

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

УСТИЧЕНКО Юрій Олександрович

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ
ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ / AUTOMATED CONTROL
SYSTEM FOR THE PROCESS OF INDUSTRIAL WATER SUPPLY**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
магістерська програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Магістерська робота

Виконав студент групи АКІТм-21
Ю.О. Устиченко

Науковий керівник:
д.т.н., доцент Н.Я. Возна

Магістерську роботу допущено до захисту:
" ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри
_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2022

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій

Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

Ступінь вищої освіти "магістр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Устиченко Юрій Олександрович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматизована система управління процесом промислового водопостачання / Automated industrial water supply process management system

керівник роботи д.т.н., доцент Н.Я.Возна

затверджені наказом по університету від "31" грудня 2021 р. №606

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи:

16 листопада 2022р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Класифікація систем водопостачання

2. Основні характеристики насосів

3. Автоматизація сучасних систем водопостачання

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз технологічного процесу водопостачання промислового підприємства

2. Визначення контрольованих параметрів та вибір технічних засобів автоматизації

3. Розрахунок математичної моделі регулювання тиску у водопроводі

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу водопостачання промислового підприємства	11.2021р. – 12.2021р.	
2	Визначення контрольованих параметрів та вибір технічних засобів автоматизації	01.2022р. – 04.2022р.	
3	Розрахунок математичної моделі регулювання тиску у водопроводі	04.2022р. – 10.2022р.	

Студент

(підпис)

Устиченко Ю.О.

Керівник роботи

(підпис)

д.т.н., доц. Возна Н.Я.

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 61 сторінці та містить 27 рисунків, 5 таблиць, 25 джерел за переліком посилань.

Мета роботи. Метою роботи є розробка оптимальної автоматизованої системи керування водопостачання промислового підприємства, яка забезпечує операторові повний контроль над функціонуванням водозабірною вузла.

Результати роботи. Автоматизація технологічного процесу промислового водопостачання дає можливість підвищити ефективність функціонування систем водопостачання за рахунок застосування методів енергозберігаючого управління режимами роботи насосних станцій.

Рекомендації по використанню результатів роботи. Автоматизована система управління технологічного процесу промислового водопостачання дозволяє знизити енергоємність насосної станції, вдосконалити управління технологічним обладнанням і покращити за рахунок цього показників функціонування системи в цілому.

Результати роботи служитимуть інструментом для ефективнішого управління технологічним процесом промислового водопостачання.

Ключові слова: АВТОМАТИЗАЦІЯ, СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ, НАСОСНА СТАНЦІЯ, УПРАВЛІННЯ.

ABSTRACT

Work is executed on 61 pages and including 27 illustrations, 5 table, 25 sources after the list of references.

Purpose of work. The aim of the work is to develop an optimal automated control system for water supply of an industrial enterprise, which provides the operator with full control over the operation of the water intake unit.

Job performances. Automation of the technological process of water supply of an industrial enterprise will increase the efficiency of water supply systems through the use of methods of energy-saving control of pumping stations.

Recommendations after the use of job performances. The automated control system of the technological process of industrial water supply allows to reduce the energy consumption of the pumping station, to improve the management of the technological equipment and, due to this, to improve the functioning of the system as a whole.

The results of the work will serve as a tool for more effective management of the technological process of water extraction and transportation.

Keywords: AUTOMATION, WATER SUPPLY SYSTEM, PUMP STATION, CONTROL.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	10
1.1 Аналіз систем постачання води	10
1.2 Аналіз систем промислового водопостачання.....	13
1.3 Технологічна схема водоочисних споруд	16
2. ВИЗНАЧЕННЯ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	18
2.1. Аналіз автоматизації систем водопостачання	18
2.2 Система моніторингу і управління водозабірним вузлом.....	19
2.3 Зв'язок віддалених об'єктів з диспетчерським пунктом	19
2.4 Оцінка параметрів контролю та регулювання	22
2.5 Аналіз складу, технічних характеристик, основних завдань об'єкту управління.....	24
2.5.1 Оснащення свердловин	24
2.5.2 Устаткування електроцитової насосної станції	25
2.6 Вибір засобів автоматизації	27
2.6.1 Перетворювачі частоти серії VLT 6000 HVAC	27
2.6.2 Пристрій плавного запуску електродвигунів MCD 3000.....	29
2.6.3 Заглибний зонд LMP 308.....	31
2.6.4 Вимірювальний перетворювач MBS 3000	32
2.6.5 Економічний індукційний витратомір SIMA FC 2.....	33
2.6.6 Характеристика контролера Lagoon I-7188 і модулів вводу/виводу	35
3 РОЗРАХУНОК МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ	41

У ВОДОПРОВІДІ	
3.1 Основні характеристики роботи насосів.....	41
3.1.1 Паралельна робота групи насосів.....	42
3.1.2. Аналітичні оцінки відцентрових насосів.....	44
3.2 Визначення статичних та динамічних характеристик об'єкта.....	49
3.2.1 Регулювання тиску в трубопроводі.....	49
3.2.2 Розрахунок коефіцієнтів передавальної функції двигуна.....	49
3.2.3 Розрахунок коефіцієнтів передавальної функції трубопроводу..	53
3.2.4 Розрахунок коефіцієнтів передавальної функції частотного перетворювача Danfoss – VLT 6000.....	55
3.3 Визначення оптимальних коефіцієнтів регулятора.....	56
3.4 Визначення частотних характеристик об'єкта.....	58
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
ДОДАТОК А Копії публікацій.....	64

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВЗВ - водозабірний вузол;

ТП - технологічний процес;

ПП - промислове підприємство;

НС - насосна станція;

ПВ - промислове водопостачання;

АСК - автоматизована система керування;

РЧВ - резервуар чистої води;

ТПР - технологічні параметри;

ППЗЕ - пристрій плавного запуску електродвигунів;

ПД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор.

ВСТУП

Враховуючи високі вимоги по безперервності подачі води на підприємства, автоматизація необхідна, в першу чергу, для ефективнішого управління технологічним процесом (ТП) добування і транспортування води. Це дозволить значно знизити витрати енергії і раціональніше розпорядитися наявними ресурсами.

Системи водопостачання відносяться до числа найбільш ресурсоємних виробництв. Найбільшою складовою ресурсоємності є енергоспоживання. Україна відноситься до енергодефіцитних країн. Тому економія електроенергії визнана найважливішим напрямком енергетичної політики в Україні. Розроблені комплексна державна і регіональні програми енергозбереження. Другою складовою ресурсоємності є витрата води, природні запаси якої обмежені. Третьою складовою являється дороге технологічне обладнання, особливо трубопровідні системи, строк служби якого залежить від частоти виникнення перевантажень. У вище сказаному закономірно актуальною є науково-технічна проблема зниження енергоємності технологічного процесу водопостачання. Вирішенням цієї проблеми досягаються соціальні та економічні результати, що поліпшують умови життя людей, підвищують економічний потенціал держави, зменшують екологічний збиток [1-4]. Зазначена проблема вирішується в основному двома шляхами. Перший з них полягає в застосуванні більш досконалого технологічного і електротехнічного обладнання, а другий — в розвитку систем автоматизації насосних станцій (НС) з метою вдосконалення процесів управління технологічним обладнанням і поліпшення за рахунок цього економічних показників функціонування системи водопостачання.

Підставою для автоматизації ТП водопостачання промислового підприємства (ПП) є недостатньо високий рівень автоматизації технологічних процесів у вітчизняних системи водопостачання [3-6].

Внаслідок цього задачі енергозбереження не можуть успішно

вирішуватися. Зокрема, практично не використовуються інформаційні технології управління, застосуванню регульованого електропривода не приділяється достатньої уваги. Сучасний стан систем автоматизації процесів водопостачання в промислово розвинутих країнах характеризується традиційним підходом вирішувати задачі енергозбереження виключно засобами регулювання заслінкою тим самим регулюючи витрату. Проте останнє в більшості випадків є економічно недоцільним, бо суперечить принципу достатності. Сучасні принципи побудови автоматизованих систем енергозберігаючого управління процесом водопостачання базуються на основі частотного керування електроприводу.

Метою дослідження є розробка оптимальної автоматизованої системи керування водопостачання промислового підприємства, яка забезпечує операторові повний контроль над функціонуванням водозабірної вузла (ВЗВ), але при цьому не переобтяжена зайвими можливостями, які могли б позначитися на збільшенні її вартості. Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі завдання:

- модернізація засобів автоматизації;
- застосування в автоматизованій системі управління ТП водопостачання мікропроцесорних контролерів “Lagoon”;
- побудова математичної моделі регулювання тиску у водопроводі;
- визначення оптимальних коефіцієнтів регулятора.

Об’єкт дослідження. Система водопостачання промислового підприємства.

Предмет дослідження. Система управління насосної станції.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі розрахунку передавальних функцій відцентрового насоса, трубопроводу, давача та частотного перетворювача визначено якісні характеристики об’єкта управління. На їх основі побудовано математичну модель об’єкта керування тиском, що дало змогу визначити оптимальні коефіцієнти регулятора.

Синтез ПД-регулятора дозволяє покращити якість роботи системи

автоматизованого управління і швидкість швидкість спрацьовування та передачі даних.

Практичне значення одержаних результатів. Автоматизація технологічного процесу водопостачання промислового підприємства дозволить підвищити ефективність функціонування систем водопостачання за рахунок застосування методів енергозберігаючого управління при роботі насосних станцій.

Апробація. Устиченко Ю.О. Дослідження технологічного процесу та розробка аск водопостачання промислового підприємства / Ю.О.Устиченко - Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" (АКІТ - 2021). - Тернопіль, 2021. –С.29-32.

Устиченко Ю. автоматизована система управління технологічним процесом промислового водопостачання / Ю.Устиченко - Збірник матеріалів науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Кібербезпека та комп'ютерно- інтегровані технології» (КБКІТ - 2021), Тернопіль, 2021. – С.106-109.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

У даній роботі буде обґрунтовано актуальність розвитку систем автоматизованого управління НС для зниження енергоємності технологічного процесу водопостачання, вдосконалення процесів управління технологічним обладнанням і покращення за рахунок цього показників функціонування системи водопостачання в цілому [1-3, 10, 11].

1.1 Аналіз систем постачання води

Система постачання води – це система компонентів, які включають будівлі, агрегати, машини, об'єднані в єдиний комплекс, призначений для видобутку води. Після її видобутку з джерел приймаються заходи для покращення її якості, зберігання, транспортування і подачі споживачам [6-9]. Такий комплекс складається із споруд, що приймають, підіймають, очищають, регулюють рівень води, підтримують напір, а також мережу водоводів і розподільних мереж, засобів автоматизації. Інколи споруди можуть об'єднуватися або деякі не використовуватися. Це залежить від географічних особливостей місцевості.

Централізована система водопостачання забезпечує в кінцевому результаті подачу води споживачеві. Досягненню результату передують приймання в необхідній кількості води з джерела, очищення (при необхідності), передачу до обслуговуваного об'єкта [8, 9]. В систему водопостачання включені компоненти, показані на рисунку 1.1.

На розташування споруд на схемі водопостачання впливають певні фактори, а саме:

- тип джерела і якість води у ньому;
- вимоги споживачів до води;
- розміри водоспоживання;

- продуктивність джерела;
- рельєф місцевості та наявність перешкод для будівництва споруд;
- географічне розміщення користувачів;
- екологічні фактори.

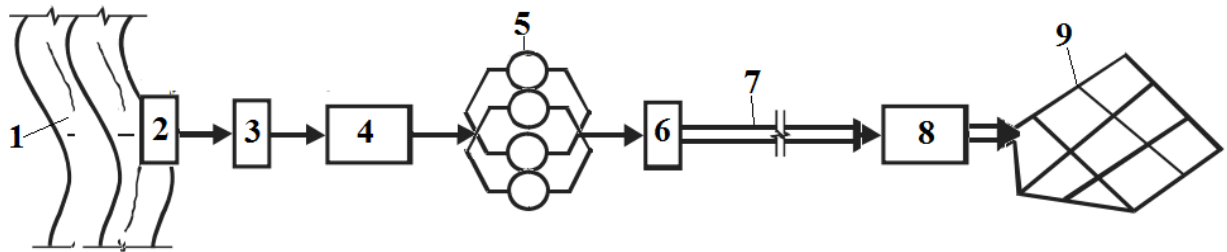


Рисунок 1.1 – Узагальнена схема водопостачання (1 – джерело водопостачання, 2 – споруда забору води, 3 – першорівнева насосна станція, 4 – очищення, 5 – ємкості для зберігання очищеної води, 6 - другорівнева насосна станція, 7 – магістральні водопроводи, 8 – водонапірна башта, 9 – розподільна мережа)

Водозабірні споруди (їх ще називають водоприймальними спорудами чи водозаборами), призначені вони для видобування води з природних джерел.

Водопідіймальні споруди або насосні станції [6-9], створюють тиск для передавання води далі - на очисні споруди. Першорівневі насосні станції (НС) 1 застосовуються для передавання води від джерела на очисні споруди; другорівневі НС 2 - для передавання вже відфільтрованої води з резервуару (РЧВ) в магістральні водопроводи, а після - в розподільну мережу; решта НС застосовують при необхідності (для створення необхідного тиску в трубопроводах).

Очисні споруди призначені для покращення якісних показників води.

Водонапорні башні і резервуари є запасними і регулюючими ємкостями.

Мережа водоводів і розподільних компонентів забезпечує передачу води до споживача; мережа магістральних водоводів забезпечує транспортвання води; мережа водорозподільна подає воду прямо на підприємство.

Всі існуючі системи водопостачання класифікуються наступним чином

[6-9]:

- за територіальними ознаками – локальні (місцеві); групові, централізовані;
- за видом об'єктів, що обслуговуються – комунальні (міста і селища); сільськогосподарські (для потреб фермерських господарств); індустріальні, комбіновані;
- за видом джерел – поверхневі, підземні, змішані;
- за якістю – питні, господарські, технічні;
- за способами подачі – самоплинні, механічні (застосування насосів), комбіновані;
- за часом роботи – постійнодіючі, тимчасоводіючі, сезоннодіючі;
- за ступенем надійності – першої, другої і третьої категорій.

Технологічні процеси промислових підприємств вимагають використання води для промивання сировини, охолодження готового продукту і для сервісу обладнання. Вимоги щодо кількості і якості води цієї категорії споживачів диктуються технологією виробництва. Наприклад, вода низької жорсткості, незначного вмісту заліза і марганцю, а інколи і повної деіонізації використовується в хімічній, текстильній промисловості. Вода певної температури, де відсутні грубі частинки, де міститься мінімальна кількість органічних забруднень, використовується для охолодження виробничих агрегатів. Для господарств паросилового типу необхідна велика кількість води, що не містить ніяких домішок. Інакше вони можуть викликати відкладення накипу, корозію металу, спінювання, вигнання з парою солей.

Господарські системи водопостачання забезпечують водою для санітарно-гігієнічних потреб, приготування їжі і пиття. Вода тут повинна бути високої якості. Виробничі системи покривають технологічні цілі. У даному випадку технологи визначають вимоги до якості води. Протипожежні системи призначені для подачі води під час виникнення пожежі. Якісні показники такої води можуть бути довільними.

