Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕПА-18м
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

Горбань Андрій Сергійович
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц. Мошноріз М. М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 року

Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри д.т.н., проф.
_____ В. М. Кутін
“___” _____ 20__ року

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

Горбаню Андрію Сергійовичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи: Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання
керівник роботи Мошноріз Микола Миколайович, к.т.н.
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “___”____20__року №___
2. Строк подання студентом роботи _____
Строк подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи: кількість насосних агрегатів – 3шт; потужність насосних агрегатів: 370 Вт, 370 Вт, 50 Вт; ККД насосів – 0,8%; режим роботи системи водопостачання – тривалий; максимальна кількість води в резервуарі – 100 л.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Огляд літературних джерел за темою роботи. Підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Математична модель системи водопостачання. Лабораторний стенд для дослідження системи водопостачання. Моделювання роботи системи водопостачання. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень):
Загальні відомості про об’єкт дослідження. Мета роботи, постановка завдань дослідження. Класифікація систем транспортування води. Підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Алгоритм процедури енергоаудиту системи водопостачання. Енергоаудит системи водопостачання. Регулювання продуктивності насосної станції з метою узгодження режиму роботи станції та споживача. Узгодження режимів роботи електроприводів несосних агрегатів між собою. Метод електрогідравлічних аналогій. Моделювання систем водопостачання. Модель системи водопостачання. Лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання. Комп’ютерна модель лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання. Моделювання ефективності роботи системи водопостачання. Економічна ефективність запропонованих рішень.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доцент, Мошноріз М.М.		
Економічна частина	к. е. н., доцент, Мельничук Л. М.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
	Захист МКР		

Студент _____ Горбань А. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ М. М. Мошноріз
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Горбань А. С. Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 132 с. Бібліогр.: 37. Іл.: 33. Табл.: 14.

В магістерській кваліфікаційній роботі було систематизовано способи підвищення ефективності роботи систем водопостачання. Розроблено математичну модель системи транспортування води. Побудовано математичну та комп’ютерну моделі конкретної системи водопостачання і виконано перевірку запропонованих способів. Комп’ютерне моделювання дозволило зробити висновок про справедливість розглянутих і запропонованих способів підвищення ефективності роботи системи водопостачання.

Ключові слова: ефективність роботи, система водопостачання, електропривод, гідравлічна схема, лабораторний стенд, математична модель, комп’ютерне моделювання.

АНОТАЦИЯ

Горбань А. С. Способы повышения эффективности работы системы водоснабжения. Магистерская квалификационная работа. – Винница: ВНТУ, 2019. – 132 с. Библиогр.: 37. Ил.: 33. Табл.: 14.

В магистерской квалификационной работе были систематизированы способы повышения эффективности работы систем водоснабжения. Разработана математическая модель системы транспортировки воды. Построена математическая и компьютерная модели конкретной системы водоснабжения и выполнено перевирку предложенных способов. Компьютерное моделирование позволило сделать вывод о справедливости рассмотренных и предложенных способов повышения эффективности работы системы водоснабжения.

Ключевые слова: эффективность работы, система водоснабжения, электропривод, гидравлическая схема, лабораторный стенд, математическая модель, компьютерное моделирование.

THE SUMMARY

Gorban A. Ways to increase the efficiency of water supply. Master's qualification work. - Vinnitsa: VNTU, 2019. - 132 p. Bibliogr.: 37. Ill.: 33. Tabl.: 14.

In the master's qualification work were systematized ways to improve the efficiency of water supply systems. A mathematical model of the water transportation system has been developed. The mathematical and computer models of the specific water supply system were constructed and the proposed methods were tested. Computer simulation made it possible to conclude on the validity of the considered and proposed ways of improving the efficiency of water supply system.

Keywords: efficiency, water supply system, electric drive, hydraulic diagram, laboratory bench, mathematical model, computer simulation.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ 11
1.1 Різновиди систем водопостачання 11
1.1.1 Система водопостачання на базі станції першого підйому 16
1.1.2 Система водопостачання на базі станції другого підйому 18
1.1.3 Система водопостачання на базі станції третього підйому 19
1.1.4 Система водопостачання закритого типу (циркуляційні) 20
1.1.5 Системи водопостачання каналізаційного типу 22
1.2 Режими роботи системи водопостачання 23
1.2.1 Система водопостачання зі стабілізацією продуктивності 25
1.2.2 Системи водопостачання зі стабілізацією тиску 28
1.2.3 Система водопостачання з функцією підтримання рівня 31
2 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ 33
2.1 Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання 33
2.2 Регулювання продуктивності насосної станції з метою узгодження режиму роботи станції та споживача 43
2.3 Узгодження режимів роботи електроприводів насосних агрегатів між собою 48
2.4 Узагальнення способів підвищення ефективності роботи насосної станції 53
3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ 56
4 ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ 63
5 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ 71
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 91

6.1 Визначення капітальних вкладень 92
6.2 Розрахунок основного фонду заробітної плати 93
6.2.1 Визначення чисельності персоналу 93
6.2.2 Розрахунок заробітної плати 94
6.3 Розрахунок експлуатаційних затрат 96
6.4 Розрахунок економічної ефективності 101
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 103
7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації електропривода . 103
7.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць 103
7.1.2 Електробезпека 108
7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії 111
7.2.1 Мікроклімат 111
7.2.2 Склад повітря робочої зони 112
7.2.3 Виробниче освітлення 113
7.2.4 Виробничий шум 115
7.2.5 Виробничі вібрації 116
7.2.6 Психофізіологічні фактори 117
7.3 Дослідження стійкості роботи блоку керування системою водопостачання та електроприводів насосної станції в надзвичайних ситуаціях 118
7.3.1 Дослідження стійкості роботи блоку керування системою водопостачання та електроприводів насосної станції в умовах дії іонізуючих випромінювань 118
7.3.2 Дослідження стійкості роботи блоку керування системою водопостачання та електроприводів насосної станції в умовах дії електромагнітного імпульсу 121

7.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи керування та електроприводів системи водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій 123
ВИСНОВКИ 126
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 128
Додаток А. Технічне завдання 133
Додаток Б. Ілюстративні матеріали 137

ВСТУП

Актуальність. Вода є найважливішою речовиною на планеті. Вона виконує оснвну роль під час обміну речовин, є будівельним матеріалом для всіх живих істот, є середовищем існування більшості живих організмів тощо. Однією зі сфер використання води є житлово-побутовий сектор, де вода викотистовується для виробництва товарів, надання послуг теплопостачання, забезпечення життєво необхідної потреби. Постачання води відбувається системами централізованого водопостачання.

Система водопостачання — це комплекс гідравлічних споруд, які призначені для накопичення, очищення і транспортування води до споживача. У якості споживача може бути як один окремий об'єкт, наприклад квартира житлового будинку, так і декілька об'єктів. У випадках, коли споживач має велику територіальну протяжність та геодезичну висоту розташування, то влаштовують зонні системи водопостачання [1].

Існують різні системи водопостачання. Для спеціалістів з електромеханічних систем автоматизації важливо вивчити особливості роботи механізму та його вплив на електричний двигун. Часто у фахівців цієї галузі відсутня можливість провести натурний експеримент, оскільки системи водопостачання мають велике територіальне поширення (це розподілені системи), вони забезпечують функціонування життєвоважливих сфер існування людини (лікарні, школи, садочки, системи охолодження відповідальних механізмів тощо). Тому неможна виводити їх з експлуатації для проведення випробовувань. Для вирішення цього питання вдаються до імітації систем водопостачання з використанням математичного апарату.

Процес моделювання технічних систем став одним із способів отримання інформації про стан технічної системи в різних умовах роботи, особливого значення це набуває в житлово-комунальній сфері [1 – 8]. Особливе місце тут займає сфера водопостачання та водовідведення. Саме

під час транспортування води споживається найбільша кількість електроенергії. Відомі дослідження, у яких наводиться така інформація, що більшу частину електроенергії в світі споживають саме насоси та вентилятори [1]. Дослідження математичних моделей системи водопостачання дозволить обрати доцільний режим роботи системи, дозволить спрогнозувати момент виникнення несправності в системі, виявити місце виникнення несправності та вибрати оптимальний спосіб вирішення чи усунення несправності. За допомогою всього цього можна зменшити споживання електроенергії насосними станціями, отримати підвищення ефективності роботи системи водопостачання, зменшить втрати (витоки) питної води та підвищить рівень комфортності споживача. Таким чином, розглянуте питання є актуальним [2].

Метою роботи є підвищення ефективності роботи системи транспортування води за рахунок раціонального керування електроприводами насосних станцій.

Об'єктом дослідження є процес транспортування води у системі водопостачання при якому досягається висока ефективність роботи системи водопостачання.

Предметом дослідження є математична модель системи водопостачання та методи підвищення ефективності роботи системи водопостачання.

Для досягнення заданої мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:

1. Провести аналіз існуючих систем транспортування води з метою виділення основних елементів, основних режимів роботи та основних способів підвищення ефективності роботи систем транспортування води.

2. Розробити комплексний підхід до моделювання існуючих систем транспортування води.

3. Розробити моделі основних елементів системи транспортування води з врахуванням комплексного підходу.

4. Розробити модель системи транспортування води.

5. Провести експеримент з метою підтвердження чи спростування існуючих способів підвищення ефективності роботи систем транспортування води.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: теорія чисел та чисельних методів; теорія алгоритмів; теорія інтерполювання функцій; методи комп'ютерного моделювання та імітації технологічних процесів тощо.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Отримав подальший розвиток метод побудови математичних моделей гідравлічних систем на основі електрогідравлічних аналогій, який на відміну від відомих дозволив побудувати моделі основних елементів системи транспортування води та пов'язати їх вхідні і вихідні характеристики між собою, що дозволить забезпечити універсальність математичного апарату для опису систем транспортування води та прискорить процес побудови математичних моделей всієї системи.

2. Розроблено математичну модель системи водопостачання, яка реалізована на лабораторному стенді, яка на відміну від відомих може бути трансформавана до математичної моделі будь-якої системи водопостачання, що дозволяє спростити та прискорити процес проведення експерименту з метою підтвердження наукових гіпотез, виявлення несправності, прогнозування енергоспоживання, підбору елементів тощо.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

1. Розроблено алгоритм роботи пристрою моніторингу системи водопостачання, який на відміну від відомих враховує існуючі способи підвищення ефективності роботи системи транспортування води і можливі несправності в ній, що полегшує процес керування системою та прискорює процес прийняття рішення в перехідних режимах роботи.

2. Розроблено комп’ютерну модель системи водопостачання на основі лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання, яка на відміну від відомих може бути трансформавана до комп’ютерної моделі будь-якої системи водопостачання, що дозволяє спростити та прискорити процес проведення експерименту з метою підтвердження наукових гіпотез, виявлення несправності, прогнозування енергоспоживання, підбору елементів тощо.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів, отриманих за допомогою розроблених у роботі методів, з відомими, та збіжністю результатів математичного моделювання з результатами експерименту.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно розроблено фрагмент гідравлічної схеми лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання, а також математичну модель лабораторного стенда, яка використовувалася у роботі для порівняння з експериментальними даними.

Апробація результатів роботи. Результати роботи обговорювалися на таки науково-технічних конференціях:

1. Мошноріз М. М., Горбань А. С. Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання. XIVI Міжнародна конференція КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ (КУСС-2018), Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року.

2. Мошноріз М. М., Горбань А. С. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ. XLVII науково-

технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2018), Вінниця, ВНТУ, 21.03.2018 – 23.03.2018.

Публікації:

1. Мошноріз М. М. Розробка методики виконання лабораторних робіт на лабораторному стенді для дослідження систем водопостачання [Електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4483;
https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/21313?show=full.

2. Мошноріз Микола Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання [Електронний ресурс] / М. Мошноріз, А. Горбань // Матеріали XIV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – Режим доступу: http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22712.

3. Мошноріз М. М. Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання [Текст]/ М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Електротехніка та електроенергетика. - №1 (2019). - Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. - С. 52 - 60. ISSN 1607-6761 (print), ISSN 2521-6241 (online). DOI 10.15588/1607-6761-2019-1-5. Режим доступу: http://ee.zntu.edu.ua/article/view/165195.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Різновиди систем водопостачання

У побутовій сфері існує колообіг води. Схематично подамо його на рисунку 1.1.

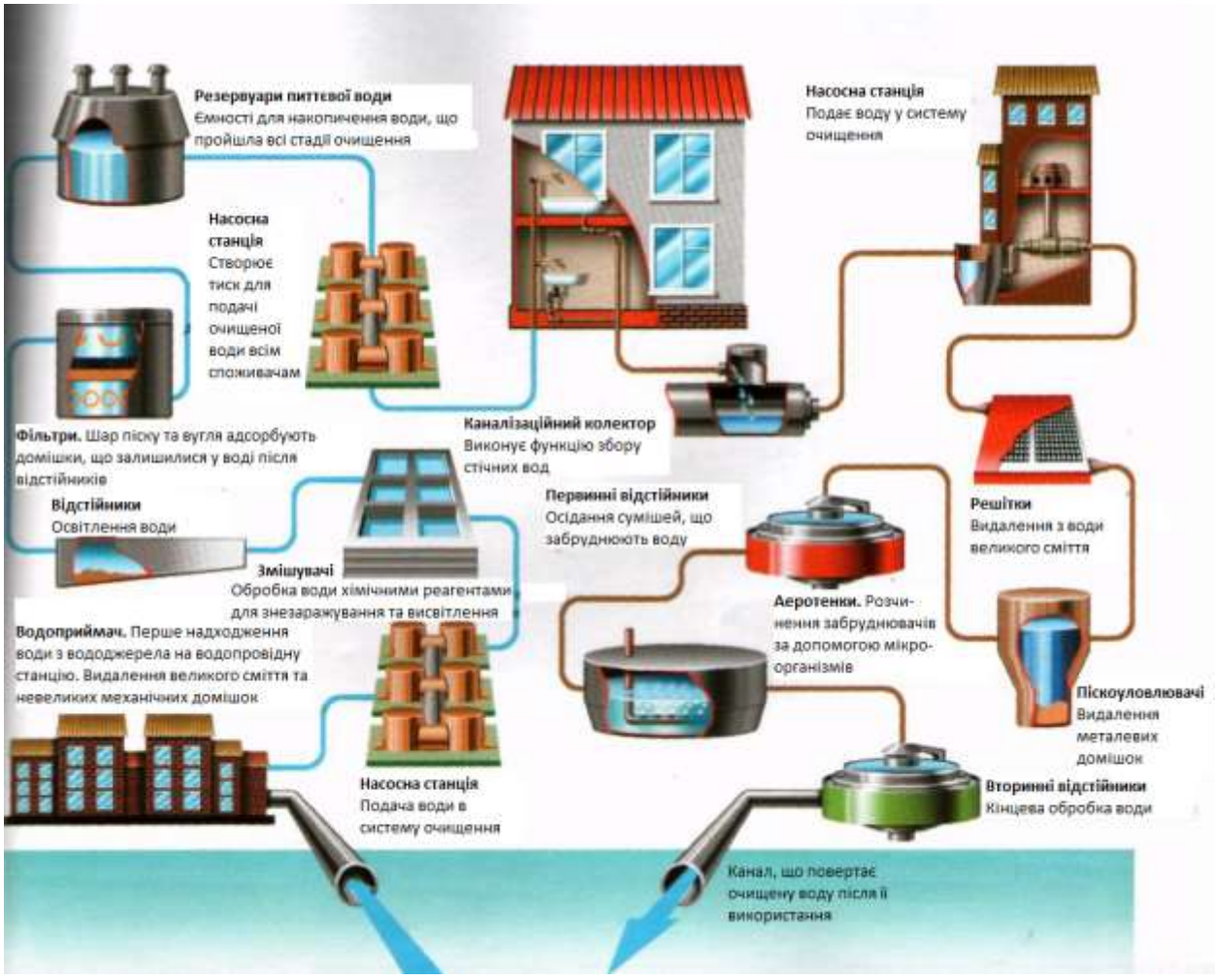


Рисунок 1.1 – Колообіг води

Вода відповідно до цього колообігу циркулює в різних напрямках і між різними споживачами та джерелами. Ця циркуляція відбувається по магістралях та проходить через певні елементи. Сукупність магістралей та

таких елементів, через які проходить вода під час циргуляції, називається системою транспортування води.

Транспортування води може бути з метою постачання води та з метою відведення води. В першому випадку отримаємо систему водопостачання, в другому – водовідведення. Якщо вода не постачається і не відводиться, а просто циркулює крізь елементи системи транспортування, то така система називається циркуляційною.

Системою водопостачання або водопроводом називають комплекс інженерних споруд, що виконують завдання водопостачання. Централізована система водопостачання населеного пункту або промислового підприємства повинна забезпечувати прийом води з джерела в необхідній кількості; забезпечити очищення води, якщо це необхідно (тобто доведення її якості до потрібного рівня показників), передачу до обслуговуваного об'єкта і подачу споживачу під необхідним тиском. З цією метою в систему водопостачання включені такі елементи (рис. 1.2):

1) споруди приймання води (водозабори, водозабірні споруди), призначені для прийому води з вибраних для даного об'єкта природних вододжерел;

2) насосні станції (споруди підняття води), що створюють тиск для передачі води на очисні споруди, до акумулюючих ємностей або до споживачів;

3) насосні станції (НС) 1 підйому (для передачі води від водозабору (джерела) на очисні споруди); НС 2 підйому – для передачі очищеної води з резервуару чистої води (РЧВ) в магістральні водоводи і далі в розподільну мережу; наступні НС влаштовують при необхідності для створення необхідного тиску в трубопроводах;

4) водоочисні споруди, призначені для покращення властивостей води і доведення її якісних показників до вимог споживачів;

5) ємності і водонапірні башти, які є запасними і регулюючими резервуарами;

6) водорозподільні мережі, магістральні трубопроводи (водогони), призначені для передачі води до місць її розподілу і споживання; магістральні водоводи транспортують основну кількість води від очисних споруд до об'єкта водопостачання;

7) мережі розподілу води, що подають воду безпосередньо споживачам на території обслуговуваного об'єкта.

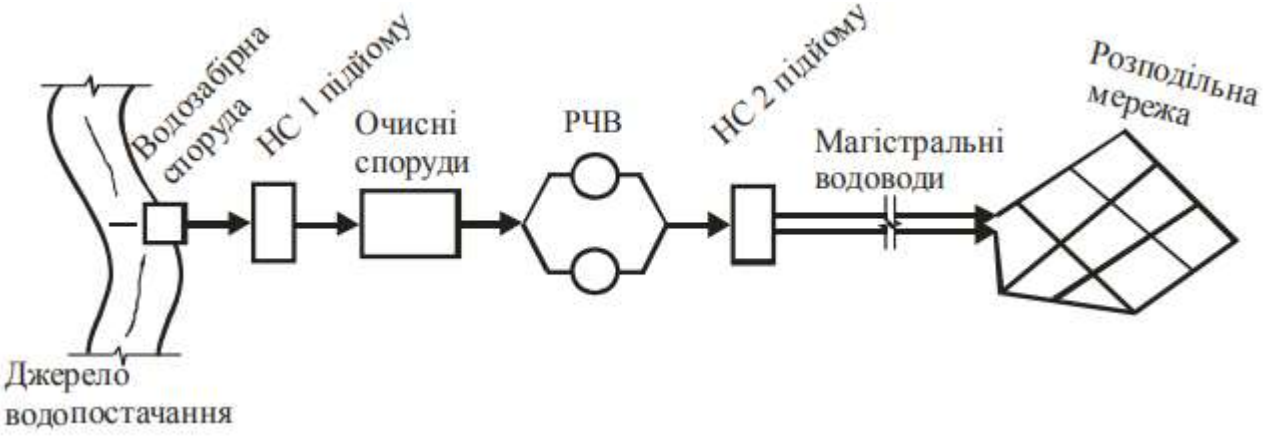


Рисунок 1.2 – Принципова схема водопостачання

Взаємне розміщення елементів системи водопостачання та їх наявність можуть бути різними. Це залежить від призначення, місцевих природних умов, вимог водоспоживання або виходячи з економічних міркувань. Так, НС 1 підйому може бути поєднана з водоприймальною спорудою або об'єднана в одній будівлі з НС 2 підйому, але частіше вони розташовуються окремо. НС 2 підйому може бути з'єднана в одному блоці з водоочисними спорудами і РЧВ або розміщена в окремій будівлі. Комплекс водоочисних споруд, РЧВ і НС 2 підйому можуть бути розташовані в безпосередній близькості від вододжерела або, навпаки, віддалені від нього і наближені до споживача.

Щоб правильно вибрати схему і джерело водопостачання, треба мати в своєму розпорядженні дані про водоспоживання, знати вимоги, що ставляться до якості води, мати відомості про тиск, під яким вона повинна подаватися споживачеві, про наявні природні вододжерела в районі проектування. Значний вплив на схему водопостачання має вибране вододжерело; його вид (поверхневий – відкриті водоймища, тобто річки, водосховища, озера, моря, або підземний – грунтові й артезіанські води, джерела), потужність, якість води, відстань, на яку воно віддалене від водоспоживача, і т.д.

У ряді випадків при використанні підземних (артезіанських) вод потреба в поліпшенні їх якості відпадає, що спрощує систему водопостачання, оскільки стає можливим відмовитися не тільки від очисних споруд, але і від РЧВ і НС 2 підйому. На рисунку 1.3 подано приклад системи водопостачання приватного жилого будинку, яка має фактично лише станцію першого підйому і ємність з водою.

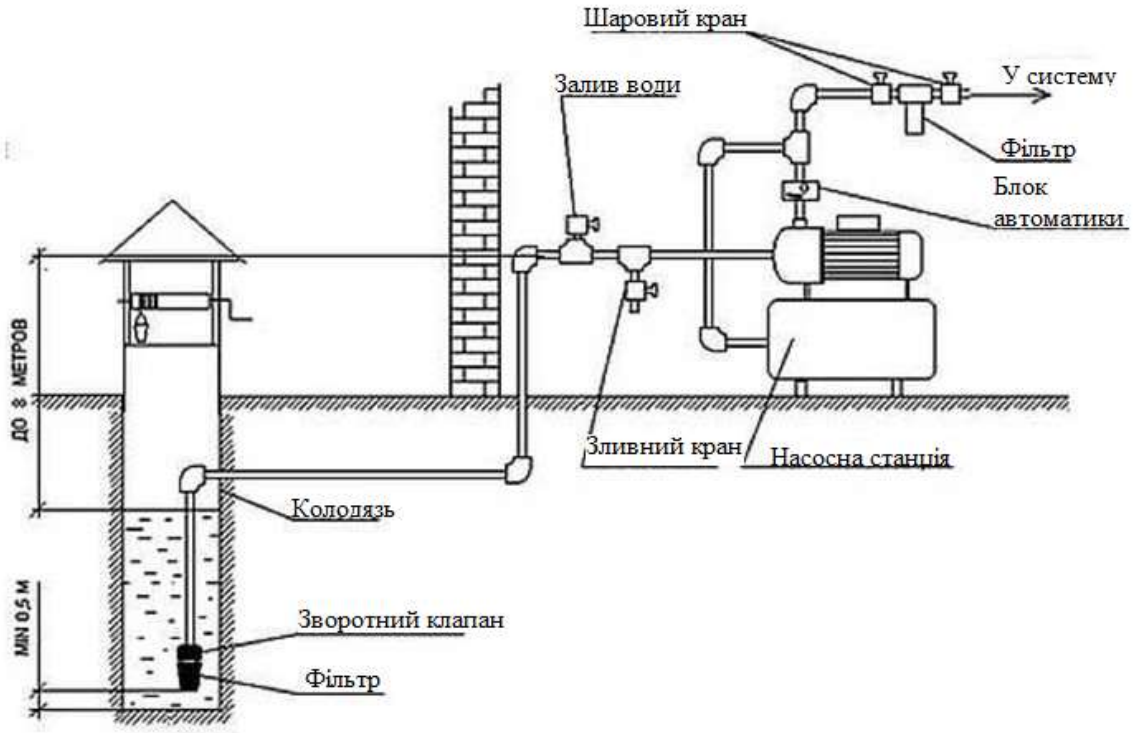


Рисунок 1.3 – Система водопостачання індивідуального будинку

У загальному випадку необхідність очищення води і визначення його технологічної схеми встановлюють шляхом порівняння даних якості води вибраного джерела з вимогами споживачів.

На рисунку 1.4 показані можливі схеми водопостачання з різних джерел.

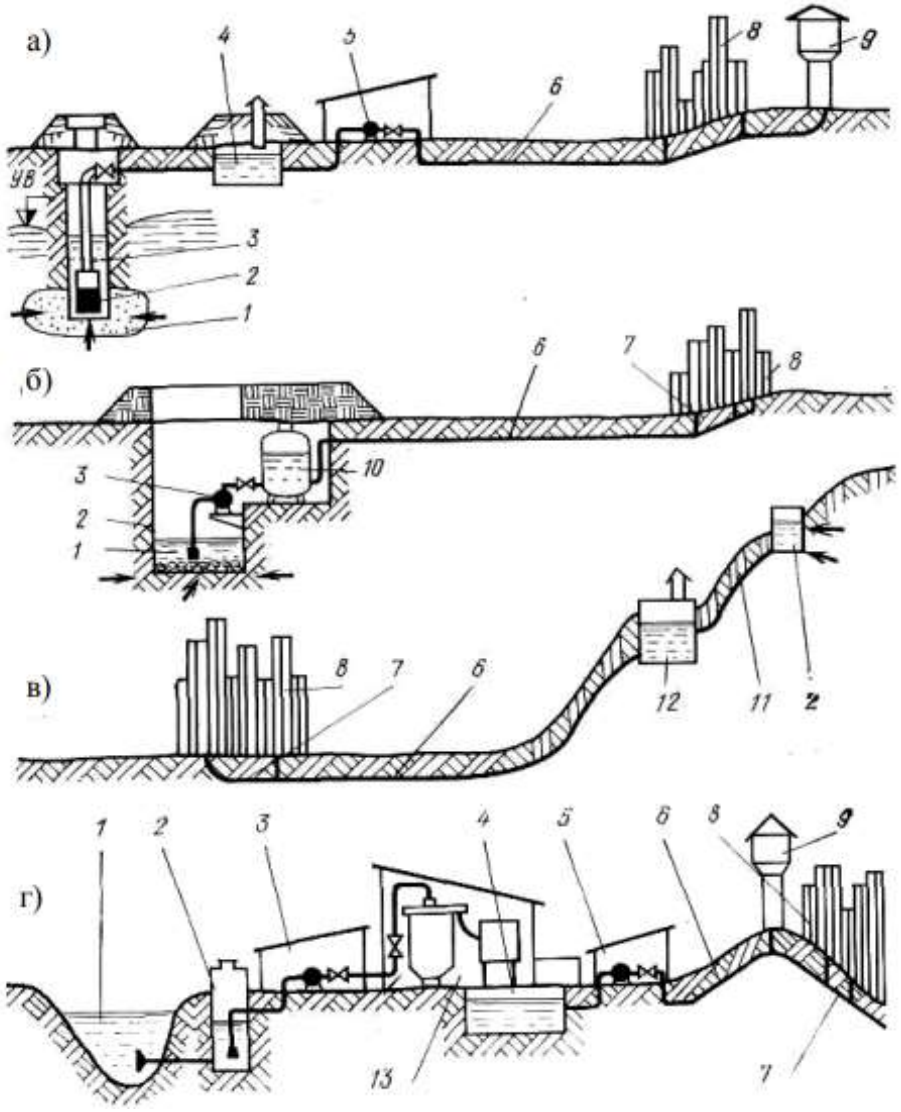


Рисунок 1.4 – Схеми водопостачання з підземного (а, б, в) і поверхневого (г) джерел

На рисунку 1.4 зображенні: а – схема з контррезервуаром; б – безбаштова схема; в – схема самотічного водопроводу з використанням каптажу; г – схема з прийманням води з річки; 1 – вододжерело; 2 – водозабірна споруда; 3 – НС 1 підйому; 4 – РЧВ; 5 – НС 2 підйоми; 6 – напірні водоводи; 7 – розподільна мережа; 8 – водоспоживач; 9 – водонапірна башта; 10 - водоповітряний котел; 11 – самотічний водовід; 12 – напірний резервуар; 13 – водоочисні споруди.

До складу насосних станцій входять основні та резервні насосні агрегати, насоси спеціального призначення (протипожежні, дренажні та інші), а також допоміжне обладнання. Допоміжне обладнання забезпечує нормальну роботу робочих агрегатів (електрообладнання, підйомно-транспортні механізми, контрольно-вимірювальні та сигнальні пристрої тощо). Зазвичай, будівлі насосних станцій проектують в плані круглими або прямокутними.

За надійністю насосні станції діляються на три класи: I класу – не допускається перерва в роботі насосів, II класу – допускається короткочасна перерва, III класу – перерви в роботі на період ліквідації аварії [1].

За місцем розташування в системі водопостачання і призначенням станції розділяють на станції першого та другого підйому, підвищувальні та циркуляційні.

1.1.1 Система водопостачання на базі станції першого підйому

Для водопостачання використовуються підземні води (артезіанські або грунтові води), та поверхневі води річок, каналів, водосховищ і озер. використовується морська вода (для виробничого водопостачання), що вимагає будівництва особливих насосних станцій морського типу.

Таким чином, склад споруд насосної станції, їх тип і компонування будуть визначатися також і особливостями джерела водопостачання.

Відсутність в річці глибин, достатніх для пристрою і нормальної роботи насосної станції, вимагає підвищення горизонту води. Це

реалізується шляхом будівництва греблі. Вміст у воді джерела великої кількості зважених наносів потребує видозмінювати конструкції елементів станції для запобігання абразивного зносу обладнання або додавати ще одну споруду – відстійник.

Станції першого підняття призначені для перекачування води із джерела водопостачання на очисні споруди, а якщо очищення не потрібне, то в ємності чистої води. Для забезпечення стабільної роботи водоприймальних і очисних споруд насоси станції першого підйому розраховують на рівномірну подачу води на протязі доби.

На рисунку 1.5 показана конструкція насосної станції 1-го підйому [2].

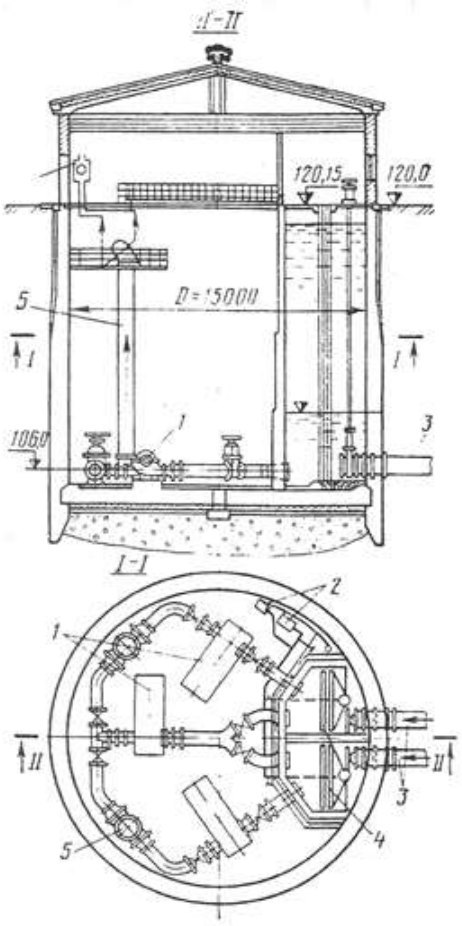


Рисунок 1.5 – Кругла заглиблена насосна станція першого підйому, об’єднана з камерою річкового водозабору: 1 – насоси; 2 – мулові насоси; 3 – самопливні лінії; 4 – сітки; 5 – напірний трубопровід

До складу насосних станцій І підйому, що забирають воду з відкритого вододжерела, входять:

- споруда для забору необхідного обсягу води з вододжерела і попереднього її очищення від забруднень;

- пристрої, що транспортують воду від водозабору до водоприймальної споруди насосної станції;

- водозбірна споруда, призначена для підведення води до втягуючих труб насоса;

- втягуючі труби;

- приміщення насосної станції з усім необхідним гідравлічним, механічним, енергетичним і допоміжним обладнанням;

- трубопроводи;

- споруда для випуску води з напірного трубопроводу в відвідний канал, на очисні або технологічні потреби.

При цілодобовій роботі станції першого підняття подачу насосів слід приймати рівною середньо-годинним витратам води за добу найбільшого водоспоживання з урахуванням витрат води на відновлення протипожежного запасу та власних потреб споруд для очищення води і системи водопостачання в цілому.

1.1.2 Система водопостачання на базі станції другого підйому

Станції другого підйомуперекачують воду із резервуарів чистої води до споживача. Оскільки споживання води на господарчо-питні потреби змінюється протягом доби, то насосні станції забезпечують подачу води з урахуванням цієї нерівномірності. Подачу насосів другого підйому зазвичай визначають за графіком водоспоживання і прийнятої схеми водопостачання (з водонапірною баштою або без неї) [2]. При цьому, необхідно враховувати, що при безбаштовій системі сумарна подача насосів другого підйому повинна бути не меншою за максимальні годинні витрати. Воду слід подавати споживачам не тільки в потрібній кількості та якості, а також і під

певним тиском (напором), який створює станція другого підйому і водонапірна башта разом.

Для забезпечення розрахункових витрат води на гасіння пожежі із зберіганням потрібного тиску слід передбачати, якщо це потрібно, встановлення протипожежних агрегатів або влаштування спеціальних протипожежних насосних станцій.

1.1.3 Система водопостачання на базі станції третього підйому

У системах водопостачання міського та пожежного типів нерідко можуть відбуватися перебої з подачею води. Для запобігання таких збоїв потрібна установка додаткового обладнання, яке сприяє постійному потоку води. Підвищувальні насосні станції призначаються для регулювання постійного тиску оптимального для якісного обслуговування водопровідних систем.

Підвищувальна насосна станція може бути декількох типів, вона може бути модульною, тобто досить компактною, для використання в приватному секторі і для обслуговування невеликих водопроводів. Так само станція може бути великою, для промислових масштабів, і вбудована в систему загального водопровідного обладнання.

Як правило, базова комплектація підвищувальної насосної станції включає таке обладнання: два насоси для безперервної роботи; два насоси, які є резервними, тобто запасними; система автоматики. Насосна станція підвищувального типу працює повністю в автоматичному режимі і не вимагає ніякого додаткового обслуговування. Як правило, установка такого типу станцій не вимагає ніяких додаткових навичок і знань у цій області, оскільки у продаж станція надходить, в більшості випадків, у готовому зібраному вигляді. Однак якщо це станція промислового характеру, то всі роботи по її монтажу проводять самі компанії-постачальники.

Основне призначення підвищувальної станції, це забір води з системи водопроводу, де видається низький напір і транспортування її за допомогою

роботи насосів у систему з підвищеним напором. Як правило, діаметр труби, який видає воду під високим тиском, дорівнює ста п'ятдесяти міліметрів. Сама схема, по якій відбувається рух води в підвищувальні станції, є колекторною, з двома трубопроводами.

Підвищувальна насосна станція має низку переваг. По-перше, вся робота станції є повністю автоматизованої, що виключає вплив на якість подачі води людського фактору. Монтаж установки не вимагає спеціальних навичок і сама станція є досить невибагливою в роботі, не вимагає спеціального обслуговування. Робота станції може здійснюватися за допомогою найбільш зручного для замовника приводу, навіть за допомогою дизельного двигуна. Підвищувальна насосна станція може бути оснащена додатковим комплектом устаткування, яке буде позитивно впливати на її ефективність. Таким обладнанням, як правило, оснащуються станції промислового типу, які здійснюють роботу на великих, масштабних системах водопроводу [3].

