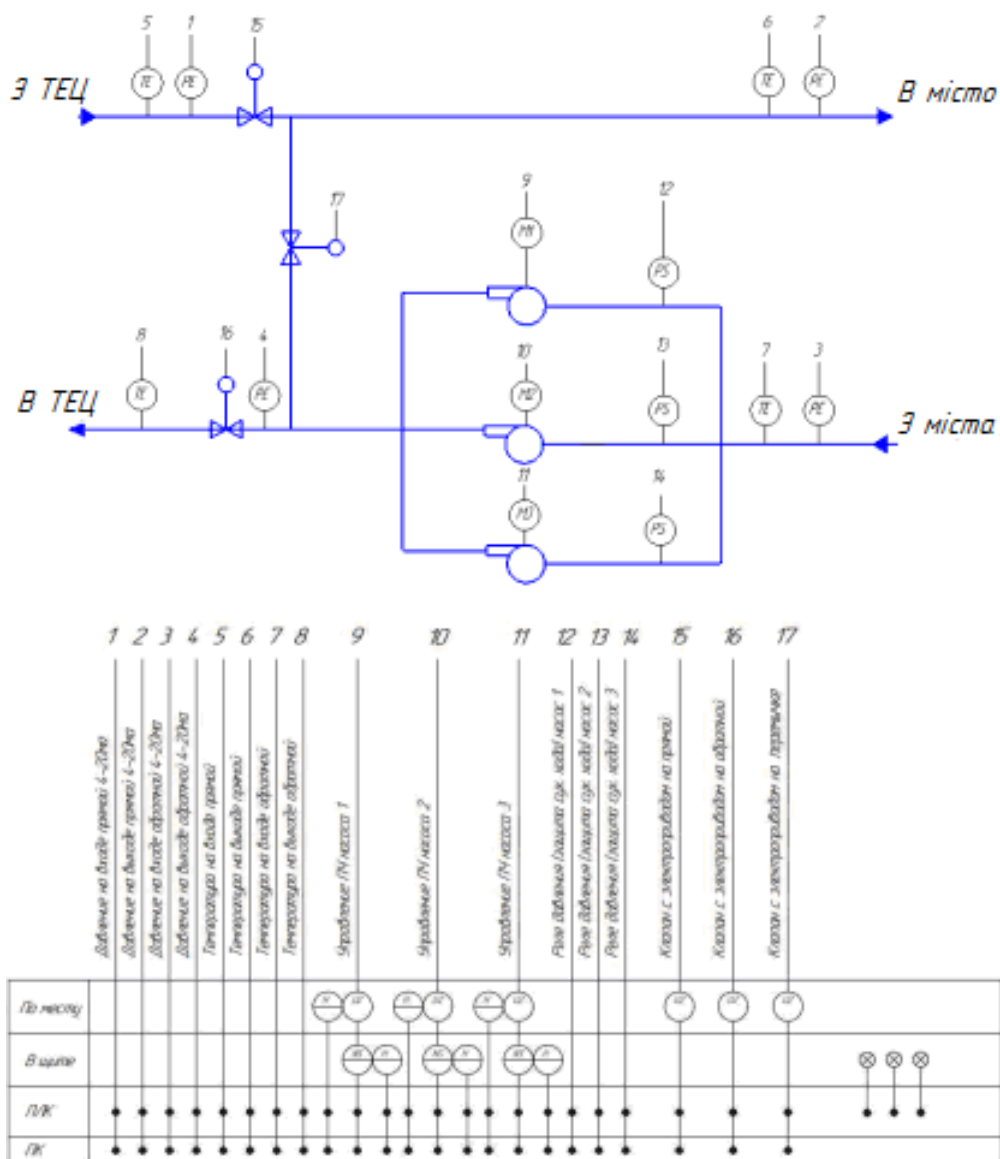


Рисунок 2.13 – Функціональна схема автоматизації підкачувальної насосної станції.

Значення технологічних параметрів регулювання, контролю та сигналізації САУ наведені в таблицях 2.1 – 2.3.

Таблиця 2.1 – Параметри контролю

№	Назва	Значення
1	Тиск води на вході трубопроводу подачі	До 1.6 МПа
2	Тиск води на виході трубопроводу, що подає	До 1.6 МПа
3	Тиск води на вході зворотного трубопроводу	До 1.6 МПа
4	Тиск води на виході зворотного трубопроводу	До 1.6 МПа
5	Температура води на вході трубопроводу, що подає	0-180 °С
6	Температура води на виході трубопроводу, що подає	0-180 °С
7	Температура води на вході зворотним насосами	0-180 °С
8	Температура води на виході зворотного трубопроводу	0-180 °С

Таблиця 2.2 – Параметри регулювання

№	Назва	Призначення
1	Стан електродвигуна насосу	Підтримка тиску в системі теплопостачання
2	Стан засувки на подаючому трубопроводі	Подача води з ТЕЦ подаючому трубопроводу
3	Стан засувки на зворотному трубопроводі	Подача води до ТЕЦ по зворотному трубопроводу
4	Стан засувки на перемищці	Подача води із зворотного трубопроводу в подаючий

Таблиця 2.3 – Параметри сигналізації

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

№	Назва	Значення
1	Тиск на вході подаючого трубопроводу	менше 0.5 МПа або більше 1.2 МПа
2	Тиск на виході подаючого трубопроводу	менше 0.5 МПа або більше 1.2 МПа
3	Тиск на вході зворотного трубопроводу	менше 0.4 МПа або більше 1.2 МПа
4	Тиск на виході зворотного трубопроводу	менше 0.4 МПа або більше 1.2 МПа
5	Температура на виході подаючого трубопроводу	менше 65°C або більше 100°C
6	Температура на вході подаючого трубопроводу	менше 65°C або більше 100°C
7	Температура на вході зворотного трубопроводу	менше 40°C або більше 100°C

Ці контрольовані параметри найбільше впливають на якість та безаварійне протікання технологічного процесу і повинні обов'язково контролюватись технічними засобами автоматизації.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ПІДКАЧУВАЛЬНОЮ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ

3.1 Теплогідравлічний розрахунок параметрів температури і тиску в системі централізованого опалення

Вихідні умови теплових навантажень теплоспоживаючих систем будівель:

- опалювальний період – 5616 год;
- розрахункова температура зовнішнього повітря для системи опалення -27°C ;
- середня температура за опалювальний період -4°C .

Розрахунок витрат мережної води проводився при температурному режимі $65 - 100^{\circ}\text{C}$ з обмеженням температури теплоносія в подаючому трубопроводі до 100°C . Середньогодинні витрати тепла та теплоносія на водопостачання для систем теплопостачання розраховувалися за ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація» [25].

Втрати тепла трубопроводами системи теплопостачання обчислюють за формулою:

$$Q^{ht} = \sum Q_i^{ht} \quad (3.1)$$

$$Q_i^{ht} = k \cdot dT \cdot l = k \cdot (T_{cp} - T_{нар}) \cdot l \quad (3.2)$$

де Q_i^{ht} – тепловтрати окремих ділянок теплопостачання, Вт;

k – лінійний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м $^{\circ}\text{C}$);

dT – температурний напір, $^{\circ}\text{C}$;

T_{cp} – середня температура води в трубопроводі, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{нар}$ – температуру навколишнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

l – довжина ділянки трубопроводу, м.

Витрата теплоносія (води) у системі опалення – це кількість води за певного температурного режиму, яка повинна доставлятися до радіаторів за одиницю часу, щоб компенсувати теплові втрати тепломережі. Витрата теплоносія визначається за такою формулою:

$$Q_{on} = \frac{Q^{ht}}{c \cdot (T_2 - T_3)} \quad (3.3)$$

де Q^{ht} – теплові втрати системи теплопостачання, Вт;

T_2 – температура теплоносія на виході з подаючого трубопроводу, °С;

T_3 – температуру теплоносія на вході в зворотному трубопроводі, °С;

c – питома теплоємність води, $\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$

У таблиці 3.1 представлені розрахункові дані щодо витрати теплоносія [5].

Розрахунок втрат температури у трубопроводах системи тепломережі визначається за формулою:

$$T_3 = \frac{3,6 \cdot Q_{dil} \cdot T_2 - Q_i^{ht} \cdot (1/1,163)}{3,6 \cdot Q_{dil}} \quad (3.4)$$

де Q_{dil} – розрахункова витрата води на ділянці трубопроводу, л/с;

Q_i^{ht} – тепловтрати ділянки трубопроводу з урахуванням ізоляції, Вт;

T_2 – початкова температура теплоносія, °С;

(1/1,163) – коефіцієнт переводу: 1 ккал/год = 1,163 Вт.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.1 – Витрата теплоносія опалювальних об'єктів.

№	Напрямки	Q _{оп.} Гкал/год
1	Споживачі підключені від магістральної теплової мережі 2Ду 600мм	12.99
2	Споживачі I мікрорайону	8.2
3	Споживачі II мікрорайону	9.36
4	Споживачі III мікрорайону	10.83
5	Споживачі IV мікрорайону	11.18
6	Споживачі V мікрорайону	12.14
7	Споживачі VI мікрорайону	9.74
8	Споживачі VII мікрорайону	15.55
9	Споживачі VII мікрорайону	5.74
10	Споживачі IX мікрорайону	0.63
11	Загальне навантаження на межі поділу	83.37

Результати обчислень за формулою (3.4) показані у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Втрати температури теплоносія у трубопроводах

Температура на виході подаючого трубопроводу, $T_2, ^\circ C$	Температура на вході зворотного трубопроводу, $T_3, ^\circ C$	Температура зовнішнього повітря, $T_{зовн.}, ^\circ C$
75	50	0
85	60	0
75	48,5	-10
85	58,5	-10
75	40,15	-20
85	50,25	-20

Під час руху води по трубі, виникає опір від тертя її об стінки, і різні перепони. Це явище отримало назву гідравлічний опір трубопроводу. Його чисельне значення відповідає прямопропорційній залежності від швидкості потоку.