1.2 Аналіз систем промислового водопостачання

Вода використовується при будь-якому технологічному процесі. До основних функцій використання води у виробництві слід віднести: зниження температури, промивка, утворення пари, транспортування, як складник готової продукції.

Найчастіше і найбільший об'єм води використовується в процесі охолодження. Зниження температури відіграє важливу, а інколи основну, роль у технологічних процесах у електроенергетиці при охолодженні конденсаторів парових турбін, охолодженні печей (сталеплавильних, доменних), у нафтопереробній та хімічній промисловості. Процес промивання є важлими у ТП легкої промисловості (текстильній, паперовій, целюлозній та ін.). Пароутворення застосовується на теплових електростанціях та теплоенергетичних установках, функцію транспортування вода виконує при транспортуванні різних матеріалів на теплових станціях та збагачувальних фабриках.

Основним параметром промислового водопостачання (ПВ) є те, що вода, яка використалася, у багатьох випадках не зливається, а використовується у виробництві повторно. Пов'язується це з тим, що різні технологічні процеси спожитковують різну воду (воду з різними показниками якості), вимагають різну величину тиску в межах одного підприємства.

Відповідно, на промислових підприємствах часто застосовуються різні системи подачі води: прямоточна, послідовна (повторна) або оборотна (рисунок 1.2).

Прямоточне водопостачання (рисунок 1.2, а) передбачає одноразову подачу води до споживача і скидання її у каналізацію після використання. У даному випадку повторне використання води є недоцільним або неможливим через те, що вона або змінила свій склад або увішла до складу кінцевого продукту. Тому вона зливається у каналізацію або на очисні споруди.

Даний тип постачання води застосовують тоді, коли джерело є досить

потужне, при цьому розташоване воно недалеко (не $> 2 - 3$ км) і висота майданчика ПП над рівнем води незначна (15 - 20 м).

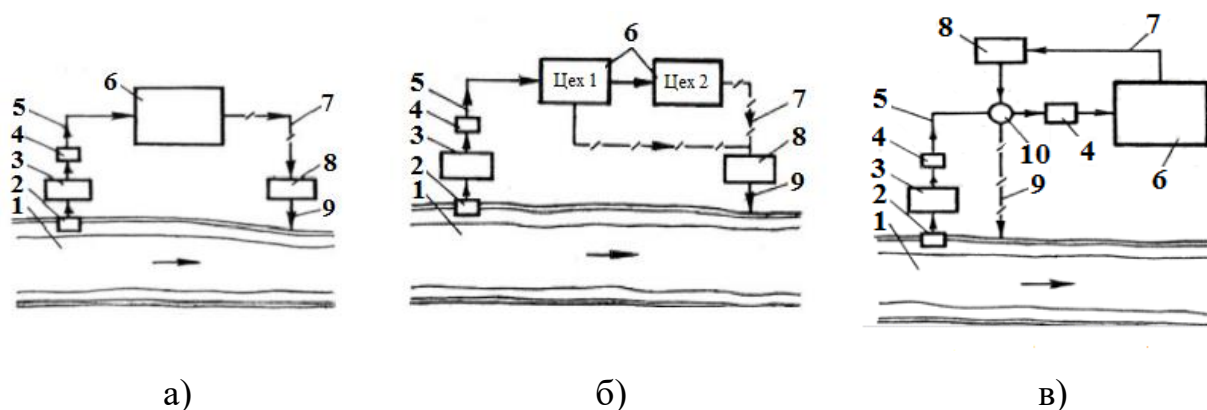


Рисунок 1.2 – Схеми систем промислового водопостачання

(1 – джерело, 2 водозабір, 3 – НС, 5 технічна вода, 6 – підприємство, 7 – стічна вода, 8 – станція очищення або охолодження, 9 – скидання води, 10 – розподільна камера)

При повторному водопостачанні (рисунок 1.2, б) вода використовується повторно, можливо навіть кілька разів. Це дає змогу знизити об'єми свіжонабраної води.

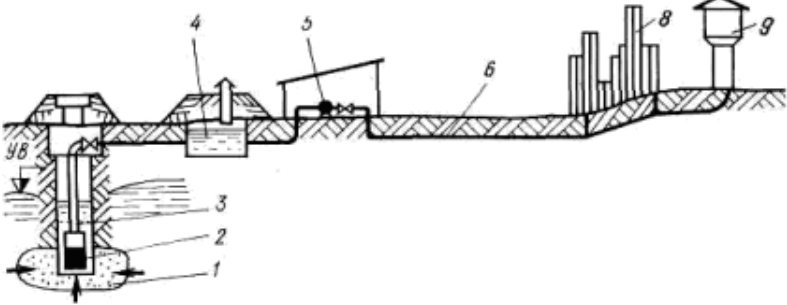
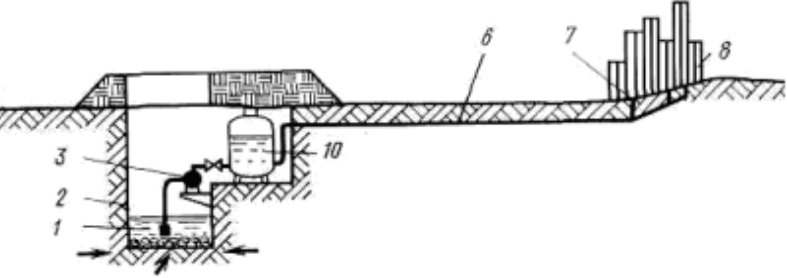
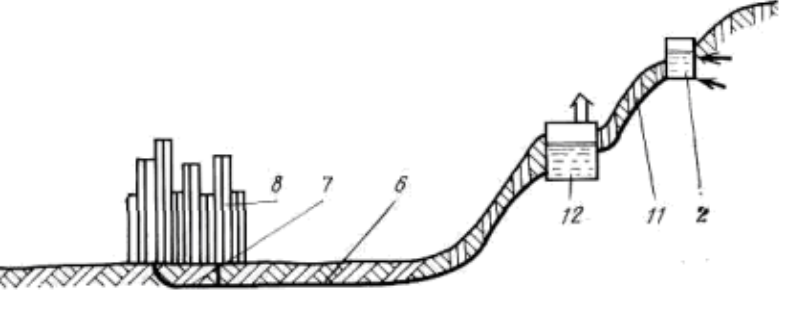
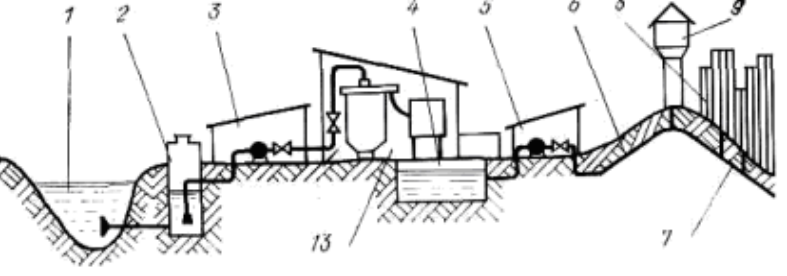
При оборотному водопостачанні (рисунок 1.2, в) вода не зливається, а використовується повторно після певної обробки, очистки чи охолодження. І застосовується вода при оборотному водопостачанні як правило для охолодження. У виробничому процесі при оборотній системі втрати води складають 3 ... 5%. Поповнення здійснюються з вододжерела.

Оборотне водопостачання як систему застосовують тоді, коли умови застосування прямого водопостачання є неможливими. Тобто при великій відстані між джерелом водопостачання і ПП ($> 4-5$ км), при значній висоті розташування ПП над рівнем води в джерелі (>25 м) та при невеликій потужності джерела водопостачання.

Системи оборотного водопостачання дають можливість зменшити у значній мірі об'єми викидання промислових стічних вод, що в перспективі приведе до зменшення забруднених водойм.

В таблиці 1.1 [7] приведені різні схеми водопостачання в залежності від видів джерел.

Таблиця 1.1 - Схеми постачання води з різних джерел

Вид джерела	Назва схеми водопостачання	Структура схеми водопостачання
Підземне	З контррезервуаром	
	Безбаштова	
	Самотічна (з використанням каптажу)	
Поверхнєве	Забір з річки	

В таблиці 1.1 використані наступні позначення: 1 – вододжерело; 2 – водозабірна споруда; 3 – НС 1 підйому; 4 – РЧВ; 5 – НС 2 підйоми; 6 – напірні

водоводи; 7 – розподільна мережа; 8 – водоспоживач; 9 – водонапірна башта; 10 – водоповітряний котел; 11 – самотічний водовід; 12 – напірний резервуар; 13 – водоочисні споруди.

На одному і тому ж конкретному ПП система водопостачання може бути комбінована, що означає використання різних видів постачання води для обслуговування окремих технологічних процесів, цехів.

На ПП обладнують водопроводи різного призначення: виробничі, господарські, протипожежні. Для ПП, що розташовані в межах міста та потребують використання великих об'ємів, прокладають окремі самостійні виробничі водопроводи. Такі ж водопроводи будують для кількох, розміщених неподалік, підприємств.

Великі ПП, які розміщені за межами міста та також потребують великих об'ємів води, є іншим типом об'єктів водопостачання. При проектуванні водопроводів для таких об'єктів потрібно врахувати витрати води на потреби ТП, господарські потреби селища і підприємства, питні потреби працівників ПП та ін. На ПП можна облаштовувати і об'єднані, і розділені, і окремі системи водопостачання на потреби виробництва, господарсько-питні та протипожежні потреби.

Різні види водоводів мають різне призначення. Наприклад, роздільні – забезпечують водою окремі потреби, об'єднані – забезпечують потреби всіх споживачів, локальні – окремих водоспоживачів (ферма, ПП, група будинків), централізовані – даний населений пункт. Групові системи забезпечують водою кілька населених пунктів чи підприємств.

1.3 Технологічна схема водоочисних споруд

Найпоширенішою технологічною схемою водоочисних споруд є універсальна схема, зображена на рисунку 1.7, де 1— насосна станція першого підйому; 2 — змішувачі; 3 — реагентний цех; 4 — коловоротна камера пластівцеутворення; 5 - вертикальний відстійник; 6 — швидкі фільтри; 7 —

хлораторна; 8 — резервуари чистої води (РЧВ); 9 — насосна станція другого підйому. Її можна застосовувати для очищення природної води будь-якої якості [5, 6].

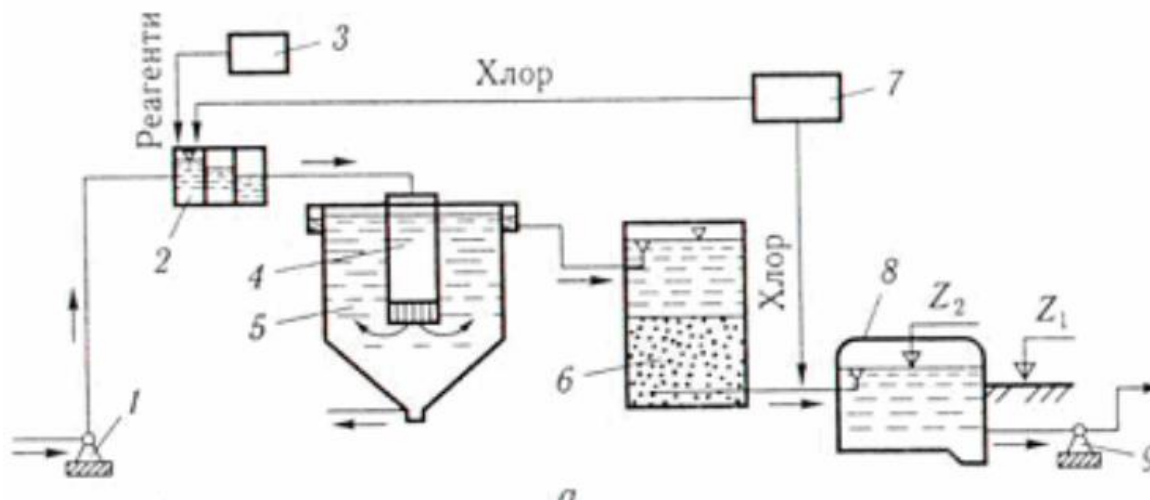


Рисунок 1.7 – Технологічна схема водоочисної станції

Вода, що підлягає очищенню під тиском першопідйомних насосів подається для вилучення грубих частин на барабанні сітки. Потім вона проходить первинне хлоровування у змішувачі. Після того, як вона змішується з реагентами, вода надходить у відстійник. Там домішки випадають в осад. Пізніше вода подається на швидкий фільтр для фторування, дезодорації чи підсилення фільтрування. Очищену воду переправляють у РЧВ. Вже звідки другої підйомними насосами вона направляється в мережу для водоспоживання. При потребу ванні технічної води потреба в її дезодорації, фторуванні й знезараженні відпадає.

Приведену універсальну технологічну схему можливо застосовувати для очищення будь-якої природної води, з різними показниками якості.

2. ВИЗНАЧЕННЯ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Аналіз автоматизації систем водопостачання

Створення сучасної системи автоматизації дає змогу уникнути ряду негожих факторів процесу водопостачання [10, 11]. Часто технологічний процес керується в ручному режимі, що є застарілою технологією. Тому недоцільним є подальше її використання. Тому актуальним питанням є впровадження автоматизованої системи контролю і регулювання.

У даній роботі пропонується автоматизована система керування (АСК), централізований облік технологічного процесу на базі промислового контролера “Lagoon”. Мікропроцесорні засоби – контролери та комп’ютер нададуть змогу архівувати параметри протягом певного періоду, покращити параметри керування, зв’язати різні об’єкти ТП та зменшити кількість персоналу.

При вирішенні поставлених завдань виникає потреба у визначенні контурів вимірювання, регулювання, захисту, сигналізації, блокування та ін. шляхом аналізу структурних схем взаємозв’язку параметрів, типових схем автоматизації та вимог ТП [12-14]. При цьому слід врахувати всі вимоги ТП та створити безпечні умови праці для людей.

Демонстрація параметрів про хід ТП також необхідна для спостереженням за ходом виробництва.

Покращити функціонування системи в цілому, ввести автоматичне блокування, уникнути помилок персоналу можна, замінивши ручний спосіб керування дискретним.

Впровадження запропонованої АСК дозволить знизити втрати води та електроенергії. Зменшиться кількість аварійних ситуацій, терміни ремонтів як планових так і позапланових, призведе до поліпшення умов роботи працівників.

2.2 Система моніторингу і управління водозабірним вузлом

Система моніторингу і управління водозабірним вузлом забезпечує [12-14]:

- повністю автоматизоване управління водозабірним вузлом в реальному часі;
- управління двигунами основних і резервних насосів (для основних - частотне регулювання, для резервних - включення/відключення);
- моніторинг і облік вихідних параметрів другої підомної насосної станції:
- кумулятивної і миттєвої витрати і тиску на виході в міську мережу;
- індикацію рівня води в накопичувальному резервуарі насосної станції;
- моніторинг параметрів свердловин: тиску, миттєвої і кумулятивної витрат води з свердловин, температури повітря в павільйоні свердловини, рівня води в свердловині.

