НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____Олена БОРИЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

« ___»_____20 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

на тему: «Підвищення рівня енергетичної ефективності промислових насосних систем та станцій»

Виконав:
Студент ІІ курсу, групи ГН-31мп Юрченко О.О. _____
(шифр групи) (прізвище та ініціали) (підпис)

Науковий керівник к. т. н., доцент Прокопенко В.В.. _____
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Нормоконтролер *провідний інженер Прокопенко І.Д.* _____
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань
Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут
Імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повне найменування інституту, факультету)
Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Олена БОРИЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)
« ____»_____2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію

студенту Юрченку Олександру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації «Підвищення рівня енергетичної ефективності промислових насосних систем та станцій» науковий керівник дисертації Прокопенко В.В., к. т. н., доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)
затверджені наказом по університету від 08 листопада *2024 р. №5008-с*
2. Термін подання студентом дисертації *13 грудня 2024 року*
3. Об'єкт дослідження – централізована система постачання води та її режими роботи.
4. Вихідні данні: дані про кількість проживаючих людей, інженерних комунікацій.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
   1. Аналіз стану насосної станції для постачання та водозбору
   2. Аналіз перевищень та дефіцитів системи централізованої системи постачання.
   3. Розрахунок та вибір обладнання насосної станції.
   4. Оптимізація роботи та підвищення рівня енергетичної ефективності насосних станцій
   5. Математичне та комп'ютерне моделювання реалізується в програмному пакеті Simulink середовища Matlab.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 10 слайдів презентації.

7. Орієнтовний перелік публікацій: Науково-технічна конференція магістрантів ім. В.М. Винославського НН ІЕЕ, 20-22 листопада 2024; Юрченко О.О. СТАН ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ В УКРАЇНИ. О.О.Юрченко, магістрант; науковий керівник: к.т.н, доцент В.В.Прокопенко
8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали, посада	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	*Прокопенко І.Д.*		

9. Дата видачі завдання: «30» жовтня 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел	30.09.24	виконано
2.	Робота над розділом 1	1.10.24-5.10.24	виконано
3.	Робота над розділом 2	19.10.24-26.10.24	виконано
4.	Робота над розділом 3	27.10.24-4.11.24	виконано
5.	Робота над розділом 4	5.11.24-11.11.24	виконано
6.	Оформлення дисертації	10.11.24-13.12.24	виконано
7.	Захист дисертації	17.12.24	виконано

Студент _____ Олександр ЮРЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Володимир ПРОКОПЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Підвищення рівня енергетичної ефективності промислових насосних систем та станцій» містить: вісімдесят сторінок, двадцять рисунків, двадцять сім таблиць.

Актуальність – З кожним роком витрати на енергоресурсах зростають, що робить енергоефективність ключовим фактором для зниження операційних витрат підприємств. Насосні системи часто є значним споживачем електроенергії, і оптимізація їх роботи може істотно зменшити споживання енергії.

Об'єкт дослідження – режими роботи насосної системи постачання води.

Мета роботи – розробка оптимальних енергоефективних заходів для підвищення ефективності роботи насосних систем, що дозволить знизити споживання енергії, зменшити операційні витрати та стимулювання економічного розвитку та впровадження енергозберігаючих технологій.

Методи дослідження – узагальнення та аналіз вихідних даних для інженернотехнічних комунікацій, розробка на їх основі комп'ютерні моделі для перевірки ефективності математичних моделей.

Предмет дослідження– характеристики режимів роботи насосної централізованої системи відведення та постачання води.

Практичне значення – запропоновані математична та імітаційна комп'ютерна моделі дадуть змогу підвищити рівень енергетичної ефективності промислових насосних станцій.

Ключові слова: НАСОСНА СТАНЦІЇ, ОПТИМІЗАЦІЯ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, МОДЕЛЮВАННЯ В MATLAB

ABSTRACT

Master's thesis on the topic "Improving the level of energy efficiency of industrial pumping systems and stations" contains: eighty pages, twenty figures, twenty-seven tables.

Relevance – Every year, energy costs are increasing, which makes energy efficiency a key factor in reducing the operating costs of enterprises. Pumping systems are often a significant consumer of electricity, and optimizing their operation can significantly reduce energy consumption.

The object of the study is the operating modes of the water supply pumping system.

The purpose of the work is to develop optimal energy-efficient measures to increase the efficiency of pumping systems, which will reduce energy consumption, reduce operating costs and stimulate economic development and the introduction of energy-saving technologies.

Research methods – generalization and analysis of source data for engineering communications, development of computer models based on them to verify the effectiveness of mathematical models.

The subject of the study is the characteristics of the operating modes of a pumping centralized water drainage and supply system.

Practical significance – the proposed mathematical and simulation computer models will allow to increase the level of energy efficiency of industrial pumping stations.

Keywords: PUMPING STATION, OPTIMIZATION, ASYNCHRONOUS MOTOR, FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE, ENERGY EFFICIENCY, MODELING IN MATLAB

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ХВП – холодне водопостачання;

ГВП – гаряче водопостачання;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КП – комунальне підприємство;

ЧРП – частотно-регульований привод;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

ЗМІСТ

ВСТУП.....10

РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЩО ДО НАСОСНИХ УСТАНОВОК.....12

1.1 Проблема енергоефективності.....12

1.2 Техніко-економічний стан насосної системи постачання води.....16

1.2.1 Загальні відомості про насосну установку.....16

1.2.2 Опис стану джерела постачання води.....19

1.2.3Опис стану та роботи водопровідних систем.....19

Висновки до розділу 1.....22

РОЗДІЛ 2 РОЗВИТОК ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ НАСОСНИХ СИСТЕМ ПОСТАЦАННЯ ВОДИ… … … …

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ 67
4.1 Загальні етапи і цілі реалізації проекту 67
4.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап- проекту 68
4.3 Аналіз конкурентного середовища та сильні сторони ідеї проекту 68
4.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту 69
4.5 Ключові види діяльності та ключові партнери 70
4.6 Прямі фінансові витрати 70
4.7 Витрати на працю 71
4.8 Інші прямі витрати 71
4.9 Обґрунтування рентабельності ідеї стартап-проекту 72
4.10 Обґрунтування вартості виробництва інноваційної техніки 73
4.11 Цільові групи потенційних покупців 75
4.12 Бізнес-модель проекту 76
Висновки з розділу 4 76
ВИСНОВКИ 78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 79

ВСТУП

З кожним роком витрати на енергоресурсах зростають, що робить енергоефективність ключовим фактором для зниження операційних витрат підприємств. Насосні системи часто є значним споживачем електроенергії, і оптимізація їх роботи може істотно зменшити споживання енергії. Використання енерго-ефективних рішень зниження викидів парникових газів та зменшення загального екологічного сліду підприємств. Це важливо в контексті сучасних екологічних і видів, а також вимагає зростання стандарту інтересу до сталого розвитку.

Новітні технології в насосних системах, такі як змінні частоти приводів, удосконалені датчики та системи керування, дають можливість ефективно керувати споживанням енергії. Важливо вибрати правильний пакет рішень для конкретного підприємства, враховуючи його технічні та економічні характеристики.

Оптимізація роботи насосних систем може покращити загальну продуктивність підприємства, зменшуючи простоту та витрати на технічне обслуговування.

Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств на ринку. Підприємства, які активно впроваджують енерго-ефективні заходи, можуть отримувати фінансову підтримку або залучати інвесторів, зацікавлених у "зелених" ініціативах.

Мета роботи і задачі дослідження.

Метою роботи є розробка оптимального способу та системи управління насосною стацією, для збільшення економічної ефективності насосної системи з резервуаром води при тяжких природних обставинах використання.

Згідно з метою, при роботі розв'язуються такі наукові та практичні завдання:

аналіз особливостей функціонування першої дільниці підйому та їхніх комплексів електротехнічного значення,

знаходження головних проблем, розгляд та класифікація прогнозованих доріг їх вирішення;

створення комп'ютерної моделі першої дільниці підйому, для охоплення її електротехнічного комплексу і системи керування;

створення засобів автоматизують, які дають змогу зробити попередню оцінку та оптимізувати параметри досліджуваного об'єкта.

Об'єкт дослідження – режими роботи насосної централізованої системи постачання та відведення води.

Предмет дослідження – параметри режимів роботи насосної централізованої системи постачання та відведення води.

Наукова новизна отриманих результатів – Полягає в розробці та обґрунтуванні оптимальних енерго-ефективних заходів для насосних систем, з урахуванням специфічних умов експлуатації в Україні. Створено спосіб управління насосною мережею, що змінює режими керування насоса завдяки використанню двоканального пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора, який розраховує потрібну подачу за кількістю води в резервуарі і температури ззовні до температури води в трубі.

РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЩО ДО НАСОСНИХ УСТАНОВОК

1.1 Проблема енергоефективності

Постановка проблеми енергоефективності є важливим завданням у контексті сучасних викликів, що постають перед промисловістю, особливо у країнах з високою енергетичною залежністю, як-от Україна. Проблема енергоефективності включає кілька ключових аспектів:

Високе споживання енергії у промисловості. Значна частина енергоресурсів у промислових підприємствах витрачається на роботу насосних систем, які використовуються для транспортування рідин, охолодження, водопостачання та інших технологічних процесів. Більшість насосних систем експлуатуються в умовах, далеких від їх оптимальних режимів, що призводить до надмірного споживання енергії.

Застаріле обладнання. На багатьох українських підприємствах використовується застаріле насосне обладнання, яке не відповідає сучасним стандартам енергоефективності. Це створює значні проблеми, оскільки застарілі системи не лише споживають більше енергії, але й потребують частого технічного обслуговування та ремонту, що підвищує витрати підприємства.

Висока вартість енергоносіїв. В Україні, як і в багатьох інших країнах, ціни на енергоносії постійно зростають. Це ставить перед підприємствами необхідність зниження енергетичних витрат. Проте, через недостатню енергоефективність насосних систем, підприємства змушені витрачати значні фінансові ресурси на оплату електроенергії.

Низька обізнаність та недостатня кількість фахівців. У багатьох підприємств недостатньо знань про сучасні енергоефективні технології, а також бракує кваліфікованих фахівців, здатних проводити енергетичні

аудити та пропонувати дієві рішення для підвищення ефективності насосних систем.

Невикористаний потенціал інновацій. Хоча існують сучасні технології для підвищення енергоефективності насосних систем (змінні частотні приводи, автоматичні системи контролю, датчики моніторингу), багато підприємств не впроваджують ці інновації через високі початкові витрати або відсутність фінансування.

Екологічний вплив. Надмірне споживання енергії насосними системами призводить до збільшення викидів парникових газів, що негативно впливає на довкілля. Зростаючий тиск з боку міжнародних екологічних організацій вимагає від підприємств зменшувати свій екологічний слід, зокрема через підвищення енергоефективності.

Проблеми післявоєнного відновлення. В умовах відновлення України після війни важливо відбудовувати інфраструктуру з урахуванням новітніх енергоефективних рішень, щоб знизити витрати на енергію та підвищити стійкість економіки.

Основні проблеми енергоефективності насосних систем:

- Невідповідність обладнання сучасним стандартам енергоефективності.

- Відсутність системного підходу до управління енергоспоживанням насосів.

- Високі початкові витрати на модернізацію систем.

- Низька обізнаність про потенціал нових технологій.

Постановка проблеми енергоефективності насосних систем полягає в необхідності знайти оптимальні рішення для модернізації та оптимізації існуючих систем, що дозволить зменшити енергоспоживання, підвищити економічну ефективність підприємств та знизити їхній вплив на навколишнє середовище.

Відомості про насосні установки на підприємствах

Насосні установки на приватних підприємствах є ключовим елементом інфраструктури, що забезпечує виконання різних технологічних процесів, пов’язаних з транспортуванням рідин, охолодженням, водопостачанням та іншими операціями. Вони широко застосовуються у виробництві, сільському господарстві, енергетиці та інших галузях.

Основні види насосних установок:

1. Водопостачальні насоси.

Застосовуються для подачі води в системах водопостачання підприємств. Вони забезпечують постійну подачу води для виробничих потреб, санітарно-технічних об'єктів та господарсько-побутового використання.

2. Циркуляційні насоси.

Використовуються в системах опалення, охолодження та вентиляції. Вони забезпечують циркуляцію теплоносія або охолоджуючих рідин у замкнених контурах для підтримання необхідної температури на підприємствах.

3. Вакуумні насоси.

Використовуються для створення вакууму в різних технологічних процесах, зокрема в хімічній та харчовій промисловості. Вакуумні насоси дозволяють виконувати процеси дегазації, фільтрації, сушіння та інші операції.

4. Насоси для перекачування агресивних і хімічних рідин. Використовуються в хімічній, нафтогазовій та фармацевтичній промисловості для транспортування корозійних або токсичних рідин, таких як кислоти, луги та розчинники.

5. Насоси для відведення стічних вод.

Застосовуються в системах каналізації та очищення води на підприємствах, для відведення та перекачування стічних і забруднених вод. Це важлива частина виробничої інфраструктури, яка забезпечує екологічну безпеку підприємства.

Основні компоненти насосних установок:

1. Насосний агрегат. Основний механізм, що перетворює енергію (електричну або механічну) в гідравлічну для переміщення рідин.

2. Електродвигун. Джерело енергії, яке приводить в дію насос. На більшості підприємств використовуються електродвигуни, але в деяких випадках можуть бути застосовані дизельні або газові двигуни.

3. Трубопровідна система. Система трубопроводів для транспортування рідин, які підключаються до насосної установки. Трубопроводи можуть бути виготовлені з різних матеріалів залежно від типу рідини.

4. Системи контролю та автоматизації. Включають в себе різні датчики, регулятори тиску, частотні перетворювачі, контролери та інші елементи, що забезпечують автоматичне керування роботою насосних установок і оптимізацію їхнього енергоспоживання.

5. Фільтруючі елементи. Використовуються для очищення рідин від домішок перед або після їх перекачування.

1.2 Техніко-економічний стан насосної системи постачання води

1.2.1 Загальні відомості про насосну станцію

Насосна станція «Масляниківка» створює постачання води для будинків району нового автовокзалу до вулиці Вокзальної, по вулицях Чорновола, Єгорова, Пашутіна, до вулиці Київської, який забезпечує постачання води мікрорайонів Кущівки, м. Кропівницький та прилеглих до них .

Системою постачання води володіє державна компанія ОКВП "Дніпро-Кіровоград" і ділиться на централізоване постачання води та її відведення. Існуюча система водопостачання має досить великий відсоток знесення, оснащена обладнанням, що не має можливості автоматичного регулювання технологічним процесом, проте, пропускна спроможність трубопроводів та потужності встановленого обладнання біля споруд на мережах достатня для виконання покладених на них функцій.

На рисунку 1.1 представлений приклад принципової схеми централізованої системи водопостачання:

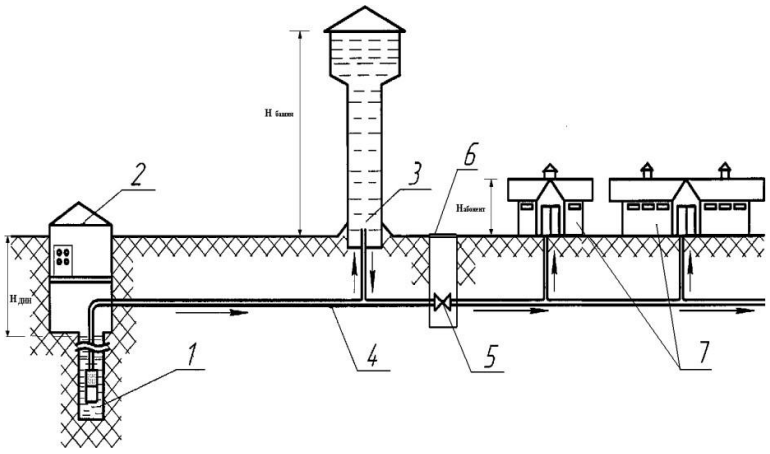


Рисунок 1.1 – Принципова схема мережі постачання води насосної установки

1 - *артезіанська свердловина*; 2 - *павільйон*; 3 - *водонапірна башта*; 4 - *система водопроводу*; 5 - *запірна арматура*; 6 – *колодязь для водопроводу*; 7 - *користувачі*

Централізована система постачання води являє собою групу інженерно-технічних будівель, потрібних для забезпечення споживачів які під'єднані до системи водою у потрібних об'ємах і якості.

