

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**  
Факультет комп'ютерних наук  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

**ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри АКІТ,  
кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ М. І. Сіделєв  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
**СИСТЕМА КЕРУВАННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ**  
**ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ**

Спеціальність «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – КРБ.1 – 471.1817104

**Студент**

\_\_\_\_\_ Кудінов Д.В.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Керівник** кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ Сіделєв М.І.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Миколаїв – 2022**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>4</b>
<b>РОЗДІЛ 1. НАСОСНА СТАНЦІЯ ЯК ТЕХНОЛОГІЧНИЙ І КОНТРОЛЬНИЙ ОБ'ЄКТ .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Коротка характеристика насосної станції та її параметри .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.1. Технологічна схема насосної станції.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.2. Насосні станції магістральних теплових мереж. Теплопровідність         основного кільця .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Існуюча система автоматизації заводу насосні станції .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3. Функції теплової мережі та насосної станції як пристроїв керування     теплонасосні станції як об'єкт управління .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4. Методи та пристрої керування насосними станціями. Методи     регулювання режимів роботи насосного обладнання .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5. Вибір методу контролю. Постановка завдання дослідження.....</b>	<b>27</b>
<b>Висновки до розділу 1.....</b>	<b>31</b>
<b>РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1. Математична модель насосної станції.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2. Синтез системи управління .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.1 Розробка структурної схеми .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.2 Аналіз об'єкту .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.3. Модель асинхронного двигуна.....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.4. Дослідження динаміки системи управління насосною установкою в         Matlab .....</b>	<b>54</b>
<b>2.3. Експериментальні дослідження магістрального теплового     трубопроводу з насосними станціями .....</b>	<b>60</b>
<b>2.3.1. Методи дослідження та аналіз.....</b>	<b>60</b>
<b>2.3.2. Статистична обробка експериментальних досліджень .....</b>	<b>62</b>
<b>Висновки до розділу 2.....</b>	<b>69</b>
<b>РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ.....</b>	<b>70</b>

3.1. Вибір системи SCADA .....	70
3.2. Вибір частотного перетворювача .....	75
Висновки до 3 розділу.....	77
<b>РОЗДІЛ 4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА З ОХОРОНИ ПРАЦІ .....</b>	<b>78</b>
Вступ .....	78
4.1. Аварійні ситуації які можуть трапитись на насосній станції.....	79
4.2. Виробниче освітлення на насосній станції теплової мережі .....	79
4.3. Виробничий шум та вібрації на насосній станції теплової мережі.....	80
4.4. Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання на насосній станції теплової мережі .....	81
4.5. Загальні вимоги охорони праці на насосній станції теплової мережі.	81
4.6. Вимоги охорони праці до початку роботи на насосній станції теплової мережі .....	82
4.7. Вимоги охорони праці під час роботи на насосній станції теплової мережі .....	83
4.8. Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях на насосній станції теплової мережі.....	84
4.9. Вимоги охорони праці після виконання роботи на насосній станції теплової мережі.....	84
4.10. Пропозиції щодо покращення умов охорони праці на насосній станції теплової мережі .....	85
Висновки до розділу Охорона праці.....	86
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>87</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....</b>	<b>89</b>
Додаток А .....	92

## ВСТУП

Зараз йдеться про розробку оптимально регламентованих систем теплопостачання міст України, що дозволить ефективно контролювати теплопостачання та ефективніше використовувати ресурси, електроенергію та тепло.

Розробка систем оптимального керування різними технологічними процесами у світі відбулася в 60-70-х роках 20 століття, зокрема систем керування насосними станціями. Насосні станції є складним об'єктом зі своїми характеристиками та властивостями. Основною метою даної роботи є впровадження в насосну станцію частотно-регульованого приводу, який дозволить вирішити багато проблем, пов'язаних з енергоефективністю, надійністю та продуктивністю. Хоча існують системи з РРР, реалізовані по всьому світу, система структурована по-різному для кожного об'єкта.

Об'єкт дослідження – насосна станція Миколаївської теплової мережі. Наведемо методи управління насосною станцією, а також методи регулювання режимів роботи насосної станції. Крім того, розроблено об'єктну модель, яка детально описана у другому розділі, обрано перетворювач частоти та систему візуалізації та розроблено алгоритм керування насосною станцією у вигляді блок-схеми на основі аналізу літератури. Оригінальність роботи включає розроблену модель, дослідження моделі та статистику, виконану в Matlab, а також сучасну систему SCADA, підключену до Matlab.

**Метою:** роботи є підвищення енергоефективності системи керування насосною станцією теплової мережі.

**Об'єкт:** насосна станція магістральної теплової мережі.

**Предмет:** автоматизована система керування режимом роботи мережевого насосу.

**Задачі:**

1. Безперервність у часі процесів виробництва, транспорту, розподілу та споживання теплової енергії.
2. Реєстрацію та відображення на панелі оператора стану (положення) виконавчих механізмів та дискретних датчиків насосної.
3. Дистанційне ручне (з панелі оператора) та автоматичне управління насосами, у тому числі оснащеними пристроями плавного пуску та частотно-регульованими приводами (пуск та зупинка, автоматичне введення резерву, групове управління, динамічне призначення насосів у групі, перемикання насосів залежно від кількості відпрацьованих годин), робота насосів за розкладом тощо).
4. Розрахунок часу напрацювання обладнання насосної станції.
5. Технічний облік теплоносія в трубопроводі насосної станції, що подає і зворотний, облік споживаної електричної енергії, холодної води на власні потреби.
6. Формування світлової та звукової сигналізації при порушеннях параметрами заданих значень та виявленні несправностей обладнання

**Практичне значення:** розроблена автоматизована система керування може бути використана на насосних станціях теплової мережі різного призначення та потужності. Вона передбачає участь оператора, котрий може ефективно спостерігати за параметрами та вносити корегувальні дії через SCADA-систему.

