

Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**«Дослідження та модернізація електроприводу насосної станції
водозабору с. Абазівка»**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ
спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Мелешко А. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 року

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра, циклова комісія автоматики, електроніки та телекомунікацій

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)


Спеціальність 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри

автоматики, електроніки та телекомунікацій

 О.В. Шефер

“06” вересня 2023 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мелешко Анатолію Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема проекту (роботи)** Дослідження та модернізація електроприводу насосної станції водозабору с. Абазівка

керівник проекту (роботи) Галай Василь Миколайович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від № 986-фа від 04.09.2023.

2. **Строк подання студентом проекту (роботи)** 13.12.23

3. **Вихідні дані до проекту (роботи)** мережа живлення 0,4 кВ; забезпечити енергоефективне керування насосом; САК реалізувати на сучасному ПЛК; передбачити автоматичне керування засувками; матеріали переддипломної практики.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)** Опис технологічного процесу, характеристики автоматизованих систем водопостачання; опис технологічного обладнання; розрахунок і вибір елементів силової частини електроприводу; розроблення системи автоматичного управління насосними агрегатами.

5. **Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)** Схема функціональна основних вузлів системи автоматизації; схема функціональна підключення ПЧ; схема електрична принципова шафи

управління засувками; структурна та алгоритмічна схеми САК; перехідні процеси САК насосними агрегатами.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.09.23

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Опис технологічного процесу, характеристики автоматизованих систем водопостачання; опис технологічного обладнання; Схема функціональна основних вузлів системи автоматизації; схема функціональна підключення ПЧ;	18.10.23	30%
2	Розрахунок і вибір елементів силової частини електроприводу; Схема електрична принципова шафи управління засувками;	21.11.23	60%
3	Розроблення системи автоматичного управління насосними агрегатами; Структурна та алгоритмічна схеми САК; Перехідні процеси САК насосними агрегатами. Висновки. Оформлення магістерської роботи.	13.12.23	100%

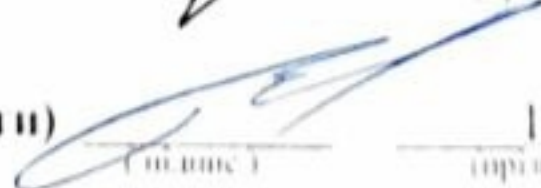
Студент



Меленко А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)



Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	8
1.1 Класифікація водопостачання населених пунктів	8
1.2 Режим роботи насосної станції другого підйому.....	8
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ	12
2.1. Класифікація насосів	12
2.2 Кілька насосних агрегатів	13
2.3 Найкраща точка ефективності	14
2.4 Паралельне перекачування	17
2.5 Послідовна насосна установка.....	20
2.6 Базова паралельна та послідовна установка насосів	22
2.7 Звичайна паралельна послідовна змінна швидкості	24
2.8 Каскадне керування насосами з перетворювачем частоти.....	28
РОЗДІЛ 3. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	32
3.1 Архітектура системи автоматичного керування	32
3.2 Технічні засоби нижнього рівня	33
3.2.1 Вибір засобу вимірювання тиску.....	33
3.2.2 Вибір реле тиску.....	34
3.2.3 Вибір електроприводів засувки, вентилів та клапанів	36
3.3 Технічні засоби середнього рівня автоматизації.....	39
3.3.1 Засіб керування та збору даних	39
3.3.2 Вибір контролера	41
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	44
4.1 Розрахунок та вибір насосних агрегатів	44
4.2 Вибір частотного перетворювача.....	47
4.3 Вибір силового вимикача	51
4.4 Автоматизація.....	52
4.4.1 Енергозбереження в насосних установках	52

4.4.2 Частотне регулювання.....	55
4.4.3 Принцип роботи шафи управління	58
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМИ АГРЕГАТАМИ	60
5.1. Розроблення структурної схеми САУ	60
5.2 Дослідження САУ насосної установки.....	71
ВИСНОВОК	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
ДОДАТКИ.....	79

ВСТУП

Технологічні комплекси комунального господарства та промисловості, які забезпечують життєдіяльність населення, розробляються з урахуванням сучасних засобів автоматизації. Насправді, потрібно вимірювати, контролювати основні технологічні параметри процесів, стежити за відхиленнями, станом устаткування. Добре мати можливість дистанційно (з диспетчерського пункту) вмикати та вимикати окремі агрегати, відкривати та закривати засувки; забезпечувати режими роботи обладнання шляхом підтримки найважливіших параметрів на заздалегідь прорахованих значеннях.

Здійснення цих та багатьох інших функцій систем автоматизації значно змінилося з активним розвитком мікропроцесорних пристроїв, персональних комп'ютерів та прикладного програмного забезпечення.

Розширення функцій мікропроцесорних пристроїв уможливило створення «інтелектуальних датчиків», які обчислюють значення непрямих параметрів на основі прямих вимірювань за заздалегідь заданими формулами, видають значення вимірюваних параметрів на панель оператора, перетворюють вимірюваний параметр у стандартний уніфікований сигнал каналів зв'язку. З'явилися нові засоби вимірювальної техніки, такі як ультразвукові, електромагнітні витратоміри, радарні та ультразвукові рівнеміри тощо.

Основним етапом у розвитку систем автоматизації стала поява програмованих логічних контролерів. З урахуванням можливостей програмування сучасних ПЛК стало можливим створення складних багатоконтурних систем управління.

З появою нового обладнання виникли і проблеми з його освоєнням. Необхідно було зуміти «запрограмувати» ПЛК відповідно до розроблених алгоритмів. Рішення було знайдено у розробці спеціальних методів програмування, зрозумілих широкому загалу фахівців з автоматизації.

При всьому різноманітті нових технічних засобів автоматизації оператор насосної станції особливо тісно взаємодіє із сучасними панелями управління, на моніторах яких відображаються мнемосхеми технологічних процесів із зазначенням найважливіших технологічних параметрів та супроводом системами сигналізації, захисту та блокування. Створюють такі екранні форми з допомогою спеціальних програмних пакетів операторського інтерфейсу. Кожен такий пакет складається з двох частин: середовища розробки, за допомогою якого фахівці з автоматизації створюють систему управління, та середовища виконання, в якому працює оператор. Оператор має можливість втручатися у хід технологічного процесу у межах своєї відповідальності, відповідно до чинних регламентів та інструкцій.

В даній кваліфікаційній роботі проведено модернізацію силового обладнання та автоматизацію системи управління насосною станцією другого підйому.

Передбачено використання прогресивного сучасного електроустаткування і матеріалів, які мають високі показники енергоефективності.

Заощадження електроенергії здійснюється завдяки впровадженню енергозберігаючих технологій, а також використанням малоенергоємного устаткування і матеріалів, а саме:

- встановлення сучасних апаратів захисту й керування, які споживають мінімум електроенергії;
- вибір перерізу кабелів з урахуванням мінімальних втрат електроенергії при її передачі;
- застосування сучасних економічних, малоенергоємних світильників та обігрівальних приладів.

РОЗДІЛ 1. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Класифікація водопостачання населених пунктів

Схема водопостачання міста складається з таких основних елементів:

- водоприймальних споруд;
- водопідйомних споруд, насосних станцій, що подають воду до очисних споруд (насосна станція I підйому) або споживачам (насосна станція II підйому);
- очисних споруд;
- водонапірних веж та резервуарів;
- водоводів та мережі трубопроводів для транспортування води від споруди до споруди або до споживачів.

На практиці, всі природні джерела води, що використовуються для водопостачання, можуть бути віднесені до трьох основних груп:

- Поверхневі джерела;
- Підземні джерела;
- Штучні джерела.

1.2 Режим роботи насосної станції другого підйому

Залежно від планування об'єкта, що забезпечується водою, і взаємного розташування насосної станції і напірних акумуляторів розрізняють такі системи:

- без веж;
- з вежею на початку мережі;
- із резервуаром.

Обсяг та режим водоспоживання змінюються безперервно залежно від випадкових подій та характеризуються значною нерівномірністю.

Насоси II підйому подають воду безпосередньо в мережу споживача і тому режим роботи насосної станції II підйому визначають в залежності від режиму водоспоживання об'єкта. Для насосної станції II підйому повинні бути здійснені розрахунки режиму роботи на наступні випадки:

- робота в години найбільшого та найменшого водоспоживання за добу максимальної витрати води;
- робота системи під час гасіння пожежі в години найбільшого водоспоживання; робота насосної станції у разі аварій.

Для системи з контррезервуаром крім зазначених розрахунків необхідно проводити розрахунок у разі найбільшого транзиту води в контррезервуар.

В системі без башти вода подається насосною станцією безпосередньо в мережу, тому насоси підбираються з розрахунку максимального водоспоживання за добу. Для цього будується суміщений графік роботи насосної станції і мережі, та аналізується забезпеченість подачі у різні години доби. Також системі потрібне встановлення більшої кількості насосів, але відпадає необхідність у будівництві напірного акумулятора.

У системі водопостачання з напірним акумулятором максимальну подачу насосної станції приймають менше максимальної годинної витрати і наближають графік режиму роботи насосної станції II підйому до графіка водоспоживання, але це не означає, що графіки повинні точно збігатися. Водоспоживання в системах водопостачання дуже нерівномірне, тому, якщо приймемо режим подачі води насосами, що точно відповідають режиму водоспоживання, потрібно дуже часто вмикати і вимикати насосні агрегати, що надзвичайно ускладнить експлуатацію насосних станцій.

При подачі води насосами II підйому, великого водоспоживання, надлишок води надходить в ємність, що акумулює. У години, коли водоспоживання перевищує подачу, надлишок води надходить у мережу з акумулюючої ємності. Отже, чим більша різниця між подачею і споживанням води, тим більше має бути ємність, що акумулює.

При визначенні подачі насосної станції II підйому необхідно знайти оптимальний варіант режиму її роботи - мінімальну місткість ємності, що акумулює, і найменшу частоту включення насосних агрегатів. Роботу насосної станції приймають дво- або триступінчастою (ступінчастою називається робота різного числа насосів у різні години доби).

Рівномірна робота насосів рекомендується для систем водопостачання з подачею не більше 15 тис. м³/добу, тому що при більшій подачі потрібні великі акумулюючі ємності. При ступінчастій роботі насосної станції обсяг ємності, що акумулює, приймають 2,5 - 6%, при рівномірній 8 - 15% добової подачі станції. З чого випливає, що режим роботи насосної станції II підйому значною мірою залежить від місткості прийнятої ємності, що акумулює. При виборі об'єму напірних акумуляторів рекомендується приймати типові проекти водонапірних башт.

Загальна кількість води, що надходить у бак водонапірної башти за добу при режимі роботи насосної станції за II варіантом, дорівнює 4,2% максимального добового; при режимі роботи за III варіантом надходження води в вежу зменшується до 3,55%, що дозволяє скоротити експлуатаційні витрати, так як напори при подачі води до мережі менше, ніж при подачі води в бак водонапірної вежі. Встановлено, що при подачі води до напірного акумулятора напори в мережі зростають, а між напором і втратами води існує прямий зв'язок. При зниженні напору на введенні в будинок на 10 м добова витрата води зменшується на 5-10%.

Остаточний вибір режиму роботи насосної станції встановлюється виходячи з техніко-економічного розрахунку конкуруючих варіантів з урахуванням місцевих умов.

Аналіз режимів роботи насосних станцій показує, що при ступінчастій роботі можливе значне зменшення місткості бака, водонапірної башти та деяке зниження необхідної повної висоти підйому води насосами за рахунок меншої висоти бака. Як видно з наведеного прикладу, при ступінчастій роботі насосів місткість бака водонапірної вежі може бути значно (майже в 3

рази) менше, ніж при рівномірній роботі, зате збільшується площа насосної станції внаслідок установки більшої кількості насосів (хоча і меншої потужності) і місткість підземних резервуарів, оскільки станція I підйому зазвичай працює рівномірно.

На практиці збільшується і діаметр водоводів, тому що при ступінчастій роботі вони повинні бути розраховані на прохід більшої кількості води, ніж при рівномірній. Досвід проектування та експлуатації систем водопостачання показує, що для малих водопроводів зазвичай вигідна рівномірна робота насосів, для великих – ступінчаста, а для середніх водопроводів, чим більша довжина водоводів, тим вигідніша рівномірна робота.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1. Класифікація насосів

Насоси використовуються для перекачування та розподілу рідин у різних галузях промисловості. Насоси перетворюють механічну енергію на гідравлічну. Електрична енергія зазвичай використовується для приведення в дію різних типів насосів.

Насоси мають два основних призначення:

- перекачування рідини з одного місця в інше (наприклад, вода з підземного сховища у резервуар для зберігання води);
- циркулює рідину по системі, наприклад, охолоджувальну або мастило [1].

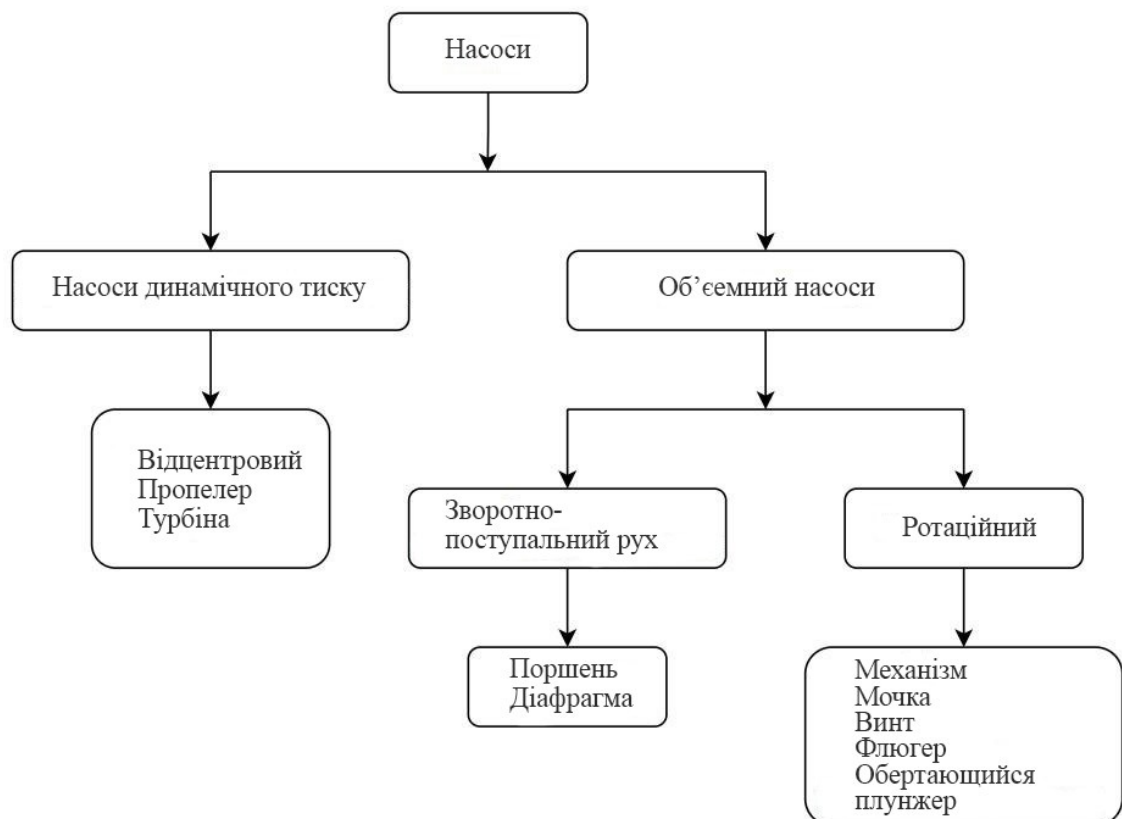


Рис. 1 – Класифікація насосів

2.2 Кілька насосних агрегатів

Альтернативою використанню одного насоса для задоволення вимог системи є комбіноване використання кількох насосів меншого розміру (паралельна робота).

Відмінності у вимогах до системи не дозволяють одному насосу стабільно працювати поблизу точки його найкращого (НТЕ). Експлуатація насоса далеко від його НТЕ може призвести до збільшення витрат на експлуатацію та технічне обслуговування. У деяких системах, особливо з високими вимогами до статичного напору, увімкнення або вимкнення кількох насосів відповідно до змін попиту дозволяє кожному насосу працювати більш ефективно, підвищуючи загальну ефективність системи. Однак ця перевага в ефективності залежить від кривих насоса, кривої системи та зміни попиту, що задовольняється.

Деякі з переваг кількох насосних агрегатів полягають у гнучкості, резервуванні та здатності ефективно задовольняти потреби, що змінюються, в потоці в системах з компонентами з високим статичним напором. У системах з компонентами з високим коефіцієнтом тертя альтернативи, такі як двигуни з регульованою частотою обертання, зазвичай є більш ефективними рішеннями для задоволення змінних вимог.

Декілька насосів зазвичай є паралельними комбінаціями однієї і тієї ж моделі насоса. Увімкнення додаткового насоса в лінію збільшує потік у систему та зміщує робочу точку вправо вздовж кривої системи на рисунку 2.

Паралельні насоси зазвичай ідентичні, щоб забезпечити збалансований розподіл навантаження, коли всі насоси працюють одночасно. Використання насосів різного розміру може призвести до того, що найбільший насос домінуватиме в системі, змушуючи інші насоси працювати нижче їх мінімальної витрати. Якщо насоси різного розміру повинні бути налаштовані паралельно, слід ретельно проаналізувати їх робочі

характеристики, щоб переконатися, що жоден насос не працює нижче за потрібну мінімальну витрату [2].

2.3 Найкраща точка ефективності

Конструктивні характеристики як продуктивності, так терміну служби оптимізовані навколо потужності, позначеної як точка найкращої ефективності (НТЕ).

Кожен відцентровий насос має НТЕ — точку, в якій його робоча ефективність найвища, а радіальні навантаження на підшипники найнижчі. НТЕ насоса залежить від його конфігурації на вході, конструкції робочого колеса, конструкції корпусу та швидкості насоса. При НТЕ гідравлічна ефективність максимальна, і рідина надходить у лопаті робочого колеса, дифузор корпусу (випускне сопло) або лопатевий дифузор без ударним способом. Потік через робоче колесо та лопаті дифузора (якщо насос оснащений таким чином) є рівномірним, без поділу та добре контрольованим. Потік залишається добре контрольованим у діапазоні потужностей, позначених як краща робоча область (ПРО). У межах цієї області термін служби насоса не суттєво залежатиме від гідравлічних навантажень, вібрації або поділу потоку. Допустима робоча область (ДРО) визначає точні межі мінімальної та максимальної витрати в насосі.

Більшість відцентрових насосів оснащені роликowymi або кульковими підшипниками. Оскільки термін служби підшипників цих типів є зворотною функцією куба навантаження, вибір насоса з НТЕ, близьким до нормального робочого діапазону системи, значно збільшує інтервал між замінами підшипників.

Перевага у використанні комбінацій насосів меншого розміру, а чи не одного великого. Ці переваги включають гнучкість в експлуатації,

резервування у разі відмови насоса, нижчі вимоги до технічного обслуговування та більш високу ефективність.

Гнучкість експлуатації насосів показано на рисунку 2, паралельне використання кількох насосів розширює діапазон витрати, який може подаватися в систему. (Зверніть увагу, що Рис. 2 є ілюстративним і не представляє фактичні криві накачування.) Крім того, увімкнення та відключення насосів дозволяє наблизити робочу точку кожного з них до його НТЕ (для систем із плоскими кривими). Однак операторам слід бути обережними під час експлуатації паралельних насосів, щоб забезпечити дотримання мінімальної вимоги до витрат для кожного насоса [2].

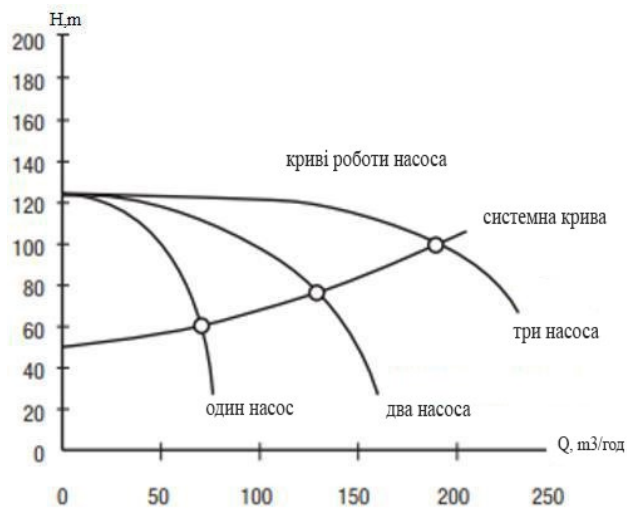


Рис. 2 – Багаторазова робота насосу

Надмірність при використанні кількох насосів один насос може бути відремонтований, тоді як інші продовжують обслуговувати систему. Таким чином, відмова одного блоку не призводить до відключення всієї системи.

Декілька конфігурацій насосів дозволяють кожному насосу працювати близько до його НТЕ (для систем з плоскими кривими), що знижує зношування підшипників і дозволяє насосам працювати плавніше. Інші переваги включають меншу залежність від варіантів регулювання потоку, що розсіюють енергію, таких як байпасні лінії та дросельні заслінки.