2.3 Зв'язок віддалених об'єктів з диспетчерським пунктом

Основним видом зв'язку системи є GSM-зв'язок. Це обумовлено тим, що провідний зв'язок найчастіше стає ненадійним через умови навколишнього середовища чи внаслідок фізичних ушкоджень. Телефонні лінії, що комунуються, ненадійні унаслідок високого рівня перешкод. Орендовані телефонні канали можуть виявитися дорогим засобом зв'язку, і надійність їх теж під сумнівом. Ріст орендної плати також приводить до збільшення загальних річних витрат на всю систему. Навіть перехід телефонних компаній на використання засобів волоконно-оптичного зв'язку тільки спричинить за собою подальше підвищення вартості.

Система, у якій використовується GSM-зв'язок, набагато надійніша, ніж ті системи, де застосовується провідний зв'язок:

- GSM-мережі (GSM-зв'язок) підвищують мобільність системи. Система буде працювати практично скрізь, і вона буде постійно доступна для

одержання чи відправлення даних. Швидкий час розгортання таких систем дозволяє істотно скоротити терміни створення проектів. Але для рішення «відповідальних» задач і передачі даних (виключення несанкціонованих підключень) у системі.

- GSM - телемеханіка, GSM/GPRS - модеми, GPS.

Основні характеристики різних видів зв'язку приведені в таблиці 2.1 .

Таблиця 2.1 - Основні характеристики різних видів зв'язку [13]

Первісні витрати			Споживчі якості			
Вид зв'язку	Устаткування (за 1 комплект)	Підключення/ліцензія	Час до початку експлуатації	Радіус дії	Вплив перешкод	Ціна обслуговування (1 комплект)
Телемеханіка (радіостанції)	600 - 700 \$	Від 1000\$ за частоту	2-10 місяців	15 -30 км max 70	Так	До 70\$/рік
Телефонний зв'язок	50- 150\$	\$ 280-350 за номер	Біля місяця	Не обмежений	Мало	Від \$ 20/міс.
GSM зв'язок	270 - 380 \$	0 -35\$ за номер	До 1 дня	Великі міста	Мало	0 - 13\$/міс.

Сьогодні мобільні телекомунікації дуже бурхливо розвиваються. Вони не можуть обійти стороною і сектор ринку промислової автоматизації. Незважаючи на існуючу відносно високу вартість передачі даних, застосування мобільних телекомунікацій має ряд відчутних переваг. Самою вагомою з них є мобільність системи, заснована на використанні існуючих GSM-мереж. Спроектowana в такий спосіб система буде постійно доступна для одержання чи відправлення даних. Швидкий час розгортання таких систем дозволяє істотно скоротити терміни створення проектів. Цифровий мобільний стандарт GSM має на сьогодні оптимальні показники ціна/рентабельність.

Як термінальне устаткування для приймання/передавання даних і коротких повідомлень (SMS) багато користувачів використовують мобільні телефони GSM. І в більшості випадків це задовольняє клієнтів для рішення приватних задач. Але дуже часто буває ситуація, що при переході на нову модель телефону виникають помилки при обміні інформацією чи несумісність. Доводиться знову витратити засоби і час на усунення проблем по уніфікації як апаратного, так і програмного забезпечення. Найбільш вдале рішення, як по вартості, так і по своїх технічних характеристиках є мобільний модем/термінал стандарту GSM німецького концерну SIEMENS – M20 Terminal (GSM 900Мгц) і його модифікація TC35 Terminal (GSM 900/1800Мгц) (рисунок 2.1) [15].



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд модема

Це зовнішній, готовий до використання модем із власним джерелом живлення, антенним виходом і стандартним інтерфейсом RS232, що призначений для передачі / прийому інформації в стандарті GSM. Основне достоїнство цих модемів - це оперативний обмін інформацією між вилученими об'єктами з можливістю виходу на телефонну мережу загального користування: передача/прийом даних, факсів, коротких повідомлень (SMS), а також підтримка голосу. Керування здійснюється з комп'ютера (PC) чи будь-якого контролера по послідовному порту RS232 за допомогою розширеного списку стандартних AT- команд (Huес-протокол) [15].

Сфера застосування GSM технологій дуже широка, однак найзручніший зв'язок для автоматизації - мобільний (а так само для автоматичного

оповіщення про сформовані аварійних ситуаціях) об'єктів, що знаходяться на значному видаленні, а також поза доступністю кабельних ліній, у тому числі мобільних об'єктів (локомотиви, автомобілі та ін.).

SIEMENS AG має великий досвід застосування подібних технологій в усьому світі. Основні напрямками є: Системи дистанційного керування; Телеметрія; Диспетчеризація і моніторинг; Телемеханіка; Охоронні системи.

Модуль TC35 Terminal - це готовий до використання зовнішній факс/модем у стандарті GSM 900/1800МГц, розроблений на базі модуля TC35. Для роботи з модулем необхідно підключити до його зовнішніх рознімів антену, джерело постійного струму і будь-який контролер (PC комп'ютер) по послідовному Сомі-порту (RS232). Додатково можна підключити зовнішню слухавку і використовувати TC35Terminal як стаціонарний мобільний телефон.

2.4 Оцінка параметрів контролю та регулювання

Визначивши параметри регулювання та контролю ТП, можна побудувати функціональну схему автоматизації [12-14]. Для цього виникає потреба у карті технологічних параметрів (ТПР). На основі вивчення фізичних процесів складається карта технологічних параметрів, що протікають на об'єктах. Детально процес водопостачання був описаний у вступній частині.

З насосної станції вода подається в мережу. Забір води виконується із кількох резервуарів чистої води (РЧВ), що знаходяться безпосередньо біля насосних станцій. Підтримання необхідного тиску в мережі здійснюється за рахунок зміни кількості обертів регульованих насосів та зміною кількості працюючих нерегульованих агрегатів. Значення параметрів, що контролюються і регулюються в НС наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Перелік ТІР

Скважини №1,2,3	Стан про роботу регульованих і нерегульованих агрегатів	0÷1	-		+	+	+	+
	Витрата	0-100	±1	+	+			+
	Температура, повітря, °С	-5-(+60)	±1	+	+			+
	Тиск, МПа	0-3,2	±0,1	+	+			+
	Рівень води в скважині, м.	0-100	±1	+	+			+
НС	Рівень в РЧС №1, м	0-4,5	±0,025	+	+	+	+	+
	Рівень в РЧС №2, м	0-4,5	±0,025	+	+	+	+	+
	Витрата на виході насосної м ³ /год.	0-400	±1	+	+			+
	Тиск на виході Насосної, МПа	2,6-3,3	±0,1	+	+	+	+	+
	Стан про роботу регульованих і нерегульованих агрегатів	0÷1	-		+	+	+	+
	Витрата на вході насосної, м ³ /год.	0-200	±1	+	+			+
	Тиск на вході Насосної, МПа	0-3,3	±0,2	+	+			+

2.5 Аналіз складу, технічних характеристик, основних завдань об'єкту управління

2.5.1 Оснащення свердловин

Павільйони свердловин обладнані датчиками і вузлами збирання даних і управління, змонтованими в електротехнічних шафах (рисунок 2.2) [5-9]. Вимірювання рівня води в свердловині здійснюється заглибленими рівнемірами LMP-308, встановленими на водопідіймальних колонах над глибинними

насосами. Датчики використовують принцип вимірювання тиску стовпа рідини і характеризуються вихідним сигналом 5-25 мА. Автоматична компенсація можливих погрешностей, пов'язаних з коливаннями атмосферного тиску, забезпечується використанням спеціального гідрометричного кабелю, що має всередині порожнисту трубку, що зв'язує внутрішню порожнину датчика із зовнішньою атмосферою. Вимірювання тиску в трубопроводі від свердловини, здійснюється датчиком Danfoss MBS 3000. Датчик угвинчений в заздалегідь приварене вимірювальне відведення.

Сигнали з датчиків тиску, рівня води, а також температури повітря в павільйоні свердловини поступають на модуль аналогового введення Lagoon7017. Живлення датчиків забезпечується блоком живлення ACE-540A. Витрата води з свердловини вимірюється індукційним витратоміром SIMA-FC-2. Первинний блок витратоміром врізаний в трубу, вторинний встановлений в шафі разом з іншим устаткуванням вузла збору даних.

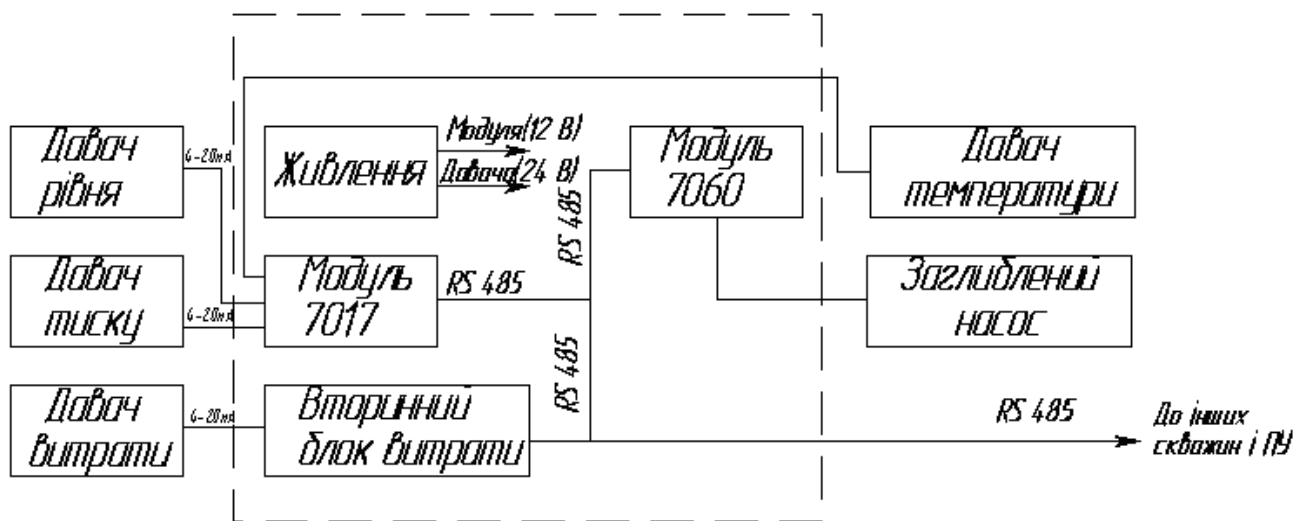


Рисунок 2.2 - Структурна схема устаткування свердловин

Витратомір забезпечує вимірювання миттєвої і кумулятивної (сумарного) витрат води. Вторинний блок витратоміра підключений до решти устаткування по мережі RS485. Програмно вторинний блок витратоміра емулює модуль збору даних Lagoon7017, у якого перший канал видає значення миттєвої витрати, другою - кумулятивного.

Управління включенням/відключенням глибинного насоса здійснюється через модуль введення-виведення Lagoon7060. Всі контролери зв'язані мережею RS485. Центральний пост оператора зв'язується або за допомогою GSM модему MC35T, або по мережі RS485. До свердловин, підключених по RS485, прокладений промисловий кабель 3105A фірми Belden.

2.5.2 Устаткування електрощитової насосної станції

У електрощитовому залі насосної станції (рисунок 2.3) другого підйому встановлена шафа з устаткуванням, що відповідає за управління частотними регуляторами, вимірювання витрати і тиску води при виході з НС, вимірювання рівня води в резервуарі, а також за включення/відключення і вимірювання струмів резервних насосів [5-9]. Для частотного управління двигунами насосів застосовано регулятори Danfoss 6000 HVAC. Регулятори мають інтерфейс RS485. Управління регуляторами здійснюється по мережі RS232. Для узгодження інтерфейсів встановлено конвертори RS485/RS232 Lagoon7520. Пуск/зупинку резервних насосів забезпечується за допомогою модуля Lagoon7060. Як датчик рівня води в накопичувальному резервуарі використовується рівнемір LMP-308 з вихідним сигналом 5-20 мА.

Тиск на кожному з двох виходів насосної станції вимірюється датчиками Danfoss MBS 3000 з вихідним сигналом 5-25 мА. Відпустка води в мережу холодного водопостачання вимірюється витратоміром SIMA-FC-2. Живлення датчиків забезпечується блоком живлення ACE-540A. Вихідні сигнали з датчиків рівня, тиску і поступають на модуль Lagoon7017. Контролери і вторинні блоки витратоміра SIMA-FC-2 об'єднані в мережу RS485.

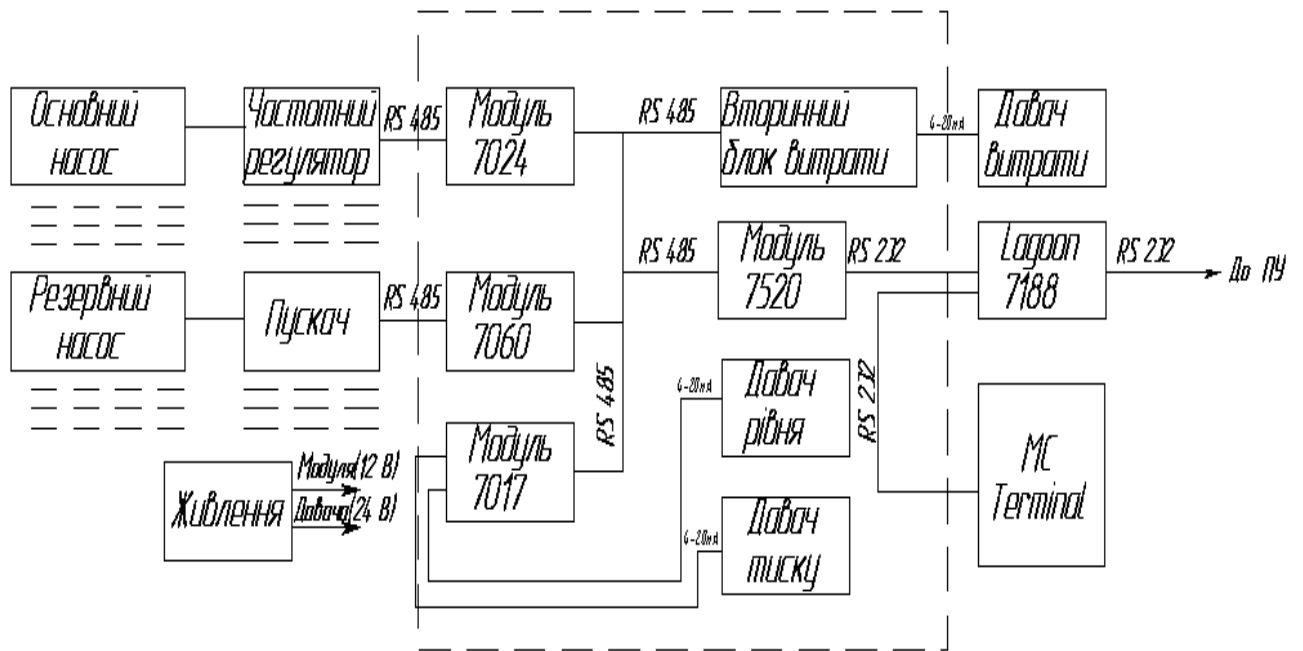


Рисунок 2.3 - Технічні засоби насосної станції

Комплекс технічних засобів, що знаходиться в операторській кімнаті. Він включає шафу з устаткуванням, монітор і консоль управління. Як керівника в системі використовується промисловий ПК. У шафі змонтовані промисловий ПК з комунікаційними платами, GSM-модем для передачі інформації в центральну диспетчерську, пристрій безперебійного живлення. Електрошитова пов'язана з центральним постом оператора каналом RS232.