У число додаткового обладнання для подібного роду станцій можуть, входити різні системи. Тобто насосна станція може бути додатково забезпечена опалювальною системою, електропостачанням. Так само в комплектацію може входити додаткова арматура водопровідного характеру, вентиляційні системи, спеціальні фільтруючі установки.

Великою перевагою такого типу станція є також те, що вони можуть бути транспортовані до будь-якого необхідного місця. Вартість такого обладнання залежить від його безпосереднього розміру, тобто підвищувальні насосні станції невеликого розміру, які використовуються в побутових умовах, можуть коштувати від десяти тисяч гривень і вище. Станції промислового призначення мають вартість у багато разів вище.

1.1.4 Система водопостачання закритого типу (циркуляційні)

Це такі системи, у яких вода є носієм потреби. Типовим прикладом таких систем є система теплопостачання кварталу населеного пункту або

охолодження реакторів атомної станції. Тут вод не використовується споживачем безпосередньо, а повертається на станцію по камкнутому контуру. Для монтажу таких станцій не потрібно прив'язуватися до джерела водозабору, оскільки вони працюють по замкнутому контуру. Насосні станції закритого типу ще називають циркуляційними.

За принципом побудови циркуляційних водопровідних систем будуються системи оборотного водопостачання. У таких системах вода використовується споживачем, але повертається назад після процедури очищення.

На сьогоднішній день оборотне водопостачання – одне з найефективніших способів зниження забору води. З його допомогою можна забезпечити комфортне проживання, істотно знизивши при цьому витрати споживаної води і ступінь забруднення джерела. Якщо в будинку влаштовано автономне водопостачання, а в ролі джерела виступає свердловина, замкнутий контур здатний істотно продовжити термін його експлуатації [4].

Обов'язковою умовою пристрої даної системи є забезпечення доброї вентиляції і підтримки оптимального температурного режиму (+5°С) в приміщенні, де вона встановлена. Оборотне водопостачання передбачає встановлення потужних очисних споруд, що використовують різні принципи очищення (механічну, біологічну, хімічну). Для ефективної роботи мережі слід постійно контролювати показники, перевіряти їх відповідність діючим гігієнічним вимогам. Система потребує постійної дезінфекції та фільтрації води. Вирішуються ці завдання з допомогою спеціальних реагентів і фільтрів.

Опалення та гаряче водопостачання також можуть працювати за принципом системи закритого типу. Замкнуте водопостачання сприяє створенню умов для розвитку біоценозів. В результаті чого може виникнути корозія сталі, латуні, алюмінію, і, відповідно, погіршується склад води. Тому

у виборі труб для пристрою замкнутих мереж слід віддати перевагу пластику. Щоб запобігти біологічному обростанню слід періодично проводити промивку трубопроводів і баків. Комплексний захист від корозії і солевідкладень допоможуть здійснити поліалкіленгуанідіни.

Але система оборотного водопостачання має і ряд недоліків. По-перше, це вартість робіт і ціна обладнання. Подібні нетипові насосні агрегати, які важко знайти на доступному будівельному ринку. Велика кількість додаткових трубопроводів, фільтрів, насосів та іншого обладнання також збільшує вартість всієї мережі. Тому стандартна схема автономного водопостачання виходить набагато дешевшою. По-друге, це мала продуктивність, а, отже, і ефективність. Для обробки відпрацьованої води у зворотному контурі потрібен великий період часу (до доби). І, по-третє, недоліком є сфера застосування. Прихильники таких систем, заявляють, що воду після обробки можна використовувати повторно. Але тут дотримуються вказівок санітарних норм, що така вода придатна лише для технічних потреб, поливу, миття тротуарів і т.д, [4].

1.1.5 Системи водопостачання каналізаційного типу

За принципом побудови система водовідведення великого міста є ієрархічною структурою, яку можна вважати складною, розподіленою системою. Завдання системи водовідведення полягає в транспортуванні стічних вод від місць їх утворення до очисних споруд. В процесі експлуатації системи, нею необхідно керувати. Тобто в залежності від обсягів стічних вод, що надходять в мережу, треба приймати рішення щодо цілеспрямованого перерозподілу їх потоків по транспортних магістралях. Забезпечити це можна шляхом перемикання запірно-регулюючих пристроїв та управляючи насосними агрегатами системи. При цьому необхідно чітко дотримуватися параметру пропускної спроможності всіх трубопроводів.

На рисунку 1.6 подано систему водовідведення дощової води самопливного типу індивідуальної будівлі. У випадку, якщо територіальне

розміщення будівлі і ємності для стоків дозволяє самопливному руху стічних вод немає потребу в установці насосної станції. В інших випадках, коли воду потрібно перекачувати на більшу висоту, або швидкості її самопливного переміщення недостатньо для забезпечення нормального функціонування споживача, установка насосних станцій буде необхідною.

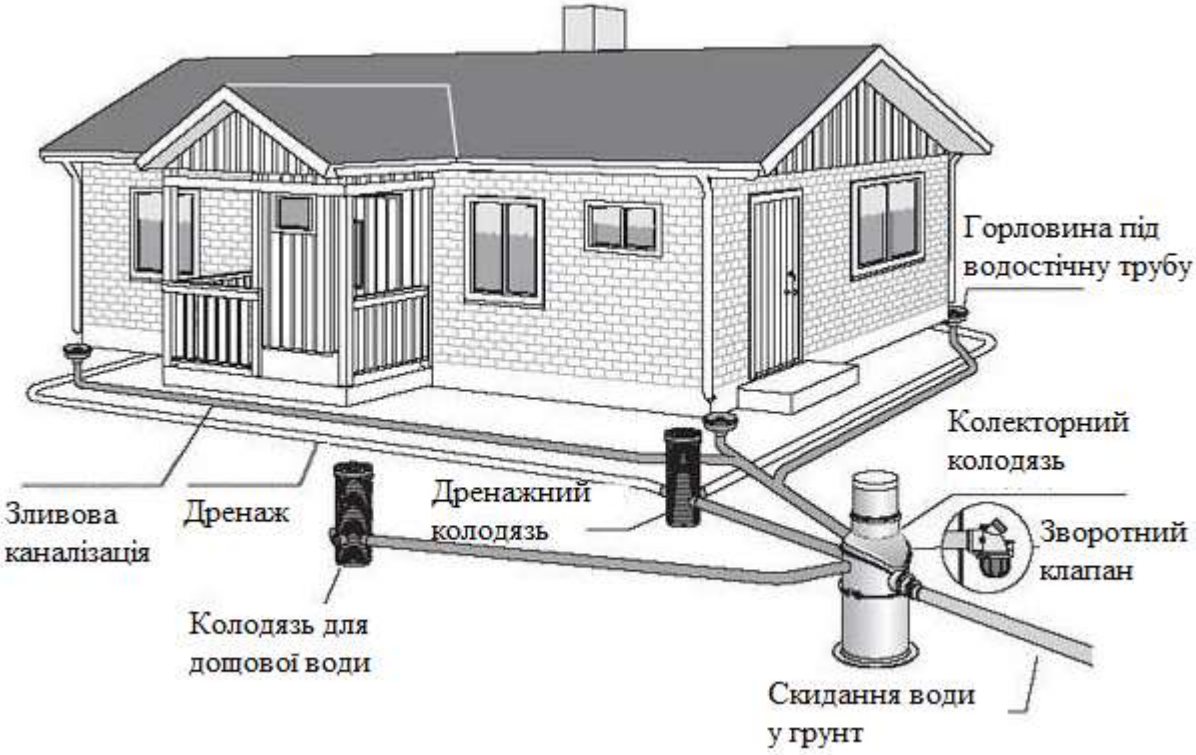


Рисунок 1.6 – Система водовідведення дощової води самопливного типу індивідуальної будівлі

1.2 Режими роботи системи водопостачання

Однією з актуальних проблем систем водопостачання є проблема непродуктивних втрат питної води в результаті аварій, розкрадань, недообліку, технологічних витрат на промивку водопровідних мереж, втрат води за рахунок дефектів трубопроводу, що не виявили та не усунули. Такі

втрати води (витоки) для деяких міст України складають до 50% обсягу води, що подаються, та ведуть до перевитрат електроенергії, реагентів, витрачених на підготовку питної води.

Ще одна актуальна проблема полягає в тому, що система водопостачання є однією з найбільш енергоємних у системі житлово-комунального господарства. Безперервне зростання тарифів на електроенергію і введення тризонного тарифу створили необхідні умови для розробки та впровадження ресурсних й енергозберігаючих технологій управління системою водопостачання.

Тому необхідно, щоб система водопостачання працювала враховуючи низку факторів які впливають на продуктивність, тиск, та рівень води в системі.

Важливо визначити два найбільш критичних режими роботи водопроводу: підтримку необхідного напору води при її максимальній витраті і обмеження напору при відсутності витрати. Вони і впливають на вибір продуктивності насоса, максимальний і мінімальний тиск у трубах, на матеріал і діаметр труб, на необхідність в додаткових ємностях і їх розмір, на можливість ускладнення водопроводу надалі - збільшення протяжності труб і числа споживачів. Придбання насоса з запасом по потужності хоч і вимагає додаткових витрат при складанні водопроводу, але в підсумку обійдеться в 5-7 разів дешевше, ніж заміна насоса через недостатню потужність при розширенні мережі.

Залежно від потреби у воді зі свердловини можна встановити найбільш раціональний режим роботи насоса, що знижує перевантаження і виключає перегрів двигуна. Вибір такого режиму на пульті управління здійснюється вручну або автоматично програмується.

Розглянемо систему водопостачання в різних режимах.

1.2.1 Система водопостачання зі стабілізацією продуктивності

При проектуванні водопроводів промислових підприємств режим витрачання води на виробничі потреби задається відповідно до технології підприємства графіком водоспоживання.

Складніше точно встановити режим водоспоживання водопроводів населених пунктів. Тут режим витрачання води визначається цілою низкою чинників побутового характеру, пов'язаних з режимом життя і трудової діяльності людей.'

Щоб правильно запроектувати режим роботи окремих елементів системи, необхідно задатися імовірним графіком водоспоживання протягом розрахункової доби найбільшого водоспоживання. Для цього необхідно враховувати коефіцієнти годинної нерівномірності., які розраховують за формулами:

$$К_{ч\,max} = \alpha_{max} \cdot \beta_{max}, \tag{1.1}$$

$$К_{ч\,min} = \alpha_{min} \cdot \beta_{min}, \tag{1.2}$$

де α – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будівель, режим роботи підприємства та інші місцеві умови ($\alpha_{max} = 1,2...1,4;\ \alpha_{min} = 0,4...0,6$),

β – коефіцієнт, що враховує число жителів у населеному пункті

$\beta_{max} = 4,5...1,6;\ \beta_{min} = 0,01...0,1.$

Це дозволяє визначити розрахункову величину максимальної годинної витрати протягом доби. Для доби максимального водоспоживання ця витрата складає:

$$Q_{сут\,max} = К_{ч\,max} \cdot Q_{max}, \tag{1.3}$$

де Q_{max} – середня годинникова витрата в добу найбільшого водоспоживання.

Величина Q_{max} представляє собою тільки водоспоживання на господарсько-питні потреби населення. Для одержання повної розрахункової максимальної добової витрати необхідно до отриманої величині $Q_{сут\,max}$ додати розрахункові витрати води на всі потреби промислових підприємств, які забирають воду з мережі міського водопроводу, а також на інші цілі, не передбачені нормами.

Слід зазначити, що витрата води протягом кожної години також коливається. Однак при розрахунку водопроводу умовно приймають, що витрата протягом години залишається постійним. Виходячи з такого припущення розрахункова витрати на годину максимального водоспоживання можна прийняти рівним:

$$q_{сут\,max} = Q_{сут\,max} / 3600. \qquad (1.4)$$

Для проектування водопроводу, крім максимальної годинної витрати, необхідно знати графік ймовірного коливання витрати води по годинах доби [7]. Вивчення режиму водоспоживання в населених місцях різного типу дозволило визначити для них характерні графіки коливання витрати протягом доби (рисунок 1.7).

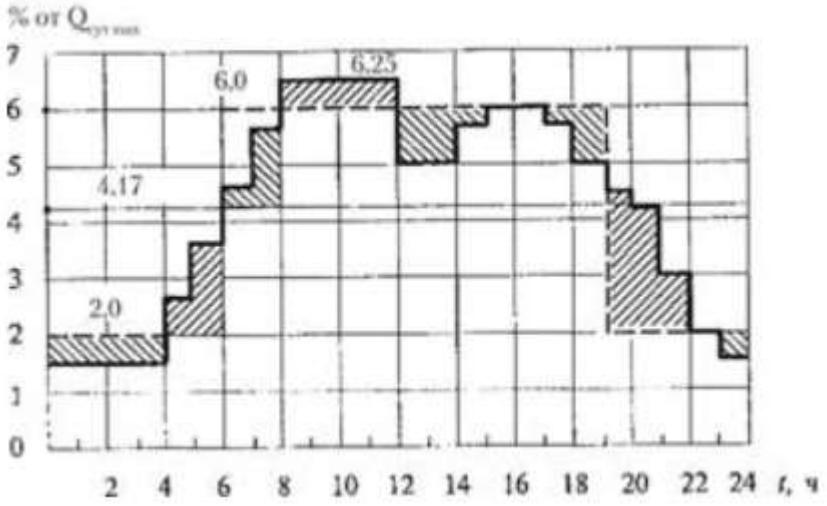


Рисунок 1.7 – Графік добового водоспоживання при коефіцієнті $К_{заг} = 1,25$

Коливання витрат води протягом доби на виробничі потреби промисловості диктуються особливостями технологічного процесу і способами споживання води, а також залежать від числа змін роботи підприємства в добу. Графік споживання води з міському водогоні на технічні потреби промислових підприємств приймають залежно від режиму забору ними води з мережі водопроводу.

Таким чином, при проектуванні міського водопроводу повинен бути складений загальний графік водоспоживання на господарсько-питні потреби населення і споживання води з мережі міського водопроводу промисловими підприємствами.

Основним вимірником кількості води, необхідної для водопостачання об'єкта, приймається добова витрата. Норми водоспоживання дозволяють визначити потребу у воді об'єкта, для якого проектується водопровід.

Величина ймовірної максимальної добової витрати в дні максимального водоспоживання міста чи селища є розрахунковою витратою, на подачу якого повинен бути розрахований проектований водопровід. Цю величину визначають за формулою 2.5.

$$Q_{сут\,max} = \frac{\sum q_ж \cdot N_ж}{1000}, \qquad (1.5)$$

де $q_ж$ – норма витрати води в літрах на одного жителя в добу найбільшого водоспоживання;

$N_ж$ – розрахункове число жителів, які мають прийматися у відповідності з проектом планування міста чи селища.

Для визначення повної добової розрахункової кількості води на господарсько-питні потреби міста чи селища до знайденої величини витрат повинна бути додана кількість води, необхідна на господарсько-питні потреби робітників під час їх перебування на виробництві.

Додатково повинні бути визначені витрати води на поливання площ, вулиць і зелених насаджень.

Витрата води на технологічні потреби промислових підприємств на території міста визначається промисловими нормами водовідведення.

На підставі обчислених витрат складається сумарна таблиця водоспоживання за добу максимального водоспоживання.

Після того як прийнято режим водоспоживання, встановлюють режим роботи окремих споруд водопроводу. Всі ці споруди повинні бути розраховані на роботу на добу максимального водоспоживання.

1.2.2 Системи водопостачання зі стабілізацією тиску

Дуже важливою величиною, яка характеризує роботу водопровідної мережі, є тиск, який вимірюється висотою стовпа води над поверхнею землі.

Вільний тиск у мережах господарсько-питного, виробничого та протипожежного водопроводу рекомендують визначати відповідно до вимог, при цьому нормуються такі показники. Зокрема, мінімальний вільний тиск у мережі водопроводу для одноповерхової забудови має становити не менше ніж 10 м (1 атмосфера), при більшій поверховості будівель – на кожен

поверх додають ще 4 м (0,4 атм). Максимальний тиск у мережі водопроводу не може перевищувати 45 м (4,5 атм). Відповідний тиск повинні забезпечувати насосна станція I або II підйому та засоби регулювання тиску (наприклад, водонапірна башта та ін.), оскільки в години максимального водоспоживання вода подається у мережу також із водонапірних башт. Належний тиск потрібно підтримувати в кожній точці мережі.

В якості засобів забезпечення тиску розглянемо такі варіанти:

- водонапірна башта;

- резервуар чистої води;

- частотно-регульована насосна станція (насосна станція з насосами з регульованим приводом);

- гідропневматична установка.

Практика засвідчує, що регулююча ємність баків водонапірних башт залежить від добової подачі й зазвичай становить від 2,5-3 до 5-6% добової подачі за нерівномірної (ступеневої) роботи насосів або 8-15% і більше за рівномірної цілодобової роботи насосів.

Водонапірні башти (рисунок 1.8) можна розміщувати і в початковій, і в інших точках мережі, зважаючи на рельєф місцевості та конфігурацію мережі.

За чинними нормами будівельного проектування, бак водонапірної башти в селищі, виконуючи функції регулюючого резервуара, також має вміщувати такий запас води, якого вистачило б на гасіння однієї внутрішньої та однієї зовнішньої (якщо йдеться про промислові підприємства – однієї внутрішньої) пожежі протягом 10 хвилин.

Інколи рельєф місцевості дає змогу будувати замість водонапірної башти напірний резервуар, який розміщують на підвищенні поблизу населеного пункту. Ємність таких водонапірних резервуарів визначають за тими самими принципами, що й місткість баків водонапірних башт.

Детальний розрахунок необхідної висоти, об’єму водонапірної башти, а також місця її встановлення зазвичай виконують на стадії розробки.

Рисунок 1.8 – Водонапірна башта Рожновського

Незважаючи на те, що системи водопостачання із водонапірними баштами широко використовують у населених пунктах, вони мають ряд недоліків.

1. Порівняно висока вартість башти та монтажних робіт (не менше 150 тис. гривень).

2. Враховуючи значну вартість нової башти, часто використовують існуючі башти, змонтовані або демонтовані, що зазвичай використовувалися раніше сільськогосподарськими підприємствами. Очікуваний термін експлуатації таких башт суттєво менший. Можна припустити, що через

нетривалий час знадобиться встановлювати нову башту, що потребуватиме додаткових коштів та інших ресурсів.

3. Більша (порівняно з іншими типами обладнання) частота обслуговування башти. Обслуговування необхідно здійснювати із періодичністю 1 раз на 2-3 роки: усунення течі, чищення, дезінфекція, фарбування, додаткове обвалування, ліквідація несправностей у роботі автоматики тощо). Це потребує значних витрат та ресурсів, через що не завжди такі заходи вчасно здійснюють. Територію поблизу башти в радіусі не менше 50 м необхідно утримувати у чистоті, захищеною та облаштованою, що робиться не завжди.

4. Вигода в наявності запасу води на випадок аварійного відключення електроенергії сумнівна. Струм може бути вимкнено у той момент, коли рівень води у башті знаходиться у нижчій точці або близько до цього.

5. Недостатня увага до обслуговування башти може призвести до несправності автоматики. Через це ймовірне часте переливання води і замерзання її на стінах у зимовий період. У свою чергу це може призвести до руйнування конструкції та падіння водонапірної башти.

6. Унаслідок розгерметизації башти та появи іржі у середині башти погіршується якість води. Використання башт із баками із пластику частково мінімізує проблеми, пов’язані з використанням башти як металевої конструкції [8].

1.2.3 Система водопостачання з функцією підтримання рівня

Такі системи водопостачання не мають чітких вимок до тиску чи продуктивності. У них не потрібно підтримувати названі параметри постійними чи змінювати за якимись алгоритмами. Тут стає важливо закачати чи викачати певну кількість води з/у резервуар. Особливістю насосних станційн таких систем є відсутність регулювання продуктивності. Зміна кількості води, що перекачується відбувається шляхом увімкнення/вимкнення насосних агрегатів на повну потужність.

Найважливішою характеристикою систем водопостачання у функції рівня є час перекачування певної кількості рідини. Зазвичай під цей час розраховують і потужність насосних агрегатів.

На насосних станціях таких систем може бути встановлено кілька насосних агрегатів, але частіше всього -- лише один. Два і більше насосів встановлюють на об’єктах, які мають високий рівень відповідальності. Наприклад система відкачування води з машинної зали насосної станції чи система подачі води на пожежогасіння тощо.

2 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Питання енергоефективності стало одним з найважливішиха у держаній програмі роботи промисловості та народного господарства України [4, 9 – 12]. Крім того, важливість його зростає у ситуації постійного зростання вартості енергоресурсів.

Виділимо три моменти, які на думку автора мають найбільший вплив на ефективність роботи систем водопостачання.

2.1 Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання

Будь яка насосна станція складається з системи насосних агрегатів, системи запірної арматури та системи трубопроводів. Режим роботи станції визначає або система насосних агрегатів, або система запірної арматури [13 – 15]. На даний по причині неефективності всі намагаються відмовитися від від впливу на режим роботи станції запірної арматури [16 − 21]. Це пов’язано з невиправданими затратами електроенергії при дроселюванні трубопроводу, з невиправданими гідравлічними ударами в трубопровідній мережі під час спрацювання запірної арматури, з більшим зносом ущільнюючих пристроїв насоса, електродвигуна та арматури при роботі на закриту засувку тощо. Таким чином, режим роботи станції намагаються задавати шляхом управління її насосними агрегатами.

Основним споживачем електричної енергії у системі водопостачання є насосна станція, тому питання підвищення ефективності енергоспоживання системи водопостачання зводиться до ефективності роботи насосної станції. Але ефективність роботи станції, в свою чергу, залежить від ефективності роботи всієї системи водопостачання. Розглянемо характерні проблеми у

системі водопостачання, які призводять до зменшення ефективності її роботи.

До падіння тиску біля споживача, підвищення тиску у ділянці трубопроводу призводять закупорки трубопроводів. Щоб підвищити тиск води біля споживача потужність насосної станції збільшують. Це призводить до ще більшого зростання тиску в трубі перед закупоркою. Робота насосної станції стає неефективною, оскільки вона стає споживати більше енергії, ніж до моменту закупорки. Крім того, надлишковий тиск у трубі призводить до завчасного виникнення тріщин у стінках трубопроводу, пошкодження ущільнень у місцях з'єднання елементів мережі, підсилення коливань тиску в трубі, які призводять до виникнення гідравлічних ударів, тощо.

Прорив трубопроводу так само призводить до падіння тиску біля споживача. Аналогічно, щоб підвищити тиск води біля споживача, потужність насосної станції збільшують. Ефективність роботи насосної станції зменшується, оскільки не вся вода, яку вона перекачує, доставляється споживачеві. По-перше, витік води призводить до втрати водяного ресурсу, що зараз стає все більш актуальною проблемою. Питання нестачі прісної води на планеті виходить у число перших проблем людства. Особливо актуально ця проблема постає у Подільському регіоні, де, практично, всі великі міста, отримують воду з поверхневих джерел. Число та наповненість річок і озер водою з кожним роком зменшується. По-друге, витік води призводить до підтоплення ділянки населеного пункту, де виник прорив труби. Для ремонту місця підтоплення припиняється потік води (частина жителів залишається без водопостачання), розкопується ділянка укладання трубопроводу, чим створюються незручності для руху транспорту та пішоходів, руйнується благоустрій тощо. Крім того, витік води з системи водопостачання населеного пункту призводить до посилення роботи його каналізаційної системи. Чим ефективність роботи системи водопостачання

додатково погіршується і невиправданими затратами електроенергії на роботу каналізаційної системи.

Відомо, що система водопостачання може складатися з таких основних елементів (рисунок 2.1): джерело водозабору 1, водоприймальна споруда 2, насосна станція першого підйому 3, очисні споруди 4, резервуар чистої води 5, насосна станція другого підйому 6, водоводи 7, водонапірна вежа 8 та мережа водопостачання 9 [14].

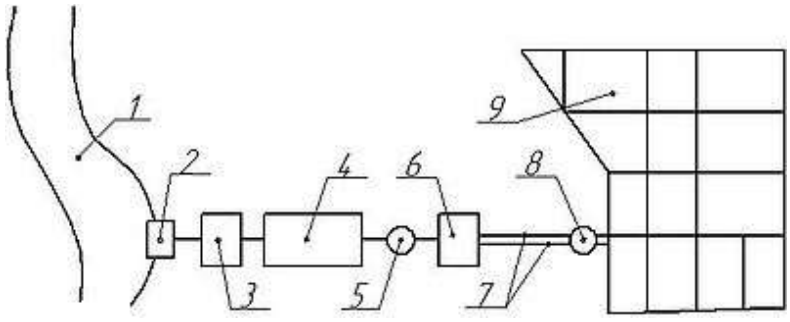


Рисунок 2.1 – Принципова схема системи водопостачання

На основі зображеної схеми системи водопостачання можна отримати будь яку систему водопостачання. Наприклад, у системі теплопостачання замість водонапірної вежі 8 буде розширювальний бак, а мережа водопостачання буде працювати у циркуляційному режимі. Тобто, вихід мережі буде з'єднаним зі входом насосної станції. На основі такої схеми можна представити і систему каналізації. Тільки у системі каналізації рідина буде збиратися у споживачів 9, самопливом стікати до резервуару 5 і насосною станцією 3 буде перекачуватися на фільтраційні поля 4. Таким чином, практично будь-яку систему водопостачання можна побудувати з елементів, які перелічені на рис. 1. Відрізнятимуться між собою системи водопостачання лише послідовністю слідування таких елементів, місцем їх розташування та наявністю чи відсутністю деяких комунікаційних з'єднань.

Енергетичний аудит конкретної системи водопостачання полягає у знаходженні способів підвищення енергоефективності роботи її елементів. У

даній статті сформуємо основні способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання.

Оскільки вся система водопостачання може бути дуже великою і складатися з багатьох елементів сформуємо алгоритм її попереднього енергоаудиту (рисунок 2.2) [4].

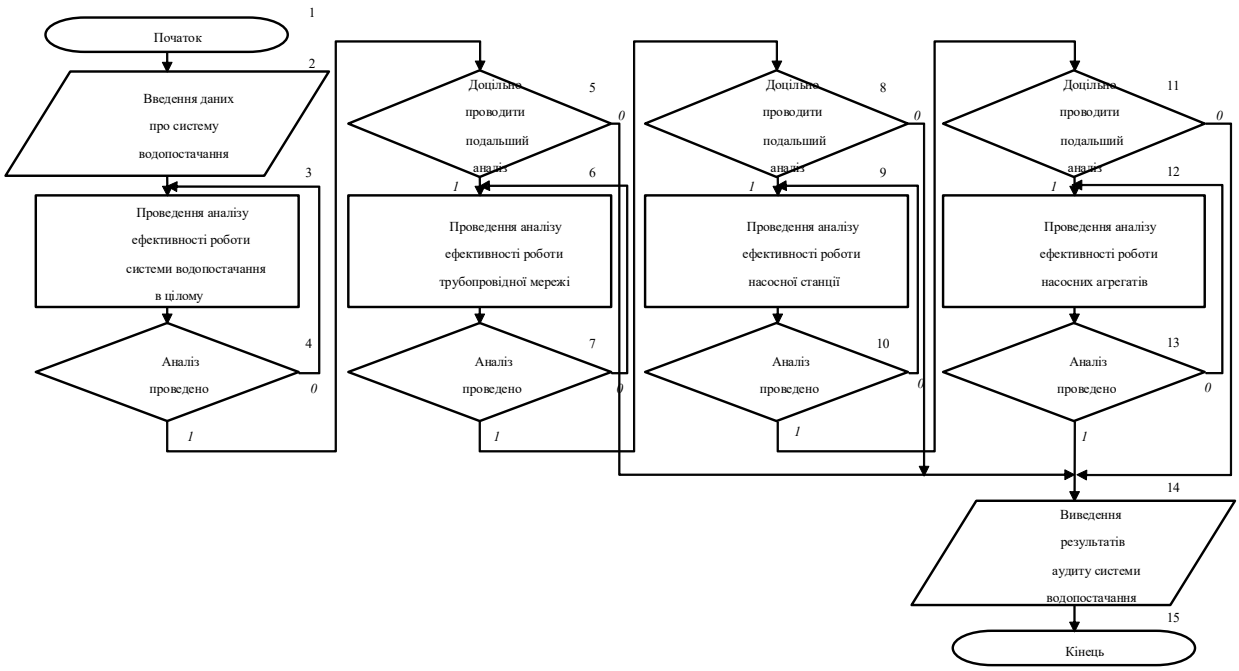


Рисунок 2.2 – Алгоритм попереднього енергоаудиту системи водопостачання

Представлений алгоритм дозволяє провести попередній аналіз існуючої системи водопостачання в автоматизованому режимі і знайти ті місця цієї системи, які потребують негайного втручання. Попередній енергоаудит будь якої системи водопостачання пропонується розділити на чотири етапи за їх важливістю і рівнем впливу на ефективність роботи системи в цілому. Назвемо ці етапи:

1. Проведення аналізу ефективності роботи системи водопостачання в цілому (блок 3 на рис. 2). На цьому етапі необхідно звернути увагу на такі особливості:

а) встановлення водонапірних веж;

б) визначення оптимального місця розташування насосних станцій та водонапірних веж;

в) використання підвищувальних насосних станцій;

г) корегування місця розташування диктуючих точок.

Водонапірні вежі дозволяються вирівняти коливання тиску в трубопровідній системі і зменшити діапазон регулювання насосної станції. Можливі три варіанти розміщення водонапірної вежі відносно насосної станції та споживача або мережі водопостачання (рисунок 2.3) [13, 14].

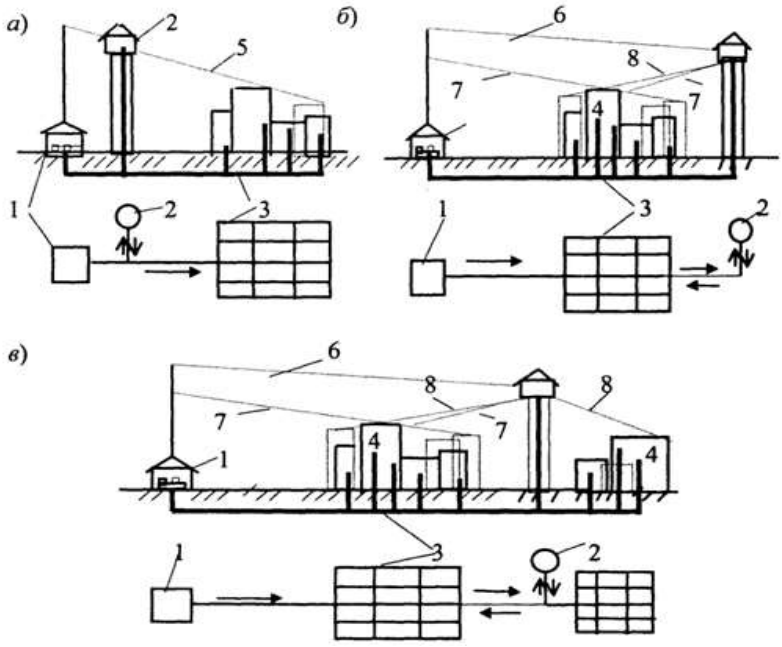


Рисунок 2.3 – Можливі способи розташування водонапірної вежі

На рисунку 2.3 позначено: 1 – насосна станція 2 – водонапірна вежа, 3 – мережа водопостачання (споживач), 4 – місця мережі водопостачання, які мають найвище місце розташування (висотні будинки, вершини пагорбів тощо), 5 – 8 – п’єзометричні лінії, які демонструють значення тиску у метрах водяного стовпа по мірі віддалення від насосної станції чи водонапірної вежі.

Встановлення водонапірної вежі дозволяє розвантажити роботу насосної станції у моменти пікових навантажень. Наглядно це демонструє графікі споживання води населеним пунктом на протязі доби (рисунок 2.4).

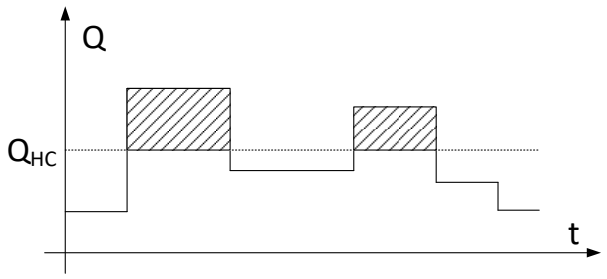


Рисунок 2.4 – Добовий графік водопостачання

На графіку водопостачання представлено кількість спожитої води за годину роботи протягом доби. Для зручності розрахунку даний графік подається під виглядом сходинчастої лінії. Величиною $Q_{НС}$ позначено продуктивність насосної станції. Все те, що вище за продуктивність насосної станції (заштрихована область) може забезпечити водонапірна вежа. У випадку, якщо пікові навантаження трапляються частіше, ніж два рази на добу, то водонапірна вежа суттєво покращує ефективність роботи насосної станції.

Визначення оптимального місця розташування насосної станції, водонапірної вежі чи диктуючих точок дозволяє зменшити невиправдані затрати тиску води в трубопроводі і підвищити ефективність роботи системи водопостачання. Всі об’єкти системи водопостачання мають з’єднуватися між собою найкоротшим шляхом, протяжність трубопроводу має бути найменшможливою, кожен споживач повинен мати допустимий тиск води в трубопроводі. Для вирішення таких оптимізаційних задач використовуються різні методи, за результатами використання яких можна зменшити протяжність трубопроводу і, тим самим, зменшити втрати тиску в трубі.

Для зменшення діапазону регулювання продуктивності (тиску) насосної станції другого підйому та вирівнювання її діаграми навантажень можуть використовуватися підвищувальні насосні станції (насосні станції третього підйому). Вони дозволяють забезпечити найвіддаленіших або найвищих споживачів необхідною кількістю води при невисокому тиску води біля цих споживачів. При розбудові населених пунктів периферійні частини міст часто отримують водопостачання з низькими і недостатніми значенням тиску. Щоб це виправити можна збільшити продуктивність та тиск насосної станції. Це призведе до зростання тиску у всій трубопровідній мережі і, особливо, у споживачів, які знаходяться поблизу насосної станції. Внаслідок цього зростають втрати в трубопроводі, збільшується ймовірність виникнення його несправності та виходу з ладу окремих споживачів. Цього можна позбутися, якщо біля віддалених від насосної станції місць встановити підвищувальні насосні станції, які будуть забезпечувати підвищення тиску до потрібних значень. Місце розташування таких станцій треба також обирати, виходячи з оптимізаційних розрахунків протяжності трубопроводу та забезпечення найбільшої кількості споживачів.

2. Аудит трубопровідної мережі (блок 6 на рис. 2). На цьому етапі необхідно звернути увагу на такі заходи:

а) ревізія трубопроводів на предмет усунення тріщин, свищів тощо;

б) зменшення протяжності трубопроводу за рахунок модернізації трубопровідної мережі, збільшення діаметру труби, встановлення станцій третього підйому;

в) зменшення кількості перегинів трубопроводу за рахунок модернізації трубопровідної мережі;

г) збільшення пропускної спроможності труби за рахунок використання сучасних труб, збільшення їх діаметру.

Розглянемо ділянку трубопроводу довжини L та радіусом R (рисунок 2.5).