Використання одного великого насоса в умовах низької витрати призводить до дроселювання або обходу надлишкового потоку. Дроселювання потоку зношує дросельні заслінки і призводить до втрат енергії. Аналогічно, обхід потоку вкрай неефективний, оскільки вся енергія, що використовується для проштовхування надлишкового потоку через байпасні лінії, витрачається марно. Приводи з регульованою швидкістю можуть бути ефективним рішенням.

Ефективність кількох насосів є вищою, оскільки кожен насос може працювати близько до свого НТЕ (для систем з плоскими кривими). Увімкнення або відключення насосів у міру необхідності відповідно до змін вимог системи дозволяє кожному насосу працювати на меншій ділянці своєї кривої продуктивності - в ідеалі, навколо НТЕ. Один насос мав би працювати у більшому діапазоні і, отже, час від часу віддалятися від свого НТЕ.

При заданому натиску та витраті високошвидкісні насоси зазвичай більш ефективні, ніж низькошвидкісні насоси. Винятком є насоси з питомими значеннями швидкості понад 3000 обертів; вони, як правило, менш ефективні на вищих швидкостях. Однак це не є характерним для більшості насосів. Оскільки для невеликих насосів потрібні менші двигуни, використання кількох високошвидкісних насосів може забезпечити перевагу в ефективності порівняно з одним низькошвидкісним насосом. Однак ця перевага в ефективності має бути зрівноважена тенденцією високошвидкісних машин вимагати більшого технічного обслуговування.

Багатошвидкісні насоси можуть використовуватися аналогічним чином, оскільки потужність рідини, що генерується, може бути підібрана відповідно до вимог системи. Перемикання насоса на більш високу або нижчу швидкість переміщує всю криву продуктивності відповідно догори чи донизу, як показано на рисунку 3. Зверніть увагу, що Рис. 3 є ілюстративним і не представляє фактичної кривої насоса. Хоча багатошвидкісні насоси, як

правило, працюють менш ефективно в будь-якій заданій робочій точці, ніж одношвидкісні насоси, їхня здатність працювати в широкому діапазоні умов є ключовою перевагою. Багатошвидкісні насоси також заощаджують місце; їх компактний робочий корпус дозволяє уникнути додаткових трубопроводів та клапанів, необхідних для паралельних насосів [2].

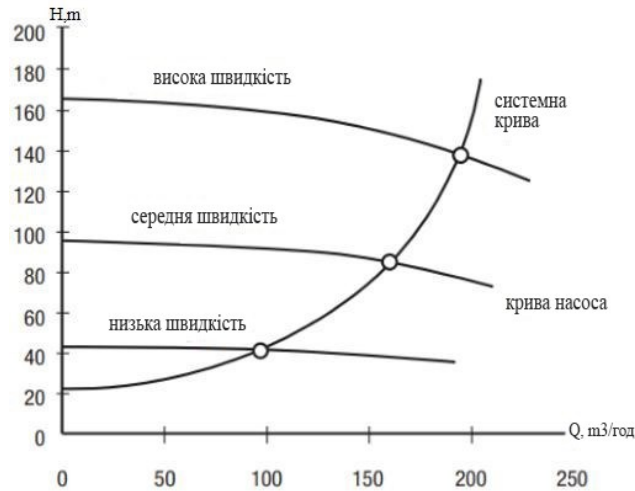


Рис. 3 – Криві продуктивності багатошвидкісного насоса.

2.4 Паралельне перекачування

Насоси описуються як працюючі паралельно, коли вони одержують рідину з одного і того ж всмоктувача і випускають в загальний випускний колектор. Для цілей цієї книги ми будемо припускати, що насоси розташовані близько один до одного, а колектор, що всмоктує, добре спроектований так, що відмінності в тиску всмоктування досить малі, щоб їх можна було ігнорувати. За наявності значних відмінностей у тиску всмоктування, наприклад, у зоні первинного та вторинного всмоктування або у «розподіленій» насосній системі, необхідно розробити спеціальні процедури проектування, що використовується для забезпечення задовільної роботи.

Іноді проектувальник вказує, що два насоси, один з яких здатний обробляти повну розрахункову витрату, мають бути встановлені паралельно.

Якщо один із насосів виходить з ладу, інший можна швидко запустити, щоб забезпечити повну витрату. Ця практика забезпечує повне резервування. Хоча такий рівень резервування іноді необхідний, у гідравлічних системах він не часто потрібний. Для цілей цієї книги паралельні насоси будуть обрані таким чином, щоб кожен з них міг забезпечити щось менше, ніж повний процес проектування, що призводить до нижчої початкової вартості порівняно з альтернативою повного резервування. Але це також означає, що для забезпечення повної витрати потрібно більше одного насоса. Типові профілі навантаження для систем кондиціонування повітря та сантехнічних насосів, складені для вибору насоса та аналізу перекачування, показують, що ці системи рідко працюють при повному розрахунковому навантаженні. Системи, спроектовані з кількома меншими насосами паралельно, можуть використовувати ручне або автоматичне встановлення насоса. Постановка означає зміну кількості працюючих насосів відповідно до вимог навантаження, що змінюються. Правильно виконана постановка може заощадити енергію та знизити експлуатаційні витрати за умови, що постановка насоса виконана з розумом. Паралельне перекачування може забезпечити дуже високий відсоток (від 70% до 90% у більшості випадків) повного потоку за низьких витрат у порівнянні з альтернативою повного резервування. У багатьох системах ОВКВ прийнято встановлювати три насоси паралельно, кожен із яких розрахований на половину повного потоку. Протягом більшої частини профілю навантаження один, а іноді й два насоси будуть працювати з третім насосом у режимі очікування. У малоймовірному випадку, якщо два насоси вийдуть з ладу одночасно, що залишився насос буде здатний витримувати від 70% до 90% розрахункового навантаження.

Насосні системи зі статичним натиском, такі як водяні системи конденсатора, системи підвищення тиску побутової води; або насосні системи зі змінною швидкістю, які повинні підтримувати постійний перепад

тиску для правильної роботи, є відмінними кандидатами для застосування у паралельному перекачуванні.

Великі насосні установки, що потребують насосів за спеціальним замовленням, двигуни та приводи є відмінними кандидатами для невеликих паралельних насосів. Насоси меншого розміру можуть мати нижчу початкову вартість, а також можуть коштувати дешевше в установці, експлуатації та обслуговуванні [3].

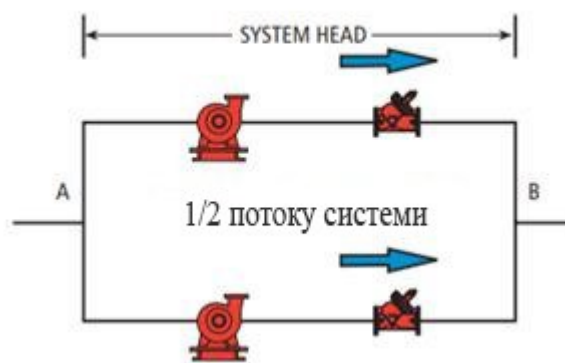


Рис. 4 – Базова паралельна насосна установка

Простий приклад двох паралельних насосів показано на рисунку 3. Важливі деталі, такі як дифузори, що всмоктують, і запірні клапани, не показані. Щоб проілюструвати концепцію паралельного перекачування, ми будемо використовувати два насоси, кожен з яких розрахований на половину повної витрати системи. Зверніть увагу, що для двох однакових насосів, що працюють паралельно, загальний потік системи ділиться в точці «А» у всмоктувальному колекторі на два паралельні шляхи через насоси та зворотні клапани. У точці «В» потоки з'єднуються і надходять у систему. Збільшення загального напору з «А» до «В», насоси, що забезпечуються, завжди дорівнюватимуть втраті напору в системі, виміряній від «В» до «А». Зворотні клапани на виході насоса необхідні для запобігання зворотному потоку через холостий насос, коли працює лише один насос. Зверніть увагу на зірочку в умовних позначках витрати насоса. Фактична витрата в кожній гілці буде

більше половини повної витрати, навіть якщо кожен насос буде вибраний для половинної витрати. Фактичне збільшення потоку більше 50% не може бути визначено доти, доки не буде завершено повний аналіз.

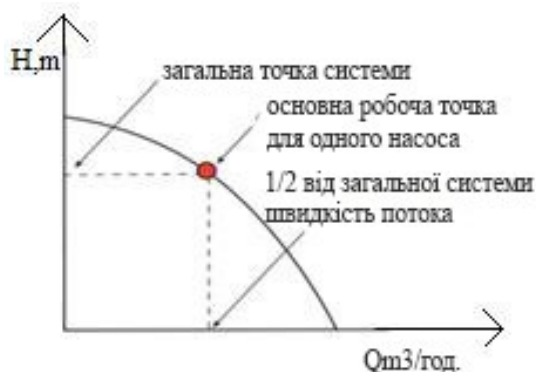


Рис. 5 – Базова робоча точка паралельного насоса.

2.5 Послідовна насосна установка

Послідовне перекачування забезпечує багато тих же переваг, що і паралельне перекачування. Послідовне перекачування може знизити витрати за рахунок використання комбінації насосів меншого розміру, а не одного насоса більшого розміру для виконання певної задачі перекачування. Це може знизити витрати на встановлення, а також експлуатаційні витрати. Послідовне перекачування з використанням двох або більше насосів меншого розміру для задоволення загальної потреби в перекачуванні також забезпечить високий рівень резервної продуктивності. Відсоток очікування зазвичай становить високий відсоток від загальних системних вимог. Великі насоси можуть мати дуже високі вимоги до NPSH.

Загальний спосіб прокладання трубопроводів насосів для послідовної роботи показаний на рисунку 6. Клапани дозволяють працювати або одному або обом насосам.

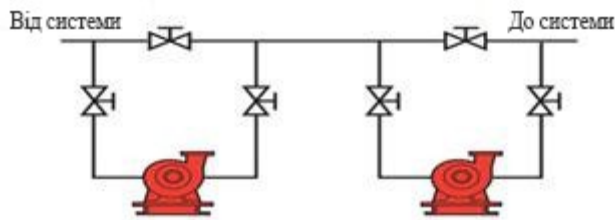


Рис. 6 – Послідовна насосна установка

Такий тип розташування трубопроводів дозволяє відключити будь-який з насосів для проведення планового технічного обслуговування без перерви на обслуговування системи. Треба зазначити, що при нормальній послідовній роботі загальний потік проходить через кожен насос.

Багато серійних насосних установок виготовляються з ідентичними насосами, хоча іноді вигідно використовувати різні насоси. У будь-якому випадку кожен насос має бути здатний обробляти повний потік, додають головки насосів. З рисунка.6 видно, кожен насос буде перекачувати весь потік системи. Відцентровий насос буде створювати перепад тиску широко відомий як головка насоса, що зазвичай вказується у футах від головки.

Оскільки серійні насоси, як правило, ідентичні та перекачують з однаковою швидкістю потоку, з цього повинно випливати, що кожен насос розвиватиме однаковий напір. Іншими словами, кожен насос забезпечує повну (розрахункову) витрату при половині необхідної (розрахункової) голови. Це показано рисунку 7.

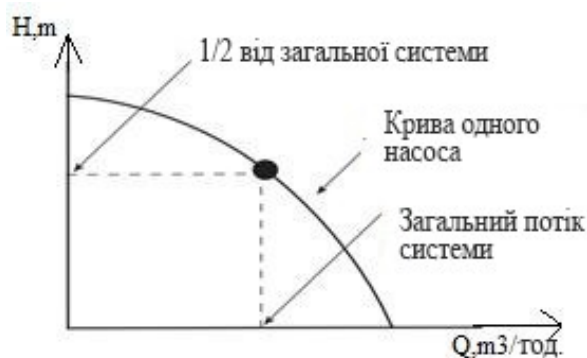


Рис. 7 – Базова робота послідовного насосу.

2.6 Базова паралельна та послідовна установка насосів

- Можливо, потрібно передбачити майбутнє розширення;
- Комбіновані системи опалення та охолодження вимагають високої швидкості потоку для охолодження та відносно низької швидкості потоку для нагрівання.

Системи, в яких використовуються двоходові регулюючі клапани, можна стабілізувати, змінюючи робочу точку насоса.

Широкий діапазон можливих робочих точок може бути отриманий під час використання насосів як послідовно, і паралельно. На рисунку 6 показано встановлення насосів як паралельно, і послідовно.

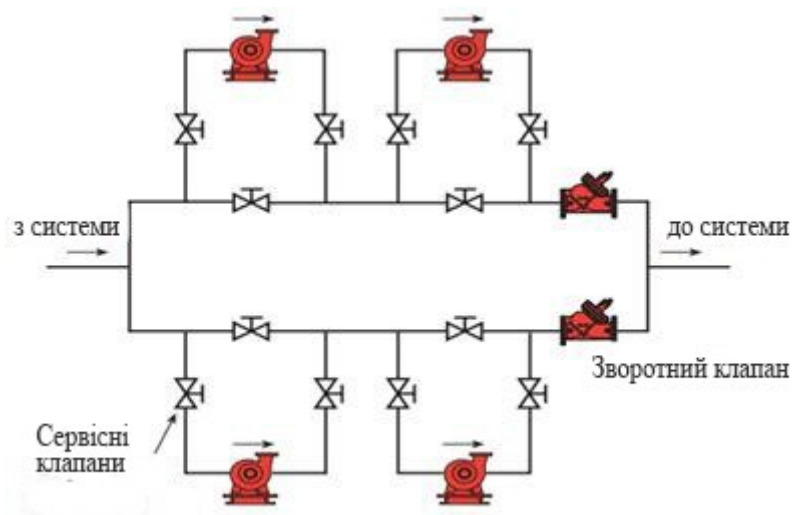


Рис. 8 – Базова паралельна та послідовна установка насосів.

На рисунку показано два паралельні блоки з двома послідовно встановленими насосами на кожен блок. Використовуйте ті самі процедури, що були описані раніше, для побудови можливих робочих кривих насоса, які можна отримати за допомогою цієї установки.

Встановіть криву послідовного насоса, використовуючи криву одиночного насоса як основу. Потім побудуйте паралельну криву насоса, використовуючи послідовну криву як основу. Максимальна індивідуальна

споживана потужність може бути швидко встановлена, оскільки це відбувається при послідовній роботі двох насосів.

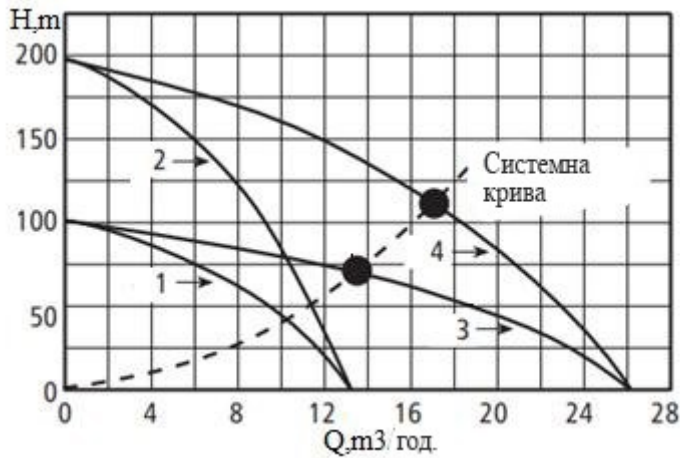


Рис. 9 – Комбіновані паралельні та послідовні криві насоси

1 – Одиначний насос; 2 – Два послідовні насоси; 3 – Два насоси паралельно; 4 – Дві паралельні групи з двох послідовно з'єднаних насосів

На рисунку 9 показано, що в цьому насосному пристрої доступні чотири різні робочі точки насоса. Ці швидкості потоку можуть бути одержані шляхом запуску одного насоса, двох насосів послідовно, двох насосів паралельно або всіх чотирьох насосів. Зверніть увагу, що будь-яка комбінація із трьох насосів призведе до тупикової роботи насоса.

Кількість насосів, які можуть бути розміщені в комбінаціях паралельних та послідовних, не обмежена. Ми рекомендуємо паралельне та послідовне перекачування як один із способів підвищення гнучкості насосної системи, хоча перекачування зі змінною швидкістю може забезпечити ще більшу гнучкість та більший потенціал для економії енергії. При сумісному використанні ці дизайнерські ідеї можуть забезпечити набагато більш високу продуктивність за нижчих початкових витрат і нижчих експлуатаційних витрат.

2.7 Звичайна паралельна послідовна змінна швидкості

Застосування для перекачування Побутові системи підвищення тиску води в сучасних висотних будівлях часто виграють від комбінованого послідовного та паралельного перекачування зі змінною швидкістю. Насосна система з підвищенням тиску повинна враховувати великі коливання витрати і тиску муніципальної води, що надходить, забезпечуючи при цьому постійний потік і тиск для сантехнічного обладнання будівлі

Як комерційні, так і житлові будинки мають великі коливання у споживанні води для побутових потреб протягом дня. Паралельні насоси можуть бути встановлені відповідно до різних навантажень потоку. У висотних будинках необхідно враховувати значну складову статичного тиску. Наприклад, 20-поверхова будівля із середньою висотою 12 футів на рівень матиме $(20 \times 12 = 240)$ 240 футів статичного натиску. Статична складова напору стала при всіх потоках. Тиск води, що подається з муніципальних джерел водопостачання до будинків у багатьох районах, може змінюватися залежно від часу доби та пори року. Зміна швидкості одного великого насоса непрактична при великому розході та великому статичному натиску. Скорочення швидкості насоса зменшує витрату насоса пропорційно зменшенню швидкості, але це також зменшує напір нагнітання насоса приблизно на квадрат зменшення швидкості. Це показано рисунку 10.

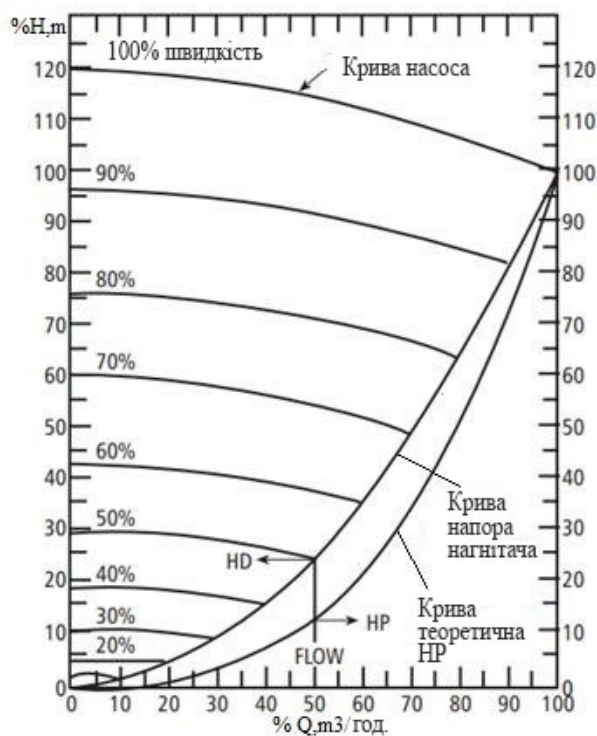


Рис. 10 – Теоретичний взаємозв'язок між швидкістю та витратою

На рисунку 10 показано різке зниження тиску нагнітання насоса залежно від зниження швидкості насоса. При швидкості 50% витрата зменшується приблизно до 50%, тоді як напір нагнітання насоса зменшується приблизно до 25%, квадрат зниження швидкості:

При постійному статичному натиску при всіх потоках один великий насос, що працює зі змінною швидкістю, матиме невеликий потенціал для економії енергії. Діапазон зміни швидкості обмежений зниження втрат на тертя в трубопроводах за менших витрат або коливань тиску подачі до міста. Декілька паралельних насосів, які відповідають вимогам до навантаження, забезпечують більший потенціал економії при роботі великими статичними напірними навантаженнями, які включають великі коливання витрати. Підсилювачі тиску повинні бути розраховані на найменший очікуваний тиск води, що надходить до будівлі. Будь-коли, коли тиск всмоктування насоса перевищує розрахункове, також є можливість додаткової економії енергії за рахунок зниження швидкості насоса.

Зазвичай найкраще підходять додатки з високим статичним натиском з послідовними відцентровими насосами [6].



Рис. 11 – Багатоступінчастий насос

Багатоступінчасті насоси можна розглядати як «кілька насосів, побудованих на заводі послідовно». Як показано на рисунку 11, кожен ступінь є крильчаткою, внутрішньо з'єднаною послідовно і приведеною в рух загальним валом. Кожен ступінь наближається до наявності додаткового насоса послідовно. Ці шаблі не можуть працювати окремо, як це можна було б зробити з окремими насосами послідовно. З позитивного боку при загальному валі всі робочі колеса обертаються в унісон з тією ж швидкістю, що і привід. Зазвичай привід двигуном з постійною швидкістю, але він легко може бути зі змінною швидкістю. Управління швидкістю електричного двигуна для насосних застосувань є звичайним явищем і добре документовані. Паралельне керування змінними багатоступінчастими насосами просто і має більший потенціал економії енергії, ніж спроба керувати комбінаціями окремих насосів паралельно та послідовно.

