

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) автоматизації і комп'ютерних систем
Кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління**

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ **Андрій ФОРСЮК**
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ **Ярослав СМІТЮХ**
(ім'я та прізвище) (підпис)

« ____ » _____ 20__ р.

« ____ » _____ 20__ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

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

освітньо-професійної програми **Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління**

на тему: **Розроблення автоматизованої системи керування операціями водопостачання водоканалу**

Виконав: здобувач II курсу, групи **АК-2-3М**

Безсонов Олександр Дмитрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Пупена Олександр Миколайович _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент **Жуков Денис Юрійович** _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2024р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) автоматизації і комп'ютерних систем _____

Кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління _

Освітній ступінь Магістр _____

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» _____

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління _____

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Ярослав СМІТЮХ

“ _____ ” _____ 2024__ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Безсонов Олександра Дмитровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Розроблення автоматизованої системи керування операціями водопостачання водоканалу** _____

керівник роботи **Пупена Олександр Миколайович – доцент, к.т.н** _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ _____ ” _____ 20__ року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи **Робоче завдання, методичні рекомендації, результати переддипломної практики** _____

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Анотація. Зміст. Розділ 1. Аналітичний огляд літератури та підприємств. Розділ 2. Загальносистемні рішення. Розділ 3. Дослідження та випробування різних режимів роботи системи керування операціями. Висновки. _____

5. Перелік графічного матеріалу _____

АНОТАЦІЯ

Україна стикається з численними викликами в сфері енергопостачання, зокрема через навантаження на енергосистему та дефіцит енергогенерації. Важливим кроком у подоланні цих проблем є впровадження стратегій розумного використання електроенергії для забезпечення стабільності енергопостачання.

Розроблення автоматизованої системи керування операціями водоканалу відіграє ключову роль у визначенні ефективності використання енергії. Він дозволяє оцінити відповідність між підведеною електроенергією, її корисним використанням та втратами. Аналіз енергетичних балансів допомагає визначити області для підвищення ефективності роботи підприємства, оптимізувати витрати електроенергії та розробити стратегії її економії.

Гідравлічні насоси є одним із найбільших споживачів електроенергії в системах водопостачання та багатьох промислових процесах. Енергоефективність цих насосів прямо впливає на загальний енергетичний баланс підприємства. Для підвищення ефективності їхньої роботи важливо впроваджувати системи моніторингу та автоматичного керування, які дозволяють відстежувати витрати електроенергії, аналізувати показники роботи обладнання та приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації.

У цій кваліфікаційній роботі розглядається розробка автоматизованої системи керування операціями водоканалу. Основна увага приділяється впровадженню моніторингу показників ефективності для подальшого аналізу та оптимізації їхньої роботи. Використання таких систем сприяє зниженню споживання електроенергії, підвищенню надійності обладнання та скороченню експлуатаційних витрат.

Annotation

Ukraine faces numerous challenges in the energy supply sector, particularly due to the load on the energy system and the deficit in energy generation. An important step in overcoming these issues is the implementation of strategies for the smart use of electricity to ensure the stability of energy supply.

The development of an automated system for managing water utility operations plays a key role in determining energy usage efficiency. It allows assessing the alignment between supplied electricity, its useful consumption, and losses. Energy balance analysis helps identify areas for improving the company's operational efficiency, optimize electricity consumption, and develop energy-saving strategies.

Hydraulic pumps are among the largest energy consumers in water supply systems and many industrial processes. The energy efficiency of these pumps directly impacts the overall energy balance of the company. To improve their performance, it is crucial to implement monitoring and automatic control systems that allow tracking electricity consumption, analyzing equipment performance, and making informed decisions regarding optimization.

This qualification work examines the development of an automated water utility operation management system. The main focus is on implementing performance indicator monitoring for further analysis and optimization of their operations. The use of such systems contributes to reducing electricity consumption, enhancing equipment reliability, and lowering operational costs.

ЗМІСТ

Розділ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПІДПРИЄМСТВ.	7
1.1 Загальні поняття.....	7
1.2 Аналіз сфери застосування	8
1.3 Аналіз підприємства.....	11
1.4 Мета магістерської роботи.....	14
Розділ 2. ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ РІШЕННЯ.....	15
2.1 Загальний опис об'єкту та системи	15
2.2 Аналіз задачі енергоефективності	26
2.3 Аналіз задачі енергоефективності	28
Розділ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ РІЗНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОПЕРАЦІЯМИ.	31
3.1 Створення бази для системи керування операціями.....	31
3.2 Налагоджування системи керування операціями.....	35
3.3 Методика випробувань системи керування та їх результати.....	46
3.4 Аналіз аномальних ситуацій у роботі системи керування операціями	48
3.5 Візуалізація / НМІ.....	52
Висновки	53
Список використаної літератури	55

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Загальні поняття

На сьогоднішній день автоматизовані системи (АС) набули широкого застосування у різних галузях людської діяльності. Сучасна організація водоканалів неможлива без впровадження автоматизованих систем, які забезпечують ефективне управління ресурсами, контроль якості та стабільне функціонування систем водоканалу. Розвиток інформаційних технологій сприяв появі нових прогресивних методів, засобів та технологій для обробки і передавання інформації, що відкриває нові можливості для автоматизації операцій водоканалу.

Одним із напрямів науково-технічного прогресу є автоматизація процесів, що включає використання саморегульованих технічних засобів, економіко-математичних методів і систем керування, які мінімізують участь людини в операціях отримання, перетворення, передачі і використання водних ресурсів. Відповідно до ДСТУ 2226-93, автоматизація — це впровадження автоматичних засобів для реалізації процесів, що особливо важливо у сфері водопостачання, де необхідні безперебійний контроль та управління.

Автоматизація в системах водоканалу потребує застосування датчиків, керуючих пристроїв (контролерів із засобами введення-виведення), виконавчих механізмів, а також базується на використанні електронних технологій. У контексті водопостачання автоматизуються не лише технологічні процеси, але й планування, управління операціями та моніторинг стану обладнання, що суттєво підвищує ефективність роботи водоканалу.

1.2 Аналіз сфери застосування

Водоканали в Україні є комунальними підприємствами, що надають послуги з водопостачання та водовідведення, тому вони не мають прямих конкурентів на ринку. Через це ринковий підхід до аналізу їхньої діяльності не є актуальним, оскільки основною метою таких підприємств є не отримання прибутку, а забезпечення населення життєво необхідними послугами за доступними цінами.

Незважаючи на це, ринкові правила та відносини є актуальними для підприємств, які співпрацюють з водоканалами це в свою чергу змінює підходи до організації виробничих процесів, створюючи умови для максимально ефективного використання техніки, ресурсів і людського потенціалу. Це сприяє підвищенню загальної продуктивності. Для успішного функціонування підприємство повинно орієнтуватися на ринковий попит і вимоги до якості, характеристик та вартості своєї продукції. Завдання менеджменту полягає в розробці стратегій і тактик, спрямованих на підвищення конкурентоспроможності, зменшення витрат і собівартості товарів, що дозволяє збільшити прибуток і закріпити позиції на ринку.

Технології підвищення ключових показників ефективності (КПІ), зростання продуктивності та зниження витрат на виробництво особливо добре розвинуті в західних країнах. Останні десятиріччя вони активно працюють над розробкою стандартів, які не лише покращують економічну ефективність підприємств, а й піднімають підходи до автоматизації виробничих процесів на новий еволюційний рівень.

Впровадження автоматизованих систем керування водопостачанням у країнах Європи є важливим етапом у розвитку інфраструктури та підвищенні ефективності водоканалів. Одним із яскравих прикладів є Німеччина, де комунальні підприємства активно використовують інтегровані системи SCADA для моніторингу та управління водопостачанням. У таких містах, як Берлін та Гамбург, автоматизація дозволила суттєво знизити енерговитрати

насосних станцій, оптимізувати розподіл води та зменшити втрати в мережі. Використання сучасного програмного забезпечення, дає можливість отримувати дані в режимі реального часу і на основі аналізу цих даних приймати стратегічні рішення для підвищення ефективності роботи. [4]

Іншим успішним прикладом є Данія, яка стала лідером у впровадженні систем управління водопостачанням з акцентом на сталий розвиток. У Копенгагені автоматизовані системи допомагають не тільки знижувати втрати води, але й ефективно управляти стічними водами, що є важливою складовою в умовах зростання екологічних вимог. Завдяки таким рішенням Данія змогла досягти значного зниження споживання водних ресурсів та енергетичних витрат на їхнє транспортування і очищення. [5]

У Франції автоматизація водопостачання активно впроваджується у великих містах, таких як Париж. Комунальні підприємства впроваджують інтегровані системи, які контролюють роботу насосних станцій та рівень води в резервуарах, що забезпечує стабільне водопостачання навіть у пікові години споживання. Такі системи дозволяють оперативно реагувати на аварійні ситуації та прогнозувати можливі несправності, що значно підвищує надійність мережі.

Так, один із відомих прикладів розділення стічних вод і дощової води у Франції — це каналізаційна система Парижа, яка використовує принцип роздільного водовідведення. Вона розділяє побутові стоки (каналізаційні води) та дощову воду з метою підвищення ефективності очищення та зменшення навантаження на очисні споруди.

Один із ключових проєктів у цьому напрямку — каналізаційна станція Ашерес (Station d'épuration d'Achères), яка є однією з найбільших у Європі. Ця станція обслуговує стічні води Парижа і частково розділяє їх від дощової води. Така система дозволяє уникати перевантаження очисних споруд під час злив, коли дощова вода збирається окремо та транспортується для природного очищення або повторного використання, наприклад, для зрошення. [7]

Цей підхід зменшує кількість стічних вод, що потрапляють на очисні станції, забезпечує більш ефективну роботу очисних споруд і запобігає переповненню каналізаційних систем під час сильних дощів. Париж поступово впроваджує інші подібні проєкти в різних районах, що дозволяє зменшити ризики затоплення вулиць та забруднення природних водних ресурсів.

Цей приклад показує важливість інноваційних підходів до управління водними ресурсами у великих містах, де високі обсяги стічних вод та часті зливи можуть створювати серйозні проблеми для інфраструктури.

Україна, маючи потужну базу водопостачання, також повинна активно впроваджувати ці інноваційні рішення для підвищення ефективності комунальних підприємств. Сучасні технології дозволяють оптимізувати процеси і мінімізувати втрати води, що є критичним для зменшення витрат та забезпечення сталого розвитку галузі. Важливим аспектом у цьому контексті є впровадження новітніх систем автоматизації, що дозволить українським водоканалам не лише відповідати сучасним викликам, але й вийти на новий рівень управління водними ресурсами.

1.3 Аналіз підприємства

У кваліфікаційній роботі за основу буде взято Київський водоканал — одного з найбільших підприємств в Україні, що забезпечує водопостачання та водовідведення у місті Київ. Київводоканал обслуговує мільйони мешканців, підтримуючи стабільне водопостачання та очищення стічних вод. Підприємство постійно впроваджує новітні технології, включаючи автоматизовані системи моніторингу та управління, для покращення ефективності роботи своїх насосних станцій і зниження втрат води в мережах.

Під час проходження переддипломної практики було вивчено та проаналізовано технічні засоби Київводоканалу і отримані наступні показники:

- Експлуатується понад 30 водопровідних насосних станцій (ВНС), які забезпечують водопостачання до різних районів міста. Ці станції працюють для підйому та транспортування води з джерел водозабору до споживачів;
- Експлуатується понад 30 каналізаційних насосних станцій (КНС), які забезпечують водовідведення з різних районів міста. Ці станції працюють для підйому та транспортування води до станції аерації.

Водопостачання поділено на 3 цехи в залежності від точки забору води:

До деснянських станцій (водозабір йде з р. Десна) належать 7 великих водопровідних насосних станцій (ВНС) із п'ять десятками насосних агрегатів (НА).

До дніпровських станцій (водозабір йде з р. Дніпро) належать 7 великих водопровідних насосних станцій (ВНС) із п'ять десятками насосних агрегатів (НА).

До артезіанських станцій (водозабір йде з підземних джерел) належать близько 15 водопровідних насосних станцій (ВНС) з понад п'ять десятками насосних агрегатів (НА). Вода до артезіанських станцій надходить з свердловин. [10]

Водовідведення поділено на 3 цехи:

1. Цех «Північний» до якого входять 15 каналізаційних насосних станцій (КНС) із п'ять. десятками насосних агрегатів (НА).
2. Цех «Південний» до якого входять 16 каналізаційних насосних станцій (КНС) із п'ять. десятками насосних агрегатів (НА).
3. Цех «Бортницької станції аерації (БСА) » до якого входять 3 великі каналізаційних насосних станцій (КНС) із трьома. десятками насосних агрегатів (НА). [11]

На Київводоканалі функціонує багато локальних автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП), що забезпечують ефективну роботу різних об'єктів водопостачання та водовідведення. Кожен великий об'єкт, такий як насосні та водоочисні станції, має свою власну локальну систему керування, що відповідає за управління специфічними процесами на місцевому рівні. Ці системи допомагають автоматизувати роботу обладнання, контролювати робочі параметри та забезпечувати своєчасне реагування на зміни у роботі систем.

Одним із головних викликів для Київводоканалу є зношеність обладнання та необхідність постійного моніторингу його стану. Багато насосних і підкачувальних станцій потребують регулярного технічного обслуговування та модернізації для підтримки їх у робочому стані. Використання сучасних технологій автоматизації та систем моніторингу, таких як SCADA та інші АСУ ТП, дозволяє вчасно виявляти можливі проблеми з обладнанням, запобігати поломкам і ефективно управляти його експлуатаційними характеристиками.

Також, однією з важливих складових є оптимізація енергетичних витрат. Насосні агрегати споживають значні обсяги енергії, тому правильне налаштування та контроль режимів їх роботи допомагає зменшити споживання електроенергії. Це особливо важливо в умовах підвищення вартості енергоносіїв, обмежених бюджетних ресурсів та дефіциту електроенергії.

Київводоканал також прагне впроваджувати новітні енергозберігаючі технології, що дозволить зменшити не тільки витрати на енергоспоживання, а й вплив на довкілля.

Хоча дослідження водопостачання могло б бути більш перспективним, вибір водовідведення був обумовлений певними технічними та безпековими аспектами. Втручання в процес водопостачання є більш небезпечним, оскільки будь-яка незапланована зміна режиму роботи насосних агрегатів може призвести до непередбачених наслідків через складність та взаємозалежність усієї системи водопостачання. Зміни в режимі роботи насосів можуть вплинути на потік води по всій мережі, що в свою чергу може спричинити перебої в подачі води до споживачів або пошкодження обладнання. На відміну від цього, система водовідведення має більшу гнучкість у налаштуванні режимів роботи станцій. Водночас, з точки зору безпосередньої роботи насосних агрегатів, водопостачання та водовідведення не мають значних відмінностей, оскільки в обох випадках здійснюється процес перекачування води.

Одним з напрямків удосконалення ефективності використання енергоресурсів є впровадження частотних перетворювачів на КНС не великих розмірів, що має дозволити використовувати енергоресурси у більш гнучкому режимі. Однією з таких станцій є КНС «Конча-Заспа-5» з «Південного цеху», на якій було проведено реконструкцію у 2022 році. Надалі прикладом для подальшого аналізу буде використовуватись саме ця КНС.

