

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

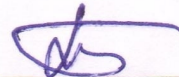
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

« 16 » 06 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

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

освітня програма Електромеханіка та електроенергетика
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизований електропривод водяних насосів котельної
установки

Виконав: студент IV курсу, групи 4371

Писарєв Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент 
(підпис)

м. Миколаїв – 2025 р.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н. доцент

І.С. Білюк

2025_ року

« 7 » 02

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр.4371 Писарєв Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизований електропривод водяних насосів котельної установки»

керівник роботи Васильєв Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «23» квітня 2025 р.
№ УЧ -343.

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2025 р.

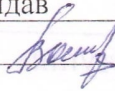
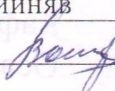
3. Вихідні дані до роботи: Мережний насос ТЕЦ, подача >1250 м3/год; показники
якості перехідного процесу: перерегулювання $\sigma < 15 \%$, час перехідного процесу
 $T_{\max} < 2$ с; похибка $\varepsilon = 0$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Опис системи гарячого водопостачання. 2 Автоматизована система
керування електропривода насосного агрегата. 3 Дослідження системи керування
електропривода мережного насоса. 4 Охорона праці при роботі з електрообладнанням
насосного агрегата

5. Перелік графічного матеріалу

1 Теплова схема котельні з водогрійними котлами при закритій системі
теплопостачання 2 Мережний насос моделі CE-1250-70-11. 3 Схема підключення
частотного перетворювача DANFOSS до насоса 4 Функціональна схема двоконтурної
системи частотного керування. 5. Схеми електропривода
6 Аналіз динаміки САК

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання «04» березня 2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис системи гарячого водопостачання	14.03.2025	
2	Автоматизована система керування електропривода насосного агрегата	05.04.2025	
3	Дослідження системи керування електропривода мережного насоса	05.05.2025	
4	Охорона праці при роботі з електрообладнанням насосного агрегата	10.06.2025	

Студент

(підпис)

Писарєв О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Васильєв О.Г.

(прізвище та ініціали)

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

I. С. Білюк

(підпис)

«_____» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

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

освітня програма Електромеханіка та електроенергетика
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизований електропривод водяних насосів котельної
установки

Виконав: студент IV курсу, групи 4371

Писарєв Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль доц. каф. автоматики, к.т.н., доц. Васильєв О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

м. Миколаїв – 2025 р.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н. доцент

І.С. Білюк

« »

2025_ року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ**

гр.4371 Писарєв Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизований електропривод водяних насосів котельної установки»

керівник роботи Васильєв Олександр Григорович, кандидат технічних наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «23» квітня 2025 р.
№ УЧ -343.

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Мережний насос ТЕЦ, подача >1250 м³/год; показники якості перехідного процесу: перерегулювання $\sigma < 15\%$, час перехідного процесу $T_{\max} < 2$ с; похибка $\epsilon = 0$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Опис системи гарячого водопостачання. 2 Автоматизована система керування електропривода насосного агрегата. 3 Дослідження системи керування електропривода мережного насоса. 4 Охорона праці при роботі з електрообладнанням насосного агрегата

5. Перелік графічного матеріалу

1 Теплова схема котельні з водогрійними котлами при закритій системі теплопостачання 2 Мережний насос моделі CE-1250-70-11. 3 Схема підключення частотного перетворювача DANFOSS до насоса 4 Функціональна схема двоконтурної системи частотного керування. 5. Схеми електропривода 6 Аналіз динаміки САК

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васильєв О.Г., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання «04» березня 2025 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис системи гарячого водопостачання	14.03.2025	
2	Автоматизована система керування електропривода насосного агрегата	05.04.2025	
3	Дослідження системи керування електропривода мережного насоса	05.05.2025	
4	Охорона праці при роботі з електрообладнанням насосного агрегата	10.06.2025	

Студент _____
(підпис)

Писарєв О.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Васильєв О.Г.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 61 сторінки: з 52 сторінок тексту, 4 розділів, 6 таблиць, 16 рисунків, 19 літературних джерел, 1 додатку на 9 сторінках.

Ключові слова: аналіз динаміки, математична модель, тиристорний електропривод, тепломережа, система керування, циркуляційний насос.

Об'єкт дослідження – система керування електропривода циркуляційного насоса тепломережі .

Мета роботи – модернізація системи керування автоматизованого електропривода циркуляційного (мережевого) насоса районної водогрійної котельної установки

У першому розділі розглянутий принцип роботи і будову системи тепловодопостачання районної котельні.

У розділі 2 проведений вибір типу електродвигуна та комплектного електропривода для насосного агрегата в системі водопостачання. Зроблений огляд існуючих систем керування електропривода для насосних станцій, вибраний перетворювач типу Danfoss VLT AQUA з частотною системою керування, наведені його технічні дані.

В розділі 3 зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей.

В результаті досліджень отримані перехідні характеристики системи частотного керування асинхронним двигуном з такими показниками якості системи керування, які пред'являються до електроприводів насосного обладнання і забезпечують плавність регулювання тиску в мережі та безаварійну роботу насосного агрегата.

В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці при експлуатації електропривода мережевого насоса.

Додаток містить 9 слайдів мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОПИС СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	8
1.1 Принцип роботи і будова системи тепловодопостачання котельні	8
1.2 Призначення, принцип дії та технічні характеристики насосного агрегата	12
1.3 Опис принципової електричної схеми силової частини електропривода мережного насоса СЭ-2500-180-8	15
2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА.....	18
2.1 Енергозберігаючий асинхронний електропривод	19
2.2 Аналіз систем керування електроприводів перемінного струму	22
2.3 Розробка функціональної схеми системи керування та вибір перетворювача частоти.....	26
2.4 Технічний опис перетворювача частоти Danfoss VLT	29
3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕРЕЖНОГО НАСОСА	33
3.1 Математичний опис елементів системи керування електропривода	33
3.2 Розрахунок параметрів структурної схеми та аналіз перехідних процесів.....	37
3.3 Аналіз динаміки системи керування електропривода насоса.....	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ НАСОСНОГО АГРЕГАТА	42
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів та заходи захисту при експлуатації систем керування електропривода мережевого насоса.....	43
4.2 Техніка безпеки при роботі насосного агрегата.....	46
ВИСНОВКИ	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	51
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація	53

ВСТУП

Теплоенергетика займає одне з провідних місць за рівнем автоматизації серед інших галузей промисловості. Автоматизація технологічних процесів на тепловій електростанції є вирішальним моментом у забезпеченні надійності та ефективності виробництва теплової та електричної енергії.

Системи водопостачання (СВ) відносяться до числа найбільш ресурсоємних технологічних об'єктів в комунальному господарстві та промисловості. 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.

В умовах військового часу, коли енергетичний комплекс країни зазнав руйнувань, питання цілеспрямованого заощадження електричної енергії набуває особливого значення.

Тому важливим є зниження енергоємності технологічного процесу водопостачання. Зазначена задача 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 керування технологічним обладнанням і поліпшення за рахунок цього економічних показників функціонування СВ.

Централізоване теплопостачання - це забезпечення споживачів теплотою тільки за рахунок використання ТЕЦ.

У всіх системах централізованого теплопостачання виконується виробництво, відпуск та переміщення виробленої теплоти.

Централізоване теплопостачання базується на використанні крупних районних котельних, що характеризуються значно більшими ККД, чим дрібні опалювальні установки.

Виробництво та відпуск теплоти здійснюються в теплопідготовчих установках джерел теплоти - ТЕЦ і міських або промислових котелень.

Транспортування теплоносія здійснюється тепловими мережами, що з'єднують джерело теплоти зі споживачами. До теплових мереж відносять теплопроводи і споруди на них - мережеві станції (підкачувальні, змішувальні, дросельні).

Теплоенергетичні установки характеризуються безперервністю процесів, що протікають у них. При цьому виробіток теплової й електричної енергії в будь-який момент часу повинен відповідати споживанню (навантаженню). Майже всі операції на теплоенергетичних установках механізовані, а перехідні процеси в них відбуваються порівняно швидко. Цим пояснюється високий розвиток автоматизації в тепловій енергетиці.

Подача води насосною станцією (НС) повинна відповідати потребам споживача, які змінюються протягом доби. Тому її продуктивність потрібно регулювати.

Сучасна тенденція розвитку електропривода полягає в заміні традиційно нерегульованого асинхронного електропривода насосів регульованим електроприводом, оснащеним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором (АДКЗ) з частотним регулюванням. Регулювання подачі насосів частотою обертання двигуна дозволяє зменшити втрати енергії на 20 – 30% проти регулювання кранами, засувками, шиберами.

Застосування систем регульованого електропривода дозволяє плавно змінювати робочі параметри НС без непродуктивних витрат електроенергії та з широкими можливостями підвищення точності та ефективності технологічного процесу, дозволяє збільшити довговічність трубопроводів та устаткування за

рахунок зниження статичних та динамічних навантажень від надмірного тиску, дає можливість розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегата, дозволяє робити плавний розгін і зупинку потужних насосних агрегатів, що запобігає появі гідроударів в трубопроводі при запуску в роботу двигуна.

Окрім того, регульований електропривод дозволяє плавно регулювати продуктивність насоса і, отже, значення вихідного напору насосної установки.

Автоматизація СВ дозволить використовувати насосний агрегат в більшому технологічному об'ємі, зменшить загальне енергоспоживання, зменшить витрати на обслуговування та підвищить надійність роботи мережі водопостачання за рахунок зменшення стрибків тиску.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена аналізу системи тепловодопостачання районної опалювальної котельні, що служить для тепlopостачання великих житлових масивів. Котельні такого типу обладнають порівняно потужними водогрійними або паровими котлами.

З метою модернізації та підвищення показників безпеки системи тепловодопостачання у даній роботі пропонується автоматизація електропривода мережного насоса районної водогрійної котельні шляхом упровадження в систему керування частотного перетворювача.

Прогнозується, що автоматизація дозволить використовувати насосний агрегат в більшому технологічному об'ємі, зменшить загальне енергоспоживання, зменшить витрати на обслуговування та підвищить надійність роботи мережі водопостачання за рахунок зменшення стрибків тиску.

1 ОПИС СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1 Принцип роботи і будова системи тепловодопостачання котельні

У загальному випадку постачання будь-якого об'єкта тепловою енергією забезпечується системою, що складається з трьох основних елементів: джерела тепла (наприклад, котельні), теплової мережі (наприклад, трубопроводів гарячої води або пари) та теплоприймача (наприклад, батареї водяного опалення, розташованої в кімнаті).

Централізоване тепlopостачання має розгалужену теплову мережу, від якої живляться численні абоненти (заводи, фабрики, громадські будинки, житлові приміщення тощо).

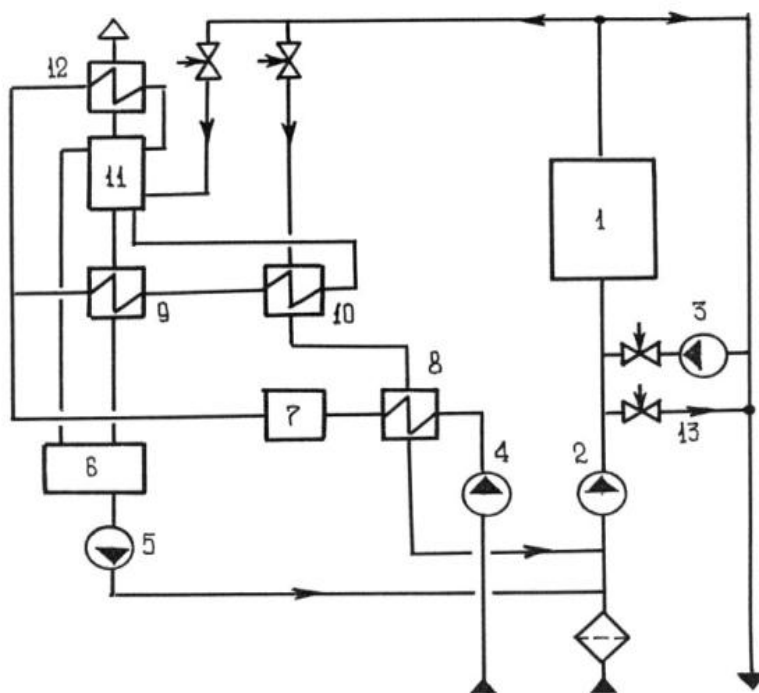
Централізована система тепlopостачання складається з наступних основних елементів: джерела тепла, теплових мереж і місцевих систем споживання — систем опалення, вентиляції і гарячого водопостачання.

Для централізованого тепlopостачання використовуються два типи джерел тепла: теплоелектроцентралі (ТЕЦ) і районні котельні (РК). На ТЕЦ здійснюється комбіноване вироблення тепла і електроенергії, що забезпечує істотне зниження питомих витрат палива при отриманні електроенергії. При цьому спочатку тепло робочого тіла — водяної пари — використовується для отримання електроенергії при розширенні пари в турбінах, а потім тепло відпрацьованої пари, що залишилося, використовується для нагріву води в теплообмінниках, які складають устаткування теплофікації ТЕЦ. Гаряча вода застосовується для тепlopостачання. Таким чином, на ТЕЦ тепло високого потенціалу використовується для вироблення електроенергії, а тепло низького потенціалу — для тепlopостачання. У цьому полягає енергетичний сенс комбінованого вироблення тепла і електроенергії. При роздільному їх виробленні електроенергію отримують на конденсаційних станціях (КЕС), а тепло — в котельнях [14].

Опалювальні котельні установки (в основному водогрійні, але вони можуть бути паровими) призначені для обслуговування систем опалення виробничих і житлових приміщень.

Районні котельні служать для теплопостачання великих житлових масивів: їх обладнають порівняно потужними водогрійними або паровими котлами [11].

Принципова теплова схема котельні зі сталевими водогрійними котлами, які працюють на закриту систему теплопостачання, наведена на рисунку 1.1 До складу котельні входить таке основне обладнання: водогрійні котли 1, мережевий насос 2, група пристроїв для підготовки поживної води перед подачею її до котлів (апарат хімічної очистки води 7, деаератор 11, теплообмінний апарат для підігріву сирої води 8, та підігрівання хімічищеної води 9 , 10), а також живильний 4 і підживлювальний 5 насоси.



1 – котел; 2 – **МЕРЕЖЕВИЙ НАСОС**; 3 – рециркуляційний насос; 4 – поживний насос; 5 - насос, що підживлює; 6 – бак води, що підживлює; 7 - апарат хімічної очистки води; 8 – підігрівач сирої води; 9, 10 – підігрівачі хімічно очищеної води; 11 – деаератор; 12 – охолоджувач випаровування; 13 – лінія перепускання

Рисунок 1.1 – Теплова схема котельні з водогрійними котлами при закритій системі теплопостачання

Вода із зворотної лінії теплових мереж з невеликим тиском (близько 30 м вод.ст.) надходить до **мережевого насоса 2**. Туди надходить також вода від насоса для компенсації втрат води в теплових мережах. До мережевого насоса нагрівання води в теплообмінних апаратах (8), (10). При всіх режимах відпустки теплоти, крім пікового зимового, частина води з зворотної лінії по лінії перепускання (13) надходить у подавальну магістраль для змішування з нагрітою в котлах водою. Змінюючи пропорції потоків нагрітої та охолодженої води, можна забезпечити задану розрахункову температуру в магістралі теплової мережі.

Для запобігання конденсації водяної пари, що міститься в продуктах згоряння палива, на трубах нагрівальних поверхонь котла, і для зменшення інтенсивності зовнішньої корозії труб необхідно забезпечити температуру води на вході в котли вище температури точки роси димових газів.

Мінімально допустима температура води на вході в котли повинна бути такою: при спалюванні газу – не нижче 60 °С, при роботі на мазуті з низьким вмістом сірки – не нижче 70 °С, на мазуті з високим вмістом сірки – не нижче 110 °С. Для цього в трубопровід за насосом додають необхідну кількість нагрітої в котлах води.

Лінію, яка з'єднує подавальний та зворотний трубопроводи та здійснює підвищення температури води перед котлом, називають рециркуляційною. Подача води здійснюється рециркуляційним насосом 3.