Розрахунок втрати тиску на ділянці трубопроводу відомої довжини обчислюється за виразом:

$$\Delta p = R \cdot L(1 + K_m), \quad (3.5)$$

де Δp - Втрата тиску в метрах водяного столбу. Така характеристика застосовна з огляду на те, що змінюється тиск води в її потоці;

R – питомі втрати тиску на 1 м довжини трубопроводу, Па/м;

L – Довжина трубопроводу в метрах, м;

K_m – коефіцієнт додаткових опорів (СНіП II-34-76) [26].

У таблиці 3.3 представлені значення тиску в трубопроводі різниці між якими відповідає величині обчисленої за формулою (3.5).

Таблиця 3.3 – Порівняння значень тиску теплоносія в трубопроводі

Тиск на виході подаючого трубопроводу, МПа	Тиск на вході зворотного трубопроводу, МПа
1,2	1,0
1	0,8
0,95	0,75
0,85	0,65
0,7	0,5
0,6	0,4

Порівняння значень тиску теплоносія в трубопроводі показало, що втрати тиску становлять 0,2 МПа.

3.2 Моделювання системи керування насосною станцією в автоматичний режим

Системою автоматизованого управління насосною станцією передбачено два режими роботи підкачувальної насосної станції: ручний або автоматичний. В основному робота здійснюється в автоматичному режимі, а ручний режим використовується в різних нештатних ситуаціях, технічному обслуговуванні, ремонті, передаварійних та аварійних станах обладнання. Вибором режиму керує оператор насосної станції за допомогою відповідного перемикача на панелі управління. Аналогічним чином здійснюється і керування роботою клапанами. Для початку роботи системи управління насосною станцією в автоматичному режимі, а також зупинки роботи на панелі управління передбачені кнопки «ПУСК» та «СТОП». Як правило, в робочому режимі знаходяться два насоси, які в залежності від об'єму споживання води можуть працювати одночасно, або по чергово. Третій насос є резервним, який може в цей час проходити техобслуговування, плановий ремонт, профілактику. Призначення резервного насоса також обирається оператором відповідним перемикачем на панелі управління. При обранні резервного насоса, автоматично перекидається засувка нагнітального трубопроводу цього насоса.

Загальна блок-схема алгоритму керування роботою підкачувальною насосною станцією подано в додатку А кваліфікаційної роботи.

Якщо з датчика на виході подаючого трубопроводу надходить сигнал про поточний тиск в ньому $P_{\text{пот}}$ нижчий заданої мінімальної норми P_{min} , то система автоматичного управління перевіряє кількість працюючих насосів. Якщо в даний момент працює тільки один насос, то здійснюється подача сигналу перетворювачу частоти (ПЧ) підвищити потужність насоса, якщо досягнуто не максимальну потужність. При досягненні максимальної потужності роботи одного насоса подається команда підключення другого

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

насосу, щоб забезпечити заданий тиск в системі водопостачання $P_{\min} < P_{\text{пот}} < P_{\max}$, шляхом управління через ПЧ електроприводом другого насосу.

Якщо з датчика тиску отримано сигнал по перевищення тиску в подаючому водопроводі $P_{\text{пот}} > P_{\max}$, програмований логічний контролер перевіряє кількість працюючих в даний момент насосів. Якщо працюють обидва насоси, то через управління ПЧ здійснюється зниження потужності роботи додаткового насосу до мінімально значення, і в разі потреби подальшого зниження тиску – відключення цього насосу повністю, що працює від частотного перетворювача, і залишається робочим тільки насос, працюючий від мережі.

При надходженні сигналу від датчиків тиску в подаючих трубопроводах про перевищення в них тиску вище верхнього гранично допустимого значення $P_{\text{пот}} > P_{\text{в. гр}}$, або зменшення нижче нижнього гранично допустимого $P_{\text{пот}} < P_{\text{н. гр}}$, то контролером генерується сигнал «АВАРІЯ» і зупиняється робота підкачувальної станції в автоматичному режимі і управління здійснюється тільки в «ручному» режимі.

Алгоритм управління засувками підкачуваної насосної станції представлено у вигляді блок-схеми в додатку Б.

Ще одним важливим параметром, що контролюється системою автоматизованого управління є температура води в нагнітальному трубопроводі насосної станції. Якщо вона знаходиться в заданих межах $T_{\min} < T_{\text{ном}} < T_{\max}$ (де $T_{\min}$ $T_{\max}$ – нижнє та верхнє значення допустимого діапазону зміни температури, $T_{\text{ном}}$ – поточне значення температури), то не виробляється ніяких керуючих сигналів.

Якщо температура в трубопроводі стає вищою за встановлену верхню межу $T_{\max} < T_{\text{ном}}$, система автоматизованого управління (програмований логічний контролер), перевіряється на скільки відкриті засувки на переміщі між нагнітальним і зворотним трубопроводах і чи закриті засувки на

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

подаючому і зворотному трубопроводах. Якщо вони не повністю відкриті (на перемичці) і закриті (на подаючому і зворотному) трубопроводах відповідно генеруються керуючі сигнали на більше їх відкриття/закриття. Якщо ж засувки закриті /відкриті повністю на 100%, генеруються сигнали на їх відповідне відкриття/ закриття.

При отриманні сигналу від датчика температури на нагнітальному трубопроводі, що температура води T_{nom} опустилася нижче мінімального рівня T_{min} , то знову ж таки перевіряється на скільки відкриті засувки на перемичці між нагнітальним і зворотним трубопроводах і чи закриті засувки на подаючому і зворотному трубопроводах. Якщо на перемичці засувка повністю відкрита, а на зворотному трубопроводі – закрита, то генерується керуючий сигнал для пропорційного закриття засувки на перемичці і відкритті засувки на зворотному трубопроводі, до нормалізації температури води в нагнітальному трубопроводі згідно умови $T_{min} < T_{nom} < T_{max}$.

При перевищенні температури води T_{nom} в нагнітальному трубопроводі вище верхньої допустимої межі $T_{в.гр}$ або опустилася нижче встановленої нижньої межі $T_{н.гр}$, то системою автоматичного управління генерується сигнал «АВАРІЯ» і здійснюється зупинка електроприводів насосів та закриття всіх засувок для запобігання втрат води і управління переходить в режим «ручного» управління.

3.3 Комп'ютерна модель із застосуванням програми SimInTech

Для проведення моделювання роботи системи управління та підкачувальної насосної станції в цілому необхідно використати відповідні програмні пакети. Вони дозволяють без фізичної реалізації відтворити роботу досліджуваної системи в різних режимах роботи, виправити всі

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

виявлені недоліки та підтвердити характеристики працездатності системи.

Такі програмні комплекси дозволяють здійснювати візуальне проектування з готових блоків та модулів завершеної моделі системи управління технологічним процесом, задати відповідні вхідні характеристики системи та окремих пристроїв і компонентів. Крім того, в такому програмному середовищі можливо здійснювати відповідні розрахунки, будувати графіки та діаграми контрольованих параметрів та відслідковувати їх зміну при зміні різних величин вхідних значень та зовнішніх впливах. Для створення таких моделей не потрібно володіти глибокими навиками програмування, чисельними та статистичними математичними методами, а тільки мати знання в даній сфері та розуміти предметну область.

Було проаналізовано декілька таких програмних середовищ проектування та моделювання, а саме: Simulink; ПК MBTU; SimInTech, на основі чого обрано програму SimInTech через її широкі функціональні можливості та враховуючи, що користування нею є безоплатним (free).

SimInTech є універсальним програмним комплексом, що дозволяє моделювати найрізноманітніші технологічні процеси та явища в технічних системах різних сфер застосування і володіє широким набором обчислювальних методів здатних реалізувати математичні моделі у вигляді системи алгебраїчно-диференціальних рівнянь та здійснювати різні статистичні та інші математичні дослідження.

Таким чином, в даному пакеті SimInTech побудовано модель системи управління підкачувальною насосною станцією та різних її компонентів. Під час проектування та подальшого дослідження дана програма дозволяє легко вносити потрібні зміни, вдосконалення, доповнення та уточнення, а також наочно відображати технологічний процес та його параметрів[12].

На рисунку 3.1. представлено загальний вигляд спроектованої у програмі SimInTech комп'ютерної моделі системи автоматизованого управління підкачувальною станцією.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