## **РОЗДІЛ 1. НАСОСНА СТАНЦІЯ ЯК ТЕХНОЛОГІЧНИЙ І КОНТРОЛЬНИЙ ОБ'ЄКТ**

Насосна станція (НС) є найбільш ефективним, універсальним і широко використовуваним способом транспортування рідини на вітчизняних та зарубіжних підприємствах різних галузей промисловості.

Насосна станція характеризується як складний електрогідравлічний технічний комплекс устаткування та пристроїв, який здійснює процес перетворення електричної енергії в механічну енергію потоку рідини і відповідно контролює параметри рідини, що транспортується.

### **1.1. Коротка характеристика насосної станції та її параметри**

Насосні станції широко використовуються в житловому будівництві та комунальному господарстві. Відрізняються значною різноманітністю функцій, схем підключення насосів при спільній роботі, регламентованих параметрами, групами надійності та іншими показниками.

Насосні станції в системі тепlopостачання мають завдання транспортувати теплоносії від джерела до споживача теплової енергії і навпаки[1].

Залежно від способу підключення насосів розрізняють НС з окремою роботою насосів і НС зі спільною роботою насосів. Перший спосіб характерний для аварійних ситуацій з низькою продуктивністю насосів і низькими вимогами до надійності, що характерно, наприклад, для дренажних насосів. А насоси, які працюють разом, зазвичай використовуються у всіх видах надзвичайних ситуацій. При цьому для забезпечення необхідних технологічних параметрів використовуються паралельні, послідовні та комбіновані підключення установок. Найбільш характерним є паралельне підключення насосів, яке використовується в багатьох НС тепlopостачання.

Послідовне підключення використовується, коли потрібно створити в системі досить високий тиск.

За основними регульованими параметрами НС можна розділити на станції з регулюванням тиску і станції з регулюванням потоку.

Переважає використання НС з паралельним підключенням насосів у системах водопостачання та водовідведення населених пунктів, промислових підприємств, систем циркуляційного водопостачання технологічних комплексів виробничих підприємств, у тому числі кольорової металургії та нафтопереробних заводів [2-5].

### 1.1.1. Технологічна схема насосної станції

Основним силовим елементом насосної станції є насосна установка, до складу якої входять один або кілька насосів, що підсмоктують і осушують систему трубопроводів, запірну арматуру, приводний двигун, а також прилади вимірювання технологічних параметрів даної установки

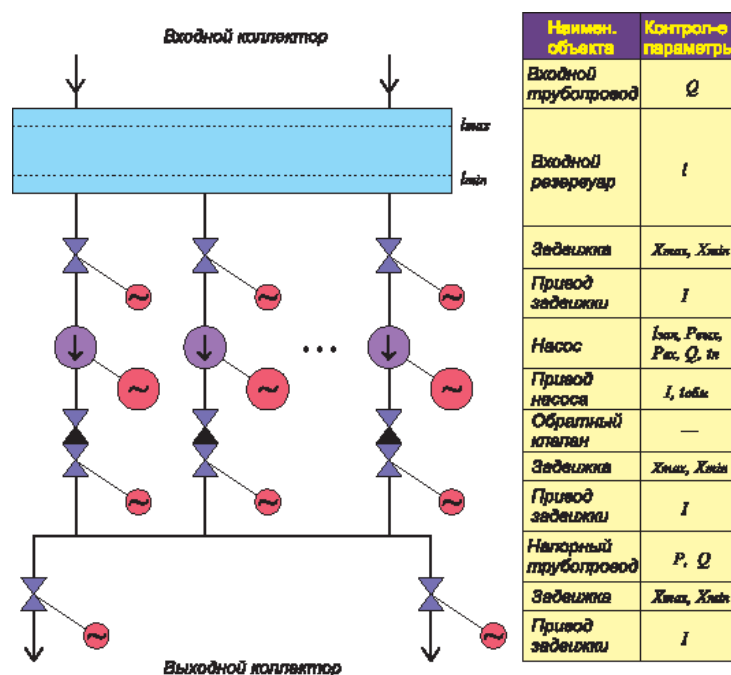


Рисунок 1.1 - Технологічна схема насосної станції

В якості основних приводних пристроїв на насосних станціях використовуються об'ємні або динамічні насоси.

Об'ємні насоси працюють за принципом витіснення, коли тиск рідини, що рухається, збільшується внаслідок стиснення. До них відносяться поршневі (діафрагмові, поршневі) і роторні (аксіально- і радіально-поршневі, пластинчасті, шестерні, гвинтові та ін.) насоси. Динамічні насоси працюють за принципом дії сили на рухоме середовище. До них зазвичай належать лопатевий (відцентровий, осьовий) і фрикційний (вихровий, дисковий, реактивний тощо) нагнітачі.

Серед них переважним використанням стали відцентрові насоси.

Пристрій відцентрового насоса показано на рисунку 1.2. У корпусі насоса (1), який має форму спіралі, вал (2) закріплено робоче колесо (3). Воно складається із заднього і переднього дисків, між якими розташовані лопаті (4), відігнуті від звичайного напрямку в протилежний бік обертання робочого колеса. За допомогою штуцерів (5) і (6) корпус з'єднується з всмоктуючим і напірним трубопроводами.

