

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ВІДДІЛ ЗАОЧНОГО НАВЧАННЯ ЦЕНТРУ ПЕРЕПІДГОТОВКИ ТА
ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

Рівень вищої освіти – перший «бакалаврський» рівень

на тему: **«Модернізація системи водопостачання житлового комплексу з
удосконаленням електричної схеми управління насосами.»**

Виконав: студент групи Ен-42з

Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

Копоть Олег Іваноаич

(підпис)

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник:

к.т.н. в.о.доцента Михалюк М.А.
(підпис) (наук. ступінь, вч.звання, прізвище, ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ІННІ ЗАОЧНОЇ ТА ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С.В.

“ _____ ” _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Копоть Олег Іванович

1. Тема роботи: **Модернізація системи водопостачання житлового комплексу з удосконаленням електричної схеми управління насосами.**

Керівник роботи: к.т.н. в.о. доцента Михалюк М.А.

Затверджена наказом по університету від 31.10.2024 року №788 /К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи: 05.06.2025 року

3. Вихідні дані: інструкції з технічної експлуатації та технічного обслуговування об'єкту водопостачання, нормативи з використання води промисловими підприємствами; патентний пошук та літературні джерела, які стосуються удосконалення пристроїв контролю роботи систем водопостачання; визначення економічної ефективності удосконалення використання технічних засобів для контролю роботи системи водопостачання.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Загальна характеристика об'єкту водопостачання, обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.

2. Характеристика системи водопостачання об'єкта та схем керування, що входять до її складу.

3. Вибір, складу та удосконалення схеми керування об'єктом енергопостачання.

4. Охорона праці та довкілля.

5. Розрахунок економічного ефекту від використання технічних засобів для контролю роботи системи водопостачання.

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Ілюстративний матеріал: *Подати у формі презентації;*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри Інженерної механіки</i>	<i>31.10.24</i>	<i>31.10.24</i>	

7. Дата видачі завдання: 31.10.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про вико- нання
1	<i>Написання першого розділу</i>	<i>01.11.24-20.12.24</i>	
2	<i>Виконання другого розділу</i>	<i>21.12.24-25.02.25</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу та розробка листів конструктивної частини</i>	<i>26.02.25-15.04.25</i>	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	<i>16.04.25-05.05.25</i>	
5.	<i>Розрахунок економічної ефективності запропонованого удосконалення та розробка листа «Економічна ефективність»</i>	<i>06.05.25-18.05.25</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково- пояснювальної записки та аркушів презентаційної частини</i>	<i>До 05.06.25</i>	

Студент _____ О. Копоть
(підпис)

Керівник роботи _____ М. Михалюк
(підпис)

Модернізація системи водопостачання житлового комплексу з удосконаленням електричної схеми управління насосами.

Копоть Олег Іванович. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2025р. ст. текст. част., рис.10, табл.11., 16 джерел.

Проведений аналіз стану системи водопостачання житлового комплексу, обсяги споживання енергоносіїв, зокрема системою водопостачання.

Розраховано основні параметри системи водопостачання та здійснено вибір обладнання, а також проведено розрахунок мережі, системи подачі води та параметрів регулювальних елементів елементів.

Розглянуто існуючі системи управління насосами, принцип роботи і технічний огляд, підібрана оптимальна схема управління та алгоритм її роботи.

Розроблено питання охорони праці та екологічної безпеки виробництва.

Впровадження проекту в виробництво матиме строк окупності 5,15 року.

ЗМІСТ

УДК

Вступ

1 Характеристика інженерних систем житлових комплексів та способи їх модернізації	7
1.1 Ключові напрямки модернізації інженерних систем	7
1.2 Приклад реалізованих рішень модернізації інженерних систем	8
2 Опис та характеристика основної системи водопостачання житлового комплексу	10
2.1 Загальний опис	10
2.2 Розрахунок та підбір насосної станції	11
2.3 Методика розрахунку насосної станції	12
2.4 Підбір насосного обладнання	13
2.5 Визначення втрат напору у водопровідній мережі	15
2.6 Розрахунок насосної станції другого підйому	15
3 Обґрунтування та розробка електричної схеми управління насосами з частотним регулюванням	19
3.1 Обґрунтування вибору способу управління	19
3.2 Склад системи автоматизованого керування	19
3.3 Принцип роботи схеми управління	20
3.4 Структурна схема управління насосами	20
3.5 Алгоритм роботи (спрощений)	21
3.6 Розрахунок тиристорного перетворювача	25
3.7 Розрахунок передатної функції якірного кола	30
3.8 Вибір електричної схеми управління насосами	31
4 Охорона праці	34
4.1 Техніка безпеки та вимоги електробезпеки	34
4.2 Електробезпека в приміщенні насосної станції	35
4.3 Розробка заходів безпеки у надзвичайних ситуаціях	37
5 Техніко-економічне обґрунтування проєкту	38
5.1 Мета проєкту	38
5.2 Вихідні умови	38
5.3 Розрахунок окупності	39
5.4 Соціально-технічні переваги	39
Висновок	
Перелік джерел посилань	

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку інфраструктури міст і підвищення вимог до якості житлових умов особливого значення набуває ефективне функціонування систем життєзабезпечення, зокрема — систем водопостачання. Надійне, енергоефективне та автоматизоване водопостачання є однією з ключових складових комфорту мешканців багатоквартирних житлових будинків.

Останніми роками значна увага приділяється модернізації інженерних систем житлових комплексів. Водночас, з огляду на зростання цін на енергоносії та необхідність забезпечення безперервного і раціонального водопостачання, особливої актуальності набуває вдосконалення електричних схем керування насосами. Саме автоматизовані системи керування дозволяють підвищити ефективність експлуатації насосного обладнання, зменшити енергоспоживання, підвищити надійність та адаптивність системи до змін у режимах споживання.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка проєкту модернізації системи водопостачання житлового комплексу з удосконаленням електричної схеми керування насосами, що забезпечить підвищення енергоефективності, автоматизацію процесів керування та відповідність сучасним вимогам до інженерних систем житла.

У процесі виконання роботи буде проведено аналіз існуючих технічних рішень, розроблено оновлену електричну схему, підібрано відповідне обладнання та обґрунтовано техніко-економічну доцільність запропонованої модернізації.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ ТА СПОСОБИ ЇХ МОДЕРНІЗАЦІЇ

1.1 Ключові напрямки модернізації інженерних систем

Модернізація інженерних систем у житлових комплексах — це комплекс заходів, спрямованих на оновлення, удосконалення та автоматизацію внутрішньобудинкових мереж і технологічного обладнання, яке забезпечує життєдіяльність мешканців. Основними інженерними системами, що підлягають модернізації, є системи водопостачання та водовідведення, електропостачання і освітлення, системи опалення, вентиляції та кондиціювання повітря (HVAC), ліфтове господарство, системи автоматизації та диспетчеризації (BMS – Building Management System), системи безпеки (пожежна сигналізація, відеоспостереження, контроль доступу).

Ключовий напрям модернізації це енергоефективність. Заміна застарілого обладнання на енергозберігаюче (наприклад, частотне регулювання насосів, LED-освітлення, теплообмінники, рекуператори). Утеплення будівельних конструкцій для зниження тепловтрат. Встановлення лічильників ресурсів на кожну квартиру або стояк. Автоматизація та дистанційне управління: Впровадження «розумних» систем контролю та управління, які дозволяють моніторити та керувати параметрами систем у реальному часі. Застосування PLC-контролерів, сенсорів, інтернету речей (IoT) для оптимізації витрат і оперативного реагування на несправності. Надійність та довговічність: Використання сучасних матеріалів (поліетиленові та поліпропіленові труби, безкорозійні елементи). Впровадження резервних схем живлення, байпасів і насосів-дублерів. Системи аварійного оповіщення та захисту від витоків чи перевантажень. Екологічність та безпека: Встановлення очисних фільтрів, зменшення споживання шкідливих речовин, безпечне водовідведення. Дотримання норм екологічної безпеки та стандартів будівництва. Інтеграція в систему "розумного будинку": Синхронізація інженерних систем із загальнобудинковою системою управління, можливість

взаємодії через мобільні додатки, сповіщення мешканців про зміни параметрів (тиск, температура, витрата тощо).

Модернізація інженерних систем житлових комплексів — це не просто заміна старого на нове, а перехід до інтегрованої, керованої, енергоощадної інфраструктури, що відповідає вимогам сталого розвитку, комфорту та безпеки мешканців. У контексті водопостачання та управління насосами — це можливість забезпечити стабільний тиск, зменшити втрати електроенергії та впровадити гнучке управління залежно від реального споживання.

Таблиця 1.1 Характеристика модернізації об'єктів водопостачання

Критерій	До модернізації	Після модернізації
Ефективність	Високі втрати ресурсів, низька адаптивність	Економія води, тепла, електроенергії; автоматичне регулювання
Надійність	Часті аварії, морально застаріле обладнання	Підвищений термін експлуатації, резервування систем
Зручність для мешканців	Обмежене керування, відсутність зворотного зв'язку	Персоналізоване керування, мобільні сервіси, контроль якості
Експлуатаційні витрати	Високі витрати на обслуговування та ремонт	Зменшення витрат завдяки профілактиці та оптимізації процесів
Безпека	Ризики протікання, коротких замикань, перегріву	Системи захисту, контролю та сигналізації

1.2 Приклад реалізованих рішень модернізації інженерних систем

Прикладом реалізованих рішень модернізації інженерних систем житлових комплексів є:

м.Київ, Житловий комплекс “Комфорт Таун”.

Суть рішення полягає в тому, що у цьому житловому комплексі реалізовано централізовану систему керування інженерними мережами (BMS) з інтеграцією управління насосними станціями водопостачання.