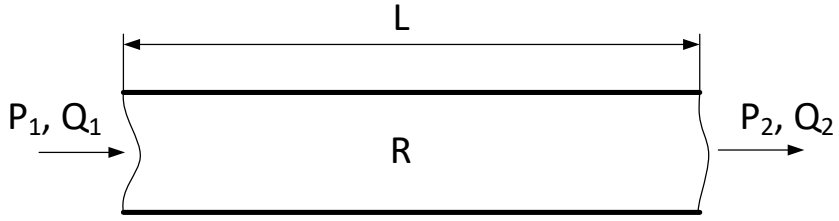


Рисунок 2.5 – Ділянка водопровідної труби

Припустимо, що на вході в трубу вода має тиск P_1 та продуктивність Q_1, а на виході -- тиск P_2 та Q_2 відповідно. Виявити пошкодження трубопроводу можна шляхом порівняння параметрів тиску та продуктивності до та після ділянки труби. Математична модель виявлення несправності матиме вигляд:

$$\begin{cases} P_1 \neq P_2 + \Delta P_L, \\ Q_1 \neq Q_2, \end{cases} \qquad (2.1)$$
$$\text{де } \Delta P_L = f(L, R).$$

Величина ΔP_L – це функція втрат тиску в трубопроводі, яке залежить від його протяжності, діаметру (радіусу), матеріалу, шорсткості поверхні тощо. У випадку, якщо тиск з врахуванням втрат, або продуктивність до та після ділянки труби відрізняються, можна робити висновок про несправність.

3. Енергоаудит роботи насосної станції (блок 9 на рис. 2). На даному етапі необхідно розглянути такі питання:

а) узгодження продуктивності станції та потреб споживача;

б) використання енергоефективних способів регулювання продуктивності станції;

в) використання ефективних принципів керування.

Якщо продуктивність станції буде більшою ніж потреби споживача, то це призведе до збільшення тиску води в трубопровідній мережі. Таким чином ефективність насосної станції зменшиться. Якщо продуктивність

насосної станції навпаки буде меншою ніж потреби споживача, то частина споживачів залишаться без води. Тому продуктивність (тиск) насосної станції повинна обов'язково регулюватися для того, щоб в кожний момент подавати в мережу стільки води, скільки її потребує споживач.

Найбільш ефективним способом регулювання продуктивності (тиску) насосної станції є зміна числа одночасно працюючих насосних агрегатів та частотний спосіб регулювання кожного з них [22]. Використання таких найпростіших способів регулювання продуктивності станції як дроселювання є економічно неефективним.

Щоб визначати як саме слід керувати насосною станцією існують різні принципи керування. Так, наприклад, насосна станція може працювати за графіком водопостачання (керування за продуктивністю) або зі стабілізацією тиску (керування за тиском). Кожен із цих принципів має свої переваги та недоліки. Керування за продуктивністю відносно просте у реалізації, але не враховує випадковий характер споживання. Тому часто виникають моменти невідповідності продуктивності насосної станції потребам споживача. Робота насосної станції зі стабілізацією тиску передбачає випадковий характер споживання, але на відміну від першого принципу не враховує явище «транспортного запізнення» у трубопроводі. Внаслідок цього, стабілізація тиску у якійсь одній точці трубопровідної мережі не гарантує стабілізації тиску в іншій точці.

4. Енергоаудит роботи насосних агрегатів (блок 12 на рисунку 2.2). На цьому етапі рекомендується вирішити такі питання:

а) визначення кількості працюючих насосів;

б) вибір способу регулювання продуктивності насосних агрегатів;

в) узгодження роботи насосів між собою;

г) використання сучасних принципів керування насосними агрегатами.

У кожну годину роботи насосної станції необхідно вмикати певну кількість насосів. Число насосів може змінювати постійно протягом доби.

Краще, щоб кількість запусків насосних агрегатів була мінімальною. Це пов’язано з тим, що електричні двигуни середньої та великої потужності мають обмеження на кількість прямих пусків. Крім того, необхідно забезпечити рівномірне вичерпання моторесурсу насосних агрегатів. Тому потрібно запускати агрегати з найменшим моторесурсом.

Відомо, що найкращі показники ефективності має частотний спосіб регулювання швидкості електричного двигуна змінного струму. Тому регулювання продуктивності насосного агрегату шляхом зміни частоти напруги живлення, є найкращим з точки зору енергетичних затрат. Під час частотного пуску насосів досягається до 60% економії електроенергії, відсутні пускові струми, зменшується вплив гармонік струму та напруги на мережу живлення. Крім того, частотний спосіб регулювання дозволяє забезпечити роботу електропривода в області найвищих ККД при різних швидкостях обертання [13, 23, 24].

Під час роботи насосних агрегатів в групі, тобто коли насоси включені паралельно один одному і працюють на один трубопровід, їхню роботу потрібно узгоджувати. Мається на увазі, що регулювання одного з включених насосів призводить до зміни режиму роботи інших. У випадку, коли швидкість працюючого насосу зменшується, його продуктивність і тиск падають. Рано чи пізно тиск насосу стає меншим за тиск в трубопроводі, внаслідок чого, він відключиться зворотнім клапаном. Продуктивність насосної станції стрибкоподібно зменшиться, внаслідок чого зменшуються втрати в трубопровідній мережі. Оскільки втрати в трубопроводі зменшилися, то падіння продуктивності станції буде дещо меншим, ніж продуктивність насосу, який відключився. Таким чином, оскільки всі насоси працюють на одного споживача (мережу водопостачання), то зміна режиму роботи одного з них впливає на роботу всіх інших.

У момент вимкнення працюючого насосу, коли спрацьовує зворотний клапан, виникають такі негативні явища як гідравлічний удар, робота цього

насоса з нульовою продуктивністю, робота насоса на закриту засувку тощо. Тому керувати насосними агрегатами треба таким чином, щоб вимкнення кожного з них відбувалися без гідравлічних ударів і невиправданих затрат електроенергії на роботу з нульовою продуктивністю.

Врахувати названі особливості дозволяють сучасні системи керування електроприводами насосів. Перелічимо деякі з цих особливостей:

- рівномірне вичерпання моторесурсу насосних агрегатів;
- рівномірне вичерпання ресурсу на кількість прямих запусків насосних агрегатів;
- узгодження роботи насосів, що працюють в групі (паралельно);
- частотний спосіб регулювання продуктивності насосних агрегатів;
- зміна кількості працюючих насосів і т.д.

Все це дозволить підвищити ефективність роботи насосної станції водопостачання.

Отже, для підвищення ефективності роботи будь-якої системи водопостачання необхідно проводити її енергоаудит, який забезпечить оцінку цілісності її трубопровідної мережі, оптимізацію трубопровідної мережі (зменшення кількості перегинів в мережі, збільшення її діаметру, зменшиння довжини) та підвищитб ефективність роботи насосної станції. Ефективність роботи станції можна покращити шляхом запровадження електричного регулювання її продуктивності, переходу до індивідуального електропривода насосних агрегатів та запровадження ефективних алгоритмів роботи системи керування станції.

2.2 Регулювання продуктивності насосної станції з метою узгодження режиму роботи станції та споживача

Продуктивність насосної станції, потрібна для нормальної роботи системи водопостачання, визначається шляхом розв’язання

загальносистемних задач керування. Забезпечується ця продуктивність в кожен момент часу певним набором одночасно працюючих насосів. Потрібні витрати станції часто не відповідають дискретним значенням, що отримуються при роботі цього набору насосів. Тому вдаються до регулювання продуктивності станції шляхом зміни гідравлічного опору напірного трубопроводу, потужності і частоти змінного струму, що протікає по обмотках приводних двигунів насосів [1, 26].

Оскільки продуктивність насосної станції складається з суми продуктивностей насосів, то її можна регулювати і зміною кількості увімкнених насосних агрегатів. При цьому продуктивність станції буде змінюватися дискретно. Для забезпечення плавного регулювання даний спосіб поєднують із одним з перелічених вище.

Виходячи з міркувань, висвітлених в [1 – 8], доцільно використовувати в якості приводного двигуна насосної установки асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, а живлення двигуна здійснювати від перетворювача частоти.

В результаті моделювання роботи насосної станції, що складається з одного насосного арегату, встановлено, що спільна робота електропривода та мережі водопостачання можлива при швидкостях двигуна, більших за 66% від номінальної. Якщо швидкість двигуна буде меншою за 0,66 від номінальної, то двигун не зможе забезпечити геодезичну висоту підйому. Остання сходинка продуктивності відбувається на швидкості 0,66 від номінальної. При зменшенні швидкості більше за 0,66 від номінальної у момент 8 с відбувається спрацювання зворотнього клапану насоса і двигун виводиться з роботи. Попередні сходинки реалізують зменшення швидкості кожної 2 с на 20 % від номінальної.

Якщо насосна станція складається з кількон насосниї агрегатів, то необхідно узгоджуватиїх роботу між собою.

Автоматизована система водопостачання повинна забезпечувати або автоматизоване увімкнення всіх насосних агрегатів станції, або вимкнення насосів, робота яких необґрунтована, або чергування роботи насосів.

На рисунку 2.6 побудуємо алгоритм роботи системи.

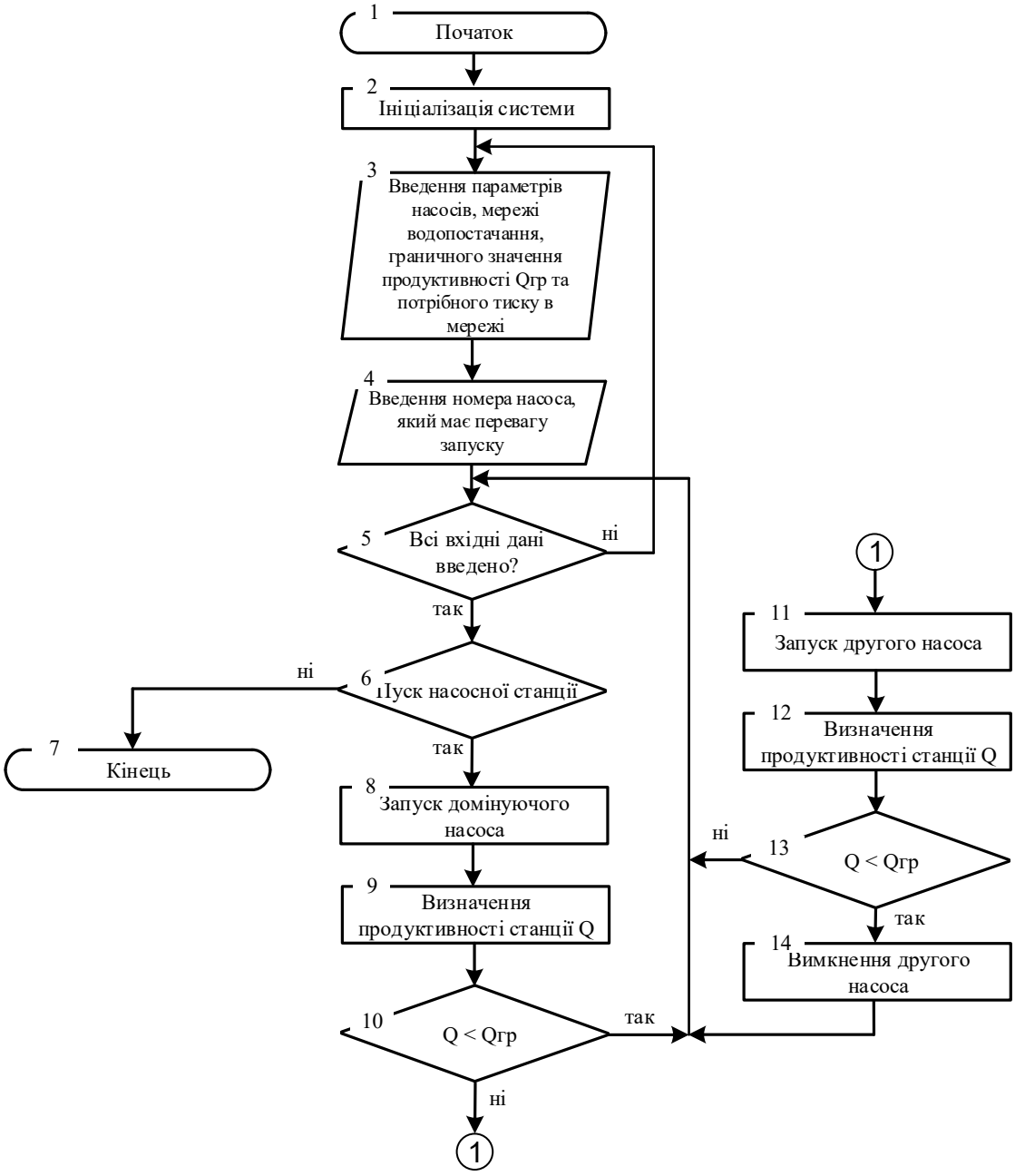


Рисунок 2.6 – Алгоритм роботи системи керування двома частотнокерованими насосними агрегатами станції водопостачання

На алгоритмі роботи системи водопостачання позначено: елементи 1, 2 та 3 забезпечують перший запуск системи і її вимкнення; елементи 3 та 4 виконують запис інформації про параметри насосів, мережі водопостачання, граничного значення продуктивності, потрібного тиску та номера домінуючого насоса. Серед цієї інформації особливу увагу слід приділити номеру домінуючого насоса. Таким насосом має бути насос з меншим терміном безперервної роботи та більшим ресурсом. Визначення домінуючого насосу виконується персоналом станції, виходячи з досвіду експлуатації. Елементи 5 та 6 виконують перевірку чи введено всі необхідні дані і подана команда пуску насосної станції. У випадку, якщо введено не всі дані алгоритм повертає роботу системи до моменту введення інформації. Якщо не подано команду «Пуск», то алгоритм завершує роботу. Елементи 8 та 11 виконують запуск домінуючого та іншого насосів відповідно. Елементи 9 та 13 забезпечують визначення продуктивності насосної станції. У блоках 10 та 13 виконується порівняння продуктивності насосної станції з граничним значенням продуктивності. Для випадку, коли працює два насоси з однаковими параметрами, граничним значенням продуктивності буте усталене значення продуктивності при роботі одного насоса на номінальних обертах приводного двигуна.

Перевіримо працездатність даного алгоритму шляхом комп’ютерного моделювання. Побудуємо комп’ютерну модель системи електропривода двох насосів зі зворотнім зв’язком по тиску води на виході станції. Для цього перерахуємо регулятор тиску.

Слід зауважити, що обидва електроприводи працюють від одного перетворювача частоти. Пуск чи зупинка кожного з насосів відбувається контактором.

Отримаємо графіки перехідних процесів, які зображено на рисунку 2.7.

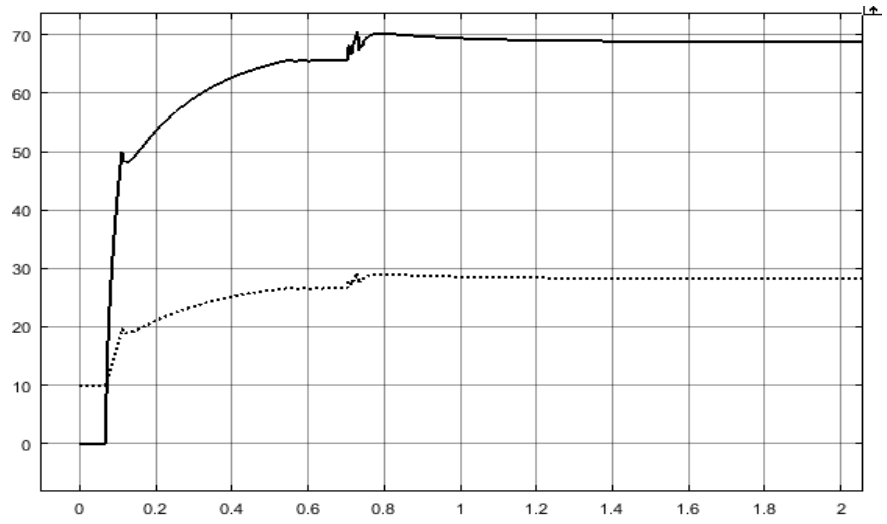


Рисунок 2.7 – Результати роботи всієї системи, яка працює відповідно до розробленого алгоритму

На рисунку перехідний процес продуктивності показано суцільною лінією, а тиску – штриховою. З графіків видно, що у момент часу 0,7 с. в роботу включається другий насос і продуктивніть станції зростає. При цьому виникає і певне перерегулювання тиску, який далі стабілізується. Отже система працює адекватно, відслідковуючи продуктивність системи водопостачання і забезпечуючи підтримання тиску на постійному рівні.

Перерегулювання продуктивності при пуску другого насоса становить 2,4%, а перерегулювання тиску – 3,2%. Отже система працює якісно і стійко.

Для порівняння слід зауважити, що графіки моделювання цієї системи при ручному керуванні мають імпульсну форму, коли другий насос зменшує свою швидкість обертання до граничного значення. Це пояснюється тим, що другий насос зі зменшенням швидкості зменшує тиск на своєму виході. І якщо цей тиск стає меншим ніж тиск працюючого насоса, то другий вимикається шляхом спрацювання зворотного клапану. Далі система керування намагається збільшити швидкість другого насоса. Це призводить до відкривання зворотного клапану і процедура повторюється.

Під час комп'ютерного моделювання всіх режимів роботи системи водопостачання виконувався розрахунок кількості корисної електроенергії, яка передавалася від двигуна до насоса. З порівняльної характеристики цих даних можна зробити такі висновки:

1. Врахування характеру навантаження впливає на перебіг перехідних процесів в двигуні. Для випадку, який розглядається у роботі, коли навантаження має вентиляторний характер і статичну складову, врахування цього призвело до зменшення споживання електроенергії на 6,6%.

2. Електропривода насосних агрегатів систем водопостачання обов'язково потрібно забезпечувати зворотним зв'язком по тиску. Для випадку, який розглядався у науковій роботі, це зумовлює зменшення споживання електроенергії на 58,2% порівняно з системами стабілізації швидкості обертання.

3. Регулювання продуктивності системи водопостачання шляхом зміни швидкості одного з насосів дозволяє зменшити споживання електроенергії на 25%.

4. Використання частотнорегульованого електропривода в системах водопостачання дозволить досягти зменшення споживання електричної енергії до 60%.

2.3 Узгодження режимів роботи електроприводів насосних агрегатів між собою

Якщо продуктивність насосної станції регулюється зміною кількості працюючих насосів і одним із способів плавного регулювання, то потрібно визначити оптимальний метод регулювання, при якому станція завжди зможе забезпечити потреби споживача у воді. У роботі [26] така задача розв'язується для насосної станції м. Вінниця, яка складається з п'яти насосних агрегатів двох типів. При цьому за цільову функцію взято

споживання електроенергії на роботу насосів. За результатами її розв'язання отримано, що найкращі результати будуть, коли на станції використовується індивідуальний електропривод для кожного насоса і швидкість всіх насосів регулюється одночасно і однаково [22 – 24]. Така реалізація системи водопостачання потребує суттєвих капітальних затрат на придбання і оснащення кожного насосного агрегата силовим перетворювачем. Тому для забезпечення регулювання продуктивності насосної станції рекомендується використовувати лише один регульований привод при роботі інших з номінальними параметрами живлення.

Якщо один насосний агрегат змінює швидкість обертання, а інші працюватимуть зі швидкістю, близькою до номінальної, то виникає питання, які з них потрібно вмикати в роботу, а які ні. Справа у тому, що потужність насосної станції, яка визначається як сума потужностей всіх насосних агрегатів, розраховується на максимальне споживання води (максимальне навантаження). А потрібна продуктивність станції змінюється на протязі доби, причому, в нічний час вона може становити половину від максимальної. Тому деякі з насосів потрібно вимикати. Необхідно вирішити питання: які з насосів слід вимикати, а які залишати в роботі. Для вирішення даного питання можна використати метод лінійного програмування, де в якості цільової функції взяти споживання електроенергії, тривалість безперервної роботи насоса (моторесурс) та кількість реалізованих прямих пусків агрегатів. За результатами розвязання цієї задачі можна знайти комбінації увімкнених насосів для забезпечення продуктивності станції, відповідно до графіка водоспоживання на протязі доби. Тобто, кожному значенню продуктивності насосної станції з графіка водопостачання буде відповідати певна комбінація увімкнених насосів.

При визначенні кількості працюючих насосів треба вирішити питання у який момент виконувати вмикання чи вимикання чергового насосного агрегату. У роботі [26] розглянуто такі випадки:

1) зміна кількості працюючих насосів відбувається, коли швидкість обертання регульованого досягла номінального значення,

2) зміна кількості працюючих насосів відбувається, коли продуктивність регульованого досягла номінального значення,

3) зміна кількості працюючих насосів відбувається у моменти нульової продуктивності регульованого насосного агрегату при наступній комбінації увімкнених насосів.

За результатами аналізу графіків продуктивності, швидкості обертання та ККД регульованого насосного агрегату, можна зробити висновок про те, що гідроудари, які виникатимуть в результаті спрацювання зворотнього клапану насоса будуть відсутні лише у третьому випадку. Таким чином, увімкнення чи вимкнення насосних агрегатів потрібно виконувати у моменти нульової продуктивності регульованого агрегату [26].

Крім перелічених питань, на які вже є відповіді, невирішеним залишається питання: як керувати одним регульованим насосним агрегатом щоб забезпечити його узгоджену роботу з іншими і регулювання продуктивності насосної станції в широких межах. Це питання частково розглядається у роботі [26], але там не розробляється система, яка зможе управляти одночасно і регульованим насосним агрегатом і нерегульованими при врахуванні всіх названих особливостей паралельної роботи насосів [23 – 34].

Робота системи керування групою паралельнопрацюючих насосів повинна обов’язково задовольняти графіки водопостачання та алгоритм узгодженої роботи насосних агрегатів [26, 33]. Відповідно до графіка водопостачання у кожну годину доби (якщо він добовий) насосна станція повинна видавати в мережу певну кількість води. Саме для таких систем і призначений запропонований алгоритм роботи системи керування групою насосних агрегатів (рисунок 2.8).

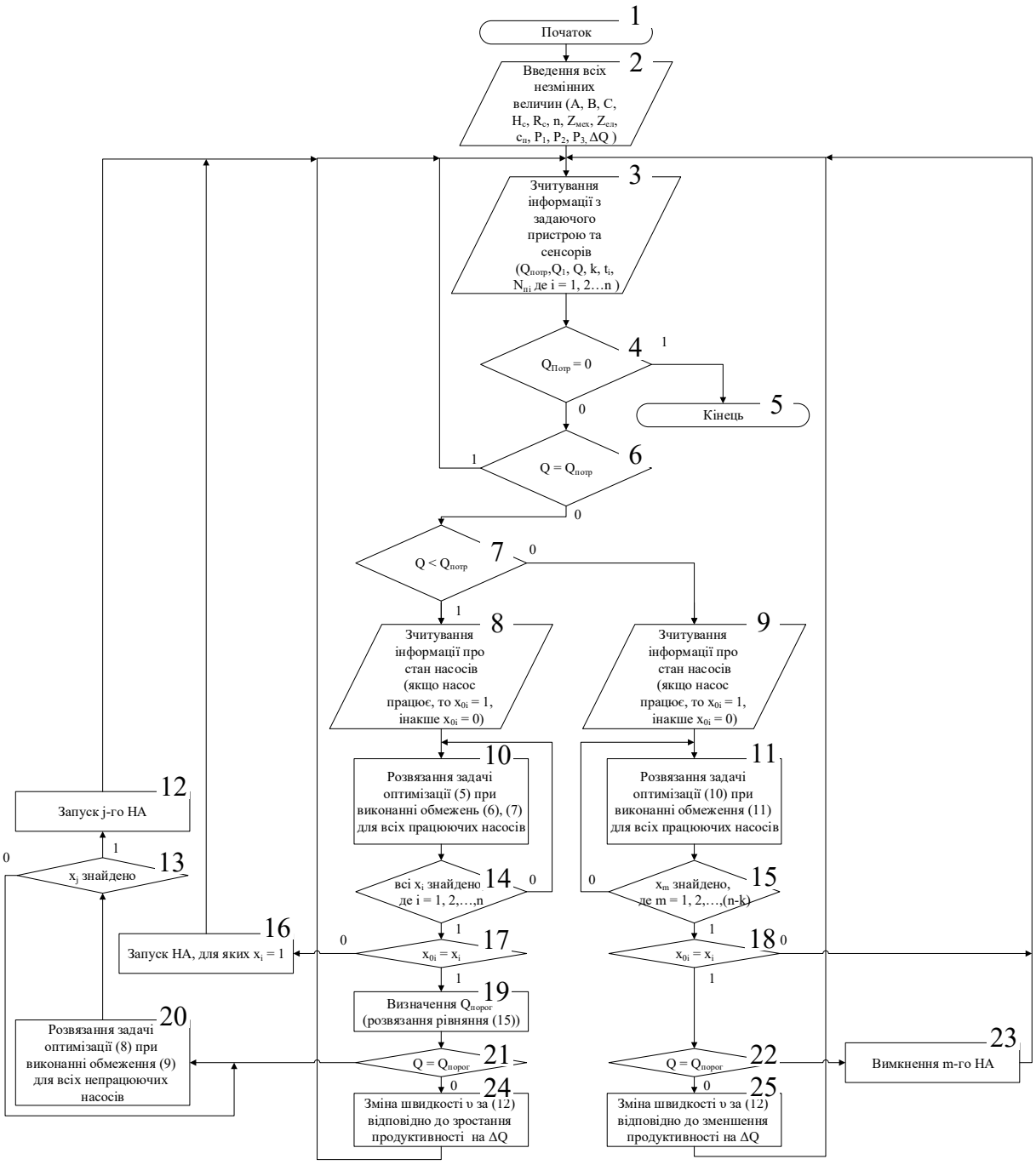


Рисунок 2.8 – Алгоритм роботи системи керування групою паралельно працюючих насосів станції водопостачання

В алгоритмі роботи системи керування групою паралельно працюючих насосів позначено (див. рис. 2.8): 1, 5 – відповідно початок та кінець алгоритму; 2 – введення всіх параметрів насосів, водопровідної мережі до диктуючої точки на виході станції та кількості насосів; 3 – елемент, який виконує зчитування інформації з керуючого (задаючого) пристрою та

сенсорів. У системі керування використовуються сигнали сенсорів продуктивності регульованого насосного агрегата Q_1, загальної продуктивності насосної станції Q, стану приводних двигунів (запущені чи ні), кількості непрацюючих насосів, часу безперервної роботи кожного з агрегатів t та кількості реалізованих кожним з них прямих пусків $N_п$.

Елемент алгоритма 4 виконує перевірку наявності сигналу задання. Якщо такий сигнал відсутні (дорівнює нулю), то система переходить в «Кінець» і вимикається.

Елемент 6 виконує перевірку рівності потрібного значення продуктивності станції дійсному. У випадку, якщо дана рівність виконується знову виконується зчитування задаючої дії та сигналів зворотніх зв'язків (блок 3). Якщо названа рівність не виконується, то можливі два випадки. У першому дійсне значення продуктивності станції менше за потрібне (блок 7). В такому разі у блоці 8 відбувається зчитування інформації про стан насосних агрегатів (працюють чи вимкнені) і для всіх працюючих насосів розв'язується задача оптимізації кількості насосів (5) (блок 10). Результатом даної задачі має бути оптимальна комбінація увімкнених насосних агрегатів, при якій виконуватимуться обмеження (6) та (7). У випадку, якщо така комбінація знайдена (блок 14) у блоці 17 відбувається порівняння цієї комбінації з реальними даними про насоси (працюють вони чи ні). Якщо комбінація не знайдена, то процес розв'язання продовжується. Якщо знайдена комбінація відповідає всім увімкненим насосам, то у блоці 19 за виразом (15) розраховуються для неї порогові значення сумарної продуктивності станції. Ці порогові значення будуть виконувати роль «флагів спрацювання» і запуску чи вимкнення чергового агрегата. Далі, якщо продуктивність станції не дорівнює жодному з порогових значень (блок 21) відбувається зміна швидкості регульованого агрегату у напрямі, який відповідатиме зростанню сумарної продуктивності станції (блок 24). В іншому випадку, тобто, коли досягнуто порогового значення продуктивності,

знаходиться мінімальне значення C за виразом (8), якому відповідатиме номер насосного агрегату, який у даний момент буде найдоцільніше увімкнути (блок 20). Якщо дане значення знайдено, то у блоці відбувається запуск відповідного насосного агрегату (блоки 13 та 12).

Якщо знайдена комбінація насосів не відповідає реальній, то у блоці 16 відбувається запуск всіх тих насосних агрегатів, які повинні працювати за результатами розв'язання оптимізаційної задачі (5).

Після запуску насосів система повертається на початок і знову виконує зчитування іформації про задаючу дію і сигнали сенсорів.

У випадку, коли сумарна продуктивність станції більша від потрібного занчення повторяється процедура, яку виконував блок 8 і розв'язується задача (10) при обмеженні (11) (блок 11). В даній задачі розглядається, який з працюючих насосів має найнижчу ефективність роботи виходячи з його потужності, тривалості безперервної роботи та кількості реалізованих прямих пусків. Якщо розв'язок знайдено (блок 15), і кількість насосів не змінюється (блок 22), то виконують порівняння сумарної продуктивності з пороговими значенням (блок 22). У випадку досягнення порогового значення продуктивності подаютькоманду на вимкнення (блок 23) насосного агрегату, знайденого за результатами розв'язання задачі (10). В іншому разі, змінюють швидкість регульованого агрегату в сторону зменшення продуктивності станції. І в першому і в другому випадках після зміни кількості працюючих насосів або після регулювання продуктивності одного з них система повертається на початок [26, 33].

2.4 Узагальнення способів підвищення ефективності роботи насосної станції

Існує багато підходів до регулювання продуктивності станції. Підходи до регулювання продуктивності станції, що складається лише з одного

насосного агрегату, достатньо добре вивчені та випробувані [1, 13]. А підходи до управління кількома насосами, що працюють одночасно, вивчені не повністю. Тут виникають наступні труднощі [26]:

1) в кожному конкретному випадку, у кожний конкретний момент часу потрібно вирішити, якою повинна бути кількість працюючих насосів;

2) не зрозуміло, який спосіб регулювання буде доцільно використати для регулювання продуктивності насосного агрегату;

3) не зрозуміло, який спосіб регулювання буде доцільно використати для регулювання продуктивності станції;

4) узгодження роботи насосів та споживача.

Перше питання розглядається у роботах [25, 26] та інших. Вирішення цього питання зводиться до відмови від групового характеру роботи насосів та перехід до роботи одного – двох насосів великої потужності. В такому випадку вдається позбутися проблем узгодження роботи насосів, а також зникає необхідність установки певної кількості резервних насосних агрегатів. Проте, недоліком даного підходу є велика потужність регулюючого пристрою, а також його низька ефективність при глибокому діапазоні регулювання швидкості, а відповідно і продуктивності. Таким чином, можна сформувати рекомендації до вибору кількості насосів на насосній станції:

1) для станції невеликої потужності (до 100 кВт) доцільно встановлювати один робочий агрегат і один резервний, які можна чергувати для рівномірного вичерпання моторесурсу;

2) для станції великої потужності доцільно встановлювати до 6 робочих насосних агрегатів і 2 резервних;

3) на станціях, продуктивність яких не регулюється доцільно встановлювати один робочий і один резервний насосні агрегати.

Друге питання розглядається у роботах [13 – 15] та інших. За результатом аналізу цих робіт можна зробити висновок, що найпростішим

способом регулювання продуктивності насосного агрегату є прикриття засувки на його нагнітаючому патрубку, а найефективнішим – зміна частоти обертання робочого колеса насоса. В деяких джерелах наводиться інформація про економію до 50% електроенергії за рахунок частотного регулювання продуктивності насосного агрегату [13 – 15, 27].

Третє питання розглядається у роботах [13 – 15, 25, 28 – 30] та інших. За результатом аналізу цих робіт можна зробити висновки, що найкращі регулювальні якості має насосна станція, яка складається з одного насосного агрегату, який живиться від перетворювача частоти. Якщо ж насосних агрегатів кілька і вони всі однакові за технічними характеристиками, то найкращі результати регулювання отримуються при роботі всіх агрегатів від одного перетворювача частоти. Труднощі виникають, коли насосні агрегати відрізняються за технічними характеристиками і встановлення одного перетворювача частити на всі насоси виявляється недоцільним. В такому разі переходять до вирішення четвертого питання.

Четверте питання вирішується у роботах [14, 24 − 33] та інших, де пропонується встановлювати перетворювач частоти лише на один насосний агрегат, а всі інші працюватимуть в режимі «ввімкнено − вимкнено». Швидкістю обертання регульованого агрегату можна забезпечити достатню плавність регулювання продуктивності станції, а вми-каючи та вимикаючи нерегульовані агрегати – достатній діапазон регулювання. Для того, щоб регульований агрегат працював ефективно, ним потрібно регулювати за певним законом, який буде враховувати параметри паралельно працюючих насосів та параметри мережі водопостачання. Названий закон регулювання для насосної станції, яка складається з п’яти різних агрегатів, встановлено отримано у роботі [26].

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Виходячи з аналізу різних систем транспортування води можна виділити класифікацію цих систем за конструктивним виконанням. Відповідно до конструктивного виконання системи транспортування води можна класифікувати на системи водопостачання та системи водовідведення. Системи водопостачання у свою чергу діляться за конструкцією на системи централізованого водопостачання, децентралізованого та оборотного. Системи водовідведення діляться на поверхові та системи каналізації [1, 3].

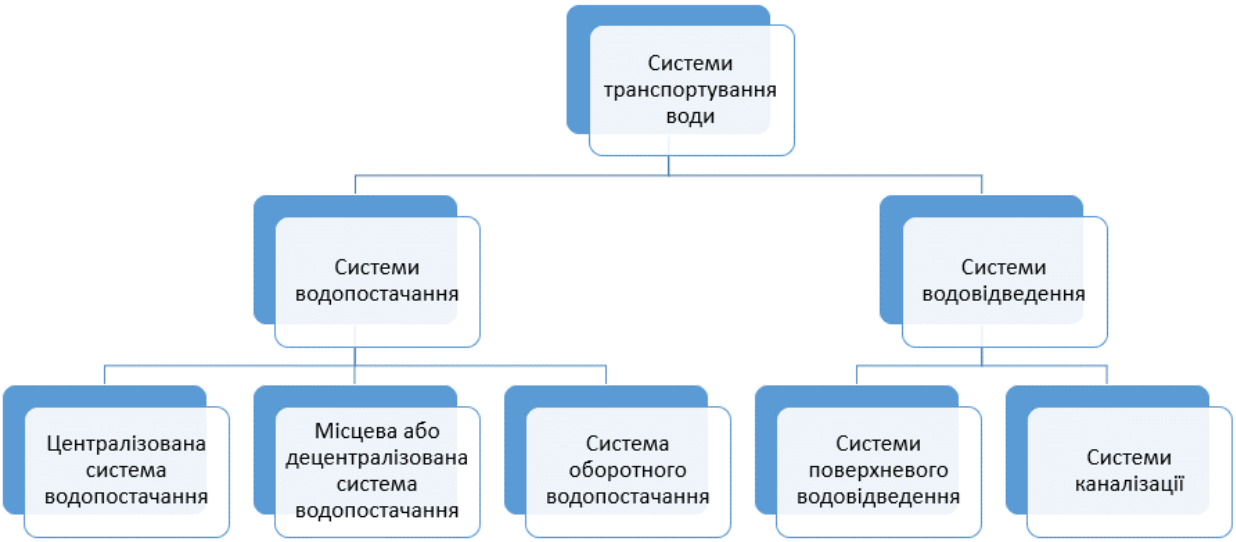


Рисунок 3.1 – Класифікація систем транспортування води

Основні елементи кожної з названих систем однакові. Провівши аналіз різних систем транспортування води можна виділити сім основних елементів:

- насосні станції,
- фільтраційні пристрої,
- магістральні трубопроводи,
- резервуари води,

- водопровідну мережу,

- запірно-регулююча арматура,

- джерела водозабору.