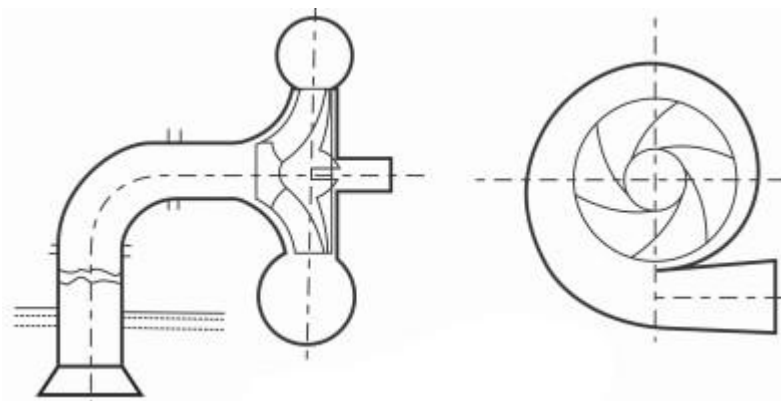


Рисунок 1.2 - Схема відцентрового насоса

Коли робоче колесо обертається в заповненому рідиною корпусі та поглинальній трубі, рідина, що знаходиться в каналах крильчатки (між лопатями), почне відкидатися від центру робочого колеса на периферію в



результаті дії відцентрової сили. В результаті створюється розрідження в центрі колеса і високий тиск на периферії. Під впливом заданого тиску рідина з насоса одночасно надходить у напірний патрубок, по якому через всмоктування трубопроводу в результаті розрідження рідина потрапляє в насос. Завдяки відцентровому насосу рідина постійно рухається.

Відцентрові насоси (ЦН) можуть бути багатокрилі, тобто. багаторівневий. Однак принцип їх дії завжди один – рух рідини відбувається під дією відцентрової сили.

Крильчатка в осьовому насосі являє собою втулку, на якій закріплено кілька перфорованих лопатей. При обертанні колеса навколо осі лопаті потік рідини діє таким чином, що створюється виштовхувальна сила, під впливом якої рідина рухається по втулці. Крильчатка осьового проточного насоса обертається в трубчастій камері, а основна частина струменя навколо робочого колеса рухається в напрямку осі. При цьому середовище, що перекачується, злегка закручується крильчаткою. Виключити обертальний рух в камері на певній відстані від коректора колісної пари, щоб рідина надходила в картер і далі в напірну магістраль.

Графічна залежність тиску, ККД, потужності, допустимої висоти Всмоктування з подачі при постійних значеннях частоти обертання крильчатки, в'язкості і густини рідини на вході насоса називається кривою насоса. Це залежить від типу і типу насоса, конструкції і розмірів його основних компонентів, а також детальності. Існує два типи кривих накачування: теоретичні та експериментальні.

Теоретичні параметри визначають за допомогою основних рівнянь для опису відцентрових насосів. На роботу CN впливає багато факторів, які важко врахувати. Тому теоретичні характеристики насоса є неточними і на практиці не використовуються. Справжні співвідношення між параметрами відцентрового насоса визначаються експериментами в результаті лабораторних або заводських випробувань або їх моделі. Існує встановлена методика

випробування насосів ГОСТ6134-71. На початку випробування насос встановлюється на стенд, обладнаний спеціальними пристроями та датчиками. Далі, після пуску насоса, подачу регулюють методом зміни ступеня відкриття клапана на вихідній трубі, тобто. лінії. Таким чином визначаються кілька значень течуності та вимірюються величини тиску та споживана потужність, що відповідають цим значенням.

Значення припливу  $Q$ , напору  $H$  і виходу  $N$ , отримані в результаті експериментальних вимірювань, і значення ефективності, розраховані з цих значень, нанесені на графік і з'єднані кривими. Усі три криві нанесені на один графік у різних масштабах вздовж осі ординат (Рисунок 1.3).

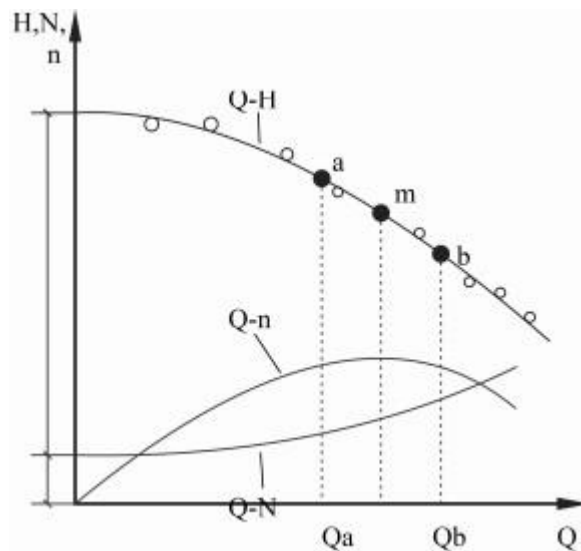


Рисунок 1.3 – Характеристика ЦН

У насоса є деякі особливості. Початкова точка характеризується роботою насоса із закритою заслінкою на напірній магістралі ( $Q = 0$ ).

Тиск  $H$  наростає і потужність  $N$  споживається.

Споживання електроенергії витрачається на механічні втрати і нагрів води в насосі. Насос може працювати лише кілька хвилин із закритим клапаном.

Оптимальна точка характеристичної кривої  $t$  відповідає максимальному ККД. Оскільки крива  $Q-n$  у цій ділянці є плоскою, на практиці використовують

робочу частину кривої насоса (область між точками а і б на рисунку 1.4), в межах якої рекомендується працювати. Робоча частина характеристики зазвичай залежить від допустимого зниження ККД, що становить не більше 2-3% від його більшого значення.

Кінцева точка кривої QH відповідає значенню подачі, після чого насос міг перейти в режим кавітації.

Основною кривою, що характеризує роботу насоса, є крива QH. Форма кривої QH може змінюватися в залежності від конструкції насоса. Різні насоси мають криві, що падають безперервно (стабільна характеристика), і криві, які мають максимум (нестабільна, нестабільна характеристика). Однак криві обох типів можуть бути нормальними, плоскими і крутими.