Сира вода, яка надходить до котельні, містить речовини: органічні та мінеральні домішки, сполуки кальцію та магнію, оксиди металів, гази (кисень, діоксид вуглецю) тощо. Наявність у воді солей кальцію і магнію, які зумовлюють головним чином жорсткість води, призводить при нагріванні води до утворення на стінках труб котлоагрегату шару накипу. Утворення накипу на поверхні нагрівання пояснюється електростатичними процесами взаємодії між протилежно зарядженими частинками солей і металевою стінкою. Відкладення, що утворюються, характеризуються малою величиною коефіцієнта теплопровідності та зумовлюють зростання термічного опору теплопередачі.

Це призводить до зниження теплової продуктивності та виходу теплообмінних поверхонь з ладу. Наявність у воді газів обумовлює більш інтенсивне перебіг процесів внутрішньої корозії труб котлоагрегатів.

Для усунення цих недоліків у котельнях здійснюють комплекс спеціальних заходів, які називають підготовкою води. Процес підготовки сирій води можна розділити на етапи: освітлення чи видалення механічної та органічної суспензії; пом'якшення чи видалення солей жорсткості; деаерація чи видалення розчинених у питній воді газів.

При районному тепlopостачанні джерело теплоти – парова чи водогрійна котельня з установкою у ній парових чи водогрійних котельних агрегатів. У котельні виробляється лише один вид енергії – тепла енергія, яка відпускається споживачам у вигляді пари чи гарячої води.

На рисунку 1.2 наведено схему централізованого тепlopостачання від водогрійної котельні.

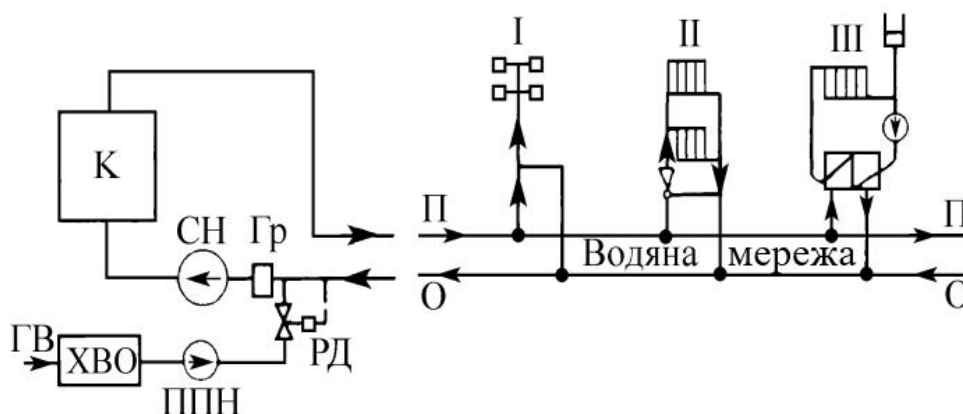


Рисунок 1.2 – Схема тепlopостачання від районної водогрійної котельні:

І – система гарячого водопостачання; ІІ – система опалення (залежне приєднання); ІІІ – система опалення (незалежне приєднання)

У котельному агрегаті відбувається нагрівання води шляхом спалювання палива; нагріта вода по теплопроводах (подавальному П і зворотному О) теплової мережі циркулює за допомогою мережевих насосів СН: по подавальному – до споживачів теплоти (І, ІІ і ІІІ), а по зворотному – від споживачів теплоти до насосів і знову до котельних агрегатів. Перед котельними агрегатами вода проходить

грязьовик (Гр), де з води видаляються зважені механічні домішки (окалина, пісок, корозійні відкладення).

У котельні передбачено хімводоочисну установку з підготовки води (ХВО). Подача води здійснюється підживлювальним насосом ППН автоматично за допомогою регулювального клапана (РД). У ХВО вода може пом'якшуватися, звільняючись від розчинених кисню та вуглекислоти, а також від нерозчинних механічних домішок.

Об'єктом модернізації в даній роботі є система керування електропривода насосної станції теплової мережі.

1.2 Призначення, принцип дії та технічні характеристики насосного агрегата

Джерелами теплопостачання міста є ТЕЦ, великі районні котельні та безліч дрібних котелень. Мережні насоси найчастіше встановлюються в котельнях, а також великих теплоенергоцентралях (ТЕЦ), вони є елементом потужних централізованих мереж теплопостачання. Насоси застосовуються для перекачування гарячої води в системах теплових мереж - звідси й назва.

Насос мережний електричний (насос МЕ), як правило, призначений для роботи з рідинами, нагрів яких не перевищує 181 градус по Цельсію. Ці насоси виконані за технологією, що передбачає горизонтальне розташування робочого валу і випускаються з горизонтальним розніманням кожуха, що дозволяють легко замінити будь-яку зношену деталь. Кожний насос обладнаний робочими колесами двостороннього ходу.

В даній роботі розглядається районна **опалювальна котельня**, де встановлені мережні насоси (агрегати) моделі СЭ 1250-70-11-3-УХЛ4. Загальний вид насоса показано на рисунку 1.3 [13].

В позначенні насоса, наприклад, СЭ 2500-70-11 цифра 2500 - кількість кубічних метрів рідини на вході, 70 - величина напору в метрах, 11 - порядковий номер чергової модифікації, якій піддався цей насос.

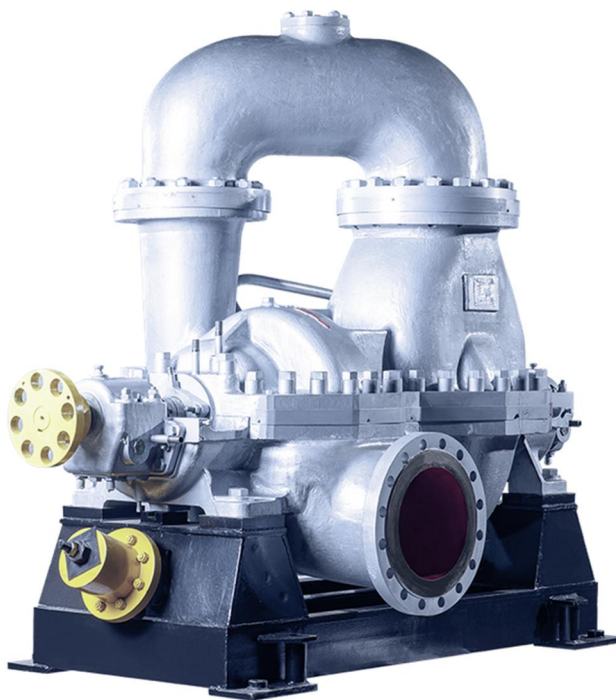


Рисунок 1.3 - Загальний вид насоса моделі СЭ 1250-70-11-С УХЛ4

Зведене поле Q-Н графіків насосів марки СЭ показано на рисунку 1.4

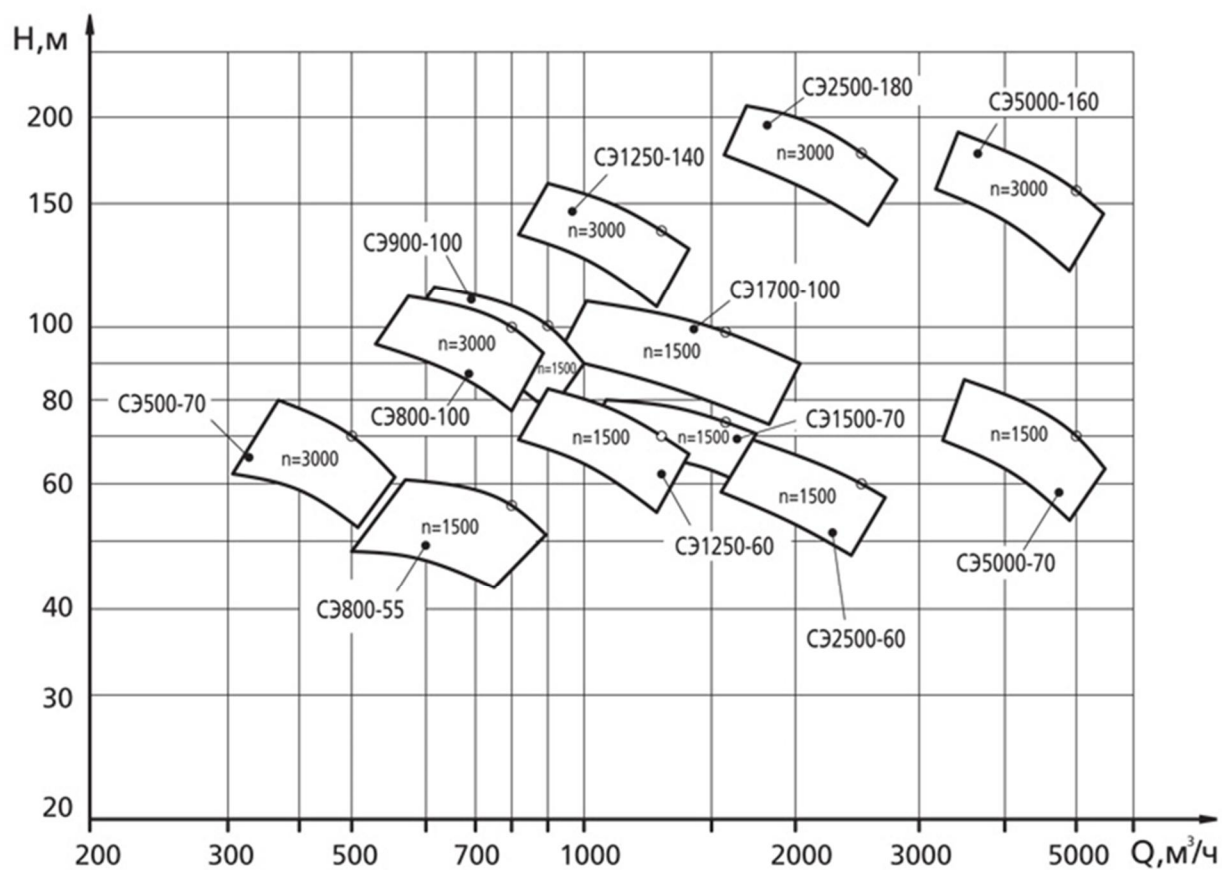


Рисунок 1.4 - Зведене поле Q-Н графіків насосів марки СЭ

Технічні характеристики насосного агрегата [13] наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики насосного агрегата

Параметр	Значення
Марка агрегату	СЭ 1250-70-11
Подача, м ³ /год	1250
Напір, м	70
Частота обертання, об/хв	1500
Потужність електродвигуна, кВт	315
к.к.д, %	83

Вказані мережні насоси й насосні агрегати на їхній основі призначені для перекачування води з температурою до 180°C у теплових мережах.

Насосний агрегат складається з насоса в зібраному виді з допоміжними трубопроводами в межах насоса, відповідних фланців на патрубках, приводного електродвигуна, сполучної муфти типу МУВП або МУП з огороженням.

На рисунку 1.5 показані характеристики насоса типу СЕ.

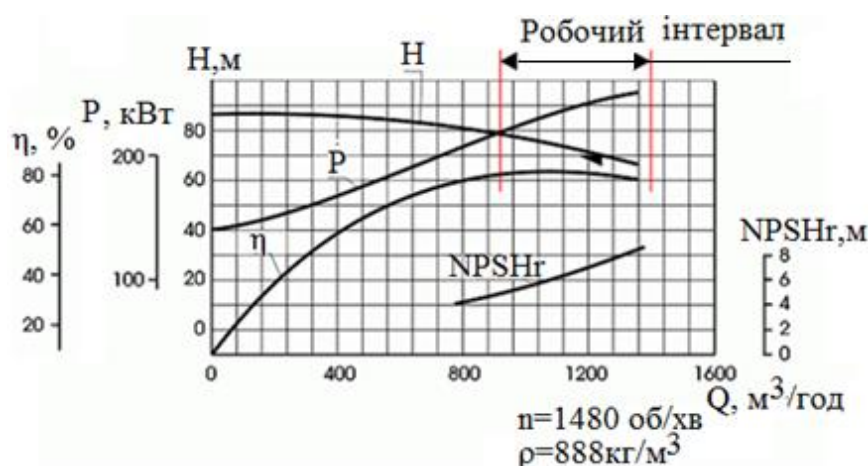


Рисунок 1.5 - Гідрравлічні характеристики насоса типу СЕ 1250-70-11

На графіку: H - напір, м; Q - подача, м³/год; P - потужність електродвигуна, кВт; η - ККД; $NPSH_r$, м - висота стовпа рідини над усмоктувальним патрубком насоса.

У якості приводного двигуна насоса СЕ 1250-70-11 використаний асинхронний електродвигун типу АИР355М4 [6].

Технічні характеристики електродвигуна наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики електродвигуна АИР355М4

Характеристика	Значення
Тип двигуна	АИР355М4
Струм при 380В, А	558
Потужність, кВт	315
Частота обертання, об/хв.	1490
ККД, %	95,2
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,9
$M_{\max}/M_{\text{ном}}$	2,2
$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	2,1
Момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	8,2
$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	6,9
Маса, кг	1900

1.3 Опис принципової електричної схеми силової частини електропривода мережного насоса СЕ-1250-70-11

У цей час на території всієї країни відповідно до задач тепло збереження розвертаються масштабні дії по реконструкції й реорганізації теплових мереж.

Новоспоруджені й уже експлуатовані будинки оснащуються автоматичними індивідуальними тепловими пунктами й керованими насосними вузлами з погодо залежним регулюванням. У підсумку споживання тепла стає динамічним. Відповідно, на джерелах теплоти також необхідно змінювати його подачу таким чином, щоб у мережі не циркулював перегрітий теплоносій. У більшості випадків питання вирішується дроселюванням: у систему з перекачувальними насосами ставляться спеціальні засувки, які зменшують витрату води.

У названого способу є ряд недоліків:

- складності в застосуванні, обслуговуванні, експлуатації. По-перше, асинхронні двигуни насосів підключаються до електричної мережі прямо. По-друге, додаткові дроселі й клапани потребують системи керування;

- тиск у лінії міняється не оперативно, а східчасто, що обумовлює низький діапазон регулювання;

- прямий пуск асинхронних двигунів насосних агрегатів через високі значення пускових струмів у мережі згубний для двигунів і підвищує ймовірність виникнення гідроударів у трубопроводах.

Застосовувана в цей час система керування насосним агрегатом є релейно-контакторна. При цьому забезпечується прямий пуск електродвигуна, захист від довгострокового перевантаження й від короткого замикання [12].

Релейно-контакторна схема керування електроприводами насосів є простою та достатньо надійною в роботі. Вона повністю забезпечує вимоги технологічного процесу, але має ряд принципових недоліків, основними з яких є наступні:

- прямий пуск двигуна. Значні пускові струми викликають термічні перевантаження в обмотках машини та додаткові втрати електроенергії, приводять до значних просадок напруги на шинах трансформаторної підстанції;

- велика частота вмикань двигунів, котра може досягає значень 5-10 вмикань/вимикань на добу, приводить до відносно швидкого зносу технологічного обладнання та комутаційної апаратури;

- релейно-контакторна система керування не може забезпечити ефективний енергетичний режим роботи насоса.

- нерегульований привод не дозволяє врахувати поступову зміну гідравлічного опору фільтрів у процесі їхньої експлуатації – це приводить до зміни реальної витрати продувної води й, отже, до нерівномірної якості продувки на початку й наприкінці циклу роботи;

- при релейно-контакторному керуванні для наближення до цієї умови потрібно звужувати зону рівнів рідини при вмиканні та вимиканні насосів а це, в свою чергу, приводить до недопустимого значення числа вмикань/вимикань двигунів.

Принципова схема підключення мережних насосів **при існуючому способі** керування наведена на рисунку 1.6.

Подолати вище перелічені недоліки можна, застосувавши частотне

регулювання швидкості насосів.

В роботі з метою модернізації системи керування необхідно провести заміну релейно-контакторної системи керування електроприводом насосного агрегату на систему, що буде забезпечувати:

- плавний пуск привода з можливістю завдання часу пуску;
- плавне перемикання з одного агрегату на другий при зміні робочих насосів;
- регулювання швидкості обертання залежно від зміни навантаження;
- зниження зношування циркуляційного агрегату, виконавчих механізмів, запорно-регулюючої арматури, інженерної системи в цілому;
- зниження зношування комутаційної апаратури;
- зниження потужності джерела живлення.