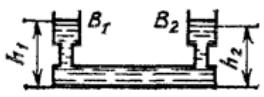
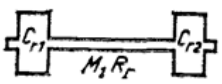
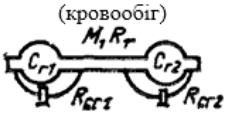
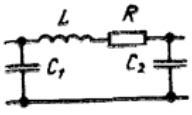
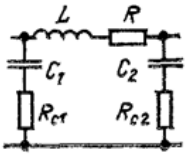
Таким чином, якщо побудувати моделі кожного з названих елементів, можна буде отримати модель будь-якої системи транспортування води.

Для побудови моделей елементів системи транспортування води пропонуємо використати метод електрогідродинамічних аналогій [5].

Ідея методу полягає у тому, що між основними гідравлічними параметрами існує такий самий зв'язок, як і між певними електричними параметрами. Кожен елемент системи транспортування води пропонується представити ділянкою електричного кола, яка описується певною системою рівнянь. Якщо розв’язати таку систему рівнянь, то можна отримати чітку залежність між основними електричними параметрами. Використовуючи метод аналогій отриману залежність можна перетворити в аналогічну для гідравлічним параметрів. Таким чином, використовуючи відомі методи аналізу електричних кіл, можна отримати моделі гідравлічних процесів.

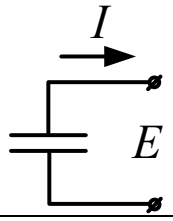
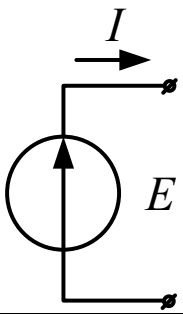
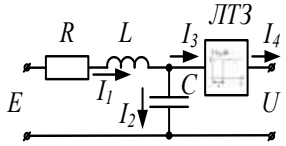
Залежності величин відповідно до цього методу зведемо у таблиицю 3.1 [5].

Таблиця 3.1 – Таблична інтерпретація методу електрогідравлічних аналогій

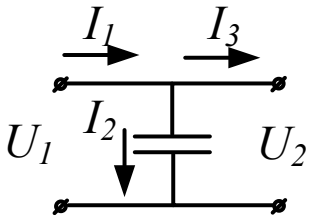
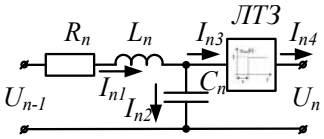
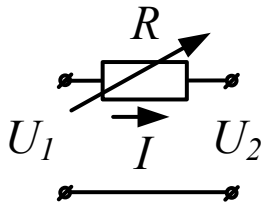
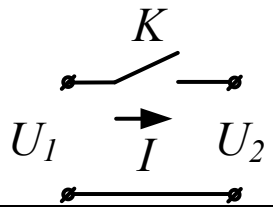
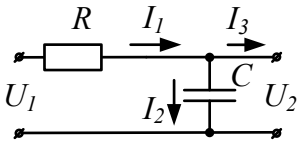
Гідродинамічні системи			Електричні аналоги	
Потік рідини, що не стискається, під напором 	Потік рідини (газу), що стискається під час відхилення від усталеного стану (акустичні аналогії) 	Потік рідини, що не стискається в пружнов’язких трубопроводах (кровообіг) 	Для гідродинамічних систем 1 та 2 	Для гідродинамічних систем 3 
П’єзометричний напір h	Тиск P		Напруга u	
Об’єм рідини V			Заряд q	
Витрата $Q = dV/dt$			Струм $i = dq/dt$	
Дзеркало резервуару $B = V/h$	Гідравлічна ємність $C_г = V/P$		Ємність $C = q/u$	
Інерційність $M = P/(dQ/dt)$			Індуктивність $L = u/(di/dt)$	
Гідравлічний опір $R_г$: при фільтраційному та ламінарному потоці $R_г = P/Q = const$; при турбулентному потоці $R_г = k\|Q^{n-1}\|$, де $n \approx 2$ (для води)			Опір $R = u/i$	
Час t			Час t	

Побудуємо моделі основних елементів систем транспортування води. Зовнішній вигляд електричних аналогій та їх матиматичні моделі зведемо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Зовнішній вигляд електро-гідравлічних аналогій та їх математичні вирази

Назва елемента системи транспортування води	Електрична схема-аналог елемента системи транспортування води	Математична модель, що описує електричну схему	Математична модель елемента транспортування води за методом аналогій
Джерело водозабору		$\mathrm{E}=\frac{1}{\mathrm{C}}\int \mathrm{I}dt$	$H=\frac{1}{B}\int Qdt$
Насосна станція		$\mathrm{N}=\mathrm{E}\cdot\mathrm{I}$	$\mathrm{N}=\mathrm{H}\cdot\mathrm{Q}$
Водоводи (магістральни трубопроводи)		$\begin{cases}\mathrm{E}-\mathrm{U}'=\mathrm{R}\cdot\mathrm{I}_1+\\ +\mathrm{L}\frac{d\mathrm{I}_1}{dt},\\ \mathrm{U}'=\frac{1}{\mathrm{C}}\int \mathrm{I}_2 dt,\\ \mathrm{I}_1=\mathrm{I}_2+\mathrm{I}_3,\\ \mathrm{I}_4=\mathrm{I}_3\cdot e^{-pt},\\ \mathrm{U}=\mathrm{U}'\cdot e^{-pt}.\end{cases}$	$\begin{cases}\mathrm{H}_1-\mathrm{H}_2'=\mathrm{R}\cdot\mathrm{Q}_1+\\ +\mathrm{M}\frac{d\mathrm{Q}_1}{dt},\\ \mathrm{H}_2'=\frac{1}{\mathrm{C}}\int \mathrm{Q}_2 dt,\\ \mathrm{Q}_1=\mathrm{Q}_2+\mathrm{Q}_3,\\ \mathrm{Q}_4=\mathrm{Q}_3\cdot e^{-pt},\\ \mathrm{H}_2=\mathrm{H}'\cdot e^{-pt}.\end{cases}$

Продовження таблиці 3.2

Назва елемента системи транспортування води	Електрична схема-аналог елемента системи транспортування води	Математична модель, що описує електричну схему	Математична модель елемента транспортування води за методом аналогій
Резервуар води		$\begin{cases} U_2 = U_1 = U, \\ U = \frac{1}{C}\int I_2 dt, \\ I_1 = I_2 + I_3. \end{cases}$	$\begin{cases} H_2 = H_1 = H, \\ H = \frac{1}{C_г}\int Q_2 dt, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3. \end{cases}$
Трубопровідна мережа		$\begin{cases} U_{n-1} - U'_n = R_n \cdot I_{n1} + \\ + L_n \frac{dI_{n1}}{dt}, \\ U'_n = \frac{1}{C_n}\int I_{n2} dt, \\ I_{n1} = I_{n2} + I_{n3}, \\ I_{n4} = I_{n3} \cdot e^{-pt}, \\ U_n = U'_n \cdot e^{-pt}. \end{cases}$	$\begin{cases} H_{n-1} - H'_n = R_n \cdot Q_{n1} + \\ + M_n \frac{dQ_{n1}}{dt}, \\ H' = \frac{1}{C_{гn}}\int Q_{n2} dt, \\ Q_{n1} = Q_{n2} + Q_{n3}, \\ Q_{n4} = Q_{n3} \cdot e^{-pt}, \\ H_n = H'_n \cdot e^{-pt}. \end{cases}$
Запірна арматура	 	$\Delta U = U_2 - U_1 = R \cdot I$	$\Delta H = H_2 - H_1 = R \cdot Q$
Фільтр води		$\begin{cases} U_1 - U_2 = R \cdot I_1, \\ U_2 = \frac{1}{C}\int I_2 dt, \\ I_1 = I_2 + I_3. \end{cases}$	$\begin{cases} H_1 - H_2 = R \cdot Q_1, \\ H_2 = \frac{1}{B}\int Q_2 dt, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3. \end{cases}$

Під час побудови еквівалентних електро-гідравлічних моделей використано позначення:

I – струм ділянки електричного кола, аналогом якого є продуктивність Q гідравлічної мережі;

E – ЕРС ділянки електричного кола, аналогом якої є тиск (напір) в трубопроводі;

C – електрична ємність електричного кола, аналогом якої є гідравлічна ємність ділянки гідравлічної мережі B (відношення об’єму ділянки на площу її перерізу);

N – електрична потужність ділянки електричного кола, аналогом якої є гідравлічна потужінсть гідравлічної системи;

R – активний опір ділянки електричного кола, аналогом якого є гідравлічний опір ділянки гідравлічної мережі;

L – індуктивність ділянки електричного кола, аналогом якої є інерційність ділянки гідравлічної мережі;

ЛТЗ – ланка транспортного запізнення.

У роботі пропонується виконати заміну основних елементів системи транспортування води на ділянки електричного кола відповідно до рисунку 3.2.

Рисунок 3.2 – Еквівалентна електрична схема та математична модель гідравлічної системи

Еквівалентна електрична схема на рисунку 3.2 складається з таких елементів:

1. Насосна станція.
2. Запірна арматура.
3. Трубопровідна мережа.
4. Резервуар води.
5. Споживач.

Змінимо електричну схему таким чином, щоб вихідний сигнал одого рівняння позначався так само, як вхідний сигнал наступного рівняння. Отримаємо електричну схему, що зображена ни рисунку:

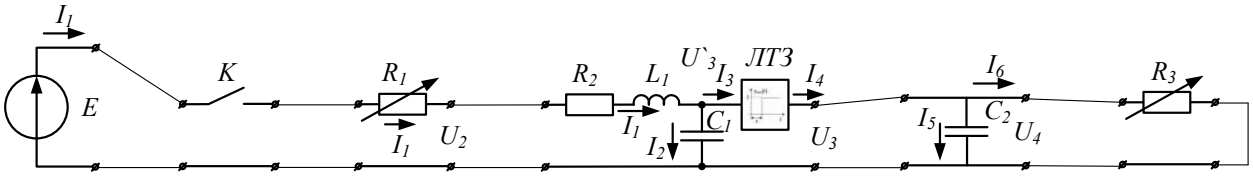


Рисунок 3.3 – Модифікована еквівалентна електрична схема гідравлічної системи

Використовючи перший та другий закони Кірхгофа можна побудувати загальну матиматичну модель системи. Вона матиме вигляд системи рівнянь:

$$\begin{cases} N = E \cdot I_1, \\ U_2 = E - I_1 \cdot R_1, \\ U_2 - U_3' = R_2 \cdot I_1 + L_1 \dfrac{dI_1}{dt}, \\ I_1 = I_2 + I_3, \\ U_3' = \dfrac{1}{C_1} \int I_2 dt, \\ I_4 = I_3 \cdot e^{-pt}, \\ U_3 = U_3' \cdot e^{-pt}, \\ I_4 = I_5 + I_6, \\ U_4 = \dfrac{1}{C_2} \int I_5 dt, \\ U_4 = R_3 \cdot I_6. \end{cases} \tag{3.1}$$

Отримана система рівнянь має 10 рівнянь і 10 невідомих, отже її можна розв'язати. На вхід системи подається потужність джерела живлення та параметри елементів електричного кола. На виході треба отримати всі значення струму та напруг. На основі методу електрогідравлічних аналогій побудуємо еквівалентну систему гідравлічних рівнянь:

$$\begin{cases} N = H \cdot Q_1, \\ H_2 = H - Q_1 \cdot R_1, \\ H_2 - H_3' = R_2 \cdot Q_1 + M_1 \dfrac{dQ_1}{dt}, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3, \\ H_3' = \dfrac{1}{B_1} \int Q_2 dt, \\ Q_4 = Q_3 \cdot e^{-pt}, \\ H_3 = H_3' \cdot e^{-pt}, \\ Q_4 = Q_5 + Q_6, \\ H_4 = \dfrac{1}{B_2} \int Q_5 dt, \\ H_4 = R_3 \cdot Q_6. \end{cases} \tag{3.2}$$

Отримане рівняння буде математичною моделлю гідравлічної системи, що складається з насосної станції, трубопровідної мережі, запірної арматури, резервуару та споживача.

4 ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

В лабораторії автоматизованого електроприводу типових виробничих механізмів кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету розроблено лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання. Зовнішній вигляд стенду подано на рисунку 4.1.

Рисунок 4.1 – Лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання

Лабораторний стенд складається з двох частин: одна зібрана на стійках з правої сторони стенда, яку можна назвати гідравлічною частиною, а інша – зібрана за фронтальною частиною стенду, яку назвемо електричною частиною. Гідравлічна частина складається з насоів, трубопровідної мережі, накопичувальних ємностей та комутаційної арматури, а електрична – з автоматичних вимикачів, трансформаторів (ЛАТРів), контакторів, обмоток двигунів тощо. На рис. 4.2 подано гідравлічну частину лабораторного стенда.

Гідравлічна частина лабораторного стенда складається з:

- двох поверхневих вихрових насосів Kenle HEK QB-60;
- циркуляційного насоса Villo RS25/4-1;
- лічильника-витратоміра води NOVATOR ЛК-15Х ;
- трьох рідинних манометрів;
- реле тиску;
- зворотніх клапанів;
- вентилів;
- двох пластикових бочок;
- поліпропіленових труб та муфт з накидними гайками.

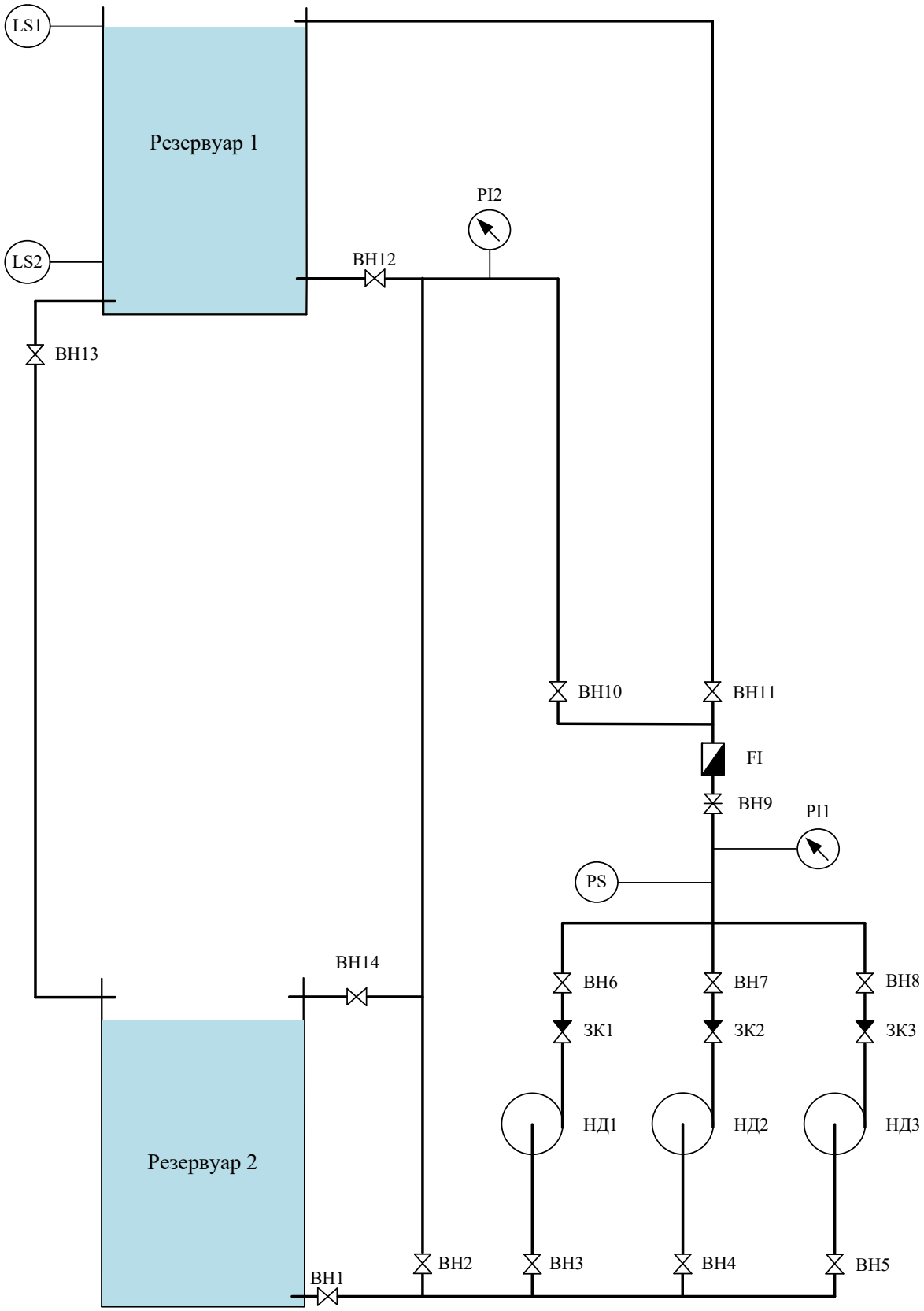


Рисунок 4.2 – Гідравлічна частина лабораторного стенду

В лабораторному стенді використано три насосних агрегати двох видів, а саме два насосні агрегати Kenle HEK QB-60 та один Villo RS25/4.

Технічні характеристики насоса Kenle HEK QB-60 наведені у таблиці 4.1 [36].

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики вихрового насоса Kenle HEK QB-60

Максимальна глибина всмоктування:	до 8 м
Напір:	до 35 л/хв
Потужність:	370 Вт
Номінальна напруга:	220 В
Максимальна продуктивність	2,1 $м^3$/год
Максимальний тиск	35 м.в.ст.
Глибина всмоктування	7 м
Номінальний струм:	2,5 А
cos φ:	0,96
Частота:	50 Гц
Оберти:	2900 об/хв
Клас захисту:	IP 54
Режим роботи:	S1
ККД насоса	54%

Основною характеристикою гідравлічного насоса є напірно-витратна характеристика, яка показує залежність напору, що розвиває насос, від його продуктивності. Іноді її називають Q-H за позначенням відповідно продуктивності насоса (Q) та його напору (H). Q-H характеристика насоса Kenle HEK QB-60 подана на рисунку 4.3.

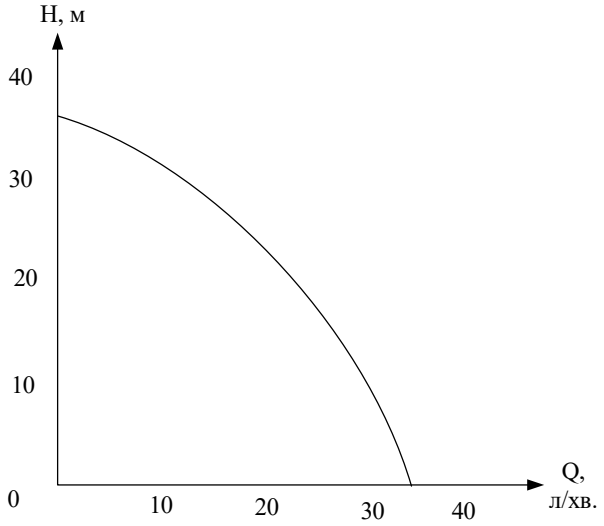


Рисунок 4.3 – Q-H характеристик насоса Kenle HEK QB-60

Технічні характеристики циркуляційного насоса Villo RS25/4 наведені в таблиці 4.2 [37].

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики циркуляційного насоса Villo RS25/4

Максимально допустимий тиск в системі:	$10 \cdot 10^5$ Па
Підключення до мережі:	220 В, 50 Гц
Максимальний напір насоса	4 м.в.ст.
Клас ізоляції:	F
Пропускна спроможність	2,5 $м^3$/год
Рівень захисту:	IP 44
Тип ротора:	мокрий
Потужність на першій швидкості:	28 Вт, струм 0,13 А
Потужність на другій швидкості:	38 Вт, струм 0,17 А
Потужність на третій швидкості:	48 Вт, струм 0,21 А

Q-H характеристика циркуляційного насоса Villo RS 25/4 буде мати вигляд, що зображено на рисунку 4.4.

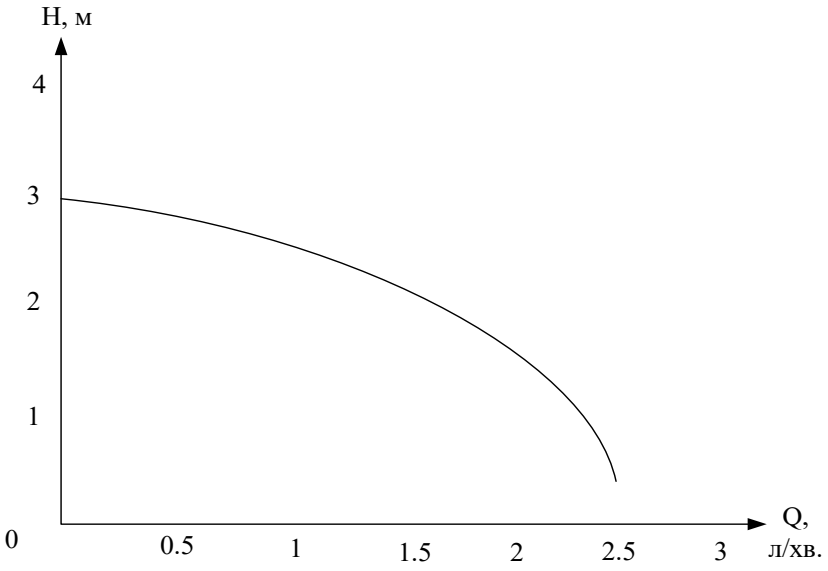


Рисунок 4.4 – Q-H характеристика циркуляційного насоса Villo RS 25/4

Даний лабораторний стенд, а саме його гідравлічна частина, має такі розміри:

розміри баку:

- висота – 0.7 м,

- діаметр – 0.46 м,

- ємність баку – 100 л;

2) висота всього лабораторного стенду – 2.5 м.

Зовнішній вигляд стенда з нанесеними геометричними розмірами зображено на рисунку 4.5.

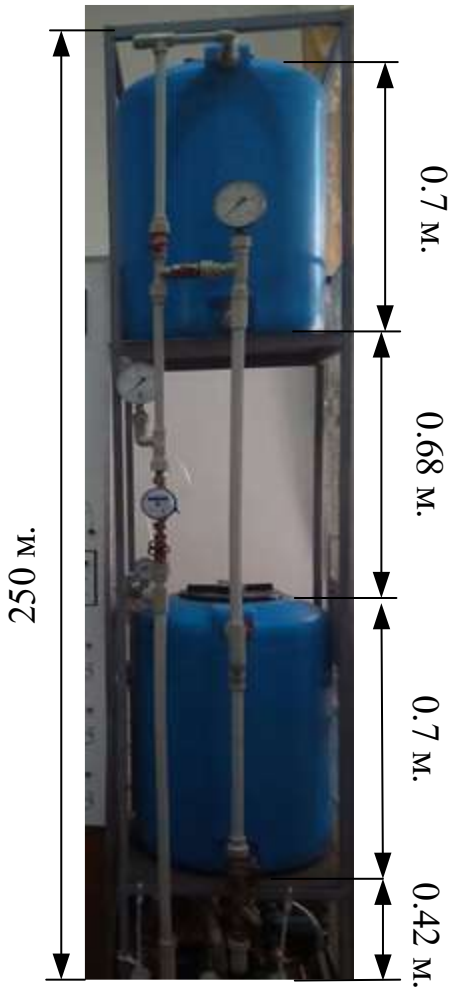


Рисунок 4.5 – Геометричні розміри гідравлічної частини лабораторного стенда

Під час виконання досліджень на лабораторному стенді отримано результати, які подамо у табличній формі (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Результати проведення експерименту на лабораторному стенді для дослідження систем водопостачання

Режим роботи лабораторного стенда	Досліджуваний параметр	Значення
Робота одного насоса Kenle HEK QB-60	Кількість перекачаної води	34 л.
	Тривалість перекачування	53 с.
	Напір в мережі	0,75 м.в.ст.
Робота двох насосів Kenle HEK QB-60	Кількість перекачаної води	34 л.
	Тривалість перекачування	27 с.
	Напір в мережі	3,2 м.в.ст.
Робота двох насосів Kenle HEK QB-60 та одного насосу Villo RS 25/4	Кількість перекачаної води	34 л.
	Тривалість перекачування	23 с.
	Напір в мережі	3,4 м.в.ст.

5 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Моделювання технічних систем дозволяє дослідити їхню роботу в різних умовах. Це корисно тоді, коли реальну технічну систему не можна регулювати, або експериментувани над нею. Або, наприклад, під час проектування технічної системи вона фізично ще не існує, а треба проаналізувати, як вона буде себе поводити в тих чи інших умовах.

Моделювання технічної системи з використанням ПК називається комп’ютерним моделюванням.

Комп’ютерна модель лабораторного стенда в структурному вигляді, зібрана в програмному середовищі Matlab Simulink, зображена на рисунку 5.1.

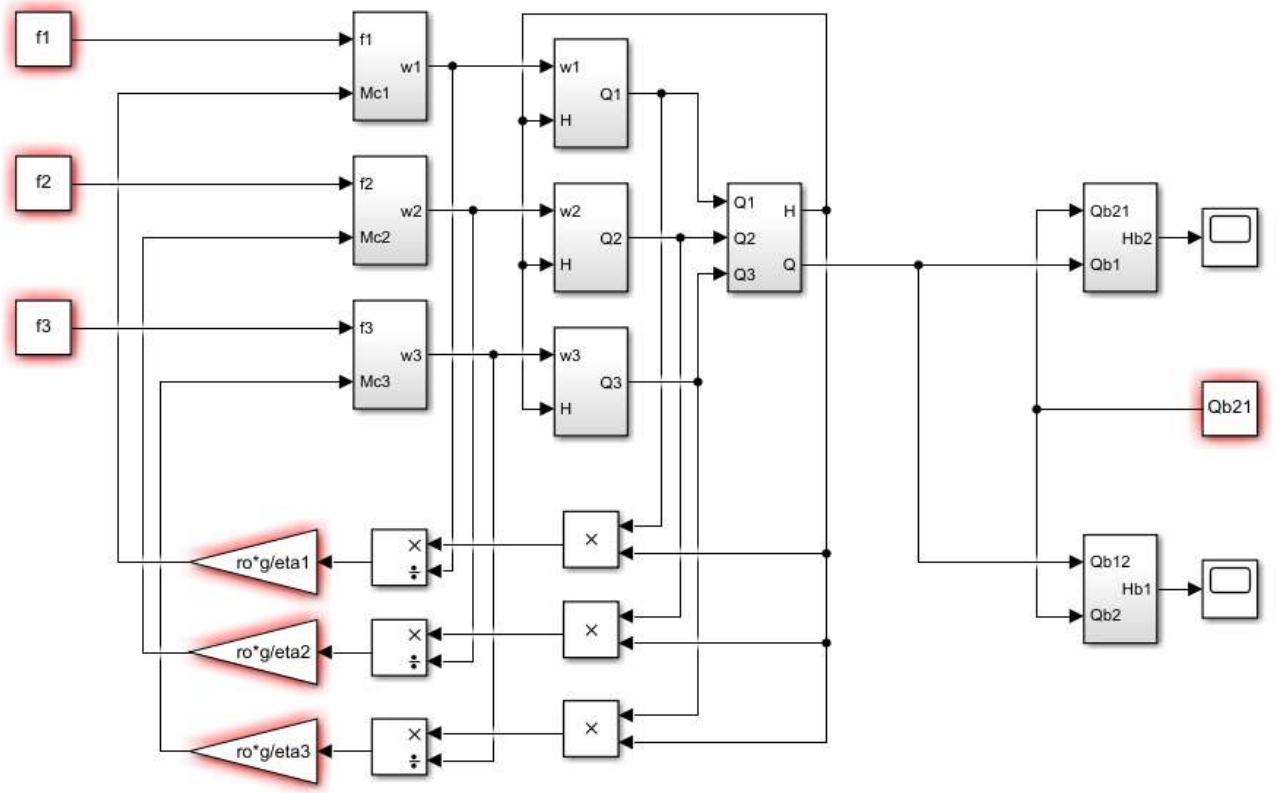


Рисунок 5.1 – Комп'ютерна модель лабораторного стенда для дослідження системи водопостачання

На вхід моделі подаються сигнали частоти напруги живлення приводних двигунів насосів f1, f2, f3. Для моделювання електричних двигунів використано лінеаризовану модель асинхронного двигуна. Моделі двигунів на рисунку 5.2 позначено блоками Subsystem – Subsystem2. На виході кожної з них отримується частота обертання ротора. У моделях насосів Subsystem3 – Subsystem5 частота обертання робочого колеса перетворюється у продуктивність кожного насоса Q1, Q2, Q3. Потім у моделі мережі водопостачання Subsystem6 сума продуктивностей насосів дає продуктивність станції Q та напір води H в трубопроводі. Моделі першого та другого резервуарів позначено відповідно Subsystem8 та Subsystem7.

Комп'ютерну модель асинхронного двигуна, насоса, трубопроводу та накопичувальних ємностей подано на рисунках 5.2 – 5.6.

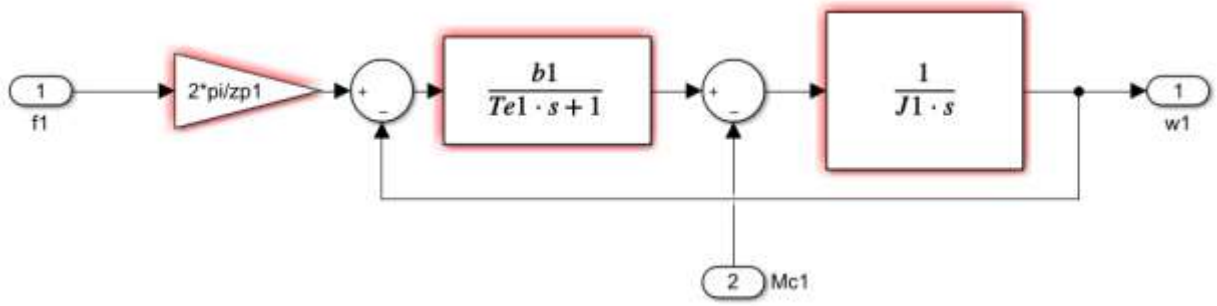


Рисунок 5.2 – Модель двигуна у структурному вигляді, зібрана в Matlab

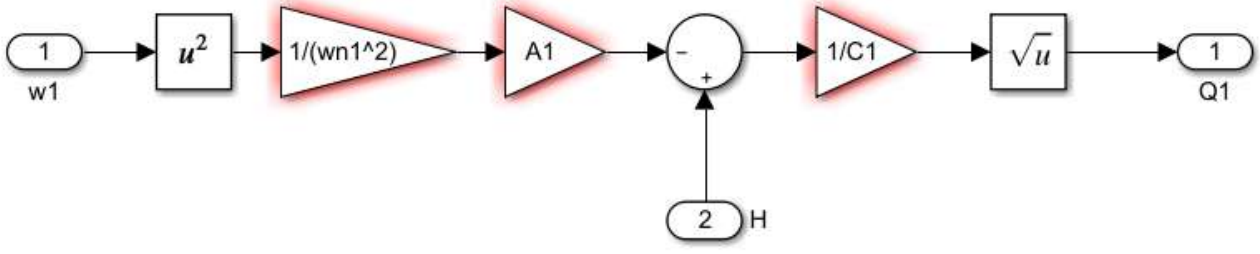


Рисунок 5.3 – Модель насоса у структурному вигляді, зібрана в Matlab

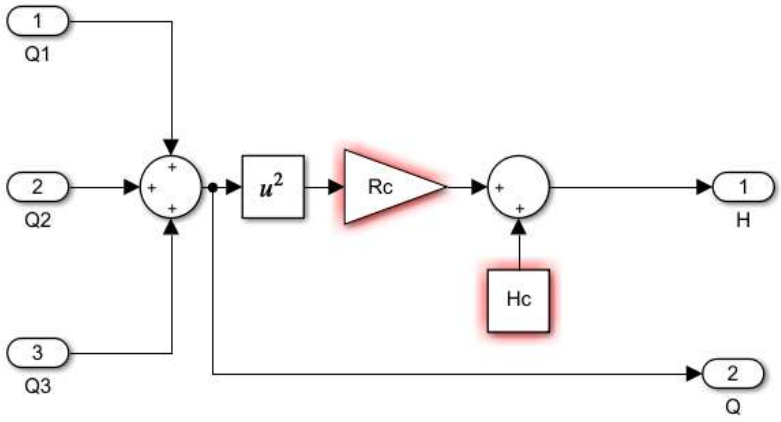


Рисунок 5.4 – Модель мережі водопостачання у структурному вигляді, зібрана в Matlab

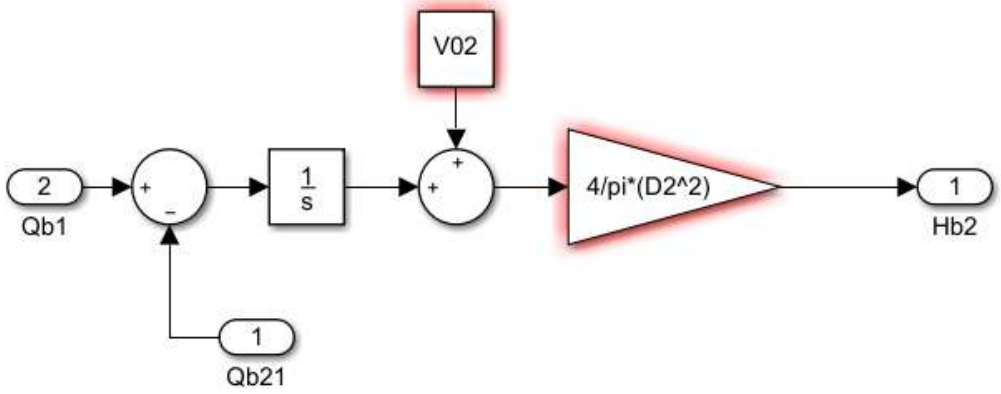


Рисунок 5.5 – Модель накопичувальної ємності (бака) у структурному вигляді, зібрана в Matlab

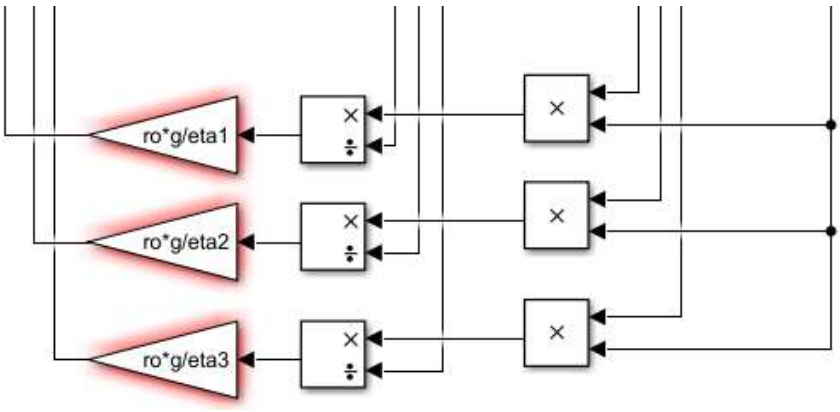


Рисунок 5.6 – Модель навантаження, що створюється насосами на двигуни у структурному вигляді, зібрана в Matlab

Детально розглянемо комп'ютерну модель (рисунок 5.1) та підставимо значення параметрів насоса та умов які будуть впливати на дану комп'ютерну модель відповідно до реально спроектованого лабораторного стенда. На вхід комп'ютерної моделі (f1, f2, f3) ми вказуємо параметри частоти для кожного насоса відповідно до їх паспортних даних.