В даний комплекс будівель входять:

- артезіанські свердловини;

- водонапірні башні;

- системи водопостачання;

- водорозбірні насоси;

Артезіанська свердловина – бурова свердловина, яку пробурили для експлуатації артезіанських вод. В артезіанській свердловині вода піднімається від водоносного горизонту під природним тиском. Якщо рівень гідростатичної рівноваги перебуває нижче верхнього отвору свердловини, то вода не сягає поверхні й таку свердловину називають субартезіанською [1].

Основні технічні характеристики артезіанських свердловин це:

- дебіт свердловини – обсяг продукції, що видобувається зі свердловини за одиницю часу (секунду, добу, час та ін.).

- статичний рівень – дистанція від землі до поверхні рідини. Він вимірюється при вимкненому насосі.

Динамічний рівень – це глибина водяного дзеркала при обладнанні, що працює. Динамічний рівень встановлюється, коли приток води в свердловину стає рівний витоку, тобто. якщо її дебіт дорівнює для продуктивності робочого насоса. Водонапірні вежі є звареною металевою конструкцією з дахом та днищем. Вежі кріпляться на залізобетонному фундаменті за допомогою закладних та сполучних деталей.

Роль водонапірної башти в даній системі - створення необхідного тиску для води, що надходить із накопичувальної тари в трубопровід, збереження обмеженого та протипожежного запасів води та визначення графіка роботи насосних установок артезіанських свердловин. Керуюча роль водонапірної башти знаходиться в тому, що у часи зменшення споживання води надлишок води, що йде від артезіанських свердловин, зберігається у водонапірній башті і використовується з неї у години активного споживання води.

Система постачання води є мережою трубопроводів із будівлями та пристроями потрібними для постачання води до місць її використання(абонентам).

Водорозбірні пристрої у системі - водорозбірні колонки (застосовуються за відсутності водопровідних вводів у будинках) та пожежні гідранти .

Водопровідні свердловини це підземний об’єкт який знаходиться на системі водопроводу, потрібному для встановлення арматури та використаннямережі.

Відомості щодо складу насосної станції «Масляниківка» наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Склад насосної станції

№	Найменування насосної станції	К-ть артезіанських свердловин		К-ть водонапірних веж		К-ть вводів питної води
		в роботі	в резерві	в роботі	в резерві	
1	Масляниківка	15	1	15	1	3495

1.2.2 Опис стану джерела постачання води

У роботі буде досліджено ділянку І-го підйому свердловини 1 Масляниківка забору води і зроблено її модернізацію.

Свердловина 1 створена з двох робочих стовбурів для збору води із занурювальними насосами станціями, які розташовані на відстані близько 18 м один від одного. У звичайному режимі роботи один стовбур є робочим, а другий запасним. Для захисту над кожним із стволів збудовано технологічне приміщення від несприятливих кліматичних умов. Трубопроводи двох стволів і свердловин з'єднуються трубами з діаметром уявного проходу 15 см у підземному вузлі для розподілення [2].

Технічні характеристики джерела постачання води наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики джерела постачання води

№ свердловини	Найменування н.п.	Забій, м	Марка насосного агрегату	Дебіт свердловини, $м^3$/год	Пониження рівня, м	Питомий дебіт, $м^3$/с
1а	м. Кропівницький	50	Електричний Централний Водяний	-	-	-

Характеристики напору насосів наведені на рисунку 1.2

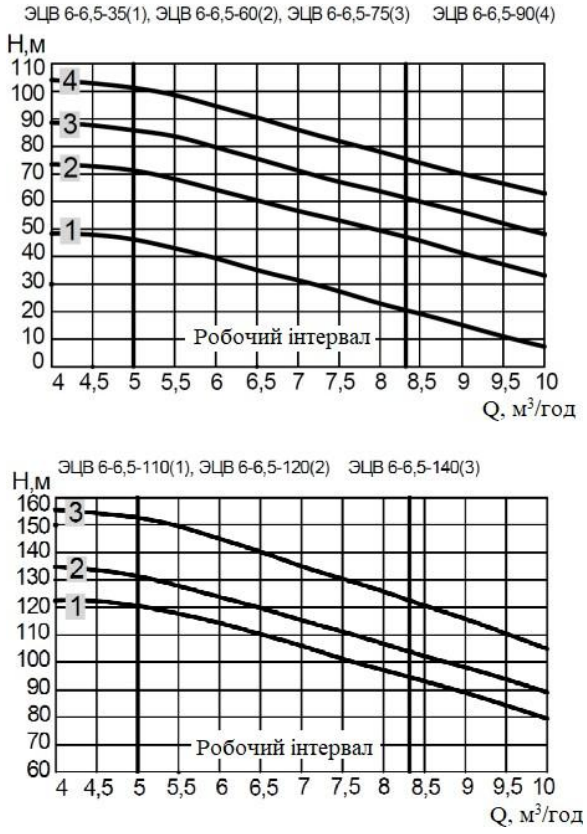


Рисунок 1.2 – Характеристики напору насосів ЕЦВ [3]

У системі не передбачено жодних пристроїв автоматичного регулювання продуктивності електроприводів насосів І-го підйому. Існували деякі трохи старі телеметричні елементи, такі як точковий двопозиційний електронний сигналізатор рівня. Тобто малося на увазі, що в разі отримання сигналу світла перед кінцевих значень рівня персонал станції іншого підйому мав зробити дроселювання засувки в резервуар на вході, що накопичує, або повідомити людину на І-му підйомі про необхідність вимкнення/ввімкнення насоса. З’ясувалося, що мережа ненадійна, насамперед із за значного впливу людського фактора, та через те і практично не використовувалася. У період використання при холодних умов тобто від'ємних температур зовнішнього довкілля персонал також надавав перевагу на підтримці максимального використання насоса щоб уникнути промерзанню трубопроводу, за виключенням будь-яких керувальних дій.

Усі представлені артезіанські свердловини використовуються неефективно з малим ККД, який не переходить 38 %, при цьому, він є максимально заявлений виробником ККД для насосних установок марки

ЕЦВ досягає 56-61%. Мала робоча ефективність зумовлена неправильністю напірних параметрів насосних установок в системі, тобто існуючі насосні установки використовуються за межами напірної характеристики працюючої зони. Розбір зміни показника енергетичної ефективності протягом року, провести є неможливим через нестачу правдивих відомостей за об'ємами води, що використовується з джерел постачання води. Використання лічильників не організовано, і через те знайдена величина кількості води, є не правдивою, що підтверджуються наведеними діаграми.

1.2.3 Опис стану та роботи водопровідних систем

Холодна питна вода постачається користувачам через централізовану мережу системи водопостачання. Мережі водопроводу виготовляються зі сталевих або поліетиленових труб, причому сталеві труби становлять меншу частину.

Сталеві труби часто мають значний ступінь зношеності і тому під час планових або аварійних ремонтів, а також при заміні чи будівництві нових трубопроводів використовуються поліетиленові труби. Сучасні матеріали з яких виробляється труба має тривалішим термін служби і більш якісно-технічні та експлуатаційні характеристики [4].

Матеріали з полімеру не піддаються корозії, через те позбавлені проблем та недоліків для використання металевих труб. На їхній поверхні не утворюються хімічні чи біологічні відкладення, що дозволяє зберігати стабільні гідравлічні характеристики протягом усього терміну експлуатації. Труби з полімерного матеріалу набагато легші за металеві, і тому роботи по їх транспортуванню і навантаженню та розвантаженню обходяться набагато дешевшими та простішими і не

вимагають використання робочої техніки, вони дуже зручні при встановленні. Завдяки їх достатній гнучкості та відносно малій вазі можна робити зміни старих трубопроводів поліетиленовими трубами безтраншейними способами.

Висновки до розділу 1

1. Стара централізована мережа постачання води не може задовольнити усіх споживачів необхідною кількістю води. Більшість користувачів населеного пункту мають дефіцит води в години максимального споживання води.

2. Датчики для контролю тиску на системі водопроводу знаходяться тільки в котельній, ділянки системи обладнанням для керування не обладнані. Відсутність інформації про тиск в робочих точках системи водопроводу не дозволяє швидко реагувати на коливання тиску і зараз же робити його керування, що зменшує ефективність праці мережі.

3. Витратно-напірна характеристика насосних установок у джерелах постачання води не відповідає характеристикам в системі. Насосні установки використовують за межами робочої зони із мінімальною ефективністю. Максимальний ККД заявлений заводом-виробником для установок типу ЕЦВ досягає 56-61% [5].

4. Облік за допомогою лічильника водного об'єму, що надходить з джерел постачання води «Масляниківського» водозабору не знаходиться у всіх свердловинах, тобто обсяг води, що видобувається розраховується умовно.

5. При огляді на нестачу правдивих даних за об'ємом води, що постачається, знайти показник річної енергетичної ефективності свердловини, а також його динамічну зміну при зміні сезонну є неможливим.

6. Показання з лічильників електричної енергії на джерелах постачання води знімаються невчасно, із за чого не можливо зробити правдиву оцінку зайнятості джерел постачання води за місяцями протягом року.

7. Сьогоднішні водонапорні вежі не створюють достатній водний тиск у споживачів, тобто треба виконати заходи для збільшення розміру водонапірних башт.

8. Металеві трубопроводи створюють 30 % водопровідної ділянки системи. Через те що металеві труби з часом кородують у загальну систему постачання води і викликає загроза вторинного забруднення води продуктами їх корозії.

РОЗДІЛ 2 РОЗВИТОК ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ НАСОСНИХ СИСТЕМ ПОСТАЧАННЯ ВОДИ

2.1 Головні напрями, завдання, принципи та цільові показники розвитку централізованих насосних систем постачання води

Головними шляхами, завданнями і принципами розвитку насосної системи постачання води є:

- постійне покращення якості надання послуг постачання води абонентам;
- гарантування постійного і надійного постачання води перспективних майбутнім та існуючих абонентів водою потрібної якості та об’єму .
- постачання якісної питної води через впровадження в роботу нових джерел постачання води, які відповідають до вимог нормативних документів.
- налагодження водопровідних систем, які з часом зменшать втрати води під час її постачання, також в системі зменшить трохи аварійність.
- зміна запірної арматури на водопровідних системах, з цілю створення кращого технічного стану системи, також постійної подачі води споживачам.
- відновлення водопровідних систем із створенням різних водопровідних вводів (ліквідація зчіпок) з цілю створити забезпечення умов для встановлення лічильників в споживачів.
- створення нових розподільчих та магістральних систем постачання води, для задоволення попиту постачання води новим об'єктам капітального будівництва.

- збільшення ефективності праці існуючих джерел постачання води через впровадження найкращих по енергоефективних з наявних технологій.
- автоматизація розподілу і процесів подачі води, інформація про яку виводиться на пульт керування в диспетчерській службі.
- покрашення якості забезпечуваних послуг постачання води з часом абонентам [6].

До основних показників постачання води належить [7]:

- якість питної води;
- безперебійність і надійність постачання води;
- якість обслуговування споживачів;
- ефективність споживання ресурсів.

2.2 Основи нормативно-правового регулювання у сфері постачання води і її відведення

Державне управління в області постачання води і її відведення полягає у виконанні виконавчо-розпорядчу функції відповідними органами для забезпечення її раціонального споживання та використання, охорони водних об’єктів і їх відновлення. Згідно із законом “Про питну воду та питне водопостачання” державна політика у сфері постачання води і її відведення спрямована на досягнення наступних цілей [8]:

- забезпечення якісного і постійного постачання води і її відведення для охорони здоров’я людей і підвищення рівня життя населення;
- економічне використання водних ресурсів для збільшення енергоефективності;

- покращення якості очищення стічних вод для зменшення негативного впливу на водні споруди;
- створення розвитку централізованих насосної мережі гарячої, холодної води та її відведення шляхом розвинутої ефективності форм управління цими мережами, створення розвитку кадрового потенціалу організацій та інвестицій , які здійснюють холодне і гаряче постачання води і/або її відведення;
- створення доступності постачання води і її відведення для споживачів за рахунок покращення робочої ефективності організацій, які постачають холодну і гарячу воду і її відведення.

Також вказані закони державної політики у області постачання води:

- пріоритетність постачання споживачам гарячої, питної води та послуги з її відведення;
- утворення програм для інвестицій у області постачання води і її відведення, гарантія приватних інвестицій;
- створення організаційної та технологічної єдності і цілісності центральної мережі холодного та гарячого постачання води і її відведення ;
- дотримання і досягнення балансу економічних інтересів організацій, які роблять постачання води і її відведення і їх користувачів;

Треба зауважити, що у Законі [9] також знаходиться вказаний список прав і обов’язків органів місцевого самоврядування в області постачання води:

- Забезпечення постачання води споживачам, включаючи заходи на випадок, якщо організації, які постачають воду, не можуть виконувати свої обов’язки або відмовляються їх виконувати;

- узгодження виводу будівель централізованих мереж постачання води і її відведення з експлуатації і в ремонт;
- затвердження схем постачання води і її відведення поселень;
- затвердження технічних робіт , пов’язаних зі створенням інвестиційних програм.

Іншими словами, нормативно-правові акти, що гарантують взаємодію з постачання води і її відведення, розташовуються на різних рівнях управління: місцевому, регіональному, обласному.

Тобто зробивши висновок про те, що владою нормативно-правового регулювання і повноважених органів державної влади у сфері постачання води і її відведення в Україні є те, що на регіональному рівні спрямованому на вибір і моніторинг методів керування тарифами а на обласному рівні затверджуються і формуються порядки і правила.

2.3 Баланс споживання та постачання води та питної, технічної, гарячої

Баланси споживання і постачання питної води зроблені на основі даних зі звіту, взятих з організації ОКВП "Дніпро-Кіровоград" [10]. Динаміка споживання об’ємів води у населених пунктах визначається на підставі документів, наданих з 2019 р.

Баланс реалізації і подачі води за структурними складовими, показаний у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Загальний баланс використання і подачі води за 2019-2023рр.

	Найменування показника	Один. вим.	2019	2020	2021	2022	2023
1	Сумарний обсяг добутої води з підземного джерела постачання води	тис. $м^3$	1023,9	937,33	848,5	695,15	647,3
2	Сумарний обсяг поданої води користувачам, в т.ч.	тис. $м^3$	930,84	852,17	770,8	632,6	588,6
2.1	з приладів обліку	тис. $м^3$	0	57,3	150,06	239,3	320,15
2.2	за нормативами споживання	тис. $м^3$	930,84	794,97	620,83	393,36	267,54
3	Використання води на власні потреби підприємства	тис. $м^3$	0	0	0	0	0
4	Сумарні втрати води в допровідних мережах	тис. $м^3$	102,4	85,3	84,9	69,6	64,8

За період який булорозібрано можемо бачити зменшення об’ємів води, яка постачається з джерел постачання води. Сумарний об’єм води у звіті за 2023р. становив 647,3 тис. $м^3$, що на 7,41 % менше за сумарний об’єм поданого за попередній 22 рік. Втрати води рахуються розрахунковим способом через відсутність лічильника об’ємів води, що подається з джерел постачання води у водопровідних системах організацією що постачає воду [11].