1.4 Мета магістерської роботи

Метою магістерської роботи є: розробка проекту інтегрованої автоматизованої системи керування операціями водопостачання для дослідження та в подальшому підвищення ефективності роботи насосних агрегатів. Особлива увага приділятиметься побудові залежностей між різними параметрами роботи насосів.

Запропонована автоматизована система має дозволити знизити енерговитрати, підвищити надійність роботи обладнання та забезпечити своєчасний контроль за всіма критичними процесами. Вона належить до класу інтегрованих людино-машинних систем, що забезпечують взаємодію технічних засобів і програмного забезпечення для збору, аналізу та передачі інформації про стан об'єкта керування та ефективну роботу насосних агрегатів.

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ РІШЕННЯ

2.1 Загальний опис об'єкту та системи

За стандартами ІЕС 61512 та ІЕС 62264 рольова ієрархія устаткування підприємства виглядає як зображено на рис. 2.1

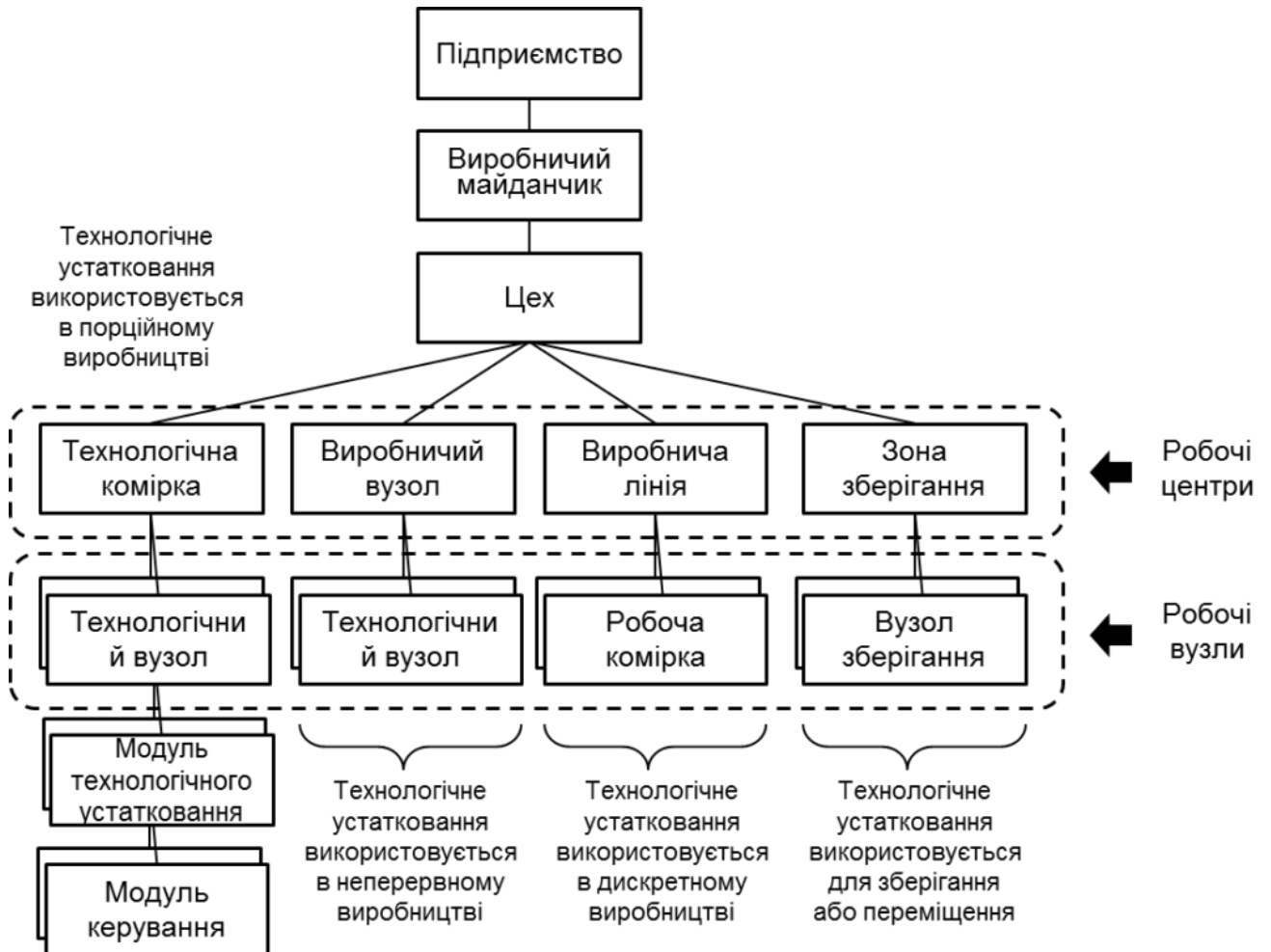


Рис. 2.1 Рольова ієрархія устаткування підприємства

На рис. 2.2 зроблена декомпозиція Київводоканал використовуючи рольова ієрархія устаткування підприємства з рис. 2.1.

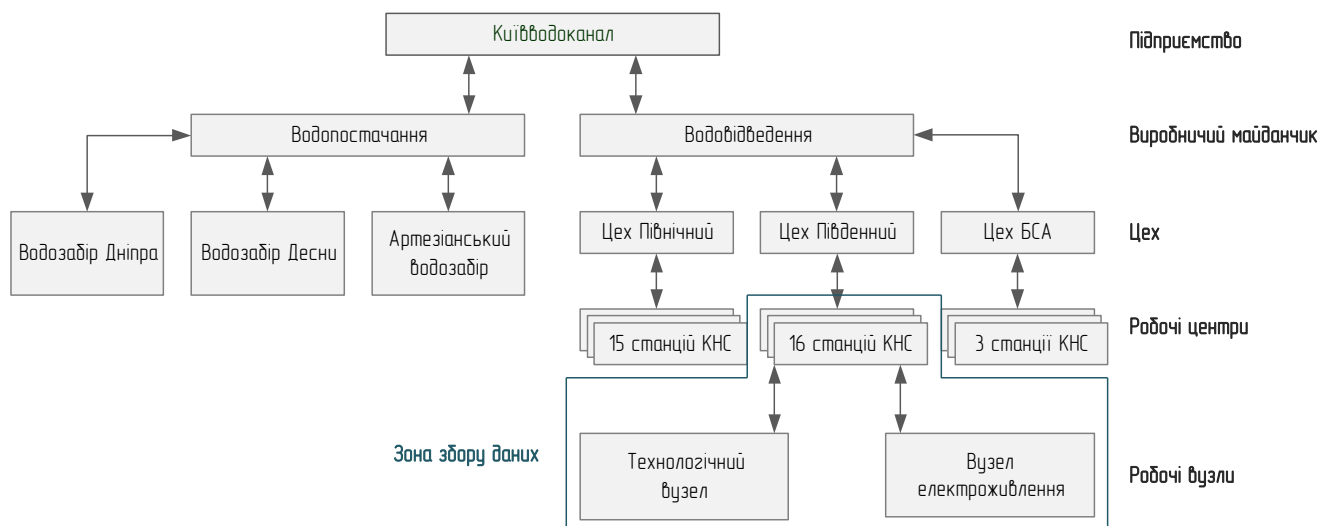


Рис. 2.2 Декомпозиція підприємства Київводоканал

На нижніх рівнях впровадженні локальні АСУТП, на верхній рівень інформація поступає ієрархічно.

Зокрема, на Київводоканалі є декілька SCADA-систем, що керують окремими підрозділами. Наприклад, Деснянська водопровідна станція і Дніпровська водопровідна станція мають власні SCADA-системи, які контролюють процеси водозабору, очищення та транспортування води. Ці SCADA-системи забезпечують локальний моніторинг і управління роботою насосних агрегатів, очисних споруд та іншого обладнання.

Окрім локальних систем, існує одна загальна автоматизована система диспетчерського управління, яка збирає дані з усіх об'єктів Деснянських та Дніпровських станцій, а також з частини артезіанських свердловин. Ця система дозволяє диспетчерам у режимі реального часу отримувати інформацію про стан обладнання, обсяги подачі води, енергоспоживання та інші параметри. Дані надходять із різних типів обладнання, таких як контролери, генератори та інші АСУ ТП.

Інформація передається за допомогою різних промислових протоколів, зокрема ModBus, OPC UA, OPC DA, IEC 61850, IEC 60870-5-104, S7 connection. Це забезпечує високу інтеграцію різнорідних систем і дозволяє об'єднувати дані з різних джерел у єдиній системі диспетчеризації для ефективного управління водопостачанням у місті Київ.

Під час написання магістерської роботи була розроблена ієрархічної моделі обладнання, як зображена на рис. 2.3.

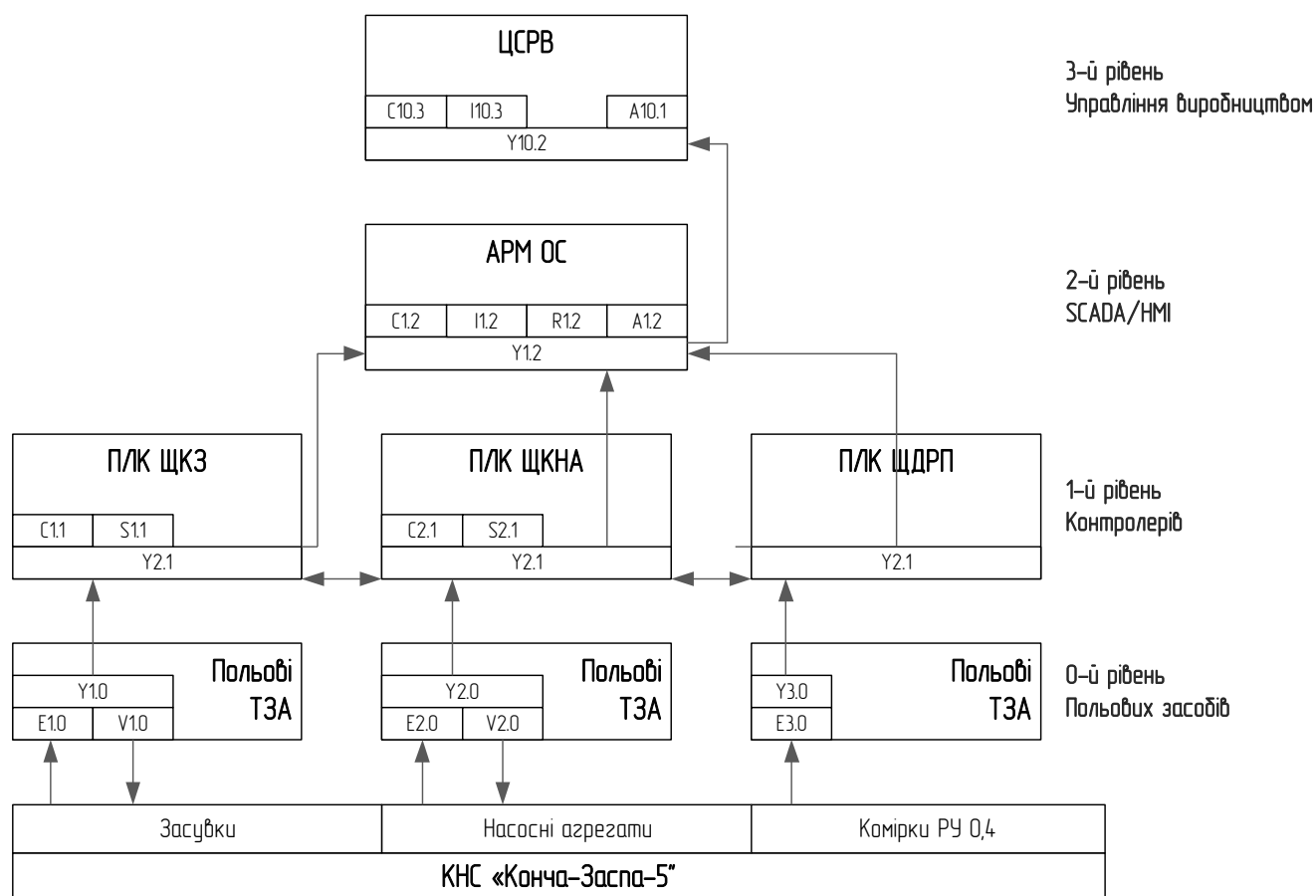


Рис. 2.3 Ієрархічна модель обладнання

Функціональна структура КНС має 3-рівневу структуру:

- рівень датчиків (датчики, перетворювачі частоти, засоби вводу/виводу)
- рівень контролерів ;
- рівень SCADA/HMI .

Система повинна має розподілену функціональність та технічний рівень, щоб у разі відсутності зв'язку всі підсистеми могли працювати автономно. АРМ оператора станції, обладнаний функціями SCADA/HMI, яка виконує роль координуючої станції для всього технологічного процесу.

Передача даних на рівень центрально сервера (ЦСПВ) призначена для передачі у загальну SCADA Київводоканалу а також до системи керування

операціями яка призначена для моніторингу основних виробничих параметрів на рівні виробництва.

Таблиця 2.1. Умовні позначення до схеми обладнання

Позначення	Найменування
ЦСРВ	Центральний сервер;
АРМ ОС	АРМ оператора станції;
ПЛК ЩКЗ	Програмно-логічний контролер щита керування засувок;
ПЛК ЩКНА	Програмно-логічний контролер щита керування насосними агрегатами;
ПЛК ЩДРП	Програмно-логічний контролер щита диспетчеризації РП;
Польові ТЗА	Технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня;
E1.0, E2.0, E3.0	Вимірювальні перетворення;
V1.0, V2.0	Управління технологічним обладнанням та виконавчими механізмами;
Y1.0, Y1.2, Y2.0, Y2.1, Y3.0	Перетворення та обробка інформації;
C1.1, C2.1	Автоматизоване регулювання, управління технологічними процесами;
C1.2	Дистанційне управління, формування завдання, настройка регуляторів;
S1.1, S2.1	Автоматизоване включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач;
П1.2	Відображення для контролю за технологічними параметрами;
П10.3	Відображення для диспетчерського контролю за виробничим процесом;
A1.2	Контроль стану обладнання, технологічна сигналізація;
A10.3	Контроль виробничих параметрів.