Наступні частини комп'ютерної моделі було сховано в блок, для її компактності та, що б було зрозуміло де яка модель реального об'єкта буде моделюватись. Розглянемо детально кожен з блоків.

Модель двигуна (рисунок 5.2), на вхід якого ми подаємо частоту відповідно до його паспортних даних. Знаходимо синхрону швидкість обертанння:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi}{Zp} \cdot f_H . \tag{5.1}$$

Знаходимо момент двигуна з формули:

$$M = \frac{\beta}{Tp + 1} \cdot (\omega_0 - \omega) . \tag{5.2}$$

Знаючи момент двигуна, знаходимо кутову швидкість обертання:

$$\omega = \frac{1}{Jp} \cdot (M - M_C). \tag{5.3}$$

Комп'ютерна модель для інших двигунів буде однакова, мінятися будуть лише їхні параметри. Комп'ютерна модель двигуна насоса QB-60 подана на рисунку 5.7, а графіки перехідних процесів швидкості та моменту двигуна на рисунку 5.8.

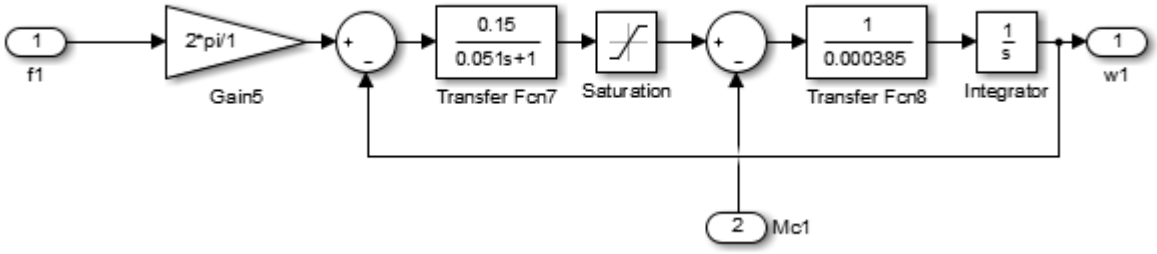


Рисунок 5.7 – Комп'ютерна модель двигуна QB-60 з розрахунковими параметрами

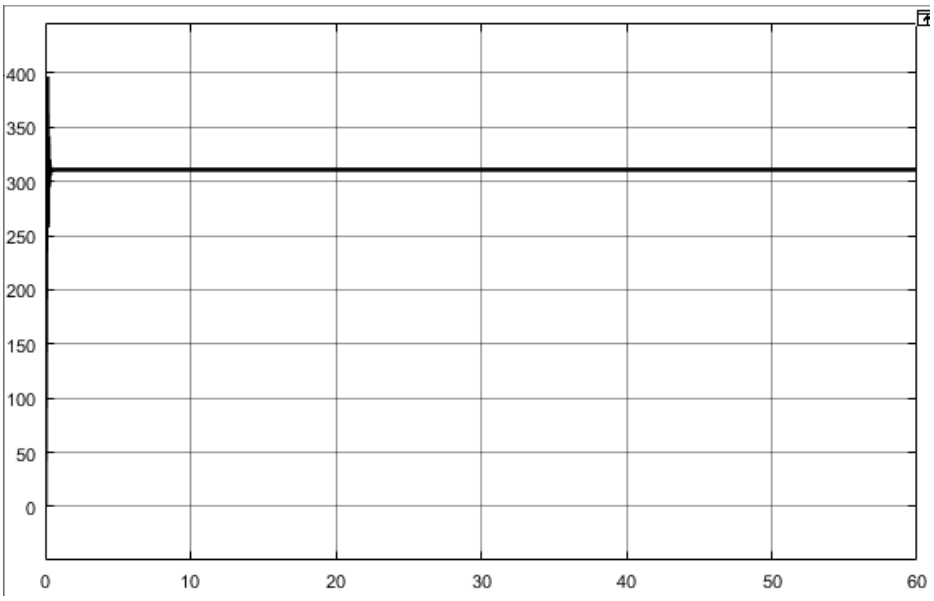


Рисунок 5.8 – Графік швидкості двигуна QB-60 побудований в Matlab

Аналогічно можна отримати модель та графіки перехідних процесів насосного агрегату Villo RS25/4.

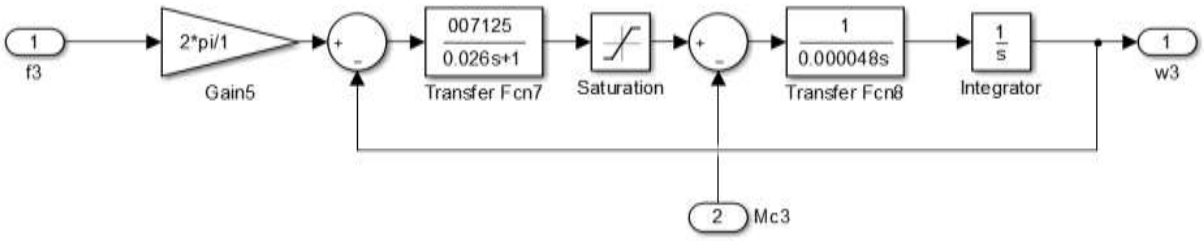


Рисунок 5.9 – Комп'ютерна модель двигуна Villo RS25/4 з розрахунковими параметрами

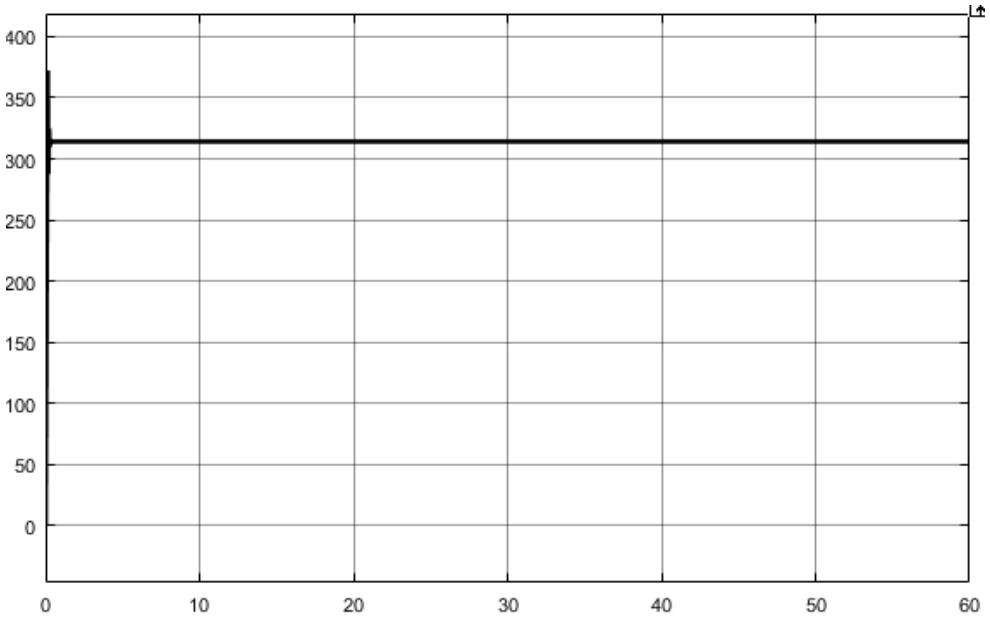


Рисунок 5.10 – Графік швидкості двигуна Villo RS 25/4 побудований в Matlab

Напірно-витратні характеристики насосів можна апроксимувати поліномом 2-го порядку, який має вигляд:

$$H(v, q) = A_1 \cdot v^2 + A_2 \cdot q^2, \quad (5.4)$$

де $H(v, q)$ – напір насоса, м.в.ст.;

A_1, A_2 – коефіцієнти апроксимації характеристики;

v – відносне значення швидкості обертання робочого колеса насоса, в.од.;

q – продуктивність насосного агрегату, л/с.

За результатами розрахунків апроксимаційних виразів напірно-витратних характеристик насосів для кілької відомих точок можна знайти коефіцієнти апроксимації. Для номінальної швидкості обертання насосів Q-H характеристики насосів будуть мати вигляд:

$$H_{1,2}(q) = 33 - 85 \cdot q^2, \quad (5.5)$$

$$H_3(q) = 3 - 1729 \cdot q^2. \quad (5.6)$$

Напірно-витратну характеристику трубопровідної мережі апроксимують поліномом 2-го порядку, який має вигляд:

$$H(q) = B_1 + B_2 \cdot q^2, \quad (5.7)$$

де $H(q)$ – напір насоса, м.в.ст.;

B_1, B_2 – коефіцієнти апроксимації характеристики;

q – продуктивність насосного агрегату, л/с.

Для насосної станції важливим є показник геодезичної вистоти підйому води, тобто висота підйому води з точки джерела забору до найвищої точки мережі водоспоживання. Дана висота становить 2,08 м і позначається вона в напірно-витратній характеристиці B_1.

Аналогічно за результатами розрахунків виразу напірно-витратної характеристики трубопровідної мережі для кілької відомих точок знайдемо коефіцієнти апроксимації, отже, Q-H характеристика мережі буде мати вигляд:

$$H(q) = 2,08 - 1,86 \cdot q^2 . \tag{5.8}$$

Основне рівняння насоса має вигляд:

$$q = \sqrt{(H - A_1 \cdot v) \cdot \frac{1}{A_2}}, \tag{5.9}$$

де H – це напір який видає насос;

q – це витрати води які отримуються насосом;

A_1, A_2 – коефіцієнти апроксимації які отримуються лише аналітично і залежать від технічних особливостей насоса.

Комп’ютерна модель насосів подана далі.

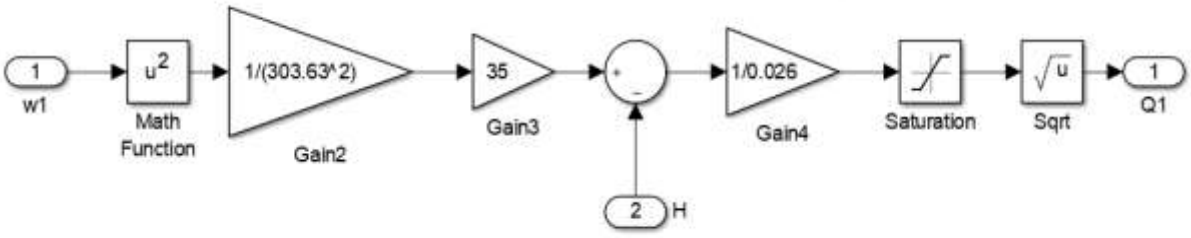


Рисунок 5.11 – Комп’ютерна модель насоса QB-60 з розрахунковими параметрами

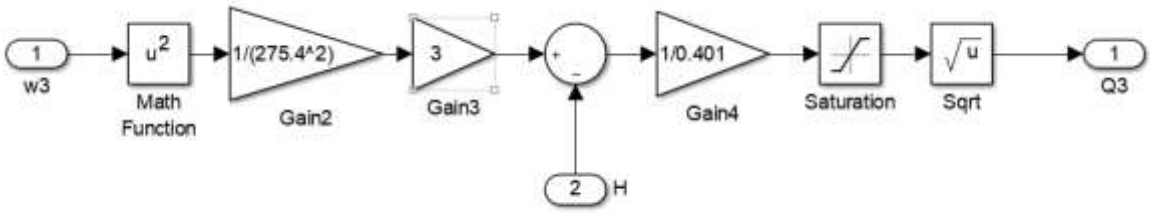


Рисунок 5.12 – Комп'ютерна модель насоса Villo RS25/4 з розрахунковими параметрами

В комп'ютерній моделі для визначення загального параметру витрат води використовуємо суматор.

Розглянео модель мережі водопостачання. Систему водопостачання можна описати формулою:

$$H = B_1 + B_2 \cdot Q^2, \tag{5.10}$$

де B1 – це висота підйому води;

B2 – це втрати тиску в мережі.

Підібравши параметри мережі відповідно до геометричних розмірів стенду, діаметру і типу трубопроводів, отримаємо комп'ютерну модель системи водопостачання

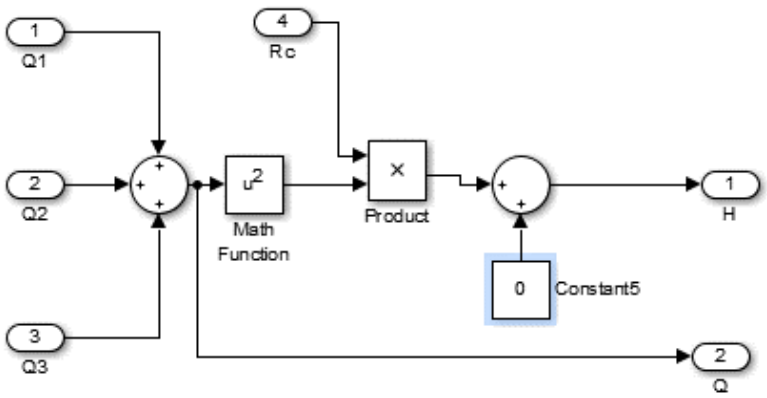


Рисунок 5.13 – Комп'ютерна модель мережі насосів

Під час моделювання розглядатимемо випадок «безнапірного» водопостачання. Тобто $B_1 = 0$.

Знаючи загальний параметр напору H та параметр кутової обертання окремого двигуна, можна змоделювати навантаження яке діє на двигун (рисунок 5.6). Визначатись навантаження буде за формулою:

$$Mc = \frac{\rho \cdot g}{\eta}, \qquad (5.11)$$

де ρ - це густина рідини яку ми будемо використовувати для роботи насосів.

$(\rho = 997 \ \ кг / м^3)$;

g – це прискорення вільного падіння, стала яка є рівною $(g = 9.8 \ \ м / с^2)$;

η - це коефіцієнт корисної дії двигуна, він є індивідуальним для кожного з двигунів, що і сприяє створенню різного навантаження для різного двигуна.

Побудуємо комп’ютерну модель навантаження кожного з насосних агрегатів.

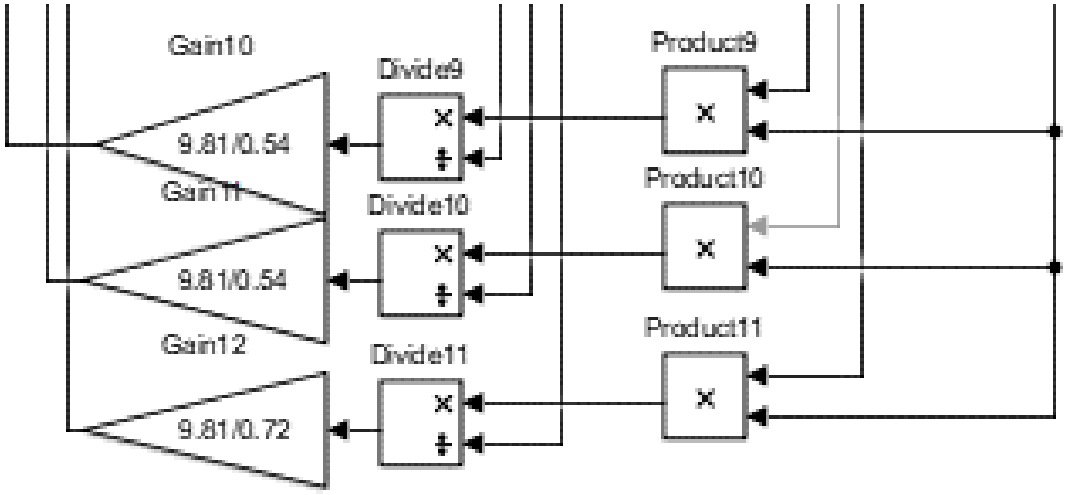


Рисунок 5.14 – Комп’ютерна модель навантаження двигуна, що створюється насосами з розрахунковими параметрами

Знаючи параметр витрат води в мережі, насоси будуть качати воду з ємності 1 в ємність 2. Детально розлянемо комп'ютерну модель ємностей.

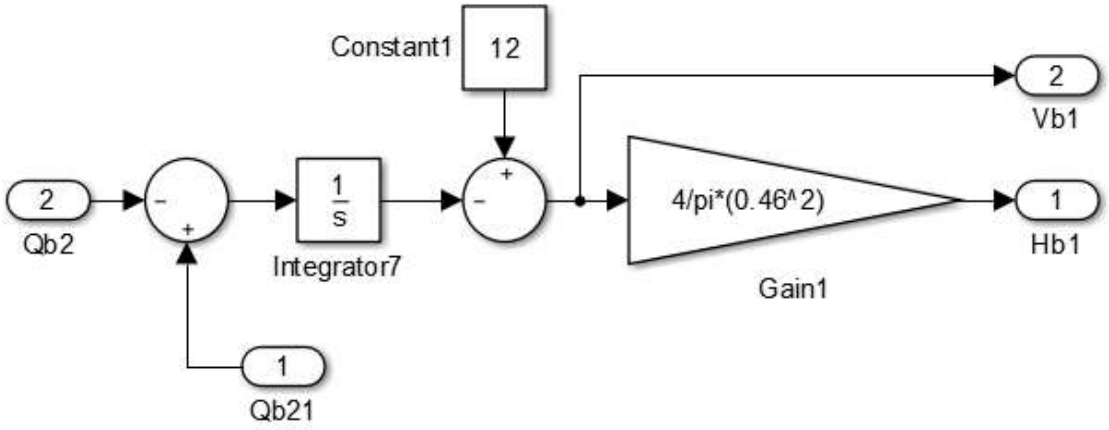


Рисунок 5.15 – Комп'ютерна модель ємності 1 лабораторного стенда з розрахунковими параметрами.

Ємність 2 матиме аналогічну модель та структурну схему. Різниця полягамиме лише у вхідній та вихідній діях.

Ємніст працює як накопичувач продуктивності. Тому змінна Q, що подається на вхід моделі, інтегрується. Суматор використовується для того, щоб врахувати додаткову подачу чи відбір води з ємності. Цим самим з'являється можливість імінувати споживання води в мережі водопостачання.

Побудуємо комп'ютерну модель лабораторного стенда таким чином, щоб можна було змінювати вхідні зміни під час моделювання (рис. 5.16).

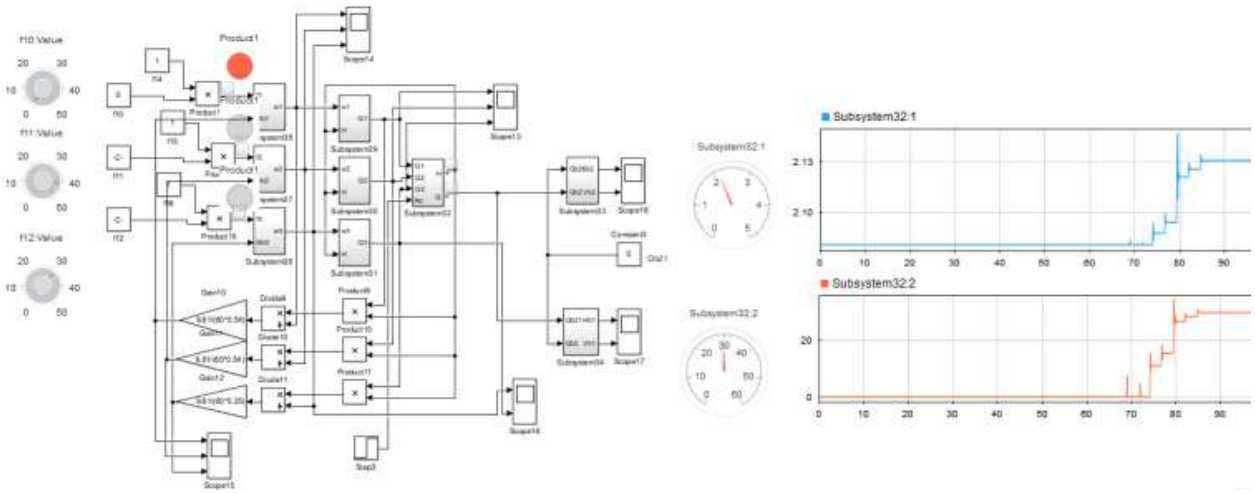


Рисунок 5.16 – Комп’ютерне моделювання ефективності роботи системи водопостачання

Результати моделювання роботи стенда у випадку плавного регулювання частоти напруги живлення одного з насосних агрегатів подано на рисунку 5.17.

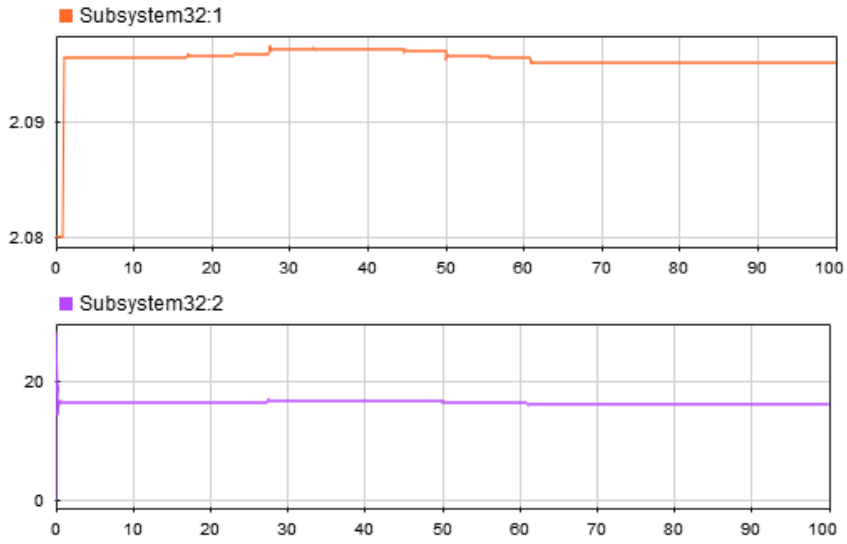


Рисунок 5.17 – Результати моделювання роботи стенда у випадку плавного регулювання частоти напруги живлення одного з насосних агрегатів

Отже, комп’ютерна модель відпрацьовує задаючу дію і реагує на зміну сигналів частоти напруги живлення двигунів. Перевіремо чи співпадають результати комп’ютерного моделювання з реальними експериментальними даними.

Для цього виконаєм комп’ютерне моделювання роботи лабораторного стедна для випадків, що розглядалися в розд. 4. Перший випадок передбачає роботу лише одного насоса Kenle HEK QB-60. Результати комп’ютерного моделювання подано на рис. 5.18.

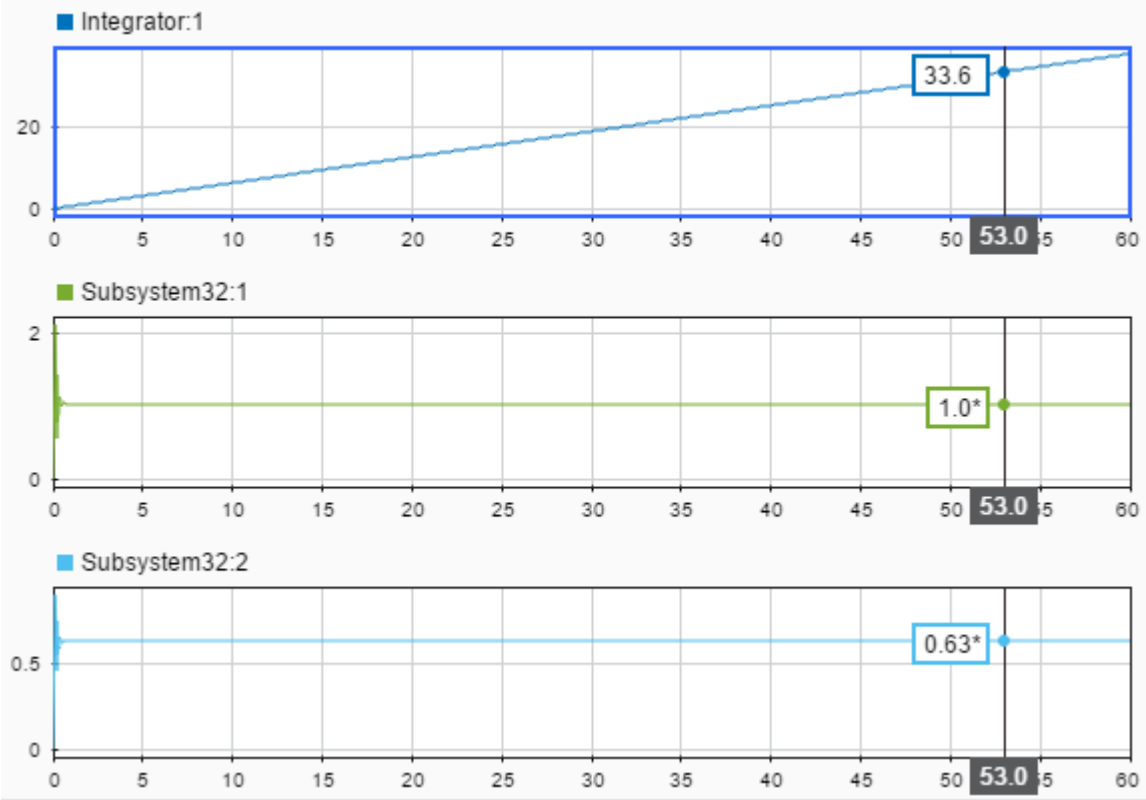


Рисунок 5.18 – Моделювання роботи лабораторного стенда у випадку, коли працює лише один насос Kenle HEK QB-60

На рисунку 5.18 першим подано графік сумарної подачі насосної станції в літрах, на другому графіку подано тиск води на виході станції в м.в.ст. і на третьому графіку подано продуктивність станції в л/с.

За результатами моделювання видно, що насос перекачує 33,6 літрів води за 53 с. Тиск води під час перекачування дорівнював 1,0 м.в.ст., а продуктивність – 0,63 л/с.

Другий випадок передбачає роботу двох насосів Kenle HEK QB-60. Результати комп'ютерного моделювання подано на рис. 5.19.

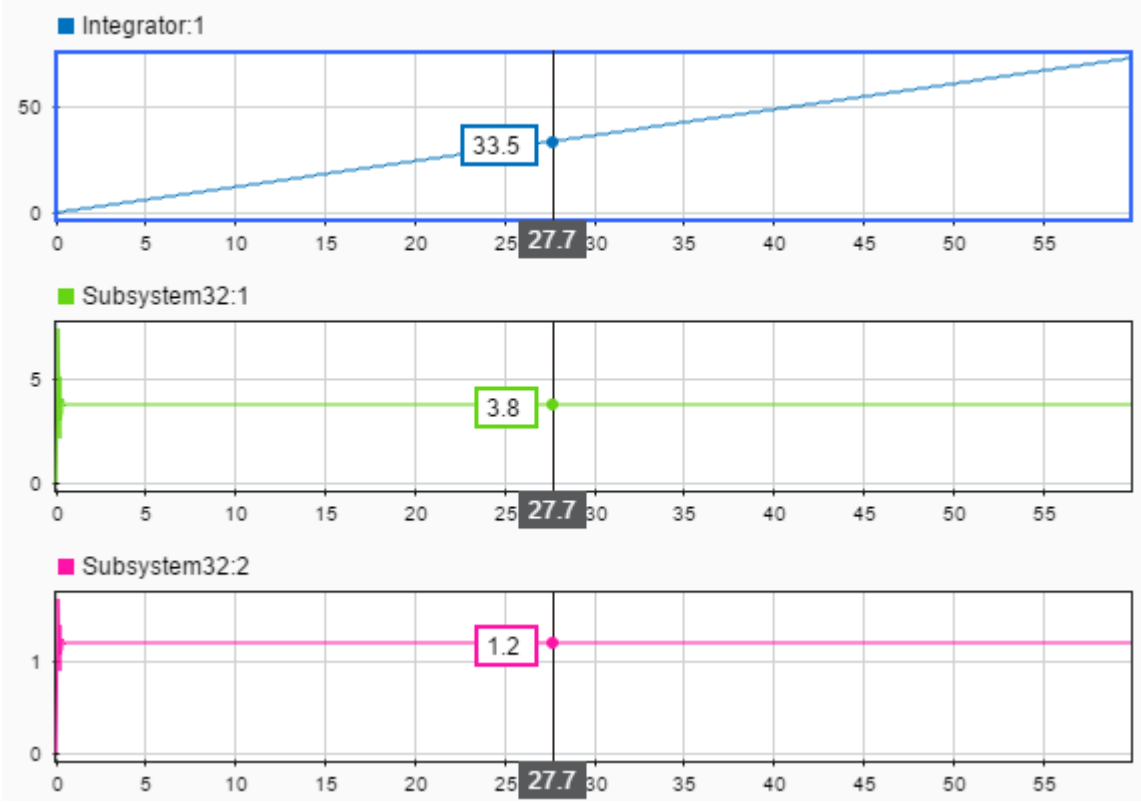


Рисунок 5.19 – Моделювання роботи лабораторного стенда у випадку, коли працює два насоси Kenle HEK QB-60

За результатами моделювання видно, що насос перекачує 33,5 літрів води за 27,7 с. Тиск води під час перекачування дорівнював 3,8 м.в.ст., а продуктивність насосної станції – 1,2 л/с.

Третій випадок передбачає роботу двох насосів Kenle HEK QB-60 та одного насосу Villo RS 25/4. Результати комп'ютерного моделювання подано на рис. 5.20.

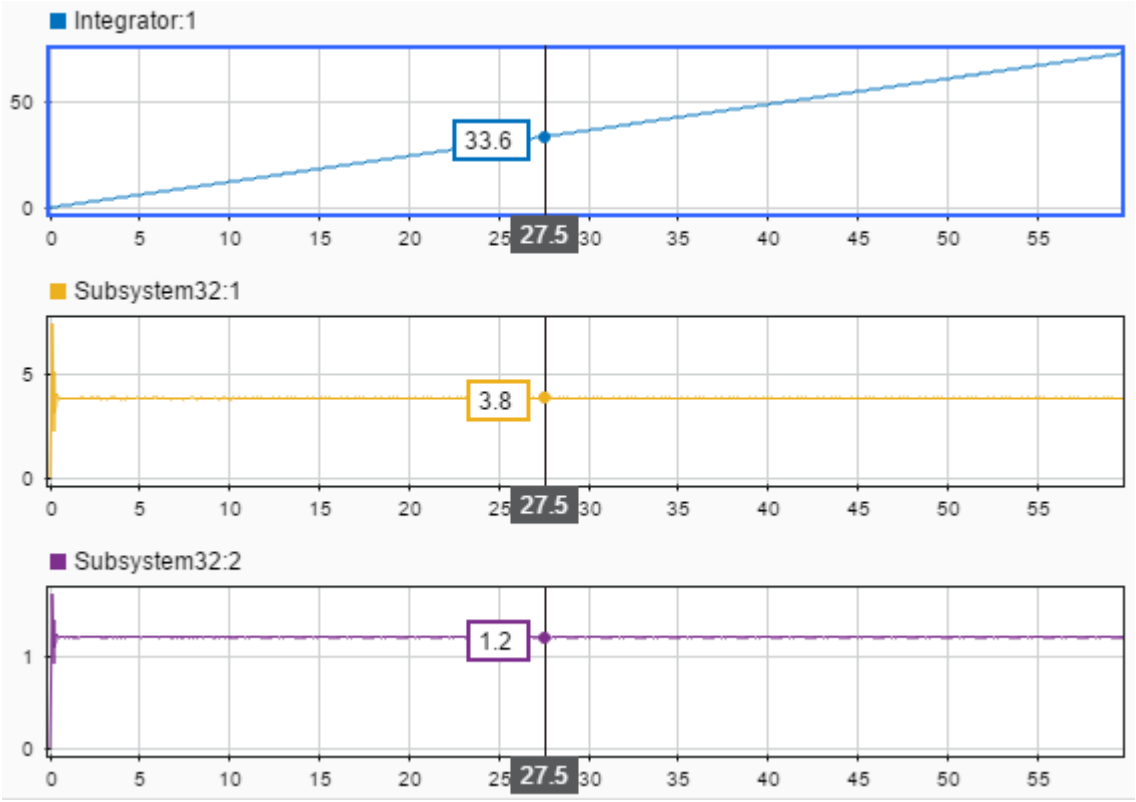


Рисунок 5.20 – Моделювання роботи лабораторного стенда у випадку, коли працює два насоси Kenle HEK QB-60 та один насос Villo RS 25/4.

За результатами моделювання видно, що насос перекачує 33,6 літрів води за 27,5 с. Тиск води під час перекачування дорівнював 3,8 м.в.ст., а продуктивність насосної станції – 1,2 л/с.

Порівняння отриманих результатів комп’ютерного моделювання всіх трьох випадків подано на рис. 5.21.

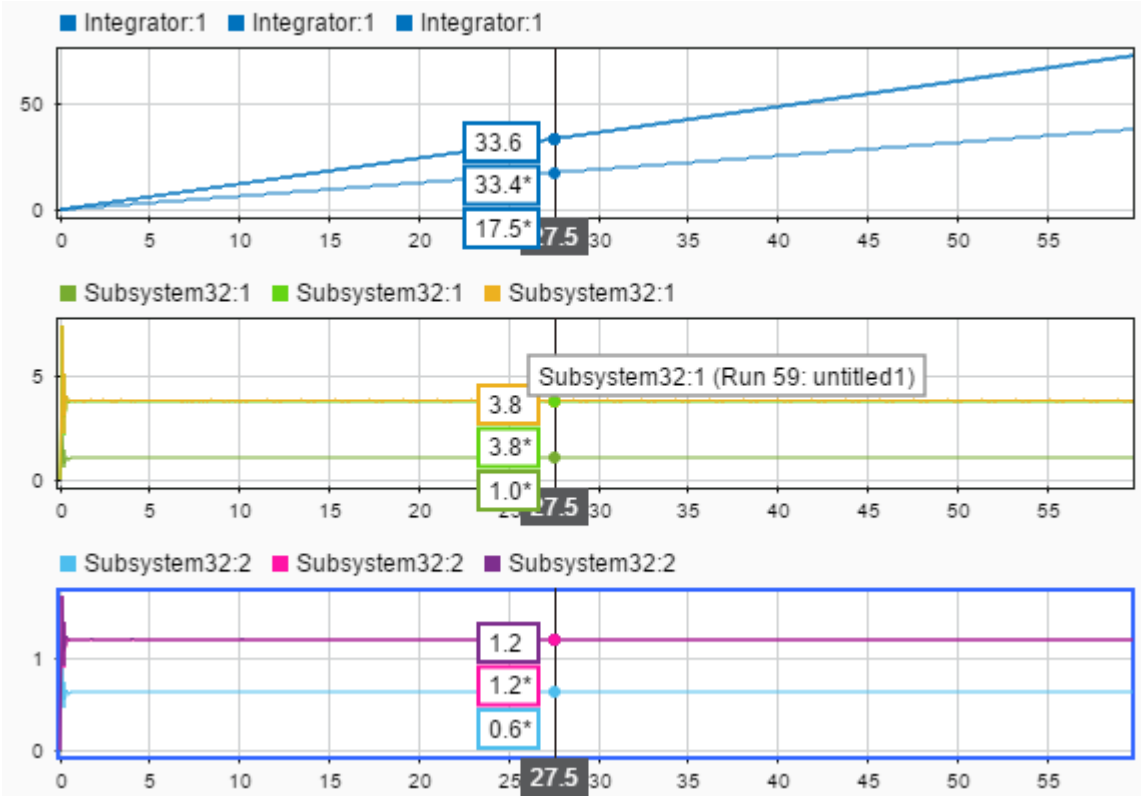


Рисунок 5.21 – Моделювання роботи лабораторного стенда з різною кількістю насосів

Для моменту часу 27,5 с подано значення параметрів при різній кількості працюючих насосів. Найменше значення параметру відповідає роботі одного насоса Kenle HEK QB-60, середнє значення – роботі двох насосів Kenle HEK QB-60 і найбільше значення відповідає роботі всіх насосів стенда.