Особливості проекту є використання частотних перетворювачів на насосах для підтримки сталого тиску. Встановлення датчиків витрати води та тиску на

кожному стояку. Можливість віддаленого моніторингу через диспетчерську. Економія електроенергії до 30% завдяки оптимізації роботи насосів.

м.Львів, ОСББ “Зелений Двір” (пілотний проєкт USAID “Муніципальна енергетична реформа”).

Повна термомодернізація будинку з одночасною реконструкцією внутрішньої системи опалення та водопостачання.

Встановлення індивідуального теплового пункту (ІТП) з погодним регулюванням. Заміна старих сталевих труб на полімерні з теплоізоляцією. Впровадження багатофункціонального лічильника води з дистанційною передачею даних. Реалізовано систему оповіщення у разі витоків або стрибків тиску.

м.Харків, ЖК “Панорама” – впровадження "розумного будинку"

Модернізована система водопостачання та електроживлення в межах концепції Smart Home.

Особливістю є насосна станція з резервним живленням та автоматичним перемиканням на генератор. Система керування насосами з візуалізацією в мобільному додатку для керуючої компанії. Встановлені датчики витoku води у квартирах, які можуть автоматично перекривати воду. Повна інтеграція з системами пожежогасіння та відеонаглядом.

м. Дніпро: Модернізація гуртожитків НТУ "Дніпровська політехніка"

Оснащення системи водопостачання автоматизованими насосними станціями на базі програмованих логічних контролерів (PLC). Експлуатація в умовах змінного навантаження (студенти, канікули, навчальні періоди). Автоматичне регулювання продуктивності насосів відповідно до добового графіка споживання. Моніторинг усіх параметрів через SCADA-систему. Результат - суттєве зменшення кількості аварійних ситуацій.

Успішна реалізація таких рішень в Україні свідчить про високу ефективність комплексної модернізації інженерних систем. Ключем до цього є застосування сучасних технологій керування, гнучке налаштування обладнання та інтеграція автоматизації в реальні умови експлуатації.

2 ОПИС ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНОЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

2.1 Загальний опис

Система водопостачання житлового комплексу — це сукупність інженерних споруд, обладнання та трубопроводів, призначених для безперебійної подачі холодної та гарячої води до кожного споживача. Основна мета системи — забезпечити нормативний тиск, якість води та відповідний рівень комфорту мешканців. Для багатоповерхових житлових будинків зазвичай застосовується централізована система водопостачання з підкачувальними насосними станціями, які регулюють тиск залежно від висоти будинку та водоспоживання.

Таблиця 2.1 - Основні елементи системи

№	Компонент	Функція
1	<i>Ввід води в будинок</i>	Забезпечує приєднання до зовнішньої мережі централізованого водопостачання.
2	<i>Вузол обліку води</i>	Містить лічильники (зазвичай ультразвукові або механічні) для фіксації споживання.
3	<i>Насосна станція</i>	Забезпечує підвищення тиску в системі, особливо на верхніх поверхах.
4	<i>Трубопроводи (стояки, розводка)</i>	Доставляють воду до споживачів у кожному під'їзді, квартирі.
5	<i>Регулятори тиску, клапани, засувки</i>	Керують потоками води, запобігають аваріям та забезпечують рівномірність подачі.
6	<i>Система гарячого водопостачання (ГВП)</i>	Включає бойлери, теплообмінники або централізовану ГВП-мережу.
7	<i>Система автоматизації</i>	Керує насосами, аналізує параметри (тиск, витрата), передає сигнали аварій.

Основна система водопостачання житлового комплексу — це складна, багатокомпонентна система, яка вимагає професійного проектування, сучасного обладнання та надійної автоматизації. Удосконалення таких систем через впровадження частотного регулювання, моніторинг споживання, а також гнучкі електричні схеми управління насосами дозволяє значно підвищити ефективність і комфорт користування водними ресурсами.

Таблиця 2.2 - Типові характеристики сучасної системи

№	Параметр	Значення / Стандарт
1	Тиск у системі холодного водопостачання	0,3–0,6 МПа (може регулюватися насосами з частотним перетворенням)
2	Продуктивність насосної станції	Від 5 до 50 м³/год (залежно від кількості квартир та поверховості)
3	Матеріал трубопроводів	Поліпропілен (PPR), зшитий поліетилен (PEX), мідь, сталь із цинковим покриттям
4	Метод регулювання тиску	Частотно-регульовані електроприводи, електронні контролери тиску
5	Резервне живлення	Автоматичне перемикання на генератор у разі аварії (опційно)
6	Автоматизація	SCADA-системи, PLC-контролери, дистанційний моніторинг через GSM/інтернет

Таблиця 2.3 - Характеристика за основними критеріями

№	Критерій	Оцінка
1	Надійність	Висока при наявності дублюючих насосів і контролю тиску в реальному часі
2	Енергоефективність	Покращена при використанні частотного регулювання та інтелектуального керування
3	Гнучкість	Можливість адаптації до змін водоспоживання завдяки датчикам і автоматичному керуванню
4	Безпека	Висока при наявності зворотних клапанів, аварійного зливу та сигналізації
5	Обслуговування	Просте при доступі до модулів керування і стандартних вузлів

2.2 Розрахунок та підбір насосної станції

Насосна станція водопостачання — це інженерна установка, яка забезпечує подачу води під тиском до споживачів. У багатоповерхових житлових будинках її основна функція — підвищення тиску в системі, особливо для верхніх поверхів, де природного тиску з магістралі недостатньо.

Насосна станція — це один із ключових елементів системи внутрішнього водопроводу житлового комплексу, призначений для забезпечення подачі води

на необхідну висоту з дотриманням нормативного тиску. У багатоповерхових житлових будинках, де тиск у централізованій мережі часто є недостатнім, насосна станція відіграє роль підвищувального обладнання, що дозволяє забезпечити стабільне водопостачання на верхніх поверхах. Відповідно до **ДБН В.2.5-64:2012 “Внутрішній водопровід і каналізація будівель”**, тиск води в найменш сприятливій точці має становити не менше ніж 10 м водяного стовпа (≈ 1 бар). У разі перевищення висоти підйому понад 16 м (приблизно 5 поверхів), встановлення насосної станції є обов’язковим.

Таблиця 2.4 - Типи насосних станцій

№	Тип станції	Опис	Застосування
1	Станції першого підйому	Забір води з джерела (річка, свердловина) для подачі на очисні споруди або в резервуари	Індивідуальні системи, приватні ЖК, поза містом
2	Станції другого підйому	Підвищують тиск води з водопровідної мережі для подачі у внутрішньобудинкову систему	Найпоширеніший варіант у міських житлових комплексах
3	Станції з накопичувальними ємностями	Включають резервуари та насосну групу, що працює за графіком або на заповнення системи	ЖК зі слабким/нестабільним центральним водопостачанням
4	Станції з частотним регулюванням	Насоси з частотними перетворювачами, які автоматично змінюють швидкість обертання двигуна	Сучасні комплекси з вимогами до енергоефективності

2.3 Методика розрахунку насосної станції

Основні розрахункові параметри:

1. Q - подача води (л/с або м³/год)

Розраховується за формулою:

$$Q = q_{\text{ср}} \times n \quad (2.1)$$

де:

$q_{\text{ср}}$ — середнє водоспоживання на одну квартиру (наприклад, 0.2–0.3 л/с),

n — кількість квартир або точок споживання.

2. H — напір (м), розраховується як:

$$H=H_1+H_2+H_3 \quad (2.2)$$

де:

H_1 — висота підйому (від насоса до найвищої точки),

H_2 — втрати тиску в трубах (залежить від довжини і діаметра),

H_3 — мінімальний залишковий тиск на сантехнічному обладнанні (наприклад, 10–15 м).

3. N - потужність насоса (кВт)

$$N = \frac{Q \times H}{367 \times \eta} \quad (2.3)$$

де η — ККД насоса (зазвичай 0.6–0.8), 367 — коефіцієнт переходу до кВт.

2.4 Підбір насосного обладнання

Підбір насоса проводиться використовуючи такі критерії:

- продуктивність і напір (відповідно до розрахунків);
- наявність частотного регулювання;
- тип керування (автоматичне, диспетчеризоване);
- наявність резервного насоса (1+1 або 2+1);
- компактність, рівень шуму, можливість монтажу в технічному поверсі або окремому приміщенні;
- виробник і сервісна підтримка в регіоні.

Пропоновані рішення:

- Grundfos Hydro MPC, Wilo COR, DAB Eskybox Max — сучасні модульні насосні станції з частотним регулюванням.
- Для малих об'єктів — насосні станції на базі вертикальних багатоступінчастих насосів (типу Grundfos CR або аналогів).

Правильний розрахунок і підбір насосної станції — критично важливий етап проектування водопостачання житлового комплексу. Від цього залежить не лише комфорт мешканців, а й довговічність обладнання, рівень енергоспоживання і стабільність системи.