### **1.1.2. Насосні станції магістральних теплових мереж.**

#### **Теплопровідність основного кільця**

Основним елементом комплексу теплопостачання міста Миколаїв є магістральна кільцева теплопровідна труба, яка складається з теплових труб діаметром 500 і 700 мм. Магістральна кільцева опалювальна магістраль живиться від котельні і виносних котлів 1, 2, 4, 5. У тепловій мережі є 4 насосні станції, які перекачують водопровідну воду до котельні.

Основне теплове навантаження на опалення та гаряче водопостачання бере на себе магістральна теплопровідна труба Ф700 мм. Насосні станції №1 і №2 працюють на теплопровідності. Довжина магістралі F700 мм становить 17790 м. З цієї лінії виходять 52 (п'ятдесят дві) тепломережі з різною кількістю споживачів.

Магістральна теплотруба Ф500 мм забезпечує опалення та гаряче водопостачання інших теплових мереж кварталу. Насосні станції №4 і №5 працюють на теплопровідності. Довжина магістралі F500 мм становить 11913 м. Десять мереж централізованого теплопостачання відгалужуються від лінії централізованого теплопостачання.

Насосні станції введені в експлуатацію в 1978 році і реконструйовані в 2009 році. Режим роботи НС працює цілий рік.

## **1.2. Існуюча система автоматизації заводу насосні станції**

На насосних станціях комплексу проведено реконструкцію основного та допоміжного обладнання. Оплата теплової енергії на цих насосних станціях здійснюється за допомогою безпаперових реєстраторів Elgraph-ViER. Основні гідравлічні параметри встановлюються за допомогою мікропроцесорних контролерів

«Miniterm 450» та універсальний вимірювальний контролер «Widder TRM 138». Вимірювальні контролери MC8 і MC10 також використовуються для центрального керування на насосних станціях.

### **Магістральні та сусідні мережі**

Контроль гідравлічного режиму в магістральних і квартальних мережах на виході в джерело і на насосних станціях здійснюється за допомогою універсальних регуляторів обліку, а також ручного впливу на засувки і засувки. Відсутнє централізоване дистанційне керування магістральними та централізованими тепловими мережами. Основні параметри вимірюються на місці в оглядових шахтах навколо теплових мереж.

## **1.3. Функції теплової мережі та насосної станції як пристроїв керування теплонасосні станції як об'єкт управління**

У водяних опалювальних мережах насоси використовуються для підтримки заданих тисків і забезпечення споживачів необхідною кількістю води. Головні насоси створюють циркуляцію води в системі опалення і компенсують витік води і підтримують необхідний рівень п'єзометричних ліній як в статичному, так і в динамічному режимах.

Особливістю роботи насосних агрегатів в системах опалення є нерівномірний графік споживання води в залежності від часу доби, дня тижня і

сезону. Підтримка постійного об'єму водопостачання призводить до значного зниження тиску в трубопроводі в години «пік», збільшення аналізу води споживачами та значного підвищення тиску в магістралі, а при зменшенні споживання води відбувається втрата води на шлях до споживача Трубопровід, тобто виникнення гідравлічного удару. У теплопроводах цей процес відбувається при раптовому відключенні магістральних насосів або насосів на підстанціях, вмиканні насосів при повністю відкритих клапанах і зливів води, супроводжується точковими локальними підвищеннями і зниженням[6].

Тиски, що призводять до руйнування трубопроводів .

З цих причин зростає кількість розробок у сфері автоматизації насосних станцій. Проте існують певні вимоги до роботи насосних станцій, найважливішими з яких є такі фактори: підтримання високої точності заданого тиску в системі опалення; Діагностика напруги живлення станцій та відновлення роботи насосної станції після різних відключень електроенергії; Діагностика всіх датчиків системи та обслуговування станції при виході з ладу датчика; Калібрування датчиків з ПКП; захист насосів від сухого ходу; функціональна діагностика роботи насоса; Можливість передачі робочих параметрів станції по виділених каналах зв'язку; Налаштування параметрів станції з ПКП; Забезпечення протипожежної роботи станції; забезпечення ручного керування станцією при технічному обслуговуванні; Перемикання насосів для єдиного розвитку ресурсу насосних агрегатів.

Теплові мережі як об'єкт управління

Як об'єкт керування теплова мережа комплексу являє собою складну динамічну систему з просторово розподіленими елементами з різними термогідравлічними властивостями, багато з яких властивостей притаманні іншим великим енергетичним системам [7].

До загальних характеристик комплексу тепlopостачання можна віднести:

- безперервність у процесах виробництва, транспортування, розподілу та споживання теплової енергії;

- складність внутрішніх процесів опалення, підігріву води та вентиляції;
- інерційність теплових процесів теплопостачання;
- перехідні процеси споживання теплової енергії та гарячого водопостачання, гідравлічні та теплові види теплопостачання;
- стохастичний характер збурень;
- просторовий розподіл елементів геодезичного комплексу за місцевими оцінками;
- підвищена чутливість теплоносія на ділянках і у вузлах теплової мережі до витоків води та аварій;
- висока щільність теплоносія, що вимагає додаткових витрат електроенергії на перекачування магістральної води та створення тиску для заповнення нагрівальних елементів споживачів;
- наявність проблем в оцінці поточних значень техніко-економічних показників якості процесу;
- ієрархія структур управління з безпосередньою участю суб'єкта в управлінському циклі;
- високий ступінь централізації управління з одночасною децентралізацією оперативного управління процесами теплопостачання комплексу;

Неповнота та неточність інформації про параметри та режими роботи комплексу.