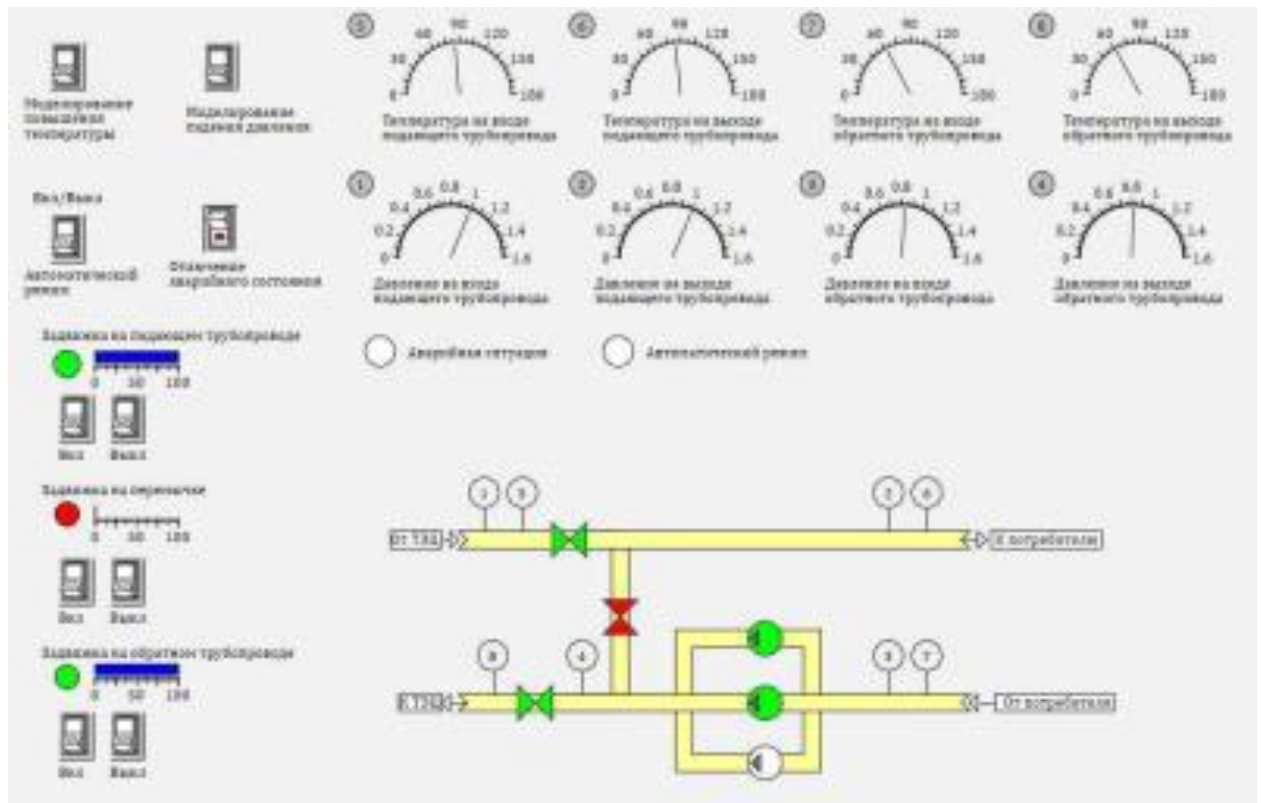


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд комп'ютерної моделі системи автоматизованого управління підкачивальною станцією у програмі SimInTech.

Для керування перетворювачами частоти (ПЧ), що керують електроприводами насосів використовується окреме вікно (рисунок 3.2), яке викликається шляхом подвійного натискання клавіші мишки на зображенні насоса на панелі оператора.

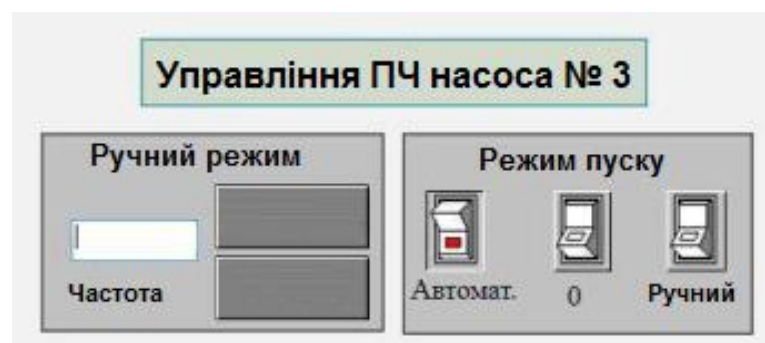
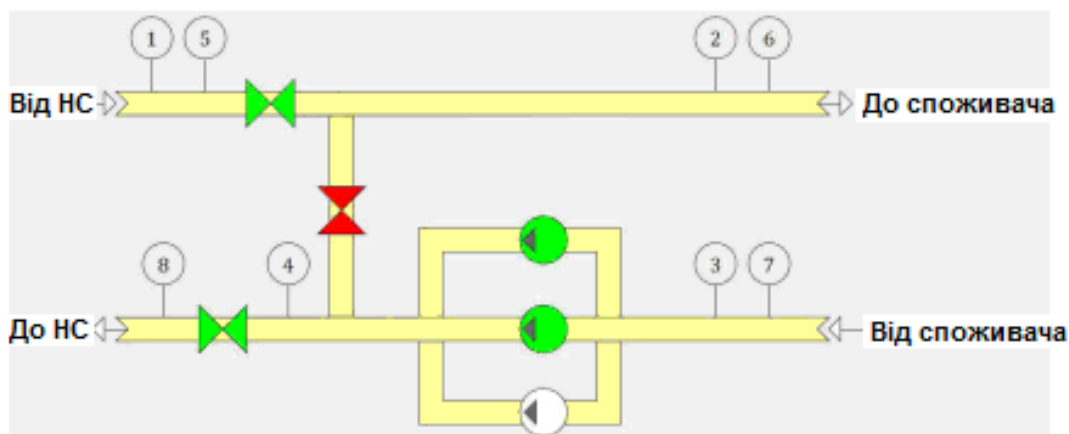


Рисунок 3.2 – Вікно керування ПЧ насосу

Модель також включає: мнемосхему технологічного процесу оператора (рисунок 3.3), панель управління перетворювачем частоти (рисунок 3.4), панель показів та індикації приладів контролю та вимірювання (рисунок 3.5).



1 – диференціальний датчик тиску воднагнітального трубопроводу;

3 – диференціальний датчик тиску води на вході зворотного трубопроводу; 4 – диференціальний датчик тиску води на виході зворотного трубопроводу; 5 – датчик температури води на вході нагнітального трубопроводу; 6 – датчик температури води на виході нагнітального трубопроводу; 7 – датчик температури води на вході зворотного трубопроводу; 8 – датчик температури води на виході зворотного трубопроводу.

Рисунок 3.3 – Мнемосхема технологічного процесу.

Як зазначалося раніше, на панелі управління оператора відображаються кнопки переключення в «Автоматичний режим» та «Ручний режим», як показано на рисунку 3.4., а також кнопка включення та вимкнення «АВАРІЙНОГО СТАНУ». Дана кнопка призначена для вимкнення аварійного стану системи автоматизованого управління підкачувальною насосною станцією, після того як аврія була усунена під час роботи в ручному режимі, і повернення її роботи до штатного автоматичного режиму

керування. Нижче на панелі управління розміщені кнопки управління засувками на перемищці та на подаючому і зворотному трубопроводах, а також індикатори їх стану. Якщо світлодіодний індикатор світиться червоим кольором, то це означає, що засувка повністю закрита. Якщо індикатор світиться зеленим кольором – засувка повністю відкрита, а жовтий колір – засувка знаходиться в проміжному стані. Лінійки біля індикаторів вказують на ступінь відкриття засувки у відсотках. Для управління засувками на усіх трьохтрубопроводах в ручному режимі передбачені кнопки Вкл.» та «Викл.»

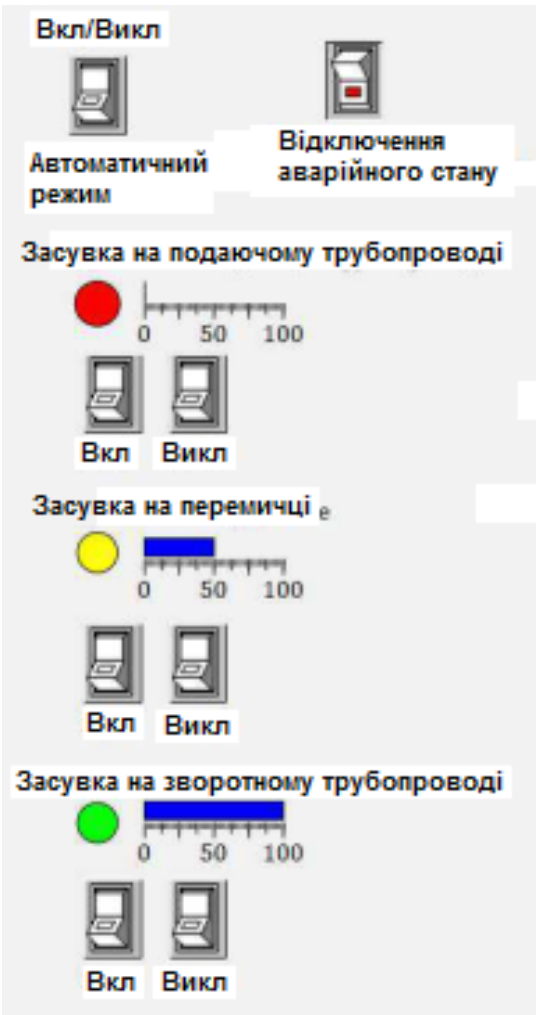


Рисунок 3.4 – Панель керування

У таблиці 3.4 представлено повний перелік позначень сигналів у проекті SimInTech їх призначення та тип

Таблиця 3.4 – Перелік позначень сигналів, їх тип та призначення

Ім'я у проєкті	Призначення	Тип даних
Z(1-3)_xq01	Положення засувки	Дійсне
Z(1-3)_xb01	Стан засувки Відкрито	Двійкове
Z(1-3)_xb02	Стан засувки Закрито	Двійкове
Z(1-3)_yb01	Команда відкриття засувки	Двійкове
Z(1-3)_yb02	Команда закриття засувки	Двійкове
D(1-4)_iq01	Значення параметра тиску з датчика	Дійсне
T(1-4)_iq01	Значення параметра температури з датчика	Дійсне
N(1-3)_xq01	Тиск на виході насоса	Дійсне
N(1-3)_xu01	Команда Пуск насоса	Двійкове
N(1-3)_xu02	Команда Стоп насоса	Двійкове
N(1-3)_yu01	Встановлена частота ПЧ насоса	Дійсне
N(1-3)_nz	Стан засувки на насосі	Дійсне
Alarm_x	Прапор аварійної ситуації	Двійкове
Alarm_y	Зняття аварійної ситуації	Двійкове
Tokr_x	Температура навколишнього середовища	Дійсне

На панелі управління присутній також блок показів приладів (рисунок 3.5), який відображає значення параметрів, що вимірюються контрольно-вимірювальними пристроями, а також два індикатори, що сигналізують «Аварійна ситуація» та «Автоматичний режим» управління ПНР при їхній активізації.