2.6 Вибір засобів автоматизації

2.6.1 Перетворювачі частоти серії VLT 6000 HVAC

Перетворювачі частоти серії VLT потужністю від 1,1 до 400квт (рисунок 2.4) [16] призначені для керування відцентровими насосами й вентиляторами в системах опалення, вентиляції й кондиціонування повітря (HVAC). Компанія «Danfoss» багато років вкладала кошти в дослідження й розробку перетворювачів частоти з метою зменшення їхніх габаритів, підвищення надійності й зменшення вартості. Тому приводи, що регулюють швидкість

двигунів, конкурентноздатні, а споживач при використанні цих пристроїв може очікувати наступні строки окупності:

- у нових установках - менш 1 року (у порівнянні з безупинно працюючою системою)
- після ремонту або заміни старої системи регулювання - від 1 до 2 років.



Рисунок 2.4 - Перетворювачі частоти VLT 6000 HVAC

Переваги перетворювачів частоти серії VLT 6000 HVAC [16]:

- економія енергії й місця: компактні розміри привода VLT 6000 вимагають менше місця для монтажу;
- 2-х канальний ПД-регулятор: дозволяє працювати із двома сигналами оборотного зв'язку й використати змішане керування (пропорційне, інтегральне й по похідній);
- просте уведення в експлуатацію й використання: якщо ви знаєте як працювати з однією моделлю VLT, ви знаєте як працювати з усіма моделями. Структура програмування дозволяє легко настроїти привод для роботи в умовах конкретного застосування
- опція: каскад-контролер може управляти насосною станцією, що складається з 5 насосів;

- кілька наборів параметрів: привод VLT 6000 має 4 незалежних набори параметрів, що дозволяє задавати для одного двигуна 4 незалежних режими роботи;
- вбудований ПД-регулятор: Здійснює оптимальне регулювання заданого процесу
- АМА: автоматична адаптація до двигуна враховує індивідуальні особливості двигуна й моторних кабелів, результатом цього є підтримка необхідного моменту на валу у всьому діапазоні обертів;
- Безпека: силова частина перетворювача частоти VLT 6000 HVAC гальванічески ізольована від ланцюгів керування;
- АЕО: автоматична система спостереження за реальним навантаженням дозволяє скоротити витрати на електрику;
- двигун насоса або вентилятора: можна прогріти постійним струмом перед запуском для видалення конденсату;
- клас захити корпуси: IP20, IP54, IP00;
- опція - покриття друкованих плат захисним составом, що дозволяє використати привод в агресивній атмосфері;
- відповідність міжнародним стандартам: вбудовані RFI-фільтри забезпечують відповідність стандарту EN 55011, клас 1А и 1У. Вбудовані фільтри в ланцюгах постійного струму забезпечують придушення гармонік. Рівень гармонік відповідає стандарту IEC 72000-3-3, 61000-3-4 й VDE 0160;
- без додаткових LC-фільтрів можна використати наддовгі моторні кабелі: 150 м екрановані, 300 м не екрановані;
- протоколи зв'язку: широкий діапазон стандартних промислових протоколів: PROFIBUS, INTERBUS, FLN, MetaSys, Device Net RS485 входить у стандартну комплектацію для всього модельного ряду.
- Додаткові опції: каскад-контролер.
- Технічні характеристики:
 - напруга живлення - 200-240 В або 380-500 В \pm 10%;
 - частота живлячої напруги - 48-62 Гц \pm 1%;

- перевантаження по моменті 110%;
- можливе відключення живлячої напруги - 1 раз/хвилину.
- Характеристики керування:
 - діапазон регулювання вихідної частоти 0 - 1000 Гц;
 - точність підтримки швидкості;
 - $< 1500 \text{ об/хв} \pm 7,5 \text{ об /хв}$;
 - $> 1500 \text{ об /хв} \pm 0,5 \% \text{ від швидкості}$;
 - точність підтримки швидкості (зі зворотним зв'язком) ;
 - $< 1500 \text{ об /хв} \pm 1,5 \text{ об /хв}$;
 - $> 1500 \text{ об /хв} \pm 0,1 \% \text{ від швидкості}$.
- Контрольні входи й виходи:
 - 8 цифрових входів (0-24 В) ;
 - 3 аналогових входи (2х 0-10 В, 1х 0/5-25 мА) ;
 - 2 аналогових виходи (2х 0/5-25 мА) ;
 - 2 цифрових виходи (0-24 В);
 - 2 релейних виходи.

2.6.2 Пристрій плавного запуску електродвигунів (ППЗЕ) MCD 3000 (рисунок 2.5) [17].

ППЗЕ MCD 3000 виробництва компанії Danfoss являє собою сучасний електронний пристрій для пуску, контролю й захисту електродвигунів.



Рисунок 2.5 - Пристрій плавного пуску MCD 3000

Пристрій плавного пуску MCD 3000 виконує чотири основні функції:

- керування пуском двигуна;
- керування зупинкою двигуна, у тому числі виконання як плавної зупинки, так і гальмування;
- електронний захист двигуна;
- моніторинг і системний інтерфейс.

Переваги пристроїв плавного пуску MCD 3000:

- просте й гнучке керування пусковим струмом і моментом;
- плавне керування струмом і напругою - без перемикачів і перехідних процесів;
- можливість частого пуску;
- підходить для різних застосувань із різними умовами пуску й зупинки;
- функція плавної зупинки;
- функція гальмування;
- послідовний зв'язок RS485;
- повний захист двигуна;
- 50 параметрів налаштування.

2.6.3 Заглибний зонд LMP 308

Заглибні зонди LMP 308 і його інтелектуальна версія LMP 308i (рисунок 2.6) [18] застосовуються для безупинного виміру рівня рідин, неагресивних до нержавіючої сталі.

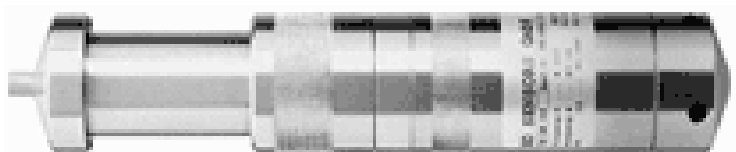


Рисунок 2.6 - Заглибні зонди LMP 308

Переваги й особливості:

- склад вимірюваних середовищ повинний бути сполучним з нерж.

сталлю 17.348 чи твердим ПВХ у комбінації з Вітаном;

- можливість вибору варіантів матеріалів кабелю і мембрани.

Області застосування:

- вимір рівня води в колодязях, на озерах, у відкритих водоймах;
- моніторинг рівня стічних вод на підземних очисних станціях;
- водоочисні станції;
- вимір висоти вод.

Основним елементом заглибних зондів є датчик тиску DSP 401 (у нержавіючому балоні з навареною нержавіючою мембраною, що відокремлює,) чи DSP 402 (пластмасовий балон з вулканізованою мембраною, що відокремлює, з Вітана чи EPDM). Гідростатичний тиск, прямо пропорційний висоті рівня рідини над мембраною, що відокремлює, передається за допомогою наповнювача з інертного масла на вимірювальну напівпровідникову мікросхему. На мікросхемі за допомогою напівпровідникових технологій створений тензометричний місток, вихідний сигнал якого компенсується в температурному відношенні і перетворюється у вихідний сигнал (стандартний електричний) 5-25 мА.

Конструкція приєднання кабелю за допомогою роз'єму з покриттям IP 68 спрощує монтаж і демонтаж у випадку заміни зонда. Кабельна муфта пропонується в декількох різних варіантах. LMP 308 - тільки кабель; кабель, захищений ПП гнучкою трубкою; кабель, захищений міцною нержавіючою трубкою. LMP 808 - тільки кабель; кабель, захищений ПП гнучкою трубкою; кабель, захищений міцної ПВХ трубкою. Вибір придатної конструкції залежить від необхідного хімічного і механічного опору заглибного зонда.

Технічні характеристики:

- вихідний сигнал – двопровідний;
- струм - 5..25 мА;
- живлення - 12..36 V;
- розміри приєднання - LMP 308: L=165мм, D=35мм, LMP 808:

L=191мм, D=40мм.

2.6.4 Вимірювальний перетворювач MBS 3000.

Вимірювальний перетворювач MBS 3000 фірми Danfoss для виміру низького тиску загальпромислового застосування. Датчики тиску MBS 3000 (рисунок 2.7) [19] перетворюють тиск рідини в електричний сигнал і призначені для виміру тисків у діапазонах 0 - 6 бар.



Рисунок 2.7 - Датчик тиску MBS 3000

Переваги й особливості:

- компактна і міцна механічна конструкція датчика в корпусі з нержавіючої сталі для тяжких умов експлуатації;
- низька температурна залежність;
- висока лінійність і довгострокова стабільність характеристик;
- широкий вибір типів електричного і механічного приєднання;
- швидкий час відгуку;
- тривалий термін служби.

Можливий варіант виконання корпусу для польових умов: герметичне нероз'ємне кабельне чи з'єднання кабельне рознімання, що обертається, малі габаритні розміри.

Області застосування:

- загальпромислові виміри тиску неагресивних рідин і газів;
- контроль тиску в технологічних процесах.

Технічні характеристики:

- діапазони тиску: 0...6 Бар;

- макс. температура, °С: -40...+85.

Вихідні сигнали:

- 5..25 мА;
- напруга живлення, В, пост. Струм: 10...30 В;
- клас захисту IP 65-68;
- точність 0,2% / 0,5% у всьому діапазоні згідно ІЕС 60770.

2.6.5 Економічний індукційний витратомір SIMA FC 2

Витратомір Sima FC 2 (рисунок 2.8) [20] призначений для загальнопромислових вимірів витрати рідин із кращим застосуванням у водному господарстві.

Переваги й особливості:

- висока точність виміру витрати й обсягу в обох напрямках;
- зручний вибір режимів і параметрів, режим дозування рідини;
- періодичне очищення електродів;
- функція логгера: пам'ять на 1000 значень (результат і час виміру) вибір часу, періоду опитування, збереження параметрів і даних вимірів в енергонезалежній пам'яті;
- дроселювання при стрибкоподібних змінах витрати;
- зручне калібрування;
- багатфункціональні виходи, селективна комунікація.



Рисунок 2.8 - Витратомір Sima FC 2

Індукційний витратомір SIMA FC 2 складається з перетворювача і датчика, що поставляються в комплекті.

Перетворювач обладнаний годинником реального часу. У пам'яті перетворювача можна зберігати до 1000 значень, автоматично вимірюваних із заданою періодичністю, і/чи виміру в заданий час, наприклад п'ятнадцяти хвилинний максимум щодня у визначений час. Можна зберігати також статистичні результати: максимальне, мінімальне чи середнє значення в інтервалі, кумулятивний обсяг в обох напрямках і реальний час.

Перетворювач зберігає отримані при вимірі дані й у випадку збою в мережі. Також зберігаються і випадково виниклі останні чотири погрішності. Крім того, найважливіші дані (калібровані постійні, кумулятивні значення і параметри встановлених режимів) вводяться в незалежну від напруги пам'ять EEPROM.

За допомогою перетворювача можна дозувати заданий обсяг речовини. Дозатор вмикається клавішею чи зовнішнім сигналом, зупиняється перетворювачем. У перетворювача є ряд гальванічні розв'язаних входів і виходів. Є джерело постійного струму 24V.

До стандартного оснащення перетворювача відноситься роз'єм послідовного інтерфейсу RS232. Це дозволяє встановлювати зв'язок із PC чи контролерами безпосередньо чи через модем. Додатково може бути встановлений гальванічески розв'язаний RS485 інтерфейс. Розроблено протокол команд ASCII, що дозволяє використовувати витратомір разом з контролерами Advantech. Перетворювач можна доповнити пристроєм для приєднання інших шин. Його устаткування дає можливість включити витратомір у систему виміру, регулювання і збору даних.

Технічні характеристики:

Перетворювач:

- живлення - 230В (+10%,-15%), 50 Гц;
- витрата потужності - 12ВА макс.;
- робоча температура - з -5°C по +45°C (захищати від потрапляння

прямих сонячних променів);

- діапазон виміру - 0.1-10 м/сек.

Датчик:

- провідність вимірюваної рідини - $\geq 5 \text{ Мс/см}$;
- футуровка - технічна гума, галар, телефон;
- тиск а - 0.5-2.6 МПа;
- електроди - хімічно стійка стандартна сталь 17.246, платина, титан,

hasteloy.

2.6.6 Характеристика контролера Lagoon I-7188 і модулів вводу/виводу I-7188/DOS/512 (рисунок 2.9) [21] промисловий контролер (PC-сумісний) AMD188ES 40МГц, 512кб Flash, 256кб SRAM, 2xRS232, 1xRS485, 1xRS232/485, ROM DOS, кабель СА-0910x1.

Контролер "Лагуна-7000" володіє унікальним набором технічних, вартісних і споживчих властивостей:

- невисока ціна, що прекрасно укладається в невеликі кошториси для рішення завдань малої автоматизації;

- контролер поставляється зі зрозумілим, звичним, універсальним і потужним середовищем програмування, здатної вирішувати великий спектр завдань автоматизації. Якщо раніше користувачеві доводилося окремо здобувати контролер, SCADA-систему й думати про сумісність одного з іншим, то тепер він здобуває контролер з підтримкою всією алгоритмічною міццю Trace Mode 6(5).



Рисунок 2.9 - Контролер Lagoon I-7188

Якість і надійність апаратної частини й програмного обумовлені тим, що для "Лагуни" обрані налагоджена й обкачана апаратна платформа й широко розповсюджена SCADA-система як програмна основа.

Рс- сумісність контролера - найбільш універсальна, найбільш гнучка й найбільш знайомому користувачеві платформа.

Говорячи про технічні характеристики контролера, відзначимо що "Лагуна-7000" виготовляється на базі контролера I-7188 й оптимізована для роботи з МікроМРВ Trace Mode. Власне кажучи це мініатюрний Рс-спільний комп'ютер, поміщений у компактний корпус.