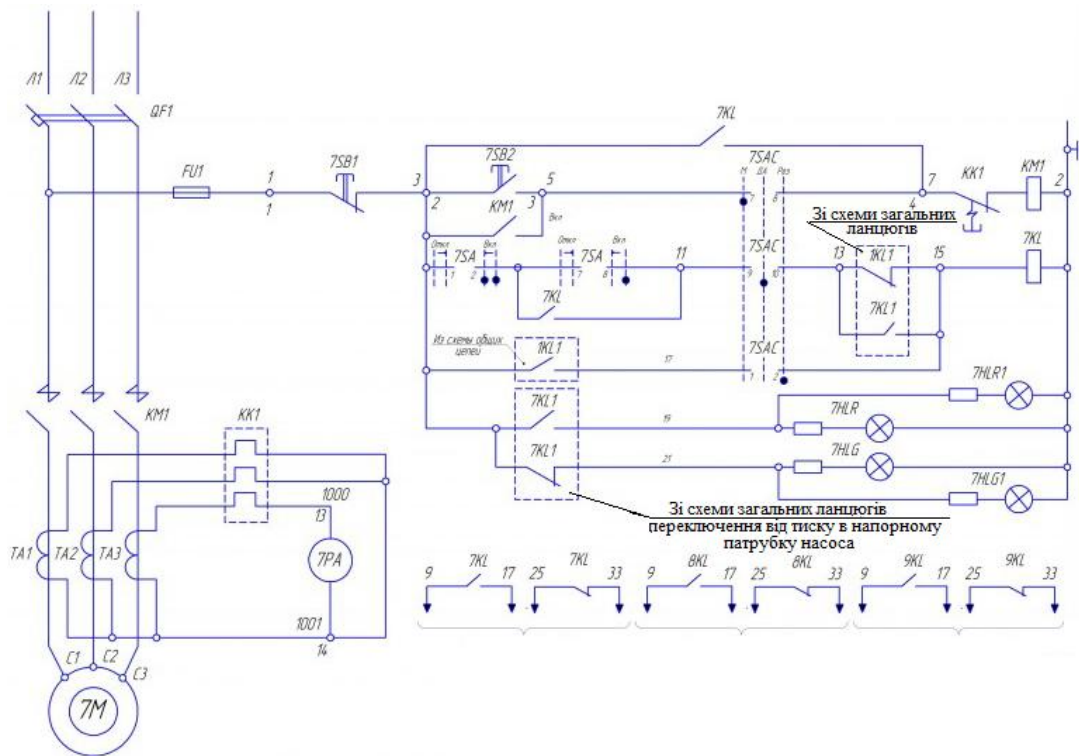


Рисунок 1.6 - Принципова електрична схема підключень мережного насоса з електроприводами на запірній арматурі

2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА

Приводом насоса у насосному агрегаті є електричний двигун. За допомогою керування двигуном можливо досягти зміни характеристики насоса. Напірна характеристика насоса $H - Q$ будується для номінального режиму його роботи, але змінюючи швидкість обертання двигуна, можливо змінити напірну характеристику насоса. Зміна характеристики насоса, при зміні частоти обертів відбувається за законами подібності.

Найбільш поширеним двигуном у системах водопостачання є трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Системи керування даним типом двигуна складніші, ніж для двигунів постійного струму, хоча габарити його менші у порівнянні з постійними, а строки експлуатації більші.

У водопостачанні частіше використовуються трифазні двигуни змінного струму [8].

Частотно-регульований електропривод використовується в системах автоматизованого керування (САК) насосних установок, щоб з його допомогою привести у відповідність режим роботи насосів з режимом роботи обслуговуваної системи подачі рідини, наприклад, водопровідної або каналізаційної мережі міста або промислового підприємства [14].

Водоспоживання i , відповідно, стік забруднених вод безперервно змінюються в часі і в досить широкому діапазоні ($1/2 - 1/4$). Характер зміни водоспоживання визначається випадково-імовірнісними законами. Щоб відстежувати ці зміни, необхідно безперервно регулювати режим роботи насосної установки.

Процес регулювання ускладнюється невідповідністю характеристик відцентрових насосів і трубопроводів. Щоб подати збільшену витрату води по трубопроводу, тиск на насосній станції треба збільшувати, а характеристики відцентрових насосів такі, що при збільшенні подачі води напір, що розвивається

насосом, падає. У той же час при зменшенні подачі води тиск насоса варто було б теж зменшити, а він збільшується.

Тому в періоди зменшеного водоспоживання системи водозабезпечення працюють з надлишковим тиском, який гаситься в пристроях дроселювання або в водорозбірній арматурі у споживача. При цьому енергія, споживана насосами, нерационально потребує більш значних витрат на створення надлишкових напорів, під впливом яких збільшуються витік і непродуктивні витрати води, виникають підвищені механічні напруги в стінках труб.

Тобто регулювання проводилося зменшенням потоку при постійній потужності електропривода [7]:

Невідповідність в режимах роботи насосів і трубопроводів може бути усунуто зміною частоти обертання насосів, яка повинна регулюватися відповідно до змін водоспоживання або припливу стічних вод. При зменшенні частоти обертання насоса зменшується його подача води і створюваний ним тиск. При збільшенні частоти обертання тиск збільшується одночасно зі збільшенням подачі води.

Робочі параметри насоса приводяться у відповідність з режимом роботи обслуговуваної системи регулюванням частоти обертання. Щоб змінити частоту обертання насоса, необхідний регульований електропривод (ЕП). Значення частоти обертання насоса, з якою він повинен працювати в той чи інший момент часу, визначається системою САК насосної установки.

2.1 Енергозберігаючий асинхронний електропривод

Типове для комунального сектора завдання керування насосною станцією полягає у підтримці в системі водопостачання заданого значення тиску рідини в межах широкого діапазону витрат, що змінюються в часі.

При цьому добовий графік споживання води в комунальній системі водопостачання може змінюватися в широких межах і коливатися в діапазоні від 10 до 100% від розрахункового піку водоспоживання. Найбільш економічний

спосіб вирішення поставленого завдання – регулювання швидкості насоса, а не гідравлічного опору системи. Зміна частоти напруги електроживлення призводить до пропорційної зміни швидкості насоса, а з нею і зміни потужності, напору і продуктивності відповідно.

Одним з основних елементів автоматичних систем керування насосними станціями (АСУ НС) є впровадження енергозберігаючих технологій на базі застосування **частотно-регульованого електропривода** (перетворювача частоти - ПЧ).

У світовій практиці керований електропривод визнаний одним з найбільш ефективних енергозберігаючих та екологічних технологій.

Висока ефективність впровадження автоматизованого керованого електропривода для керування параметрів та оптимізації роботи різних технологічних схем механізмів, особливо, з насосними та вентиляційними установками, працюючих в змінних режимах, підтверджена багаторічним світовим досвідом.

Як правило, в більшості технологічних схемах енергетики, промисловості, сфері комунального постачання та інших сферах встановлені електродвигуни з розрахунком на максимальну продуктивність обладнання, в той час, як години пікового навантаження, тобто час роботи обладнання з максимальною продуктивністю, складають всього 10 -15 відсотків від загального часу роботи обладнання.

Особливо ефективно застосування регульованого електропривода в системах холодного та гарячого водопостачання та тепlopостачання комунальних господарств [3], оскільки в цьому випадку регульований електропривод крім економії електроенергії в розмірах до 50% забезпечує економію води до 20% і тепла до 6-10%.

Особливо актуальною проблема енергозбереження, а також впровадження керованого електропривода, як один із засобів вирішення цієї проблеми, постає сьогодні, коли:

- сучасний стан енергетичного обладнання потребує щорічного оновлення,

через застарілість обладнання;

- необхідність промисловості і комунальних підприємств потреби більшої кількості кіловат – годин від енергосистеми;

- у великій кількості регіонів країни ускладнюються проходження осінньо – зимового максимуму по тепловому та електронавантаженню;

- отримати додаткову кількість кіловат – годин шляхом будівництва та введенням в експлуатацію енергетичних потужностей на даному етапі дуже проблематично;

- застосування енергозберігаючого обладнання, в першу чергу, керований електропривод значно вигідніше, а не встановлювати нові потужності для отримання тієї самої кількості кіловат-годин.

Досвід впровадження керованого електропривода підтвердив його високу енергозберігаючу ефективність [3].

При автоматизації із застосуванням частотних перетворювачів найбільше підвищується експлуатаційна та економічна ефективність для таких механізмів:

- насос, вентилятор, димосос;
- конвеєр, транспортер;
- підйомник, кран, ліфти та ін.

Розглянемо роботу електроприводів відцентрових насосів.

Зазвичай, насоси мають нерегульований електропривод. Регулювання подачі здійснюють або засувкою на напірному трубопроводі (метод дроселювання), або зміною кутової швидкості насоса (частотне регулювання).

Порівняння цих способів показує, що при частотному регулюванні насос споживатиме потужність майже у два рази меншу, ніж при дросельному регулюванні [1,17].

При дроселюванні енергія потоку речовини, яка стримується засувкою або клапаном, просто губиться, не призводячи до жодної корисної роботи.

Найбільший ефект досягається при використанні частотних перетворювачів на об'єктах транспортування рідини.

Перспективність частотного регулювання показана на рисунку 2.1

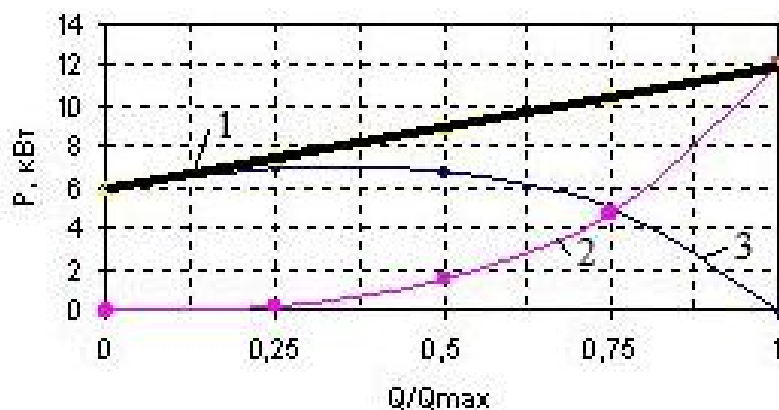


Рисунок 2.1 – Порівняння способів регулювання продуктивності насоса:

1 – Споживана потужність при дроселюванні; 2 – Споживана потужність при частотному регулюванні; 3 – Економія електроенергії

В режимі енергозбереження, ПЧ автоматично зменшує (економить) енергоспоживання в разі низького навантаження двигуна. При роботі в цьому режимі, ПЧ оцінює коефіцієнт навантаження двигуна по струму і регулює вихідну напругу при одночасному зниженні навантаження. Чим далі інвертор працює в режимі енергозбереження, тим більш ефективним є енергозбереження. Економія енергії менш ефективна, коли навантаження перевищує 70% від номінального значення частоти обертання двигуна.

2.2 Аналіз систем керування електроприводів перемінного струму

Одним з методів керування режимами роботи електричних двигунів змінного струму є метод частотного керування. Замість безпосередньої подачі на двигун стандартної змінної напруги з мережі (одно або трифазної) напруга спочатку проходить процес перетворення. При цьому міняються деякі її ключові параметри, зокрема:

- амплітуда напруги й струму;
- частота напруги й струму;
- кутова різниця між окремими фазами;
- вектор магнітного потоку усередині обмоток ротора й статора.

Процес такого перетворення здійснюється в особливому пристрої, який прийнято коротко називати частотним перетворювачем або перетворювачем частоти (ПЧ).

У цьому випадку агрегати будуть давати саме такий напір, який необхідний, при тому скоротяться втрати, що дозволить не переплачувати генеруючим компаніям. Крім того, теплові мережі зможуть більш ефективно використовувати наявні резерви й зменшити потреби в будівництві нових ТЕЦ і котелень.

У регульованих електроприводах використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим чи фазним ротором, синхронні і вентильні електродвигуни. Застосовуються різні способи регулювання швидкості електродвигуна шляхом зміни: напруги статора, частоти і напруги статора, частоти і напруги ротора, додаткового опору в ланцюзі ротора та ін. [3,4].

При виборі привода необхідно також враховувати, що привод працює в безупинному режимі, а також можливість довгострокової роботи привода на знижених обертах.

Найбільше поширення одержали наступні способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна:

- частотне регулювання;
- векторне керування.

Векторне керування. При векторному керуванні вввиконується роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна. Координати електропривода, обмірювані в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторів в обертовій системі координат. По цих координатах і виконується керування [16].

Попри всі переваги векторного регулювання, недоліком системи є складність керуючих і функціональних пристроїв при реалізації перетворення координат і фаз, виконання компенсаційних зв'язків при широкому діапазоні регулювання швидкості й навантаження електропривода.

Основним способом регулювання швидкості двигуна у сучасних системах керування асинхронними двигунами змінного струму є регулювання шляхом зміни **частоти і напруги на обмотках статора** [3].

Частота і напруга є двома сигналами керування, які принципово можуть регулюватися незалежно один від одного. Зазвичай за незалежний вплив приймається частота, а значення напруги при даній частоті визначає вид механічної характеристики, значення пускового і критичного моментів. Такий спосіб регулювання асинхронним двигуном називається частотним (система скалярного керування), а характер узгодження напруги і частоти – законом частотного регулювання.

Частотне регулювання асинхронних електроприводів. Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти живлячої напруги впливає з формули $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 - s)/p$.

При регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди напруги джерела, що витікає з формули $U_1 \approx E_1 = k \cdot \Phi \cdot f_1$. Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватись зворотно пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зросте и це призведе до насичення сталі машини и, як наслідок, до різкого збільшення струму і перевищення температури двигуна; при збільшенні частоти потік буде зменшуватися і, як наслідок, буде зменшуватися припустимий момент.

У замкнутих системах частотного керування можуть бути отримані характеристики необхідної якості в діапазоні регулювання 10 000 : 1 і більш.

Частотне регулювання кутової швидкості є економічним, тому що керування двигуном виконується при малих ковзаннях. Крім того, у замкнутих системах можна керувати двигуном, досягаючи мінімуму втрат у ньому або мінімуму споживаного двигуном струму або екстремуму інших енергетичних показників, тому що є можливість регулювати напругу у функції навантаження. Частотне регулювання кутової швидкості звичайно плавне, безступінчасте. Але воно вимагає застосування відносно складного перетворювача.

Частотно-струмове керування. У системах частотно-струмового керування двигун живиться від перетворювача частоти з автономним інвертором (АІ). У такому випадку керований випрямляч (КВ) разом з контуром регулювання струму випрямляча утворює джерело струму. Керування двигуном виконується шляхом завдання струму статора й частоти АІ. Обидві величини, у свою чергу, залежать від загального сигналу завдання на систему, що визначає швидкість двигуна. Струм статора зв'язаний також з навантаженням двигуна.

Якщо при регулюванні швидкості задаватися умовою сталості потоку на рівні необхідного значення, наприклад $\Phi = \Phi_n = const$, то можна розрахувати залежність $\gamma = F(S_2)$, що реалізує ця умова.

У системах частотно-струмового керування для забезпечення необхідної жорсткості механічних характеристик можуть бути застосовані контури регулювання швидкості двигуна.

Перетворювач частоти (частотний перетворювач, або регулятор частоти обертання) являє собою електротехнічний пристрій, що перетворює трифазну напругу мережі в трифазну напругу змінної амплітуди і частоти. До входу частотного перетворювача підключається мережа живлення, до виходу підключається двигун насоса. Коли необхідне обертання двигуна на малих обертах, перетворювач подає на нього низьку напругу (і, відповідно, потужність). У міру зростання навантаження двигуна, інвертор підвищує напругу і частоту живлення двигуна до номінальних. Таким чином він здатний регулювати продуктивність насоса від нуля до його паспортного значення.

У режимі регулювання тиску перетворювач частоти по сигналу датчика тиску керує продуктивністю насоса. Керування відбувається шляхом автоматичної зміни частоти обертання насоса в залежності від відхилення заданого і реального тисків у напірному трубопроводі.

На початку роботи частотний перетворювач починає плавно збільшувати частоту електродвигуна насосного агрегата, що дозволяє уникнути стрибка струму та гідравлічного удару. Як тільки тиск досягає заданого значення, перетворювач частоти підтримує поточну частоту обертання. Як правило, при цьому насос

працює на частоті, дещо меншій, ніж його паспортна частота і споживає менше електроенергії. Якщо під час роботи витрати води збільшаться, то перетворювач частоти по сигналу датчика тиску відстежить тенденцію до падіння тиску і підвищить продуктивність насоса. І, навпаки, в нічний час частота обертання насоса автоматично знизиться.