На рисунку 3.6 представлена вікно мнемодіаграми теплогідравлічної схеми, яка відображає моделі схеми трубопроводів, розміщення насосів, засувок та інших компонентів, що моделюють роботу підкачувальної насосної станції, а також покази контрольно-вимірювальних приладів.

В прогамі SimInTech реалізовано також блок управління, що складається з обчислювальних модулів (рисунок 3.7)



Рисунок 3.5 – Панель приладів контролю

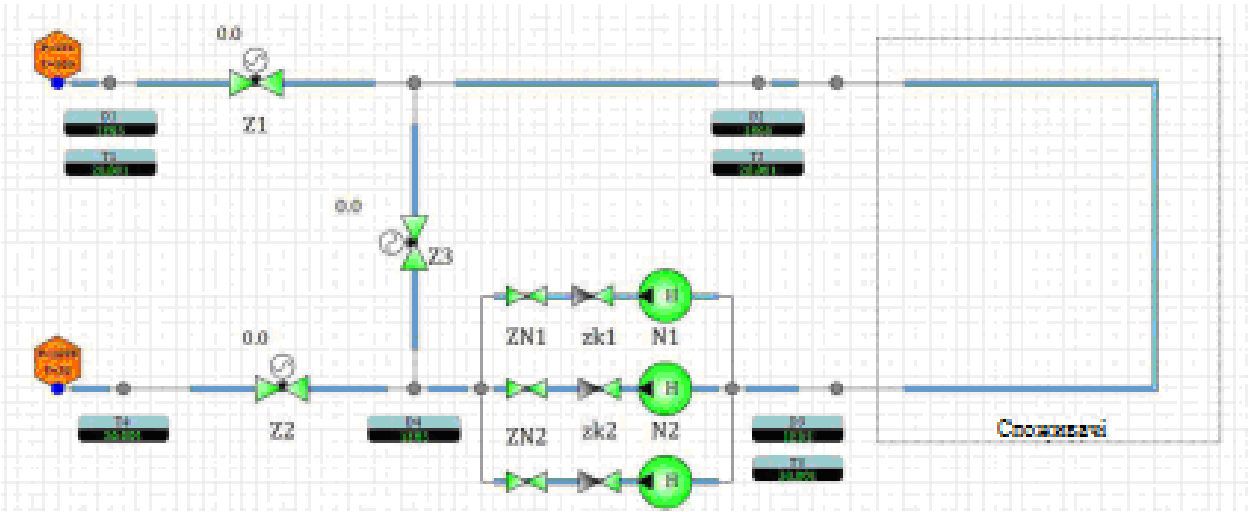


Рисунок 3.6 – Теплогідравлічна схема



Рисунок 3.7 – Блок керування

На рисунку 3.8 представлено вікно моделі SimInTech «Керування обладнанням», що моделює роботу приладів та відображає значення вихідних параметрів.

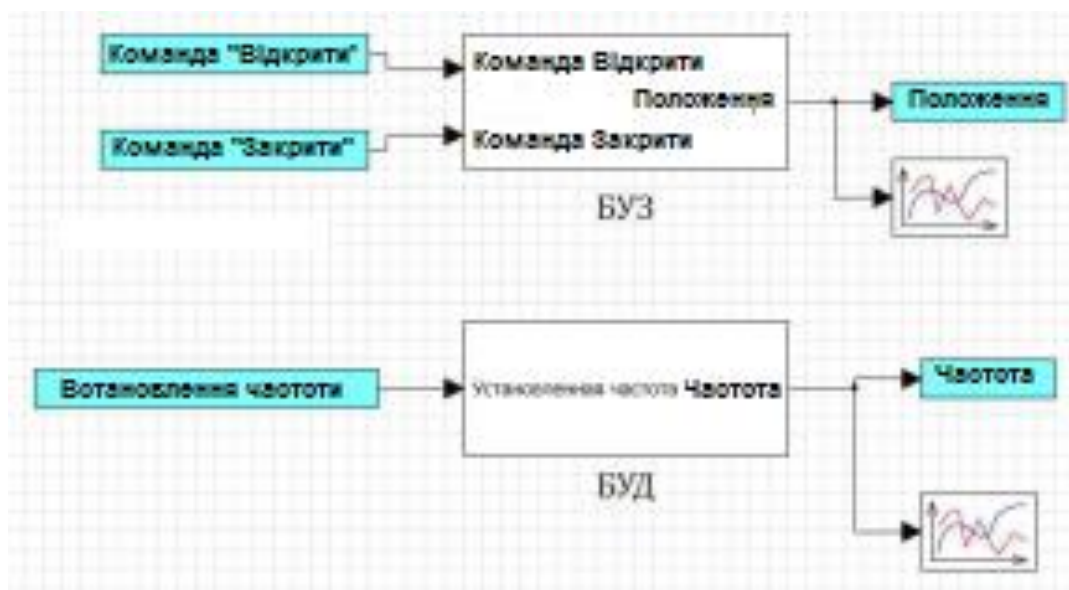


Рисунок 3.8 – Вікно моделі SimInTech «Керування обладнанням»

В моделі також передбачено та розроблено блок управління двигунами (БУД), який служить для генерування сигналів поточного значення частоти насоса і блок управління засувками (БУЗ), що генерує сигнали управління станом засувки та відображенням їх поточного положення.

В програмному середовищі SimInTech спроектовано структурну схему системи управління (рисунок 3.9), що моделює алгоритм управління перетворювачами частоти та засувками, розглянутими у підрозділі 3.2. Представлена структурна схема реалізує логіку процесу зміни частоти ПЧ і відповідну зміну потужності насоса та ступеня відкриття засувки на різних трубопроводах, а також дії при виникненні аварійних ситуацій. Програмний код алгоритму управління ПЧ двигунів насоса представлений у Додатку В.

На основі побудованої моделі системи управління підкачувальною насосною станцією побудовано графіки зміни тиску та температури води в нагнітальному трубопроводі представлені на рисунках 3.10 і 3.11