Розглянемо житловий комплекс на 9 поверхів, 3 під'їзди по 4 квартири на поверсі:

- Загальна кількість квартир: $9 \times 3 \times 4 = 108$
- $Q = 0,25 \cdot 108 \cdot 0,3 = 8,1 \text{ л/с} = 29 \text{ м}^3/\text{год}$
- $H = 27 \text{ м (висота)} + 10 \text{ м (втрати)} + 15 \text{ м (залишковий тиск)} = 52 \text{ м}$

Отже, підбирається насосна станція з параметрами:

- Продуктивність: не менше **30 м³/год**
- Напір: **50–55 м**
- Схема: **2 робочих насоси + 1 резервний**
- Частотне керування: **обов'язкове**

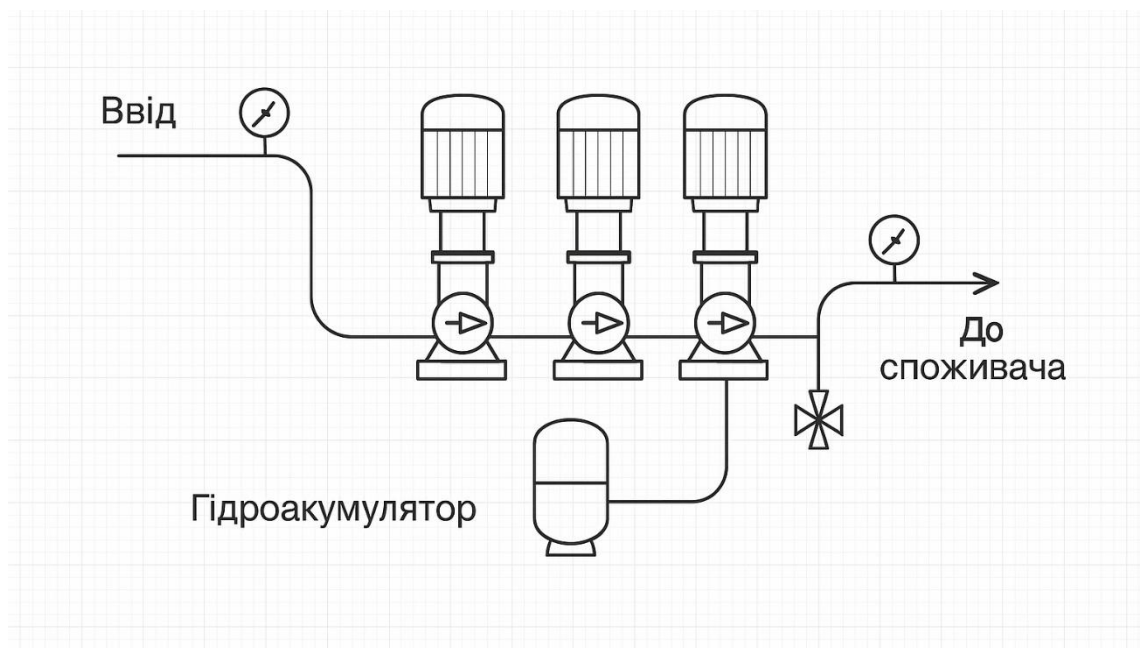


Рис.2.1 - Схема насосної станції.

2.5 Визначення втрат напору у водопровідній мережі

Величина втрат напору розраховується виходячи із значень діаметрів та витрат на ділянках мережі з урахуванням двох режимів роботи мережі (до та під час пожежі):

$$h_{\partial i.l.i} = \frac{A_i \cdot l_{\partial i.l.i} \cdot q_{\partial i.l.i}^2}{10^6}, \text{ м} \quad (2.5)$$

де A_i - питомий опір трубопроводу ;

$l_{\partial i.l.i}$ – довжина ділянки, м;

$q_{\partial i.l.i}$ - витрати води на ділянці, л/с.

Загальні втрати визначаються як середньоарифметичні втрати напору за можливими напрямками руху води:

$$h_{\text{м}} = 1,05 \cdot \frac{\sum_{i=1}^k h_i}{k}, \text{ м}, \quad (2.6)$$

де 1,05 – коефіцієнт місцевого опору;

$h_i = \sum h_{\partial i.l.i}$ - втрати напору за напрямком руху води від точки

водоспоживання до диктуючої, м;

$h_{\partial i.l.i}$ - втрати напору на ділянках, одного напрямку руху від точки

водоспоживання до диктуючої, м;

$\sum_{i=1}^k h_i$ - сума втрат напору до диктуючої точки, м;

k – кількість напрямків руху води до диктуючої точки.

$$h_{\text{м}} = 1,05 \cdot \frac{29,761}{2} = 15,62, \text{ м}.$$

2.6 Розрахунок насосної станції другого підйому

Насосні станції другого підйому працюють в ступеневому режимі, насоси однієї групи подають воду цілодобово, а в години, максимального

споживання включаються насоси іншої ступені. Водоспоживання у системах водопостачання житлових комплексів нерівномірне, тому, виникає необхідність частого вмикання та вимикання насосів, що у свою чергу ускладнює роботу насосної станції.

Насосна станція другого підйому працює за таким алгоритмом:

- у звичайному режимі подає воду до водонапірної башти в кількості, необхідній для житлового комплексу та інфраструктури;
- при виникненні пожежі вона подає воду безпосередньо в мережу, в обхід водонапірної башти кількістю, необхідною всім споживачам та для пожежогасіння.

Напір насосів для насосної станції другого підйому розраховується:

- до пожежі

$$H_{HC-II} = H_{BB} + H_{\delta BB} + h^{HC-II-BB} + (z_{BB} - z_{HC-II}), \text{ м}, \quad (2.7)$$

де H_{BB} - висота водонапірної башти, м;

$H_{\delta BB}$ - висота баку водонапірної башти, м;

z_{BB} - геодезична відмітка встановлення водонапірної башти м;

z_{HC-II} - геодезична відмітка встановлення станції другого підйому), м.

$h^{HC-II-BB}$ - втрати напору між HC-II та водонапірною баштою, м.

$$H_{HC-II} = 34 + 8 + 6,21 + (208 - 204) = 52,21, \text{ м}.$$

Втрати напору в частині мережі між HC-II та водонапірною баштою визначаються:

$$h^{HC-II-BB} = A \cdot l^{HC-II-BB} \cdot (q^{HC-II-BB})^2, \text{ м}, \quad (2.8)$$

де A – питомий опір труб приймається в залежності від їх діаметру

$$d^{HC-II-BB} = \sqrt{\frac{4(q^{HC-II-BB})}{1000 \cdot \pi \cdot \nu}}, \text{ м};$$

$$q^{HC-II - BB} = 0,7 \cdot Q_{\max}^{HC-II} \cdot \frac{1000}{3600} - \text{витрати води, л/с;}$$

$$Q_{\max}^{HC-II} = \frac{P_{\max} \cdot Q_{\text{розр}}}{100} - \text{максимальна подача НС-II, л/с;}$$

$P_{\max}$ - подача води насосами

$l^{HC-II - BB}$ - довжина мережі між НС-II та водонапірною, м;

v - швидкість руху води в трубах приймається в інтервалі 0,7 – 1,2 м/с.

$$h^{HC-II - BB} = 0,3731 \cdot (200/100) \cdot (91,19)^2 = 6,21, \text{ м.}$$

- під час пожежі

$$H_{HC-II}^{пож} = h_m^{пож} + H_v^{пож} + (z_{д.т.} - z_{HC-II}), \text{ м,} \quad (2.9)$$

де $h_m^{пож}$ - втрати напору в мережі під час пожежі, м;

$H_v^{пож} = 10$ - вільний напір на пожежному гідранті, м;

$z_{д.т.}$ - геодезична відмітка диктуючої точки, м.

$$H_{HC-II}^{пож} = 29,761 + 10 + (200 - 202) = 38, \text{ м.}$$

Витрата насосів НС-II:

- до пожежі:

- для першій ступені:

$$Q_{HC-II_1} = \frac{P_{\min} \cdot Q_{\text{розр}}}{100}, \text{ м}^3/\text{год,} \quad (2.10)$$

де $P_{\min}$ - подача води насосами першої ступені

$$Q_{HC-II_1} = \frac{1,453 \cdot 660,39}{100} = 9,59, \text{ м}^3/\text{год.}$$

- для другої ступені витрати води визначаються за формулою:

$$Q_{HC-II_2} = \frac{(P_{\max} - P_{\min}) \cdot Q_{\text{розр}}}{100}, \text{ м}^3/\text{год,} \quad (2.11)$$

де $P_{\max}$ - подача води другою ступінню НС-II, у години максимального водоспоживання;

- під час пожежі витрата води визначається в залежності типу насосної станції – високого або низького тиску.

$$Q_{HC-II_2} = \frac{(7,104-1,453) \cdot 660,39}{100} = 37,32, \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для насосних станцій **низького тиску** витрати визначаються:

$$Q_{HC-II}^{пож} = Q_{пож} \frac{3600}{1000}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.12)$$

де $Q_{пож}$ - пожежні витрати води, л/с;

$$Q_{HC-II}^{пож} = 9,0 \cdot \frac{3600}{1000} = 32,4, \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для насосних станцій високого тиску:

$$Q_{HC-II}^{пож} = \frac{P_{\max} \cdot Q_{розр}}{100} + Q_{пож} \frac{3600}{1000}, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2.13)$$

$$Q_{HC-II}^{пож} = \frac{7,104 \cdot 660,39}{100} + 32,4 = 79,3 \text{ м}^3/\text{год.}$$

3. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ УПРАВЛІННЯ НАСОСАМИ З ЧАСТОТНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ

3.1. Обґрунтування вибору способу управління

У сучасних системах водопостачання житлових комплексів ефективність насосної станції значною мірою залежить від способу керування її обладнанням. Традиційні схеми управління із жорстким запуском (пуск–стоп) мають низку недоліків:

- високі пускові струми, що призводять до зношення електродвигунів;
- стрибки тиску у водопровідній мережі;
- відсутність адаптації до змін споживання.

Натомість частотне регулювання дозволяє плавно змінювати оберти електродвигуна, а отже — продуктивність насоса, забезпечуючи:

- підтримання сталого тиску незалежно від водоспоживання;
- зниження електроспоживання до 30–40%;
- зменшення гідроударів і продовження терміну служби обладнання;
- можливість інтеграції в систему диспетчеризації (SCADA, BMS).