Функціональна схема системи керування насосною станцією представлена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 - Функціональна схема системи керування насосною станцією

Для вимірювання тиску у трубопроводі застосовують датчики тиску: механічні манометри, реле тиску або перетворювачі тиску з вихідним сигналом по струму або по напрузі. Вихідний сигнал тиску є зворотним зв'язком для системи керування.

2.3 Розробка функціональної схеми системи керування та вибір перетворювача частоти

Для складання функціональної схеми необхідно розглянути склад та роботу системи керування електродвигуна мережного насоса [4,17].

Відповідно до норм водоспоживання населенням, підприємствами, пожежною системою й іншими потребами міста розраховується графік водоспоживання, по якому погодинно на протязі доби станція повинна забезпечити відповідне значення подачі води для покриття потреб міста. По характеристиці мережі водопостачання цьому значенню подачі відповідає певне значення тиску. Для забезпечення погодженої роботи мережі водопостачання подача із графіка

водопостачання повинна бути рівній сумарній подачі насосної системи (далі НС) на її виході. Для цього прибігають до регулювання продуктивності станції.

Режими роботи механізмів відцентрового типу визначаються трьома величинами: подачею Q , напором H и частотою обертання n . Ці величини визначають також момент опору й потужність на валу механізму.

Експлуатаційні властивості механізмів відцентрового типу визначаються Q - H характеристикою й залежністю ККД від подачі при $n = \text{const}$. Теоретичний розрахунок зазначених характеристик представляє великі труднощі, тому на практиці користуються експериментальними залежностями $H(Q)$ і $\eta(Q)$, які приводяться в каталогах насосів для незмінної номінальної швидкості.

Момент опору на валу двигуна M_0 , Н·м, [4]

$$M_0 = \frac{\rho g Q H}{\omega \eta_M}, \quad (2.1)$$

де ρ – щільність рідини, кг/м³ (для води = 1000 кг/м³);

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²;

Q – продуктивність турбомеханізму, м³/с;

H – тиск, м;

η_M – коефіцієнт корисної дії турбомеханізму;

ω – кутова швидкість робочого органу насоса, рад/с.

Зважаючи на те, що будь-яке регулювання приводить до зміни характеристики або насосного агрегата (НА), або самої мережі водопостачання, завдання досягнення рівності подачі із графіка водопостачання сумарній подачі НС при певнім значенні тиску на її виході ускладнюються тим, що зі зміною значення подачі змінюється й значення тиску. Таким чином, для одержання значень подачі НА станції, сумарного значення подачі станції (Q) і тиску на її виході (H), при яких забезпечується спільна робота НС і мережі водопостачання й покриваються потреби міста у воді, необхідно вирішити рівняння

$$H = \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 \cdot H_0 - R \cdot Q, \quad (2.2)$$

де H – напір;

ω – кутова швидкість робочого органа насоса;

H_0 – тиск, що розвиває насос при нульовій подачі;

R - внутрішній опір мережі водопостачання;

Q - подача НА.

Напір H на виході кожного НА відповідає певному значенню напруги завдання ($U_{зад}$).

При подальшому використанні моделі вважаємо, що залежність моменту опору від обертів має вид

$$M_o(\omega) = M_H \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2.$$

Згідно з законом пропорційності насоса маємо

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2.$$

Тому що зміна подачі залежить від внутрішнього опору мережі водопостачання обираємо двоконтурну систему частотного керування з підлеглим регулюванням струму.

Функціональна схема такої системи керування зображена на рисунку 2.3.

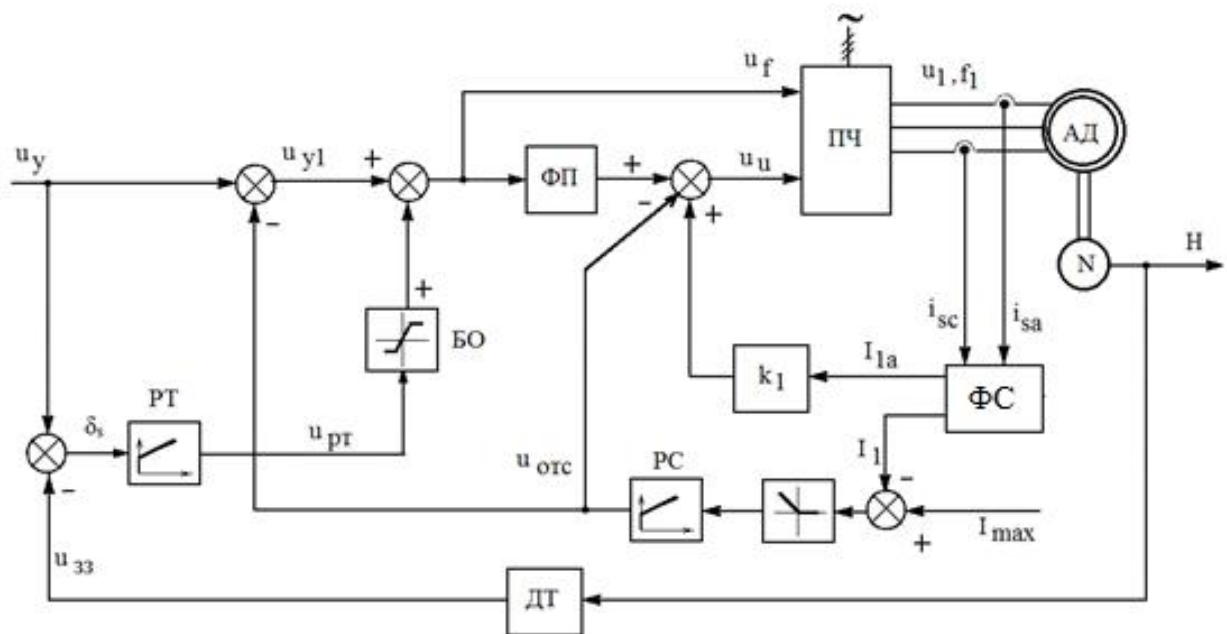


Рисунок 2.3 - Функціональна схема двоконтурної системи частотного керування з підлеглим регулюванням струму

На схемі позначені: РТ – регулятор тиску; РС – регулятор струму; ПЧ – частотний перетворювач; АД – асинхронний двигун; Н – насос; ФП – функціональний перетворювач напруги; ФС – функціональний перетворювач струму; ДТ – датчик тиску; u_y – напруга завдання; u, f – керовані напруга та частота живлення АД; Н – напір.

Більшість сучасних частотних перетворювачів підтримують роботу у режимі частотно-струмового керування асинхронним електродвигуном. Цей спосіб дозволяє змінювати швидкість обертання валу двигуна у широких межах.

В результаті проведеного аналізу існуючих систем керування для керування двигуном обраний перетворювач частоти з частотним керуванням, **перетворювач типу Danfoss VLT AQUA**.

2.4 Технічний опис перетворювача частоти Danfoss VLT

В складі насосного агрегата СЭ 1250-70-11 системи тепловодопостачання районної **опалювальної котельні** використаний електродвигун АИР355М4 потужністю 315 кВт.

Для керування частотою обертання електродвигуна обраний перетворювач частоти (ПЧ) типу Danfoss VLT AQUA Drive FC-202 [18].

Інтелектуальний привод VLT AQUA Drive FC202 використовується у сучасних водогосподарських системах. Системи водопостачання та стічних вод є пріоритетною сферою діяльності компанії Dandoss Drives. Тому, частотні перетворювачі виробництва Данфосс (Данія) уможливають керування процесом водопостачання з покращеними характеристиками, при найменшому енергоспоживання. Простота налаштування та широкі можливості перетворювача роблять його незамінним для найрізноманітніших завдань. Застосування: опріснювальні установки; свердловинні насоси; установки очищення стічних вод; системи поливу-розподілу води.

Технічні дані, характеристики та специфічні водні функції перетворювача частоти Danfoss наведені в таблиці 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 - Технічні дані перетворювача Danfoss VLT AQUA Drive FC-202

Модель Danfoss	VLT® AQUA Drive FC-202
Напруга живлення, В	380
Номінальна потужність, кВт	315
Номінальний струм, А	600
Перевантажувальна здатність (1 хв), %	120
Вихідна частота, Гц	1000
Додаткові характеристики	- Фільтр ЕМС
	- Гальмівний модуль
	- Вбудований ПІД регулятор
	- Скалярний закон керування U/f
	- Векторний закон керування без енкодера
Ступінь захисту, IP	20

Таблиця 2.2 - Короткі характеристики та специфічні водні функції перетворювача частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC-202

Потужність, МВт	0,37 - 1,2
Вихідна напруга, %	0-100
Вих.Частота, Гц	0-1000 (VVC + - режим векторного керування, (U / f - вентиляторна характеристика)
Перевантаження по моменту, %	110% протягом 1 хв (135% протягом 0,5 с)
Цифрові входи	6 програмованих (PNP або NPN)
Імпульсні входи	2 (0,1 - 110кГц)
Аналогові входи	2 (0-10В, 0/4-20mA)
Аналогові виходи	1 (0/4-20mA)
Вихідне реле	2 програмованих (240В, 2А)
Протоколи FC	Protocol, Modbus RTU (опція: Profibus, DeviceNet)

Продовження таблиці 2.2.

Специфічні водні функції	Специфічні водні функції у VLT® AQUA Drive FC200. - Автоналаштування ПІ-регулятора - Функція заповнення труби - Кінець кривої характеристик насоса визначає пориви та витоку - Захист зворотного клапана - Захист від сухого ходу насоса - Сплячий режим - Цикли розгону/гальмування - Контроль тиску або витрати без встановлення датчика - Індикація часу окупності. - вбудований фільтр радіочастотних перешкод та DC-фільтр - вбудований каскадний контролер
---------------------------------	---

Підключення частотного перетворювача Danfoss до насоса наведене на рисунку 2.4.

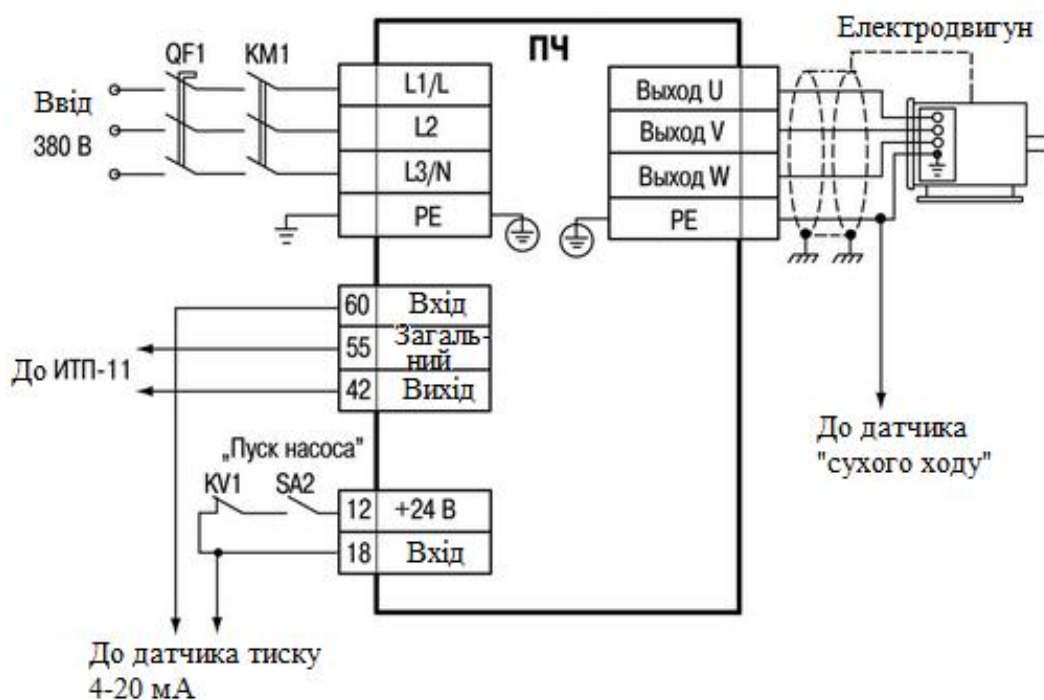


Рисунок 2.4 - Підключення частотного перетворювача Danfoss до насоса

На рисунку 2.5 показана електрична схема з'єднань перетворювача частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC-202.

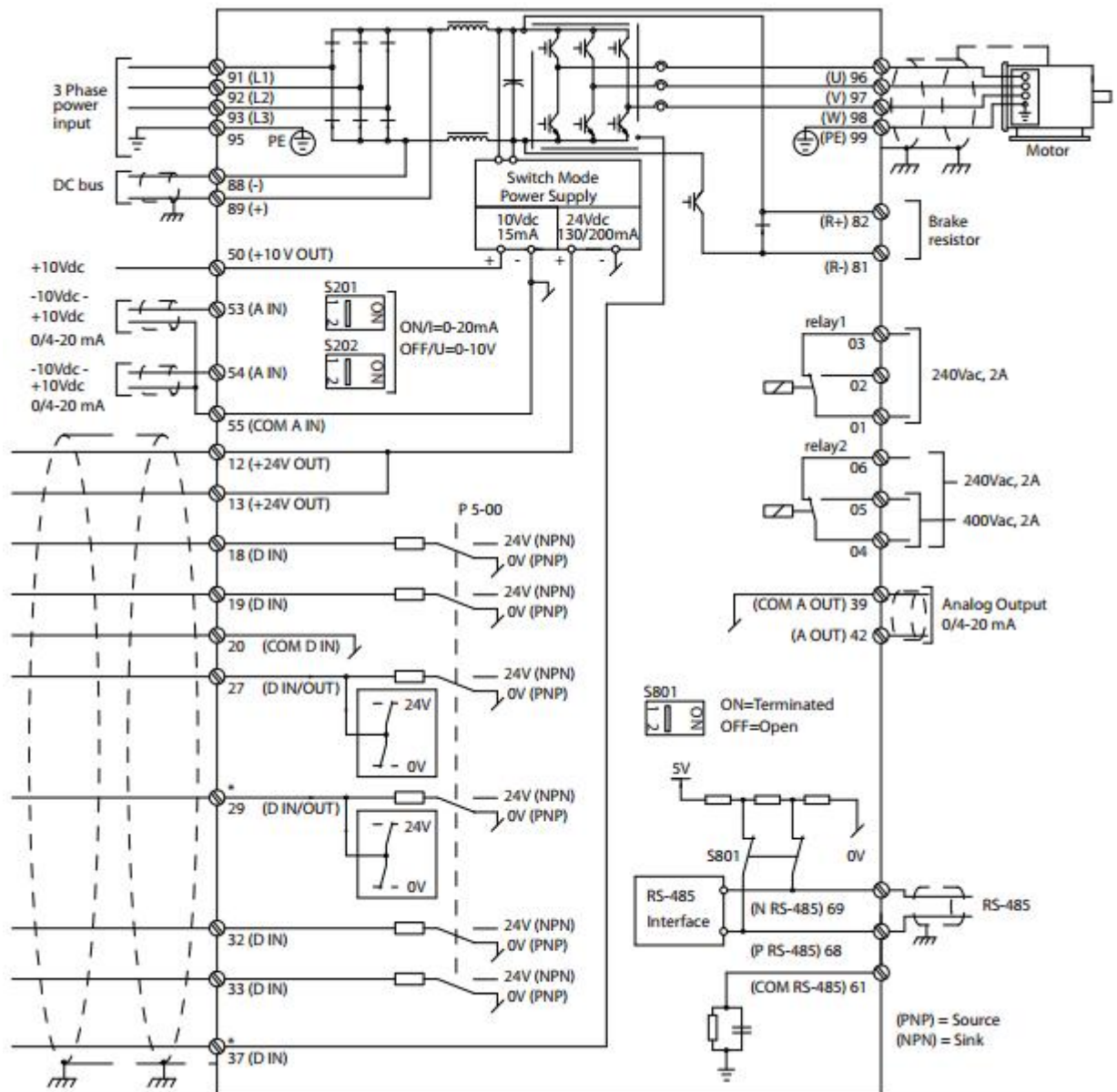


Рисунок 2.5 - Електрична схема з'єднань перетворювача частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC-202

З ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА

3.1 Математичний опис елементів системи керування електропривода

При виконанні розробки математичної моделі електропривода припустимо, що частотний перетворювач здатен виконувати плавне регулювання частоти струму двигуна таким чином, що двигун працює на практично лінійній частині характеристики (момент опору від 0 до номінального).