Відмінним вибором для висотних будівель була б система підвищення тиску побутової води, яка могла б паралельно регулювати та регулювати

швидкість багатоступінчастих насосів для економії енергії при будь-яких поєднаннях вимог до зниження витрати та тиску Рис. 12. Вибір насоса для підвищення тиску повинен бути адаптований до типу будівлі та режиму проживання.

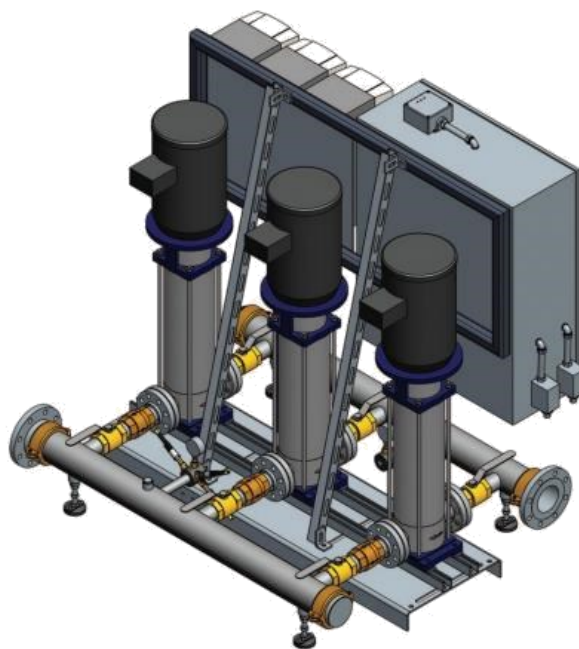


Рис. 12 – Паралельний багатоступінчастий насос системи водопостачання

Вибір для висотних житлових та офісних будівель – це багатоступінчасті насоси зі змінною швидкістю, що працюють паралельно, кожен насос вибирається для $1/2$ розрахункової витрати, а всі насоси вибираються для загального розрахункового напору. Інша популярна комбінація, особливо для нижчих початкових витрат при використанні насосів з постійною швидкістю, - це 2×3 , 2×3 та $1/3$ потоку «все із загальним розрахунковим напором». 1 Насос продуктивністю $1/3$ називається «жокейським насосом» і використовується в періоди низького попиту. 2 інші насоси встановлюються на вимогу. Зверніть увагу, що для обох поданих варіантів будь-яка комбінація з двох насосів може забезпечити повну

розрахункову витрату та напір у разі виходу з ладу будь-якого окремого насоса [6].

2.8 Каскадне керування насосами з перетворювачем частоти

Каскадне керування насосами призначене для точного регулювання витрати води або підтримання заданого тиску на насосній станції. Це найбільш просто реалізується за допомогою частотних перетворювачів.

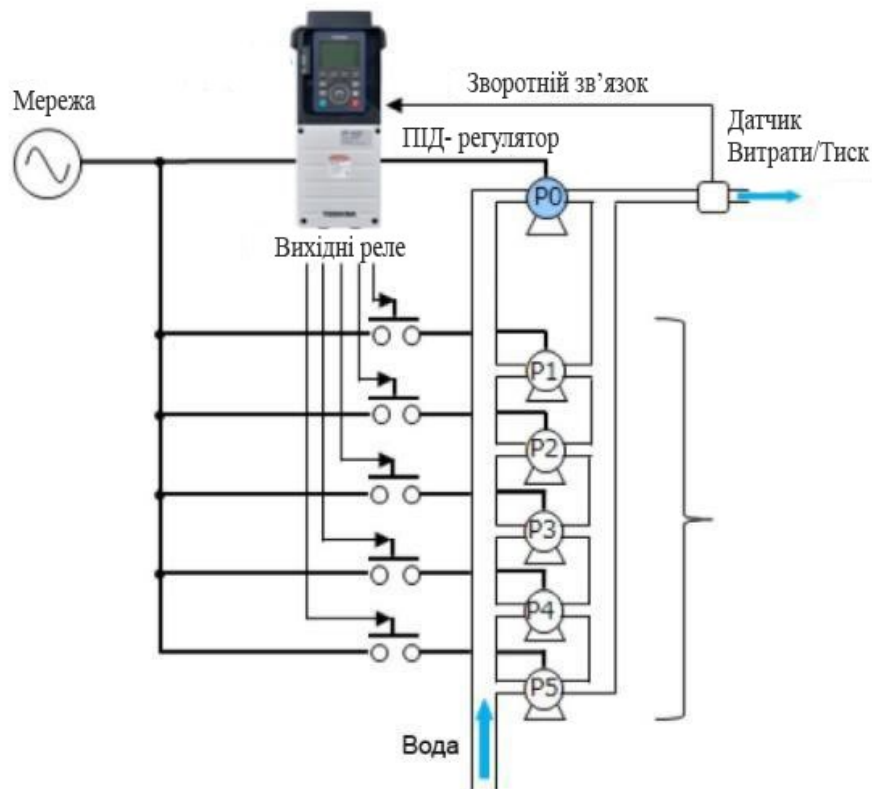


Рис. 13 – Каскадне увімкнення насосів за допомогою перетворювача частоти

Операція насосом P0 за допомогою інвертора та підключення/вимкнення додаткових 9 насосів, підключених до комерційної мережі живлення (параметр [A200] =1).

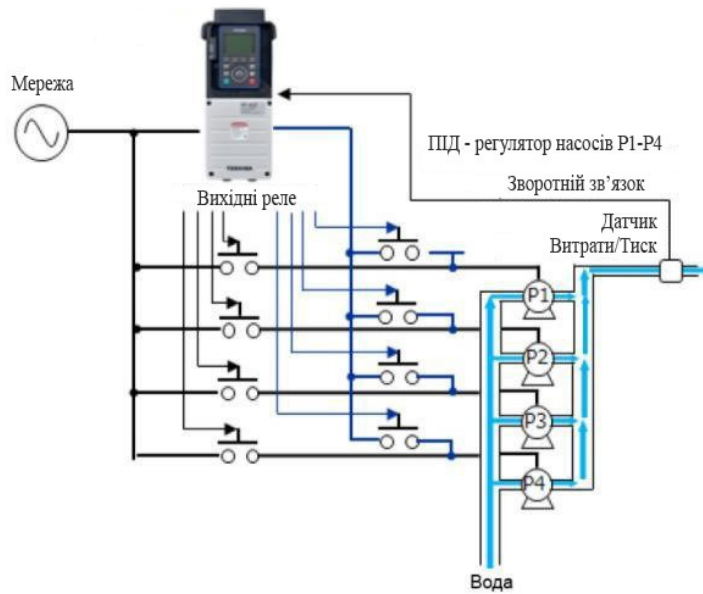


Рис. 14 – Каскадне регулювання насосів за допомогою перетворювача частоти

Регулює роботу до чотирьох насосів одним інвертором. Підключення та вимкнення додаткових насосів за допомогою перемикання їх режиму роботи інвертор/комерційна мережа живлення (параметр [A200]=2)

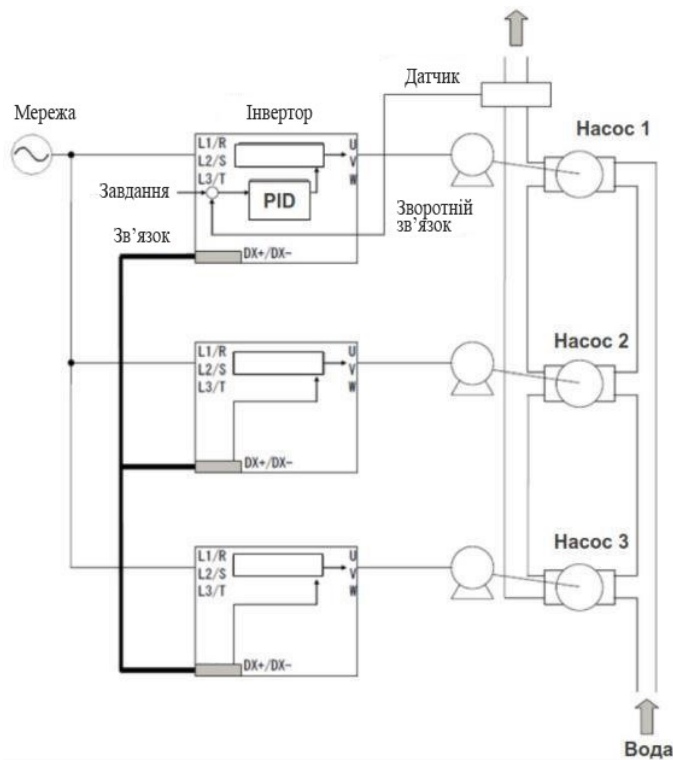


Рис. 15 – Каскадне керування насосами за допомогою перетворювачів частоти

Регулює роботу за допомогою одного ПД-регулятора до 10 насосів, підключених до відповідного інвертора (для кожного насоса). Підключення/вимкнення додаткових насосів через зв'язок RS485 (параметр [A200] = 7).

Режим каскадного підключення та вимкнення до 10 насосів з регулюванням першого насоса кожен насос може підключатися до мережі живлення та відключатися від неї через магнітний контактор, який керується релейним вихідним сигналом інвертора. Точне регулювання витрати/тиску здійснюється за допомогою насоса P0. Додавання або вимкнення інших насосів для збільшення або зменшення витрат/тиску відбувається за мірою необхідності [7].

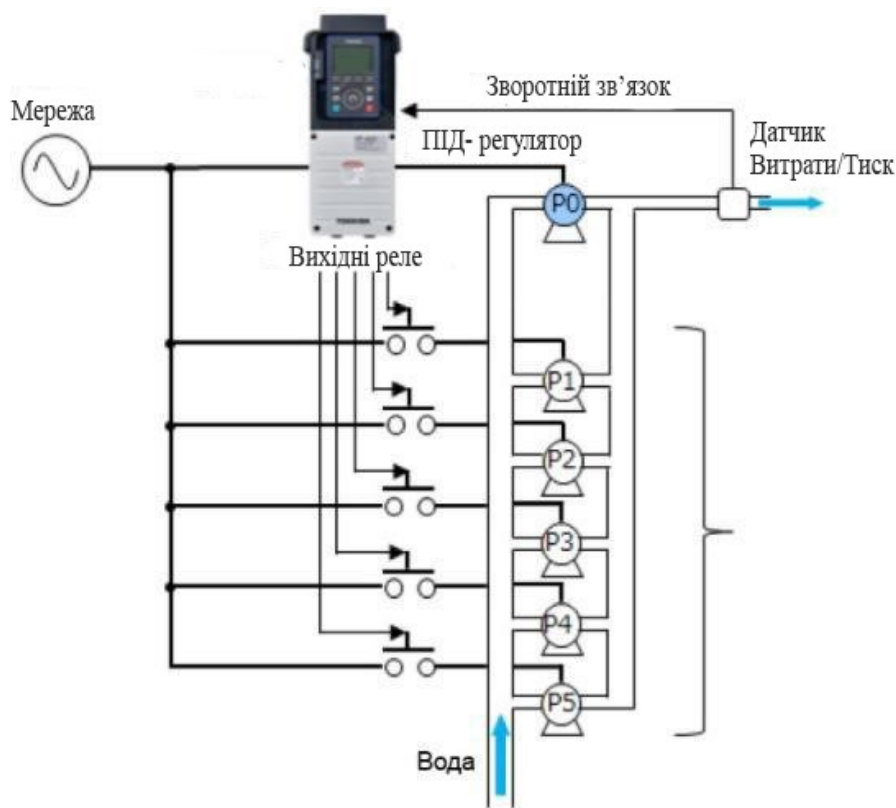


Рис. 16 – Каскадне підключення та відключення насосів за допомогою перетворювача частоти

Приклад роботи насосів

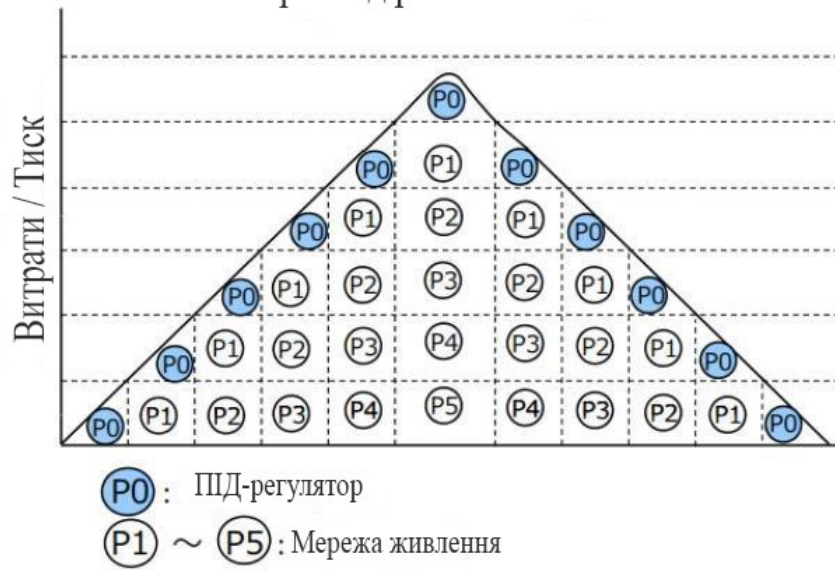


Рис. 17 – Приклад каскадного підключення та відключення насосів

РОЗДІЛ 3. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Архітектура системи автоматичного керування

Архітектура системи управління представлена на рис. 3.1.

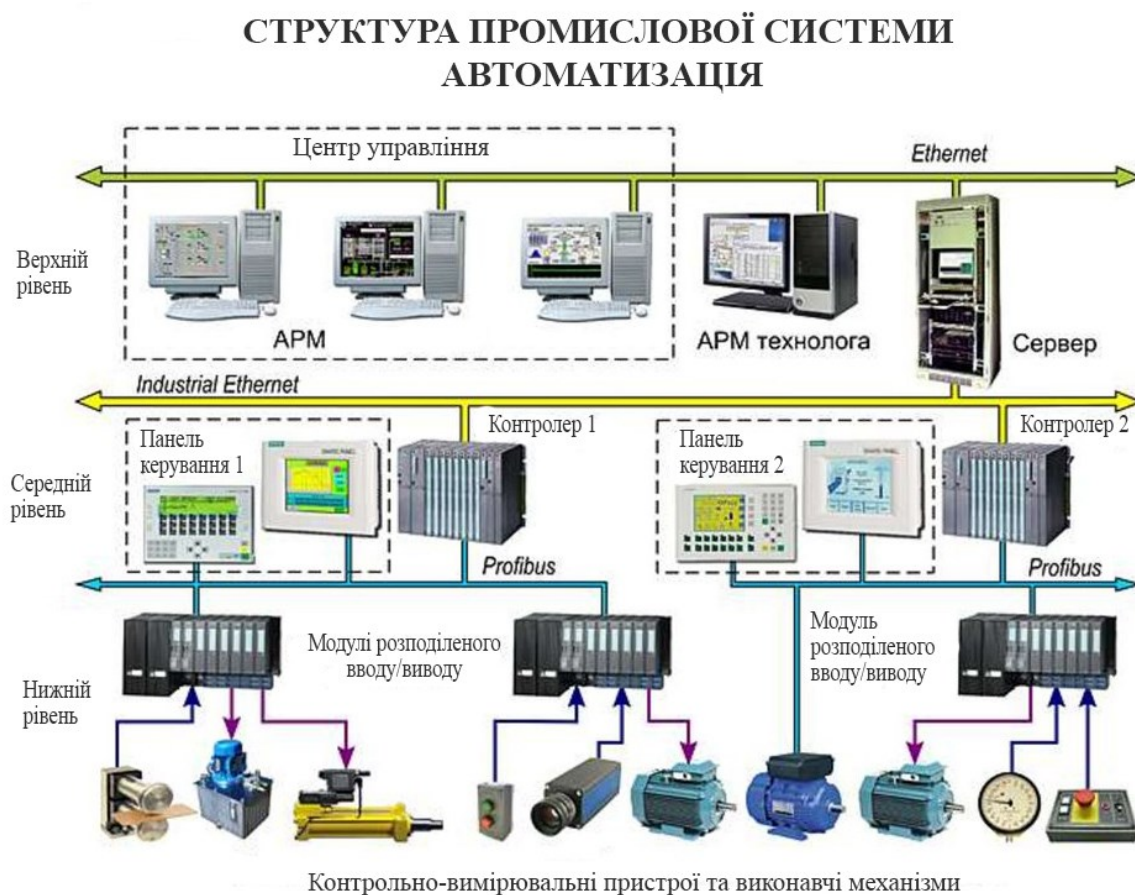


Рис. 3.1 – Структурна система автоматичного управління

Структура системи логічно поділена на три рівні:

Верхній рівень - рівень програмно-технічних засобів оперативного контролю та управління технічним процесом.

Середній рівень – рівень програмованих логічних контролерів (ПЛК);

Нижній рівень - рівень датчиків та виконавчих механізмів;

3.2 Технічні засоби нижнього рівня

3.2.1 Вибір засобу вимірювання тиску

Для вимірювання тиску вибираємо датчики тиску. Датчик призначений для вимірювання абсолютного та надмірного тиску: газів, пари, рідин.

Тиск рідини, що впливає на діафрагму датчика, змінює ємність його електронної схеми, яка формує вихідний аналоговий сигнал 0...10В, пропорційний вимірюваному тиску.

Технічні дані датчика тиску наведено у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики датчика тиску

	Найменування параметра	Значення параметра
1	2	3
Вхід	Вимірюваний параметр	Абсолютний та надлишковий тиск
	Діапазон вимірювань	0-16 бар(0-1,6 МПа)
Вихід	Вихідний сигнал	0...10 В
Точність	Нормальні умови	по DIN IEC 770
	Похибка вимірів	0,3%
	Стабільність	0,15% на рік
Робочі умови експлуатації	Температура окр. повітря	-15...+125 ⁰ С
	Кліматичний клас	4К4Н DIN EN 60947-1
	Ступінь захисту	IP66 та IP67 відповідні EN/IEC 60529

1	2	3
	Електромагнітна сумісність	Власні перешкоди EN/IEC 61000-4-4 Стійкість до перешкод EN/IEC 61000-4-6
Вимірюване середовище	Гранична температура	макс 125 °С
	Граничний тиск	40 бар (4МПа)
Напруга живлення	Напруга живлення, Us	11,4...33 У постійного струму

Зовнішній вигляд датчика зображено на Рис. 3.2.1.



Рис. 3.2 – Зовнішній вигляд датчика тиску

3.2.2 Вибір реле тиску

Реле тиску призначене для пуску-зупинки насоса. Вибираємо реле – датчик тиску 20 бар 2 порога.

Зовнішній вигляд реле тиску зображено Рис. 3.2.



Рис. 3.3 – Зовнішній вигляд вибраного реле

Технічні дані реле тиску наведено у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Технічні дані реле тиску

	Найменування параметра	Значення параметра
1	2	3
	Тип шкали	Регульований диференціальний
	Тип контактів	1 перемикаючий
	Робочий орган	Діафрагма, що переміщується під тиском
	Уставка	Зовнішня
	Електричне з'єднання	1 вилка DIN 43650 А 4 контакти
	Спосіб роботи	Регульований у проміжку між двома межами

1	2	3
Робочі умови експлуатації	Контрольована рідина	Олія для гідравлічних систем (0...70 °С) Прісна вода (0...70 °С)
	Номінальний струм [In]	B300, AC-15 Ue = 240 V B300, AC-15 Ue = 120 V R300, DC-13 Ue = 250 V
	Ступінь захисту	IP65 відповідає EN/IEC 60529
	Граничний тиск	45 бар (4,5 МПа)
	Тиск руйнування	90 бар (9 МПа)
	Робоча частота	120 цикл/хв
	Температура навколишнього середовища	-25...70 °С
Діапазон уставок	При падінні тиску	0,3...18,4 бар
	зі збільшенням тиску	1,3...20 бар
Міцність	Електрична	5000000 циклів, 50/60 Гц, AC-15, 240 В /3 А, Ith = 10 А
	Механічна	5000000 циклів

3.2.3 Вибір електроприводів засувок, вентилів та клапанів

Зовнішній вигляд засувки зображено Рис. 3.4



Рис. 3.4 – Зовнішній вигляд вибраного приводу із засувкою

Електроприводи EMICO NA100-SR призначені для перестановки органів управління за допомогою поворотного обертального руху з кутом повороту вихідної частини до 90° , включаючи випадки, коли потрібне герметичне замикання в кінцевих положеннях. Типовим прикладом використання є керування кульовими вентилями та клапанами в режимі дистанційного керування та автоматичного регулювання. Встановлюються безпосередньо органі управління.