Використання води на частні потреби підприємства з постачання води відсутні, втрат постачання води немає на джерелах води.

2.4 Структурний баланс реалізації питної, технічної, гарячої води за групами споживачів

Користувачів води розділено на критерії:
- багатоквартирні будинки;

- бюджетний фонд;

- приватний житловий фонд;

- інші користувачі.

Інформації щодо об’ємів води вжитої на гасіння пожеж немає. Роздільний облік об’ємів використання води за типами споживачів представлено з урахуванням поливу.

Структурний баланс використання води за типами споживачів за визначений період часу наведений у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Структурний баланс використання води за групами споживачів

	Найменування групи споживачів	Один. вим.	2019	2020	2021	2022	2023
1	Приватний житловий фонд	тис. $м^3$	842,4	771,7	679	562,9	152,2
2	Багатоквартирні будинки	тис. $м^3$	0,00	0,00	0,00	0,00	362
3	Промисловість, виробництво	тис. $м^3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Бюджетний фонд	тис. $м^3$	61,43	62,16	67,06	41,7	41,2
5	Інші споживачі	тис. $м^3$	27,16	18	25,55	27,78	32,4
6	Сумарний обсяг води	тис. $м^3$	930,84	852,17	770,8	632,6	588,6

Як бачимо з показаних вище даних, за визначений період у мережі постачання води можимо бачити відсутність об’ємів використання води для категорії абонентів " виробництво, промисловість ". Для категорії абонентів «приватний житловий фонд» бачимо зменшення об’ємів використання, що пояснюється збільшенням лічильникового обліку об’ємів використання води [12].

Частина зміни об’ємів використання води за звітний період (2023 р.) у порівнянні з 2019 роком за структурними складовими:

- приватний житловий фонд – зменшення у 5 разів;

- бюджетний фонд – зменшення на 44,4%;

Частина зміни об’ємів використання води у період звіту (2023 р.) у порівнянні до 22 року за структурними складовими:

- приватний житловий фонд – зменшення на 9.1%;

- бюджетний фонд – збільшення на 2,9%.

2.5 Відомості про фактичне використання людьми води виходячи зі статистичних та розрахункових даних та інформації про чинні нормативи використання комунальних послуг

Реальне використання води в мережі постачання води розраховується за лічильниками обліку води, знаходженими у споживачів, чи на межі балансової приналежності системи провідності води. Для споживачів, які не мають лічильника води, об’єми використаної води розраховуються виходячи з розрахунково-нормативної величини.

Таблиця 2.3 – Обсяг використання води групами споживачів за лічильниковим обліком і розрахунково-нормативній величині

	Найменування	Один. вим.	2019	2020	2021	2022	2023
1	Сумарний об'єм поданої води абонентам, в т.ч	тис. $м^3$	930,84	852,17	770,8	632,6	588,6
1.1	За лічильниками для наступних категорій:	тис. $м^3$	0,0	57	146,17	236,9	316,9
1.1.1	Приватний житловий фонд	тис. $м^3$	0	57	123,23	182,59	52,9
1.1.2	Багатоквартирні будинки	тис. $м^3$	0	0	0	0	200
1.1.3	Промисловість, виробництво	тис. $м^3$	0	0	0	0	0
1.1.4	Бюджетний фонд	тис. $м^3$	0	0	0	29,06	41,2
1.1.5	Інші споживачі	тис. $м^3$	0	0	23,2	23,3	23,64
1.2	За нормативами використання для наступних категорій:	тис. $м^3$	930,84	790,8	615,8	390	270,7
1.2.1	Приватний житловий фонд	тис. $м^3$	842,4	711,65	548	358,3	104,16
1.2.2	Багатоквартирні будинки	тис. $м^3$	0	0	0	0	157
1.2.3	Промисловість, виробництво	тис. $м^3$	0	0	0	0	0
1.2.4	Бюджетний фонд	тис. $м^3$	61,43	63,38	67,75	11,8	0,44
1.2.5	Інші споживачі	тис. $м^3$	27,16	15,9	1.94	0,676	1,6

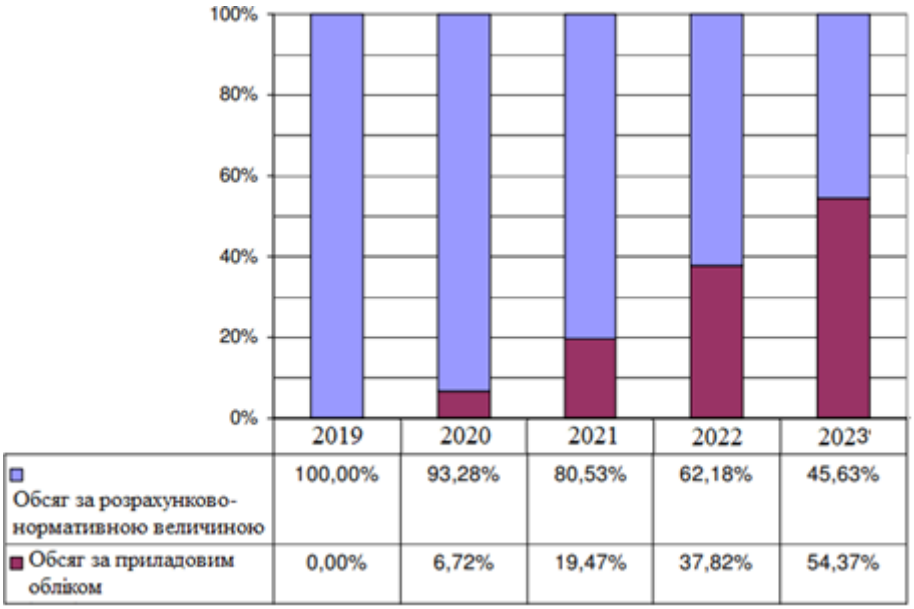
На сьогодній рівень оснащенащення споживачів води виглядає наступним чином:

Кількість споживачів обладнаних обліковим приладовим складає – 3141 од.

Кількість споживачів не обладнаних обліковим приладовим становить – 2181 од.

2.6 Опис існуючої системи комерційного обліку технічної та гарячої , питної води і планів з установки приладів обліку

За даними робіт, що проводить за останні роки ОКВП "Дніпро-Кіровоград" щодо введення лічильникового обліку об’ємів використаної води, частина споживачів не обладнаних лічильником зменшилась. У 2023 р. об’єм використаної води за лічильником по відношенню до попереднього року виріс на 16,65% [13]. Динаміка зростання частини води, що розраховується за лічильником і розрахунково-нормативною величиною, показана на рисунку 2.1.



	2019	2020	2021	2022	2023
Обсяг за розрахунково-нормативною величиною	100,00%	93,28%	80,53%	62,18%	45,63%
Обсяг за приладовим обліком	0,00%	6,72%	19,47%	37,82%	54,37%

Рисунок 2.1 – Діаграма використаної води з приладового обліку та розрахунково-нормативної величини за період 2019-2023 років.

Споживачі, у яких не є лічильника, платять за послуги з постачання води згідно до договірних (розрахунково-нормативних) об’єм споживання води [14]. Як говорилося раніше, облік об’ємів води за допомогою лічильника, що визначається з джерел постачання води відсутній. Об’єми води, що подається в мережу постачання води знаходяться розрахунковим способом. Плани розміщення лічильників, як ставлять на джерела постачання води, так і на межах балансової принадлежності організацією постачальння води не надані.

2.7 Аналіз резервів та дефіцитів виробничих потужностей мережі постачання води

Розбір результатів профіциту та дефіциту робочих потужностей мережі постачання води визначено базуючись на дебіті джерел постачання води та об’єму використання води за 2023 р [15]. Максимальну продуктивність існуючих джерел постачання води показано в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Максимальний дебіт існуючих джерел постачання води

	Найменування	Дебіт свердловини, л/с	Питомий дебіт, л/с
1	м. Кропівницький		

В результаті досліджень за 2023 р. об’єм поданої води у водопровідну систему становив 587,6 тис. м^3, що входить до складу - 68,8% від максимальної робото способності свердловин. Отже, продуктивність існуючих джерел постачання води Масляниківкого водозабору не має змоги забезпечити потрібний користувачами середньодобовий об’єм води, а через низьку висоту водонапірних башт, зменшених діаметрів деяких ділянок водопровідної системи, малого дебіту свердловин, а також усунення запірної арматури яка знаходиться на системах в наш час не гарантує постачання потрібного обсягу води користувачам в години максимального споживання

води. В мережі постачання води спостерігається дефіцит води у літній період, частина абонентів в години максимального водо розбору отримують перебої у постачанні води. Вважаючи перспективу росту населених пунктів, передбачається ріст об’ємів споживання води. При планах росту мережі постачання води потрібно передбачати покрашення наявних водопровідних систем [16].

2.8 Заходи щодо покрашення і збільшення якості послуг з централізованого постачання води Масляниківкого водозабору

З ціллю використання питної води оптимального під час виробництва, тобто економії електричної енергії, створення якісного обслуговування з централізованого постачання води і створення якісної постійної праці мереж централізованого постачання води запропоновано проект покращення насосної установки Масляниківкого збору води міста Кропівницький.

В проекті буде покрашення енергетичної ефективності і якості подання послуг із централізованого постачання води. Він передбачає забезпечення безперебійного постачання води з допуском до всіх державних стандартів якості питної води, покращення технологічного рівня виробництва і умов роботи завдяки зручності управління технологічними процесами й доступу до інформації. Оперативний збір даних і діагностика праці обладнання сприятимуть швидшому реагуванню на збої, що дозволить зменшити втрати у мережах.

Опис головних робіт по проекту:

1. Зміна насосної техніки на більш економічну і сучасну.

2. Зміна ЧП для нової насосної установки.

3. Зміна на нові датчики водного рівня в резервуарах.

4. Розробка однієї автоматизованої мережі роботи забору води.

Після початку плану проекту можливо відредагувати роботу мережі розподілу та передачі води, що дасть змогу уникати витоків води із за скорочення зайвих напорів у водопровідній мережі, скорочення кількості аварій на водопровідних системах, що спричинить зменшення неврахованих витрат в системах.

2.9 Передбачені баланси використання води на 2025 р. розраховані через водні витрати вийшовши з поточного об'єму використання води споживачами та його динаміки.

Реалізація води за структурним балансом по групам споживачів показаними в таблиці 2.3 бачимо, що об'єм спожитої води в 2023 р. споживачами є – 588,6 тис. $м^3$ У розрахунку на питоме використанням за добу споживачами, об'єм води, що подається, складає приблизно 125 л/день*людину. Щоб знайти об'єми споживання води відповідно до ДБН В.2.5-74:2013 рахуємо що питоме господарсько-питне споживання води на одну людину – 200 л/ день * людину [17]. Показані результати про існуючу і перспективну кількість людей в населених пунктах з передбаченою чи існуючою централізованою мережею постачання води у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Майбутня кількість людей на ділянці, що обслуговується Масляниківкого водозабором

Чисельність населення						Майбутня кількість людей на 2025 р.
2019	2020	2021	2022	2023	2024	
7124	7482	7547	7755	7922	8240	8500

Визначимо розрахункову середню добову витрату за рік води $Q_{доб.м}$, м^3/добу на потреби в населеному пункті розраховується за формулою:

$$Q_{доб.м} = \frac{\sum q_ж N_ж}{1000}; \qquad (2.1)$$

де, $q_ж$ – середньо-добова норма споживання, л/добу, на одну людину, вважаємо 200 л/добу [18];

$N_ж$ – визначена кількість населення в районах житлової забудови з різним ступенем благоустрою;

$$Q_{доб.м} = \frac{\sum q_ж N_ж}{1000} = \frac{200 \cdot 8500}{1000} = 1700 \text{ м}^3/\text{день}$$

До питомого використання води також входять витрати води на побутове використання і господарсько-питні справи у громадських будівлях (за ДБН В.2.5-74:2013).

Витрати води які розраховуються за день найменшого та найбільшого споживання води $Q_{доб.m}$, м^3/день, розраховується за такими формулами:

$$\begin{cases} Q_{доб.max} = K_{доб.max} \cdot Q_{доб.м}; \\ Q_{доб.min} = K_{доб.min} \cdot Q_{доб.м}, \end{cases} \qquad (2.2)$$

Коефіцієнт нерівномірності на один день споживання води $К_{доб}$, що включає режим праці підприємств, ступінь благоустрою будівель , зміни в споживанні води з кожним сезоном року і днями тижня, вважають $К_{доб.min}$ = 0,7 – 0,9; $К_{доб.max}$ = 1,1 – 1,3.

$$\begin{cases} Q_{доб.max} = 1{,}3 \cdot 1700 = 2210 \text{ м}^3/\text{добу} \\ Q_{доб.min} = 0{,}7 \cdot 1700 = 1190 \text{ м}^3/\text{добу} \end{cases}$$

Розрахунок по годинного споживання води $q_{год}$, м^3/год, розраховується за формулами

$$\begin{cases} q_{\text{год.max}} = \dfrac{K_{\text{год.max}} \cdot Q_{\text{доб.max}}}{24}; \\ q_{\text{год.min}} = \dfrac{K_{\text{год.min}} \cdot Q_{\text{доб.min}}}{24}. \end{cases} \quad (2.3)$$

Коефіцієнт по годинної нерівномірності споживання води $К_{год}$ розраховується з виразів:

$$\begin{cases} K_{\text{год.max}} = \alpha_{max} \cdot \beta_{max}; \\ K_{\text{год.min}} = \alpha_{min} \cdot \beta_{min}, \end{cases} \quad (2.4)$$

де: α — коефіцієнт, що розраховує ступінь впорядкування будівель, режим роботи підприємств та інші місцеві умови, що приймається у межах α_{max} = 1,2—1,4; α_{min} = 0,4-0,6.

β — коефіцієнт, що розраховує скільки людей у населеному пункті, враховується за таблицею 2 ДБН В.2.5-74:2013.

$$\begin{cases} K_{\text{год.max}} = 1{,}30 \cdot 1{,}30 = 1{,}690; \\ K_{\text{год.min}} = 0{,}50 \cdot 0{,}40 = 0{,}20; \end{cases}$$

$$q_{\text{год.max}} = \frac{1{,}69 \cdot 2210}{24} = 145{,}6 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$q_{\text{год.min}} = \frac{0{,}2 \cdot 1190}{24} = 9{,}91 \text{ м}^3/\text{год},$$

Згідно з ДБН В.2.5-74:2013, за відсутності даних про площі за видами благоустрою (зелені насадження тощо) середньодобове споживання води на поливання в поливальний сезон розраховується на одну людину у межах 55-95 л/дня. Все залежить від кліматичних умов, потужності джерела постачання води, ступінь благоустрою населених пунктів та інших місцевих умов. Кількість разів коли поливають приймаємо 1-2 на день які залежать від погодних умов. Для визначення об’ємів води, що використовується для

поливу, вважаємо витрати води 90,0 л/день. Кількість поливів – 1.

Питоме використання води в середньому на день за поливальний сезон на одну поливку складе

$$90{,}0\ \frac{\text{л}}{\text{день}} \cdot 8500 = 765{,}0\ \text{м}^3/\text{добу}$$

За даними адміністрації сезон поливання діє 123 доби. Тобто річне використання води для поливу становить 94090. $м^3$.