Конструктивно "Лагуна-7000" виконана в корпусі з негорючої пластмаси. На корпусі розташоване рознімання типу DB-9 і клемний з'єднувач із гвинтовою фіксацією. Контролер може бути встановлений на панель або на стандартну 35-міліметрову DIN-рейку. По швидкодії "Лагуна-7000" не уступає комп'ютеру із процесором Intel 80286. У якості УСО для контролера використовуються модулі вилученого вводу-виводу популярної серії I-7000. Модулі I-7000 давно застосовуються в багатьох галузях промисловості й зарекомендували себе із кращої сторони. Сьогодні їхня номенклатура включає більше 60 найменувань: модулі аналогового уведення й виводу, дискретного вводу-виводу, комунікаційні модулі й модулі таймерів/лічильників. Всі вони є

інтелектуальними перетворювачами вхідних і вихідних сигналів у цифровий код, що може оброблятися комп'ютером або контролером.

Модулі дозволяють прямо підключати до них первинні датчики (термопари, термометри опору, тензодавачі) і джерела сигналів і безпосередньо управляти аналоговими й дискретними навантаженнями. Контролером практично повністю підтримуються всі можливості повнофункціонального МікроМРВ. З погляду Trace Mode "Лагуна-7000" являє собою керуючий контролер на 128 крапок уведення/виводу. До його послідовних портів можуть підключатися модулі серії I-7000 і термінал ДК-8070. З комп'ютером верхнього рівня зв'язується через один із СОМ портів. Мінімальний цикл монітора реального часу становить 55 мс. При швидкості послідовного порту 56 кбод, контролер за 1 секунду опитує до 20 модулів вводу-виводу. "Лагуна-7000" поставляється з убудованим монітором реального часу й базовою версією Інструментальної системи "Trace Mode 5". За допомогою "Trace Mode 5" користувач може розробити графічний інтерфейс для комп'ютера верхнього рівня й випробувати його роботу в реальному часі. "Лагуна-7000" може бути інтегрована в систему, що працює не тільки в під Trace Mode, але й під будь-якою іншою сучасною SCADA-системою, що підтримує OPC-технологію. Безумовно, даний контролер не призначений для застосування там, де необхідно контролювати дуже велику кількість параметрів і використати складні алгоритми обробки даних.

Контролер може функціонувати автономно, без зв'язку з керуючим комп'ютером, а може бути інтегрований у більшу розподілену автоматизовану систему керування (АСК) ТП. З його допомогою можна вирішувати завдання різного рівня складності:

- створити автономний локальний багатоканальний регулятор із гнучко змінюваною структурою під конкретне завдання;
- реалізувати невелику систему накопичення даних і керування;
- _ легко інтегрувати цю систему у вже існуючу АСК ТП;

- побудувати більшу розподілену систему АСК ТП або частина цієї системи.

Спектр застосувань контролера "Лагуна-7000" досить широка й різноманітний. Він працює в системах енергозвіту, охоронної сигналізації, управляє казановими й насосними станціями, застосовується в нафтопереробці й при виплавці стали, використовується в навчальному процесі.

I-7017 - 8-канальний модуль аналогового введення з ізоляцією (рисунок 2.10) [21].

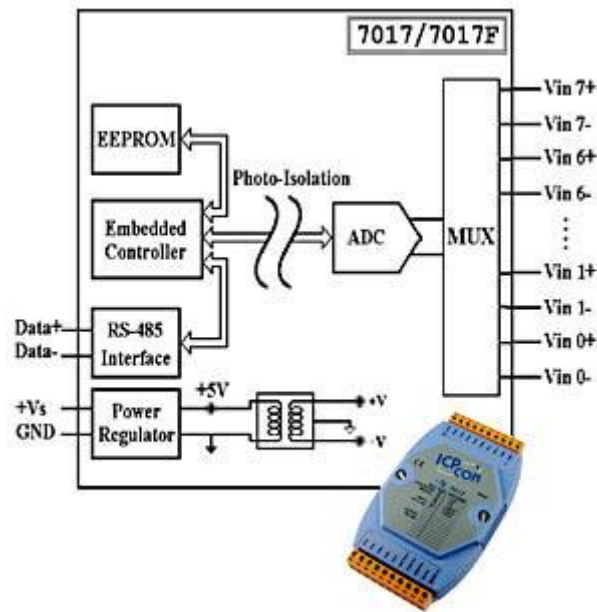


Рисунок 2.10 - I-7017 8-канальний модуль введення аналогового сигналу з ізоляцією

I-7024 – 4-канальний модуль аналогового виводу, 12 біт ЦАП, ізоляція (рисунок 2.11) [21].

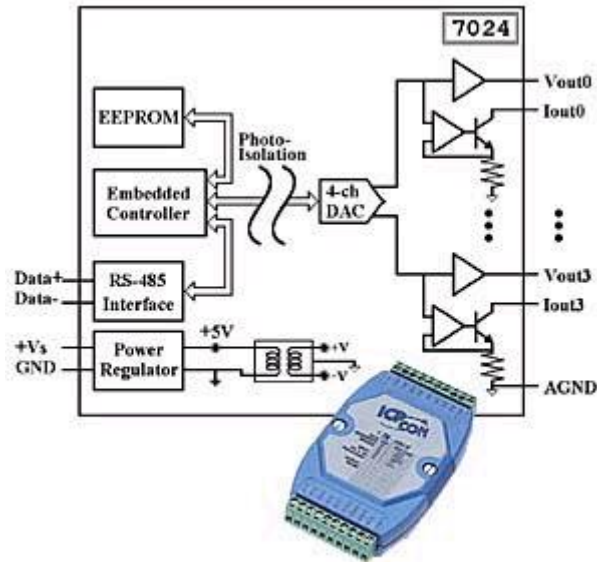


Рисунок 2.11 - 4-канальний модуль аналогового виводу

I-7060 - Модуль дискретного 4-канального введення і 4-канального виводу з ізоляцією (рисунок 2.12) [21].

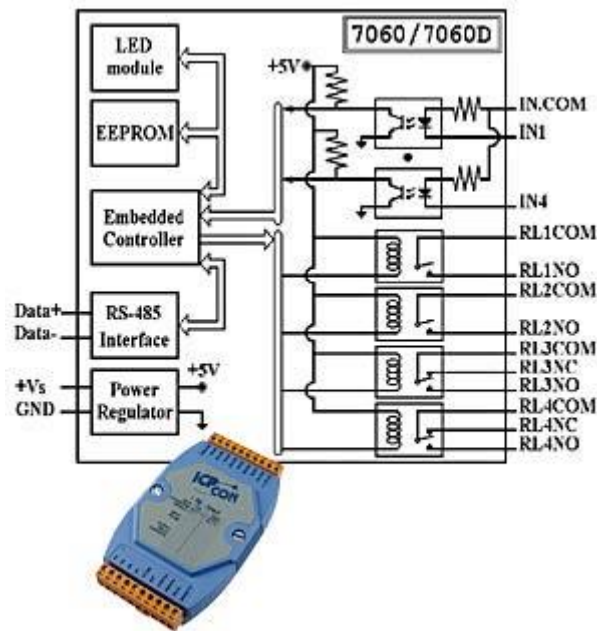


Рисунок 2.12 - модуль дискретного 4-канального введення і 4-канального виводу

I-7520 - Конвертер RS232 в RS485 з автоматичним контролем за напрямком передачі даних для RS485, гальванічна ізоляція 3кв по RS232 (рисунок 2.13) [21].

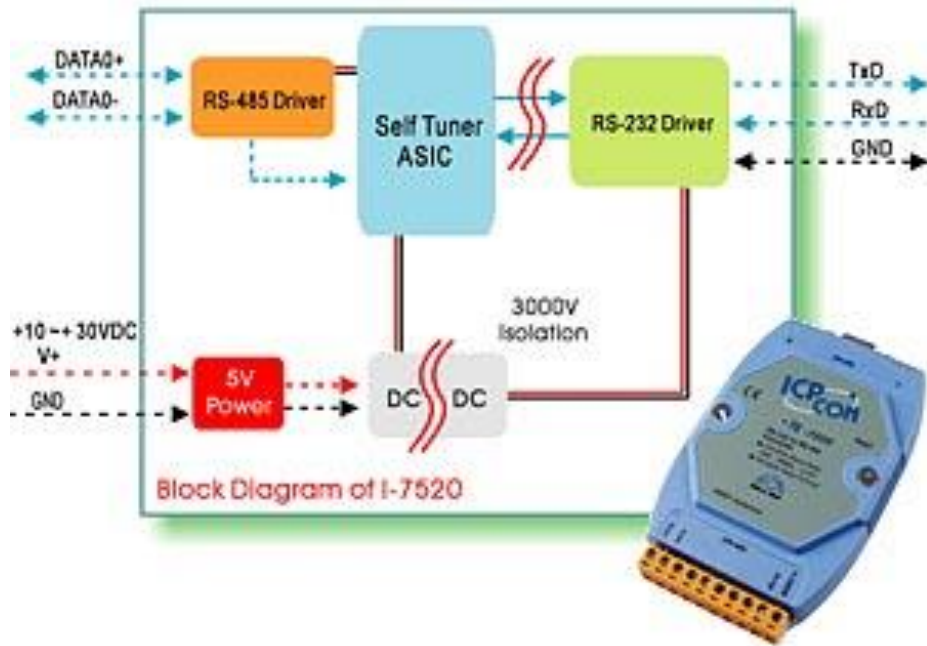


Рисунок 2.13 - I-7520 конвертер RS232 в RS485

АСЕ-540А - промислове джерело живлення змінного струму, вихід +24У/2А (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 - Промислове джерело живлення змінного струму АСЕ-540А

3 РОЗРАХУНОК МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ У ВОДОПРОВОДІ

3.1 Основні характеристики роботи насосів

Робота кожного насосу в складі установки (рисунок 3.1) характеризується такими параметрами [9]: тиск H , сила подачі Q , потужність N , ККД η , і вакууметрична висота всмоктування $H_{\text{вак}}$.

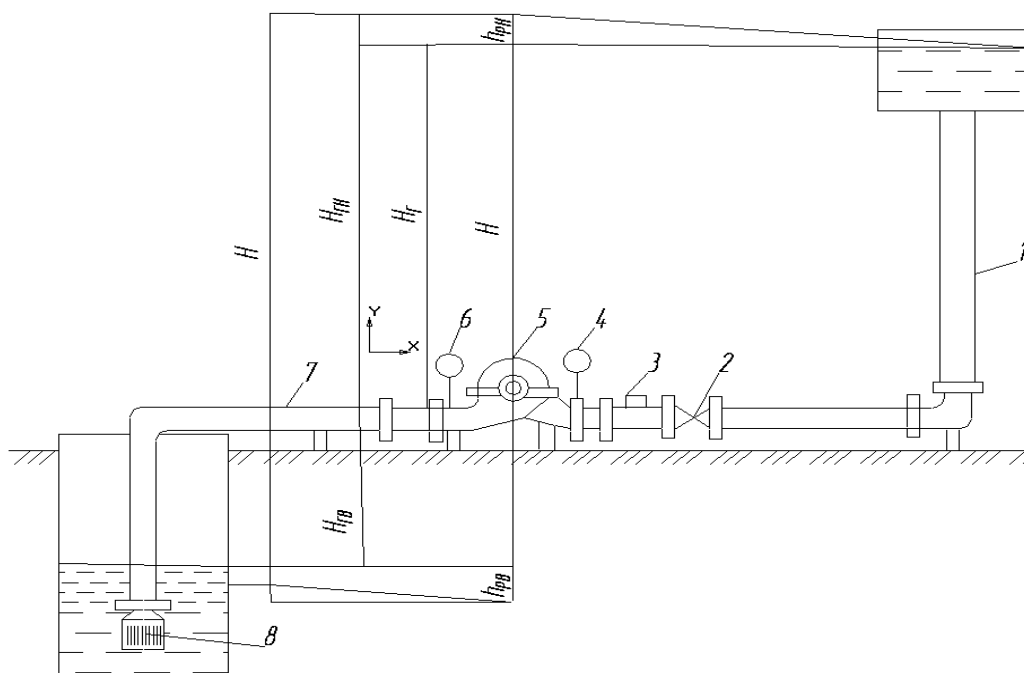


Рисунок 3.1 - Установка відцентрового насоса - схема.

На рисунку 3.1 використані наступні позначення: 1 - напірний трубопровід; 2 - засувка; 3 - зворотний клапан; 4 - манометр; 5 - насос; 6 - вакуумметр; 7 - всмоктувальний трубопровід, 8 - приймальний клапан; $H_{гв}$ - геометрична висота всмоктування; H_r - геометричний показник висоти підйому води; H - повний напір насоса (повна висота підйому води); h_{rv} - втрати напіору у всмоктувальному трубопроводі; h_{rn} - втрати тиску трубопроводі.

Подача насоса Q (л/с, м³/год) - це об'єм речовини, який видає насос за одиницю часу (л/с, м³/год).

Напір H (м) - це приріст енергії руху рідини. Розрізняють манометричний

і потрібний напори. Манометричний напір визначають за показаннями манометра і вакуумметра:

$$H = \frac{H_m + H_B}{\rho \cdot g} + \frac{V_k^2 - V_n^2}{2 \cdot g},$$

де H_m і H_B - показання манометра і вакуумметра, приведені до осі насоса, Па; V_k і V_n - швидкості руху рідини в напірному і всмоктувальному патрубках, м/с; g - прискорення, м/с²; ρ - густина рідини, кг/м³.

Потрібний напір насоса складається з геометричної висоти підйому води і втрат напору зі сторони всмоктування та нагнітання. Для установки, що зображена на рисунку 3.1, необхідний напір:

$$H = H_G + h_{ГВ} + h_{ГН}.$$

Потужність насоса N (Вт), що витрачається для певних Q і H :

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta},$$

де η - ККД насоса, який приймається за даними заводу-виробника і враховує всі втрати енергії в насосі (гідравлічні, об'ємні, механічні), що пов'язані з подачею рідини.

Потужність приводу $N_{дв}$ (Вт) призначають більшою за потужність насоса на випадок перевантаження від неврахованих ситуацій:

$$N_{дв} = N \cdot k,$$

де $k = 1,1 - 1,25$ - коефіцієнт запасу потужності, який приймається залежно від потужності двигуна.

3.1.1 Паралельна робота групи насосів

Це найбільш доцільний і найбільш розповсюджений у практиці варіант роботи насосів, що живлять безбаштову водогінну мережу.

При виборі режиму роботи насосів потрібно вирішити наступні задачі:

- скільки усього насосів повинно працювати в різні години доби;
- скільки насосів із загальної кількості доцільно регулювати в різні години доби;

- яким способом варто визначати необхідну частоту обертання колеса в регульованих насосів і витрату електроенергії, споживана всіма насосами.

Підбирати насоси необхідно так, щоб найбільший напір насоса в області зони застосування, що рекомендується, дорівнював найбільшому необхідному напору насоса чи перевищував його.

Позначимо: b — загальна кількість працюючих насосів; c — кількість регульованих насосів; $(b - c)$ — кількість нерегульованих насосів.