На рис. 2.4 та у додатку 1 на прикладі каналізаційної насосної станції (КНС) "Конча-Заспа-5" зображена типова структура системи зв'язку для насосних станцій Київводоканалу. Ця структура включає всі основні компоненти, необхідні для ефективного управління та моніторингу

технологічних процесів. Вона включає зв'язок між насосною станцією та центральним диспетчерським пунктом, а також інтеграцію з автоматизованими системами управління технологічними процесами

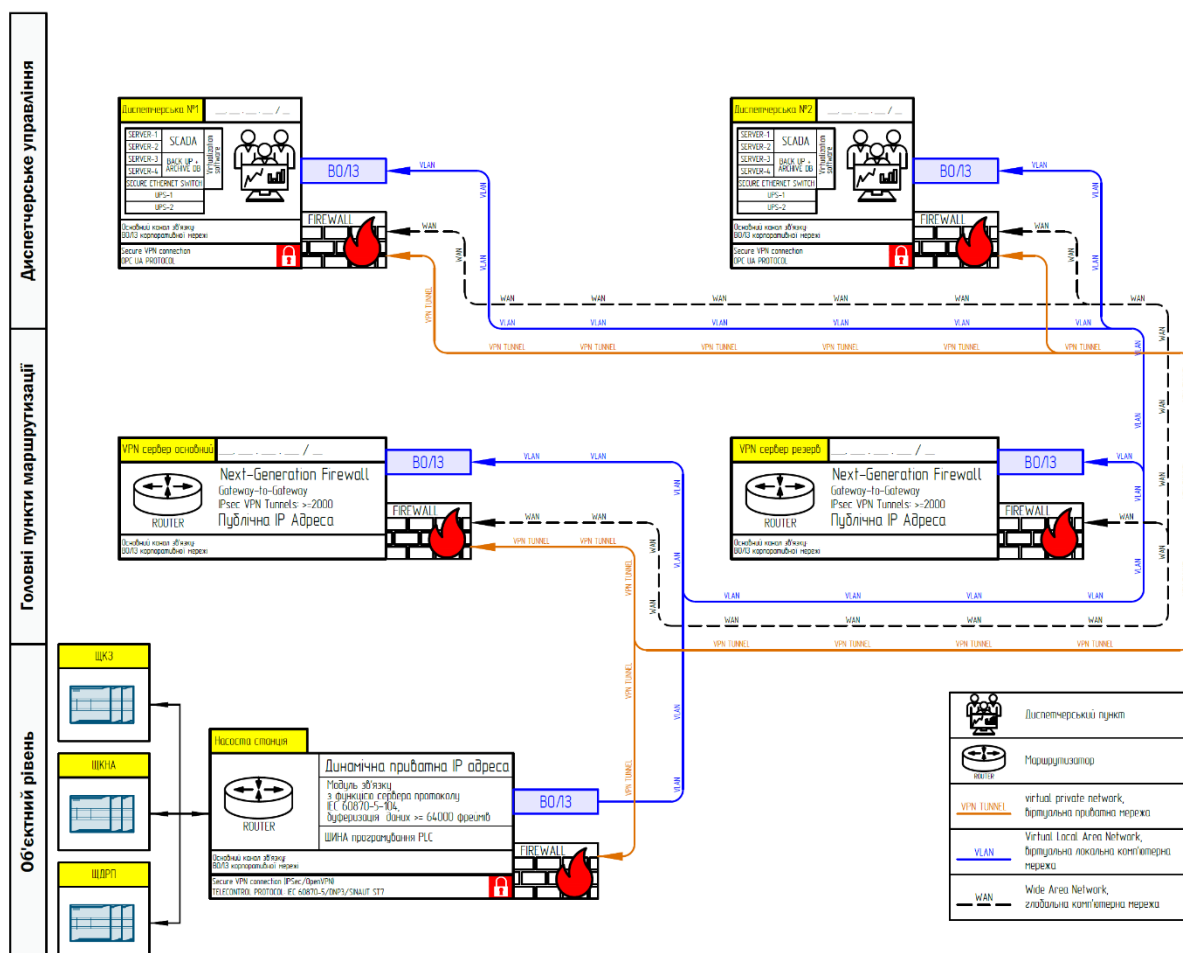


Рис. 2.4 Схема структури системи зв'язку

На рис. 2.5 та у додатку 2 зображена структура комплексу технічних засобів каналізаційної насосної станції "Конча-Заспа-5". Цей комплекс включає основні підсистеми та їх обладнання, таке як частотні перетворювачі, аналізатори мережі, джерела дискретних та аналогових сигналів. Всі ці компоненти інтегровані в єдину систему, що дозволяє забезпечити безперервну та ефективну роботу станції. Структура технічних засобів КНС дозволяє здійснювати автоматичний контроль за режимами роботи насосних агрегатів, моніторинг параметрів роботи та їх оперативне коригування, що значно підвищує ефективність та надійність функціонування станції.

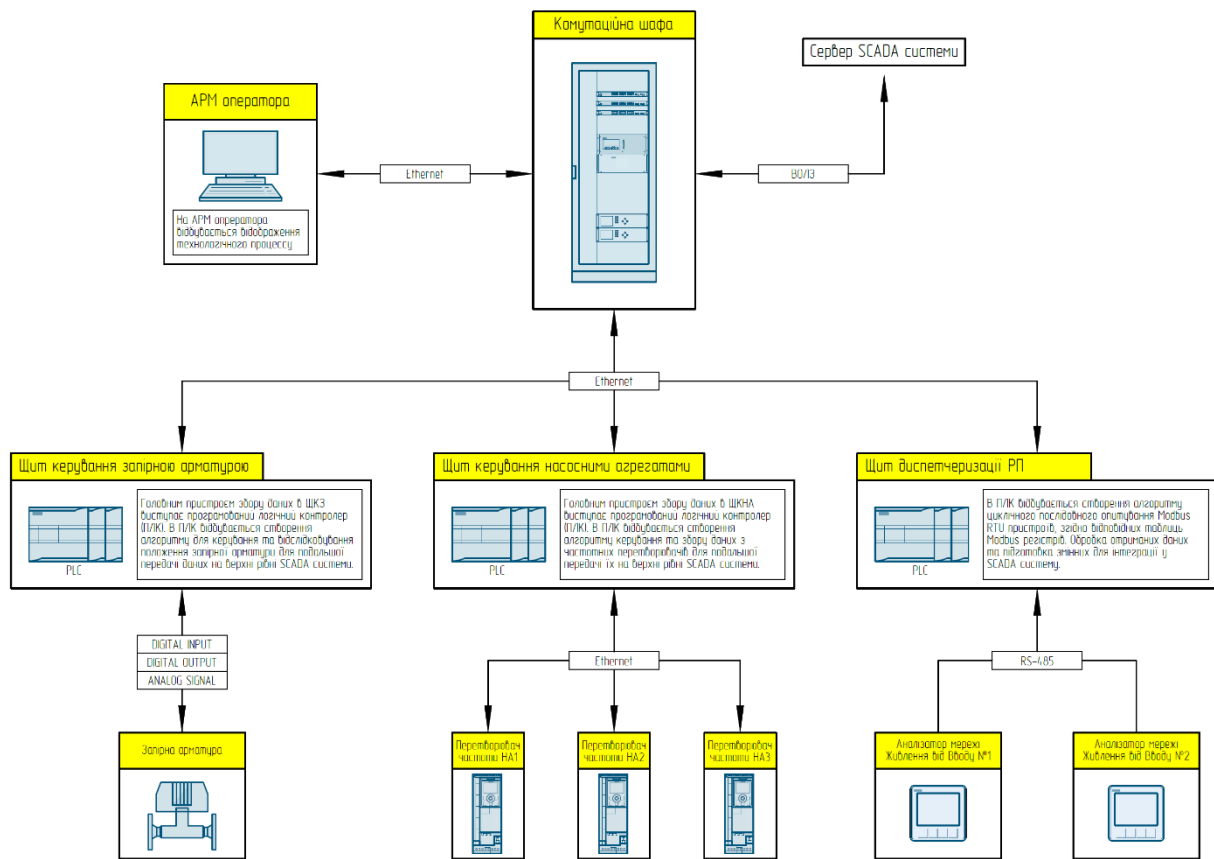


Рис. 2.5 Схема структура комплексу технічних засобів

Алгоритм роботи каналізаційної насосної станції чітко можна зрозуміти із рис 2.6 де представлений графік рівня приймального резервуару(ємності де накопичуються стічні води) та навантаження при роботі НА.

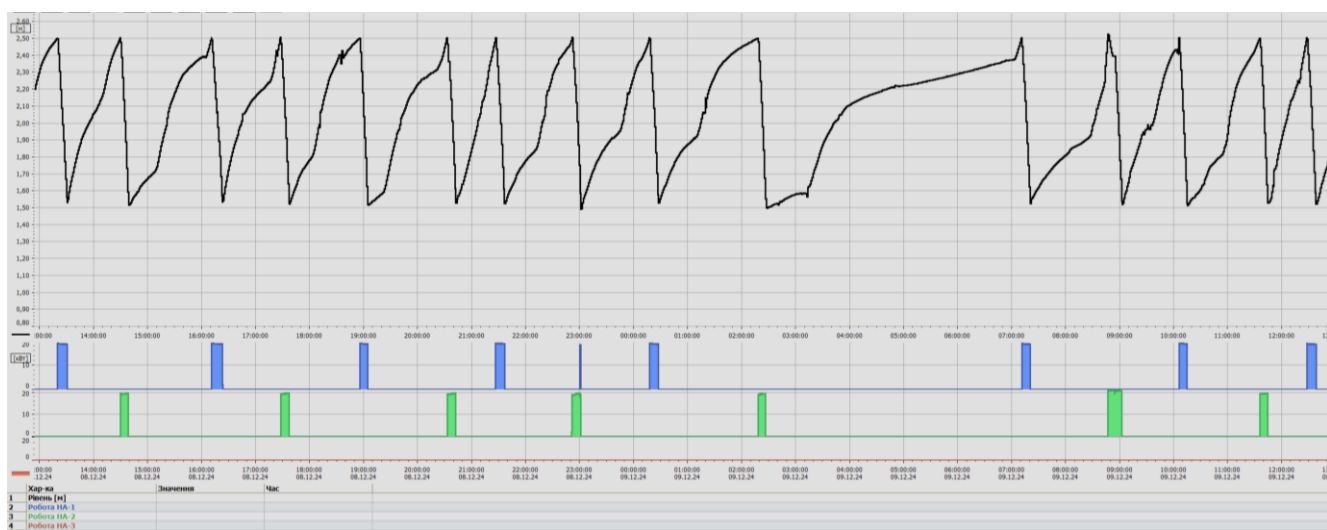






Рис. 2.6 Добовий графік режиму роботи КНС

Тренд	Характеристика
	Рівень в приймальному резервуарі [м];
	Навантаження НА-1 [кВт];
	Навантаження НА-2 [кВт];
	Навантаження НА-3 [кВт].

Перелік вхідних сигналів.

Вхідні аналогові сигнали.

Вхідні аналогові сигнали надходять на модулі аналогового вводу ПЛК від датчиків та механізмів.

Джерелами сигналів є:

- Термоперетворювачі;
- Датчики тиску;

В таблиці 2.2 наведені вхідні аналогові сигнали КНС «Конча-Заспа-5».

Табл. 2.2 - Перелік вхідних аналогових сигналів КНС «Конча-Заспа-5».

Найменування	Од. вим.	Діапазон вимірювання	Тип сигналу	Похибка вимірювань
Температура основного підшипника НА №1;	°C	-50..250	Згідно EN 60751, температурний коефіцієнт опору: 0,00385055	±0,5%
Температура допоміжного підшипника НА №1;	°C	-50..250		±0,5%
Температура статора НА №1;	°C	-50..250		±0,5%
Температура основного підшипника НА №2;	°C	-50..250		±0,5%
Температура допоміжного підшипника НА №2;	°C	-50..250		±0,5%
Температура статора НА №2;	°C	-50..250		±0,5%
Температура основного підшипника НА №3;	°C	-50..250		±0,5%

Температура допоміжного підшипника НА №3;	°C	-50..250		±0,5%
Температура статора НА №3;	°C	-50..250		±0,5%
Тиск лівого колектора;	МПа	0..1	4..20 мА	±0,5%
Тиск правого колектора;	МПа	0..1	4..20 мА	±0,5%

Вхідні дискретні сигнали.

Вхідні дискретні сигнали надходять на дискретні входи центрального процесорного модулю ПЛК та системи розподіленого вводу.

Джерелами вхідних дискретних сигналів є:

- Кінцеві вимикачі засувок;
- Стан контакторів;
- Релейні виходи кондуктометричного перетворювача, до якого підключені відповідні кондуктометричні датчики затоплення;
- Релейні виходи ДБЖ;
- Пристрої контролю ввідної напруги;

В таблиці 2.3 наведені вхідні дискретні сигнали КНС «Конча-Заспа-5».

Табл. 2.3 - Перелік вхідних дискретних сигналів КНС «Конча-Заспа-5».

Найменування	Тип сигналу
Сигнали РП	
Зникнення напруги на вводі (у);	0/1 (сухий контакт)
Робота секційного вимикача;	0/1 (сухий контакт)
Спрацювання контактора вводу (у);	0/1 (сухий контакт)
Сигнали щита керування насосними агрегатами	
Робота НА № (у);	0/1 (сухий контакт)
Відчинення дверей до насосної станції;	0/1 (сухий контакт)

Напруга на комплексі технічних засобів інформаційної системи не в нормі;	0/1 (сухий контакт)
Низький заряд батарей ДБЖ;	0/1 (сухий контакт)
Затоплення приміщення НС, зона (у);	0/1 (сухий контакт)
Режим роботи НА № (у);: Прямий пуск;	0/1 (сухий контакт)
Режим роботи НА № (у);: Від перетворювача частоти;	0/1 (сухий контакт)
Режим роботи БУНА (у);: Місцевий режим;	0/1 (сухий контакт)
Режим роботи БУНА (у);: Дистанційний режим;	0/1 (сухий контакт)
Робота дробарки;	0/1 (сухий контакт)
Аварія дробарки;	0/1 (сухий контакт)
Робота вентилятора (у);	0/1 (сухий контакт)
Аварія вентилятора (у);	0/1 (сухий контакт)
Робота дренажного насосного агрегату (у);	0/1 (сухий контакт)
Аварія дренажного насосного агрегату (у);	0/1 (сухий контакт)
Сигнали щита керування засувками	
Засувка №1-11 Закрита;	0/1 (сухий контакт)
Засувка №1-11 Відкрита;	0/1 (сухий контакт)
Засувка №1-11 Аварія;	0/1 (сухий контакт)
Засувка №1-11 Авто режим;	0/1 (сухий контакт)

Вхідні цифрові сигнали.

В таблицях 2.4 наведені вхідні цифрові сигнали, які надходять до ПЛК ЩКНА та ПЛК ЩДРП по інтерфейсним каналам зв'язку Ethernet та/або RS485 від вимірювальних пристроїв, частотних перетворювачів. Їх кількість може

бути меншою/більшою відповідно до наявних первинних приладів цифрових сигналів.

Табл. 3.2 - Перелік вхідних цифрових сигналів КНС «Конча-Заспа-5».