На основі отриманих розрахунково-нормативних результатівь бачимо, що знайдена витрата води складає:

- середньодобова (з урахуванням поливу та підприємств) – 1700 $м^3$/день;
- в т.ч. використання води для поливу – 765,0 $м^3$/ день (з урахуванням тривалості 123 дня);
- за день найбільшого споживання води – 2210, 0 $м^3$/ день;
- за день найменшого споживання води – 1190,0 $м^3$/ день;
- розрахункова по годинна втрата (max) – 145,60 $м^3$/год;
- розрахункова по годинна втрата (min) – 9,910 $м^3$/год;

$$P_P = \text{К}_\text{з}\frac{p \cdot q \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta} = 1.1\frac{1000 \cdot 9{,}8 \cdot 145{,}6 \cdot 50}{1000 \cdot 3600 \cdot 0{,}7} = 30\ \text{кВт}$$

розрахункова потужність обладнання

2.10 Насосне обладнання

Головним обладнанням щоб відкачювати воду зі свердловини є насос для свердловини, його корпус має діаметр трохи менший за внутрішній діаметр обсадної колони свердловини [18]. Роботу яку виконує насос повинна розглядатися як періодична у короткочасному режимі, що поєднується зі змінною ємністю.

Змінемо насоси які вже в нас у свердловині на насоси 1 основний та 1 резервний на EbaraBSP.SS.08160.04 з характеристиками, які є наведеними у таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Характеристики EbaraBSP.SS.08160.04 [19]

Найменування	
Ном. продуктивність, $м^3$/год	150.0
Макс продуктивність, $м^3$/год	200.0
P, Вт	37000
Ступінь захисту	IP68
Тип	Занурювальний
Макс висота занурення під воду, м	300.0
Макс температура рідини,^oC	50.0
Мін робочий тиск, бар	4.0
Макс робочий тиск, бар	9.0

Напірно-споживчі властивості насосу на рисунку 2.2

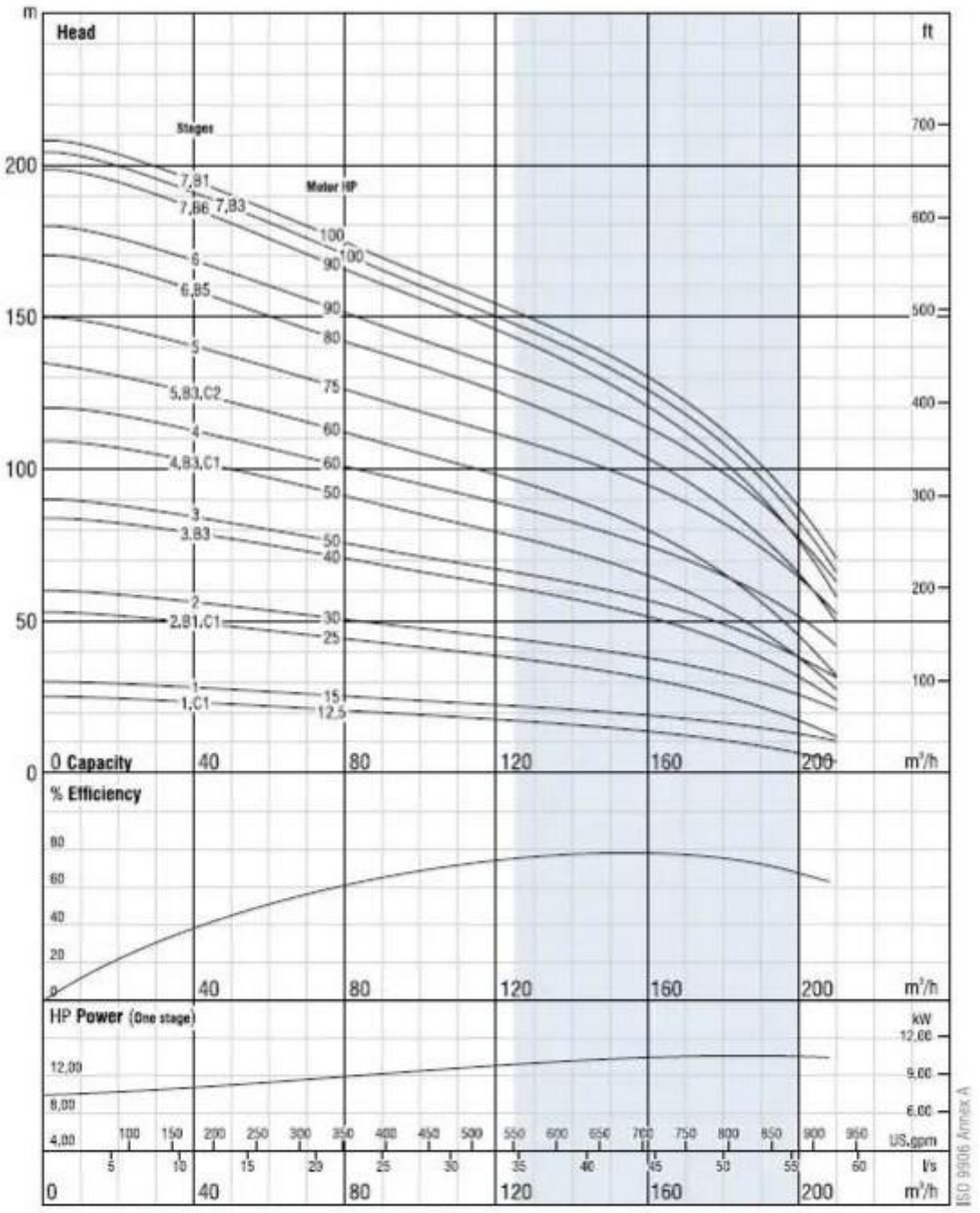


Рисунок 2.2 – Напірно-витратні властивості

2.11 Вибір ЕД

За вибраним обладнанням насосу потужністю 37000Вт обираємо трифазний (380В) заглибний ЕД для свердловинного насосу (NEMA).

Переваги електродвигуна:

- вал та з'єднувальний фланець ЕД за стандартом NEMA ;
- осьові та радіальні вуглецеві підшипники, що змащуються водою;
- система водяного охолодження ;
- допустиме відхилення U +/- 10%;
- максимальна t перекачуваної води 30° ;
- швидкість обертання – 2.9*100 об/хв;
- ступінь захисту — IP68;
- клас ізоляції:B;
- механічне ущільнення:SIC;

2.12 Вибір ПЧ

Мережа з частотним регулюванням забезпечує стабільний тиск у насосній мережі навіть за умов змінного споживання води. Це значить, що коли відкритий лише один кран, насос робить на низьких обертах, отримуючи постійний зворотний зв’язок від датчиків тиску і споживання. Якщо відкривається додатковий кран, витрата води зростає, насос автоматично збільшує оберти, але тиск залишається стабільним. Така система є надзвичайно енергетично фективною, забезпечує комфорт у побутовому використанні та подовжує термін служби насосів завдяки

оптимальній роботі електродвигуна[20].

Для вибраних у п.3.3 насосів правильно буде використовувати ЧП Schneider Electric.ATV.610 55000Вт, характеристики наведені у таблиці 2.7

Таблиця 2.7 – технічні характеристики частотного перетворювача Schneider Electric ATV.610 [24]

Найменування	Величина
Номінальна U, В	380/460.
Номінальна f, Гц	50/60.
Кількість фаз	3.
Вихідна U, В	380/460.
Вихідна f нав., Гц	0...500.
Кількість фаз нав.	3.
Вихідний I нав, А	111,50
P нав, Вт	55,000.
Тип керування	Векторне/скалярне.
Перевантажувальна здатність, %	150.
Фільтр EMC	Вбудований.
Типи двигунів	АД.
Кількість дискретних вх	6.
Кількість дискретних вих	1CO+2NO.
Кількість аналогових вх	2.
Кількість аналогових вих	2.
Фізичний інтерфейс	RS485.
Ступінь захисту	IP-20.

Висновки до розділу 2

Проведено аналіз нормативно-правової бази в області централізованого постачання води. Розраховано, що особливістю правового регулювання та повноважень державних органів у цій області в Україні є розподіл функцій на різних рівнях. На обласному рівні розробляються та затверджуються порядки

і правила, тоді як регіональний рівень відповідає за моніторинг ситуації та вибір способів регулювання тарифів.

На базі фактичного використання людьми води виходячи зі розрахункових і статистичних відомостей і даних про дійсні правила використання комунальних послуг застосовано прогнозування балансів використання води на 2025 р.

Розрахований найбільший час витрати води, згідно з цих даних пораховане і обране обладнання насосної станції.

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ НАСОСНОГО (ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО) КОМПЛЕКСУ

3.1 Покрашення праці насосів шляхом вживання ЧР електроприводу

Нашим об'єктом автоматизації є насосна установка першого підйому. Покрашення передбачає те де варіант комплектація насосної установки технологічним приладом. Нормальне споживання енергії істотно впливає на життєвий цикл насосного приладу. Головний потенціал з збереження енергії є в зміні керування подачі насоса засувкою на частотне чи, тобто при використанні мереж, які здатні підібрати параметри установки під потреби мережі [21]. Під час прийняття рішення по використанню того або іншого способу використанню треба вважати, що кожен із двох варіантів також треба використовувати, дивлячись на параметрів мережі, в якій працює насосна установка [22].

Для керування насосними станціями знайдено установку групового керування на базі Ч-Р електроприводу, який виконує автоматичне оперативне керування та електропостачання групою насосних станцій з АС 3-ф короткозамкненими ЕД на номінальну U 380В з f- 50Гц [23].

- установка гарантує підтримку на потрібному рівні тиску при допомозі автоматичного керування частоти обертів 1-го з ЕД, а також через автоматичну заміну кількості робочих ЕД. При цьому утворюється гладкий частотний запуск кожного двигуна та гладке зменшення частоти обертів перед припиненням.

- мережа управління робить «м'які» пуски, перемикання і відключення ЕД, які забезпечує «плавні» змінні режими без шкідливих електродинамічних процесів та гідравлічних ударів ;

- мережа автоматики насосної установки групового управління здійснює: живлення ЕД насосних станцій починаючи з ПЧ частотно-регульованого ЕП 380В та частотою 50Гц;

- ввімкнення, перемикання і вимкнення ЕД насосних станцій вручну і автоматично за вказаним методом;

- автоматичне регулювання технологічним процесом з підтримкою даного тиску в напорному трубопроводі постачання води частотно-регульовоним ЕП по замкнутому контуру керування з НЗЗ від технологічного датчика;

- зміну режимів праці насосних станцій за часом з ціллю забезпечити рівномірної амортизації електротехнічного і технологічного пристрою;

- відображення і реєстрацію необхідної інформації про працю техніки.

Установка управління складається з:

- частотно-регульованого ЕП, що складається з одного силового ПЧ, а саме регулятора частоти, який забезпечує пропорційно-інтегральний закон керування, резервного частотно-регульованого перетворювача та робочого частотно-регульованого перетворювача [24];

- панель управління з програмованим логічним контролером, з таблом та клавіатурою, які забезпечують управління насосними станціями вручну, програмування автоматичного управління, заміну алгоритму управління, заміну та налагодження параметрів управління, сигналізацію відхилення від звичайних режимів праці;

- комутаційну апаратуру, що утворює включення, перемикання та виключення ЕД насосних установок у автоматичному режимі згідно з правил технологічного процесу за потрібним способом управління чи в ручному режимі;

Установка управління утворює наступні робочі режими насосних станцій [25]:

- постійну працю 1-го ЕД (будь-якого з 4 чи 6 за потрібною програмою) від ЧРП у автоматичному режимі керування технологічного параметра;
- автоматичне ввімкнення додаткового ЕД (будь-кого з 3 чи 5 за потрібною програмою) ;
- автоматичне вимкнення ЕД додаткової установки;
- автоматичне ввімкнення ЕД резервної установки при виході зі строю робочої установки, яка працює від ПЧ;
- автоматичне ввімкнення ЕД працюючого насоса, що робить від ПЧ, на працю від мережі при порушеннях режиму праці ЧРП системи і підключення додаткового ПЧ;

3.2 Математична модель електротехнічного насосного комплексу

Ціллю створення математичної моделі насосного комплексу є звичайний опис комплекту рівнянь, які забезпечують рішення допоміжних та вихідних параметрів нашої імітаційної моделі. Вихідною змінною, яка утворює результати обчислень усіх інших блоків математичної моделі, це керуючий вплив f_u. Ця змінна обчислюється системою управління за принципом, показаному в рівнянні [26]:

$$f_u(\tau_i) = f_u(\tau_{i-1}) + \Delta f_u(\tau_i), \tag{3.1}$$

де τ – час, с;

i – порядковий номер моделювання моменту;

Δf_u – заміна управляючого впливу, який розраховується головним управляючим сигналом;

Пуск, значну зміну частоти живлення та зупинку ЕД з насосним навантаженням дуже непотрібно робити швидко. Щоб розв'язати цю проблему дається затримка змінення частоти зупинки та пуску. Комфортніше описати затримку можна за допомогою T_d, коефіцієнт ставить час зміни частоти від початкового(нульового) значення до номінальної величини [27]. При цьому процес змінення частоти описується за допомогою лінійної функції з урахуванням системи (3.2):

$$\begin{cases} \tau_e = \tau_n + \dfrac{T_d \cdot \left|\Delta f_u(\tau_n)\right|}{f}, \\ f_u(\tau_i) = \text{sign}(\Delta f_u(\tau_n)) \cdot \dfrac{f}{T_d} \cdot \tau_i + f_u(\tau_n), \quad \tau_n \le \tau_i < \tau_e, \\ f_u(\tau_i) = f_u(\tau_n) + \Delta f_u(\tau_n), \quad \tau_e \le \tau_i, \\ f_u(\tau_i) = 0, \quad f_u(\tau_i) \le 0, \\ f_u(\tau_i) = f, \quad f_u(\tau_i) \ge f \end{cases},$$

де τ_n – момент часу утворення ПП, с;

τ_e – момент часу кінця ПП, с.

При ЧП значенню управляючого впливу точно дорівнює частота на кінці ПЧ ($f_1 = f_u$). При визначенні амплітуди U на кінці ЧП вживається головне співвідношення скалярного методу ЧР, яке під час виконування номінальних значень електричного живлення змінюється у формулу:

$$V_1 = \frac{V \cdot f_1}{f}, \tag{3.3}$$

Головними вихідними та зв'язувальними параметрами АС двигуна є використана потужність та механічна частота обертання вала ротора. Для зменшення обчислювального навантаження в роботі моделювання, треба користуватися спрощеними формулами щоб оцінити ці характеристики [28].

Щоб вирішити наближену лінійну залежність швидкості обертання вала ЕД від даної частоти ЧП треба зробити вираз, що базується на схожості залежності зміни частоти обертання вала електродвигуна та електричної частоти [29]:

$$n = \frac{n_n \cdot f_1(\tau_i)}{f}, \tag{3.4}$$

Рівняння не включає опір М навантаженням, і також в'язкість та тертя середовища. Але, ці характеристики досить малі у відцентрових насосів та, зазвичай, їх можна не враховувати. Для близької оцінки використаної потужності, з урахуванням зменшення ККД установки при ЧР, можемо застосовувати таку залежність [30]:

$$P = \frac{9{,}81 \cdot k_Q \cdot Q_1 \cdot H}{\eta_f \cdot \eta_p \cdot (1 - (1 - \eta) \cdot \eta_n \cdot n^{-1})}, \tag{3.5}$$

де k_Q – коефіцієнт коригування потужності на подачі. Визначається на основі паспортних даних установки для номінальної подачі у сучасних умовах з урахуванням ЧП та ККД ЕД. Потрібний, оскільки формула у початковому вигляді у разі великого опору лінії трубопроводу не зважає на втрати потужності на дроселювання та змішання робочої точки для номінальної подачі;

η_f – ККД ЧП, %;

η_p – номінальний ККД ЕД, %;

η – ККД установки, %;

Ця залежність не бере до уваги ПП у електричній частині, додаткові витрати електричної енергії під час ЧР, зміна моменту на валу, а в одночас може бути використано для оцінки похибки і відповідного обґрунтування. Напір та подача установки при ЧР визначаються за допомогою модифікованих рівнянь подоби.