Якщо параметри аналітичної залежності $Q - H$ у підбраного насоса рівні H_ϕ і S_ϕ , то при створенні в розглянуту годину доби напору H_{mpi} один нерегульований насос буде подавати в мережу:

$$Q_{ni} = \sqrt{\frac{H_\phi - H_{mpi}}{S_\phi}}.$$

Отже, для подачі в мережу необхідної витрати загальна кількість працюючих насосів:

$$b = \frac{Q_i}{\sqrt{\frac{H_\phi - H_{mpi}}{S_\phi}}}. \quad (3.1)$$

Отриманий результат заокруглюється до найближчого цілого значення.

Якщо насоси не регулюються, то напір, що розвивається ними, визначається по формулі:

$$H_i = H_\phi - S_\phi \left(\frac{Q_i}{b} \right)^2 \quad (3.2)$$

а витрата електроенергії, споживана всіма насосами в певний час.

Напір насоса, визначений за формулою (3.2), буде більшим, ніж необхідно H_{mpi} , тому що загальна кількість насосів приймалося після округлення у велику сторону результату, отриманого по формулі (3.1). Для досягнення рівності $H_i = H_{mpi}$ насоси необхідно регулювати зміною числа оборотів їхніх робочих коліс.

Якщо з загальної кількості b працюючих насосів c насосів буде регулюватися, то за умови дотримання рівності $H_i = H_{mpi}$ подача одного регульованого насоса

$$Q_{pi} = \frac{Q_i - (b-c) \sqrt{\frac{H_\phi - H_{mpi}}{S_\phi}}}{c}$$

а частота обертання його колеса, хв^{-1} , визначається по формулі

$$n_{pezi} = n_{norm} \sqrt{\frac{H_{mpi} + S_\phi \left[Q_i - (b-c) \sqrt{\frac{H_\phi - H_{mpi}}{S_\phi}} \right]^2}{H_\phi}}$$

Витрата електроенергії, споживаною всією групою насосів за розглянуту годину, дорівнює сумі витрат енергії, споживаної регульованими і нерегульованими насосами, і визначається на ЕОМ по формулі

$$N_i = (b-c) \left[A + B \left(\sqrt{\frac{H_\phi - H_{mpi}}{S_\phi}} \right) \right] + 1,03c \left\{ A \left(\frac{n_{pezi}}{n_{norm}} \right)^2 + B \left(\frac{n_{pezi}}{n_{norm}} \right)^{2-\alpha} \left[\frac{Q_i - (b-c) \sqrt{\frac{H_\phi - H_{mpi}}{S_\phi}}}{c} \right]^\alpha \right\}$$

Перший доданок суми — це витрата електроенергії за розглянуту i -ту годину доби нерегульованими, а друге — регульованими насосами.

3.1.2. Аналітичні оцінки відцентрових насосів

Найбільш економічною є робота центробіжного насоса в області максимального ККД. Однак при підборі насосів і виборі режиму їхньої роботи ця умова економічності не завжди виконується. Для розширення області оптимального використання відцентрових насосів застосовується регулювання їхньої роботи, що здійснюється двома способами:

- 1) обточуванням робочих коліс по зовнішньому діаметрі (необоротне регулювання);
- 2) зміною частоти їхнього обертання (оборотне регулювання).

При зменшенні зовнішнього діаметра робочого колеса не більш ніж на 10—15% ККД насоса практично не змінюється. При такому регулюванні відцентрових насосів подача, напір, що розвивається і споживана потужність істотно зменшуються, а параметри аналітичної залежності $H = f(Q)$ і $N = f(Q)$ будуть змінюватися пропорційно частоті обертання чи діаметрам робочих коліс.

Встановити порядок цієї зміни можна, позначивши

$$\frac{n_{pez}}{n} = K_1 \quad \text{і} \quad \frac{D_{об}}{D} = K_2, \quad (3.3)$$

де n і D — частота обертання і діаметр робочого колеса нерегульованих насосів; n_{pez} і $D_{об}$ — те ж, регульованих насосів.

При регулюванні насоса зміною частоти обертання робочого колеса:

$$\frac{Q_{pez}}{Q} = K_1; \quad \frac{H_{pez}}{H} = K_1^2; \quad \frac{N_{pez}}{N} = K_1^3.$$

У випадку регулювання насоса з коефіцієнтом швидкохідності $n_s < 150$ обточуванням його коліс:

$$\frac{Q_{pez}}{Q} = K_2; \quad \frac{H_{pez}}{H} = K_2^2; \quad \frac{N_{pez}}{N} = K_2^3.$$

При регулюванні цими двома способами:

$$\frac{Q_{pez}}{Q} = K_1 K_2; \quad \frac{H_{pez}}{H} = K_1^2 K_2^2; \quad \frac{N_{pez}}{N} = K_1^3 K_2^3.$$

чи

$$Q_{pez} = K_1 K_2 Q; \quad H_{pez} = K_1^2 K_2^2 H; \quad N_{pez} = K_1^3 K_2^3 N;$$

При підстановці замість H його аналітичної залежності від Q

$$H_{pez} = H_\phi K_1^2 K_2^2 - S_\phi K_1^2 K_2^2 Q^2;$$

а при заміні Q його значенням з (192)

$$H_{pez} = H_\phi K_1^2 K_2^2 - S_\phi Q_{pez}^2; \quad (3.4)$$

Як видно з цієї формули, при регулюванні роботи насосів зміною частоти обертів чи обточуванням робочих коліс параметр S_ϕ не змінюється, а параметр

H_ϕ змінюється пропорційно квадрату відношення їхніх частот обертання чи діаметрів

$$H_{\phi,pez} = H_\phi K_1^2 K_2^2.$$

Потрібні частоти обертання і діаметр робочого колеса регульованих насосів визначаються в такий спосіб.

З формули (3.4) випливає, що регулювання насоса тільки зміною динаміки обертання робочого колеса:

$$n_{pez} = n \sqrt{\frac{H_{pez} + S_\phi Q_{pez}^2}{H_\phi}},$$

де H_{pez} і Q_{pez} — необхідні напір і витрата насоса, що підбираються H_ϕ і S_ϕ - параметри його аналітичної характеристики $Q - H$.

Оскільки

$$H_{pez} = H - \Delta H = H_\phi - S_\phi Q_{pez}^2 - \Delta H,$$

то

$$n_{pez} = n \sqrt{\frac{H_\phi - \Delta H}{H_\phi}}.$$

У цих формулах H — фактичний напір, що розвивається підібраним насосом при подачі необхідної витрати Q_{pez} ; $\Delta H = H - H_{pez}$ — надлишок напору проти необхідного.

Аналогічно можна довести, що при регулюванні насоса тільки шляхом обточування його робочого колеса

$$D_{об} = D \sqrt{\frac{H_{pez} + S_\phi Q_{pez}^2}{H_\phi}} = D \sqrt{\frac{H_\phi - \Delta H}{H_\phi}}$$

а при регулюванні двома способами

$$n_{pez} = n \sqrt{\frac{H_{pez} + S_\phi Q_{pez}^2}{H_\phi K_2^2}} = n \sqrt{\frac{H_\phi K_2^2 - \Delta H}{H_\phi K_2^2}} \quad (3.5)$$

Коефіцієнт, що входить у формулу (3.5) K_2 визначається з залежності (3.3), у якій величина $D_{об}$ приймається в допустимих межах.

При підстановці замість N її аналітичного виразу у функції від Q , $N_{рег}$ можна визначити по формулі:

$$N_{рег} = AK_1^3 K_2^3 + BK_1^3 K_2^3 Q^\alpha,$$

а при підстановці значень Q :

$$N_{рег} = AK_1^3 K_2^3 + BK_1^{3-\alpha} K_2^{3-\alpha} Q_{рег}^\alpha. \quad (3.6)$$

Оскільки K_1 і K_2 менше одиниці і $\alpha < 3$, то, як видно з формули (3.6), при регулюванні насосів споживана потужність значно зменшується.

У таблиці 3.1 приводяться значення потужності, споживаної на валу насоса 2ДО-9, а у таблиці 3.2 — на валу насоса Д500-36 (8НДв), визначені за формулою (3.6). Ці значення порівнюються зі значеннями, отриманими при заводських випробуваннях насосів.

Таблиця 3.1 - Значення потужності, споживаної на валу насоса 2ДО-9

Насос 2К-9		Споживана на валу насоса потужність N' , кВт	
Діаметр робочого колеса	Подача насоса Q , л/с	по заводським випробуванням	по формулі (3.6)
106	2,8	0,7	0,693
113	2,8	0,8	0,821
129	3	1,2	1,197
106	4,2	0,8	0,812
113	4,7	1,1	1,01
129	5,5	1,5	1,511
106	5,5	0,9	0,919

З аналізу даних табл. 5.1 і 5.2 випливає, що кількість затрачуваної на валу насоса енергії при його регулюванні частотою обертання чи обточуванням робочого колеса з достатньої для практичних цілей точністю може бути визначене по формулі (3.6), що і варто використовувати в розрахунках на ЕОМ.

Таблиця 3.2 - Значення потужності, споживаної на валу насоса Д500-36

Насос Д500-36 (8НДв)			Споживана на валу насоса потужність N , кВт	
Частота обертання n , хв. ⁻¹	Діаметр робочого колеса	Подача насоса Q , л/с	по заводських випробуваннях	по формулі (3.6)
1450	470	150	138	137,63
1450	470	200	166	166,41
960	525	140	66	64,85
960	525	165	72	72,56
960	470	ПО	44	42,69

Максимальні відхилення значень, отриманих по цій формулі, від результатів заводських випробувань насосів не перевищують 3%. Для випадків зміни в широкому діапазоні подачі насосів, що живлять безбаштову водогінну мережу, сумарна добова витрата енергії, споживана насосами, буде визначена з великою точністю, тому що середні значення N , визначені по формулі (3.6) і по кривій $Q — N$, точно збігаються. При зменшенні витрати Q (проти середнього) отримані по формулі (3.6) значення N трохи (не більш 3%) менші, а при збільшенні витрати $Q —$ трохи більші значень, отриманих при заводських випробуваннях насосів чи по кривих $Q — N$, що приводяться в каталогах. Через малі масштаби графічних характеристик насосів визначити значення N по кривих $Q — N$ (чи іншими способами) більш точно, чим по формулах приведених вище, практично неможливо.

При регулюванні насосів за допомогою різних регулюючих пристроїв (гідромуфти, електромагнітної чи перетворювача частоти) потужність, споживана на валу електродвигуна, залежить ще від ККД регулюючого пристрою і визначається по формулі

$$N_{\Pi} = \frac{N}{\eta_{p.y}}$$

де $\eta_{p,y}$ — ККД регулюючого пристрою.

Користуючись аналітичними характеристиками $H=f(Q)$ і $N=f(Q)$ зручно робити на ЕОМ розрахунок спільної роботи насосів, водоводів, водогінних мереж і резервуарів, аналізувати економічність їхнього використання, а також підбирати типи насосів, що працюють у найбільш вигідному режимі.

3.2 Визначення статичних та динамічних характеристик об'єкта

3.2.1 Регулювання тиску в трубопроводі

Регулювання тиску в трубопроводі здійснюється на основі функціональної схеми, [22, 23] яка зображена на рисунку 3.2

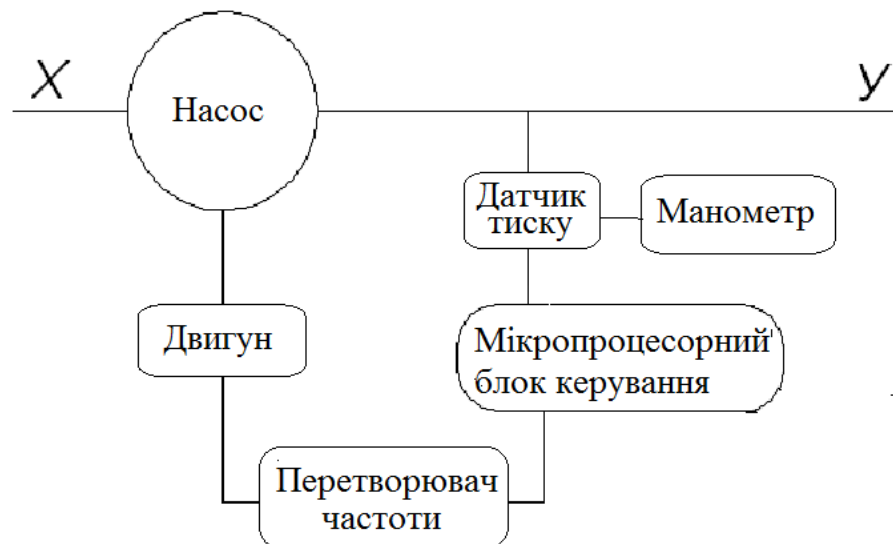


Рисунок 3.2 - Функціональна схема системи автоматичного керування тиску в трубопроводі

3.2.2 Розрахунок коефіцієнтів передавальної функції двигуна

В асинхронному трифазному двигуні обертове магнітне поле створюється трьома обмотками статора, на які подається трифазна напруга мережі.

Для двигунів основний є механічна характеристика $\omega=f(M)$, тобто залежність частоти обертання від моменту, що для асинхронного двигуна вона може бути розбита на дві ділянки – робочої при $0 < S < S_M$ і ділянка пуску (a-b)

при $SM < S < 1$. Звичайно, в асинхронних трифазних двигунах з короткозамкненим ротором $SM = 0.05..0.15$, тобто характеристики досить тверді й робоча частота обертання ω_n близька до синхронного ω_0 . Для таких двигунів на робочій ділянці $\frac{R'_p}{S} \gg x'_{pn}$, тобто переважає активна складова опору ротора.

Тоді, зневажаючи опорамі x'_{pn} та r_1 у порівнянні з $\frac{R'_p}{S}$, одержимо спрощене вираження для робочої ділянки механічної характеристики

$$M = \frac{m_1 \cdot U_c^2 \cdot S}{\omega_1 \cdot R'_p} = \frac{m_1 \cdot U_c^2 \cdot (\omega_1 - \omega)}{\omega_1 \cdot R'_p}$$

звідки

$$\omega = \omega_1 - \frac{R'_p \cdot \omega_1^2}{U_c^2} M \quad (3.7)$$

де ω - частота обертання ротора, ω_1 - частота обертання поля, U_c - напруга живлення мережі, R'_p - наведений опір ротора. Зміна напруги живлення мало впливає на частоту обертання ротора на робочій ділянці й діапазон керування напругою досить обмежений.

Трохи більший діапазон може бути забезпечений двигуном підвищеного ковзання. Однак у цьому випадку механічні характеристики мають більшу крутість і усталена робота двигуна може бути досягнута лише при використанні замкнутої системи, що забезпечує стабілізацію швидкості. При зміні статичного моменту система регулювання підтримує заданий рівень швидкості й відбувається перехід з однієї механічної характеристики на іншу, у підсумку робота протікає на характеристиках, показаних на штриховими лініями.

Плавне регулювання швидкості в широких межах зі збереженням достатньої твердості характеристик можливо тільки при частотному керуванні. Як видно з формули (3.7), змінюючи частоту обертання поля ω_1 , можна змінювати частоту обертання ротора ω за рахунок першого доданка формули, при цьому бажано, щоб другий доданок не мінявся, тобто твердість характеристики при цьому не змінювалася. Для цього одночасно із частотою,

змінюють напругу живлення U_c так, щоб їхнє відношення залишалося постійним

$$\frac{U_c}{\omega} = K = const$$

Тоді робоча ділянка механічної характеристики при частотному керуванні можна приблизно представити формулою:

$$\omega = \omega_1 - \frac{m_1 \cdot R'_p}{K^2} M$$

Таке керування називається пропорційним частотним керуванням.