У якості приводного двигуна насосного агрегату СЭ 1250-70-11 використаний асинхронний електродвигун типу АИР355М4 [8].

Технічні характеристики електродвигуна наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики електродвигуна АИР355М4

Параметр	Розмірність	Значення
Потужність двигуна P	кВт	315
Число пар полюсів p_n	-	1
Номінальна частота обертання ротора $n_{ном}$	об/хв	1490
Синхронна частота обертання ротора $n_{синхр}$	об/хв	1500
Номінальна частота мережі $f_{ном}$	Гц	50
Номінальна фазна напруга $U_{ном}$	В	380
Номінальний фазний струм $I_{ном}$	А	558
ККД	%	95,2
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	-	0,9
$M_{max}/M_{ном}$	-	2,2
$M_{пуск}/M_{ном}$	-	2,1
$I_{пуск}/I_{ном}$	-	6,9
Коефіцієнт ковзання, S_H	%	0,7
Індуктивний опір статора X_1	Ом	0,0397
Індуктивний опір ротора X_2'	Ом	0,0561
Активний опір статора R_1	Ом	0,0048
Активний опір ротора R_2'	Ом	0,0056
Момент інерції ротора J_δ	кг·м ²	8,2

Значення коефіцієнтів X_1, X_2', R_1, R_2' для електродвигуна АИР355М4 взяті з [2].

Вважаємо, що для насоса залежність моменту опору від частоти обертання має квадратичний вид

$$M_0(\omega) = K_{M0} \cdot \omega^2.$$

Параметр M_d , - жорсткість робочої частки механічної характеристики, розраховується по формулі

$$M_d = M_H / (\omega_0 - \omega_H),$$

де M_H – номінальний момент двигуна, розраховується як відношення номінальної потужності до номінальної швидкості, $M_H = P_H / \omega_H$;

ω_0 - синхронна швидкість;

ω_H – номінальна швидкість.

Параметр T_d – постійна часу двигуна, розраховується за даними таблиці 3.1.

Параметр J – приведений момент інерції. Вважаючи, що момент інерції насоса і інших приєднаних мас J_m урахується коефіцієнтом 0,75, отримуємо

$$J = J_\partial + J_m,$$

де $J_m = 0,75 \cdot J_\partial$,

$$J = 8,2 + 0,75 \cdot 8,2 = 14,35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Перетворюючи значення частоти обертання з об/хв. на с^{-1} отримуємо:

- номінальна частота обертання ротора

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot 1500 / 60 = 157 \text{ с}^{-1};$$

- синхронна частота обертання ротора

$$\omega_H = 2 \cdot \pi \cdot 1490 / 60 = 155,95 \text{ с}^{-1}.$$

При цьому:

- номінальний момент M_H , Н·м,

$$M_H = 315000 / 157 = 2006 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- параметр M_d , Н·м·с.,

$$M_d = 2006 (157-155,93) = 2146 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}.$$

Постійна часу двигуна T_d , с,

$$T_d = \frac{1}{\omega_H \cdot S_{кр}},$$

де $S_{кр}$ - критичне ковзання.

$$S_{кр} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{кр}^2}},$$

де $X_{кр} = X_1 + X_2'$. $X_{кр} = 0,0397 + 0,0561 = 0,0958$.

$$S_{кр} = \frac{0,0056}{\sqrt{0,0048^2 + 0,0958^2}} = 0,0584. \quad T_d = \frac{1}{155,97 \cdot 0,0584} = 0,11 \text{ с}.$$

Таким чином отримали наступні дані лінеаризованої моделі двигуна:

- жорсткість робочої частки механічної характеристики $M_d = 2146 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$;
- постійна часу двигуна $T_d = 0,11 \text{ с}$;
- приведений момент інерції $J = 14,35 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

На рисунку 3.1 наведена структурна схема насосного агрегата (лінеаризована модель двигуна і модель насоса). Вважаємо, що система керування забезпечує роботу двигуна на відрізку характеристики від 0 до номінального моменту (лінійний відрізок).

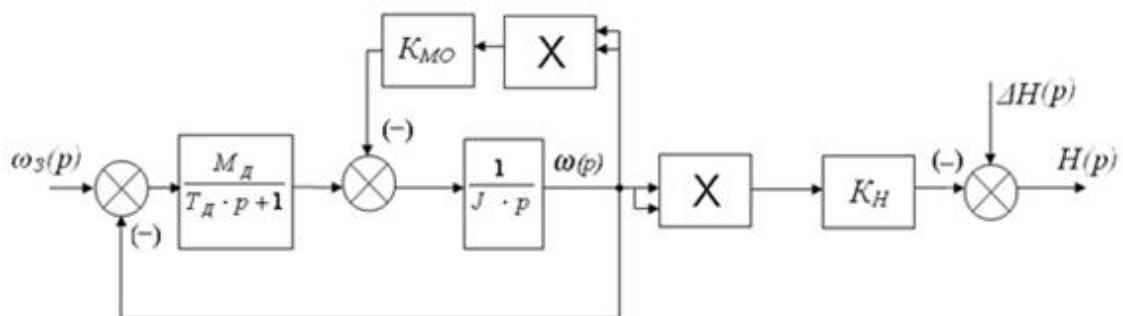


Рисунок 3.1 - Схема лінеаризованої моделі насосного агрегата

До складу системи керування входять автономний інвертор, регулятори тиску і струму з передатними функціями $W_{AI}(p)$, $W_{PT}(p)$ і $W_{PC}(p)$ відповідно.

Інвертор вважаємо аперіодичною ланкою з передатною функцією [16]

$$W_{AI}(p) = \frac{K_{AI}}{T_{AI}p + 1},$$

де K_{AI} – коефіцієнт підсилення інвертора;

T_{AI} – постійна часу інвертора.

Приймаємо вид регуляторів тиску і струму як пропорційно-інтегральні з коефіцієнтами передачі K_{PT} і K_{PC} та постійними часу T_{PT} і T_{PC} відповідно:

$$W_{PT}(p) = K_{PT} + \frac{1}{T_{PT} \cdot p},$$

$$W_{PC}(p) = K_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}.$$

У якості ланок, що відповідають датчикам струму та тиску, застосуємо пропорційні ланки з коефіцієнтами $K_{ДТ}$ і $K_{ДС}$.

В документації приводів функціональні та структурні схеми відсутні. Тому складаємо структурну схему (для подальшого моделювання), виходячи з припущень, що система керування із частотним перетворювачем у складі замкненої системи керування відповідає по структурі двоконтурній системі підпорядкованого керування із внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром тиску. На рисунку 3.2 наведена структурна схема такого привода.

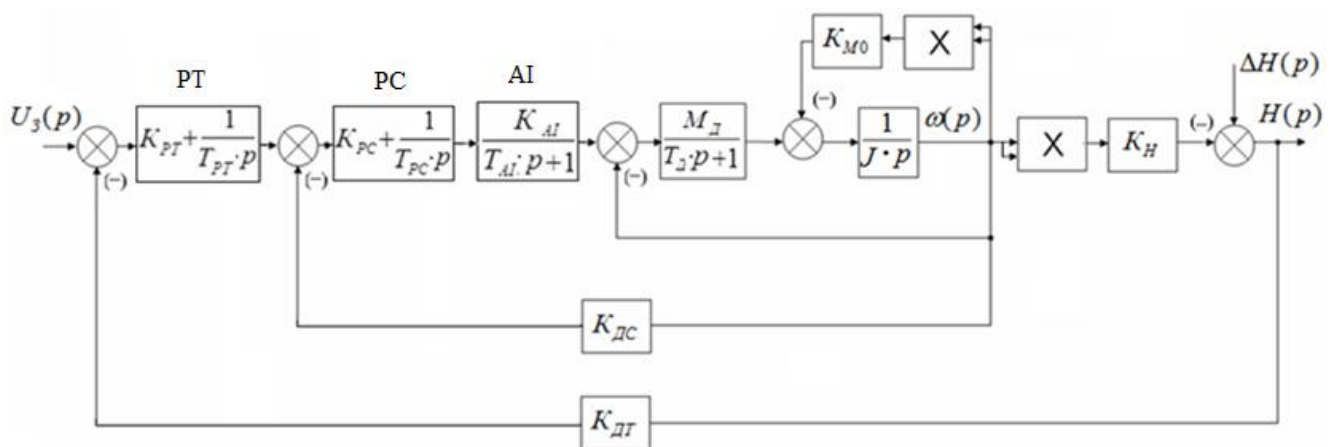


Рисунок 3.2 - Структурна схема електропривода

3.2 Розрахунок параметрів структурної схеми та аналіз перехідних процесів

Сучасні виробники техніки для автоматизації виробництва не приводять даних по внутрішній структурі та параметрам своїх виробів. Розрахуємо параметри моделі, виходячи з загальних положень побудови систем керування електроприводами.

Вважаємо інвертор транзисторним з ШІМ регулятором частоти і напруги двигуна і робочою частотою комутації транзисторів 5 кГц та номінальною частотою сформованого струму 50 Гц. Тоді постійна часу інвертора T_{AI} , с,

$$T_{AI} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f},$$

де m – фазність інвертора,

f – частота струму, Гц.

У нашому випадку маємо $m = 3$, $f = 50$ Гц.

Остаточно $T_{AI} = 0,00333$ с. Приймаємо $K_{AI} = 20$.

Приймаємо тип регуляторів тиску і струму як пропорційно-інтегральні з коефіцієнтами передачі K_{PT} і K_{PC} та постійними часу T_{PT} і T_{PC} .

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора тиску T_{PT} дорівнює величині постійної часу двигуна T_D , а регулятора струму T_{PC} – постійної часу інвертора T_{AI} .

Номінальному тиску $H_{НОМ} = 180$ м відповідає напруга $U_3 = 10$ В.

Таким чином, вважаючи у сталому режимі похибку рівній 0, коефіцієнт датчика тиску $K_{ДТ}$, В/м,

$$K_{ДТ} = \frac{U_3}{H_{НОМ}}, \quad K_{ДТ} = \frac{10}{70} = 0,143 \quad \text{В/м}.$$

Вважаючи у сталому режимі похибку рівній 0, маємо при розрахунку коефіцієнта підсилювання зворотного зв'язку за струмом $K_{ДС}$, $\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$,

$$K_{ДС} = \frac{U_{PC}}{M_{НОМ} / I_{НОМ}};$$

$$K_{ДС} = \frac{10}{2006/558} = 2,78 \frac{В \cdot А}{Н \cdot м}.$$

Коефіцієнти підсилювання регуляторів вважаємо рівними 10.

Використовуючи отримані раніш дані ($\omega_H = 155,97 \text{ с}^{-1}$, $M_H = 2006 \text{ Н}\cdot\text{м}$) і вважаючи, що в сталому режимі рушійний момент відповідає навантаженню, при $K_{МО} = 1 \cdot 10^{-4}$ функція навантаження приймає загальний вид

$$M_O(\omega) = 1 \cdot 10^{-4} \cdot \omega^2.$$

Отримані для елементів структурної схеми дані зводимо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Жорсткість робочої частки механічної характеристики	Н·м·с	$M_D = 2146$
Постійна часу двигуна	с	$T_D = 0,11$
Приведений момент інерції	кг·м ²	$J = 14,35$
Постійна часу інвертора	с	$T_{AI} = 0,00333$
Постійна часу ПІ-регулятора тиску	с	$T_{PT} = 0,11$
Коефіцієнт передачі інвертора	—	$K_{AI} = 20$
Коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора тиску	—	$K_{PT} = 10$
Постійна часу ПІ-регулятора струму	с	$T_{PC} = 0,00333$
Коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора струму	—	$K_{PC} = 10$
Передатний коефіцієнт по тиску	В/м	$K_{DT} = 0,143$
Передатний коефіцієнт по струму	$\frac{В \cdot А}{Н \cdot м}$	$K_{ДС} = 2,78$
Передатний коефіцієнт моменту опору	Н·м·с ²	$K_{МО} = 0,0001$

3.3 Аналіз динаміки системи керування електропривода мережного насоса

Відповідно до рисунку 3.2 та по даним, отриманим у результаті розрахунку параметрів ланок структурної схеми (таблиця 3.2), була складена розрахункова схема для дослідження динаміки системи керування електропривода насосного агрегата. Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету MathLab версії 6.5.0 [10].

На рисунку 3.3 приведений вид моделі для розрахованих раніше параметрів.

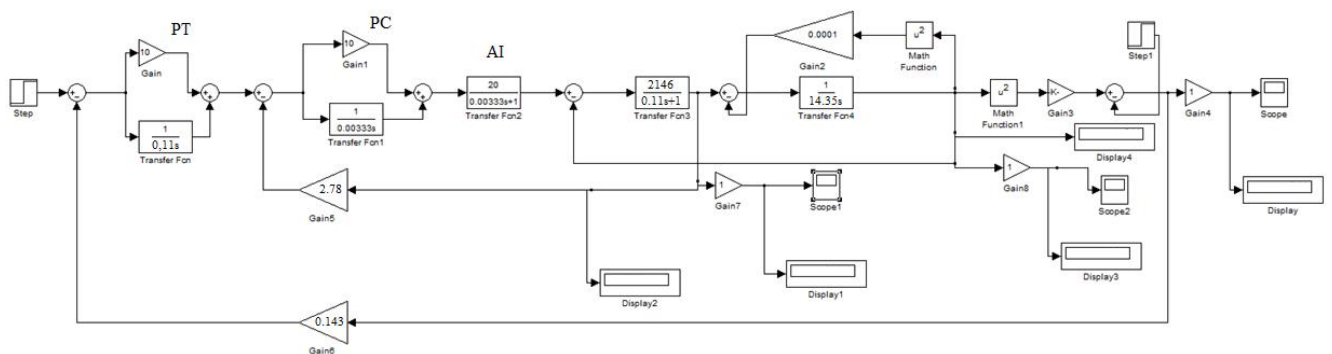


Рисунок 3.3 - Розрахункова динамічна схема

Від структурної схеми на рисунку 3.2 вона відрізняється наявністю блоків для формування задаючих і збурюючих впливів та блоків для фіксації результатів.

На вході використовуємо блок "Step" – джерело східчастого впливу величиною 10 В. Блоки "Gain" та "Gain1" реалізують пропорційну складову ПІ-регуляторів тиску та струму відповідно. Інтегральну складову реалізують блоки "Transfer Fcn1" та "Transfer Fcn2". Блок "Transfer Fcn3" реалізує передатну функцію інвертора, а блоки "Transfer Fcn4", "Transfer Fcn5" – лінеаризовану модель двигуна. Блоки "Gain4" та "Gain5" відповідають датчикам струму та тиску відповідно. За допомогою блоків "Gain6", "Gain8" та "Gain9" виконується перерахування отриманих даних у відносні одиниці (для спрощення подальшого порівняння). Блоки "Scope Н" та "Display Н" використовуються для отримання графіку перехідного процесу та сталого режиму по тиску, блоки "Scope W1" та "Display W1" по частоті обертання а блоки "Scope M_Нм" та "Display M_Нм" – по струму.

Результати моделювання наведені на рисунках 3.4 та 3.5.