Відповідно до ДСТУ ІЕС 61800-2:2004 і ПУЕ (Правила улаштування електроустановок), частотно-регульовані приводи рекомендовані для технологічного обладнання з змінним навантаженням.

3.2. Склад системи автоматизованого керування

Система електричного керування насосною станцією включає основні елементи, що забезпечують плавне регулювання обертів робочого колеса насоса, логічне керування режимами роботи насосної станції та захист системи під час виникнення аварійних ситуацій.

Таблиця 3.1 – Основні елементи системи керування насосами

Компонент	Призначення
Частотний перетворювач (ЧП)	Забезпечує плавне регулювання обертів електродвигуна насоса
ПЛК-контролер (PLC)	Програмоване логічне керування режимами роботи та алгоритмами запуску/зупинки
Панель оператора (HMI)	Інтерфейс користувача для перегляду параметрів, ручного керування, сигналів
Датчик тиску (4–20 мА)	Передає реальні значення тиску до контролера для обробки
Пускачі, контактори, автоматика	Захист і комутація електроприводів насосів
Сигналізація та аварійне відключення	Забезпечують безпечне зупинення у випадку несправності

3.3. Принцип роботи схеми управління

Датчик тиску постійно вимірює тиск у системі та передає сигнал до ПЛК. Контролер порівнює отримане значення з заданим еталоном (наприклад, 4 бар). Залежно від відхилення, ПЛК через аналоговий вихід керує частотним перетворювачем, який відповідно змінює оберти двигуна. У разі різкого зростання споживання (наприклад, у години пік), система запускає другий насос (або третій — за необхідності) за аналогічною схемою. Якщо витрата падає — насоси знижують оберти або відключаються з дотриманням затримок і гістерезису.

3.4. Структурна схема управління насосами

Опис логіки:

- Система працює в автоматичному режимі;
- Один насос — ведучий (робочий з частотним регулюванням);
- Інші — резервні/допоміжні, можуть увімкнутись за перевищенням навантаження;
- Є режим ручного керування через HMI або перемикачі на шафі керування;

- Передбачено захист по струму, перегріву, сухому ходу.

3.5. Алгоритм роботи (спрощений)

[Старт]

→ Перевірка тиску в системі

→ Якщо тиск < заданого → збільшити оберти насоса

→ Якщо тиск > заданого → зменшити оберти / зупинити

насос

→ Якщо навантаження > 70% продуктивності → увімкнути
другий насос

→ Якщо тиск стабільний > 30 сек → зупинити допоміжний
насос

→ [Повернення на початок]

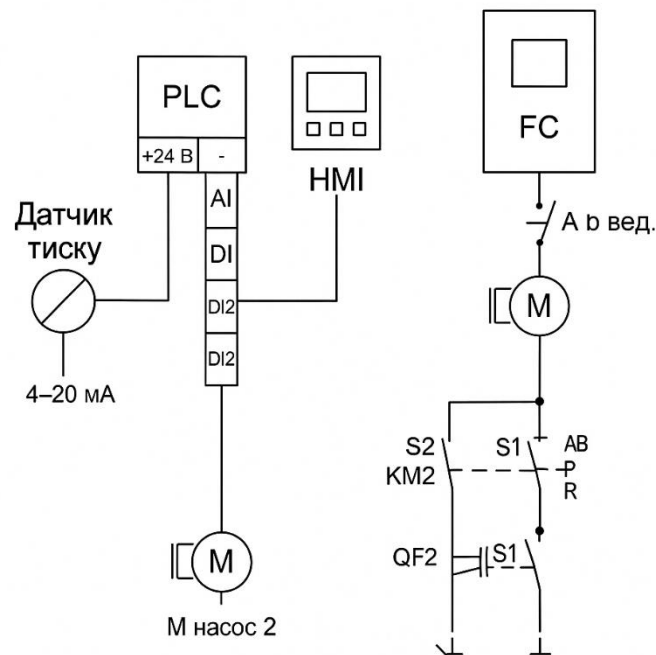


Рис. 3.1 – Умовна графічна схема автоматики насосів з частотним регулюванням

Таблиця 3.2 - Таблиця сигналів контролера PLC

Позначення	Тип сигналу	Опис	Джерело/Приймач
AI1	Аналоговий вхід	Сигнал від датчика тиску (4–20 мА)	Датчик тиску
DI1	Дискретний вхід	Аварійна сигналізація насоса 1	Контакт захисту електродвигуна
DI2	Дискретний вхід	Пуск/Стоп в ручному режимі	Кнопка або HMI

Продовження таблиці 3.2

DO1	Дискретний вихід	Команда на увімкнення насоса 2 (резервного)	Контактор KM2
AO1	Аналоговий вихід	Керуюча напруга/струм на частотний перетворювач	Частотний перетворювач (FC)
COM	Загальна шина	Загальна «земля» для всіх сигналів	—

Алгоритм роботи контролера (текстова логіка)

- Зчитати значення тиску з AI1 (датчик тиску).
- Порівняти з уставкою (наприклад: 4.0 бар).
 - ↳ Якщо тиск < уставки – збільшити частоту обертання основного насоса через AO1.
 - ↳ Якщо тиск > уставки – зменшити частоту або зупинити насос.
- Якщо оберти основного насоса > 85% тривалий час (наприклад 20 с) – активувати DO1 → увімкнути допоміжний насос.
- Якщо тиск стабілізується й основний насос працює < 60% – вимкнути допоміжний насос через DO1.
- Якщо з DI1 надходить сигнал аварії – зупинити насос, подати аварійну індикацію на HMI.
- Надати користувачу можливість:
 - ↳ Перемикати режими: “Авто / Ручне” через HMI;
 - ↳ Переглядати поточний тиск, статус насосів, аварії.
- Повторювати цикл з кроку 1.

Алгоритм керування насосами (Siemens S7-1200, TIA Portal)

Вхідні параметри:

- Частотний перетворювач керується по **аналоговому виходу** (0–10 В або 4–20 мА).
- Насоси мають сигнал **готовності/аварії** на дискретному вході.
- Встановлено **датчик тиску з виходом 4–20 мА**.

- Вибір режиму: **Авто/Ручний** через HMI або перемикач.

Таблиця 3.3 - Позначення сигналів у проекті

Ім'я сигналу (PLC tag)	Тип (I/O)	Призначення
AI_TISK	AI (I0.0)	Вхід з датчика тиску (4–20 мА)
DI_ERR_PUMP1	DI (I0.1)	Аварія насоса 1
DI_ERR_PUMP2	DI (I0.2)	Аварія насоса 2
DI_MODE_SELECT	DI (I0.3)	Вибір режиму: 1 — Авто, 0 — Ручний
DI_MANUAL_START	DI (I0.4)	Пуск у ручному режимі
AO_FREQ	AO (Q0.0)	Керування ЧП (0–10 В або 4–20 мА)
DO_PUMP2	DO (Q0.1)	Команда на пуск допоміжного насоса
MW_PRESSURE	Memory Word	Перетворене значення тиску
MW_SETPOINT	Memory Word	Уставка тиску (встановлюється через HMI)

Цикл керування (FB або OB1)

Кроки реалізації (ST або LAD/FBD):

```
// Читання тиску та масштабування
MW_PRESSURE := SCALE_AI(AI_TISK); // Функція масштабування 4–20 мА
→ 0–10 бар
```

```
// Автоматичний режим
IF DI_MODE_SELECT = TRUE THEN
    IF MW_PRESSURE < MW_SETPOINT THEN
        // Збільшення частоти
        AO_FREQ := AO_FREQ + 5;
        IF AO_FREQ > 90 THEN
            DO_PUMP2 := TRUE; // Вмикаємо допоміжний насос
        END_IF;
    ELSE
        AO_FREQ := AO_FREQ - 5;
        IF MW_PRESSURE > MW_SETPOINT + 0.3 THEN
            DO_PUMP2 := FALSE; // Вимикаємо допоміжний насос
        END_IF;
    END_IF;
END_IF;
```

```
// Ручний режим
IF DI_MODE_SELECT = FALSE THEN
    IF DI_MANUAL_START = TRUE THEN
        DO_PUMP2 := TRUE;
        AO_FREQ := 50; // Подача команди на фіксовану частоту
    ELSE
        DO_PUMP2 := FALSE;
        AO_FREQ := 0;
    END_IF;
END_IF;
```

```

    END_IF;
END_IF;

// Аварійна зупинка
IF DI_ERR_PUMP1 = TRUE OR DI_ERR_PUMP2 = TRUE THEN
    AO_FREQ := 0;
    DO_PUMP2 := FALSE;
END_IF;

```

Таблиця 3.4 - Інтерфейс HMI (через WinCC у TIA Portal)

Елемент	Функція
Поле введення MW_SETPOINT	Задання уставки тиску, наприклад 4.0 бар
Індикатор MW_PRESSURE	Відображення поточного тиску
Кнопка "Ручний пуск"	Встановлює DI_MANUAL_START = 1
Перемикач "Режим"	Встановлює DI_MODE_SELECT = 0/1
Індикація аварій насосів	Відображає DI_ERR_PUMP1, DI_ERR_PUMP2