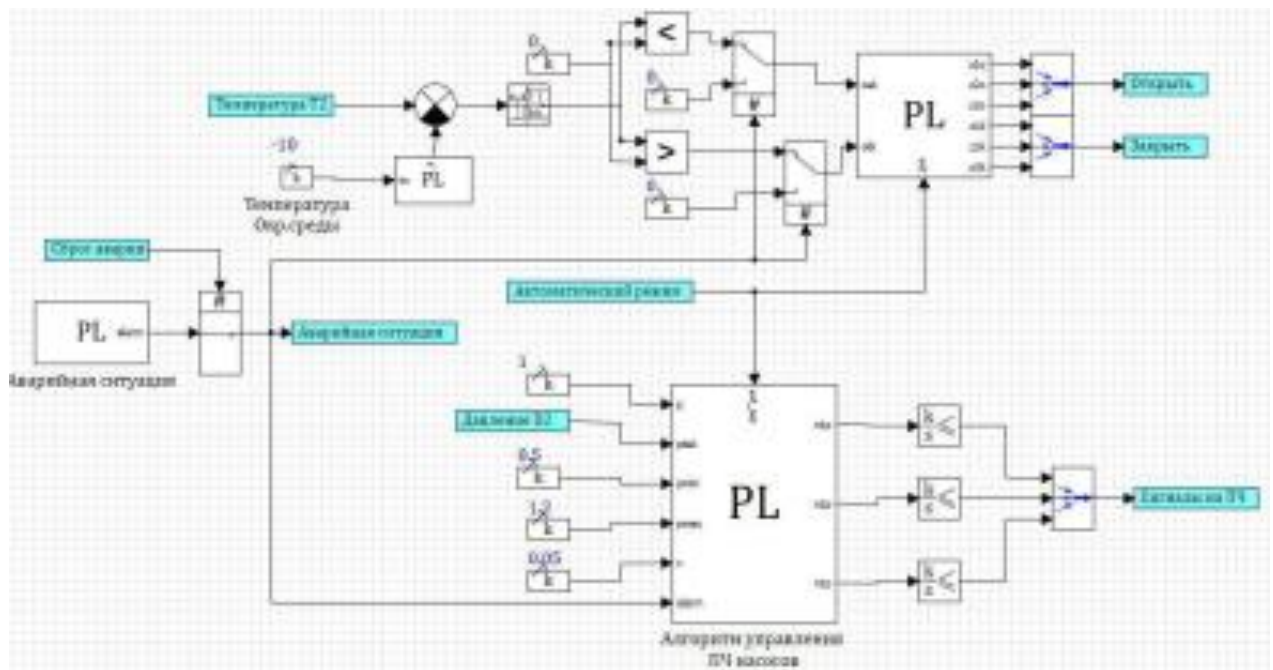


Рисунок 3.9 – Структурну схему системи управління в SimInTech

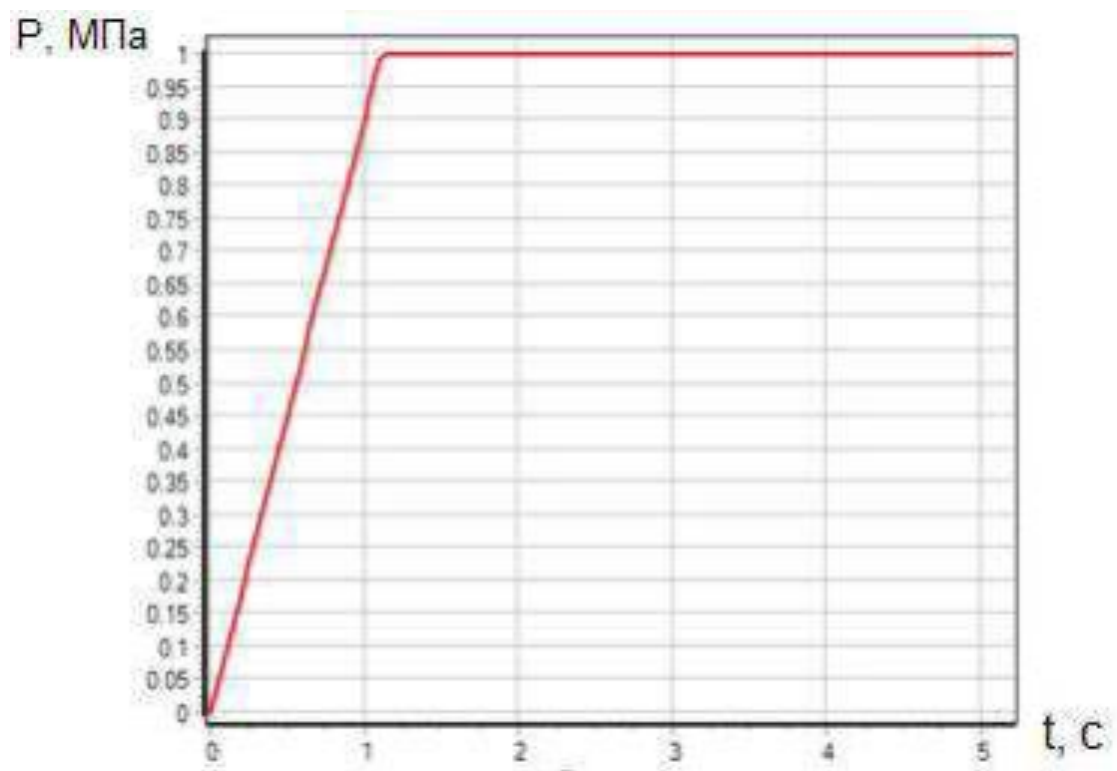


Рисунок 3.10 – Графік тиску в подаючому трубопроводі з моменту відкриття засувки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ

Арк.

56

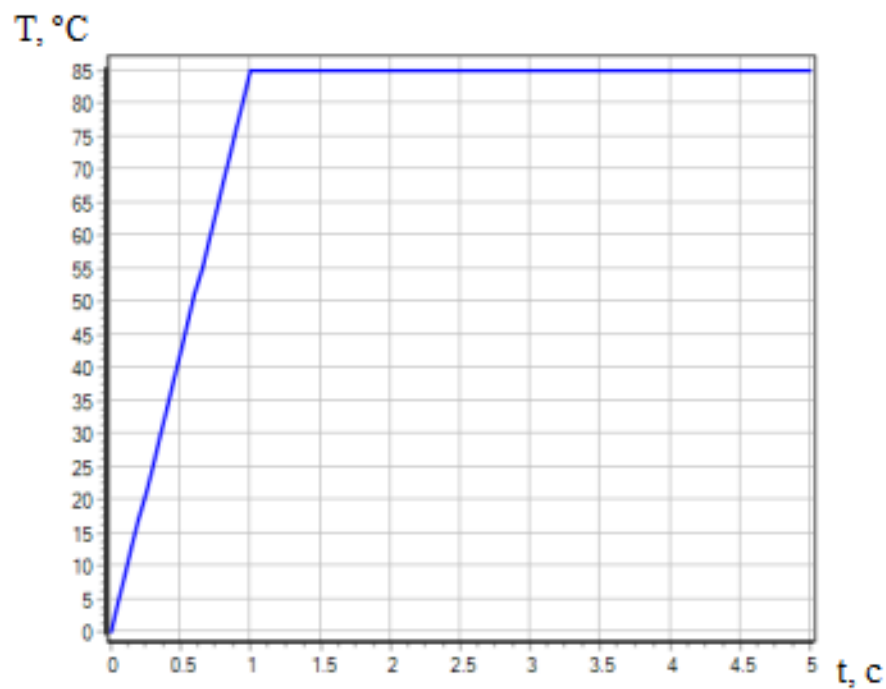


Рисунок 3.11 –Графік зміни температури в подаючому трубопроводі.

При включенні насосу побудовано графік зміни тиску води в подаючому трубопроводі, який представлено на рисунку 3.12.

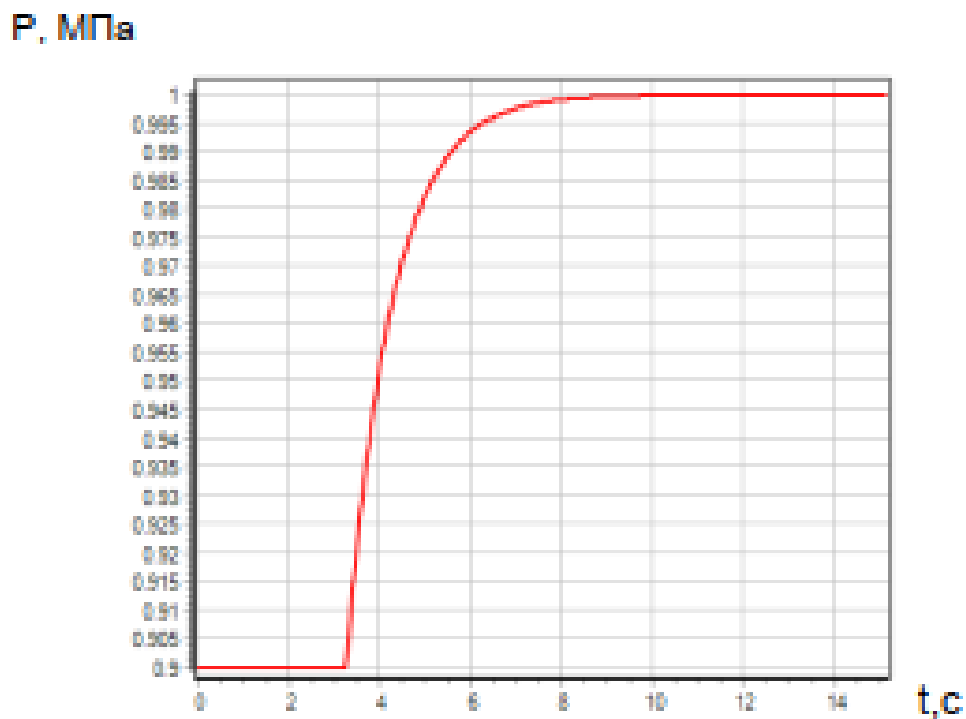


Рисунок 3.12 – Графік зміни тиску в подаючому трубопроводі при включенні насосу.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ

Арк.

57

Описаний в підрозділі 3.2 алгоритм забезпечення відповідного рівня температури води в подаючому трубопроводі здійснюється за рахнок регулювання положення засувки. Даний процес регулювання температури представлено графіком на рисунку 3.13 після відкриття засувки, розміщеній на перемичці між подаючим та зворотним трубопроводом., що повинно призвести до пониження температури нижче встановленого максимального значення, в даному випадку нижче 80 °С.

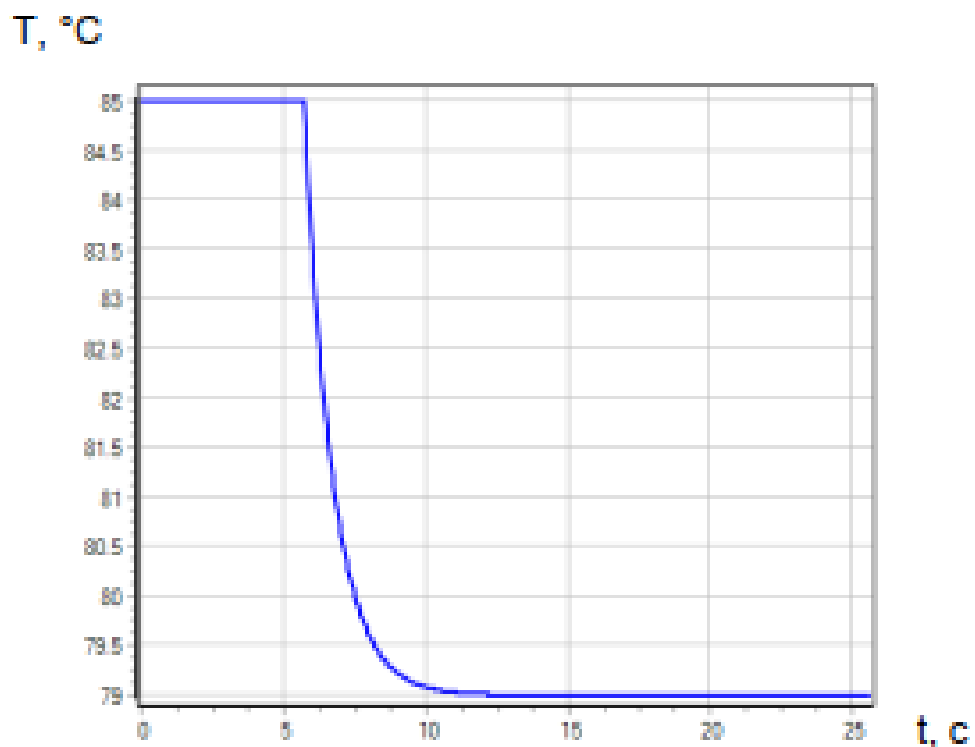


Рисунок 3.13 – Графік зміни температури теплоносія в подаючому трубопроводі після відкриття засувки на перемичці.

Представлені графіки зміни тиску та температури показані на рисунках 3.10 – 3.13 демонструють результати моделювання розробленої системи управління в результаті керуючих впливів, що приводять до зміни положення засувки та потужності електроприводів насосів.

3.4 Моделювання ситуації зміни тиску води в подаючому трубопроводі.

При зміні погодних умов, в тому числі, температури зовнішнього повітря, відповідно змінюється споживання тепла користувачами, що у своє чергу веде до необхідності регулювання тиску і температури води у системі теплопостачання. При зміні значення сигналу від датчиків на вході зворотного трубопроводу система автоматичного управління ПНС змінить положення засувки на перемичці між подаючим та зворотним трубопроводом, а також генерується сигнал на перетворювачі частоти для досягнення необхідних значень потужності насосів.