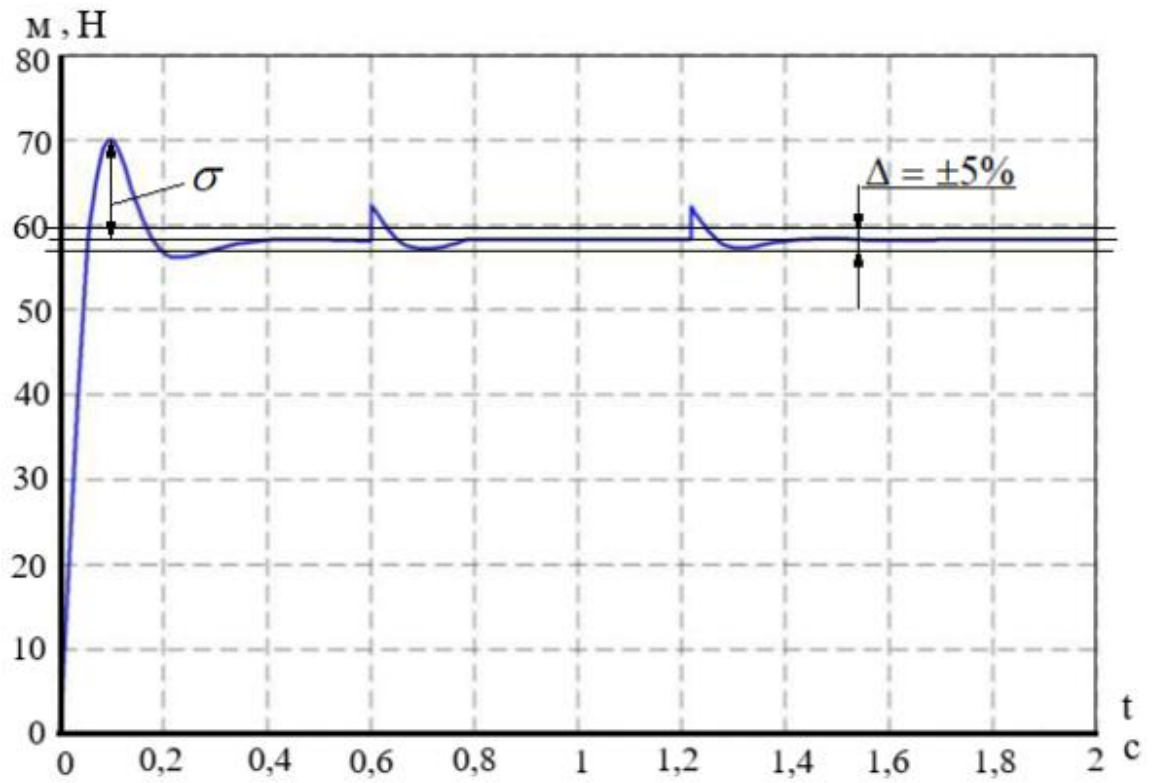


Рисунок 3.4 – Графік перехідного процесу по напору

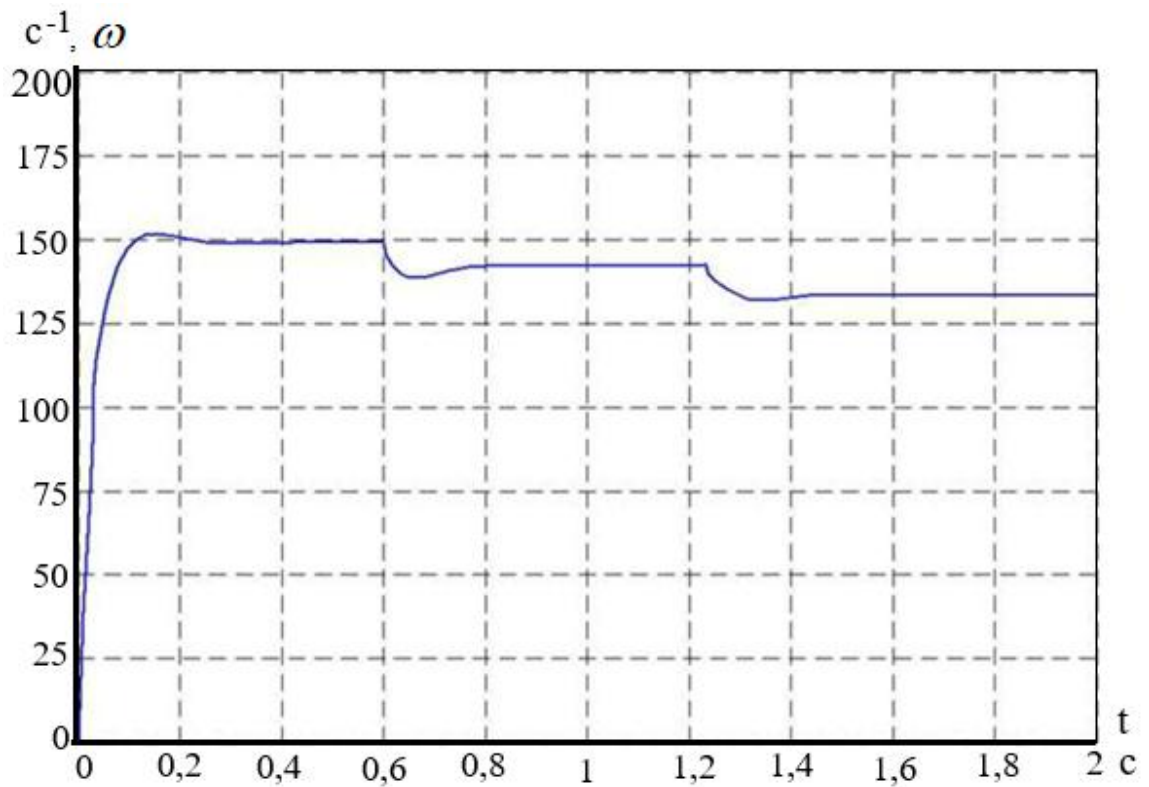


Рисунок 3.5 - Графік перехідного процесу по швидкості

На рисунку 3.4 зображений перехідний процес зміни напору.

Після пуску, характеристика має перехідний процес спочатку довжиною 0,25 с, амплітуда 70 м, перерегулювання $\sigma = 20 \%$ і виходить на постійну величину напору 58 м.

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6 с) - перерегулювання $\sigma = 10,3\%$, час перехідного процесу 0,2 с, після якого напір стабілізується на 58 м.

Повторне зменшення споживання води (1,22 с) породжує аналогічний перехідний процес довжиною 0,2 с після якого напір виходить знову на 58 м.

На рисунку 3.5 зображено графік перехідного процесу зміни швидкості електродвигуна насоса.

Після пуску, характеристика має перехідний процес спочатку довжиною 0,25 с і виходить на постійну величину 150 с^{-1} .

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6 с), при цьому відбувається перехідний процес 0,2 с, після якого швидкість зменшується приблизно на 15 с^{-1} .

Повторне зменшення споживання води (1,22 с), призводить до зменшення швидкості приблизно на 35 с^{-1} .

В результаті проведених розрахунків системи керування електропривода насоса водопостачання у каналі керування напором при розрахункових параметрах налагодження системи керування отримані такі показники якості перехідного процесу забезпечуються показники якості перехідного процесу, які задовольняють технічним вимогам до ЕП.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ НАСОСНОГО АГРЕГАТА

Одна з найважливіших державних задач – охорона життя та здоров'я громадян в процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці.

Основоположним законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України “Про охорону праці”, дія якого поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах.

Охорона здоров'я трудящих, забезпечення безпеки умов праці, ліквідація професійних захворювань і виробничого травматизму становить одну з головних турбот людського суспільства. Звертається увага на необхідність широкого застосування прогресивних форм наукової організації праці, зведення до мінімуму ручної, малокваліфікованої праці, створення обстановки, що виключає професійні захворювання й виробничий травматизм.

Робота людини повинна проходити в умовах, сприяючих розвитку всіх його можливостей і забезпечуючи високу продуктивність праці.

У даному розділі кваліфікаційної роботи бакалавра приводяться організаційні і технічні заходи для безпечної роботи персоналу, що обслуговує системи керування електропривода циркуляційного насоса тепломережі.

До правових і організаційних документів, що визначають вимоги до безпеки праці на об'єктах тепловодопостачання слід в першу чергу віднести:

- Закон України «Про забезпечення санітарного і епідеміологічного благополуччя населення»;
- Водний кодекс України;
- Закон України «Про охорону праці» 1992 р.;
- Правила безпечної експлуатації електроустановок. К. 1998 р.
- Правила устрою й безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском;
- Правила устрою й безпечної експлуатації трубопроводів пари й гарячої

води;

- Правила пожежної безпеки в Україні;
- ГОСТ 12.4. 093-80 Вибрация. Машины стационарные;
- ГОСТ 12.3. 032-84 ССВТ. Работы электромонтажные. Загальні вимоги безпеки.

Устрій і обслуговування насосних установок повинен відповідати Правилам безпечної експлуатації насосних станцій водогосподарських систем (Наказ N 55 від 12.03.2010).

Устрій і обслуговування котельних установок повинен відповідати Правилам устрою й безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів, Правилам вибухобезпечності установок для приготування й спалювання палива в пилоподібному стані, Правилам вибухобезпечності при використанні мазуту в котельних установках.

Запобіжні й підривні клапани котла повинні мати відводи для видалення пароводяної суміші й вибухових газів при спрацьовуванні клапанів за межі робочого приміщення в місця, безпечні для обслуговуючого персоналу, або повинні бути обгороджені відбійними щитами з боку можливого знаходження людей.

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів та заходи захисту при експлуатації систем керування електропривода мережевого насоса

Небезпечним виробничим фактором називають такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах приведе до травми або до іншого раптового різкого погіршення здоров'я. Результатом впливу цього фактора на людину є нещасний випадок [6].

Шкідливим виробничим фактором називають такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах приведе до захворювання або зниження працездатності. Результатом впливу цього фактора є професійне захворювання.

Джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів електронасосного обладнання є:

- незахищені рухомі елементи агрегата;
- підвищена і знижена температура поверхонь деталей насоса;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищений рівень шуму;
- небезпечний рівень напруги електричної мережі;
- пожежна безпека.

Мікроклімат у робочій зоні визначається діючими на організм людини сполученнями температури, вологості й швидкості руху повітря, а також температурою навколишніх поверхонь.

Для поліпшення мікроклімату робочих приміщень у них повинні дотримуватися норми освітленості, шуму, температурний режим, режим вологості, режим електромагнітних і радіаційних випромінювань та інших показників.

Вібрація – це тремтіння всього тіла або окремих його частин унаслідок виконання певних робіт. Вібрація завдає великої шкоди здоров'ю людини — від перевтоми організму та незначних змін функцій організму до струсу мозку, розриву тканин, порушення серцевої діяльності і нервової системи, деформації м'язів та кісток, порушення чутливості шкіри і кровообігу тощо. Вібрації частотою понад 200 Гц перевантажують нервову систему людини, потребують підвищеного психічного напруження

Шум – це сукупність звуків різної частоти та інтенсивності, що виникають у результаті коливального руху частинок у пружних середовищах (твердих, рідких, газоподібних). Поняття шумового забруднення формується в результаті вивчення впливу різноманітних звуків на людину.

Пожежна безпека. Поняття пожежна безпека означає стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а у випадках її виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека регламентується ГОСТ 12.1.0333-81 «Загальні вимоги», Будівельними Нормами і Правилами, міжгалузевими правилами і правилами пожежної безпеки, затвердженими міністерствами і відомствами.

Небезпечними факторами пожежі для людей є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура повітря, токсичні продукти горіння, дим, знижена концентрація кисню, обвалення і пошкодження будівель, споруд, установок, а також вибух.

Згідно з будівельними нормами і правилами (СНиП II-М.2-72) насосна станція належить до виробництв категорії Д, що характеризуються наявністю негорючих речовин і матеріалів в холодному стані.

Електробезпечність – система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого й впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля й статичної електрики.

Електричний струм, не дивлячись на своє широке застосування в промисловості, є причиною випадків травматизму. Вони відбуваються при порушенні умов електробезпечності.

Слід пам'ятати, що поразка електрострумом навіть незначної сили викликає небезпеку, так струм в 0,1 А и напругою вище 40 В є смертельними.

Небезпека поразки електричним струмом серед інших небезпек відрізняється тим, що людина не в змозі без спеціальних приладів виявити наявність напруги дистанційно, як, наприклад, частин що рухаються, розпечені об'єкти, відкриті люки й т.д.

Загальним для всіх нещасних випадків є те, що вони відбуваються, в основному, через порушення правил технічної експлуатації електроустановок:

- недотримання відстані від струмоведучих частин;
- незамкнені двері електроприміщень і дверцята силових щитів;
- несвоєчасний або неякісний ремонт електроустаткування.

4.2 Техніка безпеки при роботі насосного агрегата

Кожний насосний агрегат періодично, за графіком, затвердженим керуючим виробничим управлінням водопровідно-каналізаційним господарством, піддають оглядам, ревізіям, поточним і капітальним ремонтам. Періодичність і обсяг кожного виду робіт встановлюють на підставі інструкції заводу-виробника з урахуванням місцевих умов. Пуск і налагодження агрегата після ремонту виконують під наглядом особи, яка керує ремонтом.

Джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів електронасосного обладнання є: незахищені рухомі елементи агрегата; підвищена і знижена температура поверхонь деталей насоса; підвищений рівень вібрації; небезпечний рівень напруги електричної мережі.

Заходи безпеки при роботі насосного агрегата:

- при експлуатації агрегат необхідно заземлити;
- при роботі агрегата всі рухомі частини повинні бути огорожені;
- робота насосного агрегата без запірної арматури не допускається;
- при проведенні ремонтних робіт двигун повинен бути відімкнений від електричної мережі;
- при роботі насоса необхідно регулярно контролювати витoki рідини через ущільнення. Якщо вони більші за норму, насосний агрегат необхідно зупинити і провести заміну набивки.

Методи боротьби з вібрацією зводяться в основному до демпфірування установок, машин, механізмів, використання різноманітного роду амортизаторів, вібропоглинання.

Для зниження рівня вібрації, що виникають через дисбаланс обладнання при монтажі та експлуатації, повинне застосовуватися балансування неврівноважених роторів, коліс, лопаток машин, валів двигунів і т. п.

Насоси встановлюють на опорні плити і віброгасильні підстави. Віброізоляція - гумові та пластмасові прокладки, листові ресори.

Необхідно дотримуватись правил ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" та ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації".

Методи захисту від шуму. Будівельно-акустичні методи захисту від шуму передбачені будівельними нормами й правилами (СНИП-II-12-77). це:

- звукоізоляція, що захищає конструкції, ущільнення по периметру притворів вікон і дверей;
- звуковбирні конструкції й екрани;
- глушители шуму, звуковбирні облицювання.

Відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 12.1.003-88 ("Шум. Загальні вимоги безпеки") характеристикою постійного шуму на робочих місцях є середньоквадратичні рівні тисків в октавних смугах частот зі середньо геометричними стандартними частотами: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 і 8000 Гц. У цьому ДСТ зазначені значення гранично припустимих рівнів шуму на робочих місцях підприємств.

Електрозахисні засоби.

Ізолювальні електрозахисні засоби призначені для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою та від землі, якщо людина одночасно доторкається до землі чи заземлених частин електроустановок та струмопровідних частин чи металевих конструктивних елементів (корпусів), які опинилися під напругою.

При роботах у електроустановках з напругою до 1000 В -застосовують діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки; при роботах у електроустановках з напругою понад 1000 В — діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки.

Огороджувальні електрозахисні засоби призначені для тимчасового огорожування струмопровідних частин (щити, бар'єри, переносні огорожі), а також для заземлення вимкнутих струмопровідних, частин з метою запобігання ураження струмом при випадковій появі напруги (тимчасове заземлення).

Запобіжні електрозахисні засоби та пристосування призначені для захисту персоналу від випадкового падіння з висоти (запобіжні пояси); для забезпечення безпечного піднімання на висоту (драбини, «кігті»), для захисту від світлової, теплової, механічної дії електричної дуги (захисні окуляри, щитки, спецодяг, рукавички тощо).

При роботах у електроустановках з напругою до 1000 В -застосовують діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки; при роботах у електроустановках з напругою понад 1000 В — діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки.

Пожжежний захист. Для гасіння пожежі в таких умовах необхідно застосовувати спеціальні засоби, неможливо використовувати воду та інші струмопровідні речовини. Тому приміщення насосної станції повинні бути обладнані засобами для гасіння електропроводок та електроустановок під напругою. Застосовуваний тип вогнегасників: ОУ-10 (вогнегасник вуглекислотний) [5].

На місці експлуатації насосного агрегата необхідно розробити правила його безпечної експлуатації.

Вимоги правил охорони праці повинні бути передбачені в проекті насосної станції, згідно з яким визначають розміщення обладнання і встановлюють проходи до агрегатів, вибирають освітлення, вентиляцію та ін.