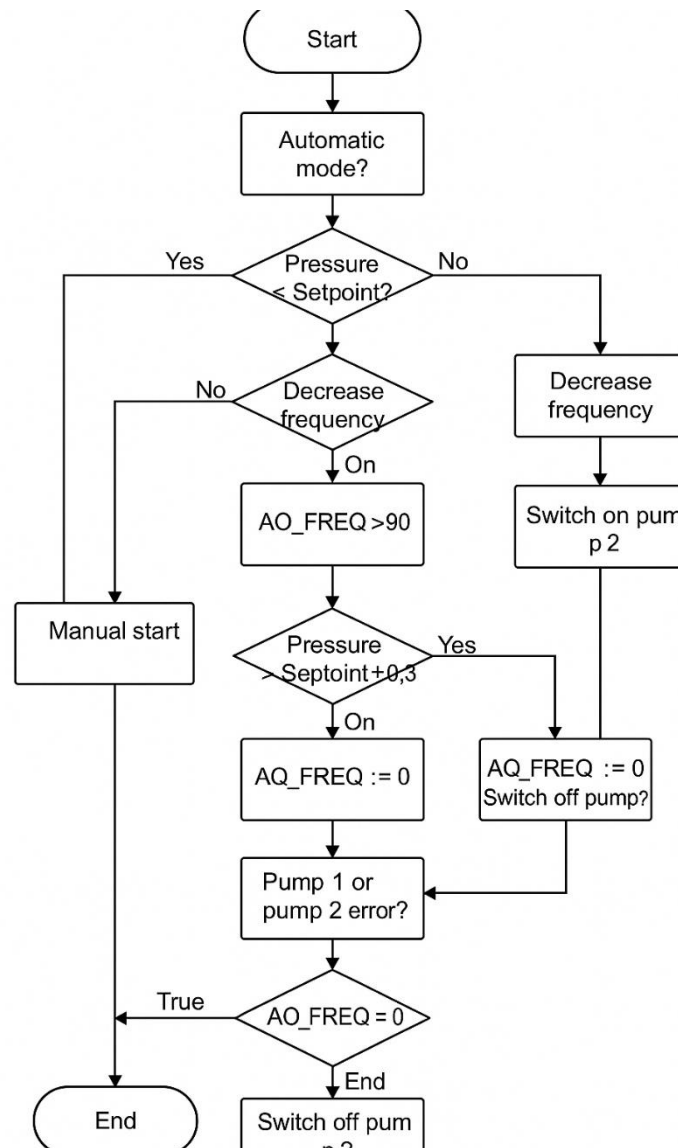


Рис.3.2 – Блок-схема для реалізації на S7-1200 із підтримкою мов LAD/ST

Використання електричної схеми управління насосами з частотним регулюванням є технологічно та економічно обґрунтованим рішенням. Така система дозволяє забезпечити:

- плавне і точне регулювання тиску у водопровідній мережі;
- енергозбереження за рахунок адаптації до навантаження;
- надійність та довговічність обладнання;
- гнучкість у керуванні насосною групою в залежності від режимів споживання.

3.6 Розрахунок тиристорного перетворювача

Для проведення розрахунку необхідно вибрати вихідні дані:

- сумарна потужність двигунів $P_n=37$ кВт
- оберти вала двигуна $n_n=1000$ об/хв
- струм номінальний $I_n=I_{я}=165$ А
- опір якоря і додаткових полюсів сумарний $R_{я}+R_{дп}=0.45$ Ом
- напруга мережі номінальна $U_m=380$ В
- напруга обмотки збудження номінальна $U_{оз}=220$ В
- струм обмотки шунтової $I_{ш}=2.7$ А
- напруга завдання $U_z=5$ В

Вибираємо трифазну мостову схему (У-У). Така схема буде характеризуватися такими коефіцієнти:

- фазність схеми $m=3$
- число груп вентилів $q=2$
- спад напруги на вентилях $\Delta U_a=2$ В
- коефіцієнт $K_u=2.34$
- коефіцієнт $K_{i1}=0.816$
- коефіцієнт $K_{s1}=1.045$
- втрати в трансформаторі (мідь) $\Delta P_{M\%}=2\%$
- коефіцієнт запасу (за кутом відкривання вентилів) $K_3=1.05$
- напруга КЗ трансформатора $U_{k\%}=4.5\%$

- процент зниження напруги в мережі $\Delta U_{\%}=8\%$

3.6.1 Розрахунок параметрів та вибір типу трансформатора:

Активний опір вторинної обмотки трансформатора, приведений до вторинного кола.

$$R_{mp} := \frac{1.1 \cdot K_{s1}}{m \cdot K_{il}^2} \cdot \frac{U_m}{I_n} \cdot \frac{\Delta P_{\%}}{100 \cdot \%} = \frac{1.1 \cdot 1.045}{3 \cdot 0.816^2} \cdot \frac{380}{165} \cdot \frac{2\%}{100\%} = 0.027 \text{ Ом};$$

Розраховуємо коефіцієнт схеми.

$$K_x := \frac{q \cdot m}{2 \cdot \pi} = \frac{2 \cdot 3}{2 \cdot \pi} = 0.955;$$

Розраховуємо фазну ЕРС вторинної обмотки трансформатора.

$$\begin{aligned} E_2 &:= K_3 \cdot \frac{U_m + \Delta U_a + 1.1 \cdot q \cdot R_{mp} \cdot I_n}{K_u \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100\%}\right) \cdot \cos\left(25 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \frac{K_x}{K_{il}} \cdot \frac{U_{\%}}{100\%}} = \\ &= 1.05 \cdot \frac{380 + 2 + 1.1 \cdot 2 \cdot 0.027 \cdot 165}{2.34 \cdot \left(1 - \frac{8\%}{100\%}\right) \cdot \cos\left(25 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \frac{0.955}{0.816} \cdot \frac{4.5\%}{100\%}} = 216.7 \text{ В}; \end{aligned} \quad (3.1)$$

Розраховую максимальне значення випрямленої напруги.

$$U_{d0} := q \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{m}{2\pi} \cdot E_2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot 216.7 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = 253.44 \text{ В};$$

Розраховуємо коефіцієнт трансформації.

$$K_{mp} := \frac{U_{н.л}}{E_2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{380}{216.7 \sqrt{3}} = 1.012;$$

Середнє значення струму навантаження.

$$I_d := I_n = 165 \text{ А};$$

Визначаємо діюче значення вторинного фазного струму.

$$I_2 := K_{il} \cdot I_d = 0.816 \cdot 165 = 134.64 \text{ А};$$

Визначаємо діюче значення первинного фазного струму.

$$I_1 := \frac{K_{il} \cdot I_d}{K_{mp}} = \frac{0.816 \cdot 165}{1.758} = 76.587 \text{ А};$$

Визначаємо середнє значення випрямленої потужності.

$$P_d := U_H \cdot I_H = 220 \cdot 165 = 3.63 \times 10^4 \text{ Вт}$$

Розрахункова потужність первинної обмотки.

$$S_1 := K_{s1} \cdot P_d = 1.045 \cdot (3.63 \times 10^4) = 3.793 \times 10^4 \text{ ВА}$$

Типова потужність трансформатора.

$$S_m := K_{s1} \cdot P_d = 1.045 \cdot (3.63 \times 10^4) = 3.793 \times 10^4 \text{ ВА}$$

Визначаємо індуктивний опір вторинної обмотки трансформатора, приведений до вторинного кола.

$$Z := \frac{U_\Phi}{I_1 \cdot K_{mp}^2} \cdot \frac{U_{k\%}}{100\%} = \frac{380}{76.587 \cdot 1.758^2} \cdot \frac{4.5\%}{100\%} = 0.072 \text{ Ом};$$

$$X_{mp} := \sqrt{Z^2 - R_{mp}^2} = \sqrt{0.072^2 - 0.027^2} = 0.067 \text{ Ом};$$

3.6.2 Вибираємо трансформатор ТСЗ-40/066 з'єднання обмоток Y/Y, що характеризується такими параметрами:

Потужність	$S_H=40 \text{ кВА};$
Напруга первинної обмотки	$U_{BC}=660 \text{ В};$
Напруга вторинної обмотки	$U_{HC}=400 \text{ В};$
Втрати потужності при неробочому ході	$P_{HX}=250 \text{ Вт};$
Втрати потужності при короткому замиканні	$P_{K3}=800 \text{ Вт};$
Напруга КЗ	$U_{K3}=4.5\% \text{ В};$
Струм неробочого ходу	$I_{HX}=4 \text{ А};$

3.6.3 Вибір і перевірка тиристорів

Визначаємо середнє значення струму через тиристор.

$$I_a := \frac{I_H}{3} = \frac{165}{3} = 55 \text{ А};$$

Визначаємо діюче значення струму через тиристор.

$$I_{a\delta} := K_{i\delta} \cdot I_d = 0.577 \cdot 165 = 95.205 \text{ А};$$

Визначаємо максимальне значення зворотної напруги.

$$U_{max} := \sqrt{3} \cdot E_2 \cdot \sqrt{2} = \sqrt{3} \cdot 216.7 \cdot \sqrt{2} = 530.804 \text{ В};$$

Вибираємо тиристор T100з примусовим охолодженням на швидкості 12 м/с , який має такі параметри:

Ударний струм	$I_{y\partial}=3200 \text{ A}$
Порогова напруга	$U_0=1.3 \text{ B}$
Граничний струм	$I_{zp}=157 \text{ A}$
Зворотня напруга	$U_{зв}=531 \text{ B}$
Тепловий опір	$R_m=0.46 \text{ C/Bm}$
Динамічний опір	$R_{дин}=2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$
Тепловий перехідний опір	$Z_{th}=0.18 \text{ C}^0/\text{Bm}$

3.6.4 Перевірка на допустиме перевантаження:

Визначаємо струм короткого замикання в первинній обмотці трансформатора:

$$I_{лкз} := \frac{I_1}{U_{к\%}} = \frac{76.587}{4.5\%} \cdot 100\% = 1.702 \times 10^3 \text{ A};$$

$$K_1 := \frac{I_{y\partial}}{I_{zp}} = \frac{3200}{157} = 20.382;$$

$$I_{a2} := \frac{K_{mp}}{K_{il} \cdot K_1} \cdot I_{лкз} = \frac{1.758 \cdot (1.702 \times 10^3)}{0.816 \cdot 20.382} = 179.904 \text{ A};$$