Під час зміни зовнішніх вхідних параметрів реакцію системи управління системи водопостачання представлено на розробленій моделі (рисунок 3.14) та показані сигнали про зміну контрольованих параметрів.

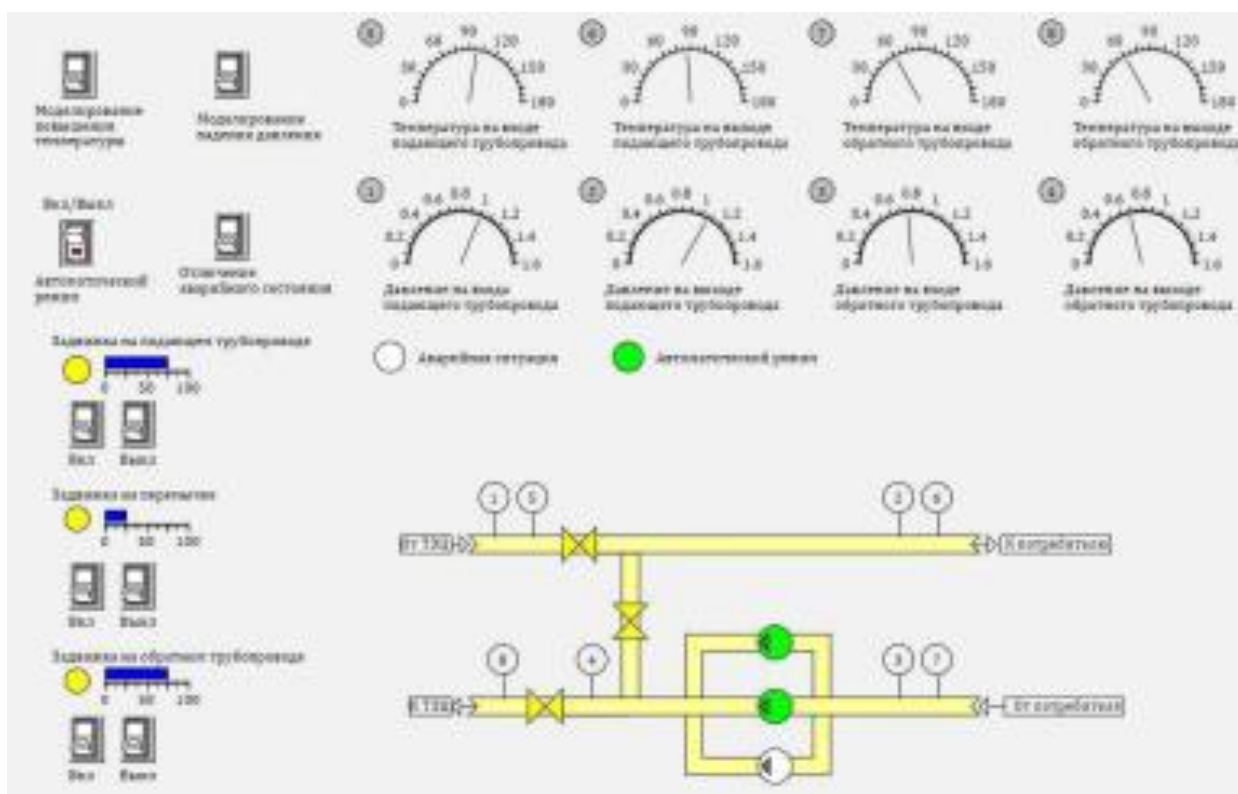


Рисунок 3.14 – Вікно комп'ютерної моделі при зміні характеристик вхідного теплоносія

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

У відповідності до параметрів проведеного тиск на вході зворотного трубопроводу знизилося зі значення 0.8 МПа до 0.7 МПа. Система управління, згідно алгоритму управління, змінила тиск води в нагнітальному змінено до 1.07 МПа і при цьому було збережено температуру теплоносія в системі теплопостачання.

При проходженні практики було знято реальні параметри тиску та температури води в підкачувальній насосній станції в різних режимах роботи, які представлені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 – Значення технологічних параметрів температури і тиску підкачувальної насосної станції у різних режимах її роботи

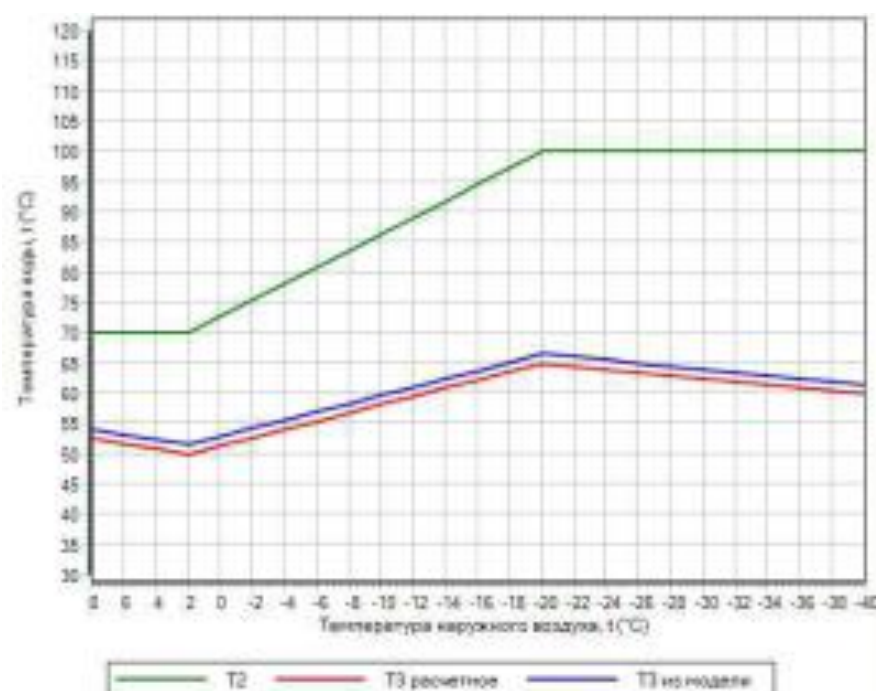
Параметри	Робочий режим	Аварійний режим
Температура на вході подає трубопроводу, °С	65 - 100	менше 65 або більше 100
Температура на виході подає трубопроводу, °С	65 – 100	менше 65 або більше 100
Температура на вході зворотного трубопроводу, °С	65 - 100	менше 40 або більше 100
Тиск на вході подає трубопроводу, МПа	1	менше 0,5 або більше 1,2
Тиск на виході подає трубопроводу, МПа	1	менше 0,5 або більше 1,2
Тиск на вході зворотного трубопроводу, МПа	0.8	менше 0.4 або більше 1.2

Чисельні результати верифікації залежності впливу зміни тиску в подаючому трубопроводі, при температурі теплоносія в ньому 85 °С, на величину тиску у зворотному трубопроводі подані в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Залежність зміни тиску на виході зворотного трубопроводу від тиску в нагнітаючому трубопроводі в робочих режимах

Тиск на виході трубопроводу, що подає P_2 , МПа	Тиск на вході зворотного трубопроводу P_3 , МПа
1.2	1.02
1	0.82
0.95	0.77
0.85	0.67
0.7	0.52
0.6	0.42

Залежність зміни температури зовнішнього середовища на температуру води в нагнітальному трубопроводі і температури води в кінці зворотного трубопроводу показано графіками рисунку 3.15.



T_2 , T_3 – температура теплоносія в подаючому і зворотному трубопроводах, °C.

Рисунок 3.15 – Графіки залежності температури води від зовнішньої температури

Таблиця 3.5 – Експериментально отриманні значення параметрів при робочому режимі.

Температура на виході трубопроводу, що подає, T_2 , °C	Температура на вході зворотного трубопроводу T_3 , °C	Температура зовнішнього повітря $T_{зовн}$, °C.
75	50,54	0
85	60,57	0
95	70,6	0
75	48,7	-10
85	58,6	-10
95	68,7	-10
75	40,2	-20
85	50,1	-20
95	60,15	-20

Проведення великої кількості експериментів підтверджують відповідність встановлених залежностей змін температури і тиску на початку нагнітального трубопроводу і наприкінці зворотного трубопроводу, отриманих при теплогідрравлічному розрахунку. Це підтверджує адекватність моделі та працездатність системи в цілому із заданими вимогами.

3.5 Моделювання аварійної ситуації.

При моделюванні аварійної ситуації розглянемо падіння температури в подаючому трубопроводі до критично малого.

На рисунку 3.16 представлено загальний вигляд моделі при аварійному режимі.