Отже Q_n-номін. подача, при звичайній частоті живлення ЕП та данних параметрів системи трубопроводу, розраховується графічним методом як точка перетину двух кривих витратно-напірних характеристик трубопроводу та насосної установки [31].

Момент опору установки на валу ЕД визначається за допомогою формули:

$$M_c = \frac{93{,}82 \cdot \rho \cdot k_{Q1} \cdot Q_1 \cdot H}{n \cdot (1 - (1 - \eta) \cdot n_n \cdot n^{-1})}, \tag{3.6}$$

де k_{Q1} – коефіцієнт k_Q в якому не враховують ККД ЧП та ЕД.

Розрахунок загального коефіцієнта питомого опору трубопроводу виконується із застосуванням модифікованої формули Вейсбаха-Дарсі. У цьому методі враховуються як місцеві опори (наприклад, вигини, з'єднання, клапани), так і динамічні характеристики трубопровідної системи, що дозволяє забезпечити точніше визначення опору потоку:

$$S = \frac{8}{\pi^2 \cdot d_1^4 \cdot 9{,}81} \cdot \left(\frac{L \cdot \lambda}{d_1} + LR\right), \tag{3.7}$$

де d_1 – внутрішній дімаетр трубопроводу, м;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя лінійної ділянки трубопроводу;

LR – тертя кривих ділянок трубопроводу.

Для одержання аналітичного рівняння, щоб оцінити ПП зміни кінцевої температури води, можна використовувати відповідне диференціальне рівняння як базову основу. Це рівняння описує зміну температури залежно від часу і враховує динамічні властивості системи, такі як теплообмін та зовнішні впливи.

$$\frac{\partial t_k(\tau)}{\partial \tau} = \frac{4 \cdot Q_1(\tau) \cdot (t_k(\tau) - t_k^s)}{\pi \cdot L \cdot d^2{}_1}, \tag{3.8}$$

де t_k^s – температура води на кінці трубопроводу коли при $\tau \to \infty$

Використання рівняння (3.8) допускає, що такі значення води, як теплоємність, в'язкість та густина, залишаються незмінними, так як їхні зміни в межах визначеного температурного діапазону є несуттєвими. Для аналізу впливу подачі насоса на температурні характеристики транспортованої води треба зважати енергію, що витрачається внутрішнє тертя[32]. Після виконання підстановок та впорядкування, диференціальне рівняння, яке враховує транспортне запізнювання, набуває відповідної форми для розрахунку кінцевої температури води (3.9-3.11):

$$\frac{\partial t_k(\tau)}{\partial \tau} + P(\tau) \cdot t_k(\tau) = P(\tau) \cdot R(\tau), \tag{3.9}$$

де:

$$P(\tau) = \frac{4 \cdot Q_1(\tau)}{\pi \cdot L \cdot d^2{}_1}, \tag{3.10}$$

$$R(\tau) = t_o(\tau) + \frac{q_t(\tau)}{k_l(\tau) + k_{pr}(\tau)} + \left(t_n(\tau) - t_o(\tau) - \frac{q_t(\tau)}{k_l(\tau) + k_{pr}(\tau)} \right) \times \\ \times e^{\frac{-L}{C_v \cdot Q_l(\tau) \cdot \left(\frac{1}{k_l(\tau)} + \frac{1}{k_{pr}(\tau)} \right)}}. \tag{3.11}$$

Вирішуючи функцію методом варіації довільної постійної, та зважаючи, що протягом ПП змінні параметри залишаються незмінними та відповідають початковим умовам цього процесу, отримуємо відповідне рішення, яке враховує ці умови.

$$t_k(\tau) = (t_{kn} - R) \cdot e^{-P(\tau_n - \tau)} + R, \tag{3.12}$$

Після здійснення об'єднання та підстановок подібних членів рівняння, температура на поточний момент моделювання часу визначається з урахуванням зовнішніх параметрів, що залишаються сталими та відповідають початковим умовам ПП(3.13):

$$t_k(\tau_i) = t_{kn} \cdot e^{\frac{4 \cdot Q_l}{\pi \cdot L \cdot d_l^2}(\tau_n - \tau_i)} + t_o \cdot \left(1 - e^{\frac{4 \cdot Q_l}{\pi \cdot L \cdot d_l^2}(\tau_n - \tau_i)}\right) + \frac{q_t}{k_l + k_{pr}} \times$$

$$\times \left(1 - e^{\frac{4 \cdot Q_l}{\pi \cdot L \cdot d_l^2}(\tau_n - \tau_i)}\right) + \left(t_n - t_o - \frac{q_t}{k_l + k_{pr}}\right) \cdot e^{-\frac{L}{C_v \cdot Q_l \left(\frac{1}{k_l} + \frac{1}{k_{pr}}\right)}} \cdot \left(1 - e^{\frac{4 \cdot Q_l}{\pi \cdot L \cdot d_l^2}(\tau_n - \tau_i)}\right)$$

Для визначення тривалості ПП необхідно з рівняння (3.12) виразити час, за який кінцева температура дойде до сталої величини з врахуванням заданої похибки ± ε:

$$t_k^{\varepsilon} \pm \varepsilon = (t_{kn} - R) \cdot e^{P(\tau n - \tau)} + R, \tag{3.14}$$

Для визначення техніко-економічних характеристик роботи ділянки необхідно оцінити обсяг води, який миттєво переливається з резервуару. Цей показник розраховується за допомогою відповідної формули:

$$\begin{cases} Q_3 = Q_1 - Q_2, l > h \\ Q_3 = 0, l \leq h \end{cases}, \tag{3.15}$$

Загальний об’єм переливу води за визначений період дозволяє визначити марні витрати водних ресурсів під час використання. Основні фактори впливу, такі як рівень споживання води та температура навколишнього середовища, додаються до моделі в образі статистично апроксимованих даних для прогнозованого періоду моделювання. Температуру довкілля можна приблизно описувати за допомогою синусоїдальної функції, що враховує її сезонні коливання.

3.3 Моделювання електротехнічної ділянки насосної установки

Модель, яка описується у попередньому розділі, була розроблена у програмному середовищі Matlab за допомогою пакета Simulink. Її представлено як блок-схема, що ілюструє всі етапи роботи моделі (рис. 3.1).

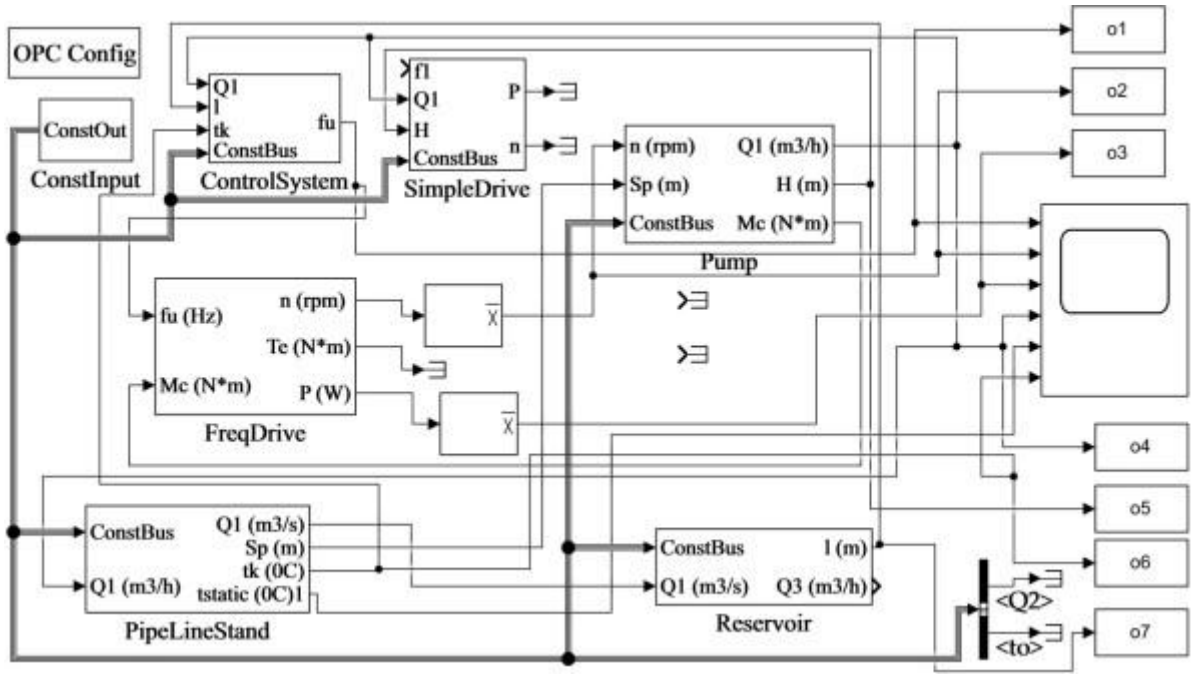


Рисунок 3.1 – Схема моделі в Simulink електротехнічної ділянки насосної установки I підйому

Основні блоки-підсистем:

1) FreqDrive - ЧР ЕП;

2) Pump - насос;

3) PipeLine – лінія трубопроводу;

4) Reservoir - резервуар;

5) ControlSystem - система управління;

6) ConstInput - данні та характеристики;

7) SimpleDrive - спрощена модель ЧР АС ЕП.

Підсистема **ConstInput** дозволяє задавати постійні характеристики моделі, які можуть залишатися незмінними або змінюватися відповідно до визначеного закону. Ці параметри об'єднуються в єдиний блок, звідти інформація передається до інших підсистем через шини з вибірковим доступом. Крім того, ця підсистема забезпечує можливість створення вхідної

функції основних збурювальних впливів, таких як зміна споживання води чи температури навколишнього середовища, використовуючи підсистему **Disturbances**. Структуру цієї підсистеми можна побачити на схемі, представленій у рисунку 3.2.

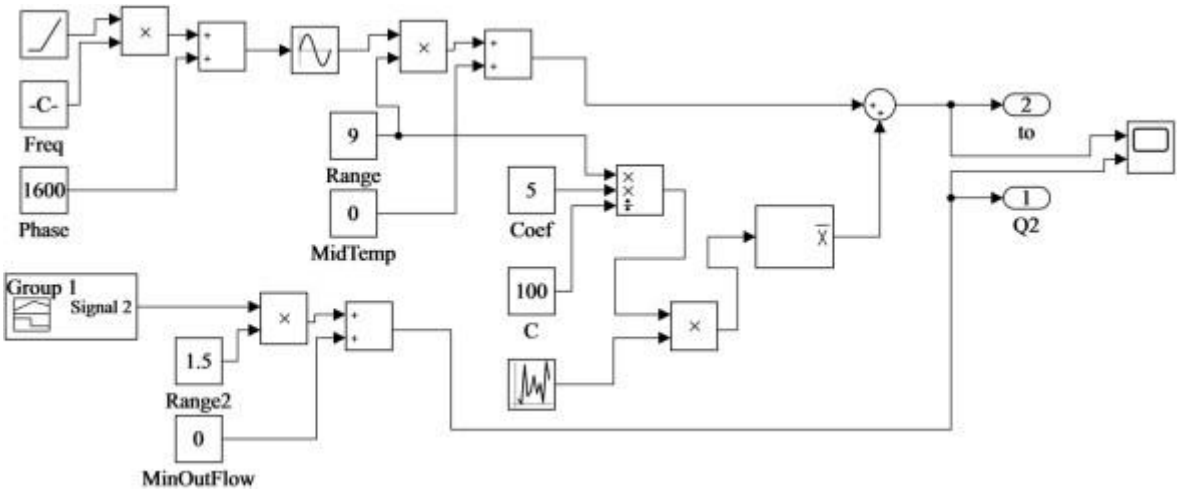


Рисунок 3.2 – Distrubances

У підсистемі сигнал температури навколишнього середовища задається як синусоїдальна функція зі змінними параметрами: частоти, амплітуди, зміщення та фазою. Це дозволяє моделювати циклічні коливання температури протягом певного періоду, наприклад, дня або року, відповідно до синусоїдального закону. Щодо споживання води, сигнал формується на основі статистичних даних, які відображають споживання води на базі за конкретний проміжок часу, і є апроксимованим для відображення реальних умов.

Підсистема **FreqDrive**, зображена на рис. 3.3, включає три основні компоненти: ЧП, 3-фазне джерело живлення та 3-фазний АС ЕД. Ця комбінація забезпечує живлення двигуна зі змінною частотою, дозволяючи регулювати швидкість його роботи.

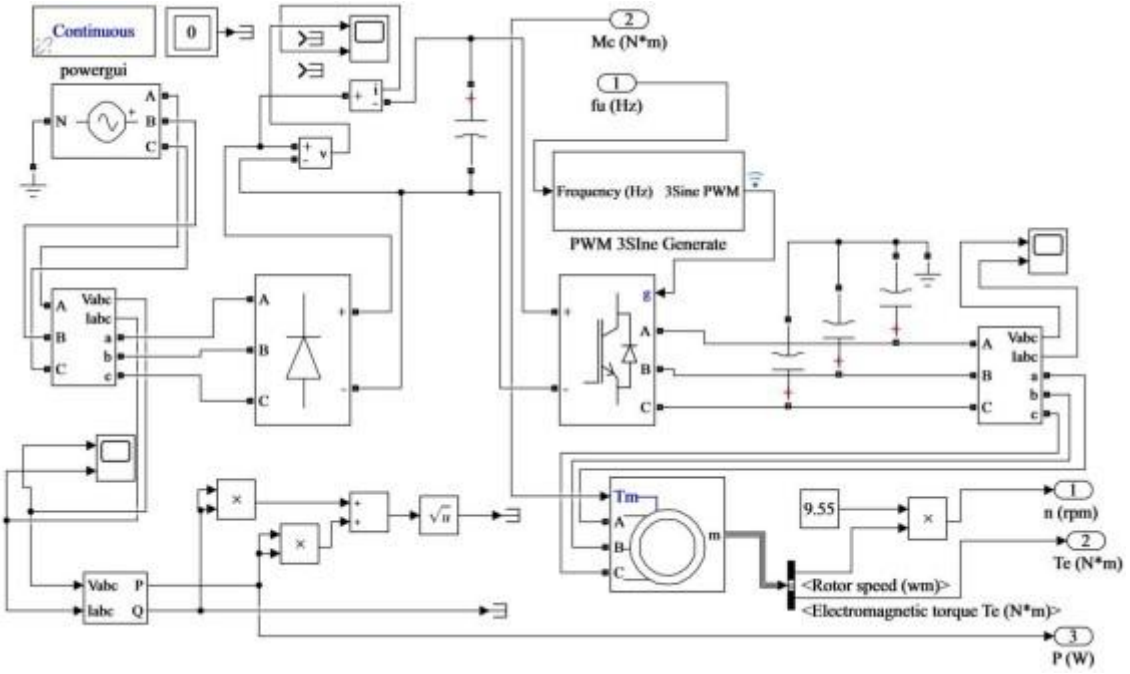


Рисунок 3.3 – FreqDrive

У блоці **FreqDrive** використовується ідеальне 3-фазне джерело змінної U 380 В із f 50 Гц. Ця U спочатку випрямляється 3-фазним діодним випрямлячем, після чого подається на інвертор U, побудований на базі транзисторів IGBT. Для керування відкриттям транзисторних ключів інвертора використовуються шість сигналів ШІМ, які генеруються на базі 3-х синусоїдальних еталонних сигналів, що відповідають Uф.