3.6.5 Перевірка на допустиму температуру нагріву:

Визначаємо коефіцієнт форми струму:

$$K_{\phi c} := \frac{I_{a\partial}}{I_a} = \frac{95.205}{55} = 1.731;$$

Розраховуємо втрати в тиристорі:

$$\begin{aligned} \Delta P_a &:= U_0 \cdot I_a + I_a^2 \cdot R_{дин} \cdot K_{\phi c}^2 = \\ &= 1.3 \cdot 55 + 55^2 \cdot (2 \times 10^{-3}) \cdot 1.731^2 = 89.628 \text{ Bm}; \end{aligned}$$

Температура нагріву кристалу при довготривалому режимі роботи:

$$\Theta := \Delta P_a \cdot R_m + 40 = 89.628 \cdot 0.46 + 40 = 81.229 \text{ } ^0 \text{ C};$$

Втрати в тиристорі при перевантаженні:

$$I_{a.max} := I_a \cdot \lambda = 55 \cdot 1.5 = 82.5 \text{ A};$$

де $\lambda=1.5$ - кратність перевантаження за струмом

$$\begin{aligned} \Delta P_{a.max} &:= U_0 \cdot I_{a.max} + I_{a.max}^2 \cdot R_{дин} \cdot K_{\phi c}^2 = \\ &= 1.3 \cdot 82.5 + 82.5^2 \cdot (2 \times 10^{-3}) \cdot 1.731^2 = 148.038 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Theta_{н.мах} &:= \Theta + (\Delta P_{a.max} - \Delta P_a) \cdot Z_{th} \\ &= 81.229 + (148.038 - 89.628) \cdot 0.18 = 91.743^\circ \text{ C}; \end{aligned}$$

Оскільки допустима температура нагріву не перевищує 125 С, можна зробити висновок, що тиристор вибрано правильно.

Побудова регулювальних характеристик

Регулювальна характеристика має вигляд: $E_d = f(\alpha)$

Оскільки $E_d = U_d$ то $U_d = f(\alpha)$ $E_{2\phi} = 216.7 \text{ В}$

Напруга тиристора коли, коли кут регулювання $\alpha = 0$

$$U_{d0} = 253.324 \text{ В}$$

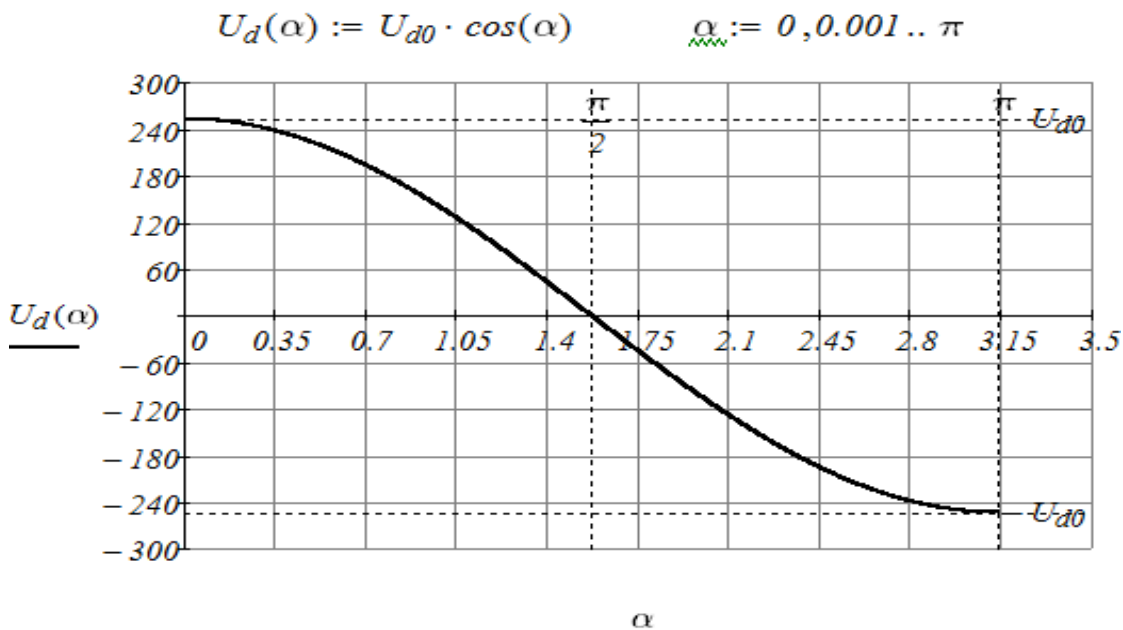


Рис.3.3 – Регулювальна характеристика ТП

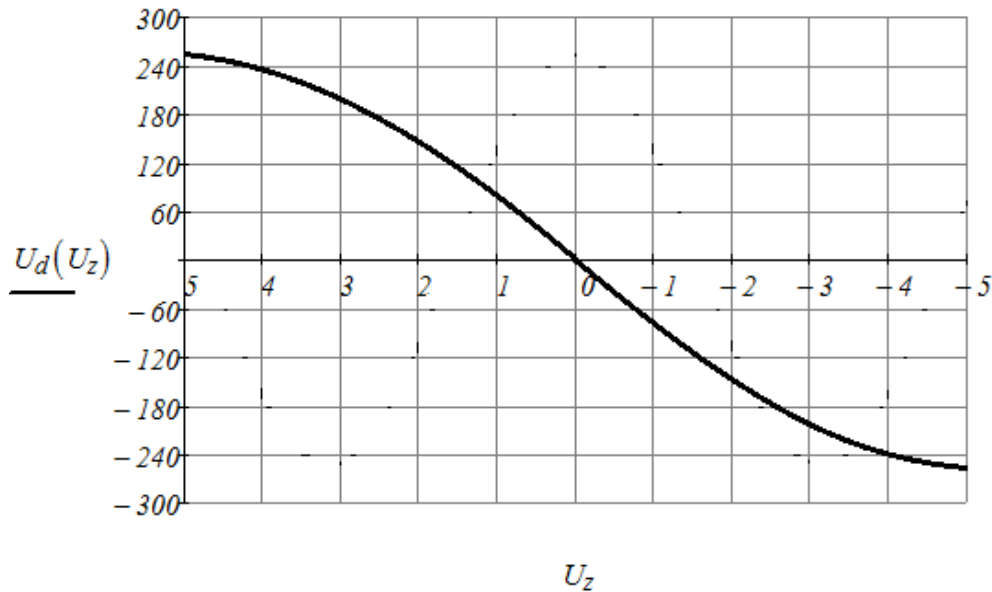


Рис 3.4 - Залежність випрямленої напруги від напруги керування

3.7 Розрахунок передатної функції якірного кола

Розглянемо тепер динамічні електромагнітні процеси в якірному колі, яке живиться від ТП. Фактично мова йде про перехідні процеси в цьому колі. Електрична схема заміщення якірного кола має вигляд, показаний на рис

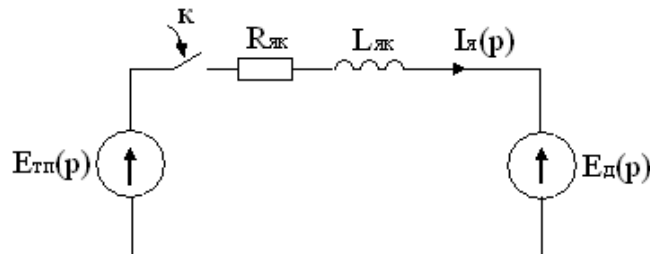


Рис. 3.5 - Електрична схема заміщення якірного кола

($R_{\text{як}}$ – опір якірного кола ТП – Д; $L_{\text{як}}$ – індуктивність якірного кола ТП)

Вибиремо із графіка відносну величину ефективного значення основної гармоніки випрямленої напруги: $e_n := 0.2\xi$

$m_n := 6$ - кратність пульсацій напруги і струму.

$p_n := 2$ - кількість пар полюсів двигуна

$k := 0.2$ - емпіричний коефіцієнт для скомпенсованих двигунів

Індуктивність вторинної обмотки трансформатора:

$$L_{mp} := \frac{X_{mp}}{\omega_0} = \frac{0.067}{314.159} = 2.133 \times 10^{-4} \text{ (Гн)} ;$$

Індуктивність якоря двигуна:

$$L_{як} := K \cdot \frac{U_H}{p \cdot \omega_H \cdot I_H} = 0.2 \cdot \frac{220}{2 \cdot 104.72 \cdot 165} = 1.273 \times 10^{-3} \text{ (Гн)} ;$$

Розрахуємо сталу часу якрного кола, яка підлягає компенсації :

$$\begin{aligned} R_{ак} &:= R_{mp} + R_{sum} ; & R_{ак} &= 0.477 \text{ (Ом)} ; \\ L_{ак} &:= L_{mp} + L_{як} + L_{к\delta} ; & L_{ак} &= 9.968 \times 10^{-3} \text{ (Гн)} ; \end{aligned}$$

Стала часу силового кола системи ТП-Д :

$$T_a := \frac{L_{ак}}{R_{ак}} ; \quad T_a = 0.021 \text{ (с)} ;$$

3.8 Вибір електричної схеми управління насосами

Електрична схема керування насосами призначена для забезпечення автоматизованого запуску, регулювання продуктивності та резервування насосного обладнання у складі системи водопостачання житлового комплексу. Схема реалізує енергоефективне частотне регулювання за допомогою перетворювача частоти, керованого від ПЛК (програмованого логічного контролера) з урахуванням значення тиску в системі.