Наступною особливістю є те, що комплекс теплопостачання характеризується невизначеністю :

- моделі об'єкта управління, пов'язані з нестационарними параметрами об'єкта;
- гідравлічні властивості трубопроводів залежать від терміну служби;
- стан теплоізоляції трубопроводу - від його вологості, тепловтрат від будівлі - від кліматичних даних та інфільтрації через дверні та віконні прорізи, а також розрізненого розташування споживачів у місті;

- зовнішні збурення зі стохастичним характером кліматичного фактора та структурою споживаного навантаження, яка залежить від часу доби, дня тижня тощо;

- Критерії управління, пов'язані з конфліктом між виробником і споживачем. Виробник зацікавлений у виділенні максимуму тепла з мінімальними витратами, а споживач зацікавлений у задоволенні власних потреб. Його призначення - задовольнити власні потреби, тоді як для систем:

- опалення - кімнатна температура 22-24 С;

- вентиляція - повітрообмін і температура 18-20 С;

- Гаряче водопостачання – температура 55-60 С і бажане споживання.

Централізація теплогенерації вигідна для виробника.

Основними особливостями комплексу теплопостачання є [7]: динамічні властивості комплексу, що характеризуються великою пропускнуою здатністю та транспортними затримками в каналах передачі заводових та ударних провідників.

Функціонування комплексу теплопостачання характеризується різними фізичними параметрами:

- Динамічні властивості шляхів передачі тиску (вимірювання потоку) і температури сильно відрізняються один від одного. Споживання води в мережі змінюється майже мляво. Процес спрямування температурної хвилі через розгалужену теплову мережу, що визначається швидкістю теплоносія, може тривати годинами .

- Кип'ятіння води в тепломережі. Коли перегріта вода протікає через регулюючі клапани або автоматичні клапани з  $T_{wl} =$

130 С (подача від центрального джерела), тиск у трубопроводі, який транспортує цю воду, падає, потім частина води закипає і в трубопроводі утворюється водяна пара. Це може призвести до прориву струменя води в трубопроводі (утворення парової пробки) і при включенні циркуляції появи гідромолота, що може виникнути.

Знищувати лінії, арматуру та опалювальні прилади в приміщенні. Тому перегріту воду слід транспортувати під тисками - трубопроводами вище тиску пари при температурі води, що транспортується. Це правило необхідно дотримуватися під час експлуатації, щоб уникнути нещасних випадків[7].

- Висока теплоємність, масова щільність і хороші гігієнічні властивості води (у достатній кількості) роблять її кращим теплоносієм в системах опалення. Однак основним недоліком води є можливість її замерзання в трубопроводах при температурах нижче 0 0 С, що може призвести до розриву та руйнування труби, а також утворення високого гідростатичного тиску в системі опалення[10].

- Інерційні характеристики окремих паралельних одиниць суттєво відрізняються один від одного. Теплові хвилі, які проходять через теплові коливання корпусів (стін) у міру коливань температури зовнішнього повітря, сильно послаблюються, відстають у фазі і можуть бути охарактеризовані як повільні втрати тепла[8]. Теплові хвилі, що пронизують нежаростійкі периметральні огорожі (вікна), слідує майже синхронно зі змінами зовнішньої температури і характеризуються як швидкі втрати тепла. Дослідження С. А. У 1961 р. Чистович виявив [9], що для оптимального автоматичного регулювання тепловіддачі необхідний диференційований врахування повільних і швидких тепловтрат.

У зв'язку з вищевикладеним керівництвом СТТ необхідно враховувати не лише комплекс метеорологічних факторів на даний момент, а й метеорологічні умови за попередній період, а також можливі їх зміни в майбутньому;

Крім загальних і специфічних особливостей ССТ, існують :

- високий ступінь автоматизації джерела тепла і майже повна відсутність можливостей автоматизації опалювальних приладів і теплових пунктів споживачів;

- на відміну від інших систем трубопроводів, тепловими мережами транспортується не сам продукт, а його параметри (тепло, температура, тиск),



які повинні відповідати вимогам різних систем споживача - опалення, вентиляції та гарячого водопостачання;

- основне навантаження споживачів - опалення, що характеризується низькою чутливістю до зміни параметрів через високу акумулювальну ємність будівель;

- Споживачі тепла розташовані в різних місцях. Режимні умови, які змушують керувати «найгіршим» або «віддаленим» споживачем, тоді як інші споживачі отримують тепло без потреби, тобто. знаходяться в режимі «розплавлення».

До структурних особливостей ВТП відноситься локалізація ВТП в межах міста та наявність, як правило, (одного-трьох) великих основних джерел тепла, що визначають багато властивостей системи в цілому.

Відмінна особливість комплексу теплопостачання

- суттєва різниця в геодезичних оцінках площі між головною котельною «Басквот» та нижньою точкою кільцевої дороги (46 м), що призвело до встановлення чотирьох насосних станцій для відкачування зворотної води з мережі в м. головна котельня;

Що тепломережі централізованого теплопостачання відрізняються кількістю підключених індивідуальних теплових пунктів, безперервним, послідовно-паралельним підключенням учасників до мережі. Як наслідок, кожна районна мережа має свій технологічний спосіб забезпечення теплом, а тому кожна мережа потребує розробки індивідуального, адекватного алгоритму.

#### **1.4. Методи та пристрої керування насосними станціями. Методи регулювання режимів роботи насосного обладнання**

Для відцентрових насосів використовуйте такі методи регулювання потоку рідини та тиску:

- Керування дросельною заслінкою;

- Відведення частини потоку рідини від виходу насоса до входу;
- поступове регулювання;
- Змінити швидкість крильчатки насоса.