Найменування сигналу	Од. вим.	Тип інтерфейсу
Сигнали щита керування насосними агрегатами		
Рівень в приймальному резервуарі;	м	RS-485
Вібрація НА №(у);	мм/с	RS-485
Струм фази «А» НА № (у);	А	RS-485
Струм фази «В» НА № (у);	А	RS-485
Струм фази «С» НА № (у);	А	RS-485
Лінійна напруга «А-В» НА № (у);	В	RS-485
Лінійна напруга «В-С» НА № (у);	В	RS-485
Лінійна напруга «С-А» НА № (у);	В	RS-485
Активна потужність НА № (у);	кВт	RS-485
Реактивна потужність НА № (у);	кВАр	RS-485
Повна потужність НА № (у);	кВА	RS-485
Коефіцієнт потужності НА № (у);	1	RS-485
Частота НА № (у);	Гц	RS-485
Загальна аварія НА (у);	0/1	RS-485
Аварійна температура допоміжного підшипника НА № (у);	0/1	RS-485
Аварійна температура основоного підшипника НА № (у);	0/1	RS-485
Аварійна температура статора НА № (у);	0/1	RS-485
Аварійна вібрація НА № (у);	0/1	RS-485
Вода в мастилi НА № (у);	0/1	RS-485
Сухий хід НА № (у);	0/1	RS-485
Виток НА № (у);	0/1	RS-485
Спрацювання термо реле НА № (у);	0/1	RS-485
Сигнали щита диспетчеризації розподільчого пристрою		
Струм фази «А» вводу (у)	А	RS-485
Струм фази «В» вводу (у)	А	RS-485
Струм фази «С» вводу (у)	А	RS-485
Лінійна напруга «А-В» вводу (у)	В	RS-485

Лінійна напруга «В-С» вводу (у)	В	RS-485
Лінійна напруга «С-А» вводу (у)	В	RS-485
Активна потужність вводу (у)	кВт	RS-485
Реактивна потужність вводу (у)	кВАр	RS-485
Повна потужність вводу (у)	кВА	RS-485
Коефіцієнт потужності вводу (у)	1	RS-485
Частота вводу (у)	Гц	RS-485
Активна електроенергія вводу (у)	кВт*год	RS-485
Реактивна електроенергія вводу (у)	кВАр*год	RS-485

2.2 Аналіз задачі енергоефективності

Основною метою підвищення енергоефективності підприємств є зменшення споживання енергії без зниження обсягів виробництва, а також мінімізація негативного впливу на довкілля. Для досягнення цього необхідно розробити ефективні стратегії використання енергетичних ресурсів.

Енергетичний баланс підприємств є ключовим показником стану енергетичного господарства. Він відображає співвідношення між обсягом отриманої енергії, корисно використаної енергії та втратами. Баланс формується для різних типів споживаної енергії, таких як електроенергія, газ, мазут, пара тощо. У випадку Київводоканалу найбільш актуальним є аналіз саме електроенергії.

Для складання балансу використовуються фактичні дані про споживання енергії, які збираються за допомогою приладів обліку: лічильників електроенергії, газу, пари, води чи тепла. Аналіз цих даних дозволяє виявити реальний стан енергоспоживання як окремих підрозділів, так і підприємства загалом, а також ідентифікувати ділянки, де можна досягти енергозбереження.

Енергетичні баланси класифікуються за такими критеріями:

- ❖ **Період дії:** звітні (на основі даних за минулі періоди), планові (з урахуванням цілей економії енергії), проектні (при розробці нових об'єктів).
- ❖ **Стадія енергопотoku:** виробництво, перетворення, розподіл або кінцеве використання енергії.
- ❖ **Тип енергоносія:** часткові (за окремими видами енергоресурсів) або зведені (за загальним обсягом споживання).

Для складання і аналізу енергетичного балансу потрібна вихідна інформація, яка включає:

Загальні характеристики підприємства: обсяги виробництва, номенклатуру продукції, собівартість з виділенням енергетичної складової.

- Схему матеріальних та енергетичних потоків.

- Список і характеристику основного енерговикористовуючого обладнання.

- Дані про витрати енергоресурсів.

- Інформацію про заходи з раціонального використання енергії.

Опис енергетичних потоків повинен супроводжуватися характеристикою видів енергоресурсів, рівнем використання вторинних енергетичних ресурсів, а також станом обліку і контролю споживання енергії.

Аналіз енергетичного балансу дозволяє оцінити ефективність енергоспоживання на підприємстві, визначити резерви для заощадження та сформулювати рекомендації для підвищення енергоефективності.

Загальний енергетичний баланс підприємства формується шляхом поетапного об'єднання даних про енергоспоживання на різних рівнях його структури. На першому етапі складаються енергобаланси окремих робочих центрів, які враховують споживання енергії безпосередньо обладнанням чи виробничими установками. Ці баланси об'єднуються для формування енергетичного балансу кожного цеху або виробничої дільниці. Далі баланси цехів інтегруються в межах більших підрозділів підприємства, що зрештою утворює повний енергетичний баланс підприємства. Такий підхід забезпечує детальну оцінку енергоефективності на всіх рівнях організаційної ієрархії та дозволяє ідентифікувати вузькі місця для покращення енергоспоживання.

2.3 Аналіз задачі енергоефективності

Аналіз використання енергоносіїв може бути проведений шляхом порівняння фактичних показників з нормативними, фактичними за минулий період, перспективними аналогічними на інших підприємствах. При цьому порівняння показників повинне проводитися з урахуванням умов порівнянності (при однакових обсягах, складі і якості продукції і т.п.).

У Київводоканалі основним обладнанням та найбільшим споживачем електроенергії є гідравлічні насоси, які забезпечують перекачування води на різних етапах її транспортування та очищення. Ці насоси використовуються для подачі води споживачам, підтримки необхідного тиску в системі водопостачання, а також для відведення та очищення стічних вод. Враховуючи масштабність експлуатації насосного обладнання, їх енергоефективність має вирішальне значення для загального енергобалансу підприємства. Оптимізація роботи гідравлічних насосів дозволяє не лише знизити витрати електроенергії, а й підвищити надійність системи водопостачання загалом.

Ефективність використання енергії в гідравлічного насоса можна характеризувати коефіцієнтом корисної дії. Коефіцієнт корисної дії (ККД) гідравлічного насоса відображає ефективність перетворення споживаної енергії в корисну гідравлічну роботу. Розрахунок ККД виконується за формулою:

$$\eta = \frac{P_{гидр}}{P_{спож}} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

де:

η — ККД насоса [%];

$P_{гидр}$ — гідравлічна потужність [Вт];

$P_{спож}$ — споживана електрична потужність [Вт].

Кожен із цих двох критеріїв розраховується за окремою формулою.

Гідравлічна потужність залежить від подачі насоса, створюваного напору і щільності рідини:

$$P_{\text{зідр}} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (2.2)$$

де:

ρ — густина рідини [кг/м³] (для води зазвичай =1000 кг/м³, для стічних вод густина = 1020 кг/м³)

g — прискорення вільного падіння ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$);

H — напір насоса [м];

Q — об'ємна витрата [м³/с].

Споживана потужність визначається за формулою:

$$P_{\text{спож}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.3)$$

де:

U — напруга живлення насоса [В];

I — споживаний струм [А];

$\cos \varphi$ — коефіцієнт потужності (характеристика електродвигуна, зазвичай вказується в технічній документації).

Для систем керування операціями одним з основних стандартів є ISO 22400, який фокусується на визначенні та використанні ключових показників ефективності (KPI) для моніторингу та оцінки продуктивності виробничих процесів. Стандарт ISO 22400 є частиною серії стандартів, розроблених для управління виробничими операціями (Manufacturing Operations Management, MOM). ISO 22400 зосереджується на визначенні ключових показників ефективності (KPI) для виробничих операцій.

У стандарті ISO 22400 зокрема виділяються такі KPI, як загальна ефективність обладнання (OEE — Overall Equipment Effectiveness), яка оцінює ефективність виробничих активів, включаючи доступність обладнання, його продуктивність та якість виробленої продукції. Водночас стандарт також містить KPI, що стосуються енергоспоживання, такі як ефективність використання енергії (Energy Efficiency), однак ці показники часто зосереджуються на загальних характеристиках виробничих процесів.

Проте, у стандарті ISO 22400 не наводяться конкретні КРІ, які б безпосередньо збігалися з формулою розрахунку ККД насосів, як у вашій роботі. Формула, що використовується вами, більше належить до специфічних інженерних розрахунків для оцінки енергетичної ефективності насосних агрегатів, що є важливою частиною управління енергоефективністю, але не є стандартним КРІ у межах ISO 22400.

Отже, в рамках стандарту ISO 22400 немає безпосереднього КРІ, аналогічного до ККД насосних агрегатів, проте використання цієї формули є важливим для точного визначення ефективності використання енергії насосними станціями, що відповідає загальним принципам енергетичної ефективності, які підтримує стандарт.

На КНС «Конча-Заспа-5» встановлені каналізаційні насоси: Насос Grundfos S1.100.125.400.4.62M.C.345.G.N.D.511 — це занурювальний каналізаційний насос із номінальною потужністю 43 кВт. Його максимальний напір становить 50 метрів, а максимальна продуктивність — 468 м³/год. [12]

Маючи ці номінальні показники від виробника розрахуємо теоретичне ККД цього насосного агрегату.

$$P_{гидр} = 1020 \cdot 9,81 \cdot 50 \cdot 0,13$$

$$P_{гидр} = 65040,30$$

$$\eta = \frac{65040,30}{43000} \cdot 100\%$$

$$\eta = 151,25\%$$

Отримане значення ККД перевищує 100%, що свідчить про некоректність вхідних даних. Це свідчить про те що максимальна продуктивність і максимальний напір не досягаються одночасно. Для точного визначення ККД необхідно використовувати реальні дані.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ РІЗНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОПЕРАЦІЯМИ.

3.1 Створення бази для системи керування операціями

Для реалізації системи керування операціями насосних агрегатів використовується програмне забезпечення WinCC 7.5. Це сучасна SCADA-система (Supervisory Control and Data Acquisition), що виконує функцію збору, обробки та візуалізації даних з усіх компонентів насосної станції. SCADA-система також агрегує інформацію для системи керування операціями, забезпечуючи централізований контроль за всіма технологічними процесами.

Причини вибору WinCC 7.5:

- Наявність на об'єкті: Це програмне забезпечення вже було впроваджене на об'єкті Київводоканалу і використовується більше року.
- Накопичення історичних даних: SCADA-система вже зібрала значний обсяг даних про роботу насосних агрегатів, що дає можливість проводити детальний аналіз продуктивності, споживання енергії та виявлення проблемних зон.

Висока інтеграція: WinCC 7.5 забезпечує сумісність із існуючим обладнанням насосних станцій, включаючи частотні перетворювачі та контролери (PLC).

Основні функції WinCC 7.5 у системі керування операціями:

- ❖ Збір даних із насосів, частотних перетворювачів, датчиків рівня та інших компонентів системи;
- ❖ Централізоване відображення всіх параметрів у реальному часі через інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс;
- ❖ Відображення роботи насосів у реальному часі;
- ❖ Адаптація режимів роботи насосів відповідно до заданих алгоритмів;
- ❖ Збереження історичних даних для аналізу трендів, таких як енергоспоживання, продуктивність насосів і час їх роботи;

- ❖ Використання архівних даних для оцінки ефективності роботи системи та прогнозування потенційних проблем;
- ❖ Використання даних SCADA-системи для визначення зон із підвищеним споживанням енергії.
- ❖ Налаштування параметрів системи для досягнення оптимальної продуктивності насосів із мінімальними витратами енергії.

WinCC 7.5 є ключовим елементом системи, що об'єднує дані з усіх компонентів насосної станції, аналізує їх та передає у систему керування операціями. Завдяки накопиченим даним, система може:

- Забезпечувати стабільну та ефективну роботу насосів у різних режимах.
- Надавати оператору всю необхідну інформацію для прийняття рішень.
- Підтримувати виконання автоматизованих алгоритмів роботи насосної станції, таких як почерговий запуск насосів залежно від рівня стоків у резервуарі.

В процесі налагоджування системи керування операціями були використані змінні що архівуються за допомогою вкладки «Tag logging»:

Process tag	Tag type	Tag name	Archive name	Comment	Acquisition type	Tag supply	Archiving disabled	Value in tag	Acquisition cycle	Factor for archiving cycle	Archiv...
KZP5_Motors_Level	Analog	KZP5_Analog_Level	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Active_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Active_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Active_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Active_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Active_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Active_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Factor_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Factor_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Factor_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Factor_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Factor_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Factor_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Reactive_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Reactive_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Reactive_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Reactive_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Reactive_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Reactive_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Total_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Total_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Total_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Total_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Power_Total_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Electrical_Power_Total_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_A_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_A_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_A_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_A_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_A_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_A_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_B_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_B_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_B_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_B_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_B_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_B_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_C_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_C_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_C_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_C_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_C_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_C_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_D_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_D_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_D_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_D_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_D_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_D_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_E_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_E_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_E_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_E_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Electrical_Voltage_E_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Electrical_Voltage_E_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_HMI_Motor_hours_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Global_HMI_Motor_hours_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 hour	1	1 hour
KZP5_Data_Global_HMI_Motor_hours_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Global_HMI_Motor_hours_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 hour	1	1 hour
KZP5_Data_Global_HMI_Motor_hours_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Global_HMI_Motor_hours_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 hour	1	1 hour
KZP5_Data_Global_Pressure_Left	Analog	KZP5_Data_Global_Pressure_Left	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Pressure_Right	Analog	KZP5_Data_Global_Pressure_Right	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Ref_Freq_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Global_Ref_Freq_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Ref_Freq_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Global_Ref_Freq_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Ref_Freq_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Global_Ref_Freq_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Total_Volume_1	Analog	KZP5_Data_Global_Total_Volume_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Total_Volume_2	Analog	KZP5_Data_Global_Total_Volume_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Total_Volume_3	Analog	KZP5_Data_Global_Total_Volume_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Water_in_Oil_Percentage_Pump_1	Analog	KZP5_Data_Global_Water_in_Oil_Percentage_Pump_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Water_in_Oil_Percentage_Pump_2	Analog	KZP5_Data_Global_Water_in_Oil_Percentage_Pump_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_Global_Water_in_Oil_Percentage_Pump_3	Analog	KZP5_Data_Global_Water_in_Oil_Percentage_Pump_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Current_A_1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Current_A_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Current_A_2	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Current_A_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Current_B_1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Current_B_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Current_B_2	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Current_B_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Current_C_1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Current_C_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Current_C_2	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Current_C_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Energy_Active_1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Energy_Active_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Energy_Active_2	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Energy_Active_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Energy_Reactive_1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Energy_Reactive_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Energy_Reactive_2	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Energy_Reactive_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 minute	1	1 minute
KZP5_Data_FAC1020_Frequency_1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Frequency_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Frequency_2	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Frequency_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Frequency_3	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Frequency_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Total_Active_Power_1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Total_Active_Power_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Total_Active_Power_2	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Total_Active_Power_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Total_Active_Power_3	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Total_Active_Power_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Total_Power_Factor_1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Total_Power_Factor_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Total_Power_Factor_2	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Total_Power_Factor_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Total_Power_Factor_3	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Total_Power_Factor_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Total_Reactive_Power_1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Total_Reactive_Power_1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Total_Reactive_Power_2	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Total_Reactive_Power_2	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Total_Reactive_Power_3	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Total_Reactive_Power_3	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second
KZP5_Data_FAC1020_Voltage_A_B_L1	Analog	KZP5_Data_FAC1020_Voltage_A_B_L1	KZP_5		Cyclic, continuous	System	<input type="checkbox"/>		1 second	1	1 second

Рис. 3.1 Архівування параметрів КНС «Конча-Заспа-5»

Для розрахунку коефіцієнта корисної дії (ККД) насосів було створено скрипт на мові VBA, інтегрований у SCADA-систему WinCC 7.5. Скрипт автоматизує процес визначення ККД кожного насосного агрегату під час їх роботи. Розрахунок базується на вимірних значеннях потоку стоків, активної споживаної потужності насосів та напору. Для цього скрипт зчитує дані, що надходять у реальному часі із датчиків SCADA-системи, і обчислює ККД.