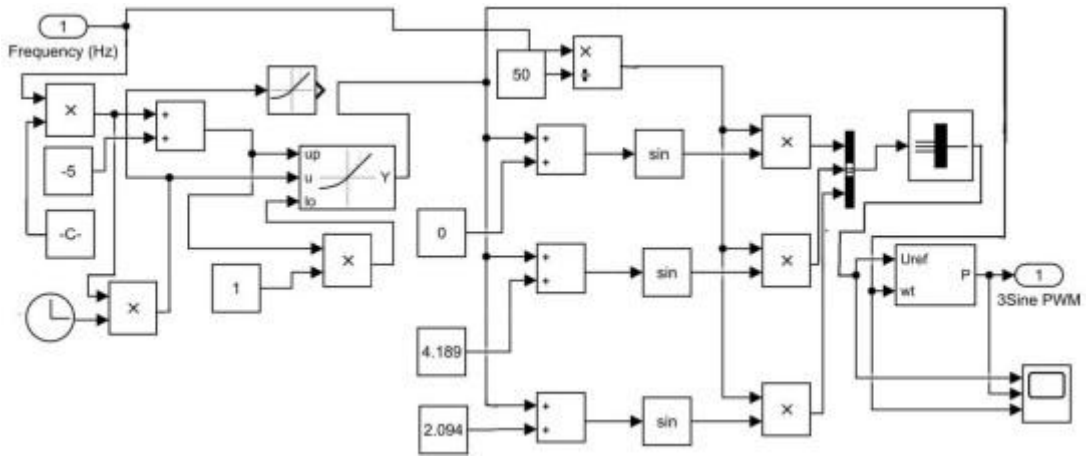


Рисунок 3.4 –PWM 3Sine Generate

Перетворена U з необхідною частотою подається на звичайний компонент, який описує роботу АС двигуна змінного струму. Підсистема **SimpleDrive** дозволяє моделювати ЧР АС ЕП у спрощеному вигляді.

Детальна структура цієї підсистеми представлена на рисунку 3.5.

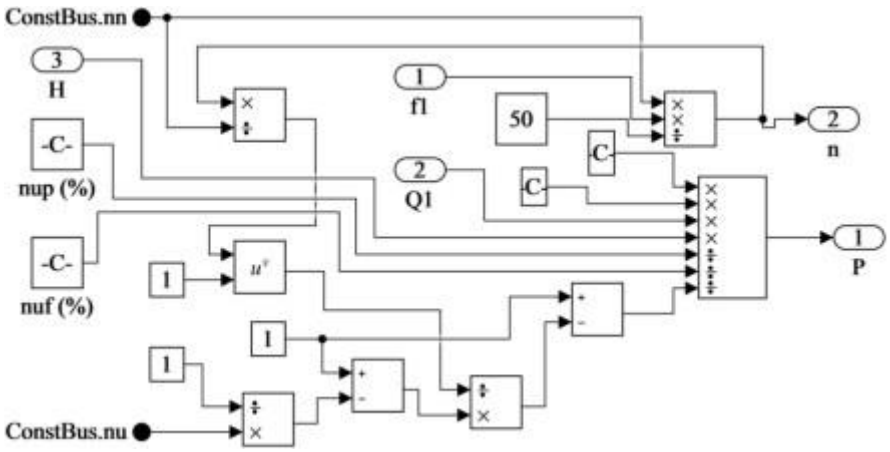


Рисунок 3.5 –SimpleDrive

Вихідні дані підсистеми, такі як механічна частота обертання вала ЕД та використана потужність, обчислюються за відповідними формулами (3.4) та (3.5). Структура підсистеми **Pump** зображена на рисунку 3.6.

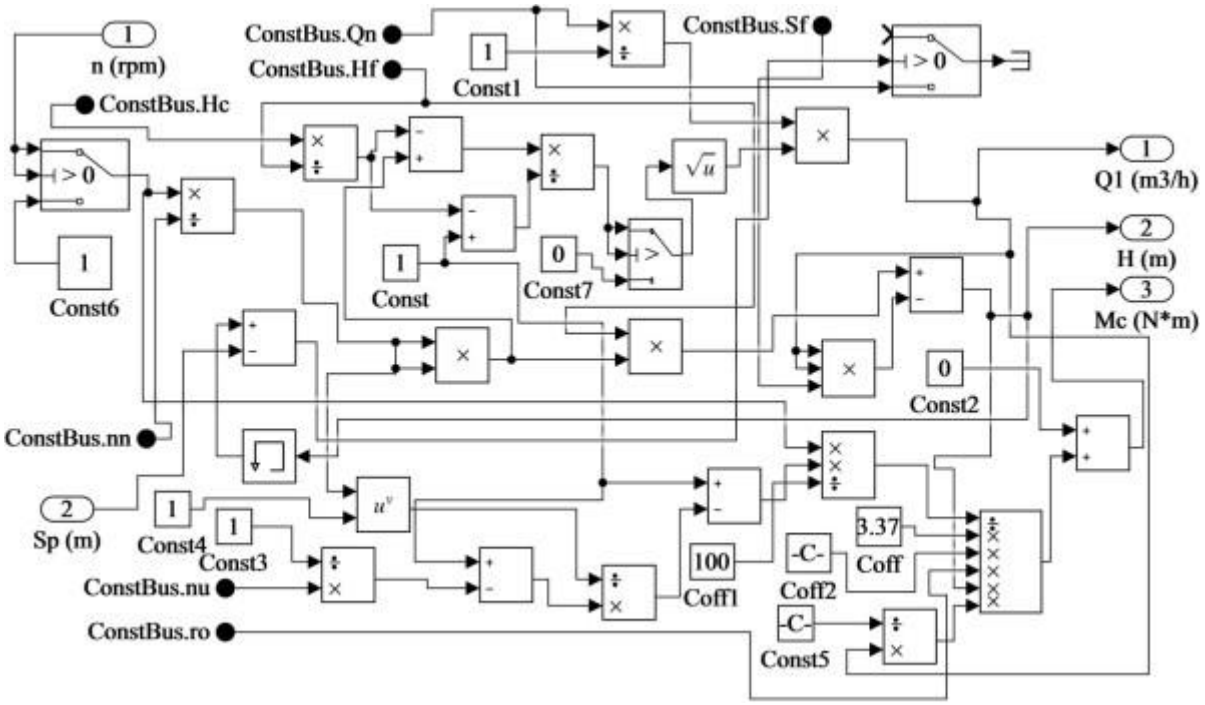


Рисунок 3.6 – Блок-схема насосної установки

На виході підсистеми отримують сигнали, які характеризують витрату рідини, тиск насоса та момент опору на валу ЕП. Ці показники визначаються за формулами математичної моделі. Підсистема PipeLine, показана на

рисунку 3.7, реалізована з використанням декомпозиційного підходу до моделювання лінії трубопроводу.

Модель поділяється на кілька однотипних секцій, які можуть представляти прямі ділянки трубопроводу, фітинги чи інші незвичайні елементи. Кожен блок одержує свої вхідні параметри, що дозволяє моделювати різні частини трубопровідної лінії з урахуванням особливостей використання в різних цілей.

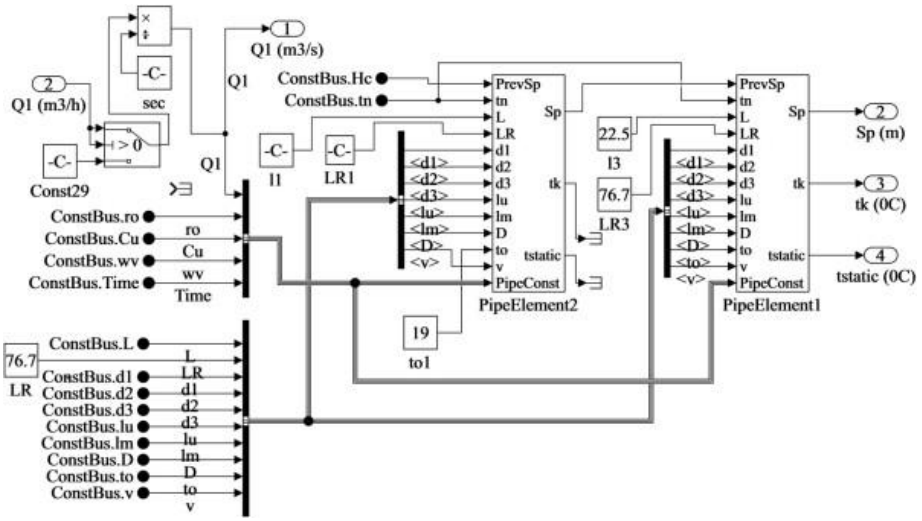


Рисунок 3.7 – Блок-схема роботи трубопроводу

У підсистемі PipeElement (рисунок 3.8) здійснюється обчислення тиску на ділянці трубопроводу та його кінцевої температури. Для цього використовуються підсистеми SysPress і Temperature.

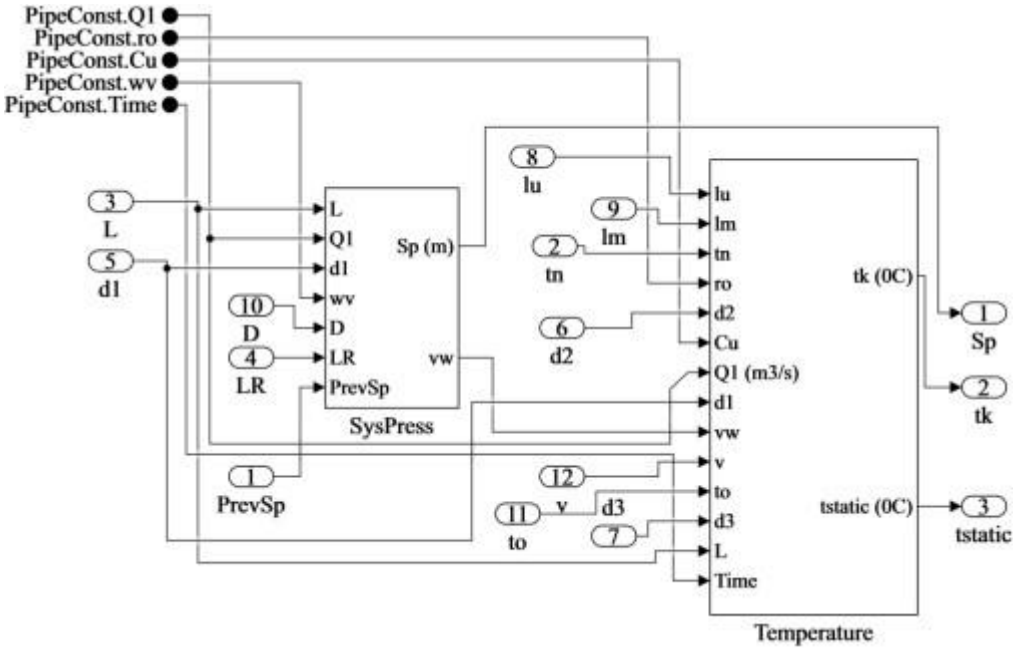


Рисунок 3.8 – PipeElement

Підсистема Reservoir (рисунок 3.9) отримує на вході дані про геометричні характеристики резервуара та об'ємну витрату, рівень споживання води. Головним вихідним параметром є рівень води в резервуарі.

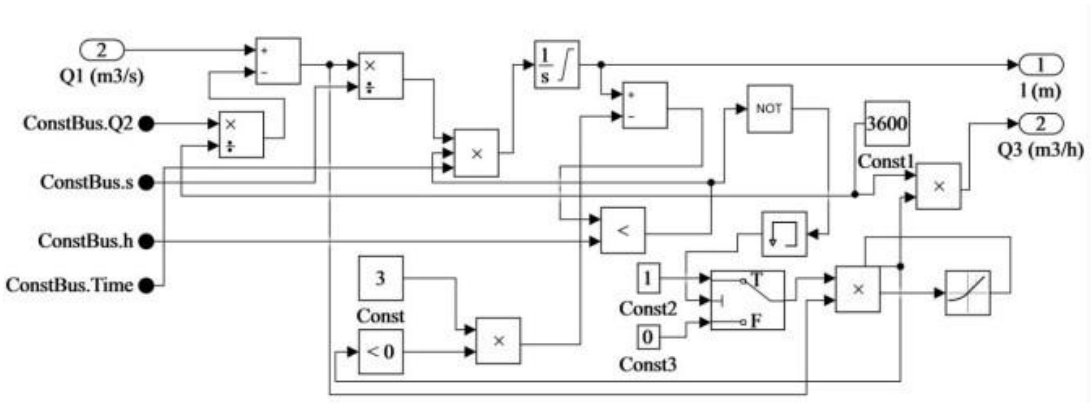


Рисунок 3.9 – Reservoir

Система управління представлена у вигляді підсистеми, зображеної на рисунку 3.10. Її структура є гнучкою та складається з кількох звичайних блоків ПІД-регуляторів.

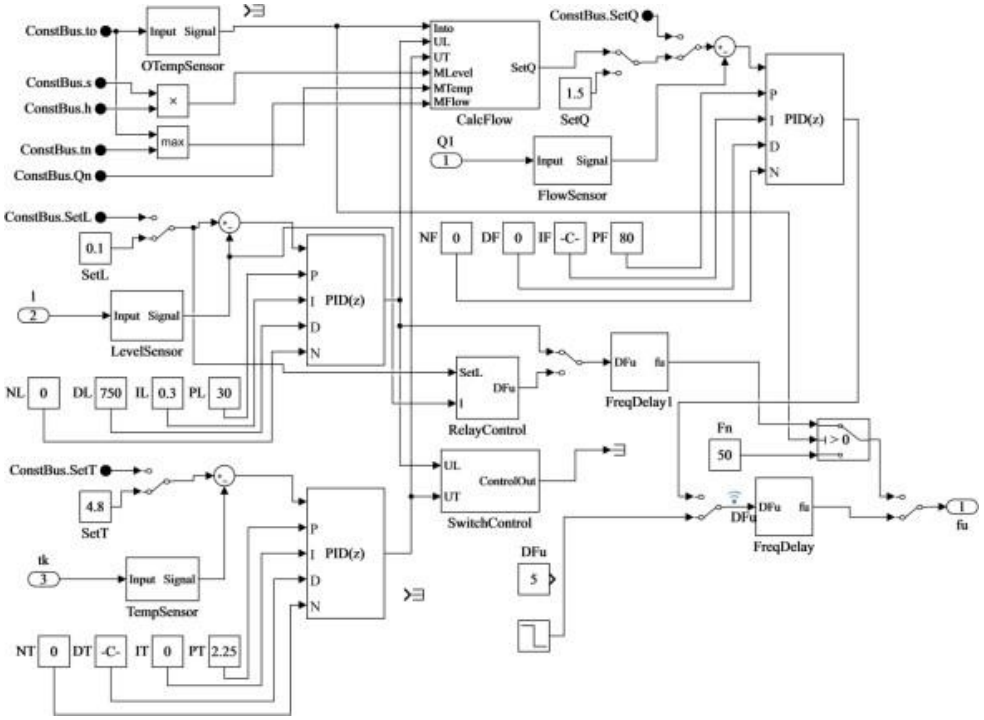


Рисунок 3.10 – Системи управління

Для моделювання дискретних режимів роботи системи керування необхідно квантувати та дискретизувати вхідні сигнали [33]. Окрім цього, можливі спотворення інформації через вимірювання датчиками. З цією метою було створено універсальний блок для моделювання роботи різних типів датчиків.