Технічні дані електроприводу наведено у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Технічні дані електроприводу

Найменування параметру		Значення параметра
Робочі умови експлуатації електроприводу	Напруга живлення	$U_n = 3 \times 220/380V, f_1 = 50\text{Гц}$
	Робоче становище	Працює у будь-якому робочому положенні
	Самогальмування	Забезпечується за допомогою механічного чи електромагнітного гальма електродвигунів.
	Ступінь захисту	IP67 за CSNEN60592
	Робочий хід	90°
Робочі умови експлуатації електронного обладнання	Система DMS2.ED	Містить мікрокомп'ютер, детектор положення, сигнальні світлодіоди та 4 кнопки для встановлення та контролю електроприводу, роз'єм для підключення детектора моменту, плата живлення та інтерфейсу RS 232.
	Аналоговий модуль	Вихідний сигнал 4...20 мА
	Зняття положення	Безконтактне магнітне
	Зняття моменту	Безконтактне магнітне
	живлення	$U_n = 230V, f = 50\text{Гц}, P_n = 4\text{Вт}$

За даними таблиці 3.1, 3.2 та 3.3 складаємо перелік аналогових та дискретних сигналів для (СГУ) системи групового управління.

Перелік дискретних та аналогових сигналів наведено в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 - Перелік дискретних та аналогових сигналів

Тип пристрою	Сигнали	Тип сигналу для СГУ		Кількість
Засувка	1 Відкрити	Вихід	Сухий контакт 230В	2
	2 Закрити	Вихід	Сухий контакт 230В	2
	3 Відкрита	Вхід	Сухий контакт 230В	2
	4 Закрита	Вхід	Сухий контакт 230В	2
	5 Місцеве	Вхід	Сухий контакт 230В	2
	6 Дистанційне	Вхід	Сухий контакт 230В	2
	7 Аварія	Вхід	Сухий контакт 230В	2
СДУ	Увімкнути насос	Вхід	24 В	2
	Вимкнути насос	Вхід	24 В	2
	Насос увімкнений	Вихід	Індикація	2
	Насос вимкнено	Вихід	Індикація	2
	Ручний	Вхід	24 В	2
	Автоматичний	Вхід	24 В	2
	Змішаний	Вхід	24 В	2
Датчики тиску	Тиск на тиску	Вхід	Аналоговий 0-10 В	2
Реле тиску	Напір насосу	Вхід	24 В	2
	Всмоктування насоса	Вхід	24 В	2

Відповідно до таблиці аналогових та дискретних сигналів проведемо вибір ПЛК, що має достатню кількість дискретних та аналогових входів та виходів.

3.3 Технічні засоби середнього рівня автоматизації

3.3.1 Засіб керування та збору даних

Добре відомий серед фахівців з автоматизації мікропроцесорний пристрій називається контролер. Як і комп'ютер, контролер - обов'язковий компонент будь-якої сучасної системи управління.

Вже з назви зрозуміло, що основне призначення цього пристрою – керування.

В архітектурі рівнів АСУТП (автоматизованої системи управління технологічними процесами) ПЛК займають певний рівень – верхній чи нижній.

На основі ПЛК будуються системи автоматичного управління (САУ) окремими апаратами, установками чи блоками технологічного процесу. Функціонування САУ відбувається без постійної присутності обслуговуючого персоналу в автоматичному режимі за створеними на стадії проектування системи управління алгоритмами та програмами.

Об'єкт управління у цій архітектурі представлений вимірювальними перетворювачами (ВП) різних технологічних параметрів – рівня, тиску, температури, витрати тощо., та виконавчими пристроями (ВП) – кранами, регулюючими клапанами, засувками. За допомогою цих технічних засобів САУ здійснюють збір даних, що характеризують стан об'єкта, та реалізують керуючі дії на об'єкт з метою забезпечення заданих (економічно доцільних) режимів функціонування.

Рівень оперативно-виробничої служби (ОВС) – у подальшому, другий чи верхній рівень АСУТП – реалізує оперативне та режимне управління технологічним процесом. Основні складові цього рівня – оперативний персонал (оператори, диспетчери, спеціалісти) та програмно-технічні засоби. До них, передусім, ставляться комп'ютери, з урахуванням яких створюються автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів і фахівців, і сервери баз

даних, основою функціонування яких покладено прикладне ПЗ. Присутність оперативного персоналу на цьому рівні і визначила саму назву системи - АСУТП (автоматизована система управління технологічним процесом). Поняття "автоматизована" за визначенням передбачає участь людини в управлінні. Таким чином, АСУТП – це людино-машинна система.

У невеликих системах управління локальні ПЛК можуть безпосередньо по мережі взаємодіяти з сервером та АРМ (без інтерфейсного контролера). Але є достатньо проектів АСУТП, які передбачають у своїй структурі інтерфейсні контролери (концентратори).

Залежно від завдань, які вирішує система управління, контролери можуть виконувати великий набір функцій. До основних (базових) функцій локальних контролерів відносяться:

- збір та первинна обробка інформації про параметри технологічного процесу та стан обладнання;
- зберігання технологічної та допоміжної інформації;
- автоматичне оброблення технологічної інформації;
- формування керуючих впливів - дискретне управління та регулювання;
- виконання команд із пункту управління;
- самодіагностика контролера;
- обмін інформацією із верхнім рівнем управління.

Функція «Збір та первинна обробка інформації» передбачає:

- циклічне опитування пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО);
- аналогово-цифрове перетворення сигналів;
- первинну обробку сигналів компенсації впливу перешкод (фільтрація сигналів);
- визначення достовірності інформації щодо відхилень сигналів датчиків за межі вимірювального діапазону.

Функція «Зберігання технологічної та допоміжної інформації» забезпечує запис та зберігання у пам'яті контролера технологічних даних та

даних, що забезпечують заданий режим роботи технологічного обладнання. Ця функція також забезпечує збереження інформації у разі відмови технічних засобів або живлення.

Реалізація функції «Автоматична обробка технологічної інформації, формування керуючих впливів» передбачає дискретне управління відповідно до алгоритмів управління, розроблених на етапі проектування системи, та регулювання (стабілізація технологічних параметрів на заданому рівні) за законами (П, ПІ, ПІД) або спеціалізованими алгоритмами.

Функція "Виконання команд з пункту управління" забезпечує можливість втручання оперативного персоналу в автоматичне ведення технологічного процесу. У цьому оперативний персонал може здійснювати пуск, відключення, перемикання технологічного устаткування, і навіть виконувати режимне управління процесом - задавати уставки регулювання, рівні спрацювання блокувань, сигналізацій, алгоритмів автоматичного введення резервного устаткування та інших.

Функція «Самодіагностика контролера» включає перевірку працездатності як технічних, так і програмних засобів контролера з оповіщенням оперативного персоналу.

Функція "Обмін інформацією" є однією з найважливіших функцій контролера. Ця функція здійснюється в автоматичному режимі та реалізується спеціалізованими засобами контролера з використанням протоколів приймання/передачі даних.

3.3.2 Вибір контролера

Для системи керування вибираємо ПЛК Modicon M258. Програмно-логічний контролер Modicon M258 – серія промислових мікроконтролерів Schneider для задач автоматизації виробництва середнього рівня. Контролери Modicon M258 побудовані за модульним принципом та можуть працювати в реальному масштабі часу, застосовуються для побудови простих вузлів місцевої автоматики або вузлів комплексних систем автоматичного

керування. Контролери Modicon M258 підтримують обмін даними через мережі Modbus, а також Ethernet Modbus з'єднання, мають вбудований провідний пристрій CANopen. Програмовані мікроконтролери Modicon M258 мають компактні пластикові корпуси зі ступенем захисту IP20, можуть монтуватися на стандартну 35 мм профільну шину DIN або на монтажну плату та працюють у діапазоні температур від 0 до +60 °С. Вони здатні обслуговувати від 42 дискретних і до 4 аналогових каналу введення-виводу.

Технічні дані контролера наведено у таблиці 3.5

Таблиця 3.5 - Технічні дані мікроконтролера Modicon M258LD42DT4L

Найменування	Значення параметра
1	2
Напруга дискретного входу	24 В
Дозвіл аналогового входу	12 біт
Тип аналогового входу	+/- 10 В, 4...20 мА
Логіка дискретного виходу	Джерело
Вхідний імпеданс	6 ком
Вбудована ОЗУ	64МБ
Вбудована робоча пам'ять	25 КБ
Енергонезалежна пам'ять для збереження даних	2 КБ
Адресний простір введення-виводу	1024 байт на введення/ 1024 байт на виведення
Кількість входів рахунку	8x200 кГц
Межі напруги живлення	20.4...28.8 У
Інтерфейс Ethernet	1xRJ45, 10/100 Мбіт/с
Тип вбудованих клем	2 вільних PCI слота 1 ізолюваний послідовний канал розетка RJ45, Modbus провідний/відомий RTU/ASCII or текстовий (знаковий) режим ASCII (RS232/RS485), 300...115200 біт/с 1 ізолюваний послідовний канал розетка RJ45, Ethernet Modbus TCP/IP

Зовнішній вигляд реле мікроконтролера зображено на рис. 3.5



Рис. 3.5 – Зовнішній вигляд обраного контролера

Список додаткових модулів наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Список додаткових модулів

Найменування		Параметри
Модулі введення- виведення дискретних сигналів	TM512D8T	12 вх. - 24 У пост. струму 8 транзист. 0,5 А
Блок живлення	BMXCPS2010	Вхід: ~115/230 В, вихід: =24 В/2.5 А

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

4.1 Розрахунок та вибір насосних агрегатів

Протягом доби водоспоживання нерівномірне. На рис. 4.1 представлено зразковий графік добового споживання.

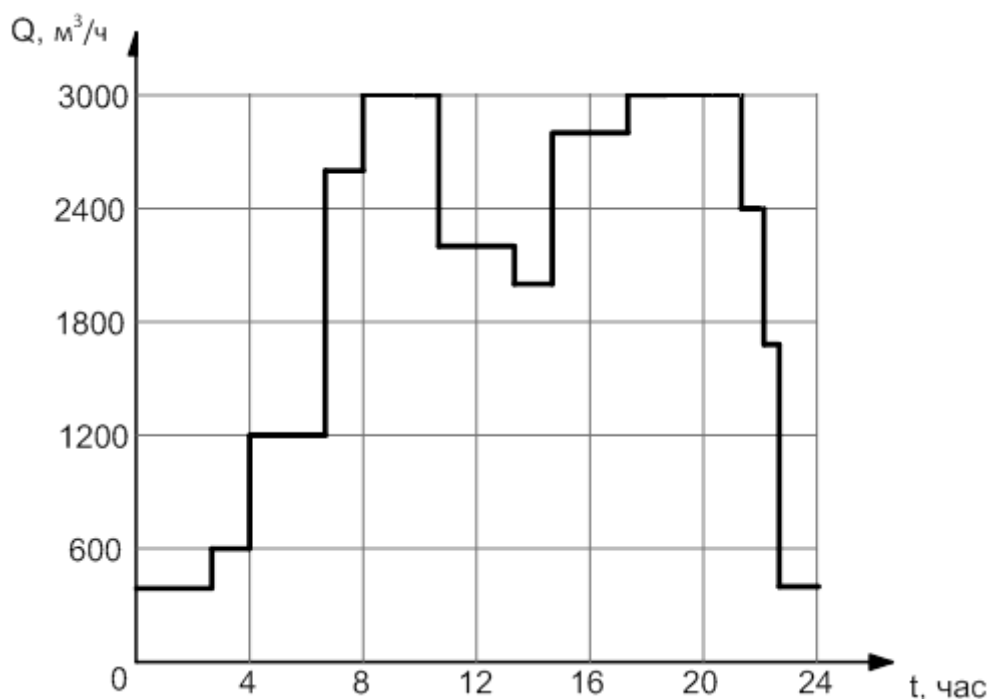


Рис. 4.1 – Графік добового споживання води

Згідно з малюнком 2 максимальне водоспоживання припадає на ранковий (з 8 до 10) та вечірні (з 20 до 22) години. Насоси вибираються з таким розрахунком, щоб забезпечити максимальну подачу (витрата) у години пік та під час поповнення пожежного водозабору.

За завданням на станції другого підйому передбачена установка 2х насосних агрегатів, що працюють у денний час доби, кожен з яких повинен забезпечувати максимальну витрату води в години пік, що становить $Q_H = 600$ (м³/год), максимальний напір $H_H = 90$ м, номінальне ККД $\eta_H = 80$ %.

Потужність насоса кВт у робочій точці визначається за формулою:

$$P = \frac{\rho \cdot H_H \cdot Q_H \cdot 9,81}{3000 \cdot \eta_H} \cdot 10^{-3}, \quad (4.1)$$

де ρ - щільність середовища, що перекачується в кг/м³, щільність води становить 1000 кг/м³.

Для насоса, що забезпечує $Q_H = 600$ (м³/год) згідно з формулою (4.1)

$$P = \frac{1000 \cdot 90 \cdot 600 \cdot 9,81}{3000 \cdot 0,8} \cdot 10^{-3} = 220,75 \text{ кВт.}$$

Насосний агрегат вибираємо з умови $P_{н.дв} \geq P_n$

З каталогу вибираємо насосні агрегати типу: 1Д 630-90.

Насоси відцентрові горизонтальні двостороннього входу фірми ЕЛНАС та агрегати електронасосні на їх основі призначені для перекачування води та інших рідин, що мають схожі з водою властивості по в'язкості до 36×10^{-6} м²/с (36 сСт) та хімічної активності, температурою від 274 до 358К (від 1 до 85°С), що не містять твердих включень за масою більше 0,05%, розміром більше 0,2 мм і мікротвердістю понад 65 ГПа (650кгс/мм²). Дані насосні агрегати оснащені трифазними асинхронними електродвигунами, напругою живлення 380, потужністю 250 кВт.

Характеристики насосів представлені у таблиці 4.1. Характеристики асинхронного двигуна насосного агрегату представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Характеристики насоса

	Подача QH	Натиск, Hн	Максимальна споживана потужність насоса, Pmax	Частота обертання, nH	ККД, ηн
1Д 630-90	630 м ³ /год	90 м	226 кВт	1450 об/хв	0,8

Таблиця 4.2 – Характеристики асинхронного двигуна насосного агрегату

	Напруження живлення, УН	Номінальний струм, І _н	Номинальна потужність, Р _н	Частота обертання, пн	ККД, η _н	Коефіцієнт потужності cosφ	М _{max} / М _{min}	М _s / М _{но м}
АІР3 55S4	380 В	442 А	250 кВт	1480 об/хв	0.953	0,90	2,2	2,1

Зовнішній вигляд насоса та двигуна зображено на Рис. 4.2.



Рис. 4.2 – Зовнішній вигляд вибраного насосного агрегату

Відповідно до характеристик насосів, поданим у таблиці 7 та 8, Вибираємо частотний перетворювач для управління пуском, зупинкою двигуна насосного агрегату та підтримки необхідного тиску в трубопроводі.

4.2 Вибір частотного перетворювача

Частотні перетворювачі - пристрій регулювання швидкості обертання асинхронних електродвигунів внаслідок зміни частоти живлення електродвигуна. Застосування частотно-регульованого приводу дозволяє здійснювати регулювання швидкості як у процесі роботи, так і при розгоні та гальмуванні. Частотний перетворювач також здійснює захист електродвигуна від перевантажень, що збільшує довговічність електричної та механічної частини обладнання. З економічної точки зору застосування частотно-регульованого приводу у різних механізмах збільшує енергозбереження до 60%.

Припустимо, що насоси мають характеристики виду 1, а магістраль - характеристику виду 4 (Рис. 4.3). Збільшення подачі та тиску проводиться у наступному порядку. На початковому етапі в роботу включається один насос із частотно-регульованим електроприводом. Для забезпечення подачі Q_1 його частота обертання збільшується до 1. Подальше зростання подачі та тиску можливе до величин Q_3 і P_3 відповідно.

Якщо необхідно забезпечити збільшення подачі, відбувається перемикання живлення електроприводу другого насоса з виходу перетворювача частоти на мережу, а до виходу перетворювача частоти комутується електропривод другого насоса і частота обертання збільшується до необхідного значення. Наприклад, для забезпечення подачі та тиску Q_2' та P_2' відповідно частота обертання другого насоса повинна бути збільшена до значення ω_2' . Таким чином забезпечується регулювання параметрів насосної станції області, укладеної між характеристиками 1 і 2.

Зовнішній вигляд частотного перетворювача зображено на рис. 4.3.



Рис. 4.3 – Зовнішній вигляд вибраного частотного перетворювача

Технічні дані перетворювача частоти наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні дані перетворювача частоти

Найменування параметру	ATV61HC25N4D
Максимальна потужність двигуна, що застосовується, кВт	250
Повна потужність перетворювача, кВА	292,2
Номінальний вихідний струм, А	302
Мережева напруга	Трифазне 380 В

Коефіцієнт корисної дії	1 – 16 кГц, автоматично регулюється залежно від температури та навантаження.
Вихідна частота	0 – 500 Гц
Номінальна вихідна частота	50 Гц
Допустиме відхилення напруги	+10%, -15%
Допустимі відхилення частоти	±5 %
Метод керування	Синусоїдальна ШІМ
Стартовий момент, що крутить	150% при 1 Гц
Смуга пропускання ПД-регулятора за швидкістю	5 Гц
Діапазон керування частотою	Від 1,5 до 50 Гц
Точність частотних режимів	Цифрова команда ±0,01%
	Аналогова команда: ±0,1%
Роздільна здатність за частотою	Опорний цифровий сигнал: ±0,01 Гц
	Опорний аналоговий сигнал: ±0,03 Гц/60 Гц (11 біт + код)
Роздільна здатність за частотою	0,01 Гц
Запас з перевантаження	150% від номінального вихідного струму (1 хвилина)
Сигнал завдання частоти	від -10 до 10 В, від 0 до 10 В, від 4 до 20 мА
Час розгону/гальмування	від 0,01 до 9000 с

4.3 Вибір силового вимикача

Для того, щоб вибрати автоматичний вимикач, розрахуємо пусковий струм двигуна за формулою (4.3):

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном,дв}} \cdot \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}, \quad (4.2)$$

Підставивши відомі значення формулу (4.3), отримаємо:

$$I_{\text{пуск}} = 442 \cdot 6,9 = 3049 \text{ А.}$$

де, 6,9 - кратність пускового струму вибраного асинхронного двигуна $\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$.

Автоматичні вимикачі ВА-99 торгової марки ЕКФ призначені для оперативних включень та відключень струму в нормальному режимі, а також захисту від струмів перевантаження та коротких замикань у різних електроустановках номінальною робочою напругою до 400 В змінного струму частотою 50 Гц із струмами від 12,5 до 1000 А. Вибираємо силовий вимикач ВА-99/800 630А.

Технічна характеристика вимикача наведена у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічна характеристика силового вимикача.

Параметр	Значення
Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$,	400
Номінальний струм $I_{\text{ном}}$, А	630
Уставка електромагнітного розчіплювача	$10 \times I_{\text{ном}}$

4.4 Автоматизація

Термін автоматизація походить від грецького слова "автоматос", що в перекладі означає автоматичний. Під автоматизацією (автоматичним управлінням) розуміється здійснення будь-якого технологічного процесу з використанням відповідних технічних засобів без участі людини.

Автоматизація дає низку переваг:

1. Зниженням витрати енергоресурсів;
2. Зменшенням кількості обслуговуючого персоналу (економією на заробітній платі);
3. Підвищенням продуктивності (зменшенням розміру заробітної плати у розрахунку на одиницю продукції);
4. Підвищенням надійності функціонування технологічного процесу (зниженням збитків від перерв технологічного процесу);
5. Зменшенням штрафних виплат за забруднення довкілля;
6. Підвищенням якості продукції та іншими факторами, що залежать від виду автоматизованого технологічного процесу.

Найважливішим завданням управління системами водопостачання є регулювання продуктивності насосних станцій, тобто зміна подачі води у точній відповідності до зміни в часі водоспоживання.

Насосні станції по обладнанню і процесам, що протікають в них, порівняно легко піддаються автоматизації. На автоматичних насосних станціях всі процеси, пов'язані з пуском, зупинкою та контролем станом насосно-силового обладнання, здійснюються в встановленій послідовності автоматичними пристроями, без участі людини.

4.4.1 Енергозбереження в насосних установках

У собівартості промислової продукції витрати на споживані енергоресурси становлять дуже значну частину. Зменшити витрати

електроенергії в насосних агрегатах можливо за допомогою регулювання частоти обертання (числа обертів за хвилину) насосів у функції витрати води.

Щоб змінити частоту змінної напруги, що підводиться до електродвигуна насоса, необхідно підключити електродвигун до індивідуального перетворювача частоти, що приєднується до електричної мережі з частотою змінної напруги 50 Гц. Залежно від величини сигналу управління, що надходить від відповідного датчика на вхід перетворювача частоти, частота змінної напруги на виході (підводиться до електродвигуна насоса) може змінюватися в інтервалі 5-50 Гц, що забезпечує можливість десятикратного зменшення частоти обертання насосного агрегату. Функціональна схема автоматичного регулювання частоти обертання насосного агрегату, що працює в мережі водопостачання, представлена рис. 4.4.