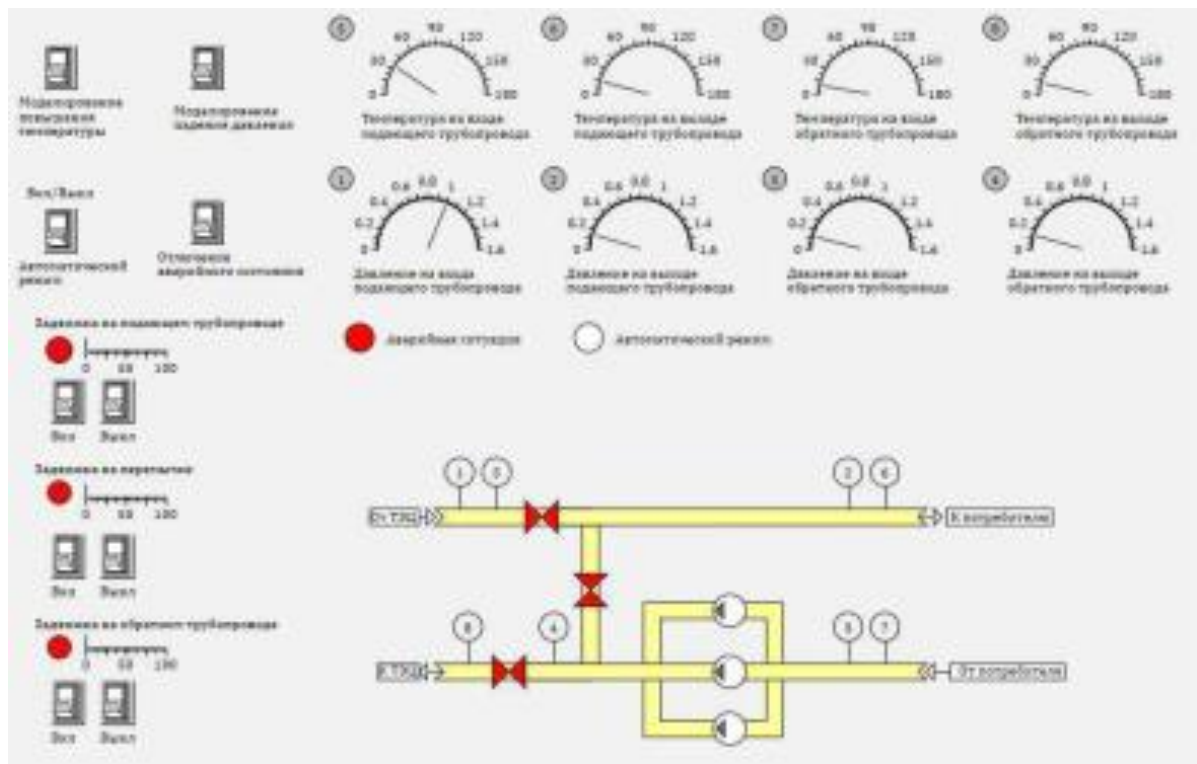


Рисунок 3.16 – Загальний вигляд моделі за аварійної ситуації

У момент падіння температури нижче допустимого значення 65 °С, система переходить в аварійний режим роботи (рисунок 3.17).

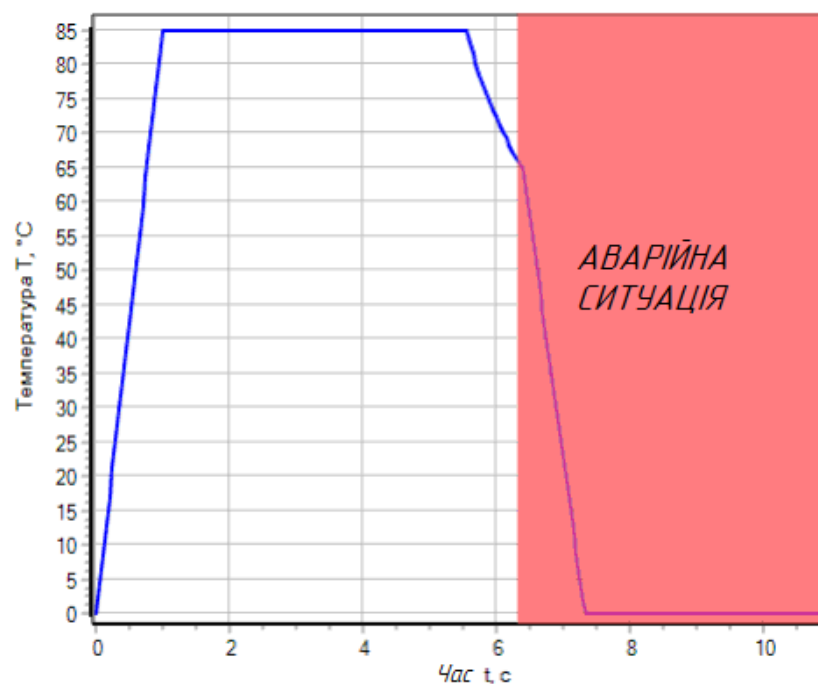


Рисунок 3.17 – Тимчасовий графік зміни температури

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Послідовність дій при падінні температури в подаючому трубопроводі:

1) загоряється індикатор аварійної ситуації;

2) закриваються засувки на трубопроводах;

3) робота насосів зупиняється.

4) система перетворюється на ручний режим управління, до того часу поки аварійна ситуація буде ліквідована.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі проаналізовано типи насосних станцій їх призначення та класифікація за різними ознаками. Досліджено роботу підкачувальної насосної станції в автоматичному та ручному режимах роботи, основне технологічне обладнання і принципи його функціонування.

На основі проведеного аналізу побудовано структурну схему та представлено функціональну схему автоматизації системи управління ПНС. Описані технічні засоби автоматизації, вибрані при модернізації підкачуючої насосної станції, що включають в себе головним чином запобіжні, регулюючі засувки та контрольно-вимірювальні прилади

Побудовані алгоритми роботи автоматизованого управління ПНС дозволили створити комп'ютерну модель, за допомогою якої проведено моделювання функціонування системи управління насосною станцією в автоматичному режимі та роботу елементів системи, що запобігають аварії при виході за граничні умови температури та тиску води.

При виникненні аварійної ситуації система сигналізує та здійснює автоматичну зупинку насосів та закриття засувки, що є актуальним, оскільки реакція оперативного персоналу може бути недостатньо швидкою для запобігання аварії.

Здійснено теплогідравлічний розрахунок параметрів перепадів тиску і температури води на виході подаючого трубопроводу і вході зворотного трубопроводу та виявлено, що вони збігаються зі значеннями отриманими з моделі з похибкою, яка не перевищує 5%, що говорить про точність побудованої комп'ютерної динамічної моделі.

Проведена автоматизація дозволяє контролювати та регулювати основні параметри процесу, тим самим забезпечуючи безпеку робіт та запобігання помилок оперативного персоналу. Розроблена у SimInTech

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

модель може бути рекомендована для навчання практикантів та роботи персоналу насосних станцій.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клименко О. П., Каюн І. Г., Шейкус А. Р. Контроль і управління технологічними процесами: навчальний посібник / О. П. Клименко, І. Г. Каюн, А. Р. Шейкус – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. – 179 с.
2. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 344 с.
3. І. В. Ельперівн. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І. В. Ельперівн, О. М. Пупена, В.М. Сідельський, С. М. Швед. — Вид.2-ге, виправлене – К.: Вид. Ліра-К, 2017. – 378с.
4. Срібнюк С.М. Насоси і насосні установки. Видавництво. Центр навчальної літератури. 2019 – 312с.
5. В. Савицький Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / В. К. Савицький, Р. М. Федоришин; М-во освіти і науки України, Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 292 с.
6. ДСТУ 4163:2020 «Уніфікована система організаційно-розпорядчої документації. Вимоги до оформлення документів».
7. Загальні методичні рекомендації з підготовки, оформлення, захисту та оцінювання кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого «бакалаврського» і другого «магістерського» рівнів. // Укладачі: В. М. Островерхов, Л. І. Біловус, К. З. Восьний, О. О. Луцишин, Г. Л. Монастирський, С. В. Питель, С. А. Надвиничний, С. К. Шандрук. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. – 89 с.
8. Конєва С. А.. Розробка методів аналізу і розрахунку процесів керування температурою теплоносія в просторово-одномірних теплових апаратах [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.03 / Конєва Світлана Андріївна ; Севастопольський національний технічний ун-т. - Севастополь, 2004. - 19 с.

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

9. Любарець О.П., Зайцев О.М., Любарець В.О. Проектування систем водяного опалення. Посібник для проектувальників, інженерів і студентів технічних ВНЗ. Відень – Київ – Сімферополь. 2010. – 200 с.

10. Крючков Є.М. Проектування системи теплопостачання/ Крючков Є.М., Запоріжжя, 2010. – 300с.

11. А. Щекатурів. Методика моделювання динаміки октокоптера в середовищі SimInTech. 2021 – 228с.

12. Герман-Галкін С. Г., Карташов Б. О., Литвинов С. Н. Модельне проектування електромеханічних мехатронних модулів руху в середовищі SimInTech. 2020 – 494с.

13. Дідур В.А., Стручаєв М.І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві / За заг. ред. В.А. Дідура. - К.: Аграрна освіта, 2008. – 233 с.

14. Гнатишин Я.М., Криштапович В.І. Теплотехніка: Навч. Посіб. – К.: Знання, 2008. – 364 с.

15. Перетворювач тиску вимірювальний ОВЕН ПД100. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://aqteck.ua/uploads/127/kr_oven_pd100-3h1_0003_ua_a4.pdf

16. Компоненти системи автоматизації. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.svaltera.ua/upload/iblock/e75/wu72dw9eseaqu43hee976rjeztile81y6/sva_cat_2023_06_ukr.pdf

17. Реле тиску, KPI35 Офіційний сайт Danfoss в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://store.danfoss.com/ua/uk/Climate-Solutions/%D0%A1%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%96-%D1%80%D1%96%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B5/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B5-%D1%82%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83/KP->