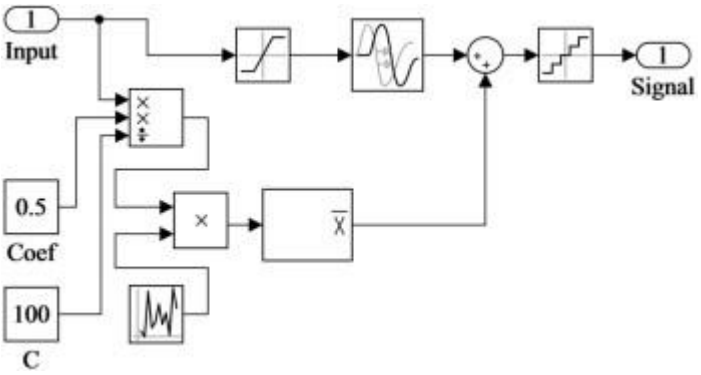


Рисунок 3.11 –Sensor

На рисунку 3.12 представлено аналіз ефективності різних регуляторів у забезпеченні стабільної подачі (використання) води в трубопроводі.

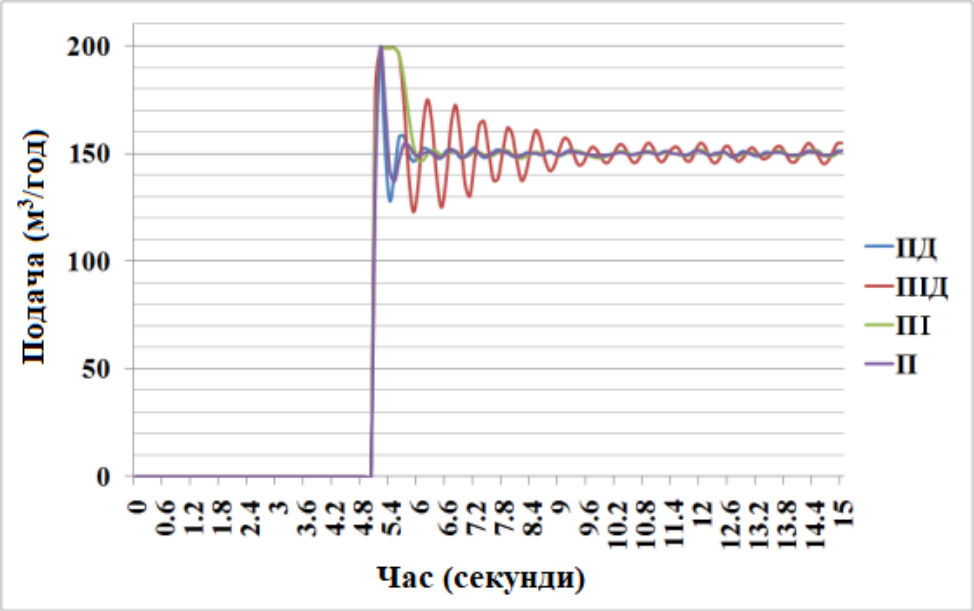


Рисунок 3.12 – Результат експерименту

Головні показники кожного правила для керування подачі (обсягу використання) показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники правил регулювання для подачі регулятора

Тип	Коефіцієнти	Макс. перерегулювання, %	Час затухання коливань, с
П	$K_P^Q = 165{,}5$	20	4,5
ПІ	$K_P^Q = 150{,}7,$ $K_I^Q = 425{,}2$	>20	3,3
ПД	$K_P^Q = 200,$ $K_D^Q = 100{,}2$	20	4.9
ПІД	$K_P^Q = 200,$ $K_I^Q = 1004,$ $K_D^Q = 100{,}4$	>20	-

Найбільш перспективним є ПІ-регулятор, оскільки він забезпечує швидке зменшення коливань регульованої величини. На рисунку показано, що використання повного ПІД-закону спричиняє "розхитування" мережі, що є неприйнятним за даних умов.

Аналіз частотного впливу під час керування подачі показав, що на етапі розгону двигуна частота ПІ та ПІД-регуляторів різко зростає, перевищуючи максимально допустиме значення. У зв’язку з цим було вирішено зменшити регулюючий вплив штучно, встановивши максимально допустиме значення, яке може забезпечити ЧП, — 50 Гц.

На рисунку 3.13 представлено графік зміни регулюючого впливу під час керування подачі: без обмеження (fuQ) та з обмеженням до максимально допустимого значення (fucutQ).

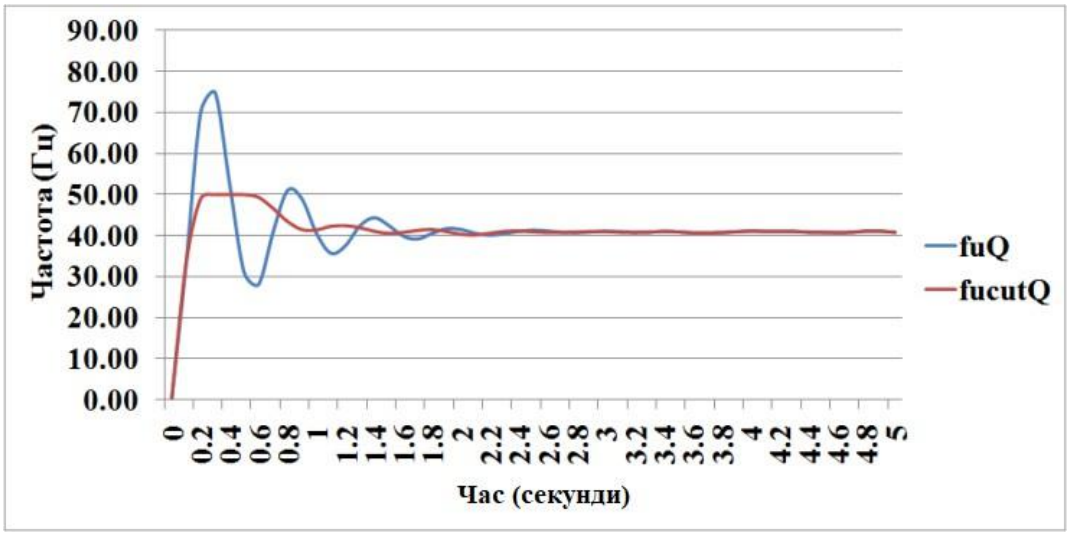


Рисунок 3.13 – Регулюючий вплив при керованій подачі

Введення лімітів на регулюючий вплив дозволяє суттєво зменшити початкове перерегулювання і покращити якість регулювання. Цей підхід можна застосовувати й до інших регуляторів які знаходяться в системі.

Для регулювання подачею вибрано ПІ-регулятор із лімітів до максимальної розміру регулюючого впливу.

Його показники становлять:

- максимальне перерегулювання — 24%;
- період затухання головних коливань — 3,3 секунди.

На малюнку 3.14 представлено розгляд праці різних регуляторів для підтримання температури води на виході трубопроводу. Встановлене значення температури (SetT) становить 4,82 °C. Головне збуренням є температура зовнішнього середовища (to), яка дорівнює -8.5 °C, а температура на початку трубопроводу (tk) становить 5.5 °C. Початкова температура води на виході трубопроводу складає 0,4 °C.

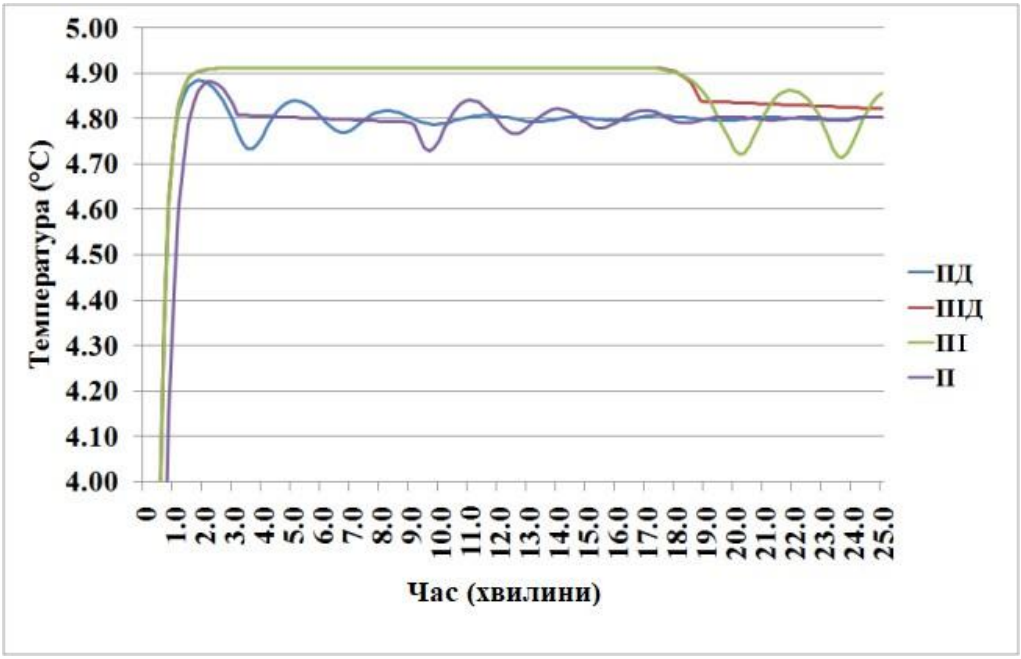


Рисунок 3.14 – Підсумок регулювання температури води в трубопроводі.

Основні показники всіх правил керування температури показані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Показники правил регулювання для регулятора температури.

Тип регулятора	Коефіцієнти регулятора	Максимальне перерегулювання, %	Час затухання, хв
П	$K_P^T = 4{,}76$	1,5	13.3
ПІ	$K_P^T = 4{,}276,$ $K_I^T = 0{,}04$	>2	>20
ПД	$K_P^T = 5{,}8$ $K_D^T = 927{,}25$	1,5	19
ПІД	$K_P^T = 5{,}8$ $K_I^T = 0{,}09$ $K_D^T = 927{,}25$	>2	>20

У цьому випадку найкращим є П-регулятор, оскільки він створює мале перерегулювання та швидке гасіння коливань регульованої величини. Найбільше перерегулювання складає 1,5%, а частота гасіння головних коливань — 13.3 хвилин.

На рисунку 3.15 показано розбір праці різних регуляторів для піддержування водного рівня у резервуарі для зберігання.

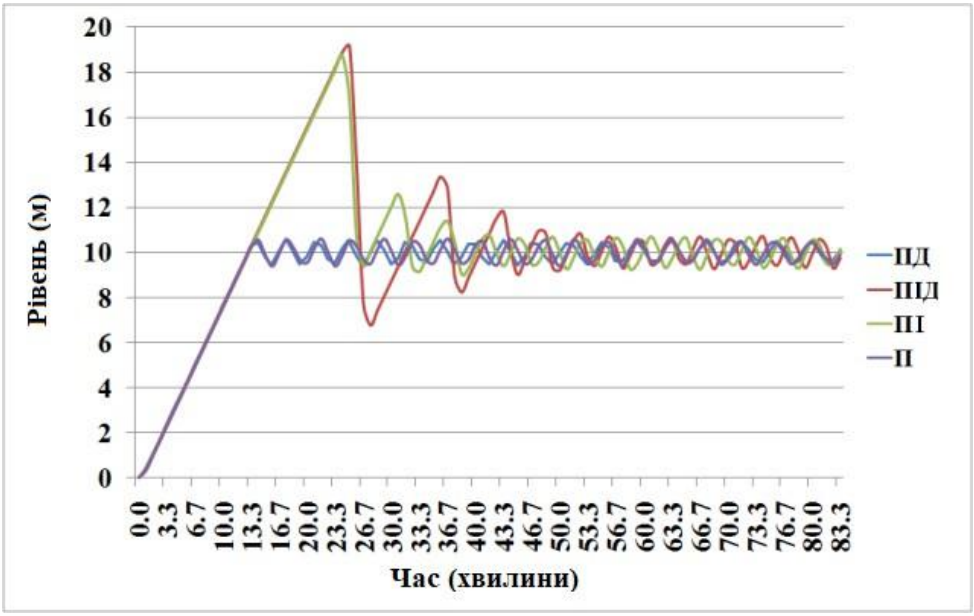


Рисунок 3.15 - Підсумок регулювання за рівнем води в трубопроводі

Головні характеристики всіх правил для керування рівнем води що наводиться в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики всіх правил для керування рівнем

Тип	Коефіцієнти регулятора	Максимальне перерегулювання, %	Період коливань, хв
П	$K_P^L = 26$	0,5	3,3
ПІ	$K_P^L = 22{,}3$ $K_I^L = 0{,}16$	7,8	5,8
ПД	$K_P^L = 5{,}8$ $K_D^L = 927{,}25$	0,5	1,5
ПІД	$K_P^L = 5{,}8$ $K_I^L = 0{,}09$ $K_D^L = 927{,}25$	8,2	4,2

Так як велика інерційність процесу заповнення басейну ускладнює усунення коливань керованого виміру, треба обрати регулятор, який зробить найдовший період коливань регульованої величини. Це дозволить зменшити негативний вплив постійних перетворень керованого параметра. Таку вимогу виконує П-регулятор.

Проаналізувавши графіки використаної електричної потужності, показані на рисунку 3.16, можна помітити велике зменшення середнього значення цієї характеристики для запропонованої мережі керування.

Рисунок 3.16 – Використана потужність

Одержані дані показують середні характеристики економії використаної потужності завдяки негативним та позитивним температурам навколишнього довкілля через рівномірний розподіл. Зменшення коригованої вживаної потужності завдяки використання запропонованого способу регулюваня, порівняно до номінального порядку праці системи, приблизно дорівнює 78 %. У разі базового регелювання, яке враховує лише рівень, без керування температури води, при низьких температур навколишнього середовища для захисту водопроводу від проморажування піддержували максимальну роботу насосу. В результаті економія електричної енергії в цьому випадку є 23 %.

Отже, використання даного способу керування забезпечує зменшення використаної потужності на 55 % якщо порівняти з базовими методами, згідно з імітаційною моделлю. У справжніх умовах цей показник може

міняється в залежності від задач та порядку експлуатації постачання води [34].

Висновки до розділу 3

Створено метод управління системою постачання води із накопичувальним резервуаром, який передбачає одночасне обчислення двох управляючих сигналів: за температурою води на виході трубопроводу і по рівню води у басейні . Розрахунок сигналів виконується на основі ЗЗ від датчиків через два ПІД-контури. Потім ці сигнали масштабуються до розміру подачі за допомогою коефіцієнтів масштабування, та більший з них встановлює зміну насосної системи подачі. Ця уставка формує регулюючий вплив для ЧП.

В результаті імітаційного моделювання було встановлено, що для управління системою доцільно використовувати різні типи регуляторів для кожного керованого параметра. Для температури слід застосовувати П-регулятор із коефіцієнтом (K_P^T = 4,76). Для подачі оптимальним є використання ПІ-регулятора з коефіцієнтами K_P^Q =150,7 та K^Q =425,2 для рівня води найбільш ефективним виявився П-регулятор із коефіцієнтом K^L =20

Цей метод дозволяє зменшити використання електроенергії на 55 % у порівнянні зі стандартним підходом управління, який враховує лише один параметр.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Загальні етапи і цілі реалізації проекту

На початковому етапі створення стартап-проєкту важливо чітко визначити і обґрунтувати цілі для кожного етапу його впровадження. (таблиця 4.1)

Таблиця 4.1 – Цілі основних етапів

Етапи реалізації	Цілі
Початковий етап стартап-проекту	Дослідження потреб та запитів споживачів, суперечностей та технологічних недосконалостей діючих продуктів-аналогів конкурентного середовища
Етап обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї	Задоволення нових потреб споживачів, вдосконалення діючих технологій та устаткування
Етап аналізу конкурентного середовища	Виявлення можливих конкурентів-виробників, які виготовляють схоже обладнання або пропонують схожі технології та здійснення порівняльного аналізу техніко-економічних переваг та недоліків реалізації пропонованої ідеї
Етап обґрунтування ресурсного забезпечення проекту	Визначення необхідних матеріальних, трудових, капітальних ресурсів, ключових процесів, технології, обладнання та реалізації проекту в часі і просторі
Етап фінансового забезпечення реалізації проекту	Обґрунтування собівартості та ціни реалізації інноваційної ідеї
Інвестиційний етап реалізації стартап-проекту	Пошук потенційних інвесторів фінансування стартап-проекту
Маркетинговий етап реалізації проекту	Обґрунтування каналів збуту продукту стартап-проекту, залучення потенційних споживачів, формування необхідних сегментів ринку

4.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

Ідея стартап-проєкту є унікальною завдяки впровадженню двоканального ПІД-регулятора, який регулює подачу насоса на основі даних про температуру води в трубопроводі і рівень води в резервуарі. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити споживання енергії мережі постачання води.