Як динамічна система асинхронний трифазний двигун описується нелінійним диференціальним рівнянням першого порядку:

$$\frac{2 \cdot M_{\max} \cdot (1 + \varepsilon)}{\frac{S}{S_M} + \frac{S_M}{S} + 2 \cdot \varepsilon} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_c,$$

де J - момент інерції ротора.

З огляду на те, що $\omega = \omega_0 \cdot (1 - S)$ і $\frac{d\omega}{dt} = -\omega_0 \cdot S$, і приймаючи $\varepsilon = 0$, отримаємо:

$$\frac{2 \cdot M_{\max}}{\frac{S}{S_M} + \frac{S_M}{S}} = -J \cdot \frac{dS}{dt} + M_c$$

З огляду на те, що $M_{\max} = \frac{m_1 \cdot U_c^2}{2 \cdot \omega_1 \cdot x'_{pn}}$ одержимо:

$$\frac{m_1 \cdot U_c^2}{\omega_1 \cdot x'_{pn}} \cdot \frac{1}{\frac{S}{S_M} + \frac{S_M}{S}} = -J \cdot \frac{dS}{dt} + M_c \quad (3.8)$$

Інтегруючи рівняння (3.8) у межах від S_1 до S , одержимо:

$$t = \frac{T_M}{2} \cdot \left(\frac{S_1^2 - S}{2 \cdot S_M} + \ln \left(\frac{S_1}{S} \right) \right),$$

де $T_M = \frac{J \cdot \omega_0 \cdot S_M}{M_{\max}}$ - електромеханічна постійна часу.

При пропорційному частотному керуванні двигун можна описати лінійними рівняннями:

$$\Delta\omega = \Delta\omega_1 - \frac{m_1 \cdot R_p'}{K^2} \cdot \Delta M$$

$$\Delta M = \Delta M_c + J \cdot \frac{d(\Delta\omega)}{dt}$$

На підставі аналізу цієї схеми можна одержати передатну функцію двигуна при частотному керуванні:

$$W(p) = \frac{\Delta\omega(p)}{\Delta\omega_1(p)} = \frac{\frac{K^2}{R_p'} \cdot \frac{1}{J \cdot p}}{1 + \frac{1}{J \cdot p} \cdot \frac{K^2}{R_p'}} = \frac{k}{T_M \cdot p + 1},$$

де k - коефіцієнт передачі електродвигуна.

Коефіцієнт передачі можна знайти із відношення вихідного сигналу до вхідного. Вхідним сигналом є частота частотного перетворювача, вихідним є оберти двигуна.

$$k = 3000/50 = 60$$

Знаходимо постійну часу за формулою:

$$T_M = \frac{J \cdot \omega_0 \cdot S_m}{M_{\max}},$$

де J – зведений момент інерції;

ω_0 – синхронна кутова швидкість двигуна;

S_m - ковзання двигуна;

M_{\max} - максимальний момент двигуна.

$$\omega_0 = \frac{\omega}{1 - S},$$

де ω – робоча кутова швидкість двигуна.

$$\omega = \frac{2\pi f}{p},$$

де f - частота мережі живлення двигуна, p – пара полюсів двигуна.

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314 \text{ (рад/с}^{-1}\text{)}.$$

Тоді

$$\omega_0 = \frac{314}{1-0,11} = 352,81 \text{ (рад/с}^{-1}\text{)}.$$

$$M_{\max} = \frac{W}{\omega_0},$$

де $W = 160$ кВт – потужність двигуна (4А315S2У3), $J = 1,4$ кг·м³ – зведений момент інерції.

$$M_{\max} = 453,5 \text{ (Н·м)}$$

$$T_M = \text{Error!} = 0,120 \text{ с,}$$

3.2.3 Розрахунок коефіцієнтів передаточної функції трубопроводу

Об'єктом регулювання є трубопровід. Швидкість рідини в трубопроводі визначається рівнянням Бернуллі:

$$v = c \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}} = c \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}},$$

де v – швидкість рідини,

$c < 1$ – коефіцієнт витрати,

g – прискорення сили ваги,

$\gamma, \rho = \gamma/g$ – відповідно питома вага й щільність рідини,

Δp – перепад тиску на трубопроводі.

Об'ємна витрата рідини знаходимо:

$$Q = vf.$$

Рівняння статки трубопроводу (баланс рушійної сили потоку $F_{\text{дв}}$ і сили опору трубопроводу $F_{\text{сопр}}$):

$$F_{\text{дв}} = F_{\text{сопр}}$$

$$\text{або з обліком } f\Delta p = \frac{Q^2 \rho}{2fc^2}.$$

$$\text{Можна знайти коефіцієнт витрати: } c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}}.$$

Якщо прикладена до потоку сила $F_{дв}$ перевищує гідродинамічний опір трубопроводу, виникає прискорення потоку dv/dt , замість рівняння статички, одержуємо рівняння:

$$m \frac{dv}{dt} + F_{\text{сопр}} = F_{\text{дв}}$$

або з обліком:

$$\frac{m}{f} \frac{dQ}{dt} + \frac{Q^2 \rho}{2fc^2} = f\Delta p,$$

де $m=V\rho$ - маса рідини в трубопроводі,

$V=Lf$ – об'єм трубопроводу,

L – довжина трубопроводу.

Підставляючи в рівняння динаміки вираження для маси, маємо:

$$L\rho \frac{dQ}{dt} + \frac{Q\rho}{2fc^2} Q = f\Delta p.$$

Нарешті, приводимо крайнє рівняння до стандартного вигляду для інерційної ланки першого порядку:

$$T \frac{dQ}{dt} + Q = k\Delta p,$$

де T – постійна часу, k – статичний коефіцієнт передачі по каналу $\Delta p \rightarrow Q$, остаточно одержуємо:

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q}; k = \frac{2f^2c^2}{Q\rho}.$$

Передаточну функцію трубопроводу можна представити у вигляді апереадичної ланки:

$$W_{Tp}(p) = \frac{k_{Tp}}{T_{Tp}p + 1}.$$

Сталу часу трубопроводу і коефіцієнт можна знайти за наступними формулами:

$$T_{Tp} = \frac{2Lfc^2}{Q}, \quad k_{Tp} = \frac{2f^2c^2}{Q\rho},$$

де $L = 4$ (м) – довжина трубопроводу

$f = \frac{\pi d^2}{4} = 0,13 \text{ (м}^2\text{)}$ – поперечний переріз трубопроводу

c – коефіцієнт витрати

Q – витрата ($400 \text{ м}^3/\text{год} = 0,11 \text{ м}^3/\text{с}$)

ρ – густина рідини (1000 кг/м^3).

$$c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}},$$

де:

$$v = \frac{Q}{f} = \mathbf{Error!} = 0,85 \text{ м/с}$$

$$\Delta p = \rho \lambda \frac{L}{d} \frac{v}{2} = 1000 \cdot 0,12 \cdot \frac{4;0}{4} \frac{0}{85;2} = 510 \text{ Па}$$

$$c = \mathbf{Error!Error!} = 0,838$$

Остаточно отримаємо:

$$T_{Tp} = \frac{2Lfc^2}{Q} = \mathbf{Error!} = 6,64 \text{ с,}$$

$$k_{Tp} = \frac{2f^2c^2}{Q \cdot \rho} = \mathbf{Error!} = 0,00022.$$

3.2.4 Розрахунок коефіцієнтів передаточної функції частотного перетворювача Danfoss – VLT 6000

Передаточну функцію перетворювача представимо як аперіодичну ланку без запізнення:

$$W_q(p) = \frac{k_q}{T_q p + 1},$$

де: k_q – коефіцієнт передачі частотного перетворювача,

T_q – стала часу частотного перетворювача.

Коефіцієнт передачі можна знайти із відношення вихідного сигналу до вхідного. Вхідною величиною є струм від давача тиску 20 мА, вихідною частота, яка досягає 50 Гц:

$$k_u = \frac{50}{0,02} = 2500.$$

Сталою часу є час за який частотний перетворювач на виході досягає значення 50 Гц. Стала часу перетворювача може змінюватися в залежності від налаштувань під конкретний об'єкт і може бути від 1с. В даному об'єкті прийнято сталу часу перетворювача 1с, тоді передаточна функція має вигляд

$$W_u(p) = \frac{2500}{p+1}.$$

3.3 Визначення оптимальних коефіцієнтів регулятора

У даній роботі використано програму Matlab для знаходження оптимальних параметрів ПІД-регулятора [22-25]. У даній програмі (у її додатку Simulink) знаходимо параметри об'єкта шляхом побудови його математичної моделі.

Для того, щоб оптимізувати параметри використовуються три методи. Використаємо один з них (пакет NCD-Blockset) для знаходження оптимальних параметрів ПІД-регулятора, що є найпоширенішим та достовірним (рисунок 3.3).

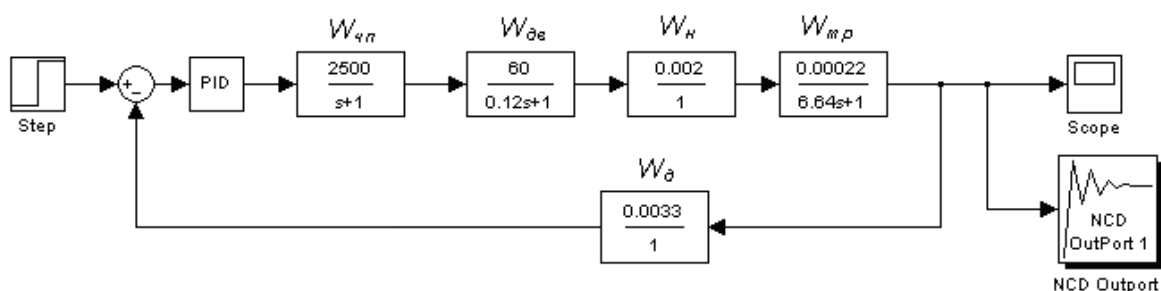


Рисунок 3.3 - Математична модель об'єкта керування тиском

Математична модель об'єкта керування описується наступними передавальними функціями [22-25]:

$$W_{oe} = \frac{k_{oe}}{T_{oe}p+1} - \text{передавальна функція двигуна};$$

$W_H = k_H$ - передавальна функція відцентрового насосу;

$W_{mp} = \frac{k_{mp}}{T_{mp}p + 1}$ - передавальна функція трубопроводу;

$W_d = k_d$ - передавальна функція давача;

$W_{\omega} = \frac{k_{\omega}}{T_{\omega}p + 1}$ - передавальна функція частотного перетворювача.

Параметри блоку PID Controller задамо змінним величинами, а саме: K_p , K_i , K_d .

Пропишемо значення змінних (початкові) у командному вікні:

$K_p = 1$; $K_i = 1$; $K_d = 0$.

Таким чином формується модель ОУ у середовищі Simulink. Далі можна задавати блок Transfer Fcn (обмеження на виході системи).

Після оптимізації отримуємо результат:

$K_p = 3,7968$;

$K_i = 0.00001$;

$K_d = 0.0023$.

Застосувавши ці коефіцієнти у математичній моделі, отримаємо перехідний процес [22-24] (рисунок 3.4).

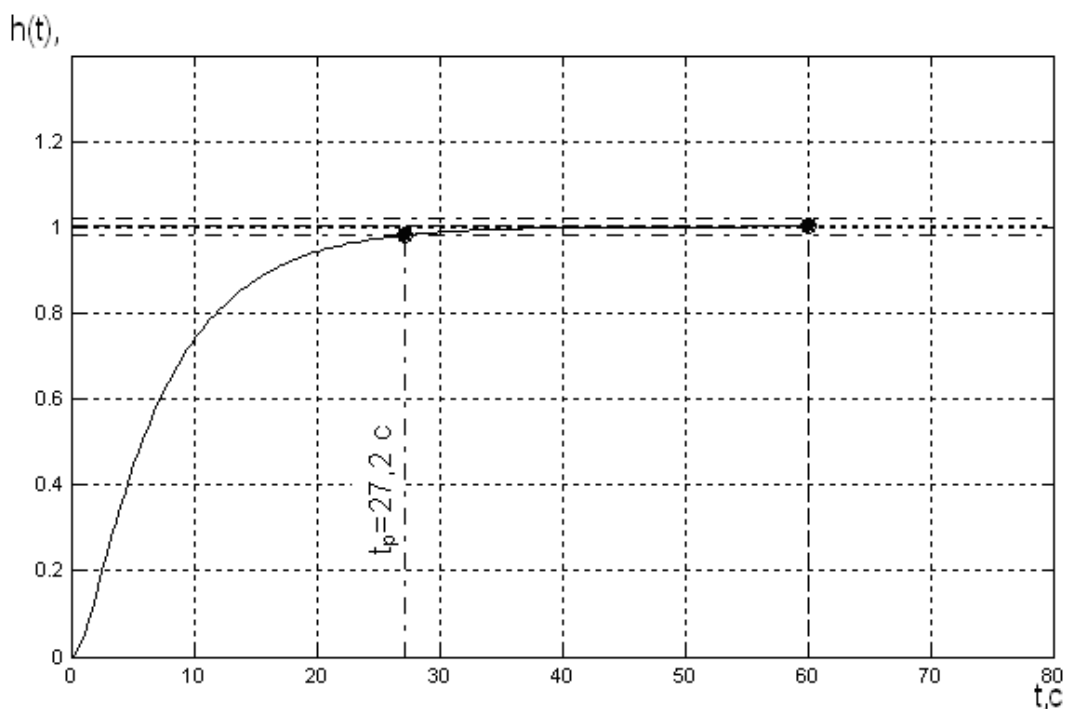


Рисунок 3.4 - Перехідний процес

Час регулювання $t_p=27,2$ с.

Перерегулювання $\sigma=0\%$.

Коливальність $n=1$.

Усталена похибка регулювання $\delta_{уст} \approx 0$.

Отже, отримані результати задовільняють вимогам до САР.

3.4 Визначення частотних характеристик об'єкта

Для дослідження властивостей об'єкта керування побудуємо амплітудно-фазову частотну характеристику.