Управління дроселюванням полягає у введенні додаткового опору в напірну лінію системи, щоб крива  $Q - H_{тр}$  піднімалася крутіше (рисунк.1.5), а крива насоса перетиналася в точці режиму 2, що відповідає необхідному постачання  $Q_3$ . Необхідний напір у системі дорівнює  $H_3$ , і насос розвиває напір  $H_2$ . Таким чином, енергія  $N = Q_3 p$ , де  $p = H_2 - H_3$ , втрачається через збільшення місцевого опору в затворі.

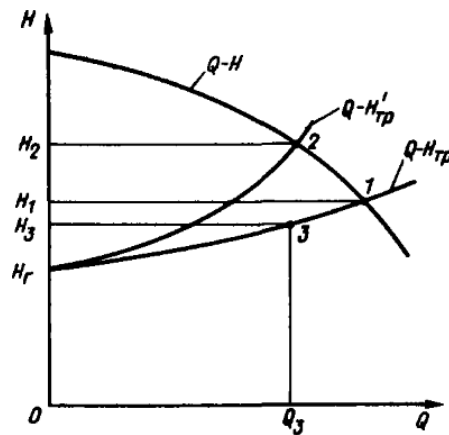


Рисунок 1.5 – Характеристика системи “насос – мережа” при регулюванні роботи дроселюванням

Корисна потужність насоса для забезпечення роботи в точці 3:

$$N_3 = \rho g Q_3 H_3 / 102$$

Витрата потужності насосної установки в цьому випадку:

$$N = \rho g Q_3 H_2 / 102 \eta_3$$

Тоді ККД насосної установки

$$\eta = \eta_3 H_3 / H_2$$

З якого видно, що ККД насосного агрегату зменшується зі збільшенням різниці між напором, який розвиває насос, і напором, необхідним у мережі. Через значні недоліки метод керування дросельною заслінкою можна

застосовувати лише до малогабаритних невеликих насосних агрегатів, які потребують короткочасного регулювання.

Регулювання тиску байпасом полягає у видаленні частини потоку рідини з виходу насоса після її надходження через відгалуження за допомогою повзуна. А енергія, що витрачається на циркуляцію рідини по контуру холостого ходу, не створює корисної роботи, що призводить до зниження ККД. Постачання НА регулюється лише в бік зменшення. Введення рідини у всмоктувальну магістраль покращує кавітаційну якість насоса, але наявність циркуляції знижує ефективність системи, вимагає пристроїв циркуляційних труб і встановлення додаткової арматури, що ускладнює комунікацію трубопроводів у насосній станції. Саме тому цей метод не знайшов широкого застосування в практиці міського водопостачання.

Поетапне регулювання подачі насосної станції здійснюється шляхом включення або вимкнення насоса. Цей метод простий у використанні, т.е. не потребує додаткових блоків управління. Однак цей метод не дозволяє безперервно і якісно підтримувати параметр при зміні витрати і викликає часті пуски і зупинки двигунів, що скорочує і вимагає терміну служби обладнання.

Будівництво тимчасового сховища для компенсації коливань подачі на насосній станції. Ці особливості викликають скорочення насосної станції, де використовуються вищевказані методи.

Змінюючи частоту обертання робочого колеса насосного агрегату, можна безперервно регулювати продуктивність НС з найменшими витратами енергії, ніж у попередніх версіях [2-5]. Але це вимагає високої вартості керуючого обладнання, особливо для потужних установок, і призводить до поганої електромагнітної сумісності з мережею. Але падіння вартості керованих електроприводів все ж робить цей метод найбільш перспективним.

Методи керування групою насосів на насосній станції [14] Індивідуальне керування.

Метод керування[14], при якому всі двигуни оснащені власними перетворювачами частоти (ПЧ). Цей метод є найбільш універсальним. Може забезпечити найвищу точність у дуже широкому діапазоні регулювання. Функціонал обмежений лише енергетичними параметрами. Забезпечує всі функції захисту (захист максимального струму та частоти; захист від втрати навантаження, короткого замикання фази, відхилення напруги в мережі, обриву фаз, контроль послідовності фаз тощо). Дозволяє використовувати різні властивості насосних агрегатів. Зберігає працездатність у разі відмови приводу, поки АД заряджається від мережі через байпасний контактор. Висока енергоефективність цього методу забезпечує проведення енергетичних розрахунків для визначення тих параметрів, при яких доцільно змінювати кількість працюючих насосів. Головний недолік – висока вартість. Через обмеженість коштів на придбання інверторів цей метод не набув широкого поширення.

Групове регулювання.

Використання одного перетворювача для одночасного керування параметрами кількох АД зустрічається досить рідко. Точність і діапазон налаштувань визначаються вибраним апаратним і програмним забезпеченням. Потрібна установка додаткового обладнання для захисту електродвигунів і агрегатів в цілому. Можливість використання різних насосів в ОУ виключена. Енергоефективність знижується, оскільки при низькому споживанні води всі насосні агрегати працюють в режимі зниженої ефективності. Високотужні інвертори мають високу вартість.

Змішана схема.

Системи з частотно-керованим насосним блоком і кількома некерованими блоком НС є каскадними системами керування, але з підвищеною точністю керування за рахунок використання інвертора та складного алгоритму керування. Основними недоліками є виникнення стрибків напруги в мережі,

пов'язаних з перехідними процесами в процесі пуску Двигуни та скорочений термін служби обладнання.

Іншим рішенням, яке не тільки зменшує напругу струму в мережі, зменшує знос елементів ОУ та виключає гідравлічний удар, є використання пристрою плавного пускання (ПМП) у поєднанні з інвертором з каскадними насосними агрегатами. Використання SCP значно збільшує вартість системи.

Каскадний контроль частоти.