Скрипт організовано у кілька логічних блоків:

1. Оголошення змінних: Змінні описують фізичні параметри системи та значення, отримані зі SCADA-системи.
2. Зв'язок із тегамі SCADA-системи: Для інтеграції скрипта з реальними значеннями, які надає система, кожна змінна пов'язується з відповідним тегом SCADA-системи.
3. Зчитування параметрів: У скрипті передбачено блок для отримання актуальних даних потоку, потужності насосів та стану їх роботи.
4. Умови розрахунку: ККД обчислюється окремо для кожного насоса лише в разі, якщо насос перебуває в робочому стані, що визначається через дискретні вхідні сигнали.
5. Обчислення та запис результатів: Розраховані значення ККД записуються у відповідні теги SCADA-системи для подальшого відображення на графічному інтерфейсі або збереження в архів.

Написання скрипта виконувалося з урахуванням специфіки роботи насосної станції, що передбачає почергове включення трьох ідентичних насосів залежно від рівня стоків у приймальному резервуарі. Скрипт враховує, що обсяг стоків, які відкачуються при кожному пуску насоса, є стабільним, що спрощує аналіз даних.

```
KVK_KNS.mcp: (Action) KPI_KZP_5.bac x
Option Explicit
Function action
'Блок оголошення змінних скрипта
Dim Flow_2
Dim Power_Active_Pump_1
Dim Power_Active_Pump_2
Dim Power_Active_Pump_3
Dim p
Dim g
Dim H
Dim KPI_Pump_1
Dim KPI_Pump_2
Dim KPI_Pump_3
Dim DI

'Блок з'єднання змінних скрипта та реальних значень SCADA системи
Set Flow_2 = HMIRuntime.Tags("KZP5_Rashod_Flow_2")
Set Power_Active_Pump_1 = HMIRuntime.Tags("KZP5_Data_Electrical_Power_Active_Pump_1")
Set Power_Active_Pump_2 = HMIRuntime.Tags("KZP5_Data_Electrical_Power_Active_Pump_2")
Set Power_Active_Pump_3 = HMIRuntime.Tags("KZP5_Data_Electrical_Power_Active_Pump_3")
Set KPI_Pump_1 = HMIRuntime.Tags("KZP5_KPI_Pump_1")
Set KPI_Pump_2 = HMIRuntime.Tags("KZP5_KPI_Pump_2")
Set KPI_Pump_3 = HMIRuntime.Tags("KZP5_KPI_Pump_3")
Set DI = HMIRuntime.Tags("KZP5_Data_Global_Discrete_Inputs_Dword_1")

'Блок з'єдн вичитування реальних значень параметрів SCADA системи
Flow_2.Read
Power_Active_Pump_1.Read
Power_Active_Pump_2.Read
DI.Read

p = 1020 'Густина стічних вод
g = 9.81 'Сила тяжіння
H = 20 'Висота напорного стовба НА

'Розрахунок ККД НА-1 за формулою, розрахунок відбувається лише при роботі НА-1
If (DI.Value And (2^0)) <> 0 Then
KPI_Pump_1.Value = (p * g * H * Flow_2.Value / 3600) / (Power_Active_Pump_1.Value * 1000) * 100
Else KPI_Pump_1.Value = 0
End If

'Розрахунок ККД НА-2 за формулою, розрахунок відбувається лише при роботі НА-2
If (DI.Value And (2^1)) <> 0 Then
KPI_Pump_2.Value = (p * g * H * Flow_2.Value / 3600) / (Power_Active_Pump_2.Value * 1000) * 100
Else KPI_Pump_2.Value = 0
End If

'Розрахунок ККД НА-3 за формулою, розрахунок відбувається лише при роботі НА-3
If (DI.Value And (2^2)) <> 0 Then
KPI_Pump_3.Value = (p * g * H * Flow_2.Value / 3600) / (Power_Active_Pump_3.Value * 1000) * 100
Else KPI_Pump_3.Value = 0
End If

'Запис отриманих значень
KPI_Pump_1.Write
KPI_Pump_2.Write
KPI_Pump_3.Write
End Function
```

Рис. 3.2 Скрипт для розрахунку ККД

3.2 Налаштування системи керування операціями

Перший етап випробувань передбачає ручний розрахунок ключового параметра – середнього значення ККД насоса. Для цього буде використано дані з таблиці, отримані під час роботи насоса за певний період. Ці розрахунки виконані вручну для подальшого порівняння з результатами, які система керування отримує автоматично. Такий підхід дозволяє не лише перевірити точність роботи автоматизованої системи, а й обґрунтувати необхідність автоматизації цього процесу, якщо система демонструє переваги в швидкості, точності або зручності використання.

Розрахуємо ККД насосного агрегату №2 під час його роботи. У таблиці 3.1 приклад даних (з дискретністю 1 хв.) отримані з SCADA системи. Перший розрахунок проводиться у штатному режимі роботи КНС із заданою частотою на частотному перетворювачі 38 Гц

Таблиця 3.1. Таблиця параметрів базового пуску

Номер вимірювання з/п	Час	$P_{\text{спож}}$ — споживана електрична потужність [Вт].	Q — об'ємна витрата [$\text{м}^3/\text{с}$].
1.	13:47:30	29743,3815	0,088591393
2.	13:48:30	29571,33102	0,087576014
3.	13:49:30	29677,84119	0,087365824
4.	13:50:30	29527,40097	0,087631607
5.	13:51:30	20786,69167	0,087982356
6.	13:52:30	20815,28854	0,08729326
7.	13:53:30	20784,90067	0,087178802
8.	13:54:30	21897,67838	0,086695921
9.	13:55:30	30403,7323	0,086374902
10.	13:56:30	16482,57065	0,083616536

Тривалість роботи 9 хвилин, середнє значення спожитої потужності: **24969,08** Вт, середнє значення об'єма витрат: **0,087030662** $\text{м}^3/\text{с}$

Надалі подібні таблиці даних оброблюватися автоматично.

$$P_{\text{зідр}} = 1020 \cdot 9,81 \cdot 20 \cdot 0,087030662$$

$$P_{\text{зідр}} = 17416,92$$

$$\eta = \frac{17416,92}{24969,08} \cdot 100\%$$

$$\eta = 69,75397\%$$

Цільові показники ККД для сучасних насосів у світі:

Для промислових насосів провідні виробники орієнтуються на ККД не нижче 85–90%.

Для енергозберігаючих систем (наприклад, водопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії) ККД повинен відповідати або перевищувати 80%.

Еталонні насоси: наукові дослідження демонструють можливість досягнення ККД до 95% у лабораторних умовах.

В базовому підрахунку ККД виявилось нижче цільових показників.

Другий етап випробувань передбачає використання розробленого скрипту, зображеного на рисунку 3.2, для автоматизованого розрахунку середнього значення ККД насоса (рис. 3.3). Результати розрахунків аналізуватися за допомогою вбудованого функціоналу аналізу графіків у системі (табл. 3.2). Такий підхід забезпечує можливість оцінити ефективність автоматизованого процесу в реальних умовах експлуатації та порівняти його з ручними розрахунками. Це дозволить визначити точність та доцільність використання автоматизованого аналізу для задач керування насосним обладнанням.

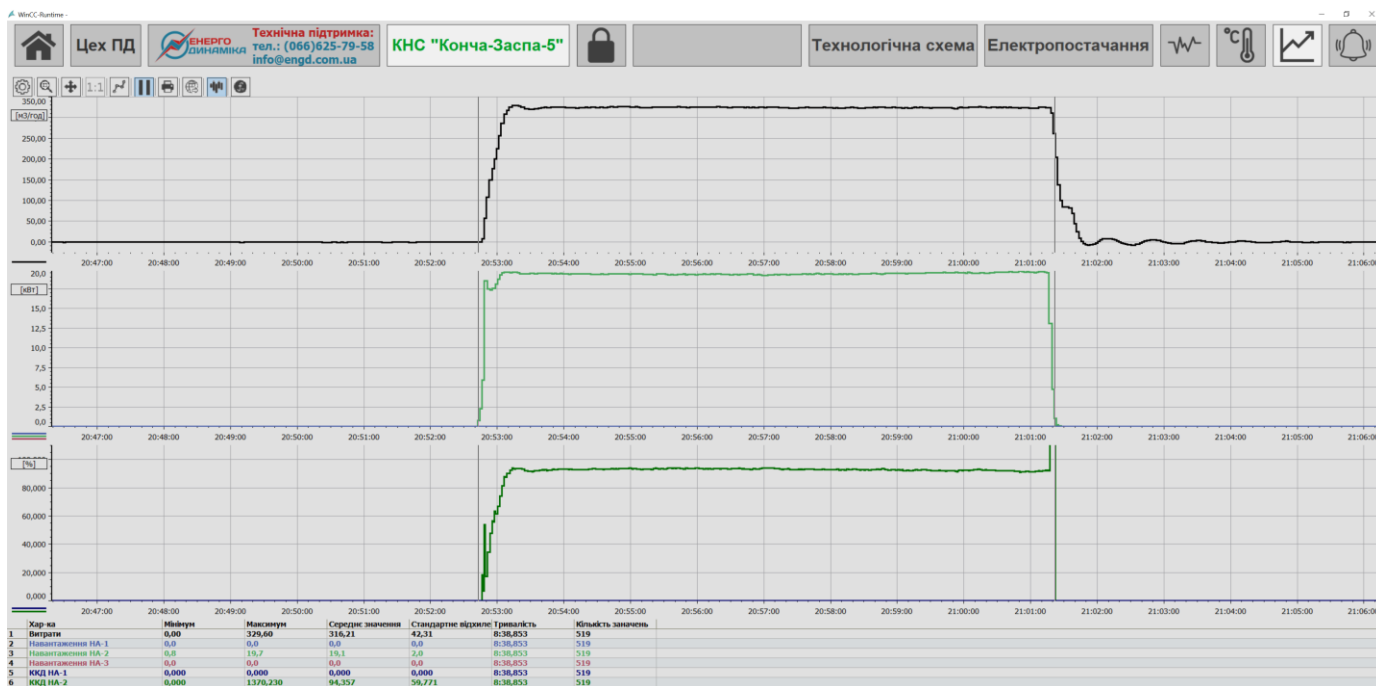


Рис. 3.3 Пуск №1 з автоматичним обчисленням

Таблиця 3.2. Таблиця аналітики пуску з автоматичним обчисленням

Характеристика	Min	Max	Середнє значення	Стандартне відхилення	Тривалість	Кількість вимірів
Витрати [м³/год]	0,00	329,60	316,21	42,31	08:38	519
Навантаження НА-2 [кВт]	0,80	19,70	19,10	2,00	08:38	519
ККД НА-2 [%]	0,00	1370,23	94,35	59,77	08:38	519

На друге вимірювання, яке здійснювалося за допомогою розробленого скрипту та вбудованого інструменту аналізу, витратив значно менше часу, а отримані дані виявилися більш якісними. Однак у процесі аналізу було виявлене аномальне значення, а саме: Максимальне значення ККД яке було зареєстроване дорівнює 1370%.

Таке значення було отримане через ефект, який можна назвати "аномалією ефективності під час вимкнення насоса". Він полягає в тому, що після відключення насоса його навантаження різко знижується, тоді як витрати рідини через інерційність потоку продовжуються деякий час. Це призводить

до різкого збільшення розрахункового значення ККД, оскільки енергетична складова в знаменнику формули ККД прямує до нуля. Як результат, показник ефективності може некоректно зростати до значень, що перевищують 100%.

Для усунення цього ефекту доцільно використовувати фільтрацію значень ККД у межах 0–100%. Налаштування фільтрації, що дозволяє автоматично відсікати некоректні значення, наведено на рисунку 3.4. Такий підхід забезпечує точність аналізу та виключає вплив транзиторних режимів на підсумкові результати.

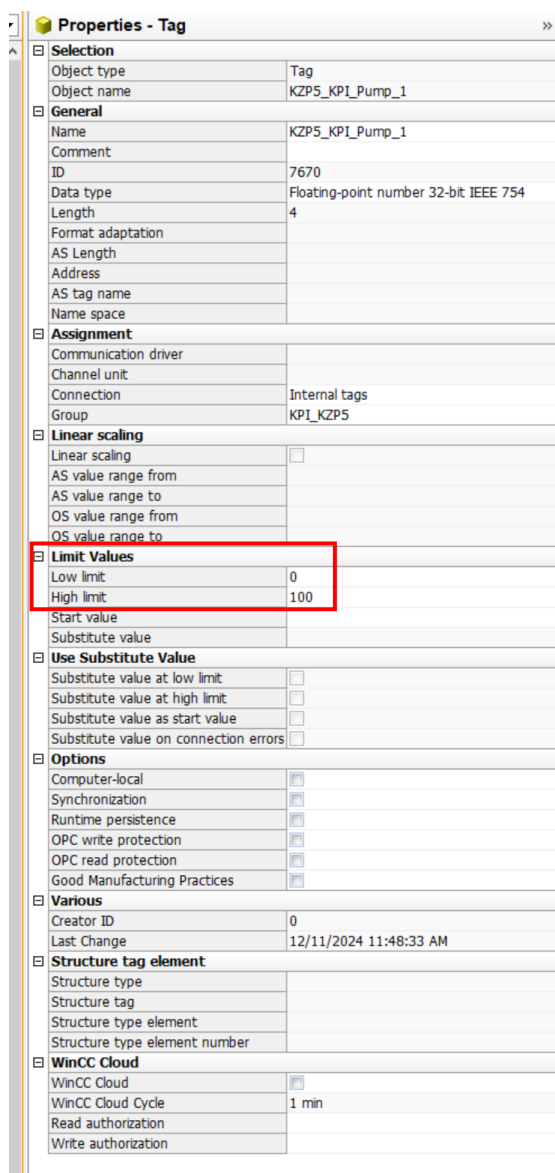


Рис. 3.4 Встановлення фільтрації значення ККД

Результат налаштування фільтрації на можна побачити під час наступного пуску насоса на рис. 3.5