Порівняємо отримані результати з експериментальними даними. Подамо їх у табличні формі.

Таблиця 5.1 – Порівняння результатів моделювання з експериментальними даними

Режим роботи лабораторного стенда	Досліджуваний параметр	Значення, отримані експериментальним шляхом	Значення, отримані за результатами моделювання
Робота одного насоса Kenle HEK QB-60	Кількість перекачаної води	34 л.	33,6
	Тривалість перекачування	53 с.	53
	Напір в мережі, м.в.ст.	0,75	1,0
Робота двох насосів Kenle HEK QB-60	Кількість перекачаної води, л.	34	33,5
	Тривалість перекачування	27 с.	27,7
	Напір в мережі, м.в.ст.	3,2	3,8
Робота двох насосів Kenle HEK QB-60 та одного насосу Villo RS 25/4	Кількість перекачаної води, л.	34	33,6
	Тривалість перекачування, с	23	27,5
	Напір в мережі, м.в.ст.	3,4	3,8

Таким чином, видно, що розроблена модель відтворює всі тенденції до зміни контрольованих параметрів. За результатами комп'ютерного моделювання трішки завищеними (до 15%) вийшли значення напору. Це можна пояснити ідеалізованими умовами проведення комп'ютерного моделювання, оскільки не враховувалося багато факторів, що створюють додаткови втрати тиску. Проте отриманої точності буде достатньо для того, щоб зробити висновки про можливі ефекти від впровадження способів підвищення ефективності роботи насосних станцій та систем водопостачання вцілому.

Промоделюємо роботу системи водопостачання в різних режимах роботи (рис. 5.22, 5.23).

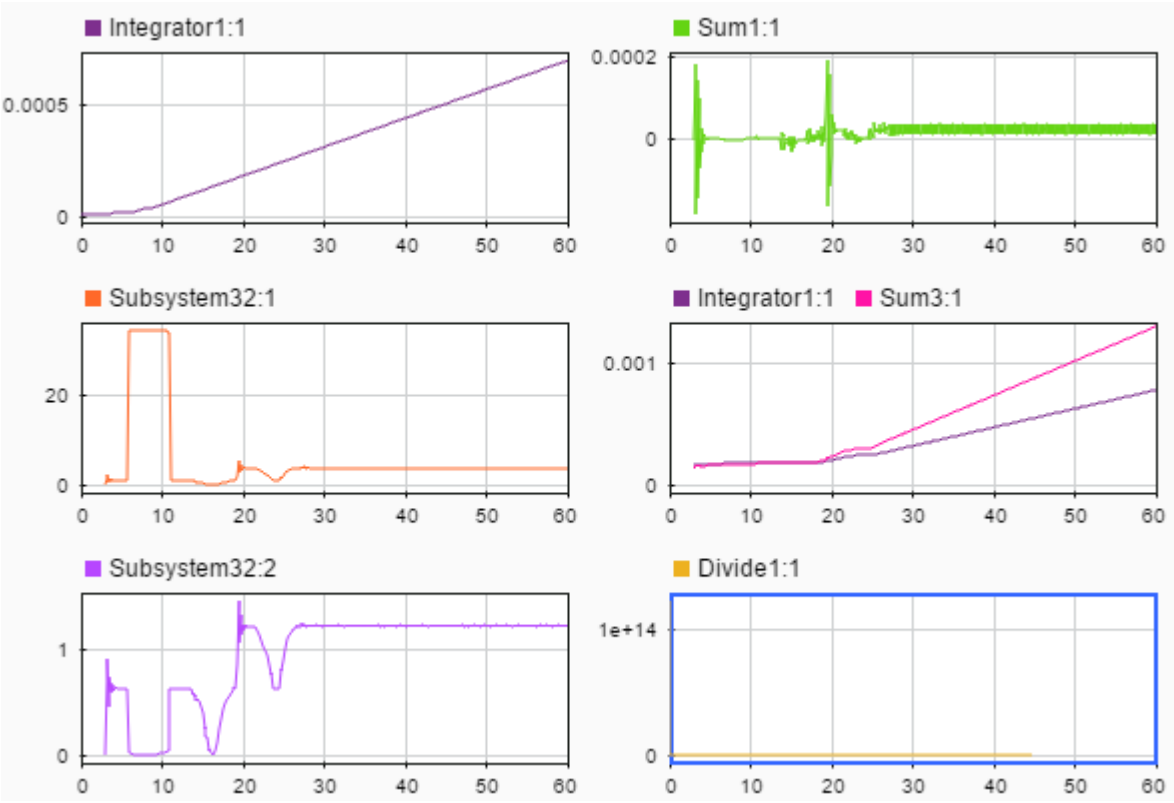


Рисунок 5.22 – Моделювання роботи системи водопостачання в різних режимах (прямий пуск одного насоса, прикриття засувки, відкриття засувки, регулювання швидкості, пуск другого насоса, пуск третього насоса)

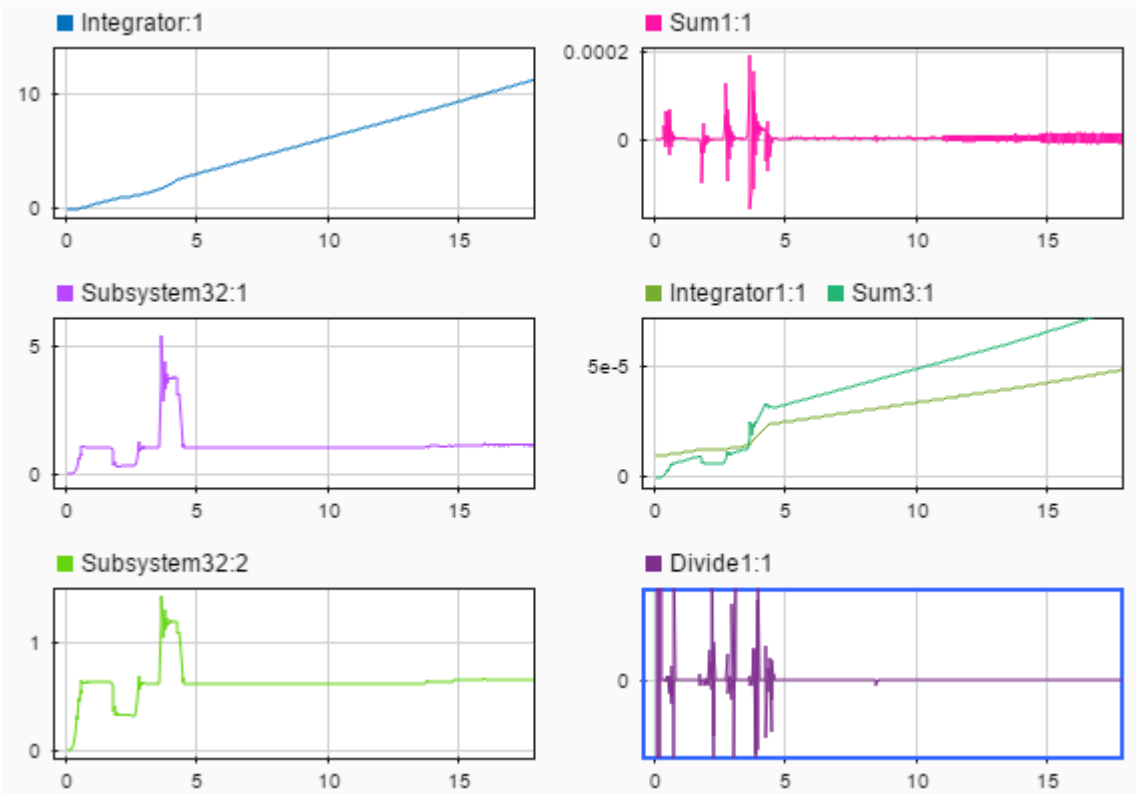


Рисунок 5.23 – Моделювання роботи системи водопостачання в різних режимах (плавний розгін одного насоса, регулювання швидкості, плавний розгін другого насоса, регулювання швидкості другого насоса, розгін третього насоса, прикриття засувки)

На рисунках 5.22, 5.23 подано у першому стовпці графіків: загальна подача станції, тиск на виході станції, продуктивність станції; у другому стовпці: миттєве значення кількості електроенергії у кВтгод, порівняння кількост електроенергії затраченої і корисної, співвідношення між корисною і затраченою енергією.

Шляхом імітаційного комп’ютерного моделювання отримано підтвердження наступних тез:

1. Ефективне регулювання продуктивності всієї насосної станції суттєво зменшує споживання нею електричної енергії. Величина

економічного ефекту від регулювання практично прямопропорційно залежить від глибини регулювання станції.

2. Зменшення тиску в гідравлічній системі призводить до зменшення споживання насосною станцією електричної енергії. Таким чином, для ефективного керування системою водопостачання, тиск в ній повинен бути мінімальним але достатнім для нормального функціонування споживача.

3. Найкращий економічний ефект дає поєднання частотного способу керування насосними агрегатами станції водопостачання зі зміною кількості працюючих насосів.

4. Кращі регулювальні якості матиме насосна станція, що складається з одного насосного агрегату, але у випадку глибокого регулювання продуктивності станції кращу ефективність мають станції з кількістю насосних агрегатів більше трьох.

5. Під час роботи кількох насосних агрегатів їх режим роботи необхідно узгоджувати. Неврахування режиму роботи кожного з насосів призводить до зменшення продуктивності станції.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для розрахунку в даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянемо реальний лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання, який заходиться в лабораторії «Електроприводу типових виробничих механізмів» Факультету електроенергетики та електромеханіки Вінницького національного технічного університету. На прикладі цього стенда будемо виконувати порівняння економічної ефективності роботи системи водопостачання, побудованої за морально застарілими принципами керування, та принципами керування, окресленими в даній роботі. Як зазначалося в розділі 3 роботи, стенд складається з двох насосів потужністю 370 Вт та одного насоса з максимальною потужністю 50 Вт.

Розглянемо випадки, коли для роботи насосної станції використовуються такі способи регулювання, як дроселювання та частотне регулювання. В першому випадку насоси працюють у тривалому режимі з максимальною потужністю 790 Вт. У другому випадку регулювання продуктивності станції відбувається шляхом узгодженого частотного регулювання насосних агрегатів. Перший випадок будемо називати «базовим», а другий – «новим». В обох варантах реалізації насосної станції встановлені однакові групи насосних агрегатів, але у новому варіанті додатково встановлюється перетворювач частоти на потужінсть одного насосного агрегату. Розглянемо перетворювач частоти компанії Schneider Electric ATV71H075M3, який розрахований на потужність двигуна 0,75 кВт 240 В. Вартість такого перетворювача на офіційному сайті становить 17098 грн [35]. Вартості насосів Kenle HEK QB-60 та Wilo Star-RS 25/4-130 становлять 639 та 550 відповідно [36 – 37].

Мінімум приведених витрат визначається за формулою:

$$З = С + Е_н \cdot К, \tag{6.1}$$

де С – річні експлуатаційні затрати, грн;

$Е_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності ($Е_н$=0,2);

К – капітальні вкладення, грн.

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$ЕЕ = Е_н(К_1 - К_2) - (С_1 - С_2), \quad (6.2)$$

де індекси "1" та "2" відносяться до базового і нового варіантів відповідно.

Термін окупності визначається за формулою:

$$Т_{ок} = \frac{\Delta К}{\Delta С} = \frac{К_2 - К_1}{С_1 - С_2}, \quad (6.3)$$

де $Т_{ок}$– термін окупності додаткових капітальних затрат.

6.1 Визначення капітальних вкладень

Кошторис на обладнання для базового і нового варіантів наведений в таблиці 5.1. При складанні кошторису враховувалось, що транспортні витрати складатимуть 7% від вартості обладнання, а вартість монтажних робіт 10 % від вартості обладнання з транспортними витратами.

Таблиця 6.1 – Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна	Вартість	
				базова	Вартість нова
1	2 насосні агрегати Kenle HEK QB-60 та 1 – Villo RS25/4-1	3	2х639 + 1х550 грн	1828	1828
2	Силовий перетворювач	1	17098	0,0	17098,0
3	Система керування	1	-	1709,8	1709,8
4	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)		-	854,9	854,9
5	Вартість обладнання			2564,7	19662,7
6	Транспортні витрати (7%)			179,5	1376,4
7	Вартість всього			2744,2	21039,1
8	Монтажні роботи (10%)			274,4	2103,9
9	Капітальні вкладення всього			3018,7	23143,0

Згідно з табл. 5.1 необхідні капіталовкладення для базового варіанту електропривода становлять Кб = 3019 грн, а для нового – Кн = 23143 грн.

6.2 Розрахунок основного фонду заробітної плати

6.2.1 Визначення чисельності персоналу

Визначення чисельності основного виробничого та ремонтного персоналу, який забезпечить роботу системи водопостачання на базі лабораторного стенда:

1) основним виробничим персоналом є диспетчер (якщо мова йде про насосну станую) або викладач (якщо мова йде про лабораторний стенд),

2) ремонтним та обслуговуючим персоналом на насосних станціях систем водопостачання є черговий за кваліфікацією слюсар-електромонтажник (для реальних станцій) або інженер (якщо мається на увазі лабораторний стенд.

Припустимо, що ми розглядаємо реальну насосну станцію, яка працює в реальних умовах і має таке саме обладнання, як і лабораторний стенд, що розглядається в розділі 4.

Розглянемо випадок, коли диспетчер має 5 розряд, а черговий насосної станції 4-й розряд.

6.2.2 Розрахунок заробітної плати

Розрахуємо оплату праці по існуючому тарифу. Тарифна ставка 1-го розряду $ТС_1$ складає 2561 грн/міс. Тарифна ставка кожного працівника буде розраховуватись за формулою:

$$ТС = К \cdot ТС_1 \tag{6.4}$$

де К – тарифний коефіцієнт.

У кожного працівника він відрізняється. Так тарифний коефіцієнт диспетчера 5-го розряду ($К_д = 2,33$); чергового 4-го розряду ($К_ч = 2,03$).

Отримаємо:

$$ТС_д = 2,33 \cdot 2561 = 5967 \text{ (грн/міс)};$$
$$ТС_ч = 2,03 \cdot 2561 = 5199 \text{ (грн/міс)}.$$

Річна заробітна плата кожного працівника складає:

$$З_р = ТС \cdot 12, \tag{6.5}$$
$$З_{р.д} = 12 \cdot 5967 = 71606 \text{ (грн)};$$

$$З_{р.ч} = 12 \cdot 5199 = 62386 (грн).$$

Оплата праці за професійну та майстерну діяльність:

$$П_{п} = \frac{З_{р} \cdot Н_{п}}{100}, \quad (6.6)$$

де $Н_{п}$ – надбавка за професійну діяльність ($Н_{п}$ = 10%).

Отримаємо:

$$П_{п.д} = \frac{71606 \cdot 10}{100} = 7161 (грн);$$

$$П_{п.ч} = \frac{62386 \cdot 10}{100} = 6239 (грн).$$

Всього заробітна плата складає:

$$З_{п} = З_{р} + П_{п}; \quad (6.7)$$

$$З_{п.д} = 71606 + 7161 = 78766 (грн);$$

$$Зп.ч = 62386 + 6239 = 68625 (грн).$$

Оплата премії працівнику (при коефіцієнті премії $К_{п}$ = 15%);

$$П_{пр} = \frac{З_{п} \cdot К_{п}}{100}, \quad (6.8)$$

$$П_{пр.д} = 0,15 \cdot 78766 = 11815 (грн);$$

$$П_{пр.ч} = 0,15 \cdot 68625 = 10294 (грн).$$

Всього повна заробітна плата за рік складає :

$$З_{пов} = З_{п} + П_{пр};\tag{6.9}$$

$$З_{пов.д} = 78766 + 11815 = 90581\,(грн);$$

$$З_{пов.ч} = 68625 + 10294 = 78918\,(грн).$$

Загальний фонд оплати праці складе:

$$Ф = З_{пов.д} + З_{пов.ч};\tag{6.10}$$

$$Ф = 90581 + 78918 = 169499\,(грн).$$

6.3 Розрахунок експлуатаційних затрат

Експлуатаційні затрати залежать від кількості електроенергії і, відповідно, вартості цієї електроенергії за рік роботи електропривода. Знайдемо вартість електроенергії.

Втрати енергії в електроприводі за рік:

$$С_{д} = С_{д} + С_{ск},\tag{6.11}$$

де $С_{д}$ – втрати енергії в двигуні, грн./рік;

$С_{ск}$ – втрати енергії в системі керування електроприводом, грн./рік.

Втрати енергії в двигуні враховують втрати енергії в стаціонарних та перехідних режимах за рік:

$$С_{Д} = \Delta W_{\Sigma} \cdot c,\tag{6.12}$$

де $\Delta W_{\Sigma дв}$ – сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

с – вартість однієї кіловатгодини енергії (тариф) для комунальних підприємств (с = 3,44 грн/(кВт·год)).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta W_{\Sigma дв} = (\Delta P_{ном} + \Delta P_{перех}) \cdot k_з \cdot \Phi_д \qquad (6.13)$$

де $\Delta P_{ном}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{перех.}$ – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

$k_з$ – коефіцієнт завантаження за потужністю (приймемо рівним 0,5);

$\Phi_д$ – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{ном} = P_{ном} \cdot \frac{1 - \eta_{ном}}{\eta_{ном}}, \qquad (6.14)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність насосного агрегату ($P_{ном}$= 790 Вт);

$\eta_{ном}$ – номінальний ККД насосного агрегату ($\eta_{ном}$ = 0,8).

$$\Delta P_{ном} = 0,79 \cdot \frac{1 - 0,8}{0,8} = 0,1975 \text{ (кВт).}$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи та режимах, відмінних від номінального, становлять:

$$\Delta P_{перех.} = 0,1 \cdot P_{ном}, \qquad (6.15)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність, що споживається насосною станцією в номінальному режимі роботи.

Для одного насосного агрегату насосної станції отримаємо

$$\Delta P_{перех.} = 0,1 \cdot 0,79 = 0,079 (кВт).$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік:

$$Ф_д = \frac{ТВ_{факт\%}}{100} \cdot Z_{р.д.} \cdot Z_{р.з.} \cdot t_{р.з.}, \quad (6.16)$$

де $ТВ_{факт\%}$ – фактична тривалість ввімкнення (припустимо, що $ТВ_{факт\%} = 80\%$);

$Z_{р.д.}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{р.д.} = 365$ днів);

$Z_{р.з.}$ – кількість робочих змін ($Z_{р.з.} = 3$);

$t_{р.з.}$ – тривалість робочої зміни ($t_{р.з.} = 8$ год),

$$Ф_д = \frac{80}{100} \cdot 365 \cdot 3 \cdot 8 = 7008 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати потужності на насосній станції дорівнюватимуть:

$$\Delta W_{\Sigma дв} = (0,1975 + 0,079) \cdot 0,5 \cdot 7008 = 605,54 ((кВт \cdot год)/рік).$$

Втрати потужності у двигунах для нового варіанту електропривода будуть меншими на величину перехідних втрат. Це пояснюється тим, що система ПЧ-АД в перехідних режимах роботи не витрачає додаткової енергії, а використовує лише ту її частину, яка потрібна для виконання корисної роботи. Втрати потужності для ПЧ-АД будуть дорівнювати

$$\Delta W_{\Sigma дв} = 0{,}1975 \cdot 0{,}5 \cdot 7008 = 432{,}53\,((кВт \cdot год)/рік).$$

Сумарні втрати енергії в системі керування електроприводом за рік:

$$\Delta W_{ск} = \Delta P_{ск} \cdot k_з \cdot \Phi_д, \qquad (6.17)$$

де $\Delta P_{ном}$ – втрати потужності в системі керування електроприводом, кВт;

$$\Delta P_{ск} = P_{пп.} \cdot \frac{1 - \eta_{пп}}{\eta_{пп}}, \qquad (6.18)$$

де $P_{пп}$ – номінальна потужність перетворювального пристрою, кВт;

$\eta_{пп}$ – номінальний ККД перетворювального пристрою.

Для базового варіанту приймемо ККД системи керування рівним 70%. Таке значення ККД можна пояснити тим, що в базовому варіанті електропривода відсутнє регулювання швидкості насосів. Тому електропривода завжди працюють з номінальною чи близькою до неї швидкістю обертання і споживають при цьому надлишкову електроенергію.

Для базового варіанту отримаємо:

$$\Delta P_{ск.б} = 0{,}79 \cdot \frac{1 - 0{,}7}{0{,}7} = 0{,}338 \text{ (кВт)}.$$

Для нового варіанту отримаємо:

$$\Delta P_{ск.н} = 0{,}79 \cdot \frac{1 - 0{,}98}{0{,}98} = 0{,}016 \text{ (кВт)}.$$

Знайдемо втрати енергії в системі керування електроприводом. З врахуванням того, що система керування працює з трьома двигунами, один з яких завжди працює, коефіцієнт завантаженості приймемо рівним 1. Отримаємо:

$$\Delta W_{ск.б} = 0,338 \cdot 1 \cdot 7008 = 2373\,((кВт \cdot год)/рік),$$
$$\Delta W_{ск.н} = 0,016 \cdot 1 \cdot 7008 = 113\,((кВт \cdot год)/рік).$$

Затрати на електроенергію для базового і нового варіантів електропривода:

$$З_{вт.б} = (605 + 2373) \cdot 3,44 = 10245\,(грн),$$
$$З_{вт.н} = (432,5 + 113) \cdot 3,44 = 1877\,(грн).$$

Відрахування на амортизацію обладнання:

$$Зa = К \cdot А, \qquad (6.19)$$

де А – норма амортизації основних засобів (А = 10%).

Отримаємо:

$$З_{аб} = 3019 \cdot 0,1 = 302\ (грн/рік),$$
$$З_{ан} = 23143 \cdot 0,1 = 2314\ (грн/рік).$$

Затрати на поточний ремонт та технічне обслуговування системи електропривода приймаємо рівними 10 % для базового варіанту (велика кількість комутуючих елементів) та 2,5% для нового варіанту від капіталовкладень, оскільки для обох систем вони обумовлені поточним

ремонтом та обслуговуванням електродвигуна, а для базового варіанту – ще й додатковим обслуговуванням системи керування.

Отримаємо:

$$З_{рб} = 3019 \cdot 0,1 = 302 \text{ (грн/рік)};$$
$$З_{рн} = 23143 \cdot 0,025 = 579 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на допоміжні матеріали для ремонту та обслуговування при базовому варіанті складають 15%, а при новому – 13% від фонду оплати праці:

$$З_{мб} = 0,15 \cdot Ф; \quad (6.20)$$
$$З_{мб} = 0,15 \cdot 169499 = 25425 \text{ (грн/рік)};$$
$$З_{мн} = 0,13 \cdot 169499 = 22035 \text{ (грн/рік)}.$$

Річні експлуатаційні затрати разом:

$$З_{е} = З_{вт} + З_{а} + З_{р} + З_{м} + Ф, \quad (6.21)$$
$$З_{еб} = 10245 + 302 + 302 + 25425 + 169499 = 205773 \text{ (грн/рік)};$$
$$З_{ен} = 1877 + 2314 + 579 + 22035 + 169499 = 196304 \text{ (грн/рік)}.$$

6.4 Розрахунок економічної ефективності

Розрахунок абсолютної ефективності за експлуатаційними витратами:

$$З_{ЕФ} = З_{ЕБ} - З_{ЕН}, \quad (6.22)$$
$$З_{ЕФ} = 205773 - 196304 = 9469 \text{ (грн)}.$$

Термін окупності:

$$Т_{ОК} = \frac{К_Н - К_Б}{З_{ЕФ}}, \quad (6.23)$$

$$Т_{ОК} = \frac{23143 - 3019}{9469} = 2,12 \text{ (років)}.$$

Річний економічний ефект:

$$ЕЕ = (З_{ЕБ} - З_{ЕН}) - Е_Н \cdot (К_Н - К_Б), \quad (6.24)$$

$$ЕЕ = (205773 - 196304) - 0,2 \cdot 23216 = 5445 \text{ (грн)}.$$

Отже, згідно розрахунків термін окупності складає трішки більше двох рокі. Отже, застосування нових способів підвищення ефективності роботи системи водопостачання, а саме насосних станцій, виправдовує себе.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У магістерській кваліфікаційній роботі розробляється лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання на сучасній елементній базі, який має високі технологічні і функціональні можливості.

Згідно ГОСТ 12.0.003-74, на інженера кафедри, який здійснює експлуатацію стенда, впливають наступні шкідливі та небезпечні фактори.

Фізичні:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- підвищений рівень шуму;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження).

7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації електропривода

7.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Організація робочих місць електромонтерів, що обслуговують, здійснюють діагностику та оперативний ремонт електроприводу технологічного обладнання систем водопостачання має відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.28-10 [2].

Приміщення, в якому знаходять робочі місця персоналу, має площу 27 м^2, при висоті стелі 3,0 метри. У приміщенні є 2 вікна шириною 2,3 м і висотою 1,5 м і двері шириною 1,5 м. У приміщенні працює 4 особи (рис. 7.1). Тобто площа на одного працівника складає 6,75 м^2, що повністю відповідає встановленим нормам. Крім того, передбачається наявність таких побутових приміщень як роздягальня, кімната особистої гігієни, медпункт.

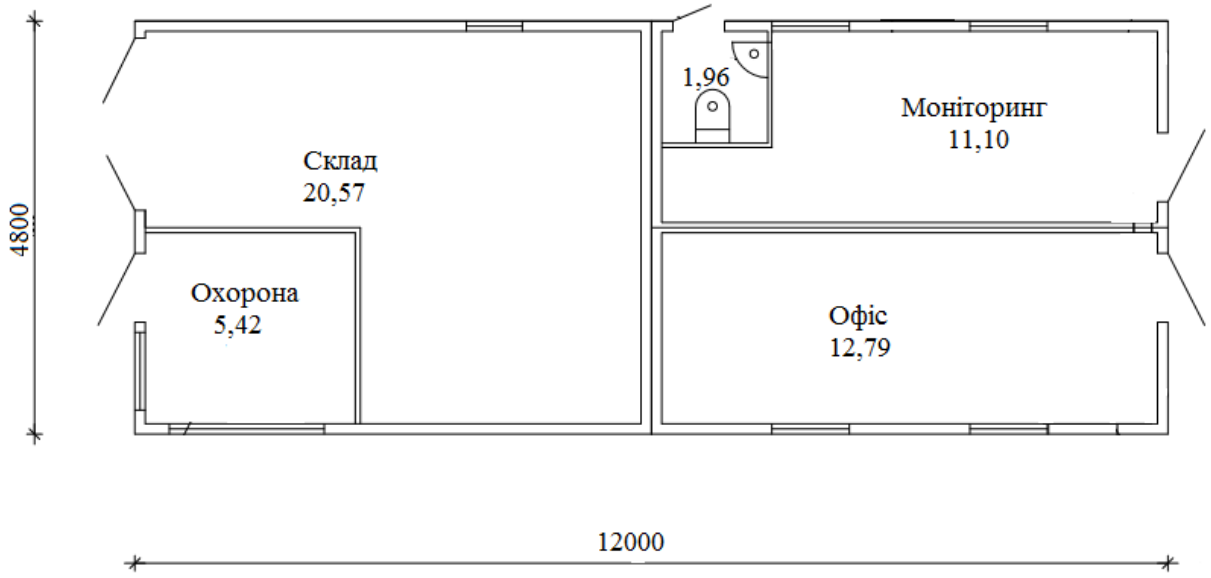


Рисунок 7.1 – Схема приміщення, де працює персонал

Конструкція робочого місця відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечує оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури) і документів. Висота робочої поверхні столу становить 750 мм, а ширина - 1300 мм, глибина - 900 мм. Робочий стіл має простір для ніг заввишки 700 мм, завширшки – 950 мм, завглибшки (на рівні колін) 550 мм.

Робоче крісло є підйомно-поворотним, регульованим за висотою, з переднім заокругленим краєм. Висота поверхні сидіння регулюється в межах від 400 до 500 мм, а ширина і глибина становлять по 450 мм. Кут нахилу спинки регулюється в межах від 0° до 30° відносно вертикального

положення. Для зниження статичного напруження м’язів верхніх кінцівок встановлені стаціонарні підлокітники завдовжки 250 мм. Поверхня сидіння відповідає усім вимогам.

Зручна робоча поза при роботі з комп’ютером забезпечується регулюванням висоти робочого столу, крісла та підставки для ніг. Раціональною робочою позою може вважатися таке положення, при якому ступні працівника розташовані горизонтально на підлозі або підставці для ніг, стегна зорієнтовані у горизонтальній площині, верхні частини рук - вертикальні.

Монітор комп’ютера розташовується на відстані 700 мм від очей користувача. Клавіатура розташована на поверхні столу на відстані 200 мм від краю, звернутого до працюючого. У конструкції клавіатури передбачений опорний пристрій, який дає змогу змінювати кут нахилу поверхні клавіатури у межах від 5 до 15. Таким чином, ергономічні параметри робочого місця відповідають вимогам до їх організації та конструкції та забезпечують підтримання оптимальної робочої пози під час праці.

Робоче місце розташоване на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін на відстані 1м. Відносно вікон робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва. В даному випадку, перше робоче місце не відповідає зазначеній вимозі.

Екран дисплея дослідника розташований перпендикулярно до напрямку погляду. При роботі з текстовою інформацією (в режимі введення даних та редагування тексту, читання з екрану) найбільш фізіологічним правильним є зображення чорних знаків на світлому (чорному) фоні.

Періодично досліднику необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі. При напруженій роботі за комп'ютером щогодини необхідно робити перерву на 15 хвилин через кожну

годину і треба займатися іншою справою. Декілька разів на годину бажано виконувати серію легких вправ для розслаблення.

Вимоги безпеки перед початком роботи:

- увімкнути систему кондиціювання в приміщенні;
- перевірити надійність встановлення апаратури на робочому столі. Повернути монітор так, щоб було зручно дивитися на екран - під прямим кутом (а не збоку) і трохи зверху вниз, при цьому екран має бути трохи нахиленим, нижній його край ближче до оператора;
- перевірити загальний стан апаратури, перевірити справність електропроводки, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок, розеток, заземлення захисного екрана;
- відрегулювати освітленість робочого місця;
- відрегулювати та зафіксувати висоту крісла, зручний для користувача нахил його спинки;
- приєднати до системного блоку необхідну апаратуру. Усі кабелі, що з'єднують системний блок з іншими пристроями, слід вставляти та виймати при вимкненому комп'ютері;
- ввімкнути апаратуру комп'ютера вимикачами на корпусах в послідовності: монітор, системний блок, принтер (якщо передбачається друкування);
- відрегулювати яскравість свічення монітора, фокусування, контрастність. Не слід робити зображення надто яскравим, щоб не втомлювати очей.

Працівник під час роботи зобов'язаний:

- виконувати тільки ту роботу, яку йому було доручено;
- підтримувати порядок і чистоту на робочому місці;
- тримати відкритими всі вентиляційні отвори обладнання;
- коректно закрити всі активні завдання у разі припинення роботи з комп'ютером;

- негайно відключити комп’ютером від електричної мережі у разі виникнення аварійної ситуації.

У ході виконання робіт працівник повинен:

- витримувати відстань від очей до екрана комп’ютером в межах 60 - 70см;

- дотримуватися внутрішньозмінного режиму праці та відпочинку, регламентованих перерв у роботі, а саме (при 8-годинній денній робочій зміні):

- для розробників програм - тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи;

- для інших категорій працівників - тривалістю 15 хвилин через кожні дві години роботи;

- для операторів комп'ютерного набору - тривалістю 10 хвилин, після кожної години роботи.

У випадку виникнення аварійної ситуації працівник зобов'язаний:

- у всіх випадках виявлення пошкодження проводів електричного живлення, несправності заземлення та інших пошкодженнях електрообладнання, виникненні запаху гарі, диму - негайно вимкнути електричне живлення і повідомити про аварійну ситуацію свого безпосереднього керівника й чергового електрика;

- при попаданні людини під електричну напругу негайно звільнити її від дії струму шляхом вимкнення електричного живлення, до прибуття лікаря надати потерпілому долікарську медичну допомогу;

- при будь-яких випадках порушень роботи технічного обладнання або програмного забезпечення негайно викликати представника технічної служби з питань експлуатації обчислювальної техніки;

- у випадку виникнення різі в очах, різкого погіршення зору, виникнення головного болю, больових відчуттів у пальцях та кистях рук, посилення серцебиття - негайно припинити роботу з використанням ЕОМ,

повідомити про те, що сталося, свого безпосереднього керівника й звернутися до медичної установи;

- при загорянні обладнання негайно відключити його від електромережі;

- про загорання повідомити свого безпосереднього керівника, оперативного чергового, пожежну службу; ужити заходів щодо ліквідації вогню за допомогою вуглекислотного або порошкового вогнегасника.

7.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – без підвищеної небезпеки. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам.

Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2. При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3. Електрозахисні засоби захисту. Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Роботи по обслуговуванню електрообладнання. При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електрообладнання, необхідно на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат «Не вмикати, працюють люди».

Якщо дозволяє конструктивне виконання апаратів та характер роботи, можливо здійснювати розшиновку або від'єднання кінців кабелю від комутаційного апарату або обладнання, на якому повинна проводитись робота.

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом

чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огороджені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає розпорядження.

Випробування електроприводів разом з виконуючим механізмом потрібно проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені. Ремонт і наладку електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконуючим механізмом, регулюючих органів та запірної арматури, можна проводити по розпорядженню. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на вивід електропривода в ремонт, наладку.

7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

7.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення. Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт IIа.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V,м/с
Теплий	Середньої важкості IIа	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

– температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм;

– якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше;

– для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

7.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огороджуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини.

Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони в кабіні оператора установки

Назва речовини	ГДК, мг / м^3		Клас небезпечності
	максимальноразова	середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

1. провітрювання кабіни оператора;

2. цілісність конструкції кабіни та вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення кабіни під час роботи установки;

3. становлення пиловловлюючих засобів.

7.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення - один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні.

При періодичному нагляді за ходом виробничого процесу на станції освітленість повинна складати не менше 50 лк. Оскільки в приміщені знаходяться вимірювальні прилади та система управління, то освітленість повинна складати 300 лк. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи.

Приміщення кабіни оператора системи забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу але вечері постає проблема в штучному освітленні.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці в кабіни. Кабіна відноситься до IV розряду зорової праці, тобто розряду середньої точності. Наведено норми при штучному та комбінованому освітленні в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Норми освітлення робочих поверхонь у виробничих приміщеннях.