За техніко-економічними показниками найбільш оптимальним є каскадне регулювання частоти. Цей процес забезпечує високий контроль якості, високу енергоефективність насосної станції та має потенціал для модернізації. Робочий алгоритм (Додаток А):

- головне частотно-регульоване ВКЛ стабілізує технологічний параметр в діапазоні навантажень, що забезпечується одним агрегатом, і поступово прискорюється до номінальної швидкості;

- При подальшому збільшенні навантажень електродвигун, що працює на номінальній швидкості CR NA, синхронізується з мережею і перетворювач перемикається на керування іншим NA, який стає основною мережею.

- Якщо навантаження продовжують зростати, таким же чином підключається наступний додатковий блок;

- При зниженні навантаження операції виконуються в зворотному порядку.

Існуючі пристрої керування насосними станціями [11]

У сучасних вітчизняних і зарубіжних системах керування режимами роботи насосних агрегатів здійснюється за допомогою автоматизованого регульованого електроприводу. У таких системах регульованим параметром є тиск рідини. Сучасні технології дозволяють підтримувати певний тиск з великою точністю. Однак висока точність тягне за собою безперервну зміну швидкості обертання електродвигуна насосного агрегату, а отже сприяє зміні

навантажень на окремі елементи насосного агрегату (пружні муфти, що з'єднують насос з двигуном тощо), що призводить до передчасного зносу. Тому в деяких випадках необхідно встановити підвищену мертву зону системи управління, що знижує точність стабілізації тиску.

В якості регульованого електроприводу установка насоса в системі гарячого водопостачання передбачає використання одного з видів електроприводів, у тому числі: індукційних ковзаючих муфт (ІС) з живленням збудження від тиристорних блоків БУ-3509 (блок керування) та як; Частотний перетворювач серії PCT (перетворювач частоти), PCR-2 SAMI (фірма Stromberg) та інші типи; електроприводів за схемою АВК (асинхронний клапанний каскад) на основі перетворювачів ТДП-2 (тиристорні діодні перетворювачі) і станції управління СДУ; Електроприводи на основі клапанних електродвигунів з перетворювачами ПЧВН, ПЧВС.

Стабілізація тиску рідини здійснюється за рахунок того, що при зменшенні водозабору тиск в мережі збільшується, а частота обертання електродвигуна насоса зменшується в результаті дії системи управління. З іншого боку, зі збільшенням витрати води тиск рідини в мережі зменшується, а швидкість збільшується. Основне призначення системи стабілізації тиску рідини в системі трубопроводів - підтримувати тиск на певному значенні. У системах стабілізації тисків у мережі необхідно передбачити включення додаткових некерованих насосів у разі значного збільшення припливу або витрати води та їх відключення при зменшенні.

Найбільші насосні агрегати з найбільш плоскою характеристикою повинні бути оснащені керованим приводом. Якщо використовуються насоси однакового типу, робочі колеса некерованих насосів повинні мати менший діаметр, ніж регульовані, щоб уникнути утворення мертвих зон. Якщо діаметри однакові, а насос змінного об'єму працює на підвищеній швидкості в режимі максимальної подачі, то він повинен бути оснащений високопродуктивним двигуном згідно з рекомендаціями[12].

Незважаючи на очевидні переваги, керований електропривод поки не зарекомендував себе на насосних станціях. Зараз є умови, які вимагають більш широких зусиль. Стрімкий розвиток напівпровідникової техніки дозволив створити надійні і відносно недорогі електроприводи керування на основі силових перетворювачів. Крім того, світова енергетична криза наочно продемонструвала справжню цінність енергоресурсів і спонукала до заходів щодо їх раціонального використання. В результаті роботи розширилися на дослідження, розробку та створення насосних агрегатів, оснащених автоматизованим регульованим електроприводом. Нижче наведено опис деяких з найбільш характерних установок.

Насосна станція з керованим електроприводом на основі індукційних муфт ковзання (ІС)

Доцільність використання САУ з регульованим електроприводом на насосних станціях з урахуванням співвідношення цін на обладнання та електроенергію та інших факторів, існуючих в нашій країні, обґрунтовано.

Монтажні роботи без регульованого електроприводу проводилися насосними агрегатами періодичного включення-вимкнення. Кількість включень становила 30-40 на добу, а кількість робочих одиниць змінювалася від 1 до 6 залежно від надходження. Система автоматичного керування змінює швидкість одного або двох регульованих агрегатів і загальну кількість робочих одиниць відповідно до зміни припливу. Частота обертання змінюється відповідно до сигналу відхилення, що утворюється, коли рівень перевищує встановлені межі. Сигнал відхилення, оброблений за законом ПІ, надходить на вхід імпульсно-фазового регулювання ІМС тиристорного збудника. Цим регулюється його струм збудження і відповідно швидкість двигуна насоса. Якщо при значних змінах витрати зміна швидкості регульованого насоса не забезпечує необхідної зміни подачі до насосної установки, необхідно змінити загальну кількість агрегатів, що працюють на станції. Для цього використовується блок взаємодії регульованих і нерегульованих суб'єктів. Пристрій відключає віджим від

нерегульованих блоків і збільшує збудження ІКС до максимального значення струму (5 А), коли швидкість регульованого насоса стає настільки низькою, що його зворотний клапан закривається, а насос припиняє відкачування. Коли швидкість керованого насоса досягає максимального значення, а приплив продовжує збільшуватися, а установка не впорається з відкачуванням стічних вод з резервуара, блок закриває один з некерованих блоків і знижує збудження ІК до мінімуму. Система стабілізує рівень в баку насосної станції з точністю до 50 мм і короткочасними відхиленнями (до 350 мм) під час з'єднання або від'єднання некерованого насосного агрегату. Система дозволяє регулювати швидкість декількох, в даному випадку двох одиниць. Необхідність такої операції виникає при незначному перевищенні припливу над виходом одного насоса. За таких умов паралельна робота регульованого і нерегульованого агрегатів нестабільна, оскільки навантаження на регульований агрегат становить лише 5-10% від номіналу. В результаті незначні зміни в притоку тягнуть за собою включення та деактивацію нерегульованого суб'єкта. Це створює значні обурливі наслідки, які не завжди можуть бути усунені системою регулювання. Синхронна робота двох регульованих агрегатів, що відповідає роботі одного агрегату з великою потужністю, запобігає виникненню нестабільних режимів роботи. Впровадження системи регулювання дозволило зменшити споживання електроенергії близько 10%, тобто при 170 000 кВт на рік, а також кількість включень насосних агрегатів від 30 до 3 на добу.