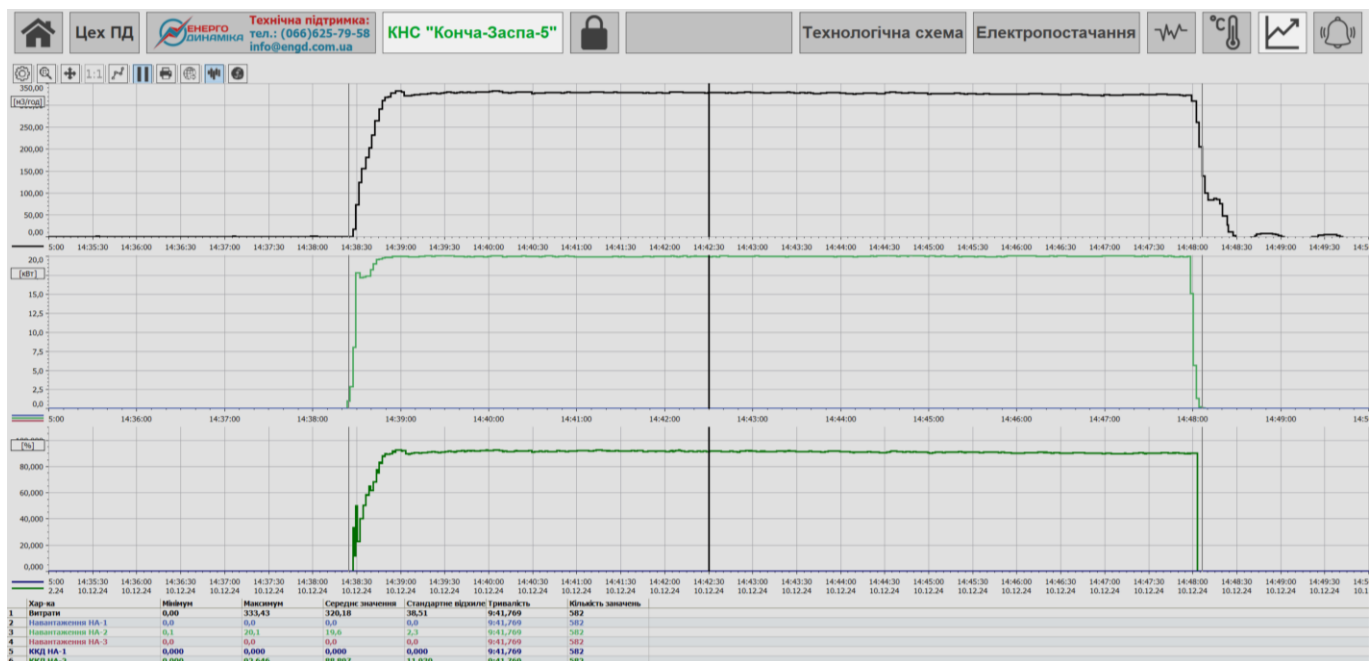


Рис. 3.5 Пуск №2 з автоматичним обчисленням та фільтрацією

Таблиця 3.3. Таблиця автоматичним обчисленням та фільтрацією

Характеристика	Мін	Мах	Середнє значення	Стандартне відхилення	Тривалість	Кількість вимірів
Витрати [м³/год]	0,00	333,43	319,94	40,04	09:41	582
Навантаження НА-2 [кВт]	0,20	20,10	19,60	2,30	09:41	582
ККД НА-2 [%]	0,00	92,64	88,89	11,93	09:41	582

У третьому випробуванні використовувалася фільтрація значень ККД у межах 0–100%, що дозволило виключити некоректні пікові значення, викликані інерційними ефектами. Дані аналізувалися за допомогою вбудованого інструменту, зокрема графічного аналізу та статистичних показників.

Основні результати:

Витрати [м³/год] та навантаження [кВт] у третьому випробуванні залишилися у рамках похибки та не відрізняються особливим чином.

ККД [%] значно покращився у плані якості даних. Максимальне значення знизилося до 92,64% (у порівнянні з 1370,23% у другому випробуванні), що свідчить про ефективність фільтрації. Середнє значення ККД склало 88,89%, що близьке до реального рівня ефективності, із значно зменшеним стандартним відхиленням (11,93% проти 59,77%).

Завдяки використанню фільтрації вдалося суттєво знизити вплив некоректних значень, пов'язаних із інерційними ефектами. Це помітно в зменшенні максимального значення ККД та його стандартного відхилення.

Середнє значення ККД стало більш реалістичним і відображає фактичний рівень ефективності насоса.

У процесі випробувань було виявлено, що підрахунок показників за допомогою вбудованого у WinCC інструменту аналізу графіків є значно ефективнішим, ніж ручні розрахунки. Це забезпечує швидкий доступ до ключових статистичних даних, таких як середнє значення, максимуми, мінімуми та стандартне відхилення. Проте для досягнення ще більшої точності та автоматизації обробки даних доцільно створити спеціалізований скрипт, який автоматично підраховуватиме середній ККД для кожного насоса. Схема роботи такого скрипта наведена на рис. 3.6, і його використання дозволить уникнути ручного налаштування аналізу для кожного тесту, забезпечуючи швидкість, точність і зручність у використанні.

```

Option Explicit
Function action
' Глобальні змінні для накопичення значень
Dim Total_Efficiency ' Сума ККД
Dim Count_Total ' Загальна кількість вимірів
Dim Current_Efficiency ' Поточне значення ККД
Dim Pump_Status ' Статус насоса (працює/не працює)
Dim Total_Average_Efficiency ' Середнє значення ККД

' Отримати значення ККД та статусу насоса
Set Total_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZP5_Total_KPI_Pump_1")
Set Count_Total = HMIRuntime.Tags("KZP5_Total_Count_KPI_Pump_1")
Set Current_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZP5_KPI_Pump_1")
Set Pump_Status = HMIRuntime.Tags("KZP5_Data_Global_ATV630_Pump_Run_1")
Set Total_Average_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZP5_Average_KPI_Pump_1")

Total_Efficiency.Read
Count_Total.Read
Current_Efficiency.Read
Pump_Status.Read

' Якщо насос працює, додаємо значення ККД до розрахунку
If Pump_Status.Value = 1 Then
Total_Efficiency.Value = Total_Efficiency.Value + Current_Efficiency.Value
Count_Total.Value = Count_Total.Value + 1
End If

' Запис значень
Total_Efficiency.Write
Count_Total.Write

' Розрахунок середнього ККД за весь час, якщо є дані
If Count_Total.Value > 0 Then
Total_Average_Efficiency.Value = Total_Efficiency.Value / Count_Total.Value
Else
Total_Average_Efficiency.Value = 0 ' Якщо вимірів немає
End If

' Записуємо середнє значення ККД в тег
Total_Average_Efficiency.Write

End Function

```

Рис. 3.6 Скрипт для розрахунку середнього значення ККД

На рис. 3.7 представлено візуалізацію алгоритму розрахунку середнього коефіцієнта корисної дії насосів. Діаграма демонструє послідовність операцій: ініціалізацію змінних, зчитування даних про поточне значення ККД та статус насоса, перевірку умов роботи насоса, накопичення даних для обчислення середнього значення та їх запис у відповідний тег. Такий підхід забезпечує наочне уявлення про логіку роботи скрипта та дозволяє краще зрозуміти процес розрахунків.

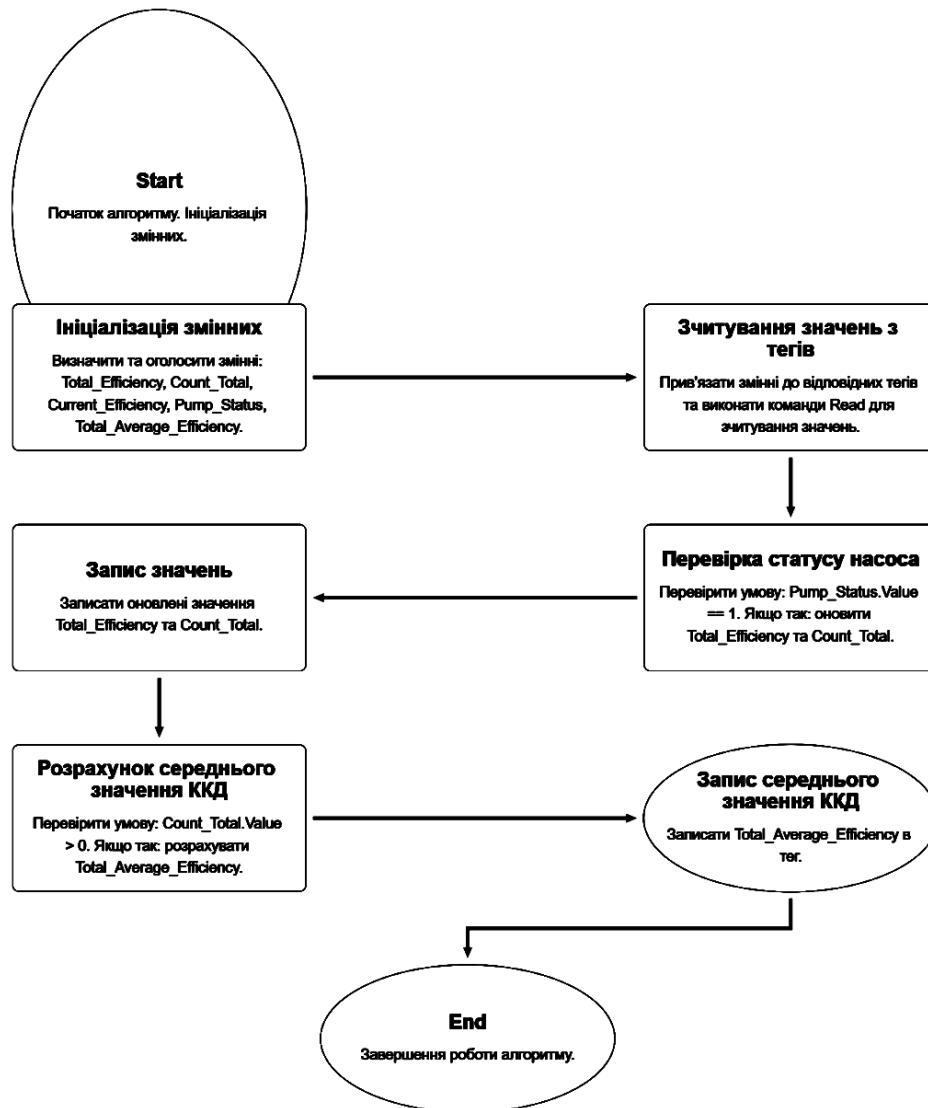


Рис. 3.7 Алгоритм розрахунку середнього ККД

Для подальшого покращення аналітичних даних та більш ефективного їх сегрегування було розроблено скрипт, який забезпечує автоматичний розрахунок ККД останнього пуску кожного насосного агрегату. Це дозволяє детальніше аналізувати роботу обладнання в динаміці окремих запусків, що особливо важливо для оцінки ефективності у випадках короткочасної роботи насосів. Структуру та функціонал цього скрипта зображено на рис. 3.7. Його впровадження дає можливість не лише отримувати оперативні дані, а й робити

обґрунтовані висновки щодо продуктивності насосного обладнання в різних режимах роботи.

```
Option Explicit
Function action
' Глобальні змінні для накопичення значень
Dim Last_Run_Total_Efficiency ' Сума ККД останнього пуску
Dim Count_Last_Run ' Кількість вимірів останнього пуску
Dim Current_Efficiency ' Поточне значення ККД
Dim Pump_Status ' Статус насоса (працює/не працює)
Dim Previous_Pump_Status ' Попередній статус насоса
Dim Last_Run_Average_Efficiency ' Середнє значення ККД останнього пуску

' Отримати значення ККД та статусу насоса
Set Last_Run_Total_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZP5_Last_Run_Total_KPI_Pump_1")
Set Count_Last_Run = HMIRuntime.Tags("KZP5_Last_Run_Count_KPI_Pump_1")
Set Current_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZP5_KPI_Pump_1")
Set Pump_Status = HMIRuntime.Tags("KZP5_Data_Global_ATV630_Pump_Run_1")
Set Previous_Pump_Status = HMIRuntime.Tags("KZP5_Previous_Run_Status_Pump_1")
Set Last_Run_Average_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZP5_Last_Run_Average_KPI_Pump_1")

Last_Run_Total_Efficiency.Read
Count_Last_Run.Read
Current_Efficiency.Read
Pump_Status.Read
Previous_Pump_Status.Read

' Якщо насос щойно запустився (перехід з 0 до 1)
If Pump_Status.Value = 1 And Previous_Pump_Status.Value = 0 Then
' Скидаємо значення для нового пуску
Last_Run_Total_Efficiency.Value = 0
Count_Last_Run.Value = 0
End If

' Якщо насос працює, додаємо значення ККД до розрахунку
If Pump_Status.Value = 1 Then
Last_Run_Total_Efficiency.Value = Last_Run_Total_Efficiency.Value + Current_Efficiency.Value
Count_Last_Run.Value = Count_Last_Run.Value + 1
End If

' Запис значень
Last_Run_Total_Efficiency.Write
Count_Last_Run.Write

' Розрахунок середнього ККД останнього пуску
If Count_Last_Run.Value > 0 Then
Last_Run_Average_Efficiency.Value = Last_Run_Total_Efficiency.Value / Count_Last_Run.Value
Else
Last_Run_Average_Efficiency.Value = 0 ' Якщо вимірів немає
End If

' Записуємо середнє значення ККД останнього пуску в тег
Last_Run_Average_Efficiency.Write

' Оновлюємо попередній статус насоса
Previous_Pump_Status.Value = Pump_Status.Value
Previous_Pump_Status.Write
End Function
```

Рис. 3.8 Скрипт для розрахунку ККД останнього пуску

Для відслідковування змін середнього ККД насосів у розрізі днів та тижнів було створено спеціалізований скрипт, представлений на рис. 3.8 та 3.9. Цей скрипт забезпечує автоматичний розрахунок середнього значення ККД насосів за кожен день та за кожен тиждень. Такий підхід дозволяє не лише

отримувати актуальні показники ефективності, а й спостерігати за динамікою змін ККД у коротко- та довгостроковій перспективі.