Таблиця 4.2 – Актуальність і новизна ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Підвищення ефективності насосної установки І підйому	Системи постачання води	Зменшення споживання енергії на 55% у порівнянні з системами які не мають керованого ЕП
	Наукові дослідження	Покращення систем постачання води за допомогою ПІД-регулятора

4.3 Аналіз конкурентного середовища та сильні сторони ідеї проекту

Як конкуренти для ідеї будуть взяті технології регулювання плодотво́рності насосної станції використання водонапірних веж і шляхом дроселювання. Результати цього аналізу представлені в таблиці 4.3..

Таблиця 4.3 – Переваги ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Дроселювання	Водонапірна башта	Двоканальний ПІД-регулятор
1	2	3	4	
1	Енергетичне споживання та ефективність	Незначне зниження витрати води у порівнянні з номінальним режимом роботи виробляє до такого ж несуттєвого зниження енергетичне споживання.	Мінімальне енергетичне споживання досягається завдяки безперервній роботі в оптимальній робочій точці.	Зниження енергетичне споживання забезпечується завдяки регулюванню за трьома параметрами: рівнем води, температурою води і подачею.
2	Окупність	Найменш окупний бо має найгірші енерго-показники	Окупність >50 через високі капітало-втрати	Окупність 5-10 років

4.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту

Таблиця 4.4 Обґрунтування капіталовкладень на реалізацію проекту

Статті капіталовкладень	**Величина, тис. грн.**
Прямі матеріальні затрати	
– витрати сировини й матеріалів за винятком повернених відходів	410
– витрати палива й енергії	310
– інші матеріальні витрати	110
Прямі затрати на оплату праці виробничих працівників	
– заробітна плата працівників+ соціальні відрахування до Пенсійного фонду – 22%	1220
Загальновиробничі витрати	
– витрати на управління виробництвом (оплата праці управлінського персоналу всіх підрозділів підприємства + соціальні відрахування до Пенсійного фонду, тощо)	482
– витрати на техніку безпеки, охорону праці та довкілля	55
Всього капіталовкладень на реалізацію проекту	**2587**

4.5 Ключові види діяльності та ключові партнери

Основними етапами робіт під час модернізації насосних систем є:

- аналіз поточної системи і пошук її недоліків;
- розрахунок і вибір необхідного обладнання;
- доставка обладнання замовнику. Для неї існує партнерська організація Авто-Трл-Сервіс, яка спеціалізується на перевезенні великогабаритних вантажів;
- монтаж і настройка обладнання;

4.6 Прямі фінансові витрати

Таблиця 4.5 - Прямі фінансові витрати

№ п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна, грн	Кількість ресурсу	Потреба за місяць	Потреба за рік
1.	Витрати сировини й матеріалів	грн.	-	-	400400	4804800
2	Витрати купівельних і комплектуючих матеріалів	грн.	-	-	25050	300600
3	Електроенергія	грн. за кВт*год	2.65	6550	17357,5	208290
Всього, грн:					442807,5	5313690

4.7 Витрати на працю

Аналіз структури підприємства показаний у таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Структура ФОП

№ П/П	Посада	Форма оплати	Кількість працівників	Заробітна плата (грн.)		
				за місяць	за квартал	за рік
Адміністративно-технічний персонал						
1.	Директор	оклад	1	25000	75000	300000
2.	Інженер	ставка	1	15000	45000	180000
Всього				**50000**	**150000**	**600000**
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)				**11000**	**33000**	**132000**
ФОП				**61000**	**183000**	**732000**
Виробничий персонал						
1.	Електрогазозварник	ставка	3	30000	90000	360000
2.	Електромонтер	ставка	3	60000	180000	720000
Всього				**90000**	**270000**	**1080000**
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)				**19800**	**59400**	**237600**
ФОП				**109800**	**329400**	**1317600**
Всього ФОП				**170800**	**512400**	**2049600**

4.8 Інші прямі витрати

Прямі витрати також включають витрати на дослідження і створення, послуги сторонніх компаній, оплату комунальних послуг і оренди приміщення, втрати через брак з технічних причин, обслуговування кредитів, операційні курсові різниці, а також витрати на штрафи, списання безнадійної дебіторської заборгованості, неуступки та удержання об'єктів соціально-культурного призначення. Узагальнена інформація про ці витрати представлена в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Обґрунтування інших витрат

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн.	
		на місяць	на рік
1. Реклама	Угода	13000	156000
2.Оренда	Угода	35000	420000
3. Транспортування	Угода	10000	120000
всього:		58000	696000

4.9 Обґрунтування рентабельності ідеї стартап-проекту

Розрахунок вартості стартап-проекту в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Обґрунтування рівня рентабельності товару (послуги)

Статті витрат	Витрати, грн			
	на одиницю	на місяць	на квартал	на рік
1.Умовно-змінні витрати	663801	663801	1991403	7965612
2 Умовно-постійні (накладні) витрати	105850	105850	317550	1270200
3. Собівартість	769651	769651	2308953	9235812

Обґрунтування рівня прибутковості ідеї

Рівень рентабельності підприємства відображає відносну величину його прибутку. Для його розрахунку використовується спеціальна формула

$$N_{пр.} = \frac{П}{ВВ} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де П – прибуток підприємства, ВВ – валові витрати.

У ринковій економіці прибуток має враховувати відносини власності та інші фінансові зобов’язання, такі як виплата дивідендів акціонерам чи залучення кредитів. Узагальнена інформація представлена в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Обґрунтування рівня рентабельності послуги

Статті витрат	Од. вимір.	Значення показників.
1. Собівартість послуги	грн./рік	923590
Обсяг замовлень в рік (прогноз)	шт	12
2. Необхідний прибуток	грн./рік	94570
2.1. Кредитні засоби та їх обслуговування	грн.	37520
2.2. Засоби ФРВ	грн./рік	23010
2.3. Засоби ФСР	грн./рік	11510
2.4. Засоби ПФ	грн./рік	4610
2.5. Грошові виплати власникам підприємства	грн./рік	6890
2.6. Фінансовий резерв	грн./рік	2427.3
2.7. Податок на прибуток	грн./рік	8712.5
3. Необхідний рівень окупності товару	%	10,25%

4.10 Обгрунтування вартості виробництва інноваційної техніки

Податок на додану вартість (ПДВ) сплачують усі суб’єкти господарювання згідно з розділом 5 Податкового кодексу України. Він додається до вартості товару чи послуги, формуючи їхню ціну. Ставка ПДВ становить 20% від доданої вартості товару або послуги.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування ціни

Статті витрат	Одиниці вимірювання	Значення показників
1. Собівартість послуги на рік	тис.грн.	923,59
2. Норма рентабельності	%	10,25
3. Питомий прибуток	тис.грн./рік	94,58
4. Вартість послуг	тис.грн./рік	1018,16
5. ПДВ	тис.грн./рік	203,64
6. Відпускна ціна товару (послуги)	тис.грн./рік	1221,79

Для оцінки меж змін відпускної ціни в умовах свободного ринку потрібно провести маркетингове дослідження аналогічних продуктів. Підсумки такого дослідження представлені в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 - Порівняння цін з цінами конкурентних товарів-аналогів

Види ціни	Одиниці вимірювання	Показники
1. Розрахункова ціна послуг з ПДВ	грн	84845,8
2. Ринкові ціни товарів-аналогів на ринку (вартість потужнішого обладання)		
Мінімальна	грн	50000
Максимальна	грн	120000
Середня	грн	90000
3. Скоригована ціна реалізації	грн	85000

4.11 Цільові групи потенційних покупців

Вибір цільових груп потенційних покупців зведений у таблицю 4.12

Таблиця 4.12 - Вибір цільових груп потенційних покупців

№ п/п	Опис цільової групи покупців	Потенційний попит в межах цільового сегменту	Інтенсивність конкуренції в групі	Простота входу у групу
1	Села міського типу	Великий попит через із відсутністю обладнання	Середня	Середня
2	Промислові підприємства	Великий попит у зв'язку з необхідність збільшити Енергетичну ефективності	Велика	Висока

Як показано в таблиці 4.13, проникнення в цей сегмент є досить складним через велику кількість компаній, які працюють у цій галузі. Однак впровадження інноваційної технології створює значні можливості для успішного входу в цей сегмент

Таблиця 4.13 - Створення системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник послуг	Оптимальна система збуту
1	Аналітика	Аналіз стану системи постачання води	Просування товарів через інтернет
2	Проектування	Розрахунок проекту	Просування товарів через інтернет
3	Транспортування	Доставка замовнику	Просування товарів інтернет (веб-сайт компанії-партнера)
4	Монтаж і калібровка	Монтаж і налаштування обладнання	Просування товарів через інтернет

4.12 Бізнес-модель проекту

В таблиці 4.14 показано зміст бізнес-моделі інноваційного обладнання чи технології.

Таблиця 4.14 - Структура бізнес моделі впровадження енергоефективної обладнання (технології)

<table>
<tr><td rowspan="2">Ключові партнери:
“Авт-Трал-Серв”</td><td>Ключові види діяльності
Розробка та впровадження обладнання транспортування, монтаж та налаштування</td><td rowspan="2">Цінність пропозиції:
Зменшення використаної потужності у межах 20-55% яка залежитьвід від стану системи постачання води</td><td>Взаємовідносини з клієнтами
Інтернет</td><td rowspan="2">Споживчі сегменти
ФОП або ПП</td></tr>
<tr><td>Ключові ресурси:
Програмне забезпечення для розв’язків задач</td><td>Канали збуту
Продаж через інтернет</td></tr>
<tr><td colspan="3">Структура собівартості
1. Витрати разові (капітальні): 2587 тис.грн.
2. Витрати постійні 1270,2 тис.грн.
3. Витрати змінні: 7965,6 тис. грн
4. Собівартість послуги: 769,651 тис.грн.</td><td colspan="2">Потоки надходження доходу
Створення послуг для покращення систем постачання води</td></tr>
</table>

Період окупності інвестицій та додаткових капіталовкладень:

$$Т_{ок}=К/ГП = \mathbf{2587} \text{ тис. тис грн/ 442, тис. грн} = 5{,}85 \text{ роки}, \quad (4.2)$$

де ГП – середньорічна величина грошового потоку (економія експлуатаційних витрат) за певний період, грн.

Висновки з розділу 4

Проведений аналіз показав, що стартап-проєкт є дуже прибутковим. Це підтверджується низьким терміном окупності — 5,85 року, що значно менше середнього показника у сфері послуг (10–15 років). Додатковими перевагами є середній рівень інвестицій і висока вартість товару. Узагальнені результати наведені в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15 – Загальні результати

Показники	Значення
Річний випуск технології, од	12
Капіталовкладення, тис. грн.	**2587**
Собівартість послуг, тис. грн./рік	923,59
Ціна послуг, тис грн	1018,16
Прибуток, тис. грн.	94,58
Рентабельність, %	10,25
Період повернення капіталовкладень, років	5,85

ВИСНОВКИ

У магістерській вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення енергетичної, економічної ефективності промислових насосних систем та станцій. Для цього було створено метод і систему автоматичного управління ЕП насосних станцій, які рахують головні параметри, такі як зовнішня та внутрішня температури у трубопроводі та водний рівень у резервуарі .

В процесі виконання дисертаційної роботи було отримано такі результати:

У ході роботи отримано такі результати:

1. Виявлено, що головними мінусами використання мереж постачання води є перевантаження насосів і аварійні ситуації, зокрема замерзання трубопроводів.
2. З’ясовано, що перевантаження насосів найкраще прибирання за допомогою ЧР роботи ЕП-ів, що дозволяє зекономити понад 61 % електричної енергії в оптимальних обставинах.
3. Для запобігання від замерзання було запропоновано підтримувати постійну роботу насосів у поєднанні з теплоізоляцією та завчасним підігрівом води в трубопроводу.

Розраховано та створено комп’ютерну імітаційну модель мережі постачання води з її резервуаром. Під час експерименту розрахункові та експериментальні дані показали відхилення, що не переходять (4%) при нормальній області роботи насосної мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ТКАЧУК, О. А.; ТКАЧУК, А. О. Основні типи змін робочих характеристик насосних агрегатів водопровідних насосних станцій. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2006, 43-50.
2. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение: Проектирование систем и сооружений. Учеб. – М.: ACB, 2003.
3. JOKSIMOVIC, D., et al. Development and validation of system design principles for water reuse systems. Desalination, 2008,
4. ALEGRE, Helena, et al. Performance indicators for water supply services. IWA publishing, 2016.
5. УКРАЇНИ, Закон. «Про питну воду та питне водопостачання» від 12.01.2023 № 2887-IX. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text
6. RUD, N.; GURA, O. Якісне споживання та раціональне використання водних ресурсів. In: Economic forum. 2019. p. 105-113.
7. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ: Держстандарт України, 2013.- 280 с.
8. KAISER, Thomas F., et al. Analysis guide for variable frequency drive operated centrifugal pumps. In: Proceedings of the 24th international pump user's symposium. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories, 2008.
9. Schneider Electric. Easy Series Automation and Control Essentials Catalog. 2023.
10. SPERLICH, Alexander, et al. Energy efficient operation of variable speed submersible pumps: Simulation of a ground water well field. Water, 2018, 10.9: 1255.
11. MANCOSKY, Connor J. Evaluation of energy savings potential from deep well variable frequency drive installation. 2018. PhD Thesis.

12. РУБІНСЬКИЙ, Вячеслав; КОЙФМАН, Олексій; ФЕДОРЕНКО, Денис. Застосування частотно-регульованого приводу при управлінні витратою живильної води на випарну установку теплосилового цеху металургійного
комбінату. Наука та виробництво, 2020, 23: 397-406.
13. МОКІН, О. Б.; МОКІН, Б. І.; ШОКАРЬОВ, Д. А. До питання про характеристики частотно-регульованого електропривода з короткозамкненим асинхронним електродвигуном. Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2015, 35-39.
14. ЛИСИЧЕНКО, Л. М. Моделювання системи електромеханічних властивостей асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором при частотному регулюваннішвидкості на насосних станціях. Lighting Engineering & Power Engineering, 2011.
15. НЕНЯ, Анна Вікторівна. Особливості робочого процесу проміжного ступеня відцентрованого насоса. 2008.
16. КОПЕЙ Ігор Богданович. Оцінка, прогнозування та підвищення надійності обладнання штангових свердловинних насосних установок. 2020. PhD Thesis. Івано-Франківськ.
17. НЕДОСЄКОВ , К. М.. Цифровий синтезатор сигналів довільної форми. 2019. Master's Thesis. Сумський державний університет.
18. Вейнгер, А. М. Регулируемые электроприводы переменного тока.
Конспект вводных лекций [Текст] / А. М. Вейнгер. – М., 2009. – 102 с.
19. КРУШ, Петро Васильович; ШЕВЧУК, Наталія Анатоліївна. Стартап-проект. Рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації «Розроблення стартап-проекту». 2019.
20. Закон України «Про внесення змін до Податкового кодексу України щодо покращення інвестиційного клімату в Україні» від 21.12.2017 р. № 1797-VIII