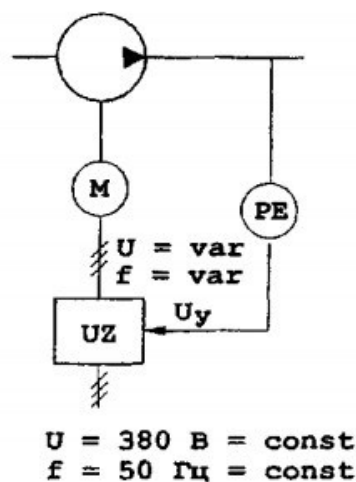


Рис. 4.4 – Функціональна схема регулювання швидкості обертання насоса

Ефективність регулювання частоти обертання насосного агрегату, що працює в мережі водопостачання, визначається наступним.

Водоспоживання у мережі водопостачання є випадковим. Продуктивність насосних агрегатів визначається за величиною максимального водоспоживання (рис. 4.5)

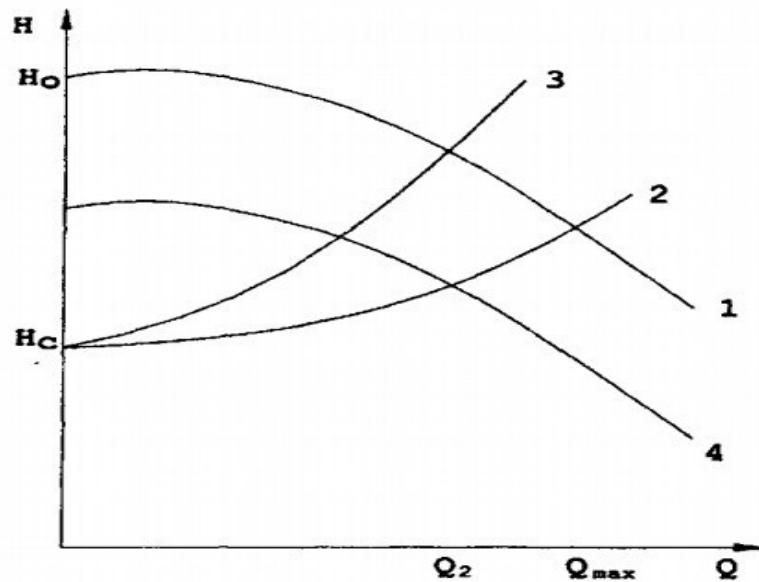


Рис. 4.5 – Напірно-витратні характеристики насоса та мережі водопостачання.

1 – насос за номінальної частоти обертання; 2 – мережа водопостачання при номінальному гідравлічному опорі; 3 – мережа водопостачання зі збільшенням гідравлічного опору з допомогою закриття запірної арматури; 4 – насос при зменшенні частоти обертання.

При зменшенні водоспоживання за рахунок закриття запірної арматури у споживачів (чому відповідає збільшення гідравлічного опору мережі водопостачання) при незмінній частоті обертання насоса характеристика останнього не змінюється, а характеристика мережі набуває вигляду кривої 3 на рис. 4.5. Незважаючи на істотне зменшення подачі води, деяке збільшення напору насоса і істотне зменшення ККД насоса в цьому режимі обумовлюють практичну незмінність потужності, споживаної електродвигуном насоса при зменшенні подачі води за допомогою збільшення гідравлічного опору мережі.

Якщо при зменшенні водоспоживання зменшувати частоту обертання насоса, то характеристика трубопроводу (крива 2) залишається без зміни, а характеристика насоса зміщується майже паралельно характеристиці при $n = \text{const}$, приймаючи вигляд кривої 4. У цьому випадку істотно зменшується як подача насоса, так і розвивається ним напір при малому зменшенні ККД

насоса та його електродвигуна. ККД перетворювача частоти в залежності від його потужності лежить в межах 0,92-0,96, що обумовлює істотне зменшення потужності, що споживається електродвигуном насоса при регулюванні швидкості обертання в функції необхідної подачі води.

4.4.2 Частотне регулювання

Перетворювач частоти змінює частоту обертання одного з насосів, постійно порівнюючи значення завдання з показанням датчика тиску. У разі нестачі продуктивності працюючого насоса за сигналом з перетворювача частоти увімкнеться додатковий, а якщо станеться аварія, буде задіяний резервний насос. Приймаємо шафу керування «ЮГШУНС» з частотним регулюванням ЮГШУНС -6-2/5,8-Д-15/60-А/1

ЮГШУНС	-X-	XXX/	XXX	-X-	XX/	XXX	-X/	X
	1	2	3	4	5	6	7	8

Модифікація шафи керування насосами:

- 1 - Прямий пуск 1роб/1рез;
- 2 - Плавний пуск 1роб/1рез;
- 3 - Прямий пуск 2роб/1рез;
- 4 - Плавний пуск 2роб/1рез;
- 5 - Перемикання ПЧ/мережа;
- 6 - ПЧ на кожен двигун 1роб/1рез;
- 7 - ПЧ на кожен двигун 2роб/1рез.

Тип системи:

- У – насосна станція для перекачування рідини із резервуара (бака);
- Д – насосна станція з подачею рідини з трубопроводу;
- Р – подача з трубопроводу в бак;

Опції:

- А – автоматичне введення резерву електроживлення (АВР);
- Р – ручне введення резерву електроживлення.



Рис. 4.6 – Шафа керування «ЮГШУНС» з перетворювачем частоти
Функції шафи управління з частотним регулюванням:

- автоматичне керування насосами для підтримки заданого значення регульованого параметра;
- ручний пуск та зупинку насосів;
- комплексний захист електродвигунів;
- вирівнювання моторесурсу насосів;
- автоматичне зупинення насосів по сигналу від зовнішнього реле захисту від «сухого» ходу;
- автоматичну зупинку насосів за аварійно низьким сигналом аналогового датчика зворотного зв'язку («сухий» хід, прорив трубопроводу, обрив сигнального кабелю);
- автоматичне відключення електродвигунів при короткому замиканні;
- автоматичне відключення електродвигунів при пропаданні однієї з фаз, перекос або неправильної послідовності підключення фаз і автоматичне включення при її появи;

- автоматичне поновлення роботи насосів після нормалізації аварійних параметрів;
- регулювання рівня спрацьовування захисту від перевантаження струмом;
- візуальне відображення робочого та аварійного станів для кожного насоса;
- захист корпусу IP54

Конструкцію шафи керування насосами наведено на рис. 4.7.

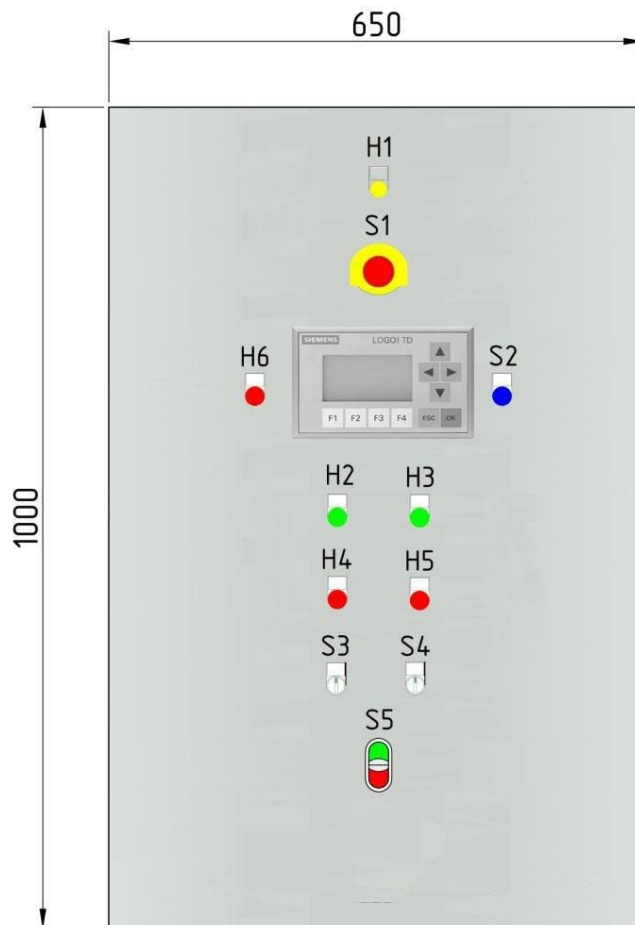


Рис. 4.7 – Конструкція шафи керування із частотним перетворювачем

1. Автоматичні вимикачі з регульованим тепловим захистом
2. Перетворювач частоти
3. Контролер
4. Вступний рубильник
5. Електронне реле контролю напруги живлення
6. Світлодіод «ON»
7. Автоматичний вимикач ланцюгів керування.

4.4.3 Принцип роботи шафи управління

Шафа управління забезпечує роботу у двох режимах – «Ручний» або «Автоматичний». За перемикання режимів роботи відповідає перемикач «Режим». Він здійснює перемикання між режимами – «Автомат», «Ручний» і «Відключено». Якщо перемикач перебуває в положенні «Неможливий запуск насосів». При відсутності сигналу з датчика «Сухого ходу», зникнення або неправильне чергування фаз напруги живлення, відбувається зупинка насосів і загоряється загальний сигнал «Аварія». Також, загальний сигнал «Аварія» спалахує, якщо немає жодного насоса доступного до роботи (вийшли з ладу або вимкнені).

«Ручний» режим управління призначений для пробних пусків насосів безпосередньо від мережі живлення (або через плавний пуск), ручного регулювання значення параметра, а також для профілактичних та інших робіт. У цьому режимі керування насосами здійснюється за допомогою кнопок «Пуск», «Стоп», що відповідають насосам.

У режимі роботи «Автомат», керування системою здійснює перетворювач частоти та контролер.

Принцип роботи частотного регулювання заснований на підтримці заданого значення параметра в трубопроводі, після станції водопостачання наступним методом:

За сигналом з датчика тиску (температури та ін.), ПІД-регулятором перетворювача частоти коригується його вихідна частота, відповідно швидкість обертання основного насоса (основний насос - насос, підключений до перетворювача частоти в даний момент).

При досягненні максимальної вихідної частоти (продуктивності основного насоса замало підтримки заданого значення регульованого параметра), контролер генерує сигнал зупинки перетворювача частоти, після чого починається гальмування основного насоса за проміжок часу заданий в параметрах перетворювача частоти. При досягненні вихідної частотою

мінімального значення (мінімальне обмеження частоти для конкретного насоса, налаштовується в перетворювачі частоти, зазвичай 25 Гц), контролер запускає додатковий насос безпосередньо від мережі живлення (або через плавний пуск) і генерує команду на запуск перетворювача частоти. І так далі, доки не будуть задіяні всі додаткові насоси.

При досягненні мінімальної вихідної частоти та при включеному додатковому насосі (продуктивність додаткового насоса та основного на мінімальній частоті перевищує необхідну для підтримки заданого значення регульованого параметра), контролер відключає один додатковий насос. І так далі, доки не будуть відключені всі додаткові насоси. Після закінчення заданого часу зміни насосів, контролер зупиняє перетворювач частоти, відключає від нього основний насос і підключає до нього насос, який працював в додатковому режимі найбільш давно, таким чином, відбувається циклічна зміна режиму роботи між насосами, для вирівнювання їх моторесурсу.

Висновок: Таким чином, застосування шаф управління дозволяє

- Ефективно заощаджувати електроенергію за рахунок використання перетворювача частоти.

- Точно підтримувати заданий тиск чи інший залежний параметр.

- Здійснити повний захист електродвигунів та виконавчих механізмів.

- Економити ресурс електродвигунів та виконавчих механізмів за рахунок періодичної зміни функцій електродвигунів (вирівнювання моторесурсу).

- Додатково економити електроенергію за рахунок використання плавного пуску.

- Значно зменшити динамічні навантаження виконавчих механізмів під час старту та зупинки електродвигунів. Для систем водопостачання це означає відсутність гідроударів під час пуску та зупинки насосів.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМИ АГРЕГАТАМИ

5.1. Розроблення структурної схеми САУ

Основним елементом водопровідного вузла, що забезпечує подачу води в промислові та житлові райони міст, є підсистема підкачування - група відцентрових насосів, що рухаються асинхронними трифазними двигунами. Завданням підсистеми підкачування є подача в магістралі певного об'єму води з тиском, не нижче деякого необхідного, зазвичай визначається необхідним тиском у верхній точці магістралі. Досягнення необхідної витрати та тиску здійснюється декількома шляхами: зміною положення засувок на вихідному трубопроводі насоса або зміною частоти обертання. Тоді, як метод із використанням засувок має менший ККД та збільшує знос запірною та насосного обладнання, у методі зі зміною частоти обертання відсутні такі недоліки. Часто, вал насоса пов'язаний з ротором електродвигуна безпосередньо без понижуючих або редукторів, що підвищують, що означає можливість зміни швидкостей їх обертання лише шляхом зміни швидкості обертання ротора двигуна. У цьому випадку використання асинхронного електродвигуна як привод дає перевагу в управлінні і спрощує систему управління електронасосом.

На основі підсистеми підкачування складемо структурну схему автоматичної системи керування. Живлення електродвигунів здійснюється з підстанції напругою постійної частоти та постійної амплітуди, потім електродвигуни приводять у дію відцентрові насоси так, що ті здатні забезпечити максимальний необхідний напір і витрата води, причому останній є змінною величиною. При необхідності зменшення обсягів води, що подаються користуються засувки на вихідних трубопроводах. Для поліпшення ККД і зниження енергетичних витрат підсистеми слід

відмовитися від існуючого способу підтримки гідравлічних параметрів і розробити систему з потужністю, що динамічно змінюється.

Спостерігаємо, що з постійному натиску на виході слід керувати лише витратою води, тобто. частотою обертання крильчатки насоса і як наслідок – частотою обертання ротора приводу насоса. Складемо структурну схему системи автоматичного управління з урахуванням зроблених висновків. Структурна схема представлена Рис. 5.1.

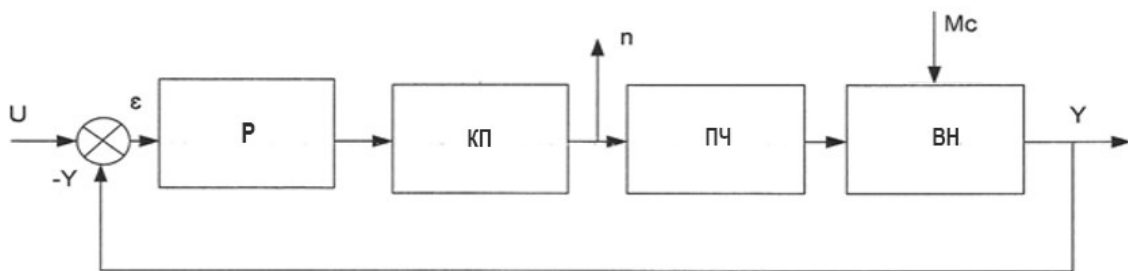


Рис. 5.1 - Структурна схема автоматичного керування насосними агрегатами

Система складається з регулятора (P), керуючого пристрою ($КП$), що отримує завдання U і впливає на швидкість ротора асинхронного двигуна і як наслідок - на крильчатку відцентрового насоса ($ВН$). Об'єм води (Y), перекачаний насосом, проходить деякий проміжок магістралі, величина якого знімається датчиком і як зворотний зв'язок надходить на елемент порівняння, формуючи сигнал неузгодженості. До того ж слід врахувати момент опору ротора двигуна, який буде збурюючим впливом в системі управління. Для запобігання аварійній ситуації доцільно отримувати інформацію про швидкість обертання ротора двигуна.

Як вихідний величини системи прийнято витрату води. Виберемо вхідний параметр, який відповідатиме за зміну швидкості обертання ротора двигуна.

Відомо що, швидкість обертання ротора асинхронного двигуна залежить від частоти напруги живлення:

$$n_2 = \frac{60 \cdot f_1}{p} (1 - s), \text{ об/сек.} \quad (5.1)$$

де f_1 - частота напруги живлення, p - число полюсів, s - ковзання.

Виходячи з цього виразу, очевидно, що здійснювати керування швидкістю ротора можна шляхом зміни частоти напруги живлення. Подібне управління називають частотним і останнім часом набуває широкого поширення. До того ж, зараз широко випускаються інтелектуальні частотні перетворювачі, що дозволяють не тільки змінювати частоту напруги, а програмувати певні закони управління, що може значно спростити реалізацію системи управління. Для вибору закону управління необхідно проаналізувати передаточну функцію об'єкта щодо частоти напруги живлення. Визначимо передавальні функції кожної з ланок.

Будемо шукати передаточну функцію асинхронного двигуна як відношення частоти обертання ротора до частоти напруги живлення. У [1] пропонується цю передаточну функцію розбити на дві складові - "момент/частота" і "частота/момент" для можливості врахування моменту опору, що діє на вал двигуна. Структурна схема при керуванні частотою напруги статора представлена Рис. 5.2.

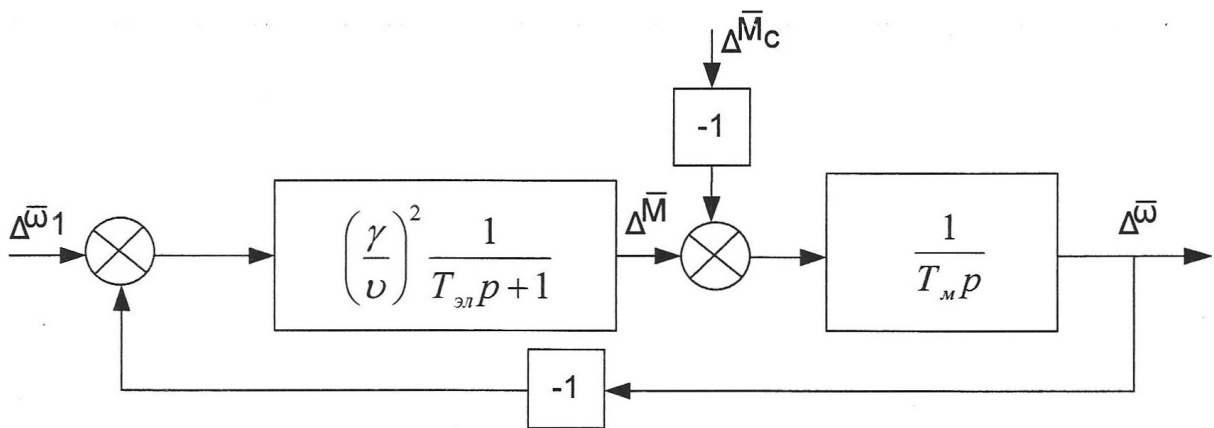


Рис. 5.2 – Структурна схема асинхронного електродвигуна при керуванні частотою напруги живлення

За цією структурною схемою отримаємо передаточну функцію відносно керуючого впливу:

$$W(p)_{ад} = \left(\frac{y^2}{\vartheta}\right) \frac{1}{(T_3 p + 1) T_M p + \frac{y^2}{\vartheta}} = \frac{k_{ад}}{T_3 T_M p^2 + T_M p + 1}, \quad (5.2)$$

де T_M - механічна постійна часу двигуна, T_e - електромагнітна постійна часу двигуна, y - відносна напруга статора (до номінального), $\gamma\vartheta$ - відносна частота статора напруги (до номінальної).

Ця передаточна функція справедлива випадку, коли потокощеплення статора є величина стала, тобто одночасно зі зміною частоти напруги змінюється і його величина відповідно до виразу: $U_1/\omega_1 \text{const}$. Зазначимо, що у сучасних перетворювачах частоти реалізований механізм підтримки постійного потокощеплення, тому передаточна функція (5.2) може бути використана для опису АД.

Визначимо передаточну функцію відцентрового насоса та магістралі. На практиці насос і магістраль розглядають як один об'єкт і з певною часткою точності апроксимують загальну передаточну функцію у вигляді інерційної ланки другого порядку із запізненням. У розгалуженій гідросистемі це коливальна ланка, в одиночних трубопроводах – аперіодична. Для загального випадку визначимо передаточну функцію рівною:

$$W(p)_M = \frac{k_M}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} e^{-p\tau}, \quad (5.3)$$

так як коливальні процеси слабо виражені внаслідок великої інерційності об'єкта, можна знизити порядок передавальної функції (5.3), отримаємо:

$$W(p)_M = \frac{k_M}{T_1 + 1} e^{-p\tau}. \quad (5.4)$$

Параметри передавальної функції залежить від кожного конкретного випадку, тому їх отримують методами ідентифікації.

На підставі (5.2) та (5.4) запишемо загальну передаточну функцію об'єкта:

$$W(p)_{oy} = \frac{k_M}{(T_1+1)(T_3T_M p^2 + T_M p + 1)} e^{-p\tau}. \quad (5.5)$$

Аналізуючи функцію (5.5) видно, що має четвертий порядок. Це означає, що регулятор повинен мати можливість відстежувати помилку прискорення, що не є можливим у вбудованих в частотний перетворювач ПД-законів управління. Крім того, використання навіть диференціальної складової в трубопровідній системі може сильно погіршити стійкість через відпрацювання короточасних збурень, пов'язаних із відображенням води від стінок труб, зміною споживання кінцевої точки і т.п. Доцільно використовувати ПІ-регулятор з метою забезпечення максимальної стійкості, але в цьому випадку погіршиться час регулювання, яке в даній системі не є критичним.