Окрім цього, було розроблено додатковий скрипт для архівування значень денного ККД. Це забезпечує можливість зберігати дані для їх подальшого аналізу, а також створювати графіки тенденцій середнього денного ККД для кожного дня тижня. Такий підхід дозволяє ідентифікувати закономірності в роботі насосного обладнання, аналізувати сезонні та експлуатаційні особливості його роботи, а також виявляти потенційні проблеми чи резерви для підвищення ефективності.

```
Option Explicit
Function action
' Глобальні змінні для накопичення значень
Dim Total_Efficiency ' Сума ККД
Dim Last_Run_Total_Efficiency ' Сума ККД останнього пуску
Dim Daily_Efficiency ' Сума ККД за добу
Dim Weekly_Efficiency ' Сума ККД за тиждень
Dim Count_Total ' Сума кількості вмірів
Dim Count_Last_Run ' Кількість вмірів останнього пуску
Dim Daily_Count ' Кількість вмірів за добу
Dim Weekly_Count ' Кількість вмірів за тиждень
Dim Current_Efficiency ' Поточне значення ККД
Dim Pump_Status ' Статус насоса (працює/не працює)
Dim Total_Average_Efficiency ' Середнє значення ККД
Dim Last_Run_Average_Efficiency ' Середнє значення ККД останнього пуску
Dim Daily_Average_Efficiency ' Середнє значення ККД за добу
Dim Weekly_Average_Efficiency ' Середнє значення ККД за тиждень
Dim Previous_Pump_Status ' Попередній статус насоса
Dim Daily_Efficiency_Day_1 ' ККД за понеділок
Dim Daily_Efficiency_Day_2 ' ККД за вівторок
Dim Daily_Efficiency_Day_3 ' ККД за середу
Dim Daily_Efficiency_Day_4 ' ККД за четвер
Dim Daily_Efficiency_Day_5 ' ККД за п'ятницю
Dim Daily_Efficiency_Day_6 ' ККД за суботу
Dim Daily_Efficiency_Day_7 ' ККД за неділю

' Отримати значення ККД та статусу насоса
Set Total_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZPS_Total_KPI_Pump_1")
Set Last_Run_Total_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZPS_Last_Run_Total_KPI_Pump_1")
Set Daily_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Total_KPI_Pump_1")
Set Weekly_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZPS_Weekly_Total_KPI_Pump_1")
Set Count_Total = HMIRuntime.Tags("KZPS_Total_Count_KPI_Pump_1")
Set Count_Last_Run = HMIRuntime.Tags("KZPS_Last_Run_Count_KPI_Pump_1")
Set Daily_Count = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Count_KPI_Pump_1")
Set Weekly_Count = HMIRuntime.Tags("KZPS_Weekly_Count_KPI_Pump_1")
Set Current_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZPS_KPI_Pump_1")
Set Pump_Status = HMIRuntime.Tags("KZPS_Data_Global_ATV630_Pump_Run_1")
Set Previous_Pump_Status = HMIRuntime.Tags("KZPS_Previous_Run_Status_Pump_1")
Set Total_Average_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZPS_Average_KPI_Pump_1")
Set Last_Run_Average_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZPS_Last_Run_Average_KPI_Pump_1")
Set Daily_Average_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Average_KPI_Pump_1")
Set Weekly_Average_Efficiency = HMIRuntime.Tags("KZPS_Weekly_Average_KPI_Pump_1")
Set Daily_Efficiency_Day_1 = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Efficiency_Day_1_Pump_1")
Set Daily_Efficiency_Day_2 = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Efficiency_Day_2_Pump_1")
Set Daily_Efficiency_Day_3 = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Efficiency_Day_3_Pump_1")
Set Daily_Efficiency_Day_4 = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Efficiency_Day_4_Pump_1")
Set Daily_Efficiency_Day_5 = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Efficiency_Day_5_Pump_1")
Set Daily_Efficiency_Day_6 = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Efficiency_Day_6_Pump_1")
Set Daily_Efficiency_Day_7 = HMIRuntime.Tags("KZPS_Daily_Efficiency_Day_7_Pump_1")

Total_Efficiency.Read
Last_Run_Total_Efficiency.Read
Daily_Efficiency.Read
Weekly_Efficiency.Read
Count_Total.Read
Count_Last_Run.Read
Daily_Count.Read
Weekly_Count.Read
Current_Efficiency.Read
Pump_Status.Read
Previous_Pump_Status.Read

' Якщо насос щойно заустився (перехід з 0 до 1)
If Pump_Status.Value = 1 And Previous_Pump_Status.Value = 0 Then
' Скидаємо значення для нового пуску
Last_Run_Total_Efficiency.Value = 0
Count_Last_Run.Value = 0
End If

' Якщо насос працює, додаємо значення ККД до розрахунку
If Pump_Status.Value = 1 Then
Total_Efficiency.Value = Total_Efficiency.Value + Current_Efficiency.Value
Last_Run_Total_Efficiency.Value = Last_Run_Total_Efficiency.Value + Current_Efficiency.Value
Daily_Efficiency.Value = Daily_Efficiency.Value + Current_Efficiency.Value
Weekly_Efficiency.Value = Weekly_Efficiency.Value + Current_Efficiency.Value
Count_Total.Value = Count_Total.Value + 1
Count_Last_Run.Value = Count_Last_Run.Value + 1
Daily_Count.Value = Daily_Count.Value + 1
End If
End Function
```

Рис. 3.9 Фінальний скрипт для підрахунку різних ККД ч.1

```

' Розрахунок середнього ККД за весь час, якщо є дані
If Count_Total.Value > 0 Then
Total_Average_Efficiency.Value = Total_Efficiency.Value / Count_Total.Value
Else
Total_Average_Efficiency.Value = 0 ' Якщо вимірів немає
End If

' Записуємо середні значення ККД в тер
Total_Average_Efficiency.Write

' Розрахунок середнього ККД останнього пуску
If Count_Last_Run.Value > 0 Then
Last_Run_Average_Efficiency.Value = Last_Run_Total_Efficiency.Value / Count_Last_Run.Value
Else
Last_Run_Average_Efficiency.Value = 0 ' Якщо вимірів немає
End If

' Записуємо середні значення ККД останнього пуску в тер
Last_Run_Average_Efficiency.Write

If Daily_Count.Value > 0 Then
Daily_Average_Efficiency.Value = Daily_Efficiency.Value / Daily_Count.Value
Else
Daily_Average_Efficiency.Value = 0
End If
Daily_Average_Efficiency.Write

If Weekly_Count.Value > 0 Then
Weekly_Average_Efficiency.Value = Weekly_Efficiency.Value / Weekly_Count.Value
Else
Weekly_Average_Efficiency.Value = 0
End If
Weekly_Average_Efficiency.Write

' Створення значень за добу та тиждень
If Hour(Now) = 0 And Minute(Now) = 0 Then ' Онізмові
Daily_Efficiency.Value = 0
Daily_Count.Value = 0
Daily_Efficiency.Write
Daily_Count.Write
End If

If Weekday(Now, vbMonday) = 1 And Hour(Now) = 0 And Minute(Now) = 0 Then ' Понеділок онізмові Monday
Weekly_Efficiency.Value = 0
Weekly_Count.Value = 0
Weekly_Efficiency.Write
Weekly_Count.Write
End If

' Створення значень за добу та архівування
If Hour(Now) = 23 And Minute(Now) = 59 Then ' Онізмові
Select Case Weekday(Now, vbMonday)
Case 1 ' Понеділок
Daily_Efficiency_Day_1.Value = Daily_Average_Efficiency.Value
Daily_Efficiency_Day_1.Write
Case 2 ' Вівторок
Daily_Efficiency_Day_2.Value = Daily_Average_Efficiency.Value
Daily_Efficiency_Day_2.Write
Case 3 ' Среда
Daily_Efficiency_Day_3.Value = Daily_Average_Efficiency.Value
Daily_Efficiency_Day_3.Write
Case 4 ' Четвер
Daily_Efficiency_Day_4.Value = Daily_Average_Efficiency.Value
Daily_Efficiency_Day_4.Write
Case 5 ' П'ятниця
Daily_Efficiency_Day_5.Value = Daily_Average_Efficiency.Value
Daily_Efficiency_Day_5.Write
Case 6 ' Субота
Daily_Efficiency_Day_6.Value = Daily_Average_Efficiency.Value
Daily_Efficiency_Day_6.Write
Case 7 ' Неділа
Daily_Efficiency_Day_7.Value = Daily_Average_Efficiency.Value
Daily_Efficiency_Day_7.Write
End Select
End If

' Оновлюємо попередній статус насоса
Previous Pump Status.Value = Pump Status.Value

```

Рис. 3.10 Фінальний скрипт для підрахунку різних ККД ч.2

На цьому етапі завершено налаштування системи керування операціями, що включало розробку алгоритмів для автоматичного розрахунку показників ефективності, їх сегрегування за часовими періодами та архівування даних для подальшого аналізу. Наступний етап роботи передбачає збір даних у реальних умовах експлуатації та проведення випробувань у різних режимах роботи насосних агрегатів. Це дозволить оцінити ефективність запропонованих рішень, виявити потенційні недоліки та підтвердити працездатність системи у змінних виробничих умовах.

3.3 Методика випробувань системи керування та їх результати

Випробування проводилися на каналізаційній насосній станції (КНС), яка функціонує за наступним алгоритмом:

- ❖ Після досягнення рівня включення в приймальному резервуарі активується один із трьох насосів, який починає відкачування стоків.
- ❖ Насос продовжує роботу до досягнення нижнього рівня у резервуарі, після чого він автоматично вимикається.
- ❖ При кожному запуску насоса об'єм відкачуваних стоків є сталим, оскільки рівні запуску і зупинки визначають однаковий об'єм приймального резервуара.

Каналізаційна насосна станція обладнана трьома ідентичними насосами, кожен з яких може бути задіяний у роботі системи. Для забезпечення рівномірного використання насосів система керування здійснює їх почерговий запуск.

Важливо зазначити, що увесь час досліджень, та випробувань насосний агрегат № 3 був виведений з роботи, через аварію на частотному перетворювачі, тому у дослідження фігурують лише НА №1 та НА №2.

Етапи проведення випробувань:

- ❖ Запуск системи у номінальному режимі роботи та фіксація всіх параметрів.
- ❖ Переключення системи на регульований режим роботи (з частотним перетворювачем) та проведення замірів.

Було проведено п'ять випробувань насосних агрегатів за різними режимами частоти обертання, які задавалися частотними перетворювачами. Базове випробування здійснювалося на частоті 38 Гц для підтвердження попередньо отриманих даних та слугувало контрольним еталоном. Друге випробування проводилося на частоті 50 Гц, щоб оцінити максимальну продуктивність насосів. Третє випробування виконувалося при частоті 43 Гц, яка наближена до оптимального режиму роботи системи. Четверте

випробування було проведено на частоті 35 Гц для аналізу ефективності при зниженій частоті. Останнє, п'яте випробування, базувалося на аналітичних даних, зібраних системою під час реальної експлуатації насосів, і частота роботи в цьому випадку становила 8 Гц. Такий підхід дозволив отримати повну картину роботи обладнання в різних умовах та режимах.

Надалі у таблиці 3.4 представлені результати випробувань насосних агрегатів при роботі на різних частотах обертання, що встановлювались за допомогою частотних перетворювачів. Ці дані дозволять оцінити вплив регулювання частоти на продуктивність насосів, їхній коефіцієнт корисної дії (ККД) та енергоспоживання. Отримані результати є основою для визначення оптимальних режимів роботи насосного обладнання з метою підвищення ефективності системи керування операціями та раціонального використання електроенергії.

Таблиця 3.4. Таблиця результатів випробувань

Випробування [№]	Частота [Гц]	Середній ККД [%]
1.	38,00	89,66
2.	50,00	85,12
3.	43,00	87,33
4.	35,00	91,17
5.	8,00	0,00

На основі отриманих даних можна зробити висновок, що найвищий середній коефіцієнт корисної дії (ККД) насосних агрегатів було досягнуто при частоті 35 Гц і склав 91,17%. Це свідчить про доцільність роботи насосів на зниженій частоті для підвищення енергоефективності. Водночас, при частоті 8 Гц насоси не демонстрували ефективності, що пов'язано з недостатнім потоком та низькою продуктивністю. Таким чином, оптимальний режим роботи насосів слід встановлювати з урахуванням як енергоспоживання, так і продуктивності системи.

3.4 Аналіз аномальних ситуацій у роботі системи керування операціями

Під час роботи системи керування операціями було зафіксовано аномальну ситуацію, яка полягала у раптовому різкому зниженні коефіцієнта корисної дії (ККД) насосних агрегатів у штатному режимі роботи. Ця ситуація виникала без видимих змін у зовнішніх умовах або параметрах керування, що вказує на можливі технічні або експлуатаційні причини. Після перегляду архівних даних було виявлено, що подібні зниження ККД не є поодинокими та відбуваються на постійній основі, але без чіткої періодичності.

Опис аномальної ситуації:

На рисунку 3.8 наведено графік, що демонструють аномальні зміни параметрів роботи насосної станції, зокрема:

1. Витрата рідини (верхній графік) — зафіксовано різкий стрибок із подальшим зниженням до негативних значень, що свідчить про можливі збої у вимірюванні або порушення гідравлічного режиму.

2. Активна потужність насосного агрегату (середній графік) — виявлено короткочасне зниження потужності насоса, що може вказувати на нестабільну роботу або вплив зовнішніх факторів.

3. ККД насоса (нижній графік) — показує стрімке падіння до нульового значення, що свідчить про аномальну ситуацію в роботі насосного обладнання.

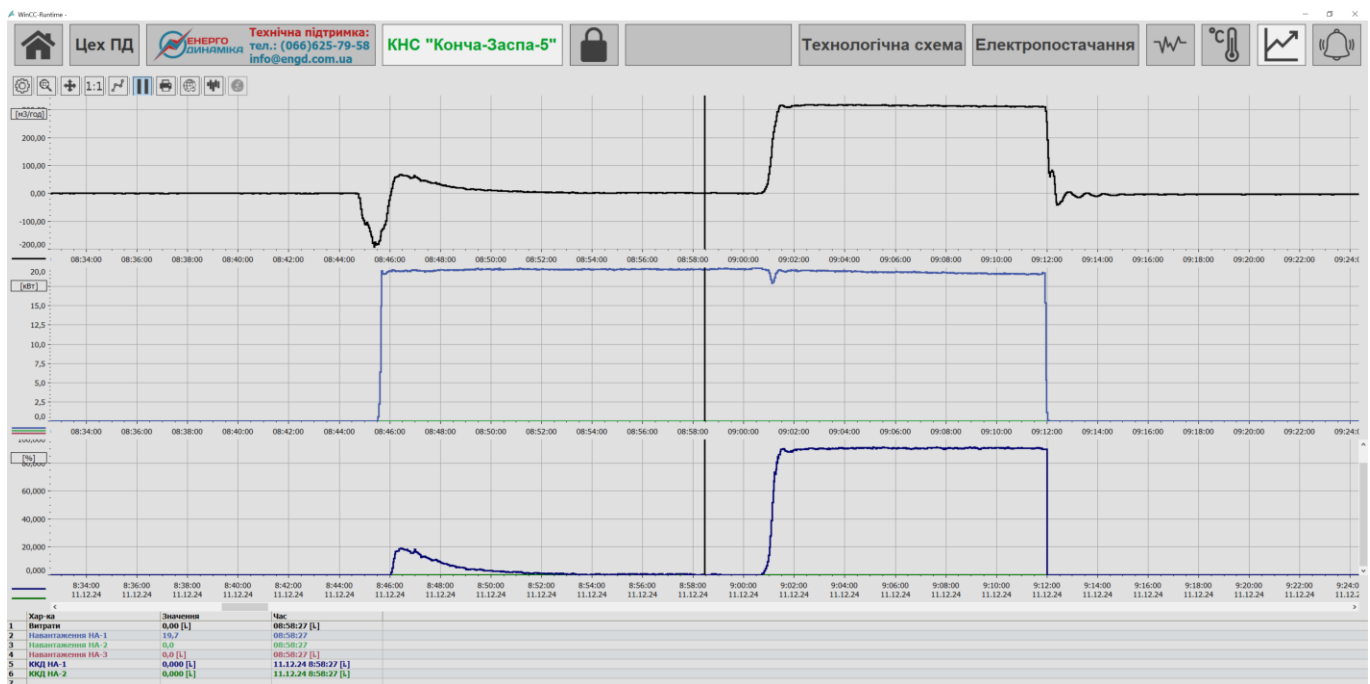


Рис. 3.11 Графік аномальної події

Після виявлення аномальної ситуації був проведений розрахунок втрат на основі витраченої електричної енергії та перекачаної води. Для цього були використані дані з лічильника, які дозволили точно визначити спожиту потужність і обсяг перекачаної рідини в період аномалії. Це дозволило оцінити ефективність роботи насосного обладнання та визначити можливі причини зниження ККД, а також розрахувати рівень енергетичних втрат у цей час. Порівняння проводилось між штатним пуском насосного обладнання та аномальним режимом роботи. Дані наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.4. Таблиця результатів випробувань

Характеристики	Аномальний пуск	Штатний пуск
Накопичені витрати до пуску [м ³]	627943,875	627897,500
Накопичені витрати після пуску [м ³]	627991,438	627942,938
Різниця витрат [м³]	47,563	45,438
Накопичена ЕЕ до пуску [кВт*год]	29054,685	29042,058
Накопичена ЕЕ після пуску [кВт*год]	29060,615	29045,804
Різниця ЕЕ [кВт*год]	5,930	3,746

Отже, дані показують, що аномальний пуск супроводжувався додатковими витратами електричної енергії порівняно зі штатним пуском при співвідносному рівні перекачаної води, що може свідчити про знижену ефективність роботи насосного обладнання в такому режимі. Це підкреслює необхідність виявлення та усунення причин цієї аномалії для покращення енергоефективності та зниження витрат.