Якщо на агрегатах виконуються ремонтні роботи, необхідно вжити попереджувальних заходів щодо запобігання їх ввімкненню.

При експлуатації агрегат необхідно заземлити. При проведенні ремонтних робіт двигун повинен бути відімкнений від електричної мережі.

При роботі насоса необхідно регулярно контролювати витoki рідини через ущільнення. Якщо вони більші за норму, насосний агрегат необхідно зупинити і провести заміну набивки.

ВИСНОВКИ

Робота присвячена модернізації системи керування автоматизованого електропривода насоса водопостачання.

Об'єктом модернізації в даній роботі є система керування електропривода насосної станції теплової мережі.

Для вирішення задачі енергозберігаючого керування процесом водопостачання проаналізовані відомі методи керування електричними приводами насосної станції, які призводять до зменшення споживання ними енергії при забезпеченні потрібного значення продуктивності станції.

В результаті вибраний економічно доцільний частотний спосіб регулювання продуктивності насосної станції.

На основі проведеного аналізу вибраний частотний перетворювач, рекомендований для керування асинхронними електродвигунами насосів і вентиляторів із широким діапазоном потужності. Перетворювачі частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC-202 є на сьогодні однією із самих досконалих і перспективних лінійок універсальних частотних перетворювачів для електродвигунів і не мають аналогів у номенклатурі більшості інших іменитих виробників.

Для вдосконалення динаміки системи керування складена її розрахункова динамічна модель та визначені параметри налагодження ПІ-регулятора тиску, які забезпечують необхідні показники якості перехідного процесу.

Характеристика по напору після пуску має перехідний процес спочатку довжиною 0,25 с, амплітуда 70 м, перерегулювання $\sigma = 20 \%$ і виходить на постійну величину напору 58 м.

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6 с) - перерегулювання $\sigma = 10,3\%$, час перехідного процесу 0,2 с, після якого напір стабілізується на 58 м.

Повторне зменшення споживання води (1,22 с) породжує аналогічний перехідний процес довжиною 0,2 с після якого напір виходить знову на 58 м.

Характеристика по швидкості після пуску має перехідний процес спочатку довжиною 0,25 с і виходить на постійну величину 150 с^{-1} .

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6 с), при цьому відбувається перехідний процес 0,2 с, після якого швидкість зменшується приблизно на 15 с^{-1} .

Повторне зменшення споживання води (1,22 с), призводить до зменшення швидкості приблизно на 35 с^{-1} .

В результаті проведених розрахунків системи керування електропривода насоса водопостачання у каналі керування тиском при розрахункових параметрах налагодження системи керування отримані такі показники якості перехідного процесу, які задовольняють технічним вимогам до ЕП.

В роботі проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання насосної станції, наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

Публікації. Результати кваліфікаційної роботи бакалавра, що виноситься на захист, опубліковані у збірнику Сучасні проблеми автоматики та електротехніки СПАЕ-2025: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2025. – 126 с. 29-30 квітня 2025 с.119-123.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Баховець Б. О.** Автоматизований електропривод. Навч. посібник. / О. Б. Баховець – Рівне: НУВГП, 2010. – 238 с.
2. **Видмиш А.А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
3. **Голодний І.М.** Регульований електропривод: Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с
4. **Грабко, В. В.** Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання: монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. - Вінниця : ВНТУ, 2011. - 138 с.
5. **Датчик тиску** URL: <http://www.vebos.com.ua/catalog/item/276/> Pasport MBS3000.pdf.
6. **Жидецький В. Ц.** Основи охорони праці. Підручник - Вид. 5-те, доповнене / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. - Львів: Афіша, 2000. - 350 с.
7. **Закладний О. М.** Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей – К: Конкорд, 2005. – 408 с.
8. **Каталог общепромышленных электродвигателей серии АИР.** ООО "Днепроресурс". URL: <https://elmo.ua/wp-content/uploads/2018/07/tehopisanie-air-ru.pdf>.
9. **Коренькова Т. В.** Режимы работы насосных та вентиляторных установок із автоматизованим електроприводом: навч. посібник / Т. В. Коренькова, О. О. Сердюк, В. Г. Ковальчук. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О. В., 2013. – 200 с.
10. **Лазарєв Ю. Ф.** Моделювання динамічних систем у Matlab. Електронний навчальний посібник. – Київ: НТУУ "КПІ", 2011. – 421 с.

11. **Малявина О. М.** Теплопостачання: конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітньо-професійна програма «Теплогазопостачання і вентиляція» / О. М. Малявіна, В. А. Міланко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 147 с.

12. Мікропроцесорний прилад захисту й контролю МПЗК-55. Паспорт. doc.

13. Насос мережевий типу СЕ. Каталог насосів_ООО «Сумський Машинобудівний Завод» URL:

<https://nasos.biz/upload/iblock/d3d/d3dbad20571b2892bf35905e5668b3a3.pdf>

14. **Прядко М. О.** Джерела і системи теплопостачання. Курс лекцій для студентів за напрямом підготовки 6.50604“Енергомашинобудування” для денної та заочної форм навчання / М.О.Прядко.-К.:НУХТ, 2013.-98 с.

15. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода : навч. посібник / М. В. Загірняк, Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с.

16. **Частотне керування асинхронним приводом:** Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК” / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. – Ніжин.: 2011.

17. Частотное регулирование насосов. URL:
<https://eleksun.com.ua/blog/article/navishcho-potriben-chastotnyy-kontrol-nasosiv>.

18. **Частотный преобразователь Danfoss VLT AQUA Drive FC-202.** Руководство по проектированию привода VLT® AQUA.

19. Энергосбережение средствами электропривода. URL:
<http://repository.vsau.org/getfile.php/2263.pdf>.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Писарєв Олександр Сергійович

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему:

"Автоматизований електропривод водяних насосів котельної
установки"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

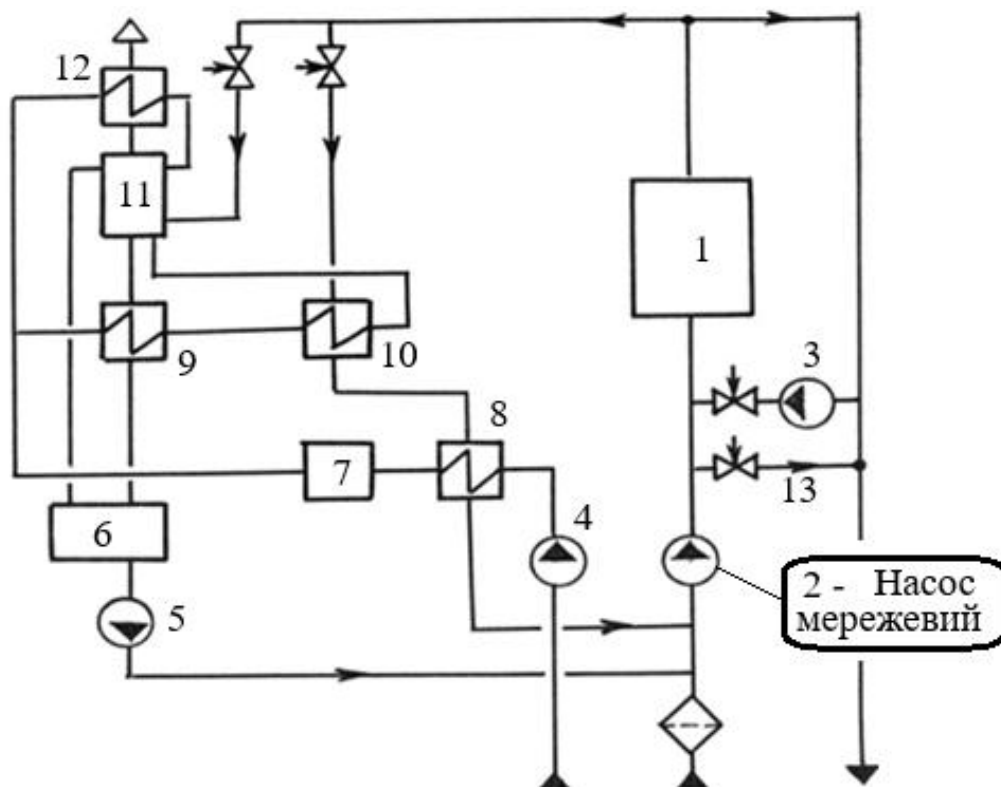
Актуальність теми. Автоматизація електропривода мережного насоса шляхом упровадження в систему керування частотного перетворювача дозволить зменшити загальне енергоспоживання, зменшити витрати на обслуговування та підвищить надійність роботи мережі водопостачання за рахунок зменшення стрибків тиску.

Мета роботи – модернізація системи керування автоматизованого електропривода циркуляційного (мережевого) насоса районної водогрійної котельної установки.

Задачі роботи:

- провести аналіз існуючих засобів та систем керування електродвигунами перемінного струму і на базі цього аналізу вибрати найбільш підходящий;
- скласти математичний опис системи керування і розробити її структурну схему;
- по отриманій структурній схемі провести аналіз динамічних властивостей розрахункової системи керування;
- привести загальні положення по технічній експлуатації електрообладнання.

ТЕПЛОВА СХЕМА КОТЕЛЬНОЇ З ВОДОГРІЙНИМИ КОТЛАМИ ПРИ ЗАКРИТІЙ СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ



1 – котел; 2 – **МЕРЕЖЕВИЙ НАСОС**; 3 – рециркуляційний насос; 4 – поживний насос; 5 - насос, що підживлює; 6 – бак води, що підживлює; 7 - апарат хімічної очистки води; 8 – підігрівач сирої води; 9, 10 – підігрівачі хімічно очищеної води; 11 – деаератор; 12 – охолоджувач випаровування; 13 – лінія перепускання

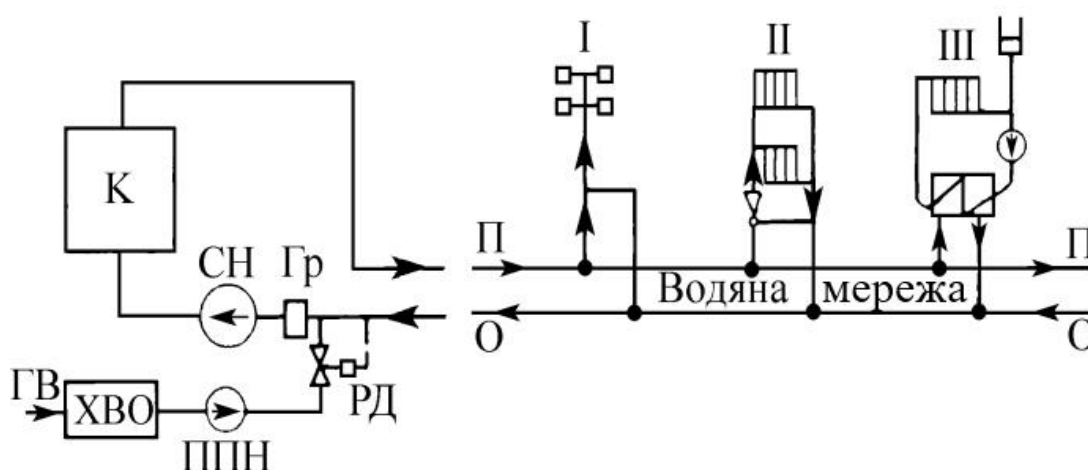


Схема теплопостачання від районної водогрійної котельні
I – система гарячого водопостачання; II – система опалення (залежне приєднання); III – система опалення (незалежне приєднання)

МЕРЕЖНИЙ НАСОС МОДЕЛІ СЕ-1250-70-11

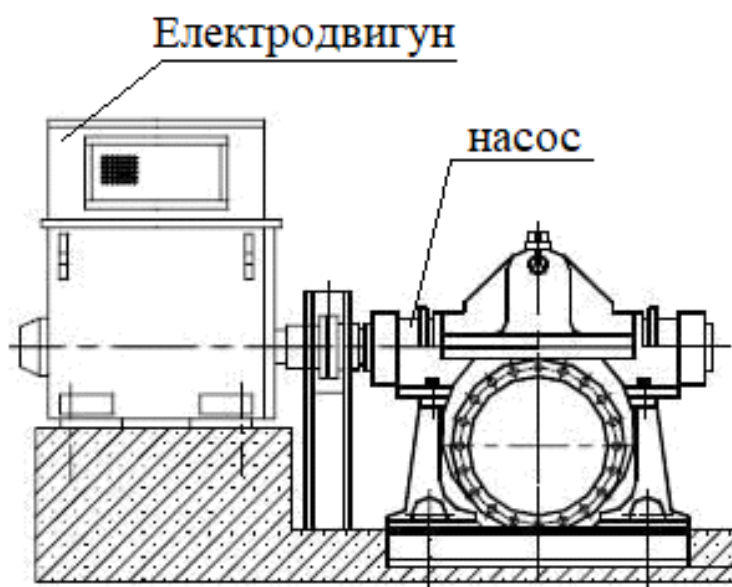
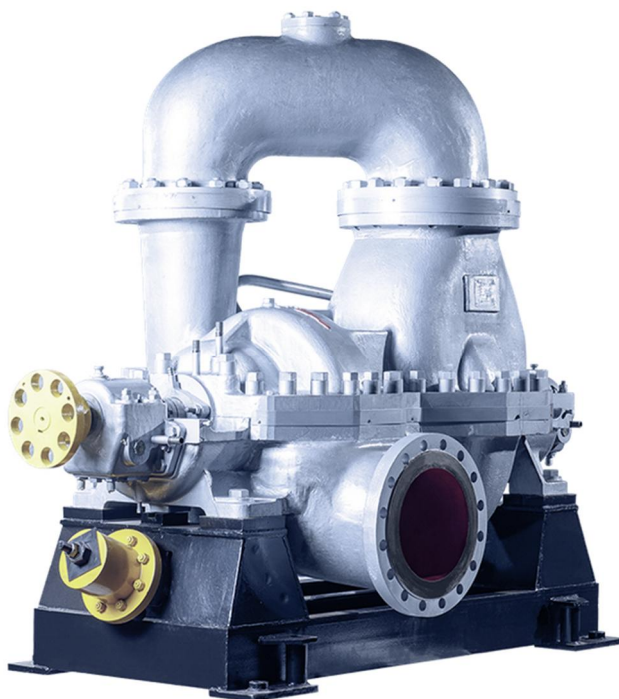
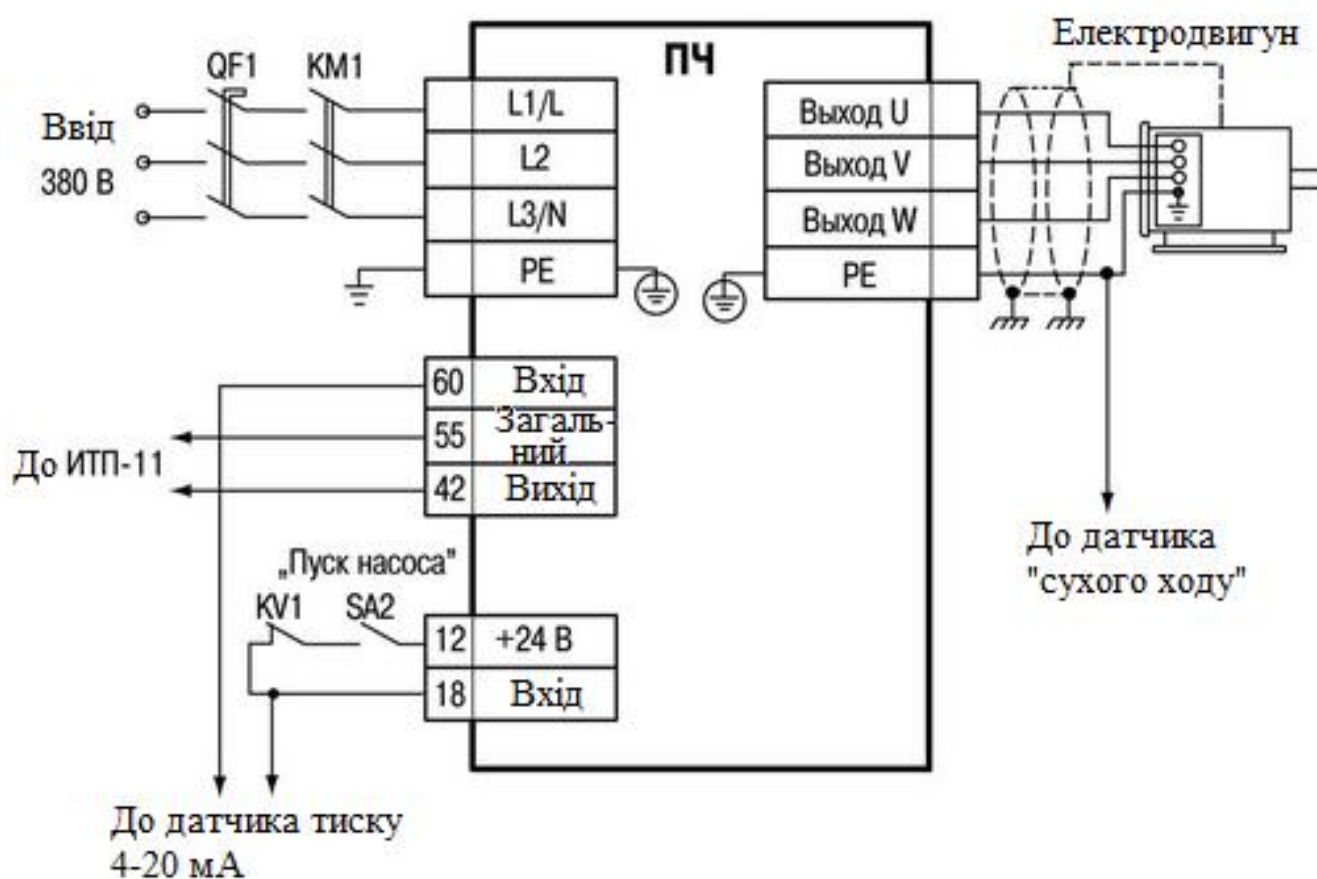