Передаточна функція ПІ-регулятора:

$$W(p)_{пи} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_p + 1} \right). \quad (5.6)$$

Точний теоретичний розрахунок параметрів регулятора, за яких виконуватиметься умова стійкості та вимоги до заданих показників якості, виконати практично неможливо через специфіку об'єкта. Однак, існують методики розрахунку приблизних параметрів регулятора для функцій передатних об'єктів до третього ступеня. У разі четвертого порядку функції доцільно вчинити так: знизити порядок знаменника, видаливши доданок з найменшої постійної часу.

Припустимо, що після виконання цієї процедури передаточна функція набула вигляду:

$$W(p)_{oy} = \frac{k}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} e^{-p\tau}. \quad (5.7)$$

Проведемо розрахунок параметрів структурної схеми САУ

Двигун можна поділити на дві частини. Механічну та електричну. Передаточна функція механічної та електричної частини відповідно, має вигляд[4]:

$$W_{\text{э}}(p) = \frac{\beta}{1 + T_{\text{э}} p}, \quad (5.8)$$

$$W_{\text{м}}(p) = \frac{\beta}{1 + T_{\text{м}} p}, \quad (5.9)$$

де β - модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики асинхронного двигуна;

$T_{\text{э}}$ - еквівалентна електромагнітна постійна часу ланцюгів статора та ротора асинхронного двигуна.

$T_{\text{м}}$ – механічна постійна часу.

Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики можна розрахувати, як:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_k}{\omega_{\text{оном}} \cdot S_k}, \quad (5.10)$$

де M_k – момент критичний;

- $\omega_{\text{оном}}$ - номінальна частота обертання асинхронного двигуна, об/хв;

S_k - ковзання критичне, його значення можна визначити, як:

$$S_k = S_{\text{н}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 + 1}), \quad (5.11)$$

де, S_H – номінальне ковзання асинхронного двигуна. Його можна визначити з наступної формули:

$$S_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} \quad (5.12)$$

де ω_0 - частота обертання ідеального холостого ходу асинхронного двигуна, об/хв;

ω_H - номінальна частота обертання асинхронного двигуна, об/хв;

Номінальна частота обертання асинхронного електродвигуна з паспортних даних дорівнює 1480 об/хв.

Частота обертання ідеального холостого ходу асинхронного двигуна вибирається зі стандартного ряду значень, яка залежить від кількості пар полюсів і частоти обертання двигуна.

Стандартний ряд значень наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Стандартний ряд значень залежності кількості пар полюсів від частоти обертання двигуна

Число пар полюсів нар.	1	2	3	4	5
Частота обертання холостого ходу, n_0 об/хв	3000	1500	1000	750	500

Зі стандартного ряду значень вибираємо частоту обертання ідеального холостого ходу , найближчу для номінальної частоти обертання $p_n = 1480 \cdot n_0$

Відповідно, частоту обертання ідеального холостого ходу приймаємо рівну $1500 \cdot n_0$

Переведемо частоту обертання ідеального холостого ходу (об/хв), кругову частоту рад⁻¹: $n_0 \omega_0$

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 1500}{330} = 157,06 \text{ рад}^{-1} \quad (5.13)$$

Розрахуємо для номінальної частоти обертання двигуна: $\omega_0 n_H$

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 1480}{30} = 154,90 \text{ рад}^{-1} \quad (5.14)$$

Знаючи значення, можна розрахувати номінальне ковзання асинхронного двигуна S_H формули (5.12):

$$S_H = \frac{157,06 - 154,90}{157,06} = 0,013.$$

Критичний момент $M_{кр}$ можна розрахувати, як:

$$M_{кр} = \lambda M_H, \quad (5.15)$$

де λ – кратність моменту; M_H – номінальний момент двигуна.

Кратність моменту визначається як відношення моменту номінального двигуна M_H і критичного моменту двигуна $M_{кр}$:

$$\lambda = \frac{M_H}{M_{кр}}. \quad (5.16)$$

Кратність моменту асинхронного двигуна з паспортних даних дорівнює 2,2 тобто. $= 2,2 \cdot \lambda$

Номінальний момент двигуна можна розрахувати, як відношення номінальної потужності двигуна P_H до номінальної частоти обертання:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{250 \cdot 10^3}{154,90} = 1613,9 \text{ Нм}. \quad (5.17)$$

Знаючи кратність моменту X та номінальний момент двигуна M_H з формули (5.15) можна розрахувати критичний момент $M_{кр}$:

$$M_{кр} = 2,2 \cdot 1613,9 = 3550,58 \text{ Нм.}$$

Підставивши ковзання асинхронного двигуна S_H і кратність моменту формулу (5.11), розрахуємо ковзання критичне S_k :

$$S_k = 0.013 \cdot \left(2.2 + \sqrt{2.2^2 + 1} \right) = 0.06.$$

Прорахувавши ковзання критичне S_k і знаючи момент критичний $M_{кр}$ з частотою обертання ідеального холостого ходу, можемо розрахувати модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики, підставивши значення в формулу (5.10), ми отримаємо:

$$\beta = \frac{2 \cdot 3550,58}{154.90 \cdot 0.06} = 764,05.$$

Механічна стала часу T_m залежить від моменту інерції валу двигуна J , редуктора, інерції виконавчого пристрою:

$$T_m = \frac{J}{\beta}. \quad (5.18)$$

J – максимально допустимий маховий момент механізму (двигуна), кНм. З паспортних даних двигуна $J = 0,22$ кНм.

Еквівалентну електромагнітну постійну часу можна визначається за такою формулою:

$$T_{\text{э}} = \frac{J}{\omega_{0\text{эл.ном}} S_k}, \quad (5.19)$$

де - $\omega_{0\text{эл.ном}}$ кутова швидкість електромагнітного поля асинхронного двигуна при його номінальній частоті живлення $f_{1\text{ном}} = 50$ Гц ($= f_{1\text{ном}} = 314\text{с}^{-1}$). Для асинхронного двигуна загальнопромислового виконання $S_k = 0,05 \dots 0,5$ (менші значення притаманні потужних двигунів), $T_{\text{е}} = (0,006 \dots 0,06)$ с. $\omega_{0\text{эл.ном}} \omega_{0\text{эл.ном}} 2\pi$

Знаючи допустимий маховий момент та модуль жорсткості, можна розрахувати механічну постійну часу $T_{\text{м}}$ та еквівалентну електромагнітну постійну часу $T_{\text{е}}$ за формулами (5.18) та β (5.19) відповідно:

$$T_{\text{м}} = \frac{220,5}{764,05} = 0,22;$$

$$T_{\text{э}} = \frac{1}{314 \cdot 0,06} = 0,05.$$

Тепер знаючи механічну постійну часу $T_{\text{м}}$ та еквівалентну електромагнітну постійну часу $T_{\text{е}}$ можна підставити їх у формулу (5.2)

$$W(p)_{\text{ад}} = \frac{764,05}{0,05 \cdot 0,22p^2 + 0,22p + 1}.$$

Розрахуємо параметри насосного агрегату та магістралі:

$$K_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{н}}}{P_{\text{н}}}. \quad (5.20)$$

де $Q_{\text{н}}$ - номінальна витрата води, $P_{\text{н}}$ - номінальна потужність насоса тоді підставивши у формулу (5.20) отримаємо

$$K_{\text{м}} = \frac{600}{250000} = 0,0024.$$

Так як насос приводиться в рух двигуном без редуктора, то постійна часу насосного агрегату дорівнює постійній механічній часу двигуна $T_1 = T_m = 0,22\text{с}$.

Для ланки з запізненням коефіцієнт $= T_m \cdot e^{-p\tau}$

Підставляючи всі значення формулу (5.4) отримаємо:

$$W(p)_m = \frac{0,0024}{0,22p^2 + 1} e^{-p0,5}.$$

Остаточна передаточна функція об'єкта управління набуде вигляду:

$$W(p)_{\text{оу}} = \frac{0,0024}{0,05p^2 + 0,25p + 1} e^{-p0,5}.$$

Для даної системи методом Нікольса-Зіглера [2] можна розрахувати такі налаштування для ПІ – регулятора:

$$K_{\text{пи}} = \frac{0,9 \cdot T_2}{K_m \cdot \tau}. \quad (5.21)$$

Відповідно до [2] $T_i = T_m = 0,22$.

Підставляючи отримані раніше значення формулу (5.21) отримаємо

$$K_{\text{пи}} = \frac{0,9 \cdot 0,22}{0,024 \cdot 0,5} = 16,5$$

тоді передаточна функція ПІ-регулятора набуде вигляду:

$$W(p)_{\text{пи}} = 16,5 \left(1 + \frac{1}{(0,5p + 1)} \right).$$

Як правило, при цих налаштуваннях система є стійкою, проте часто вона використовується лише як стартові налаштування при пуску та налагодженні регулятора. Процес налагодження полягає в наступному - виставляються або отримані налаштування, або значення менше їх у 2-3 рази, і поступово збільшуються, при цьому контролюється вихідна величина об'єкта управління. Як тільки вихід починає сильно відхилятися від уставки - припиняється вибір параметрів. Практика показує, що для досягнення найбільшої швидкодії постійна час інтегратора повинна перевищувати розраховану в 5-10 разів.

За отриманими даними збудуємо структурну схему САУ. Структурна схема САУ представлена Рис. 5.3.

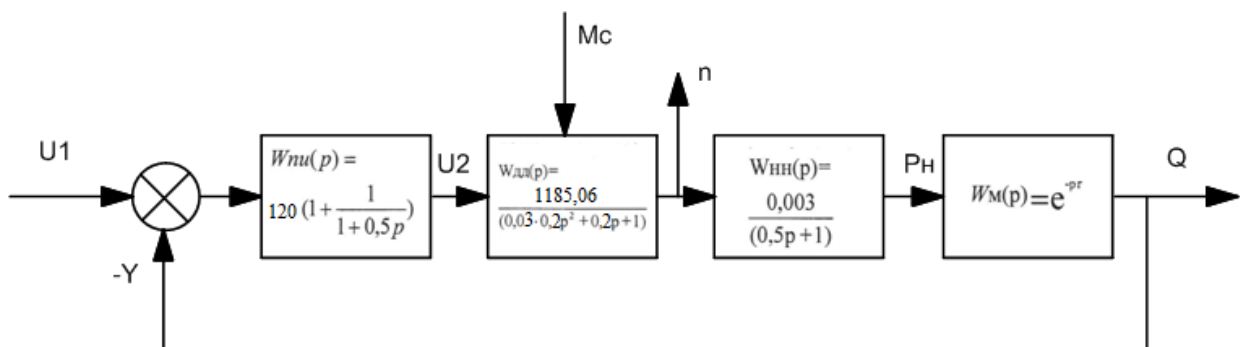


Рис. 5.3 Структурна схема САУ НУ

5.2 Дослідження САУ насосної установки

Моделювання системи автоматичного керування насосною станцією здійснено в програмі MATLAB SIMULINK.

Алгоритмічна схема САК насосної станції наведена на Рис. 6.1.

Проаналізуємо систему в наступних умовах: без обмеження та з обмеженням регулятора:

Контур навантаження, $M_C = 0,9 \cdot M_H = 0,9 \cdot 707 = 636,3 \text{ Нм}$

Залежність плавного пуску від інтенсивності та навантаження;

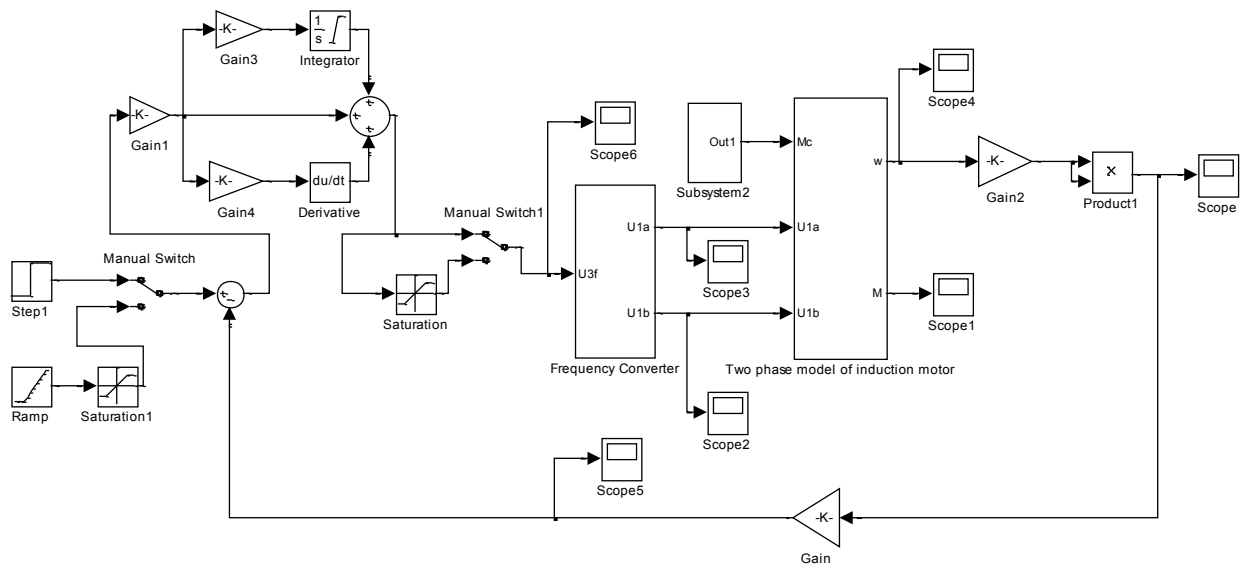


Рис. 6.1 – Алгоритмічна схема САУ насосної установки

Система складається з блоків. Блок реалізує елемент структурної схеми. Модель містить компоненти, для забезпечення працездатності та результатів моделювання.

Залежність зміни тиску без урахування обмежень регулятора тиску приведена на рис. 6.2., у якості навантаження використовується функція $1(t)$, без урахування на виході тиску.

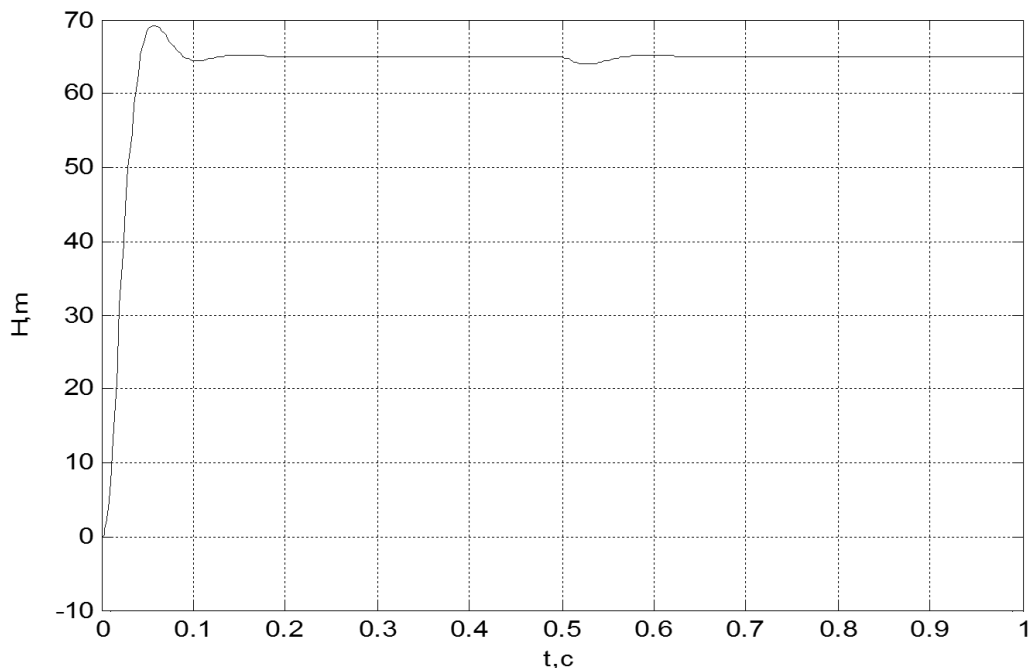


Рис. 6.2 – Залежність зміни моменту від навантаження

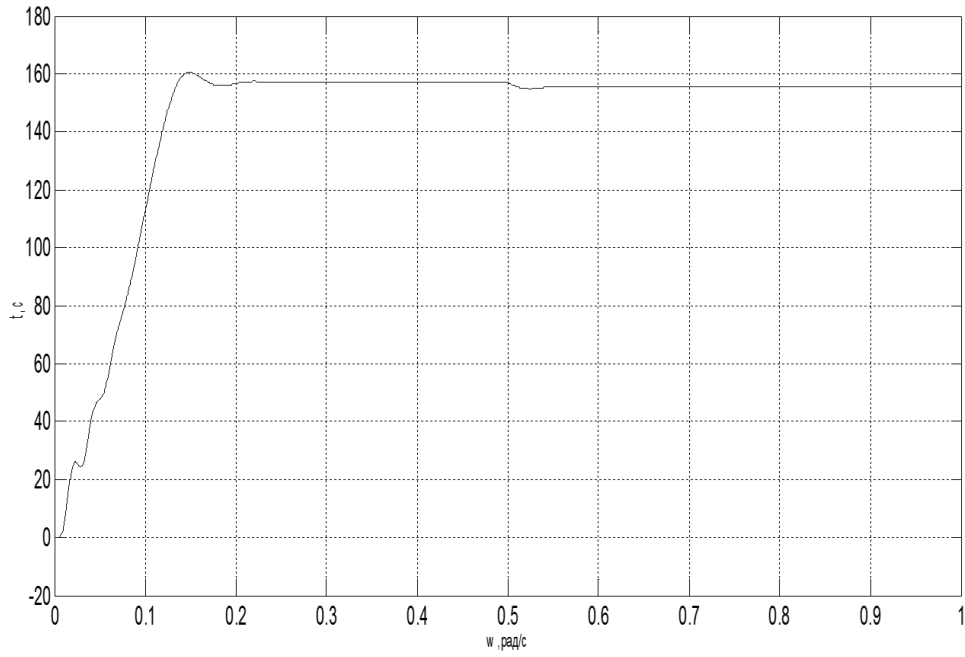


Рис. 6.3 – Графік зміни швидкості обертання насосу, на $1(t)$ одиничну ступінчасту дію, без урахування обмежень регулятора та накидання навантаження.

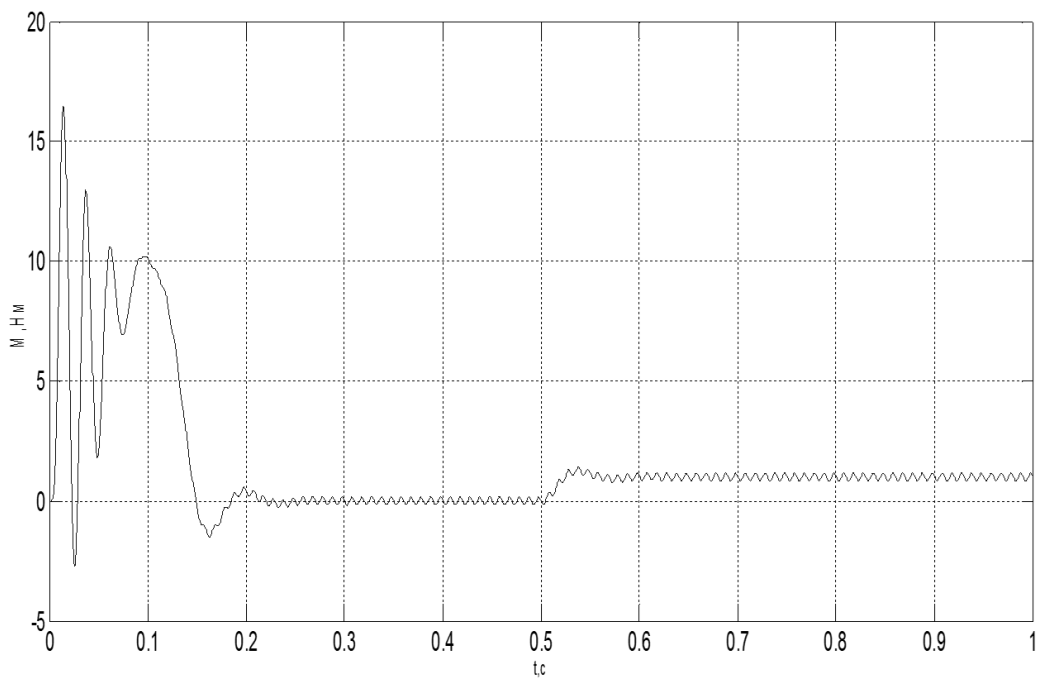


Рис. 6.4 – Залежність зміни моменту від завдання сигналу на вході без урахування обмежень регулятора та накидання навантаження.