Для цього виведемо передаточну функцію розімкнутої системи.

$$W(p) = W_u(p) \cdot W_{\delta\sigma}(p) \cdot W_n(p) \cdot W_{mp}(p) = \frac{k_{mp}}{T_{mp}p + 1} \cdot k_n \cdot \frac{k_u \cdot k_{\delta\sigma}}{T_u T_{\delta\sigma} p^2 + (T_u + T_{\delta\sigma})p + 1},$$

де $k_n=0,002$, $k_{\delta\sigma}=0,0033$, $k_u=100000$, $T_u=1$, $k_{mp}=0,00022$, $T_{mp}=6,64$, $k_{\delta\sigma}=60$,
 $T_{\delta\sigma}=0,12$;

$$W(p) = 0,002 \cdot \text{Error!Error!}.$$

Задавши заміну $p = j\omega$, перейдемо до комплексної форми запису передавальної функції:

$$W(j\omega) = \frac{k_n \cdot k_{mp} \cdot k_{\delta\sigma} \cdot k_u}{(T_{mp}j\omega + 1) \cdot (T_u T_{\delta\sigma} (j\omega)^2 + (T_u + T_{\delta\sigma})j\omega + 1)};$$

де

$$W(j\omega) = \frac{0}{00000044; (6,64(j\omega) + 1)} \cdot \text{Error!Error!} \cdot e^{-\arctg(6,64\omega)} \times \times \cdot \text{Error!} \cdot e^{-\arctg($$

$$\text{Error!}) = A_1(\omega) A_2(\omega) e^{-j(\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega))}.$$

Амплітудна характеристика:

$$A(\omega) = \frac{2}{64; \sqrt{((6,64\omega)^2 + 1) \cdot ((1 - 0,12 \cdot \omega^2)^2 + (6,76 \cdot \omega)^2)}}.$$

Частотна характеристика:

$$\varphi(\omega) = -(\arctg(6,64\omega) + \arctg(\text{Error!})).$$

За допомогою програми MatLab отримуємо графіки ЛЧХ і ФЧХ [22-25] (рисунок 3.5).

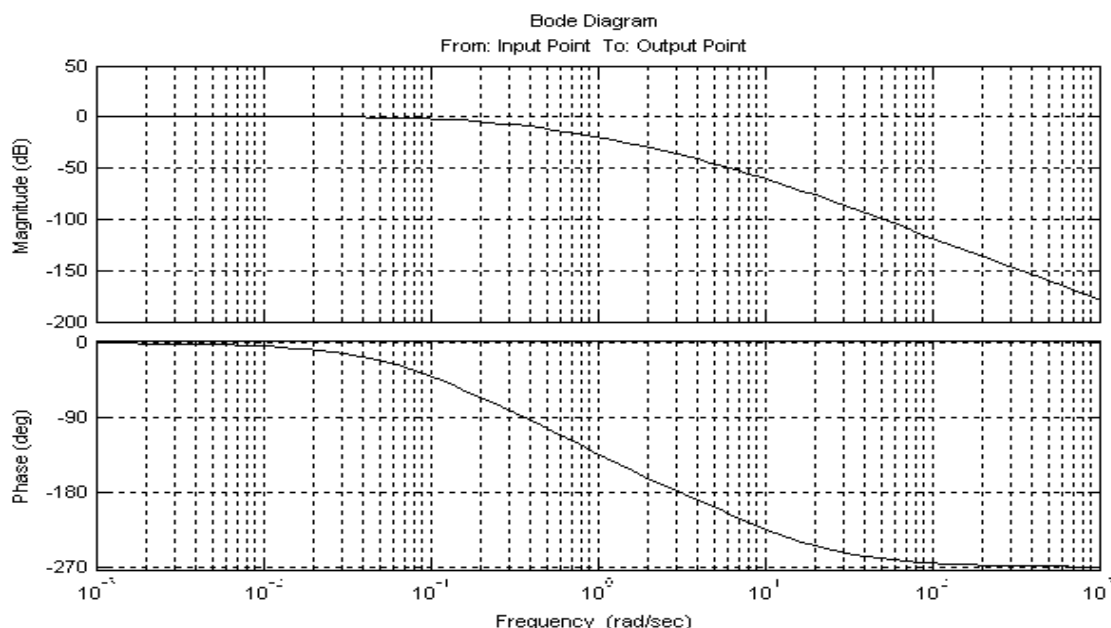


Рисунок 3.5 - Графіки ЛЧХ і ФЧХ в MatLab.

Переходимо до декартової системи координат $W(jw)=P(w)+jQ(w)$ отримуємо:

$$W(jw) = \frac{k_H \cdot k_{mp} \cdot k_{\partial\epsilon} \cdot k_u}{-j(T_u T_{mp} T_{\partial\epsilon} w^3) - ((T_u + T_{\partial\epsilon})T_{mp} + T_u T_{\partial\epsilon})w^2 + j((T_u + T_{\partial\epsilon} + T_{mp})w) + 1} =$$

$$= \frac{k_H \cdot k_{mp} \cdot k_{\partial\epsilon} \cdot k_u}{(1 - ((T_u + T_{\partial\epsilon})T_{mp} + T_u T_{\partial\epsilon})w^2) + j((T_u + T_{\partial\epsilon} + T_{mp})w - (T_u T_{mp} T_{\partial\epsilon} w^3))}$$

Помноживши на спряжений множник отримуємо:

$$W(jw) = \frac{k_H \cdot k_{mp} \cdot k_{\partial\epsilon} \cdot k_u}{(1 - ((T_u + T_{\partial\epsilon})T_{mp} + T_u T_{\partial\epsilon})w^2) + j((T_{mp} + T_{\partial\epsilon} + T_u)w - (T_u T_{mp} T_{\partial\epsilon} w^3))} \times$$

$$\times \frac{(1 - ((T_u + T_{\partial\epsilon})T_{mp} + T_u T_{\partial\epsilon})w^2) - j((T_{mp} + T_{\partial\epsilon} + T_u)w - (T_u T_{mp} T_{\partial\epsilon} w^3))}{(1 - ((T_u + T_{\partial\epsilon})T_{mp} + T_u T_{\partial\epsilon})w^2) - j((T_{mp} + T_{\partial\epsilon} + T_u)w - (T_u T_{mp} T_{\partial\epsilon} w^3))} =$$

$$= \frac{k_H \cdot k_{mp} \cdot k_{\partial\epsilon} \cdot k_u ((1 - ((T_u + T_{\partial\epsilon})T_{mp} + T_u T_{\partial\epsilon})w^2) - j((T_{mp} + T_{\partial\epsilon} + T_u)w - (T_u T_{mp} T_{\partial\epsilon} w^3)))}{(1 - ((T_u + T_{\partial\epsilon})T_{\partial\epsilon} + T_u T_{\partial\epsilon})w^2)^2 + ((T_{mp} + T_{\partial\epsilon} + T_u)w - (T_u T_{mp} T_{\partial\epsilon} w^3))^2}$$

Дійсна частина рівна:

$$P(w) = \frac{k_H \cdot k_{mp} \cdot k_{\partial\epsilon} \cdot k_u ((1 - ((T_u + T_{\partial\epsilon})T_{mp} + T_{mp} T_{\partial\epsilon})w^2)}{(1 - ((T_u + T_{\partial\epsilon})T_{mp} + T_u T_{\partial\epsilon})w^2)^2 + ((T_{mp} + T_{\partial\epsilon} + T_u)w - (T_u T_{mp} T_{\partial\epsilon} w^3))^2},$$

$$P(w) = \frac{2}{64 \cdot (1 - 7,56w^2)^2 + (1 - 7,56w^2)^2 + (7,76 - 0,7968w^3)^2},$$

а уявна рівна:

$$Q(w) = \frac{-k_n \cdot k_{mp} \cdot k_{\delta e} \cdot k_u (((T_{mp} + T_{\delta e} + T_u)w - (T_u T_{mp} T_{\delta e} w^3)))}{(1 - ((T_u + T_{\delta e})T_{mp} + T_u T_{\delta e})w^2)^2 + ((T_{mp} + T_{\delta e} + T_u)w - (T_u T_{mp} T_{\delta e} w^3))^2},$$

$$Q(w) = \frac{2}{64 \cdot (7,76 - 0,7968w^3)^2 + (1 - 7,56w^2)^2 + (7,76 - 0,7968w^3)^2}.$$

Використавши можливості MatLab, одержимо годограф Найквіста (рисунок 3.6).

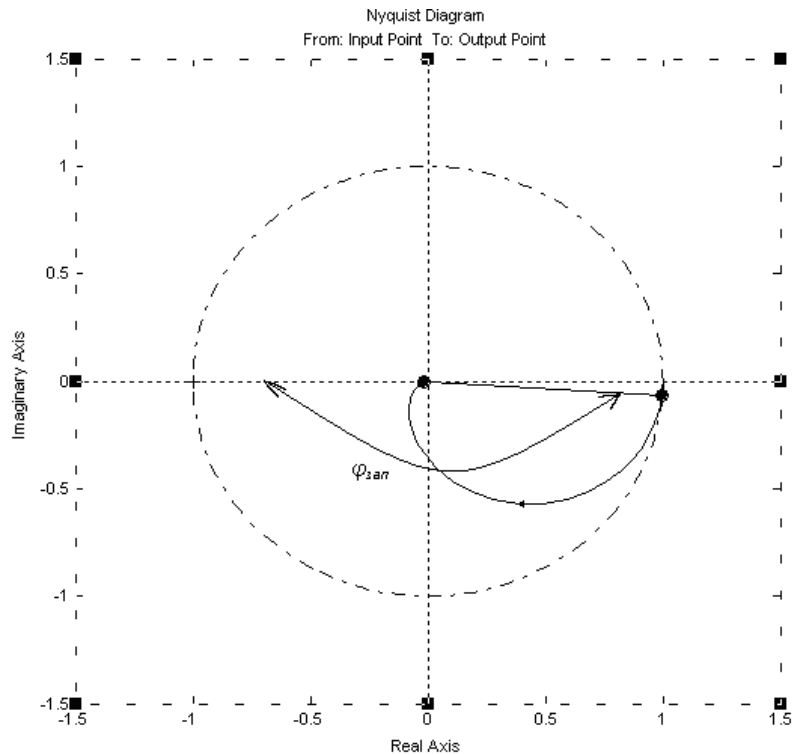


Рисунок 3.6 – Годограф, отриманий в MatLab

Побудувавши годограф можемо визначити стійкість системи за Найквістом [24, 25]. Запас стійкості за амплітудою в абсолютних одиницях визначається довжиною відрізка від перетину годографа з віссю до точки -1.

$$A_{\text{зап}}(3,12) = 1 - 0,014 = 0,986$$

$$A_{\text{зап}}(\omega) = 1 \text{ при } \omega = 0,00821 \text{ с}^{-1} \quad \varphi_{\text{зап}}(0,00821) = 176^\circ.$$

Для практики достатній запас стійкості по амплітуді повинен становити не менше 0,5 одиниць.

ВИСНОВКИ

Для потреб промислових підприємств і промисловості в цілому потрібні великі об'єми води, яка б відповідала вимогам державного стандарту і технічним умовам. Вирішення питання забезпечення промислових підприємств водою певної якості можливе лише шляхом впровадження сучасних технологій та обладнання. Вирішення господарських завдань потребує автоматизації систем керування водопостачання підприємств, які забезпечують повний контроль над функціонуванням систем водопостачання. При цьому важливо використати можливості, які могли б не допустити збільшення вартості водопостачання.

У даній роботі оптимізована система автоматизації насосних станцій, яка дає можливість вдосконалення процесів управління технологічним обладнанням і поліпшення за рахунок цього економічних показників функціонування системи водопостачання.

Зокрема, в роботі здійснений аналіз систем водопостачання, проведена їх класифікація за територіальними ознаками, за видом обслуговування та використовуваного джерела, за розташуванням та способом подавання води, за тривалістю роботи та ступенем надійності. Здійснено аналіз систем автоматизації, визначено контрольовані параметри, що дало змогу підібрати технічні засоби автоматизації на базі мікропроцесорних контролерів "Lagoon". Визначено функції та комунікаційні зв'язки системи моніторингу водозабірним вузлом. Побудовано функціональну схему системи автоматичного керування тиску в трубопроводі, визначено частотні характеристики об'єкта та оптимальні коефіцієнти регулятора, що дало змогу побудувати математичну модель регулювання тиску у водопроводі. Результати математичного моделювання показали, що параметри якості перехідного процесу задовільняють вимогам до систем автоматичного регулювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проць Я. І. Автоматизація виробничих процесів. / Я.І.Проць, В.Б.Савків, О.К.Шкодзінський, О.Л.Ляшук. - 2011. - 344 с.
2. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування / О.В. Барало, П.Г.Самойленко, С.Є. Гранат, В.О. Ковальов. -К.: Аграрна освіта, 2010. - 557с.
3. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник – М.: Колос, 2004. – 344 с.
4. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – Київ : Вища школа, 2005. – 674 с.
5. Тугай А. М. Водопостачання / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Рівне : РДТУ, 2001. – 429 с.
6. Запольський А.К. Водопостачання / А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М., Астрелін М.Т. Брик, П.І., Гвоздяк Т.В. Князькова. – К.: Лібра, 2005. – 538 с.
7. Кравченко В.С. Водопостачання і каналізація. К.: ЦНЛ, 2006.- 270 с.
8. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація. – К.:Кондор, 2003. – 288 с.
9. Автоматизація виробничих процесів / І.В.Ельперін, О.М.Пупена, В.М.Сідлецький [та ін.] / К.: Ліра-К, 2017. – 378 с.
10. Казак В.М. Автоматизація трубопровідного транспорту / В.М.Казак // К.: Київ, 2016. – 360 с.
11. Бочков В.М. Обладнання автоматизованого виробництва / В.М.Бочков, Р.І.Сілін. - Львів: В-во Львівської політехніки, 2015. - 404 с.
12. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації / В.Г.Трегуб - Ліра-К, 2019. – 344с.
13. Беляєв Ю.Б. Технічні засоби автоматизації. / Ю.Б. Беляєв, С.А. Киричук, В.М. Сідлецький, М.Г. Іванченко – К: НУХТ, 2009. –101 с.
14. SIEMENS – M20 Terminal TC35. [Електронний ресурс].- Режим доступу: http://cti.com.ua/products/gsm_modems/siemens/mc35.html.

15. Перетворювачі частоти VLT 6000 HVAC [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://ewi-engineering.com.ua/c17330-chastotnye-preobrazovateli.html>.
16. Пристрій плавного пуску електродвигунів MCD 3000 [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://sae-kip.com.ua/product/vlt-mcd-3000>.
17. Заглибний зонд LMP 308. [Електронний ресурс].- Режим доступу: http://www.bdsensors.ua/products/product_info.php?id=32.
18. Датчики тиску MBS 3000. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://uniset.ua/catalog/datchiki-davlenija-danfoss>.
19. Витратомір SIMA FC 2. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://ar-hydra.com/fi750-120abot>
20. Контролер Lagoon I-7188. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://micropribor.com.ua/catalog?gclid>.
21. Власов К.П. Теорія автоматичного управління / К.П.Власов. - Гуманітарний центр, 2013. – 544с.
22. Гоголюк П.Ф. Теорія автоматичного управління / П.Ф.Гоголюк, Т.М.Гречин // Навчальний посібник. – Львів: в-во НУ "Львівська політехніка", 2009. – 280 с.
23. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування. / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук - К.: Либідь, 2007. - 656 с.
24. Клепач М.І. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник. / М.І. Клепач. - Рівне: НУВГП, 2007. – 206 с.
25. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації / В.Г.Трегуб - Ліра-К, 2019. – 344с.