Таблиця 3.5 – Склад системи управління насосами

Найменування	Кількість	Призначення
Асинхронні електродвигуни насосів	3	Основні (2 шт.) та резервний (1 шт.)
Частотний перетворювач (ЧП)	1	Плавне регулювання швидкості обертання насосів
Контактори (КМ, КМР, КМ□)	3	Керування силовими ланцюгами насосів
PLC-контролер	1	Аналіз сигналів та формування алгоритмів керування
Датчик тиску 4–20 мА	1	Зворотний зв'язок щодо тиску в системі
Автоматичні вимикачі (Q, F)	3	Захист електродвигунів від перевантаження
Сигнальна індикація (AUTO, FAULT)	2	Режим роботи, наявність аварії

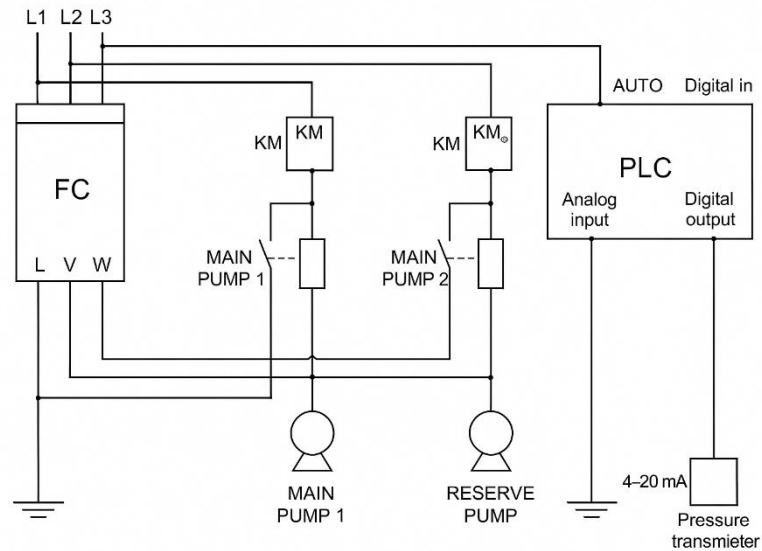


Рис.3.6 – Електрична схема керування насосами

3.8.1 Принцип дії схеми

Основний режим. У нормальних умовах керування насосом №1 здійснюється частотним перетворювачем FC відповідно до сигналу з датчика тиску (4–20 мА). Сигнал обробляється ПЛК, який формує аналогову команду для ЧП (0–10 В або 4–20 мА). В залежності від споживання води, ПЛК регулює швидкість обертання двигуна для стабілізації тиску.

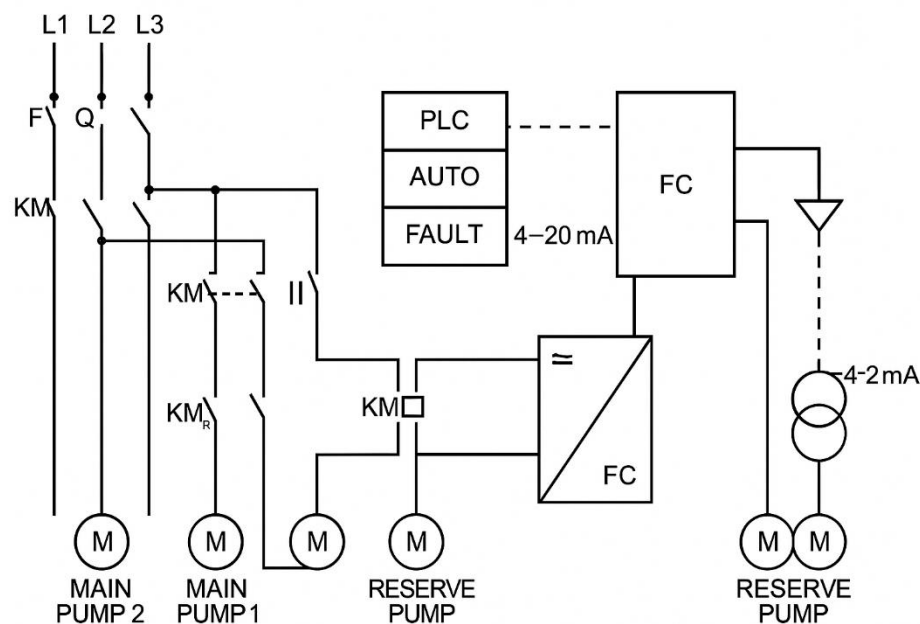


Рис. 3.7 – Монтажна схема системи управління насосами

Каскадне підключення. У разі зростання навантаження (висока витрата води), коли частота роботи основного насоса досягає критичного рівня (понад 90%), ПЛК вмикає другий основний насос через контактор. Це забезпечує покриття пікових навантажень без перевантаження обладнання.

Аварійне резервування. У випадку виходу з ладу одного з основних насосів або ЧП (сигнал FAULT), ПЛК автоматично перемикає керування на резервний насос. Робота резервного насоса також регулюється частотником у межах стандартного алгоритму.

Схема реалізує такі види захисту:

- Захист двигунів від перевантаження і короткого замикання (автомати Q, F).
- Аварійна зупинка при втраті тиску або перегріві.
- Заборона повторного пуску без скидання аварії.
- Індикація режиму роботи та несправностей на НМІ або панелі керування.

Проектування і реалізація електричної частини базується на відповідних нормативних актах.

Таблиця 3.6 - Відповідність нормативним документам

Нормативний документ	Рівень відповідності
ДСТУ EN 60204-1:2015	Загальні вимоги до безпеки машин і обладнання
ПУЕ (Правила улаштування електроустановок)	Глава 2.1, 2.5, 7.1 – керування електродвигунами
ДСТУ ІЕС 61131-3:2007	Мови програмування для ПЛК
ДСТУ ІЕС 61800-2:2004	Перетворювачі частоти для керування двигунами
ДБН В.2.5-64:2012	Внутрішнє водопостачання і каналізація

Використання частотного перетворювача дозволяє зменшити середнє споживання електроенергії на 25–40% у порівнянні з традиційними схемами прямого пуску. Крім того, плавний запуск та регулювання навантаження знижує знос насосного обладнання, підвищуючи його ресурс.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Техніка безпеки та вимоги електробезпеки

Під час експлуатації електричних установок повинні виконуватися вимоги техніки безпеки, а саме:

1. Пристрій і експлуатація електроустановок повинні відповідати діючим правилам технічної експлуатації і правилам техніки безпеки при експлуатації електричних установок промислових підприємств та навчальних закладів.

2. Всі доступні до дотику струмоведучі частини електрообладнання повинні бути надійно огороженні.

3. Пускова (рубильники, вимикачі, магнітні пускачі, реостати і т.д.) і захисна (запобіжники, автомати і т.д.) апаратура повинна бути закритого типу, щоб виключити можливість дотику до струмоведучих частин.

4. Металеві частини електрообладнання, які не знаходяться під напругою, але можуть знаходитися під напругою внаслідок несправності повинні бути надійно заземленні.

5. Електричні дроти повинні бути захищенні від механічних пошкоджень, від доторкання із стальними канатами, гарячими поверхнями, та кислотами згубно діючими на ізоляцію.

6. Забороняється наступати на кабелі, електричні дроти, а також допускати щоб їх переїздили транспортними засобами.

7. Не спостерігати неозброєним оком на електричну дугу, так як це може призвести до захворювання очей, біль в очах може проявитися через кілька годин.

8. При порушенні або несправності заземлення електричної установки повинні терміново прийняті міри по їх усуненню.

9. Заміна термоплавких вставок у запобіжниках, щитках повинна проводитися при вимкненому рубильнику. При цьому монтажник повинен обов'язково надівати гумові рукавички, головний убір і захисні окуляри.

10. Електрифікований інструмент при роботі під напругою вище 36 В, повинен бути заземлений.

11. Електропроводка і арматура силової освітлювальної мережі повинні бути надійно ізольовані і захищенні від впливу високої температури, механічних пошкоджень і хімічного впливу.

12. При роботі коло відкритих струмоведучих частин необхідно встановлювати щити і решітки, покриті гумовими коврами.

13. Роботи по ремонту обладнання і механізмів повинні проводитися тільки після повного відключення від мережі електропостачання, при цьому у місцях відключення обов'язково вивішують попереджувальні плакати.

14. Забороняється тримати легкозаймисті речовини коло працюючих електричних машин, апаратів, приладів і провідників.

4.2 Електробезпека в приміщенні насосної станції

Для надійної електробезпеки приміщенні насосної станції необхідно розрахувати заземлення. Для розрахунку заземлення задаються слідуючи ми умовами. Грунт на місці насосної станції земля садова, кліматична зона №3. Додатково в якості заземлення використовувати природне заземлення фундаменту, з опором розтікання 9 Ом, уматеріал заземлювачів кутник №36 довжиною 20 м. Верхні кінці вертикальних кутників вкопані на глину 0,7 м і приварені до горизонтального електрода з такої ж сталі. Приймаємо необхідне по ПУЕ (правила установки електрообладнання) допустимий опір заземлюючого пристрою $R_{зм} = 0,4$ Ом. Рекомендуючий для розрахунків опір землі у місці споруди заземлення, для землі садової $\rho = 50$ Ом·м [8]. Підвищуючий коефіцієнт для кліматичної зони №3 приймаємо $K_r = 2,2$ [8], для горизонтальних електродів при глибині залягання 0,8 м, і $K_v = 1,5$ для вертикальних електродів довжиною від 2 до 3 м при глибині залягання верхівок 0,5...0,8 м.