Характеристики зорової роботи		Малої точності
Мінімальний розмір об'єкту розпізнавання, мм		від 1 до 5
Розряд зорової роботи		V
Підрозряд зорової роботи		б
Контраст об'єкта розпізнавання з фоном, фон		середній
Освітленість	Загальне	150
Штучне освітлення	Комбіноване	200

В приміщенні кабіни, особливо в зимовий період, коли світлий день досить короткий, природнього освітлення може бути недостатньо, тому використовується місцеве штучне освітлення (таблиця 7.4). Штучне освітлення здійснюється лампами розжарювання, що живляться від трансформатора власних потреб (12В).

Таблиця 7.4 – Вибір освітлюваного пристрою

Тип світильника	Лампа розжарювання
Світло розподілення	Несиметричне
Потужність ламп, Вт	До 200

Характер зорової роботи при роботі з об'єктами розрізнення 1-5 мм - середня точність; розряд - IV; бокове; значення коефіцієнта природної освітленості, %: природне 1,5 % суміщене 0,9 %.

$$E_N = e_n \cdot m_N, \tag{7.1}$$

$$E_N = 1,5 \cdot 0,9 = 1,4\%.$$

де m_N - коефіцієнт світлового клімату, $m_N = 0,9$ при орієнтації вікон на північ;

Для забезпечення нормативного значення e_n передбачено:

4. використання додаткового штучного освітлення, а саме ламп розжарювання;

5. необхідна кількість природного світла (великі вікна);

6. для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним

виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком.

7.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі 7.2:

$$L = 20 \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{U}{U_0}\right), \quad (7.2)$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість, $U_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м / с;

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньогеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (таблиця 7.5).

Таблиця 7.5 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу мозку, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

7.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу - За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$м \cdot с^{-2}$	ДБ	$м \cdot с^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальні	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;

зміна конструктивних елементів машин;

застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

7.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні переватаженння

Згідно вимог для умов важкості праці Іа: Величина статичного навантаження за зміну при утриманні вантажу з докладання зусиль однією рукою 18000 кгс, двома руками 36000 кгс та за участю м'язів корпуса та ніг 43000 кгс. Робоча поза вільна та зручна (зміна пози «сидячи-стоячи» за бажанням робітника). Нахили корпуса до 50 разів за зміну. Переміщення у просторі (переходи, обумовлені тех. процесом), до 4 км протягом зміни.

Інтелектуальні перевантаження

Тривалість зосередженого спостереження до 25% від часу зміни. Спостереження за екранами відеотерміналів до 2 годин на зміну. Розмір об'єкта розрідження при відстані від очей працюючого до об'єкта розрідження не більше ніж 0,5 м, при тривалості зосередженого спостереження > 5% часу зміни.

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово менше 10. Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються >100 секунд.

7.3 Дослідження стійкості роботи блоку керування системою водопостачання та електроприводів насосної станції в надзвичайних ситуаціях

7.3.1 Дослідження стійкості роботи блоку керування системою водопостачання та електроприводів насосної станції в умовах дії іонізуючих випромінювань

Під стійкістю роботи системи керування системою водопостачання розуміють його спроможність в умовах надзвичайної ситуації працювати безвідмовно, а при отриманні певних руйнувань або порушенні відновлювати виробництво у мінімальні терміни.

В системі керування найбільш чутливим до дії іонізуючого випромінювання є перетворювач частоти, який містить в собі випрямляч, інвертор, фільтри, блок цифрового управління, блок живлення, пульт керування.

В результаті опромінення іонізуючим випромінюванням в блоці керування системою водопостачання зміниться зворотній струм і коефіцієнт підсилення, в конденсаторах понизиться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діалектричних

матеріалах змінюється такі параметри: електрична провідність, діалектрична провідність і тангенс кута втрат.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $Д_{грі}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в табл. 7.7.

Таблиця 7.7 – Граничні дози для елементів блоку керування системою водопостачання

Структурні блоки	Елементи блоків електропривода	$Д_{грі}$, Р	$Д_{гр}$, Р
I. Автономний інвертор напруги	Конденсатори	10^7	10^4
	Напівпровідники	10^5	
	Транзистори	10^4	
	Діоди	10^4	
II. Випрямляч	Діоди	10^4	
III. Блок цифрового управління	Мікросхеми	10^5	
	Інтегральні схеми	$5*10^5$	
	Конденсатори	10^7	
	Резистори	10^7	
	Напівпровідники	10^5	

Проаналізувавши дані таблиці 7.6 визначили, що самим уразливим елементом системи електропривода з мінімальною дозою $Д_{грі} = 10^4$ Р є транзистори та діоди, а також елементи блоку живлення. Блок живлення в разі дії на нього іонізуючих випромінювань можна перенести в підвальне приміщення, що збільшить його стійкість. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$Д_м = \frac{2 \cdot P_1\left(\sqrt{t_к} - \sqrt{t_п}\right)}{К_{осл}}, \qquad (7.3)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 5{,}12$ Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 24 \cdot 365 \cdot 5 = 43800$ год (5 років));

$t_п$ – час початку опромінення ($t_п = 1$ год).

$К_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($К_{осл} = 4$).

Отримаємо значення:

$$Д_м = \frac{2 \cdot 5{,}12\left(\sqrt{46800} - \sqrt{1}\right)}{4} = 535{,}8 \text{ (Р)}.$$

Оскільки $Д_{грі} > Д_м$, то блок керування та електропривода системи водопостачання умовно стійкі до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи блоку керування в заданих умовах за формулою:

$$t_д = \frac{Д_{гр} \cdot К_{осл} + 2 \cdot Р_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot Р_1}, \tag{7.4}$$

$$t_д = \frac{10^4 \cdot 4 + 2 \cdot 5{,}12 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5{,}12} = 3907 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази блоку керування та електроприводів $Д_м = 535{,}8$ Р, а допустима – 10^4 Р. Отже, на основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що блок керування та електропривода можуть безпечно працювати в умовах іонізуючих випромінювань. Допустимий час роботи в заданих умовах становить 3907 год., при рівні радіації 5,12 Р/год.

7.3.2 Дослідження стійкості роботи блоку керування системою водопостачання та електроприводів насосної станції в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_г = 11,87 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки.

$$U_{г(в)} = E_{в(г)} \cdot 1_{г(в)}, \text{ [В]}, \tag{7.5}$$

$$U_г = 11,87 \cdot 10^3 \cdot 3,5 = 41540 \text{ (В)},$$

$$U_{ві} = 11,87 \cdot 0,5 = 5,935 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_д = U_ж + \frac{U_ж}{100} \cdot N \text{ [В]}, \tag{7.6}$$

де N − відсоток допуску коливань напруги.

Отримаємо значення:

$$U_Д = 12 + \frac{12}{100} \cdot 15 = 13,8 \text{ (В)},$$

$$U_Д = 24 + \frac{24}{100} \cdot 15 = 27,6 \text{ (В)},$$

$$U_д = 300 + \frac{300}{100} \cdot 15 = 345 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

$$К_{б} = 20 \cdot \lg \frac{U_{д}}{U_{г(в)}} \geq 40 \ [дБ]. \quad (7.7)$$

Горизонтальної:

$$Кб_{г1} = 20 \cdot \lg \frac{13,8}{9750} = -131,2 \ (дБ),$$

$$Кб_{г2} = 20 \cdot \lg \frac{27,6}{9750} = -117,34 \ (дБ),$$

$$Кб_{г3} = 20 \cdot \lg \frac{345}{9750} = -63 \ (дБ).$$

Вертикальної:

$$Кб_{в1} = 20 \cdot \lg \frac{13,8}{3,275} = 28,92 \ (дБ),$$

$$Кб_{в2} = 20 \cdot \lg \frac{27,6}{3,275} = 42,78 \ (дБ),$$

$$Кб_{в3} = 20 \cdot \lg \frac{345}{3,275} = 97,13 \ (дБ).$$

Отримані дані заносимо в табл. 7.8.

Таблиця 7.8 – Значення коефіцієнтів безпеки блоків системи керування електропривода

№	Найменування блоків	$Кб_{г}$, дБ	$Кб_{в}$, дБ	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	−131,2	28,92	Нестійкий
2	Блок управління, 24 В	−117,34	42,78	Нестійкий
3	Силові елементи, 300 В	−63	97,13	Нестійкі

Границя стійкості системи керування $Кб_{мін} = -131,2\ дБ$, а $Кб_{гр} = 97,13$. Отже, блок керування та електроприводи системи водопостачання є нестійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи необхідно використовувати екранування напівпровідникових елементів та горизонтальних струмопровідних елементів.

7.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи керування та електроприводів системи водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій

Захист від іонізуючих випромінювань може здійснюватись шляхом використання наступних принципів:

— використання джерел з мінімальним випромінюванням шляхом переходу на менш активні джерела, зменшення кількості ізотопа;

— скорочення часу роботи з джерелом іонізуючого випромінювання;

— віддалення робочого місця від джерела іонізуючого випромінювання;

— екранування джерела іонізуючого випромінюванн.

Екрани можуть бути пересувні або стаціонарні, призначені для поглинання або послаблення іонізуючого випромінювання. Екранами можуть бути стінки контейнерів для перевезення радіоактивних ізотопів, стінки сейфів для їх зберігання

Для захисту від випромінювання використовують матеріали, котрі містять водень (вода, парафін), а також бор, берилій, кадмій, графіт. Враховуючи те, що нейтронні потоки супроводжуються гамма-випромінюванням, слід використовувати комбінований захист у вигляді шаруватих екранів з важких та легких матеріалів (свинець-поліетилен).

Покажемо для прикладу перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 + Кб_{мін}. \tag{7.8}$$

Для БЖ отримаємо:

$$A_1 = 40 + 131,2 = 171,2 \ (дБ).$$

Для БУ отримаємо:

$$A_2 = 40 + 117,34 = 157,34 \ (дБ).$$

Для СЕ отримаємо:

$$A_3 = 40 + 63 = 103 \ (дБ).$$

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \tag{7.9}$$

де f - найбільш характерна частота ($f = 50$ кГц).

Для БЖ отримаємо:

$$t_1 = \frac{171,2}{5,2 \cdot \sqrt{50000}} = 0,147 \ (см).$$

Для БУ одержимо:

$$t_2 = \frac{157,34}{5,2 \cdot \sqrt{50000}} = 0,135 \text{ (см).}$$

Для СЕ отримаємо:

$$t_3 = \frac{103}{5,2 \cdot \sqrt{50000}} = 0,09 \text{ (см).}$$

Отже, при екрануванні блоку живлення з використанням екрану товщиною 1,5 мм зі сталі, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. При екрануванні блоку керування з використанням екрану товщиною 1,4 мм зі сталі, він буде працювати стійко в умовах дії електромагнітного імпульсу. При екрануванні силових елементів електроприводів з використанням екрану товщиною 0,09 мм, вони будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Також в даному розділі було досліджено стійкість роботи блоку керування та електроприводів системи водопостачання. Після проведених розрахунків визначено, що робота блоку керування та електроприводів буде стійкою при заданому рівні радіації 5,12 Р/год. До дії ЕМІ блок керування та електропривода виявились нестійкими. Застосування екранування підвищує їх стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 11,87 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії ЕМІ є зменшення довжини струмопровідних елементів шляхом вдосконалення схемокомпоновки блоку управління блоку керування та електроприводів. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення.

ВИСНОВКИ

Отже, в магістерській кваліфікаційній роботі виконано огляд і аналіз різних способів підвищення ефективності роботи систем водопостачання. Серед основних способів, які розглядалися у роботі найбільшої уваги на думку автора заслуговують такі:

а) встановлення у системі водопостачання та розподілу водонапірних веж;

б) визначення оптимального місця розташування насосних станцій та водонапірних веж;

в) використання підвищувальних насосних станцій;

г) корегування місця розташування диктуючих точок;

д) регулювання продуктивності насосної станції засобами частотнорегульованого електропривода та шляхом зміни кількості працюючих насосів;

е) узгодження роботи насосних агрегатів станції між собою з метою підвищення ефективності їх роботи та коефіцієнта корисної дії кожного з них.

Використовуючи метод електрогідравлічних аналогій отримав подальший розвиток узагальнений підхід до моделювання систем транспортування води. Суть цього підходу полягає в тому, що кожен з елементів гідравлічної системи має свій аналог в електричному еквіваленті. Всі ці елементи з’єднані в одну мережу, яка може бути розподілена. Аналогічно всі гідравлічні елементи об’єднуються в єтину систему транспортування води. Побудувавши систему рівнянь електричного кола, можна отримати еквівалентну систему рівнянь гідравлічної системи будь-якої складності. Оскільки математичний апарат для роботи з електричними колами дуже добре вивчений, то аналізувати такі кола виявляється

можливим навіть у випадку великої розподіленості та розгалудженості. Результати цього аналізу можна буде інтерпретувати на гідравлічні системи.

З використанням розглянутого підходу побудовано математичну модель системи водопостачання, яка покладена в основі лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання. Виконано комп'ютерне моделювання цього стенда. Результати комп'ютерного моделювання збігаються з експериментальними даними, отриманими на стенді під час виконання лабораторних робіт.

За результатом виконання розрахунку економічної ефективності від впровадження розглянутих способів підвищення ефективності роботи системи водопостачання, було отримано величину річного економічного ефекту 5445 грн. Термін окурності впровадження запропонованих способів становить 2,12 роки.

Отже, проаналізовані способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання, потрібно впроваджувати в будь які системи водопостачання, де має місце зміна споживання води на протязі певного часу, наприклад доби. Чим більша потужність споживача, тим більший економічний ефект можна отримати від впровадження цих сособів.

Запропонований підхід дозволяє побудувати математичну модель будь-якої системи водопостачання за відносно короткий час без необхідності аналізу всіх гідравлічних процесів в ній. Це дозволяє отримати наближений результат, але, для певних цілей, як от наприклад порівняння ефективності роботи станції при різних способах регулювання нею, такий результат може бути достатнім. Тим паче, якась частина цього результату підтверджується експериментальним шляхом в лабораторних умовах на лабораторному стенді.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б. С. Лезнов. − М.: Энергоатомиздат, 2006. − 359 с.

2. Мошноріз М. М. Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання [електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Матеріали XIVI Міжнародної конференції КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ (КУСС-2018), Вінниця, ВНТУ, 15-17 жовтня 2018 року. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mccs/mccs2018/schedConf/presentations?searchField=&searchMatch=&search=&track=0.

3. Мошноріз М. М. Автоматизована система водопостачання, яка складається з двох насосних агрегатів // Вісник НТУ «ХПІ». - №19 (1241). - 2017. - С. 80 - 85. ISSN 2411-2798.

4. Мошноріз М. М. Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання [Текст]/ М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Електротехніка та електроенергетика. - №1 (2019). - Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. - С. 52 - 60. ISSN 1607-6761 (print), ISSN 2521-6241 (online). DOI 10.15588/1607-6761-2019-1-5. Режим доступу: http://ee.zntu.edu.ua/article/view/165195.

5. Тетельбаум И. М. Практика аналогового моделирования динамических систем: Справочное пособие / И. М. Тетельбаум, Ю. Р. Шнейдер. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 384 с.

6. Мошноріз Микола Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання [Електронний ресурс] / М. Мошноріз, А. Горбань // Матеріали XIV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – Режим доступу: http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22712.

7. Мошноріз М. М. Автоматизована система водопостачання, яка складається з двох насосних агрегатів // Вісник НТУ «ХПІ». - №19 (1241). - 2017. - С. 80 - 85. ISSN 2411-2798. Режим доступу: http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/108086.

8. Мошнориз Н. Н. Усовершенствование системы управления водоснабжением отдельног населённого пункта на основании применения нечёткого регулятора Н. Н. Мошнориз, О. Н. Довганич Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: матерыалы Второй российской молодежной научной школы-конференции / Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во ООО "СКАН", 2014. - 273 с. - С. 89-93.

9. Закон України «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні» із змінами і доповненнями, внесеними Законом України від 16 жовтня 2012 року № 5460-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T113715.html.

10. Закон України «Про енергозбереження» із змінами і доповненнями, внесеними Законом України від 17 лютого 2011 року № 3038-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://naer.gov.ua/normativno-pravova-baza.

11. Енергетична стратегія України до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon.nau.ua/doc.

12. Скібіна Т. І. Енергоаудит як основа підвищення енергоефективності та енергозбереження в системах централізованого теплопостачання // Економіка і регіон. – Полт.НТУ, 2014. – №4 (47). – С. 23 – 27.

13. Зеркалов Д. В. Енергозбереження в Україні: монографія [Текст] / Д.В. Зеркалов. – К.: Основа, 2012. – 147 с.

14. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б. С. Лезнов. − М.: Энергоатомиздат, 2006. − 359 с.

15. Залуцкий Э. В. Насосные станции. Курсовое проектирование / Э. В. Залуцкий, Д. И. Петрухно. – К. : Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 167 с.

16. Коренькова Т. В. Рациональный электропривод насосных станций городского водоснабжения: дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Коренькова Татьяна Валериевна. – К., 2001. – 155 с.

17. Мюцель Ф. Эксплуатационная надежность и экономичность насосных станций / Ф. Мюцель // Водоснабжение и санитарная техника, 2006. − №1. −С. 43.

18. Березин С. Е. Оптимизация формы и размеров малых насосных станций с насосами погружной установки / С. Е. Березин // Водоснабжение и санитарная техника, 2008. − №5. − С. 33-40.

19. Чебанов В. Б. Технико-экономические аспекты применения регулируемого электропривода в насосных установках / В. Б. Чебанов // Водоснабжение и санитарная техника, 2012. − №1. − С. 65-50.

20. Твердохлеб И.Б., Костюк А. В. Энергоэффективная эксплуатация насосного обоудования / И. Б. Твердохлеб, А. В. Костюк // Водоснабжение и канализация, 2010. − №1. − С. 124-127.

21. Шадрин В. А. Повышение эффективности использования электроэнергии / В. А. Шадрин // Водоснабжение и санитарная техника, 2012. − №8. − С. 13-15.

22. Мошноріз М.М. Визначення оптимального співвідношення продуктивностей насосних агрегатів станції для забезпечення їх сумісної роботи / М. М. Мошноріз // Вісник ВПІ, 2008. – №1. – С. 69 – 73.

23. Сотник М. І. Аналіз способів регулювання роботи насосних станцій комунального водопостачання / М. І. Сотник, С. О. Хованський, О. І. Дужак // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки, 2008. – №2. – С. 152 – 157.

24. Шихта Л. Влияние системы управления насосной станцией на водопроводную сеть в пределах наибольшей эффективности // Вестник

Уральского Государственного Университета Путей Сообщения, 2012. –№3.– С. 35 – 42.

25. Энергосбережение в насосных установках / Б. С. Лезнов, В. Б. Чебанов, Я. Н. Гинзбург, Н. П. Воробьева, Ю. Б. Исхаков, Н. Б. Лезнов // Промышленная енергетика, 1999. – №7.– С. 13–16.

26. Мошноріз М. М. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання. Монографія [Текст] / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 138 с.

27. Горячев Г. В. Оптимізація режимів роботи насосної станції водопостачання / Г. В. Горячев, М. М. Мошноріз // Тези доповідей 4-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених і спеціалістів. Кременчук, 2006 – С. 35.

28. Москаленко В. В. Системы автоматизированного управления электропривода: Учебник [Текст] / В. В. Москаленко. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 208 с. ISBN 5-16-001676-7.

29. Каргин С. А. Анализ потерь электроэнергии при работе группы насосов, оснащенных регулируемым приводом // Водоснабжение и санитарная техника, 2010. – №3. – С. 12-18.

30. Economical Aspects of Variable Frequency Drives in Pumping Stations (2004). ITT Flygt System Engineering. 60 p.

31. Бегляров Д. С. Экспериментальные исследования переходных процессов, возникающих при спуске и отключении насосного агрегата на насосной станции / Д. С. Бегляров, С. Н. Карамбиров, Д. Ш. Апресян, Д. М. Лиханов // Природообустройство, 2009. – №11. – С. 74 –78.

32. Грабко В. В. Вдосконалення роботи насосної станції водопостачання / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз // Вісник ВПІ, 2006. – №6. – С. 138 – 141.

33. Мошноріз М.М. Алгоритм роботи системи керування групою паралельно працюючих насосів станції водопостачання / М. М. Мошноріз //

Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського, Випуск 3/2011 (15). – С. 58 − 61.

34. Мошноріз М. М. Автоматизована система водопостачання, яка складається з двох насосних агрегатів / М. М. Мошноріз // Вісник НТУ «ХПІ», 2017. – №19 (1241). – С. 80 – 85. ISSN 2411-2798.

35. Офіційний сайт Schneider Electric в Україні. Перетворювачі частоти ATV71 0,75 кВт 240 В. ATV71H075M3 [електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.se.com/ua/uk/product-range/1155-altivar-71.

36. Інтернет-магазин Prom. Kharkovopt.com. Вихревой насос Kenle НЕК QB-60 [електронний ресурс]. Режим доступу: https://prom.ua/ua/p272929797-vihrevoj-nasos-kenle.html.

37. Інтернет-магазин Prom. Споживчі товати. НасосиWilo. Насос Wilo Star-RS 25/4-130 в Україні [електронний ресурс]. https://prom.ua/ua/Nasos-wilo-star-rs-254-130.html.

ДОДАТОК А

(Обов’язковий)
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ПОГОДЖЕНО	ЗАТВЕРДЖЕНО
Заступник дек. ФЕЕЕМ з НМР	Завідувач кафедри ЕМСАПТ
к.т.н., доцент О. Б. Бурикін	д.т.н., професор В. М. Кутін
“____” _____ 20__р.	“____”_____ _____ 20__р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

08-16.МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник роботи
доцент
_____ М. М. Мошноріз
“____” _____ 2019 р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-18м
_____ А. С. Горбань
“____” _____ 2019 р.

Вінниця ВНТУ 2019

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання».

Скорочене найменування розробки – «Система водопостачання».

Замовник – кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Система водопостачання забезпечує споживачів водою в потрібній кількості та з портібним тиском, якістю тощо. Система водопостачання, що розглядається у магістерській роботі, повинна працювати ефективно за рахунок керування електроприводами насосної станції. При цьому насосна станція, як і система водопостачання, може мати різну будову, потужність, призначення тощо.

4 Вимоги до розробки

Електропривод та система керування повині забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі при коефіцієнті завантаження 100%.

5 Комплектація розробки

Система водопостачання складається з насосної станції та трубопровідної мережі. Насосна станція в свою чергу складається з комутаційної арматури та насосних агрегатів. На станції є система керування «низького» рівня, а через всі станції системи транспортування води забезпечується робота системи керуванн «високого» рівня. Система керування високого рівня реалізується диспетчерською службою.

6 Технічні характеристики

Кількість насосних агрегатів – 3шт; потужність насосних агрегатів: 370 Вт, 370 Вт, 50 Вт; ККД насосів – 0,8%; режим роботи системи водопостачання – тривалий; максимальна кількість води в резервуарі – 100 л.

7 Джерела розробки

1. Бакеро Лопес Ф. Ф. Розробка лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання. Гідравлічна частина: бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2017.

2. Федотов Дмитро Юрійович. Комп'ютерне моделювання роботи лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання: бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019.

8 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

9 Конструктивне виконання

Система керування насосною станцією водопостачання складається з окремих блоків, що реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у бризгозахищеному виконанні.

10 Показники технологічності

Обладнання виконується на сучасній елементній базі. Його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

11 Стадії і етапи розробки

Назва етапів роботи	Строк виконання
Виконання спеціальної частини МКР	
Виконання розділу «Економічна частина»	
Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	

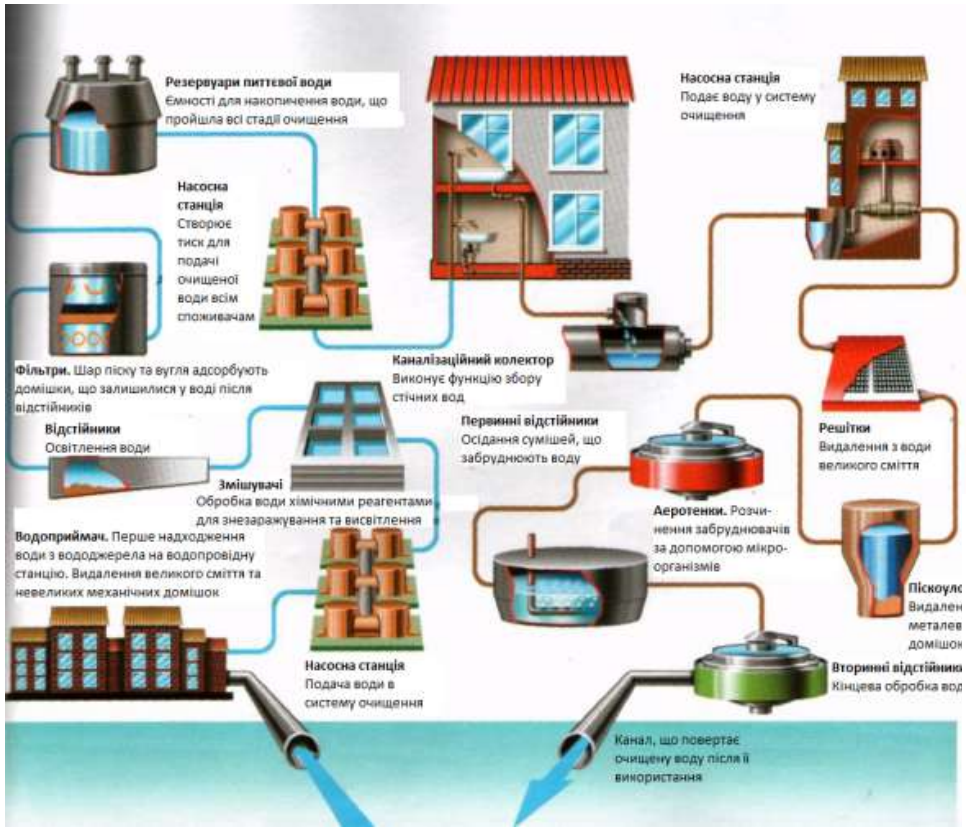
12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації, черговими на насосних станціях водопостачання. Технічний огляд пристроїв автоматизації та керування здійснюється мінімум один раз на півроку. Ремонт здійснюється електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

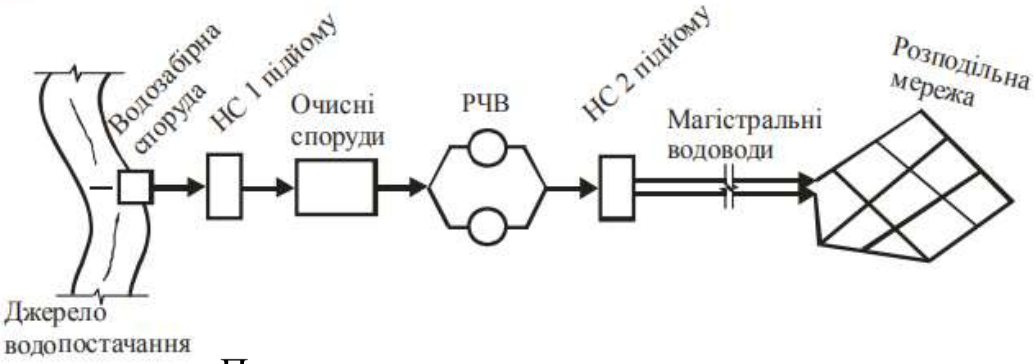
13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане трифазною напругою 0,4 кВ.

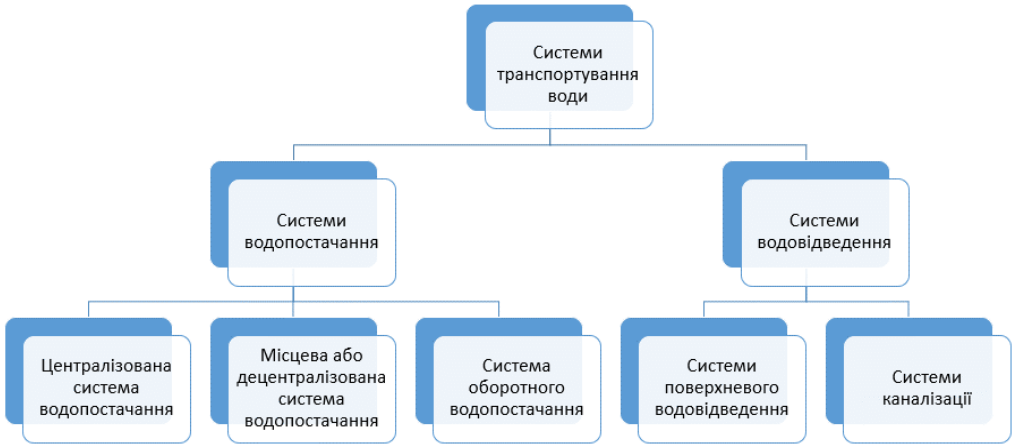
ДОДАТОК Б
ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ



Колообіг води

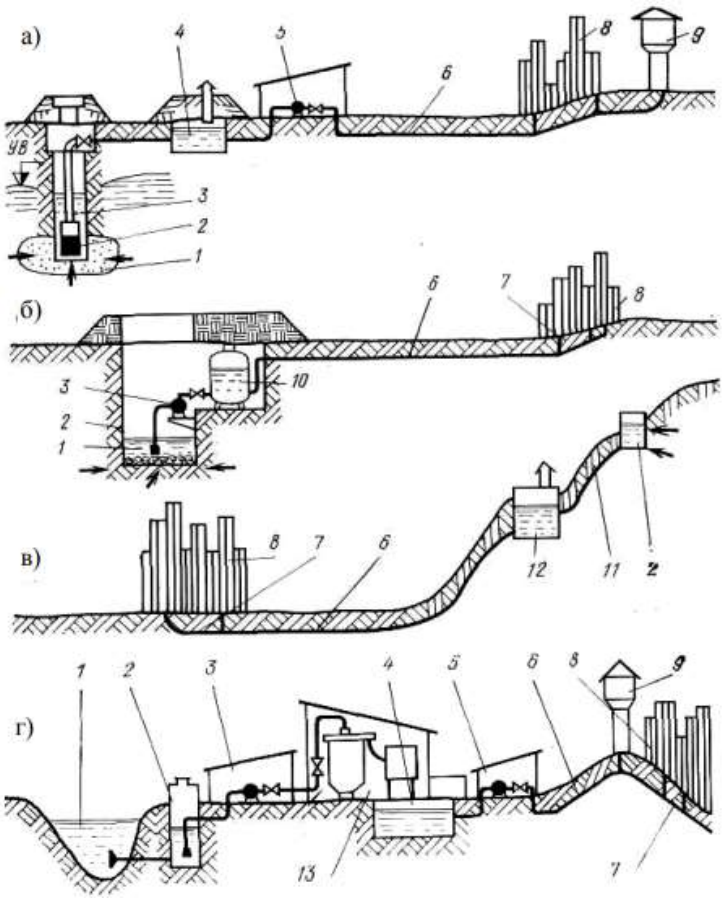


Принципова схема водопостачання

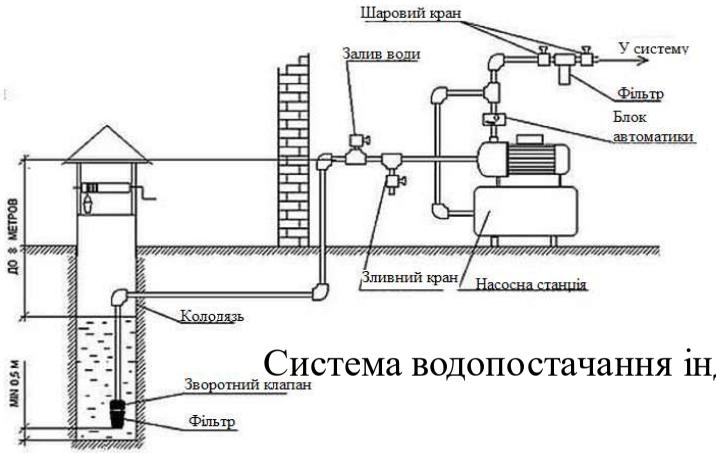


Класифікація систем транспортування води

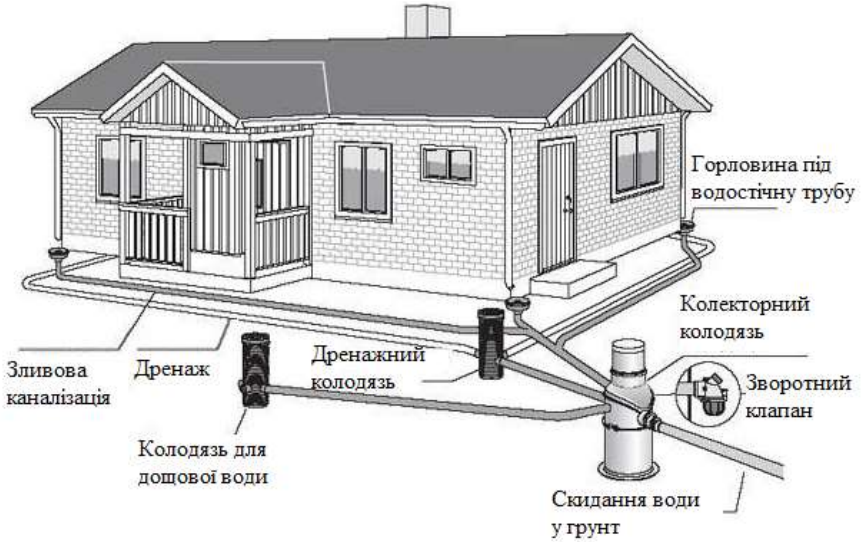
- **Метою роботи** є підвищення ефективності роботи системи транспортування води за рахунок раціонального керування електроприводами насосних станцій.
- **Об’єктом дослідження** є процес транспортування води у системі водопостачання при якому досягається висока ефективність роботи системи водопостачання.
- **Предметом дослідження** є математична модель системи водопостачання та методи підвищення ефективності роботи системи водопостачання.
- Для досягнення заданої мети в роботі необхідно розв’язати такі задачі:
- 1. Провести аналіз існуючих систем транспортування води з метою виділення основних елементів, основних режимів роботи та основних способів підвищення ефективності роботи систем транспортування води.
- 2. Розробити комплексний підхід до моделювання існуючих систем транспортування води.
- 3. Розробити моделі основних елементів системи транспортування води з врахуванням комплексного підходу.
- 4. Розробити модель системи транспортування води.
- 5. Провести експеримент з метою підтвердження чи спростування існуючих способів підвищення ефективності роботи систем транспортування води.