Додаткові витрати електроенергії складають 51,23% що є дуже суттєвим показником.

Після проведеного аналізу та розрахунків було надано звіт про виявлені аномальні пуски до Київводоканалу. У відповіді експлуатант зазначив, що дані аномальні пуски пов'язані з особливостями технологічного процесу, зокрема, під час промивання резервуару, коли відкривається зворотна засувка. Це призводить до того, що насос починає перекачувати воду в зворотному напрямку, що є нормальним явищем в рамках виконання цієї операції. Таким чином, аномалії не є результатом несправностей або некоректної роботи системи, а є частиною належного технологічного процесу.

Незважаючи на те, що виявлена ситуація є нормальною частиною технологічного процесу, важливо підкреслити, що саме завдяки системі

керування операціями вдалося своєчасно виявити цю аномалію. Це підтверджує важливість та ефективність використання такої системи для моніторингу та контролю за роботою обладнання. Система дозволяє оперативно виявляти відхилення від звичних режимів роботи, що є критичним для підтримання стабільності процесів і попередження можливих неполадок у майбутньому.

3.5 Візуалізація / НМІ

Для зручності використання системи керування операціями було розроблено екран, що забезпечує візуалізацію основних показників та даних у реальному часі. Цей екран, зображений на рисунку 3.9, дозволяє операторам зручно контролювати та відслідковувати параметри роботи насосів, рівні в резервуарах, а також енергоспоживання. Візуалізація на екрані забезпечує оперативне реагування на зміни параметрів, що сприяє підвищенню ефективності управління технологічними процесами та своєчасному виявленню потенційних аномалій або відхилень від нормального режиму роботи.

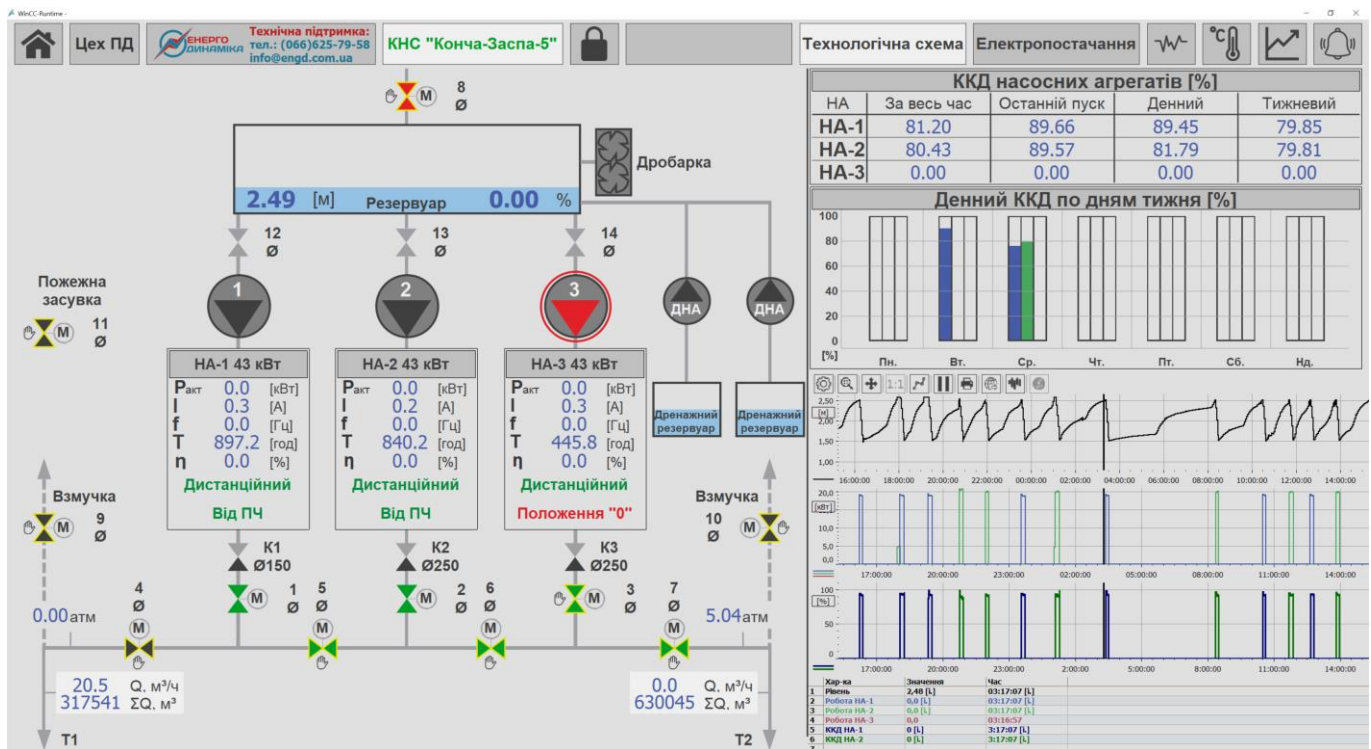


Рис. 3.12 Візуалізація станції у системі керування операціями

ВИСНОВКИ

З огляду на надану інформацію про систему керування операціями, а також технічні характеристики, що стосуються її впровадження в систему водопостачання та водовідведення Київводоканалу, можна зробити кілька важливих висновків.

Використання автоматизованих систем управління технологічними процесами на Київводоканалі дозволяє значно підвищити ефективність роботи насосних станцій, що є критично важливим для забезпечення стабільного водопостачання та водовідведення у столиці. Завдяки автоматичному моніторингу параметрів роботи насосів і інших технологічних агрегатів можна своєчасно виявляти відхилення від нормальних параметрів, запобігаючи аваріям та поломкам. Це дозволяє знижувати витрати на технічне обслуговування, оптимізувати роботу обладнання та значно зменшити ризики несправностей.

Система керування операціями має важливу здатність виявляти аномальні ситуації, як це було продемонстровано в ході досліджень. Виявлення аномалії, що виникає в результаті несподіваного зниження ККД насосів в штатному режимі, стало можливим завдяки збереженню та аналізу архівних даних. Це підтверджує, що навіть у випадку неочікуваних збоїв система здатна оперативно реагувати і здійснювати аналіз для подальших дій. Хоча в даному випадку було виявлено, що ситуація є нормальним етапом технологічного процесу, сама можливість виявлення подібних аномалій підкреслює важливість використання таких систем.

Важливою перевагою впровадження системи керування операціями є можливість контролювати та оптимізувати енергетичні витрати на насосних агрегатах. Враховуючи, що насосні станції Київводоканалу споживають значні обсяги енергії, система дозволяє мінімізувати енергетичні витрати, оптимізуючи режими роботи насосів в залежності від змінних умов і параметрів, таких як витрата води, тиск та інші показники. Це стає особливо

важливим у контексті зростаючих витрат на енергоносії та необхідності підвищення енергоефективності.

Один із головних аспектів впровадження автоматизованих систем – це підвищення безпеки експлуатації. Система дозволяє оперативно відслідковувати та аналізувати будь-які відхилення, що забезпечує своєчасне реагування і підтримку стабільної роботи обладнання. Це важливо для забезпечення безперебійної роботи водопостачання та водовідведення в місті, де критична інфраструктура має бути завжди на належному рівні.

Автоматизовані системи управління також дозволяють знизити вплив людського фактору на процеси управління насосними станціями. Враховуючи, що багато технологічних процесів є складними та вимагають точних налаштувань і моніторингу, автоматизація процесів допомагає уникнути помилок, спричинених людським втручанням, що позитивно впливає на надійність та ефективність роботи станцій.

Враховуючи отримані результати, можна стверджувати, що системи керування операціями та інші АСУ є важливими інструментами для подальшого розвитку водопостачання та водовідведення в Києві. Залишається перспективним удосконалення цих систем, вдосконалення алгоритмів для адаптації до нових умов експлуатації та інтеграції нових технологій, таких як дистанційний моніторинг і управління, для забезпечення ще більшої ефективності та безпеки в роботі підприємства.

У підсумку, система керування операціями на Київводоканалі показала свою високу ефективність у виявленні аномалій, оптимізації енергоспоживання та забезпеченні надійності роботи насосних станцій. Вона є важливою складовою частиною технологічної інфраструктури, що дозволяє знижувати витрати та покращувати контроль за водопостачанням та водовідведенням в місті.

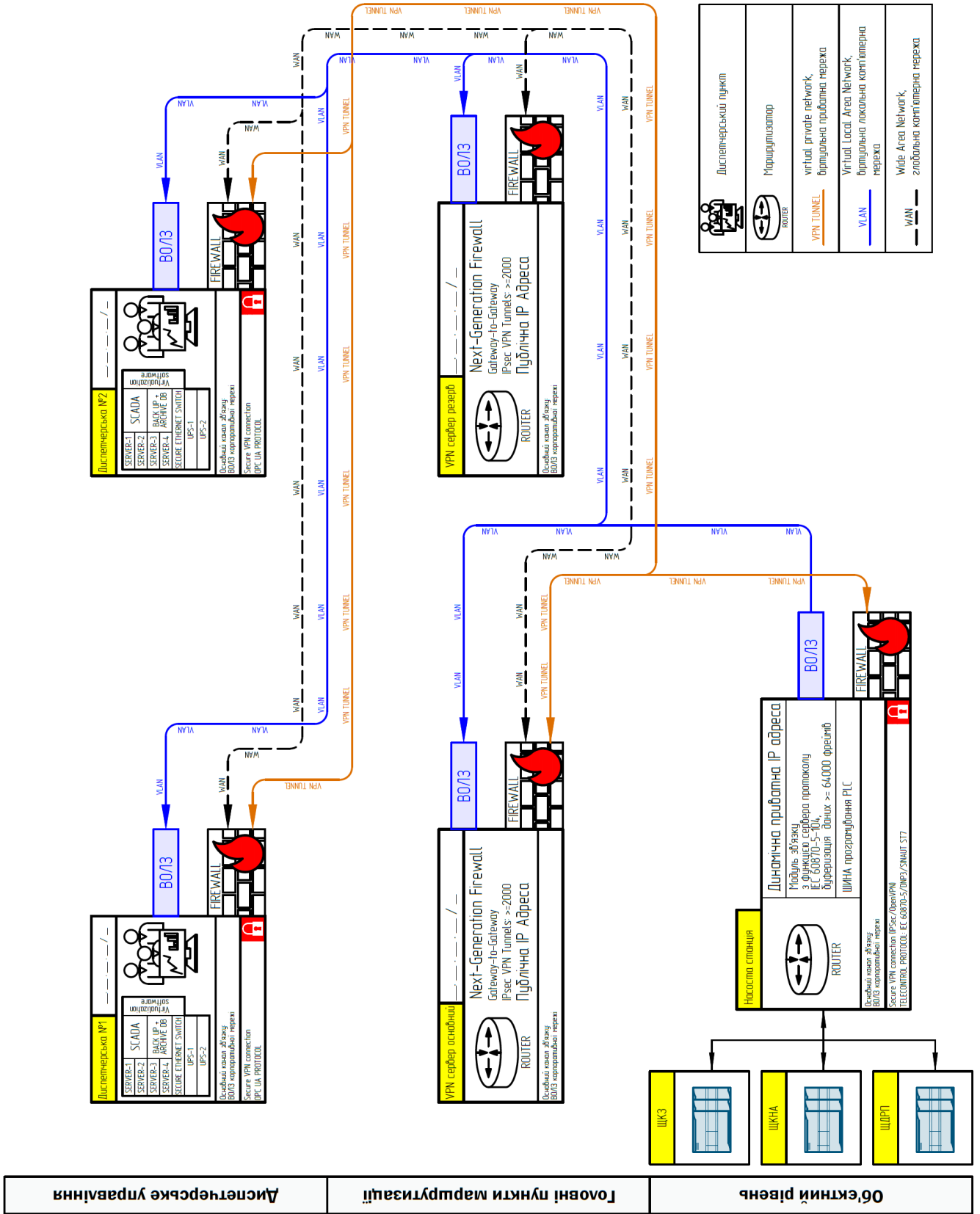
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про КРІ та ОЕЕ. Загальні розрахунки згідно ISO 22400-2. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.slideshare.net/pupenasan/kpi-oee>.
2. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навч. посібник / О.М.Пупена, І.В.Ельперін, Н.М.Луцька, А.П.Ладанюк.– К.:Ліра-К, 2011. – 552 с.
3. Siemens Energy manager PRO [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/energymanagement/simatic-energy-manager-pro.html>.
4. Siemens Використання водних ресурсів [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:ab4f0701-032e-419c-8374-36af8563a29f/vrws-i10018-00-7600ipdfwasserentextadaption-300.pdf>
5. Технології по переробці води в Данії [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://eba.com.ua/pyvovarnya-carlsberg-u-daniyi-zapustyla-tehnologiyu-shho-pereroblyatyme-90-vody/?utm_source=chatgpt.com
6. ВОДНА СТРАТЕГІЯ УКРАЇНИ на період до 2050 року [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text>
7. SIAAP, промислова комунальна служба для мешканців Іль-де-Франс [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.siaap.fr/>
8. Практичні рекомендації до реалізації елементів стандарту ІЕС 61512 в програмному забезпеченні систем керування / Олександр Пупена, Роман Міркевич, Олег Клименко [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://tk185.appau.org.ua/61512/case-study-iec-61512/61512guide1/>

9. ДСТУ ГОСТ 6134:2009 Насоси динамічні. Методи випробування (ГОСТ 6134-2007 (ИСО 9906:1999), IDT; ISO 9906:1999, NEQ)
10. "ДОВІДНИК з водопостачання м. Києва"; під ред. В. С. Корлюги. – Київ: 2013 р. – 192 с.
11. "ДОВІДНИК каналізаційних насосних станцій та напірних колекторів м. Києва" під редакцією А. О. Білик – Київ: 2016 р. – 332 с.
12. Товарний ряд насосних агрегатів Grundfos [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://product-selection.grundfos.com/products/s?tab=products>
13. Водопостачання та водовідведення: Навч. Посібник / В.О Шадура, Н.В. Кравченко Рівне: НУВГП, 2018 р. 343 с.
14. Водопостачання та каналізація: Підручник / В.С. Кравченко Київ «Кондор», 2009 р. 288с.
15. Береза А.М. Основи створення інформаційних систем: навч. посіб. / А.М. Береза. – 2 вид., перероб. і доп. – К.: КНЕУ, 2001. – 214 с.
16. Кишенько В.Д. Задачі технологічного моніторингу в системах керування виробничими процесами технологічних комплексів //Автоматизація виробничих процесів, 2006.- №2(23) – С 48-52.

ДОДАТКИ

Додаток 1



Додаток 2