Розрахунковий питомий опір ґрунту:

– для горизонтального

$$\rho_{роз.г} = K_r \cdot \rho. \quad (4.1)$$

$$\rho_{роз.г} = 2,2 \cdot 50 = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

– для вертикального

$$\rho_{роз.в} = K_v \cdot \rho. \quad (4.2)$$

$$\rho_{роз.в} = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо опір розтікання одного вертикального електроду кутник №36, довжиною 2,5 м, глибиною занурення 0,7 м нижче рівня землі відповідно літератури [8]

$$R_{о.в.е.} = \frac{\rho_{роз.в}}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t+L}{4t-L} \right), \quad (4.3)$$

де $d=0,95 \cdot b$, b - ширина кутника $b = 3,6$ мм

$$t = \frac{1}{2} L + 0,7, L - \text{довжини кутники}, L = 2,5 \text{ м}.$$

$$d = 0,95 \cdot 0,036 = 0,0342 \text{ м}$$

$$t = \frac{1}{2} \cdot 2,5 + 0,7 = 1,95 \text{ м}$$

$$R_{о.в.е.} = \frac{75}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,0342} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 25,35 \text{ Ом}.$$

Визначаємо приблизне число вертикальних заземлювачів при попередньо прийнятому коефіцієнті $K_{н.в} = 0,58$ [8].

$$n = \frac{R_{о.в.е.}}{K_{н.в} \cdot R_n},$$

де R_n опір природного заземлювача, $R_n = 4$ Ом.

$$n = \frac{25,35}{0,58 \cdot 4} = 10,9 \text{ шт}$$

Визначаємо коефіцієнт розтікання горизонтального електроду (кутник №36) приварених до верхівок кінців вертикальних електродів.

При коефіцієнті використання горизонтального електроду $K_{в.з.с.} = 0,74$ [8]

$$R_{r.e} = \frac{\rho_r}{K_{\text{в.з.с.}} \cdot 2\pi L} \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t}. \quad (4.4)$$

$$R_{r.e} = \frac{110}{0,74 \cdot 23,14 \cdot 20} \ln \frac{2 \cdot 20^2}{0,036 \cdot 0,7} = 12,26 \text{ Ом}.$$

Уточнюємо необхідний опір вертикальних електродів з врахуванням провідності горизонтальних з'єднувальних електродів.

$$R_{\text{в.е}} = \frac{R_{\text{о.з.е}} \cdot R_{\text{н}}}{R_{\text{о.з.е}} - R_{\text{н}}}. \quad (4.5)$$

$$R_{\text{в.е}} = \frac{12,26 \cdot 4}{12,26 - 4} = 5,94 \text{ Ом}$$

4.3 Розробка заходів безпеки у надзвичайних ситуаціях

Головною функцією адміністрації підприємства у разі виникнення надзвичайної ситуації є захист населення та організації його життєзабезпечення. Заходи щодо захисту цивільного населення плануються проводяться по населених пунктах де розміщені господарства і охоплюють населення навколишніх сіл. Водночас характер та зміст захисних засобів встановлюються від ступеня загрози, місцевих умов з урахуванням важливості виробництва для безпеки населення і інших економічних і соціальних чинників. Основні заходи щодо захисту населення плануються та здійснюються завчасно і мають випереджувальний характер, це стосується насамперед підготовки, підтримання у постійній готовності індивідуальних та колективних засобів захисту, їх накопичення, а також підготовки до проведення евакуації населення із зон підвищеного ризику. Керівництво підприємства є безпосередніми виконавцями цих заходів, у нашому господарстві проводиться навчання робітників та службовців способам захисту та діям в умовах надзвичайних ситуацій.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

5.1. Мета проєкту

Метою даного проєкту є модернізація системи водопостачання багатоквартирного житлового комплексу з метою:

- забезпечення стабільного водопостачання незалежно від навантаження;
- підвищення енергоефективності роботи насосного обладнання;
- впровадження автоматизованої системи управління з частотним регулюванням;
- зниження експлуатаційних витрат та аварійності.

5.2. Вихідні умови

Кількість квартир у будинку: 108

Кількість поверхів: 9

Стара система не має регулювання тиску, працює на 100% потужності

Часті скарги на стрибки тиску та гідроудари

Річне електроспоживання насосної групи: $\approx 27\,000$ кВт·год

Таблиця 5.1 - Очікувані переваги модернізації

Показник	До модернізації	Після модернізації
Тип керування	Пуск/зупинка	Частотне регулювання (інтелектуальне)
Рівень енергоспоживання	100%	Зниження на 30–40%
Надійність	Середня	Висока (резервування, моніторинг)
Плавність запуску	Відсутня	Є (без гідроударів)
Інтеграція в диспетчеризацію	Немає	Передбачена через PLC + HMI
Термін служби насосів	6–8 років	10–12 років
Кількість аварійних зупинок/рік	10–15	2–4

Таблиця 5.2 - Вартість обладнання та робіт

Найменування	Кількість	Орієнтовна вартість, грн
Насоси (3×7,5 кВт)	3	180 000
Частотний перетворювач Siemens G120	1	45 000
PLC Siemens S7-1200 + модулі	1	18 000
Панель оператора (HMI)	1	12 000
Датчик тиску 4–20 мА	1	4 000
Контактори, автоматика, шафа керування	1 комплект	20 000
Монтажні роботи, налаштування	—	30 000
Разом (орієнтовно)	—	309 000

5.3 Розрахунок окупності

Економія електроенергії:

- До модернізації: $27\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 4,80 \text{ грн} \approx 129\,600 \text{ грн/рік}$
- Після модернізації (–35%): $17\,550 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 4,80 \text{ грн} \approx 84\,240 \text{ грн/рік}$
- Економія: $\approx 45\,360 \text{ грн/рік}$

Зменшення витрат на обслуговування:

- До модернізації: $\approx 25\,000 \text{ грн/рік}$;
- Після модернізації: $\approx 10\,000 \text{ грн/рік}$;
- Економія: $\approx 15\,000 \text{ грн/рік}$;

Загальна річна економія: $\approx 60\,000 \text{ грн}$;

Термін окупності:

$$309\,000 \text{ грн} \div 60\,000 \text{ грн/рік} \approx 5,15 \text{ років}$$

5.4 Соціально-технічні переваги

Зниження аварій та незапланованих зупинок, покращення якості послуг для мешканців (стабільний тиск), раціональне використання енергоресурсів, можливість масштабування для інших будинків ЖК, інтеграція в систему диспетчеризації або «розумного будинку».

ВИСНОВОК

Розроблена електрична схема відповідає вимогам надійності, енергоефективності та автоматизації. Вона забезпечує адаптивне керування насосною станцією, можливість диспетчеризації та резервування при несправностях, що є критично важливим для сталого функціонування системи водопостачання в сучасному житловому комплексі. Проєкт модернізації насосної станції із застосуванням частотного регулювання та автоматизованої системи керування є технічно доцільним, економічно виправданим і енергозберігаючим рішенням. Його впровадження дозволяє не лише знизити витрати, а й підвищити надійність системи водопостачання, відповідно до сучасних вимог експлуатації та комфорту в житловому фонді.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Гідравліка: Навчально – методичний комплекс. Навчально – методичний посібник В.І. Дуганець, І.М. Бендера, В.А. Дідур та ін. За ред. В.І. Дуганець, І.М. Бендера, В.А. Дідур. Кам'янець – Подільський: ФОП Сисин О.В., 2013. 572 с.
2. Гідравліка. Загальний курс: Підручник Б.Ф. Левицький, Н.П. Лещій. Львів: Світ, 1994. 264 с.
3. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: навчальний посібник Ю.А. Буренніков, І.А. Немировський, Л.Г. Козлов. Вінниця: ВНТУ, 2013. 273с.
4. Дідур В.А., Журавель Д.П., Палішкін М.А. та ін. Гідравліка. Підручник. Стереотипне видання, Одеса: Олді+, 2020. 624 с.
5. Холоменюк М.В., Ткачук А.В., Онопрієнко Д.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Навчальний посібник. Стереотипне видання, Одеса: Олді+, 2019. 356 с.
6. Проектування і розрахунок опалення житлових будинків. Методичні поради С.В.Синій. Луцьк: ЛДТУ, 1999.- 52 с.
7. Ремез Н.С., Кисельов В.Б., Дичко А.О., Мінаєва Ю.Ю. Чисельні методи розв'язання технічних задач. Підручник. Одеса: Олді+, 2022. 186 с
8. Рогалевич Ю.П. Гідравліка. Київ: Вища школа, 2003. 238 с.
9. Стандарт підприємства (СТП) 049373.01-07 Дипломні і курсові проекти (роботи). Загальні вимоги до оформлення. Дубляни, ЛНАУ, 2007.38 с.
10. Холоменюк М.В., Ткачук А.В., Онопрієнко Д.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Навчальний посібник. Стереотипне видання, Одеса: Олді+, 2019. 356 с.
11. Шолудько В.П., Боярчук В.М., Шолудько Я.В., Михалюк М.А. Теплотехніка та використання теплоти. Львів «Сполом», 2007, 190с
12. Шмат К.І., Солодовніченко В.М., Папченко О.І. Автоматизовані системи сільськогосподарської техніки. Навчальний посібник. Стереотипне видання, Одеса: Олді+, 2019. 196 с.
13. Бібліотечно–інформаційні ресурси –[книжковий фонд](#), періодика та фонди на [електронних носіях](#) бібліотеки ЛНУП, державних органів науково-технічної інформації, наукових, науково–технічних бібліотек та інших наукових бібліотек України.
14. Електронні інформаційні ресурси мережі інтернет з переліком сайтів:
15. –<http://lnup.lviv.ua/lnup> ; <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>; <http://www.twirpx.com>; <http://hotline.ua> moodle.lnau.edu.ua