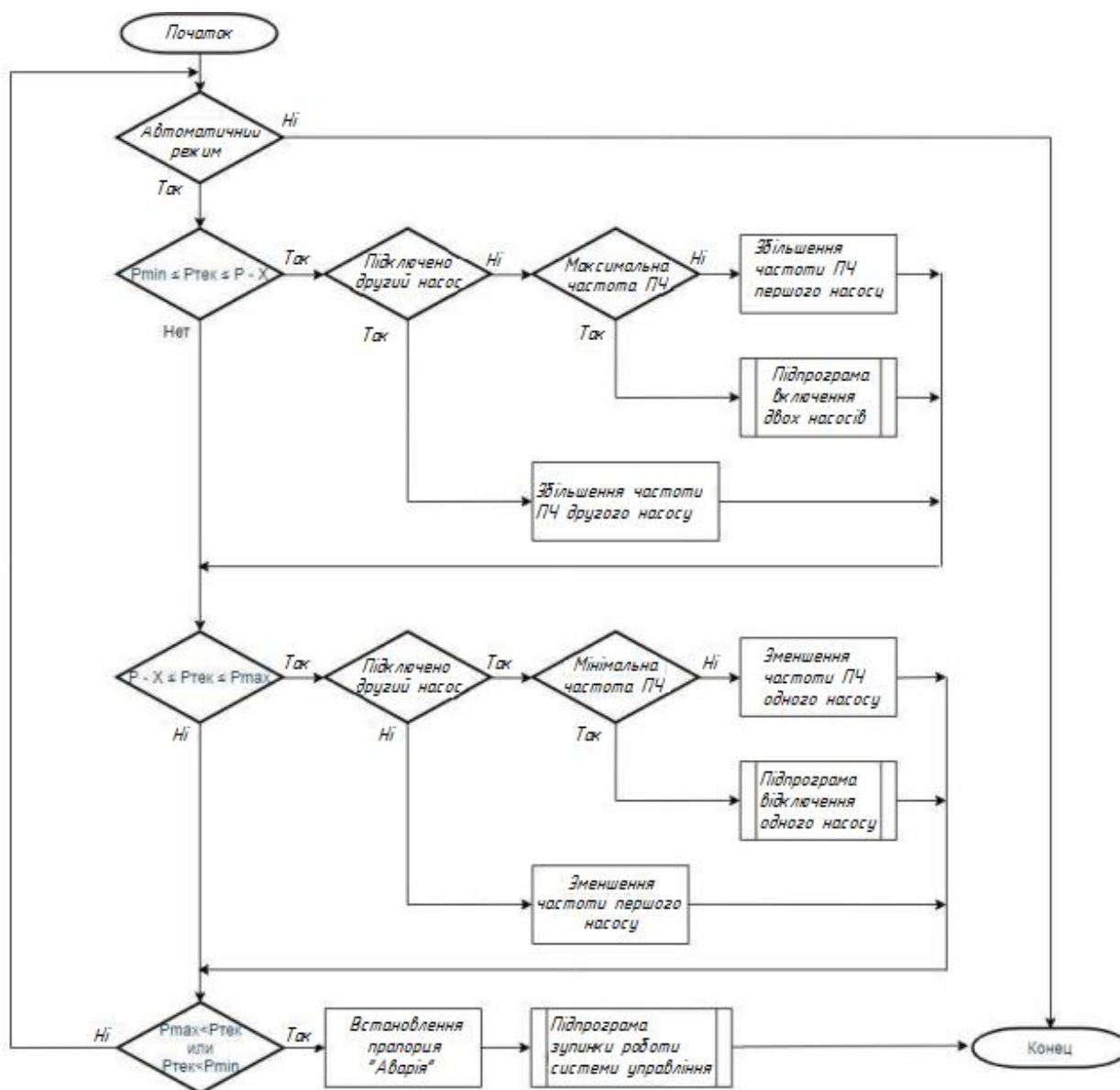
					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

26. Мирянова В. М. Метод побудови областей стійкості і якості систем автоматичного керування просторово-одномірними тепловими об'єктами при конвективному теплообміні [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.03 / Мирянова Віра Миколаївна ; Севастопольський національний технічний ун-т. - Севастополь, 2005. - 20 с.

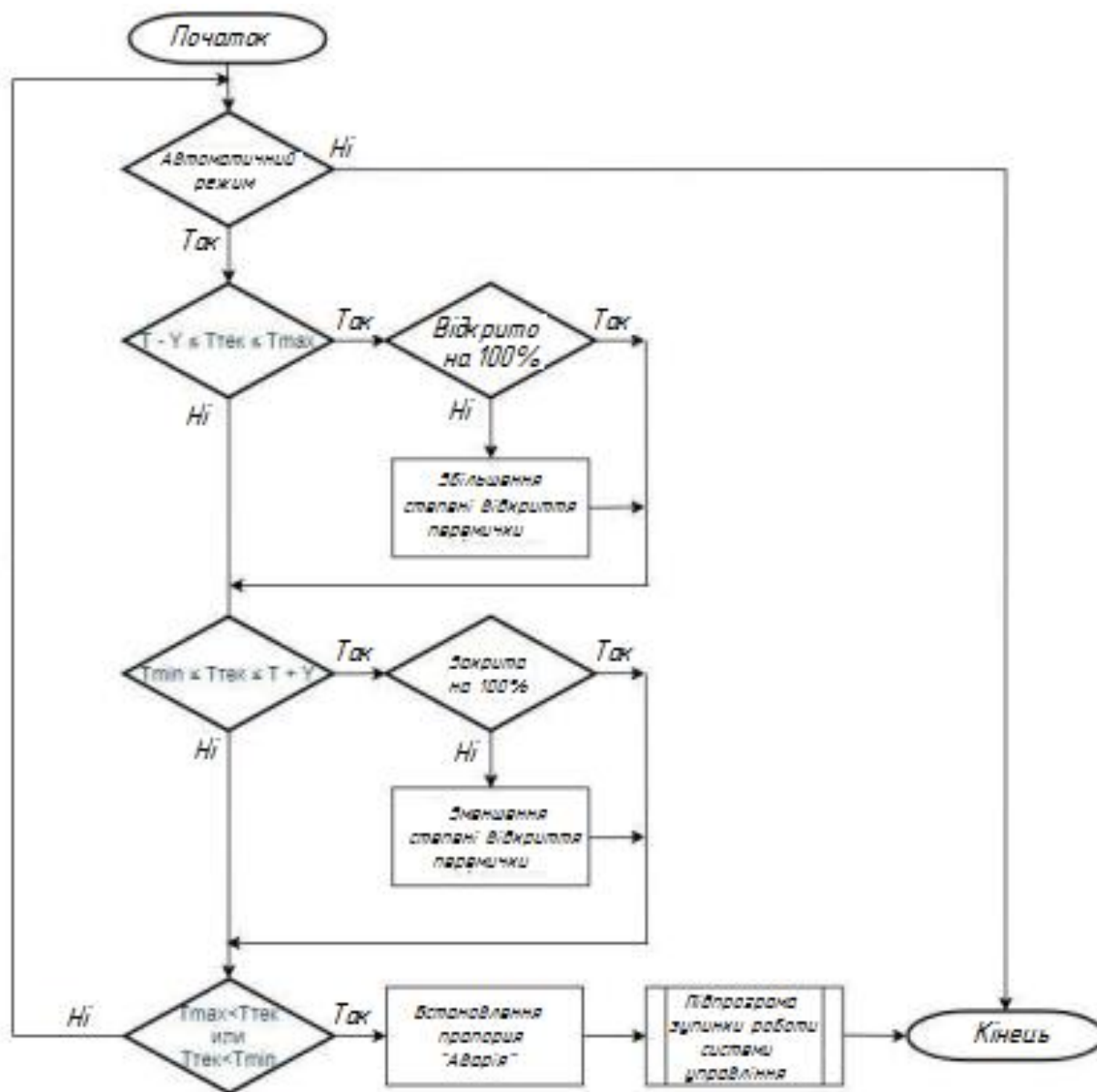
27. USAID. Проєкт енергетичної безпеки Tetra Tech ES, Inc., підрядник USAID Керівник проєкту: Дін Вайт. Біла книга щодо трансформації централізованого теплопостачання в Україні: оцінка та рекомендації проєкт енергетичної безпеки (ESP). Серпень, 2020

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛЕННЯ НАСОСАМИ ПНС



АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАСУВКАМИ ПНС



ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ ПЧ НАСОСІВ

```

input P, Ptek, Pmin, Pmax, X, Alarm, Avt_Rez;
output N1p, N2p, N3p;

if (Avt_Rez = 1) then begin

PX=p+x;
XP=p-x;
N1p = 0;
N2p = 0;
N3p = 0;

if (Alarm = 0) then begin

if (N1_xu01 = 1) and (N2_xu01 = 1) and (N3_xu02 = 0)
then
begin
if (Ptek <= XP) and (Ptek >= PX) then N1p = 0; N2p = 0;
if (Ptek < XP) and (Ptek > Pmin) then N1p = 1;
if (N1_xp01 > 99.999) and (Ptek < XP) then N2p = 1;
if (Ptek > PX) and (Ptek < Pmax) then N1p = -1;
if (N1_xp01 > 0.001) and (Ptek > XP) then N2p = -1;
end;

if (N1_xu01 = 1) and (N2_xu02 = 0) and (N3_xu01 = 1)
then

```

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		73

```

begin
if (Ptek <= XP) and (Ptek >= PX) then N1p = 0; N2p = 0;
if (Ptek < XP) and (Ptek > Pmin) then N1p = 1;
if (N1_xp01 > 99.999) and (Ptek < XP) then N3p = 1;
if (Ptek > PX) and (Ptek < Pmax) then N1p = -1;
if (N1_xp01 > 0.001) and (Ptek > XP) then N3p = -1;
end;

if (N1_xu02 = 0) and (N2_xu01 = 1) and (N3_xu01 = 1)
then
begin
if (Ptek <= XP) and (Ptek >= PX) then N2p = 0; N2p = 0;
if (Ptek < XP) and (Ptek > Pmin) then N2p = 1;
if (N2_xp01 > 99.999) and (Ptek < XP) then N3p = 1;
if (Ptek > PX) and (Ptek < Pmax) then N2p = -1;
if (N2_xp01 > 0.001) and (Ptek > XP) then N3p = -1;
end;

end;
if (Alarm = 1) then begin
N1p = 0;
N2p = 0;
N3p = 0;
if (N1_xu01 = 1) then N1_xu03 = 1; N1_xu01 = 0;
if (N2_xu01 = 1) then N2_xu03 = 1; N2_xu01 = 0;
if (N3_xu01 = 1) then N3_xu03 = 1; N3_xu01 = 0;
end;
end;

```

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

					ДП.АКІТ. 9702395.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		