Схеми водопостачання з підземного (а, б, в) і поверхневого (г) джерел



Система водопостачання індивідуального будинку



Система водовідведення дощової води самопливного типу індивідуальної будівлі

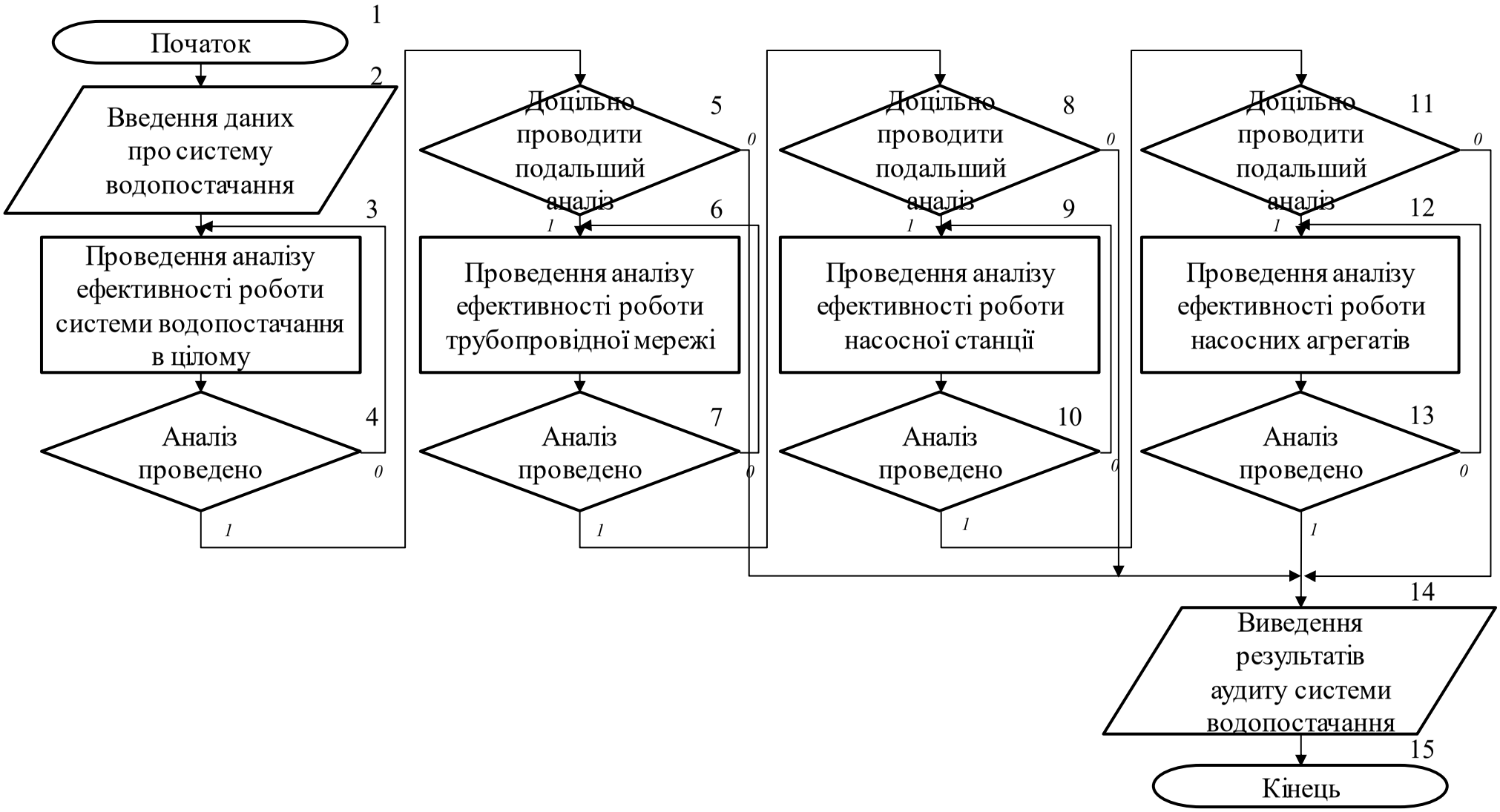
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання

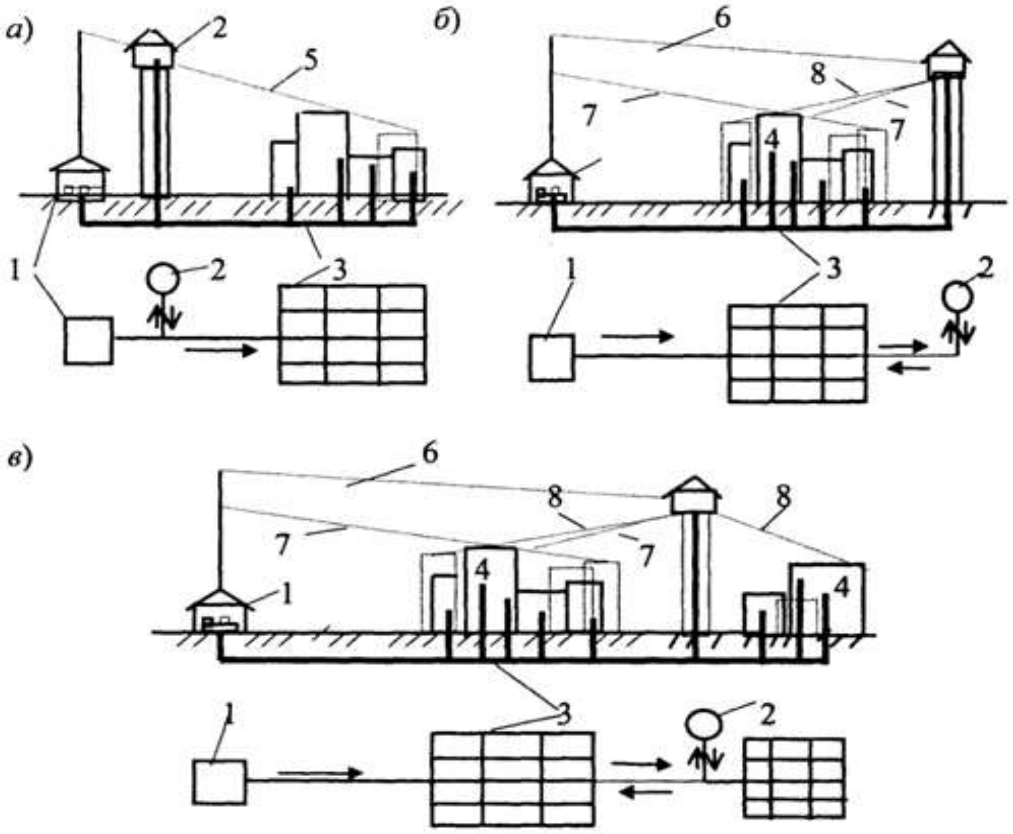
2. Регулювання продуктивності насосної станції з метою узгодження режиму роботи станції та споживача

3. Узгодження режимів роботи електроприводів насосних агрегатів між собою

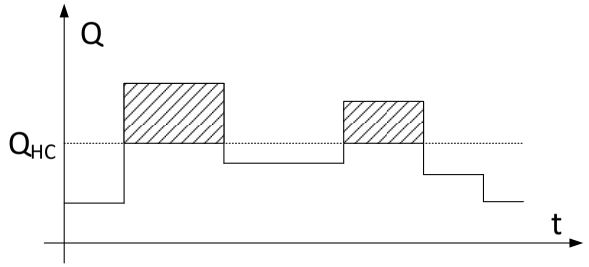
Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання



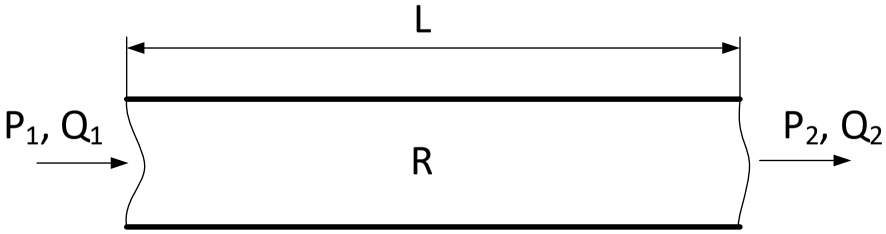
Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання



Можливі способи розташування водонапірної вежі



Добовий графік водопостачання

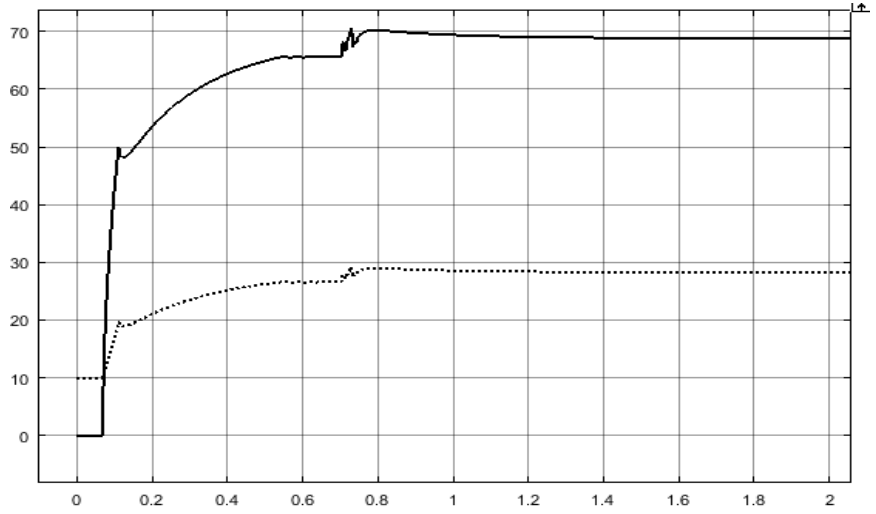


Ділянка водопровідної труби для діагностики її стану

$$\begin{cases} P_1 \neq P_2 + \Delta P_L, \\ Q_1 \neq Q_2, \end{cases}$$

де $\Delta P_L = f(L, R)$.

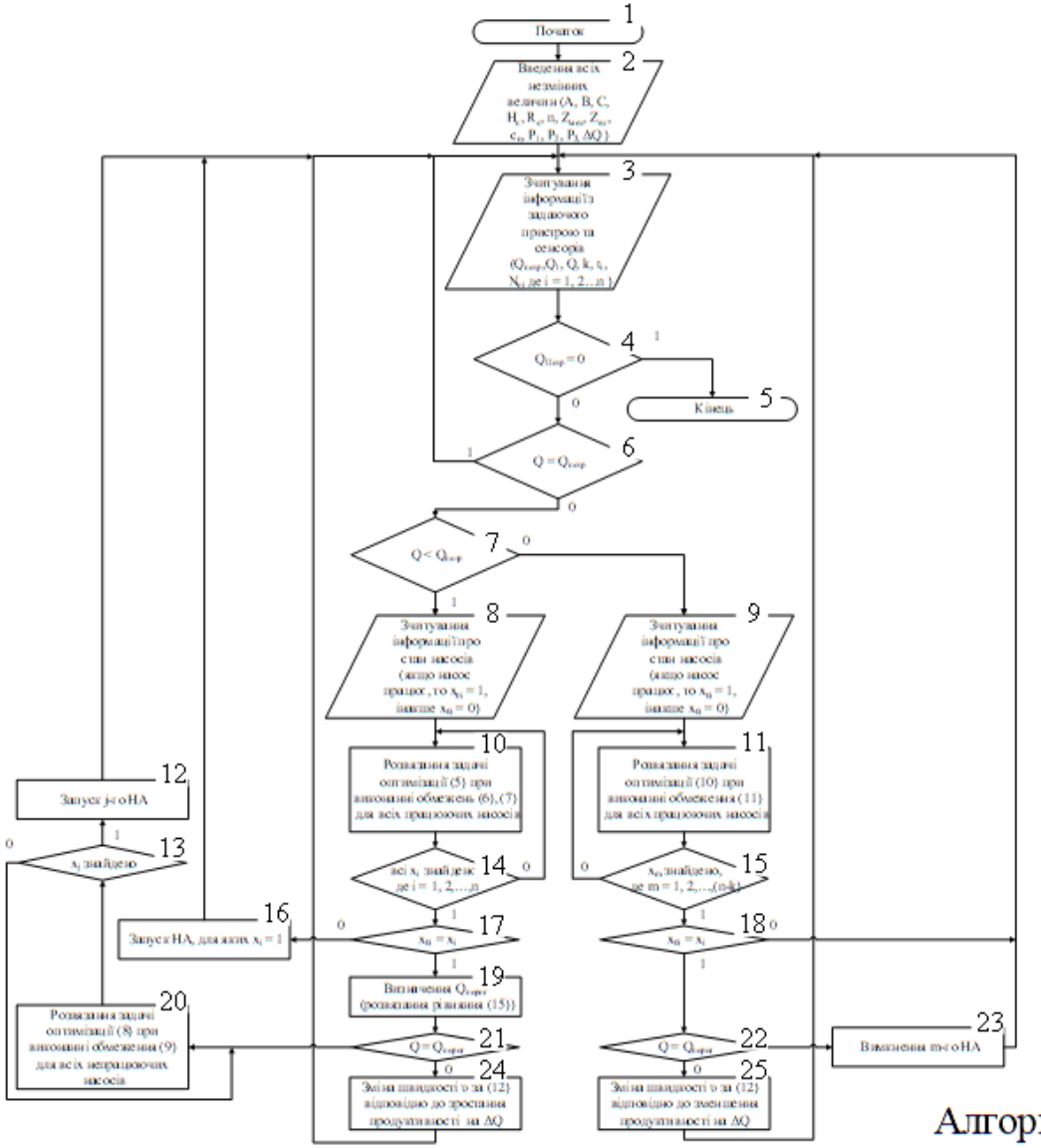
Регулювання продуктивності насосної станції з метою узгодження режиму роботи станції та споживача



Результати роботи всієї системи, яка працює відповідно до розробленого алгоритму

Алгоритм роботи системи керування двома частотнокерованими насосними агрегатами станції водопостачання

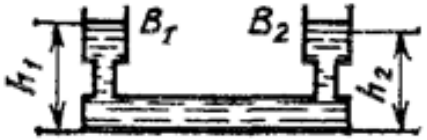
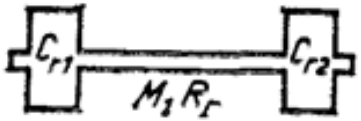
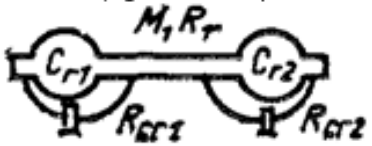
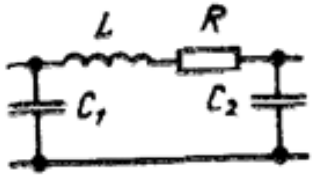
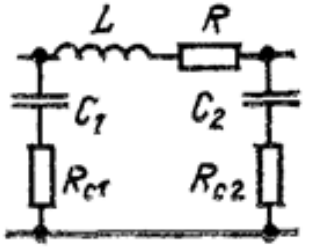
Узгодження режимів роботи електроприводів насосних агрегатів між собою



Алгоритм роботи системи керування групою паралельно працюючих насосів станції водопостачання

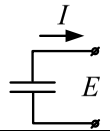
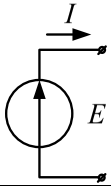
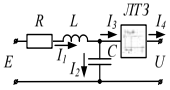
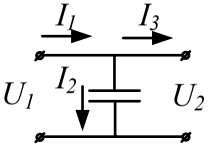
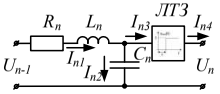
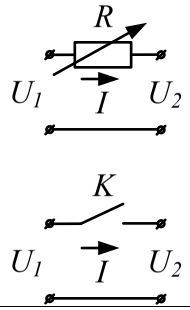
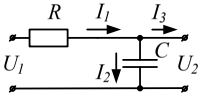
Моделювання систем водопостачання

Метод електрогідравлічних аналогій

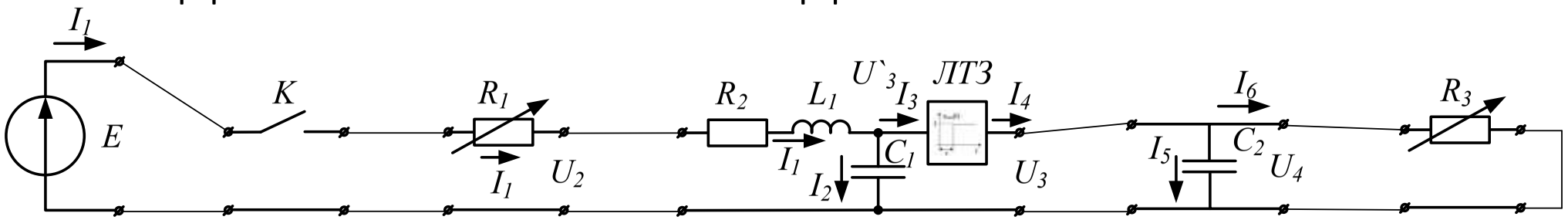
Гідродинамічні системи			Електричні аналоги	
Потік рідини, що не стискається, під напором 	Потік рідини (газу), що стискається під час відхилення від усталеного стану (акустичні аналогії) 	Потік рідини, що не стискається в пружнов'язких трубопроводах (кровообіг) 	Для гідродинамічних систем 1 та 2 	Для гідродинамічних систем 3 
П'єзометричний напір h	Тиск P		Напруга u	
Об'єм рідини V			Заряд q	
Витрата $Q = dV/dt$			Струм $i = dq/dt$	
Дзеркало резервуару $B = V/h$	Гідравлічна ємність $C_г = V/P$		Ємність $C = q/u$	
Інерційність $M = P/(dQ/dt)$			Індуктивність $L = u/(di/dt)$	
Гідравлічний опір $R_г$: при фільтраційному та ламінарному потоці $R_г = P/Q = const$; при турбулентному потоці $R_г = k\|Q^{n-1}\|$, де $n \approx 2$ (для води)			Опір $R = u/i$	
Час t			Час t	

Моделювання систем водопостачання

Метод електрогідравлічних аналогій

Назва елемента системи транспортування води	Електрична схема-аналог елемента системи транспортування води	Математична модель, що описує електричну схему	Математична модель елемента транспортування води за методом аналогій
Джерело водозабору		$E = \frac{1}{C}\int I dt$	$H = \frac{1}{B}\int Q dt$
Насосна станція		$N = E \cdot I$	$N = H \cdot Q$
Водоводи (магістральни трубопроводи)		$\begin{cases} E - U' = R \cdot I_1 + \\ +L\frac{dI_1}{dt}, \\ U' = \frac{1}{C}\int I_2 dt, \\ I_1 = I_2 + I_3, \\ I_4 = I_3 \cdot e^{-pt}, \\ U = U' \cdot e^{-pt}. \end{cases}$	$\begin{cases} H_1 - H_2' = R \cdot Q_1 + \\ +M\frac{dQ_1}{dt}, \\ H_2' = \frac{1}{C}\int Q_2 dt, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3, \\ Q_4 = Q_3 \cdot e^{-pt}, \\ H_2 = H' \cdot e^{-pt}. \end{cases}$
Резервуар води		$\begin{cases} U_2 = U_1 = U, \\ U = \frac{1}{C}\int I_2 dt, \\ I_1 = I_2 + I_3. \end{cases}$	$\begin{cases} H_2 = H_1 = H, \\ H = \frac{1}{C_e}\int Q_2 dt, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3. \end{cases}$
Трубопровідна мережа		$\begin{cases} U_{n-1} - U_n' = R_n \cdot I_{n1} + \\ +L_n\frac{dI_{n1}}{dt}, \\ U_n' = \frac{1}{C_n}\int I_{n2} dt, \\ I_{n1} = I_{n2} + I_{n3}, \\ I_{n4} = I_{n3} \cdot e^{-pt}, \\ U_n = U_n' \cdot e^{-pt}. \end{cases}$	$\begin{cases} H_{n-1} - H_n' = R_n \cdot Q_{n1} + \\ +M_n\frac{dQ_{n1}}{dt}, \\ H' = \frac{1}{C_{en}}\int Q_{n2} dt, \\ Q_{n1} = Q_{n2} + Q_{n3}, \\ Q_{n4} = Q_{n3} \cdot e^{-pt}, \\ H_n = H_n' \cdot e^{-pt}. \end{cases}$
Запірна арматура		$\Delta U = U_2 - U_1 = R \cdot I$	$\Delta H = H_2 - H_1 = R \cdot Q$
Фільтр води		$\begin{cases} U_1 - U_2 = R \cdot I_1, \\ U_2 = \frac{1}{C}\int I_2 dt, \\ I_1 = I_2 + I_3. \end{cases}$	$\begin{cases} H_1 - H_2 = R \cdot Q_1, \\ H_2 = \frac{1}{B}\int Q_2 dt, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3. \end{cases}$

Моделювання систем водопостачання



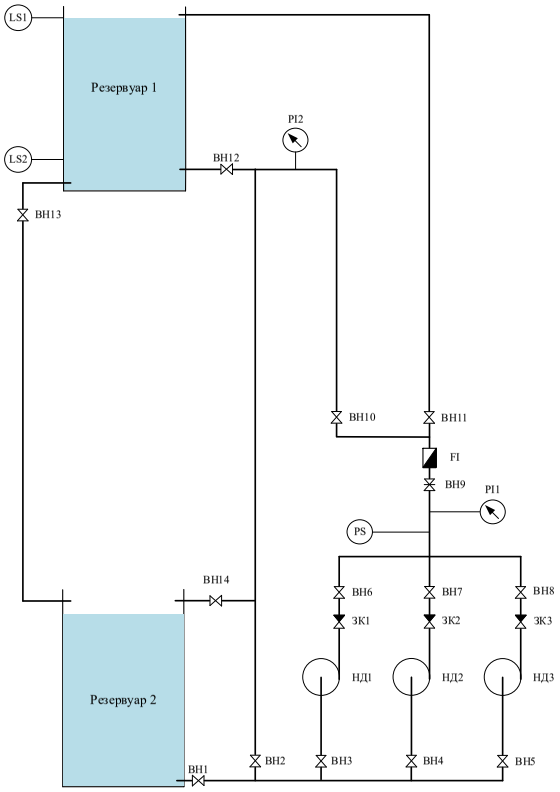
Еквівалентна електрична схема гідравлічної системи

$$\begin{cases} N = E \cdot I_1, \\ U_2 = E - I_1 \cdot R_1, \\ U_2 - U_3' = R_2 \cdot I_1 + L_1 \dfrac{dI_1}{dt}, \\ I_1 = I_2 + I_3, \\ U_3' = \dfrac{1}{C_1} \int I_2 dt, \\ I_4 = I_3 \cdot e^{-pt}, \\ U_3 = U_3' \cdot e^{-pt}, \\ I_4 = I_5 + I_6, \\ U_4 = \dfrac{1}{C_2} \int I_5 dt, \\ U_4 = R_3 \cdot I_6. \end{cases}$$

- Еквівалентна електрична схема на рисунку складається з таких елементів:
- 1. Насосна станція.
- 2. Запірна арматура.
- 3. Трубопровідна мережа.
- 4. Резервуар води.
- 5. Споживач.

$$\begin{cases} N = H \cdot Q_1, \\ H_2 = H - Q_1 \cdot R_1, \\ H_2 - H_3' = R_2 \cdot Q_1 + M_1 \dfrac{dQ_1}{dt}, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3, \\ H_3' = \dfrac{1}{B_1} \int Q_2 dt, \\ Q_4 = Q_3 \cdot e^{-pt}, \\ H_3 = H_3' \cdot e^{-pt}, \\ Q_4 = Q_5 + Q_6, \\ H_4 = \dfrac{1}{B_2} \int Q_5 dt, \\ H_4 = R_3 \cdot Q_6. \end{cases}$$

Лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання

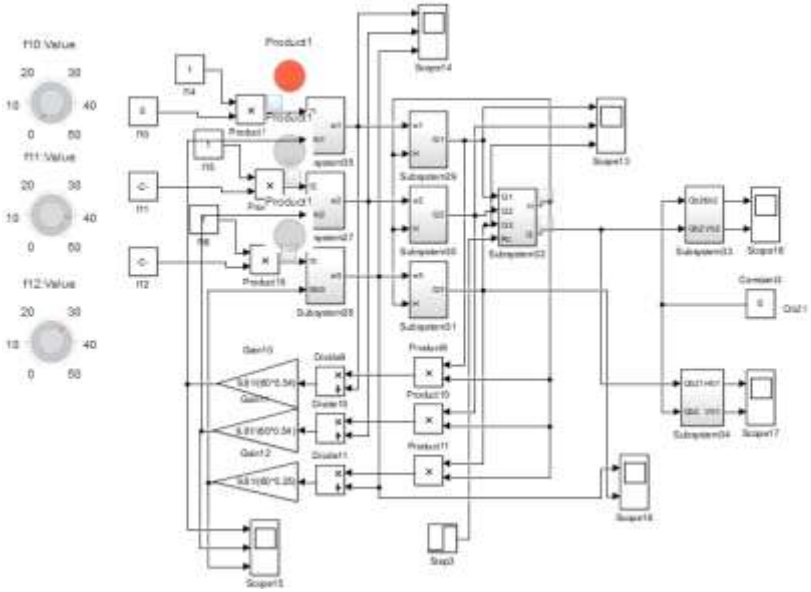


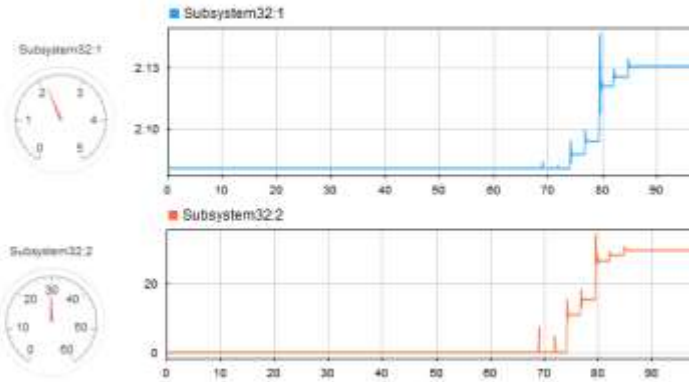
Максимальна глибина всмоктування:	до 8 м
Напір:	до 35 л/хв
Потужність:	370 Вт
Номінальна напруга:	220 В
Номінальний струм:	2,5 А
cos φ:	0,96
Частота:	50 Гц
Оберти:	2900 об/хв
Клас захисту:	IP 54
Режим роботи:	S1
Вага:	5 кг

Технічні характеристики вихрового насоса HEK QB-60

Моделювання ефективності роботи системи водопостачання

Комп'ютерна модель лабораторного стенда для дослідження системи водопостачання

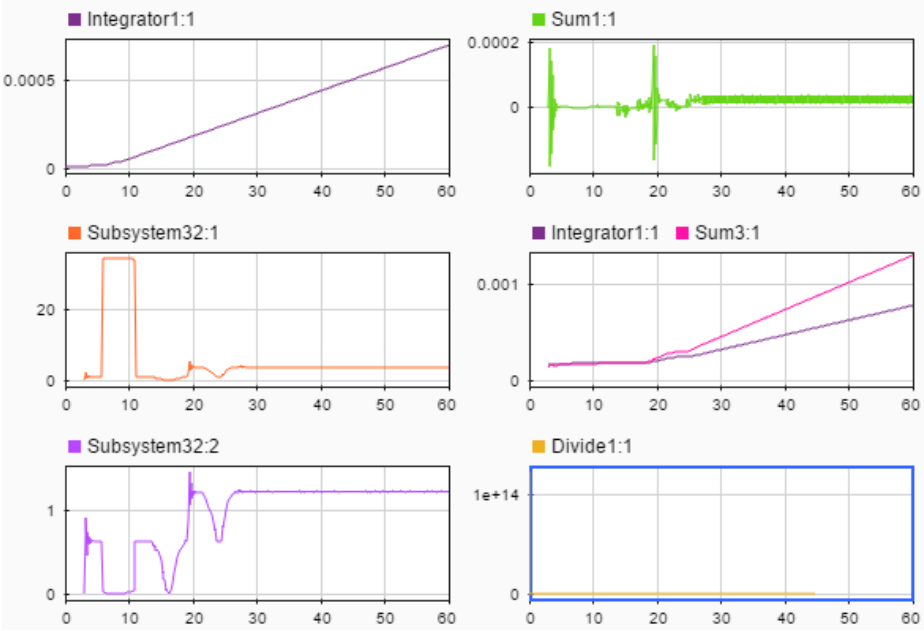




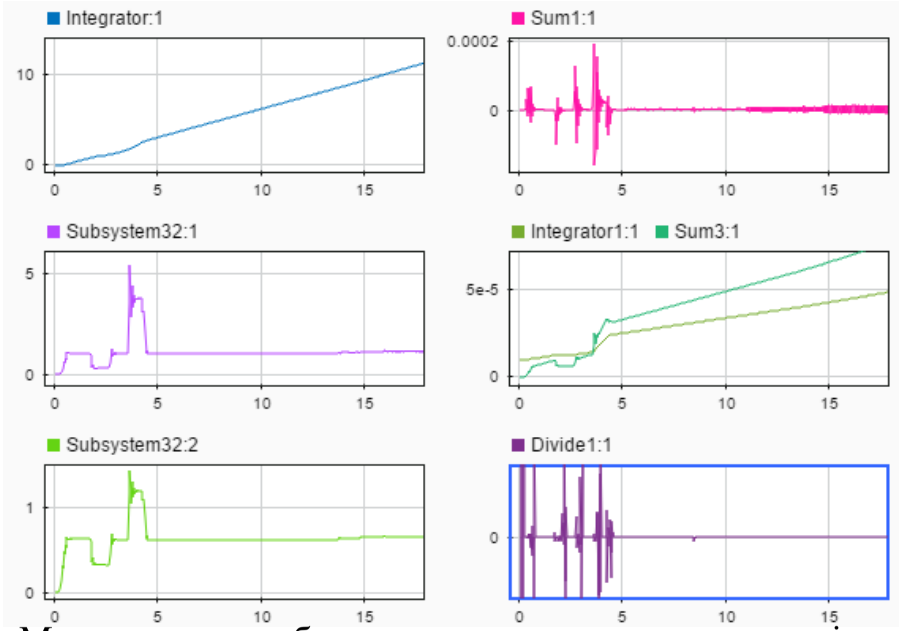
Порівняння результатів моделювання з експериментальними даними

Режим роботи лабораторного стенда	Досліджуваний параметр	Значення, отримані експериментальним шляхом	Значення, отримані за результатами моделювання
Робота одного насоса Kenle HEK QB-60	Кількість перекачаної води	34 л.	33,6
	Тривалість перекачування	53 с.	53
	Напір в мережі, м.в.ст.	0,75	1,0
Робота двох насосів Kenle HEK QB-60	Кількість перекачаної води, л.	34	33,5
	Тривалість перекачування	27 с.	27,7
	Напір в мережі, м.в.ст.	3,2	3,8
Робота двох насосів Kenle HEK QB-60 та одного насосу Villo RS 25/4	Кількість перекачаної води, л.	34	33,6
	Тривалість перекачування, с	23	27,5
	Напір в мережі, м.в.ст.	3,4	3,8

Моделювання ефективності роботи системи водопостачання



Моделювання роботи системи водопостачання в різних режимах (прямий пуск одного насоса, прикриття засувки, відкриття засувки, регулювання швидкості, пуск другого насоса, пуск третього насоса)



Моделювання роботи системи водопостачання в різних режимах (плавний розгін одного насоса, регулювання швидкості, плавний розгін другого насоса, регулювання швидкості другого насоса, розгін третього насоса, прикриття засувки)

Економічна ефективність запропонованих рішень

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна	Вартість	
				базова	Вартість нова
1	2 насосні агрегати Kenle HEK QB-60 та 1 – Villo RS25/4-1	3	2х639 + 1х550 грн	1828	1828
2	Силовий перетворювач	1	17098	0,0	17098,0
3	Система керування	1	-	1709,8	1709,8
4	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)		-	854,9	854,9
5	Вартість обладнання			2564,7	19662,7
6	Транспортні витрати (7%)			179,5	1376,4
7	Вартість всього			2744,2	21039,1
8	Монтажні роботи (10%)			274,4	2103,9
9	Капітальні вкладення всього			3018,7	23143,0

$$З_{ЕФ} = 205773 - 196304 = 9469$$

$$Т_{ОК} = \frac{23143 - 3019}{9469} = 2,12$$

$$ЕЕ = (205773 - 196304) - 0,2 \cdot 23216 = 5445$$

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Отримав подальший розвиток метод побудови математичних моделей гідравлічних систем на основі електрогідравлічних аналогій, який на відміну від відомих дозволив побудувати моделі основних елементів системи транспортування води та пов'язати їх вхідні і вихідні характеристики між собою, що дозволить забезпечити універсальність математичного апарату для опису систем транспортування води та прискорить процес побудови математичних моделей всієї системи.

2. Розроблено математичну модель системи водопостачання, яка реалізована на лабораторному стенді, яка на відміну від відомих може бути трансформавана до математичної моделі будь-якої системи водопостачання, що дозволяє спростити та прискорити процес проведення експерименту з метою підтвердження наукових гіпотез, виявлення несправності, прогнозування енергоспоживання, підбору елементів тощо.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

1. Розроблено алгоритм роботи пристрою моніторингу системи водопостачання, який на відміну від відомих враховує існуючі способи підвищення ефективності роботи системи транспортування води і можливі несправності в ній, що полегшує процес керування системою та прискорює процес прийняття рішення в перехідних режимах роботи.

2. Розроблено комп'ютерну модель системи водопостачання на основі лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання, яка на відміну від відомих може бути трансформавана до комп'ютерної моделі будь-якої системи водопостачання, що дозволяє спростити та прискорити процес проведення експерименту з метою підтвердження наукових гіпотез, виявлення несправності, прогнозування енергоспоживання, підбору елементів тощо.

Апробація результатів роботи. Результати роботи обговорювалися на таки науково-технічних конференціях:

1. Мошноріз М. М., Горбань А. С. Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання. XIVI Міжнародна конференція КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ (КУСС-2018), Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року.

2. Мошноріз М. М., Горбань А. С. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ. XLVII науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2018), Вінниця, ВНТУ, 21.03.2018 – 23.03.2018.

Публікації:

1. Мошноріз М. М. Розробка методики виконання лабораторних робіт на лабораторному стенді для дослідження систем водопостачання [Електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4483; https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/21313?show=full.

2. Мошноріз Микола Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання [Електронний ресурс] / М. Мошноріз, А. Горбань // Матеріали XIV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – Режим доступу: http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22712.

3. Мошноріз М. М. Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання [Текст]/ М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Електротехніка та електроенергетика. - №1 (2019). - Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. - С. 52 - 60. ISSN 1607-6761 (print), ISSN 2521-6241 (online). DOI 10.15588/1607-6761-2019-1-5. Режим доступу: http://ee.zntu.edu.ua/article/view/165195.

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Загальні відомості про системи водопостачання	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Мета роботи, постановка завдань дослідження	У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Класифікація систем транспортування води	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Підвищення ефективності роботи системи водопостачання	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.						
Перевірив		Мошноріз М.М.				Аркуш	Аркушів	
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Алгоритм процедури енергоаудиту системи водопостачання	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.						
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Енергоаудит системи водопостачання	У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Регулювання продуктивності насосної станції з метою узгодження режиму роботи станції та споживача	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Узгодження режимів роботи електроприводів насосних агрегатів між собою	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.						
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Метод електрогідравлічних аналогій	У		
Розробив		Горбань А. С.						
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Моделювання систем водопостачання	У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Модель системи водопостачання	У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Комп'ютерна модель лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Моделювання ефективності роботи системи водопостачання	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.						
Перевірив		Мошноріз М.М.				Аркуш	Аркушів	
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Моделювання ефективності роботи системи водопостачання	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.						
Перевірив		Мошноріз М.М.				Аркуш	Аркушів	
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Наукова новизна та практичне значення роботи	У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

					08-16.МКР.002.00.000			
					Способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Апробація та публікації за темою дослідження	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив		Горбань А. С.				Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Мошноріз М.М.						
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						