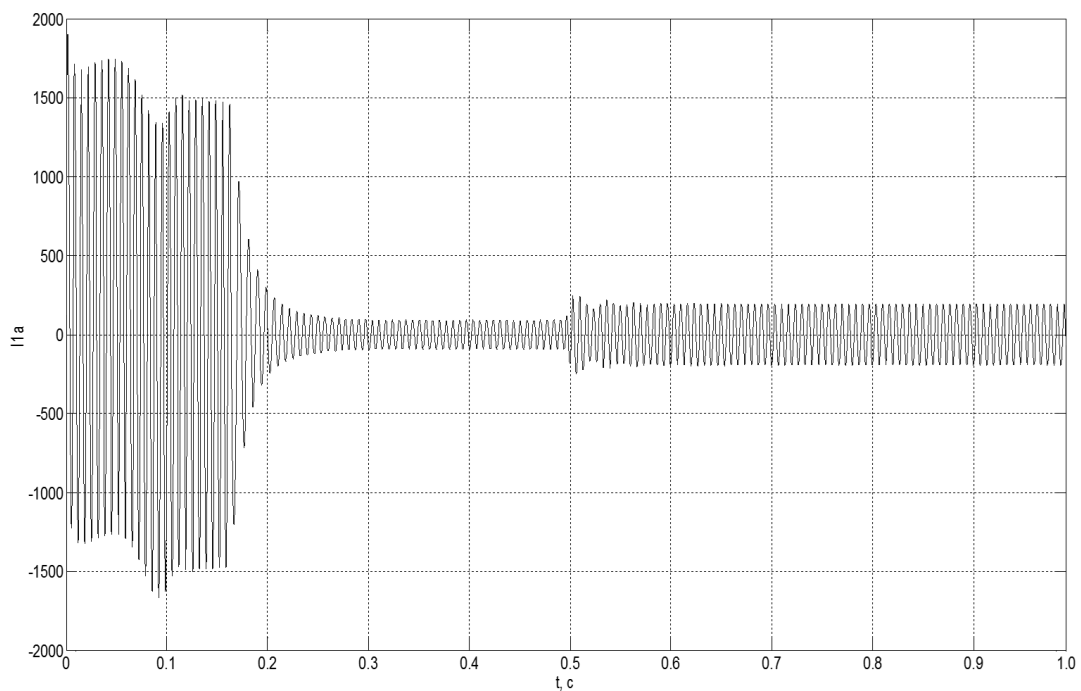


Рис. 6.5 – Залежність зміни струму I_{1a} , від завдання сигналу на вході без урахування обмеження тиску та накидання навантаження.

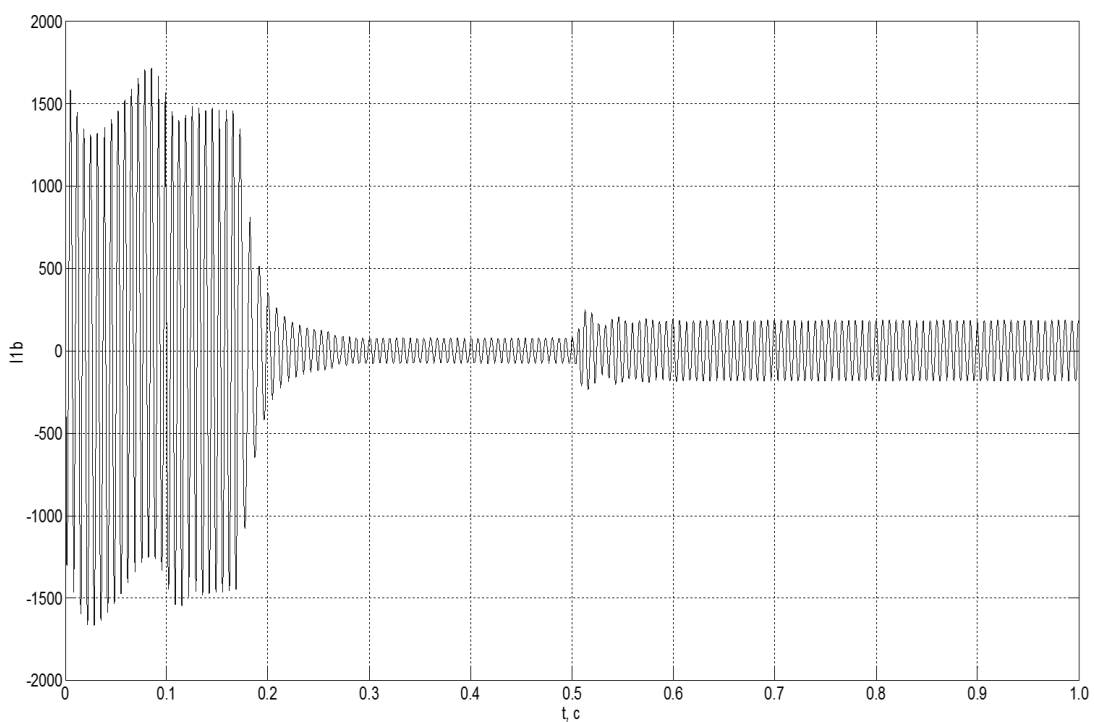


Рис. 6.6 – Графік зміни фази I_{1b} , від завдання сигналу на вході без урахування обмеження тиску та накидання навантаження.

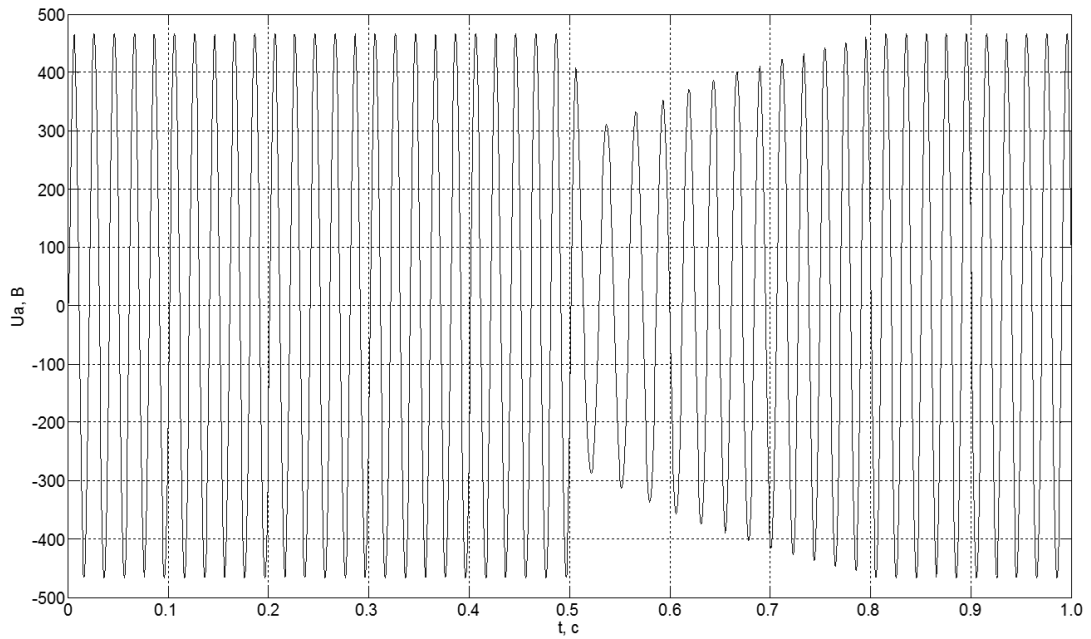


Рис. 6.7 – зміни напруги U_{1a} , від завдання сигналу на вході без урахування обмежень регулятора та накидання навантаження.

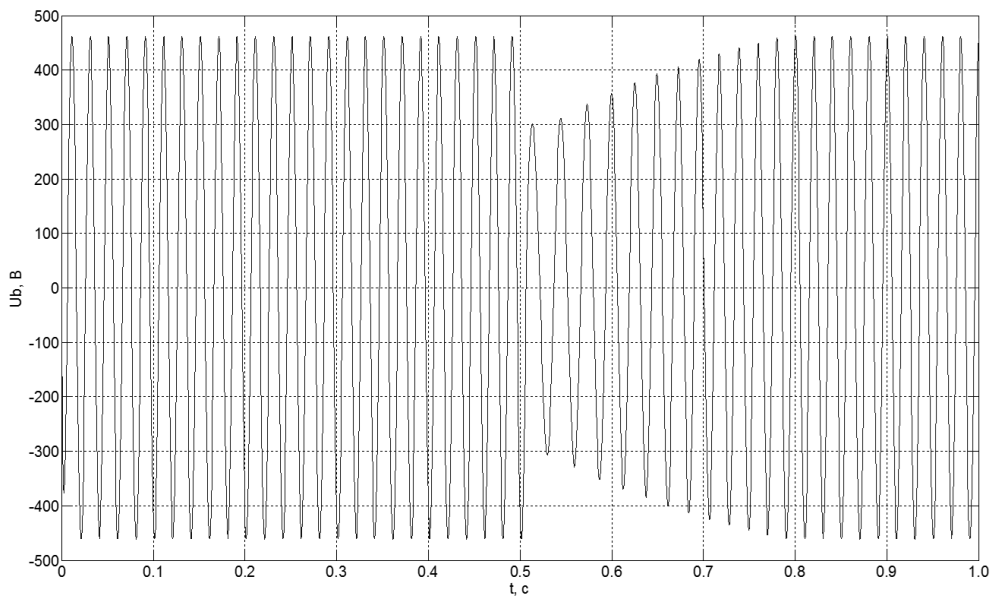


Рис. 6.8 – Графік зміни фази U_{1b} , від завдання сигналу на вході без урахування обмежень регулятора та накидання навантаження

ВИСНОВОК

- забезпечення автоматичного керування насосними агрегатами, клапанами засувки, що дозволить підвищити надійність усієї системи та виключити людський фактор, а також вивести людину з небезпечної робочої зони;

- Впровадження частотного регулювання швидкості електродвигунів насосних агрегатів дозволяє оптимізувати роботу насосної станції в залежності від кількості водних ресурсів, що споживаються. Це суттєво скоротить витрати електроенергії при регулюванні швидкості двигунів, а також продовжить термін експлуатації електричного обладнання внаслідок усунення нагрівання електродвигуна та силових ланцюгів;

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Water Supply and Pollution Control 8th Edition. by Warren Viessman Jr., Mark Hammer Sr., Elizabeth Perez, Paul Chadick. Pearson; 8th edition (June 9, 2008). – 864 pages.
2. Water Supply & Sanitary Engineering Paperback by Birdie G. S. Dhanpat Rai Publications P Ltd (January 1, 2010). – 984 pages.
3. Шадура В.О., Кравченко Н.В. Водопостачання та водовідведення: навчальний посібник. – Рівне : НУВГП, 2018. – 343 с.
4. Водопостачання та водовідведення: Конспект лекцій для студентів 1 курсу денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» спеціальності «Водопостачання та водовідведення»/ Автор: Сорокіна К.Б.. - Харків: ХНАМГ, 2009. – 80 с.
5. Хлапук М.М., Шинкарук Л.А., Дем'янюк А.В., Дмитрієва О.А. Гідротехнічні споруди: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 241 с.
6. Іженерні споруди: навч. посіб. / О.В. Інкін ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 219 с.
7. Насосні та повітродувні станції: навч. посібник / Т. О. Шевченко, Ю. В. Ярошенко, М. М. Яковенко, В. М. Беляєва; Харк. нац. ун-т міськ. госп. ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 191 с.
8. Водозабірні споруди з поверхневих та підземних джерел: навч. посіб. / Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. – Київ: КНУБА, 2023. – 284 с.
9. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навчальний посібник/ В.Г. Трегуб. – К.: Видавництво Ліра-К, 2014.
10. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Архангельська К.С., Власенко Л.О.— К.: НУХТ, 2014.

11. Трегуб В.Г. Автоматизація об'єктів періодичної дії: підручник / В.Г. Трегуб. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2017.
12. Вихревий витратомір Rosemount 8800D [Електронний ресурс]: сайт КСК Автоматизація. – Текст. дані. – К.: КСК Автоматизація, 2017. – Режим доступу: <https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet>.
13. Автоматизація виробничих процесів: підручник/ І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. – Вид. 2-ге, виправлене. – К.: Видавництво Ліра-К, 2015.
14. Бобух А.О., Малєєв О.І., Гейко О.В. Автоматизація систем водопостачання та водовідведення. Навчальний посібник. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 183 с.
15. Кованько В.В., Древецький В.В., Христюк А.О. Загальнотехнічні вимірювання і прилади. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 189 с.
16. Шефер О.В. Електропривод та автоматизація загальнопромислових механізмів: конспект лекцій. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – 154 с.
17. Методичні вказівки до виконання практичних робіт із дисципліни “Електропривод і автоматизація верстатів автоматів” для студентів спеціальності “Електромеханічні системи автоматизації та електропривод” денної та заочної форм навчання. – Полтава: ПолтНТУ, Укладач: М.В. Пугач, к.т.н., доцент 2013. – 52 с.
18. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й.Родькін, Сисюк Г.Ю.,Садовой О.В.– Кременчук, 2001. – 410 с.
19. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.
20. Проектування трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненою обмоткою ротора: навч. посібник [для студ. електротехн. спеціальностей] / В. І. Мілих. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – 99 с.

ДОДАТКИ

1. DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS

1.1. Classification of water supply of settlements

The city's water supply scheme consists of the following main elements:

- water intake facilities;
- water-lifting facilities, pumping stations that supply water to treatment facilities (pumping station of the 1st lift) or consumers (pumping station of the 2nd lift);
- treatment facilities;
- water towers and reservoirs;
- water pipes and a network of pipelines for transporting water from building to building or to consumers.

In practice, all natural sources of water used for water supply can be classified into three main groups:

- Surface sources;
- Underground springs;
- Artificial sources.

1.2. Mode of operation of the pumping station of the second lift

Depending on the layout of the facility supplied with water and the mutual location of the pumping station and pressure accumulators, the following systems are distinguished:

- without towers;
- with a tower at the beginning of the network;
- with a counter tank.

The volume and mode of water consumption change continuously depending on random events and are characterized by significant unevenness.

Pumps of the II rise supply water directly to the consumer's network, and therefore the mode of operation of the pumping station of the II rise is determined depending on the mode of water consumption of the object. For the pumping

station II lift, calculations of the operating mode should be made for the following cases:

- work during the hours of the highest and lowest water consumption per day of maximum water consumption;
- the operation of the system during fire extinguishing in the hours of the greatest water consumption; operation of the pumping station in case of accidents.

For a system with a counter-reservoir, in addition to the specified calculations, it is necessary to make a calculation in the case of the largest transit of water into the counter-reservoir.

In a system without a tower, water is supplied by a pumping station directly to the network, so the pumps are selected based on the calculation of the maximum water consumption per day. For this purpose, a combined schedule of the pumping station and the network is built, and the supply security at different hours of the day is analyzed. Also, the system requires the installation of more pumps, but there is no need to build a pressure accumulator.

In a water supply system with a pressure accumulator, the maximum supply of the pumping station is taken less than the maximum hourly flow and brings the schedule of the operation mode of the pumping station II rise to the schedule of water consumption, but this does not mean that the schedules must match exactly. Water consumption in water supply systems is very uneven, therefore, if we adopt a mode of water supply by pumps that exactly correspond to the mode of water consumption, it is necessary to turn on and off the pumping units very often, which will make the operation of pumping stations extremely difficult.

When water is supplied by pumps of II lift, large water consumption, excess water enters the storage tank. In hours when water consumption exceeds supply, excess water enters the network from the storage tank. Therefore, the greater the difference between the supply and consumption of water, the larger the storage capacity should be.

When determining the supply of the pumping station II lift, it is necessary to find the optimal version of its operation mode - the minimum capacity of the

storage tank and the lowest frequency of switching on the pumping units. The operation of the pumping station is assumed to be two- or three-stage (the operation of a different number of pumps at different hours of the day is called staged).

Uniform operation of the pumps is recommended for water supply systems with a supply of no more than 15,000 m³/day, because larger storage tanks are required for a larger supply. When the pumping station operates in stages, the volume of the accumulating capacity is taken to be 2.5 - 6%, with a uniform 8 - 15% daily supply of the station. From which it follows that the mode of operation of the pumping station II lift largely depends on the capacity of the accepted storage tank. When choosing the volume of pressure accumulators, it is recommended to adopt typical projects of water pressure towers.

The total amount of water entering the tank of the water tower per day during the mode of operation of the pumping station according to the II option is equal to 4.2% of the maximum daily amount; in the mode of operation according to the III variant, the inflow of water into the tower is reduced to 3.55%, which allows to reduce operating costs, since the pressure when supplying water to the network is less than when supplying water to the tank of the water tower. It was established that when water is supplied to the pressure accumulator, the pressure in the network increases, and there is a direct relationship between the pressure and water loss. When the pressure at the entrance to the house is reduced by 10 m, the daily water consumption is reduced by 5-10%.

The final choice of pump station operation mode is established based on the technical and economic calculation of competing options, taking into account local conditions.

The analysis of the operating modes of the pumping stations shows that with stepped operation, a significant reduction in the capacity of the tank, water tower and some reduction of the necessary total height of water lifting by the pumps due to the lower height of the tank is possible. As can be seen from the given example, with stepped operation of the pumps, the capacity of the water tower tank can be

significantly (almost 3 times) less than with uniform operation, but the area of the pumping station increases due to the installation of a larger number of pumps (albeit of lower power) and the capacity of underground tanks, as station I of the lift usually operates uniformly.

In practice, the diameter of the water pipes also increases, because with stepped operation, they must be designed for the passage of a larger amount of water than with uniform operation. Experience in the design and operation of water supply systems shows that for small water pipes, uniform operation of pumps is usually advantageous, for large ones - stepped operation, and for medium water pipes, the longer the length of water pipes, the more advantageous uniform operation.

1

Спрощена схема системи водопостачання

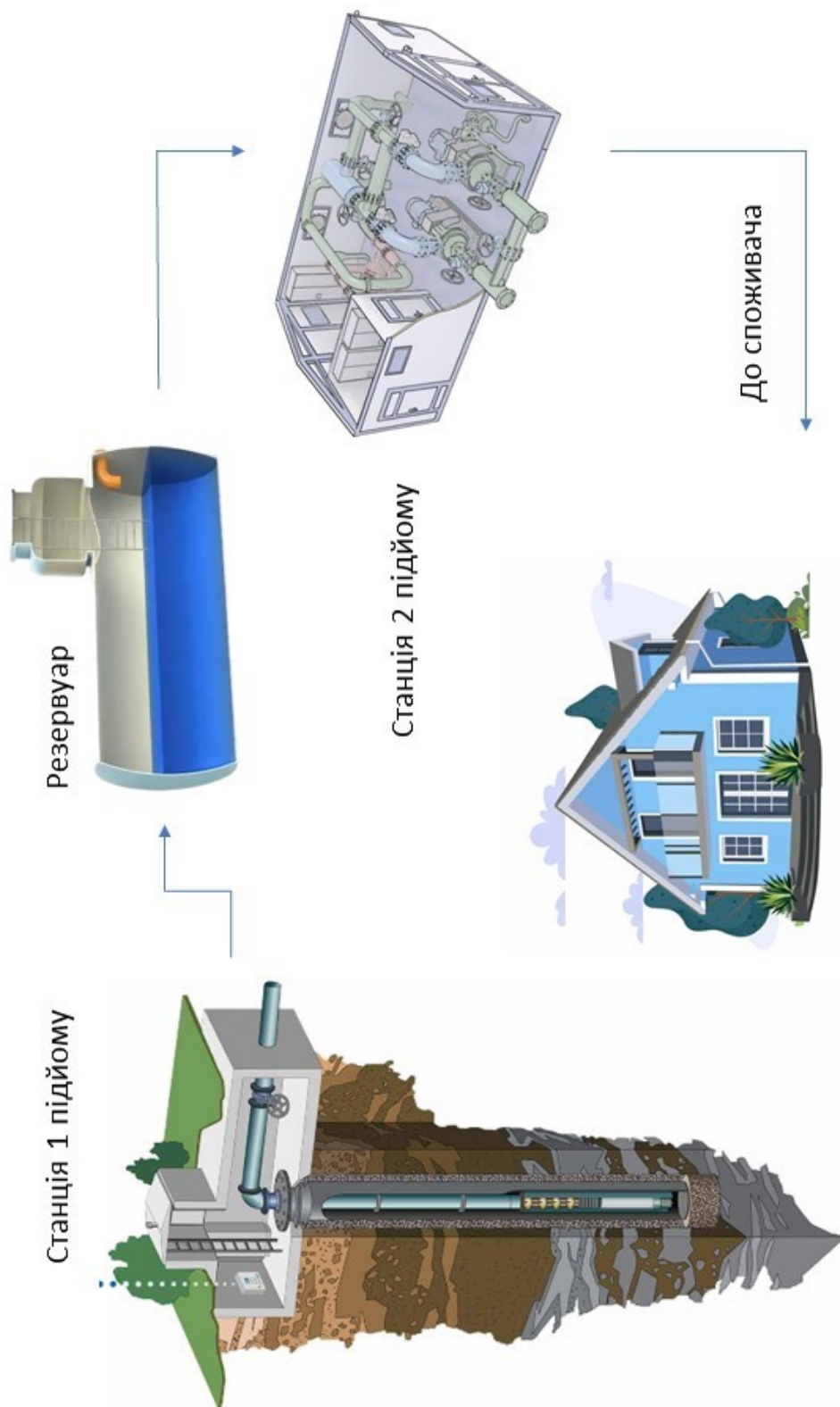
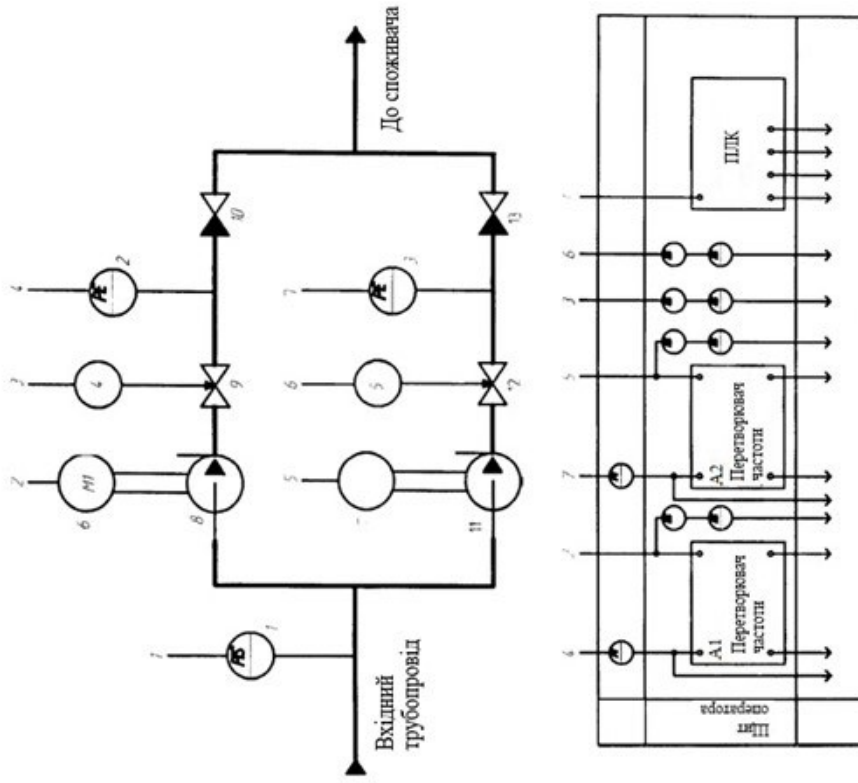