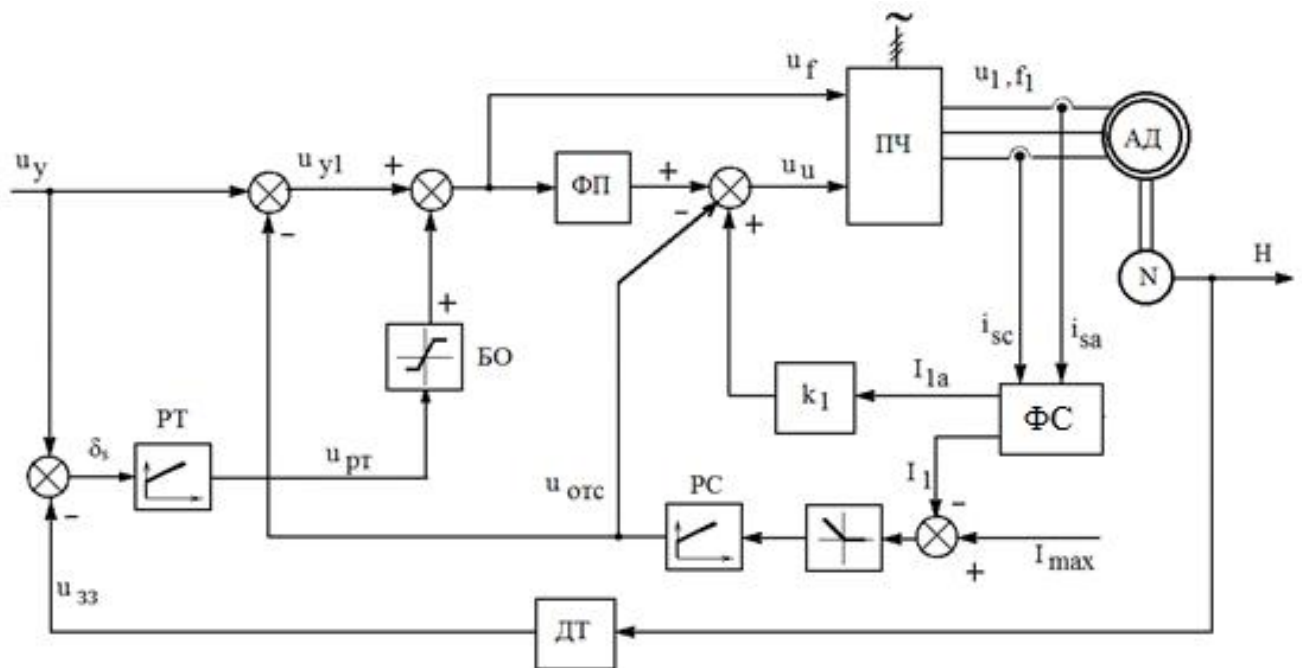
Схема насосного агрегата

Насос мережний типу СЕ: загальний вид та схема насосного агрегату

СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА DANFOSS ДО НАСОСА



ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ДВОКОНТУРНОЇ СИСТЕМИ ЧАСТОТНОГО КЕРУВАННЯ



РТ – регулятор тиску;

РС – регулятор струму;

ПЧ – частотний перетворювач;

АД – асинхронний двигун;

N – насос;

ФП – функціональний
перетворювач напруги;

ФС - функціональний
перетворювач струму;

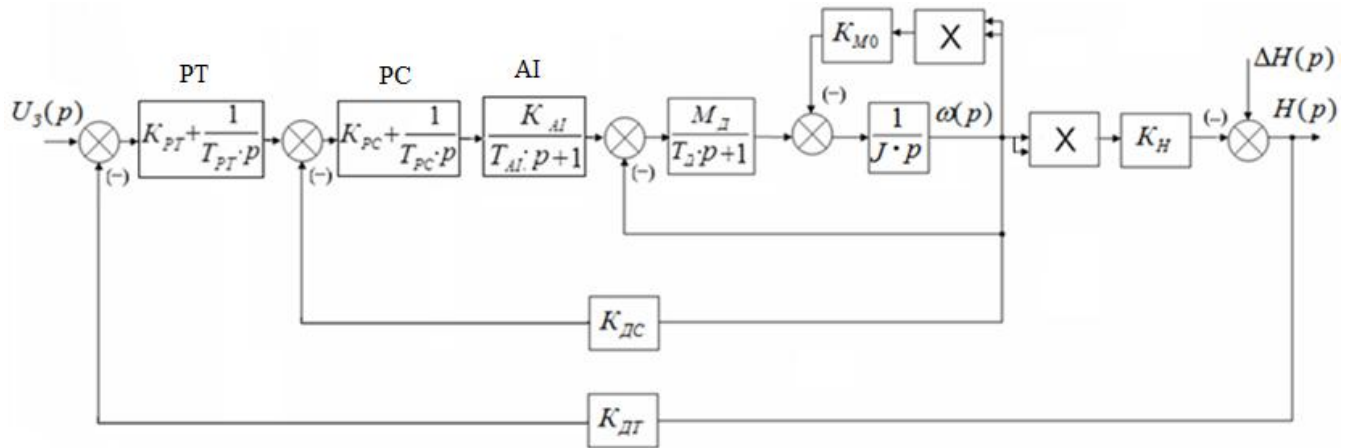
ДТ – датчик тиску;

u_y – напруга завдання;

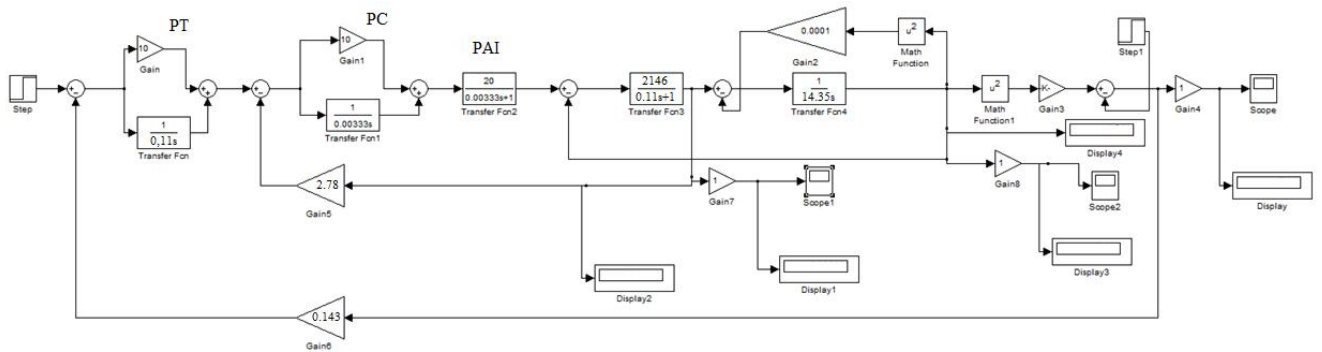
u, f – керовані напруга та частота
живлення АД;

H - напір.

СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА



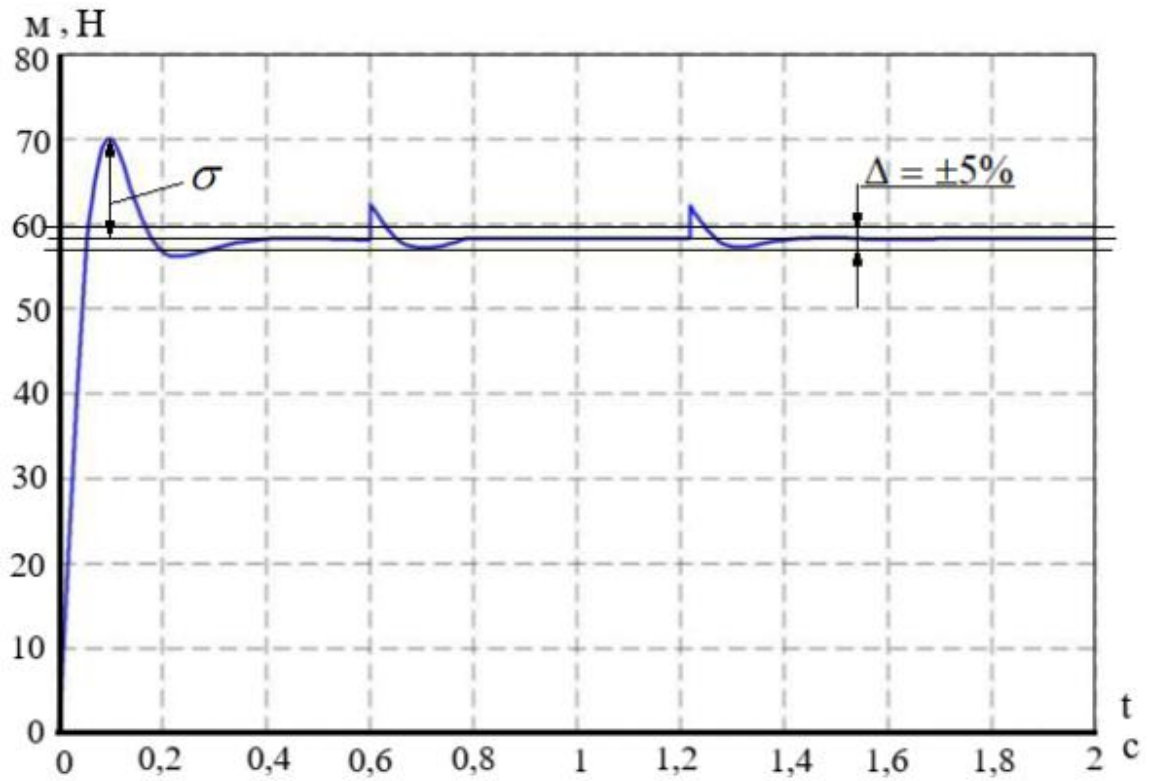
Структурна схема електропривода



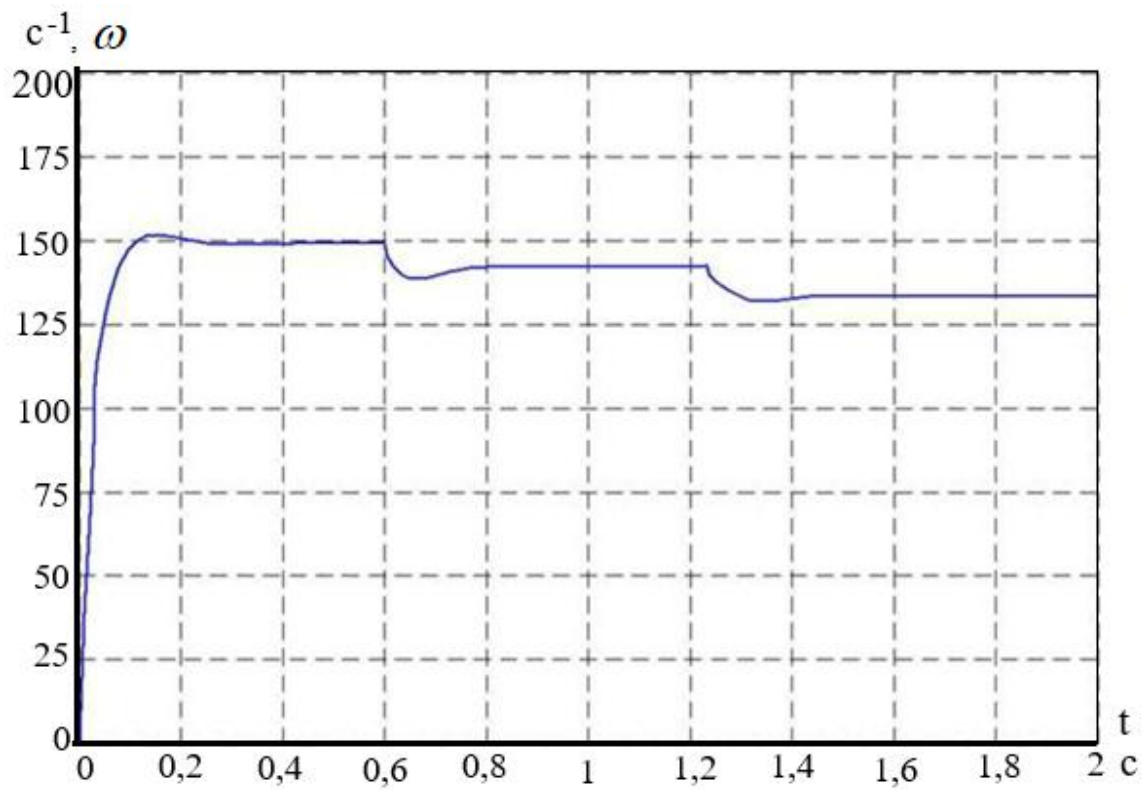
Розрахункова динамічна схема

Слайд 7 мультимедійної презентації

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Графік перехідного процесу по напору



Графік перехідного процесу по швидкості

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Результати даної кваліфікаційної роботи бакалавра:

Кваліфікаційна роботи бакалавра присвячена модернізації системи керування електроприводів водяних насосів котельної установки.

Об'єктом модернізації в даній роботі є система керування електропривода насосної станції теплової мережі.

Отримані наступні результати дослідження.

Характеристика по напорі після пуску має перехідний процес спочатку довжиною 0,25 с, амплітуда 70 м, перерегулювання $\sigma = 20 \%$ і виходить на постійну величину напорі 58 м.

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6 с) - перерегулювання $\sigma = 10,3\%$, час перехідного процесу 0,2 с, після якого напір стабілізується на 29 м.

Повторне зменшення споживання води (1,22 с) породжує аналогічний перехідний процес довжиною 0,2 с після якого напір виходить знову на 58 м.

Характеристика по швидкості після пуску має перехідний процес спочатку довжиною 0,25 с і виходить на постійну величину 150 с^{-1} .

Далі система піддається різкому зменшенню споживання води (0,6 с), при цьому відбувається перехідний процес 0,2 с, після якого швидкість зменшується приблизно на 15 с^{-1} .

Повторне зменшення споживання води (1,22 с), призводить до зменшення швидкості приблизно на 35 с^{-1} .

В результаті проведених розрахунків системи керування електропривода насоса водопостачання у каналі керування тиском при розрахункових параметрах налагодження системи керування отримані такі показники якості перехідного процесу забезпечуються показники якості перехідного процесу, які задовольняють технічним вимогам до ЕП.

В роботі проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання насосної станції, наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

Публікації. Результати кваліфікаційної роботи бакалавра, що виноситься на захист, опубліковані у збірнику Сучасні проблеми автоматики та електротехніки СПАЕ-2025: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2025. – 126 с. 29-30 квітня 2025 с.119-123.