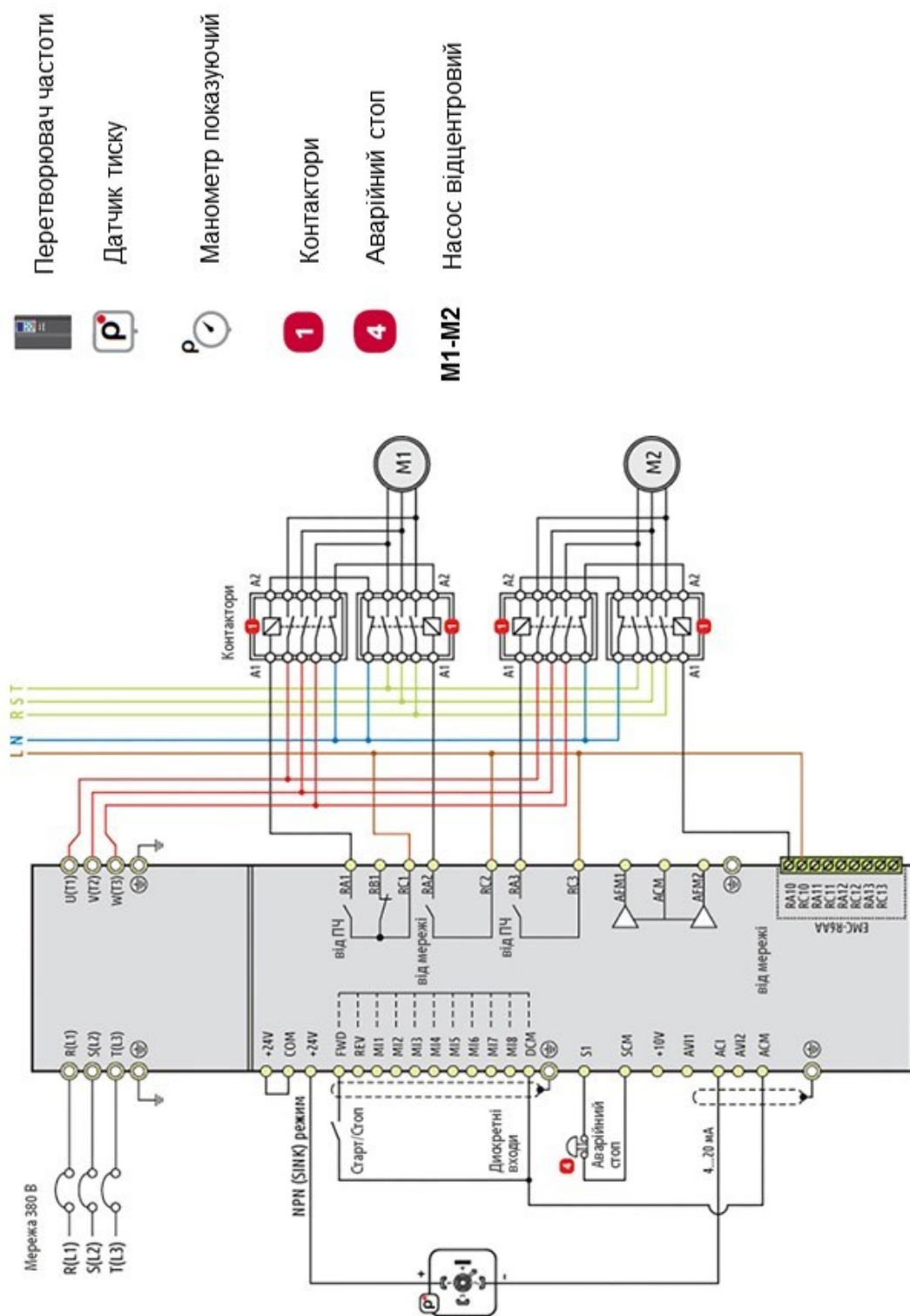
Схема функціональна основних вузлів системи автоматизації



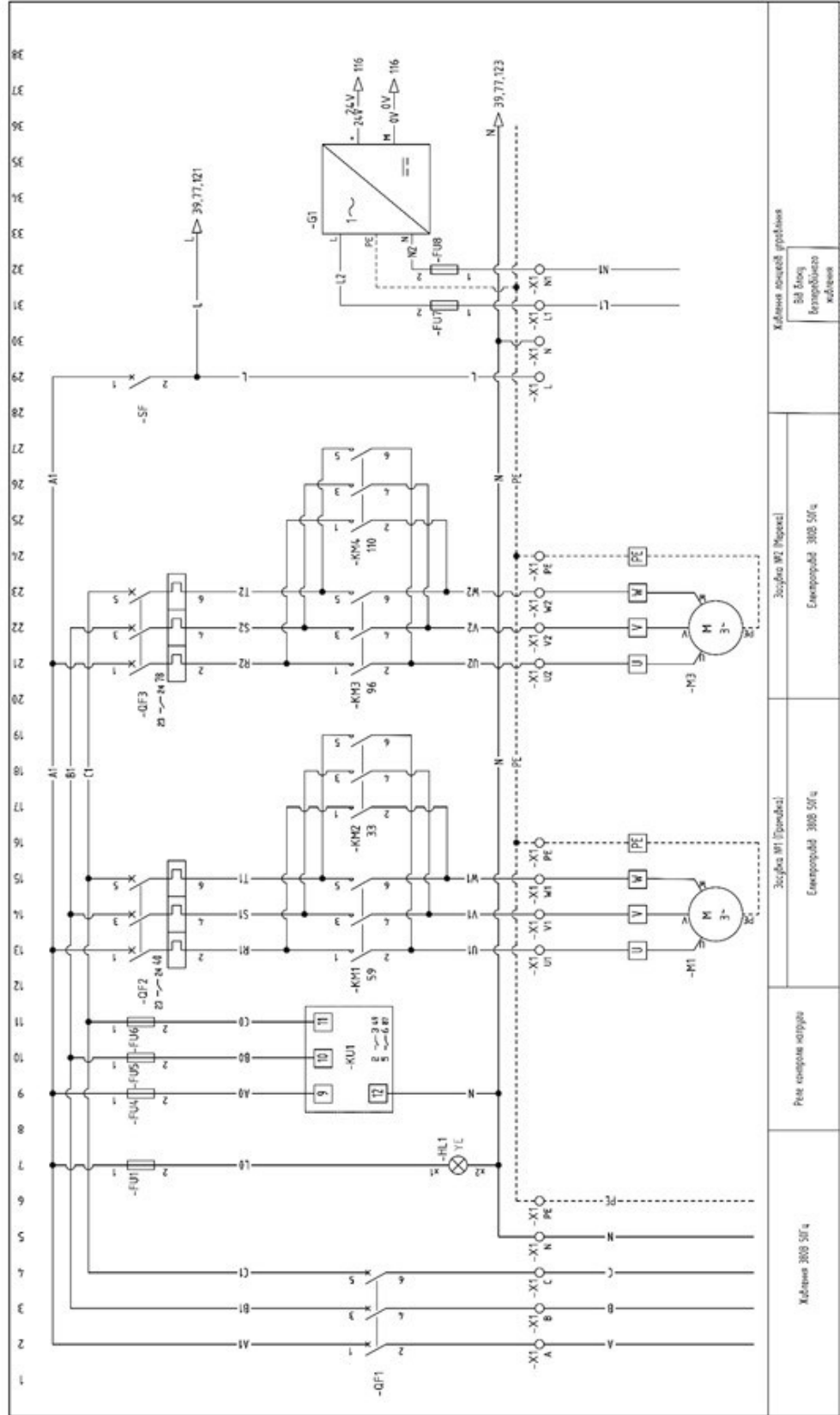
- 1 – Датчик тиску захисту від сухого ходу; 2 – Датчик тиску в трубопроводі насоса 1; 3 – Датчик тиску в трубопроводі насоса 2; 4 – Виконавчий механізм клапана 1; 5 – Виконавчий механізм клапана 2; 6 – Електропривод M1 насоса 1; 7 – Електропривод M2 насоса 2; 8 – Відцентровий насос 1; 9 – Керований клапан 1; 10 – Зворотний клапан 1; 11 – Відцентровий насос 2; 12 – Керований клапан 2; 13 – Зворотний клапан 2.

Схема функціональна підключення ПЧ

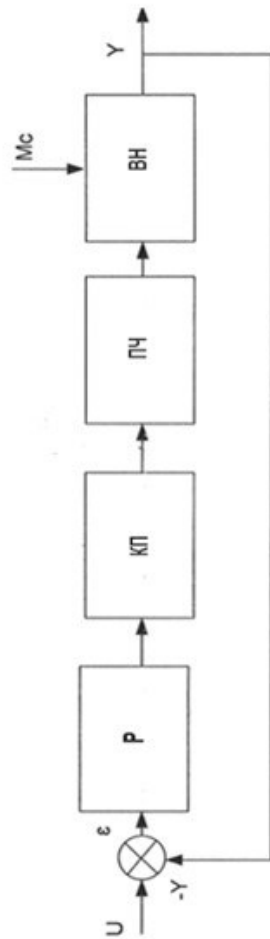
3



Шафа управління засувками з електроприводом Схема електрична принципова

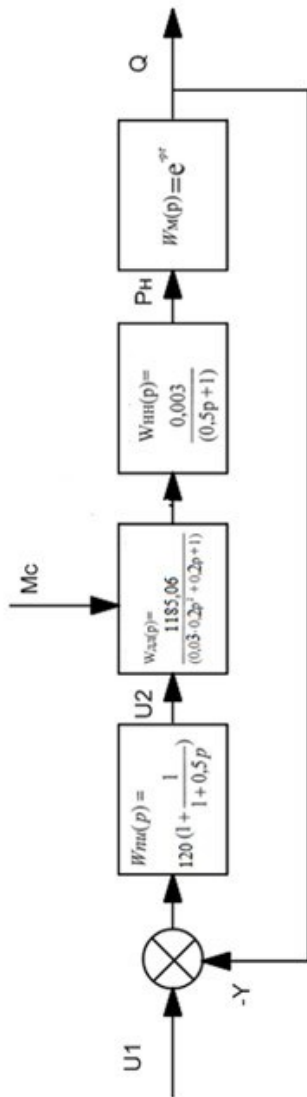


Система автоматичного керування насосними агрегатами



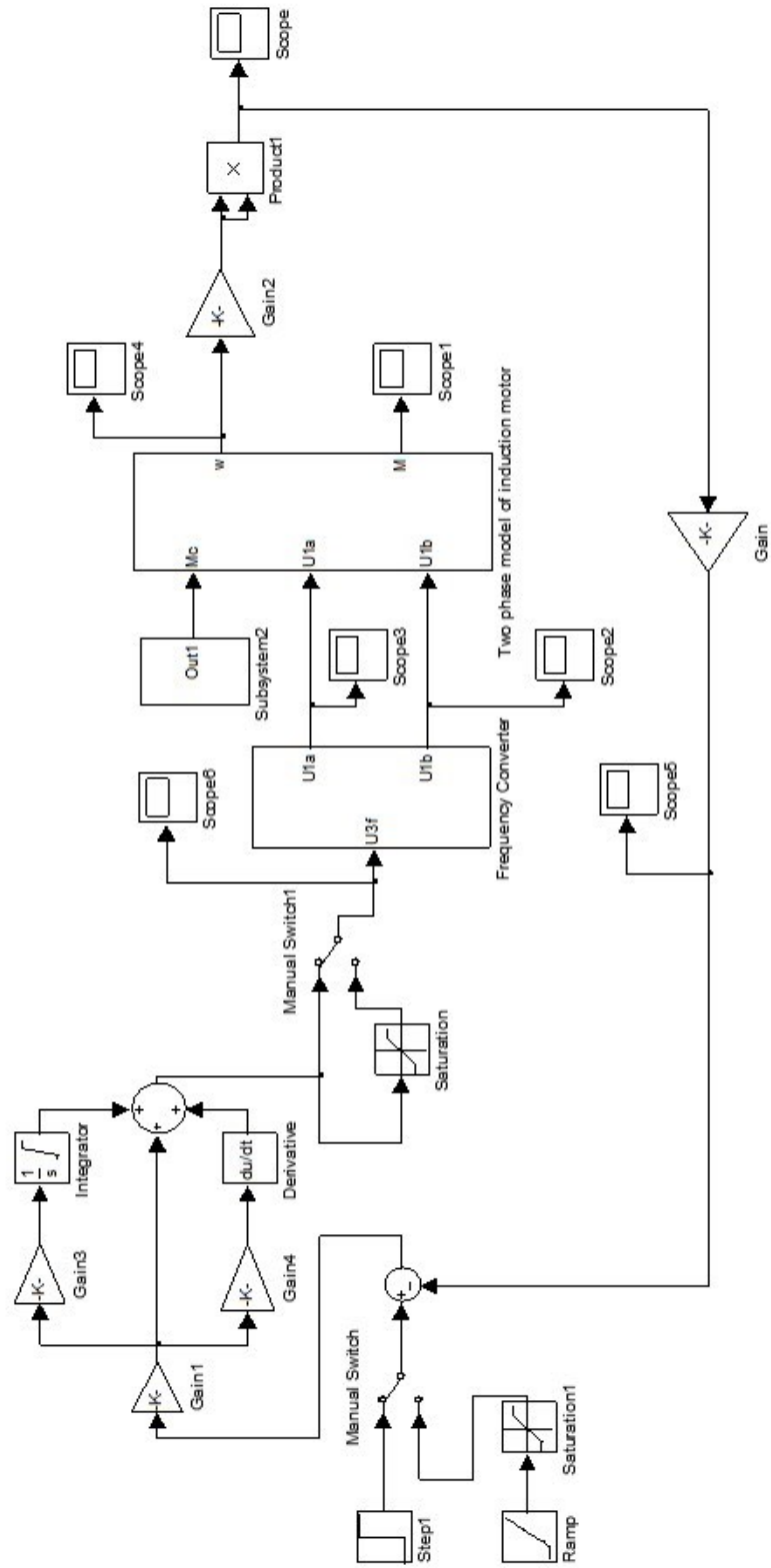
Структурна схема САК

Система складається з регулятора (Р), керуючого пристрою (КП), що отримує завдання U і впливає через ПЧ на швидкість ротора асинхронного двигуна і як наслідок - на крильчатку відцентрового насоса (ВН), Об'єм води (Y), що перекачаний насосом; Mc – збурення (момент опору двигуна).



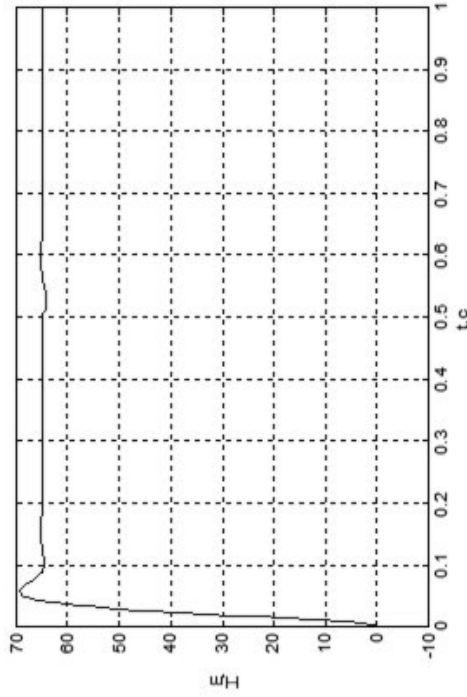
Математична модель САК

Алгоритмічна схема САК насосними агрегатами

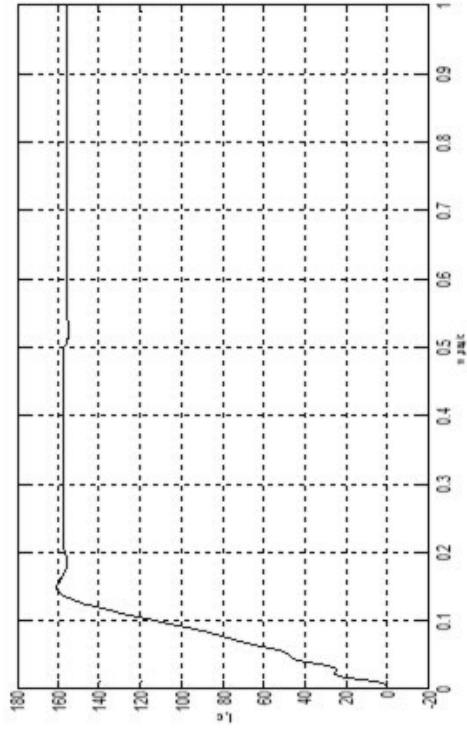


Перехідні процеси САК насосом

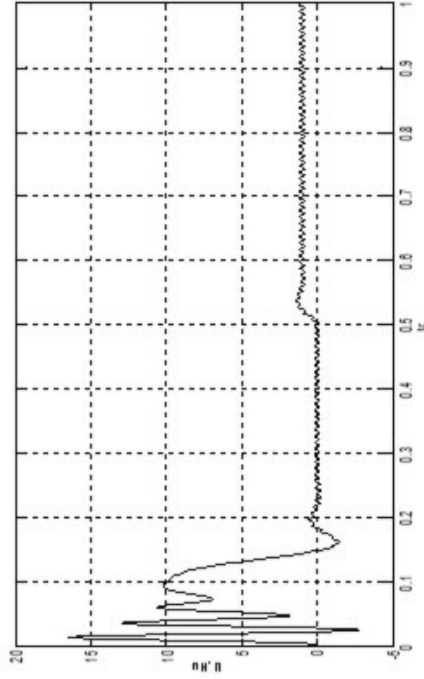
7



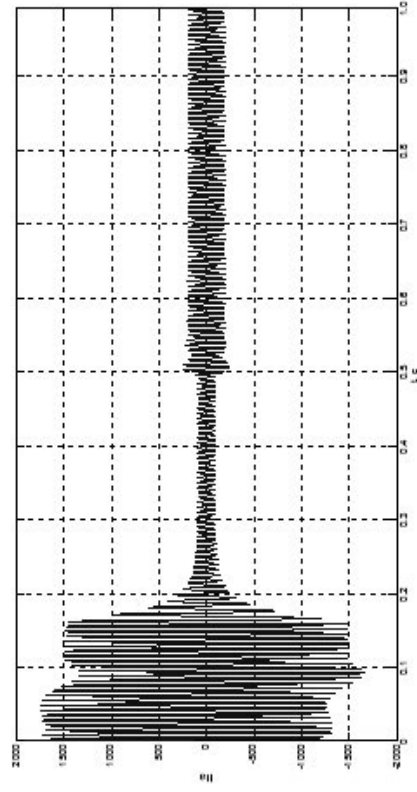
Залежність зміни моменту від навантаження



Зміни швидкості обертання насосу, реакція системи на $1(t)$, без урахування обмежень регулятора та накидання навантаження.



Залежність зміни моменту від завдання сигналу на вході без урахування обмежень регулятора та накидання навантаження



Залежність зміни струму I1a, від завдання сигналу на вході без урахування обмеження тиску та накидання навантаження