Підвищення ефективності ІПС забезпечується впровадженням приладу у ВНІВОДГЕО і пройшов випробування в одному з нинішніх Києва про них відповідно до кращих зразків ІМС з-за кордону компанії. На заводі випробувано декілька систем керування: з дискретними та аналоговими перетворювачами рівня різних типів. В умовах насосних станцій найбільш надійними виявилися аналогові перетворювачі з повітряним дзвоном.

Насосна станція з керованим електроприводом за схемою асинхронного клапанного каскаду (АВК)



Система насосної станції працює в Києві вже давно і налічує шість насосних агрегатів потужністю 800 кВт, в тому числі 3-4 робочих. Система автоматичного керування складається з асинхронного електродвигуна з фазним ротором потужністю 800 кВт і швидкістю 740 об/хв, перетворювача АВК, який виконує роль блоку ТДП230400-Т, що складається з випрямляча та інвертора, який керує та контролює 800 пускових резисторів, датчик рівня, що складається з повітряного дзвінка та диференціального манометра; РІ контролер. Система стабілізує рівень рідини в баку з точністю 7-10 см. Вища точність стабілізації призвела до підвищеного зносу пальців пружної муфти, що з'єднує електродвигун з насосом. Підвищений знос обумовлений збудженням рідини в баку (висота хвилі 20 см), що вимагало збільшення мертвої зони САУ і зниження точності стабілізації рівня. Принцип роботи системи регулювання швидкості агрегату аналогічний описаним вище. Зміна кількості насосних агрегатів, що працюють на станції, здійснюється експлуатаційним персоналом. Використання цієї системи на насосній станції економить 600 700 000 кВт-год електроенергії щорічно, тобто близько 4-5% від загального споживання енергії.

#### Насосна станція з приводом на базі електродвигуна клапана

САУ з електроприводом на основі клапанного електродвигуна впровадили на Філевській насосній станції. З шести встановлених на станції насосів марки 30-ФВ-17 один обладнаний таким електроприводом, в якому використовується перетворювач ПЧВН, розроблений НДІ (НДІ) ХЕМЗ (Харківський електромеханічний завод). Потужність електроприводу 1600 кВт, напруга двигуна 10 кв. Привід підключається до електромережі через понижуючий трансформатор потужністю 4000 кВА, а двигун підключається до приводу через той же підвищувальний трансформатор. До складу перетворювача також входить тиристорний перетворювач для живлення системи збудження синхронного електродвигуна, який не був замінений при введенні електродвигуна. Система управління електроприводом насоса схожа

на описану вище. В якості датчика рівня використовувалися повітряний дзвінок і диференціальний манометр з виходом 0-5 мА. В системі управління Використовується ПІ-контролер типу П-17. Використання САУ з регульованим електроприводом дозволило знизити споживання електроенергії приблизно на 1 200 000 кВт·год на рік, покращити умови роботи насосного обладнання, полегшити умови праці обслуговуючого персоналу. Аналіз роботи АСУ та проведені розрахунки показують, що оснащення другого насосного агрегату аналогічним електроприводом збільшить економію енергії майже вдвічі. Пристрій було випробувано на станції, що виключає роботу змінного насоса в діапазоні низької ефективності.

#### Насосні станції з частотними електроприводами

Звичайний короткозамкнений асинхронний електродвигун потужністю 110 кВт / год підключається до насосної станції через перетворювач РСТ, розроблений НДІ ХЕМЗ. Управління електричним приводом подібне до описаного раніше, за винятком того, що ультразвуковий передавач рівня Echo3 використовується як передавач рівня в системі. Використання електричного частотного приводу в цій установці знижує споживання електроенергії на 60 000 кВт·год на рік, Г.а. близько 5%.

На насосних станціях Києва також використовуються частотні перетворювачі типу PCR-2 виробництва фінської компанії Stromberg, на базі яких створено понад 10 систем автоматичного керування режимом роботи насосних станцій з агрегатами потужністю від 75 до 160 кВт. На станції вже давно працює система управління частотним перетворювачем SAMI фірми Stromberg, яка економить 7-8% від загального споживання електроенергії.

Частотні перетворювачі Stromberg є високонадійними і досить компактними засобами керування насосними агрегатами. Для рівномірного використання насосних агрегатів передбачено пристрій, що дозволяє почергово підключати їх до одного перетворювача.

Відомі випадки використання побутових перетворювачів частоти типу РСТ у Харкові, типу ЕСТ тощо.

### **1.5. Вибір методу контролю. Постановка завдання дослідження**

#### *Оптимальне керування процесом транспортування теплоносія в системі*

Теплопостачання за допомогою насосних станцій зводиться до вибору та реалізації оптимального з точки зору прийнятого критерію технологічних режимів.

Проблема вибору оптимальних режимів може бути вирішена шляхом проведення послідовних експериментів на об'єкті керування або на основі його математичної моделі.

Як зазначено, клас об'єктів керування, до якого він відноситься Процес транспортування та розподілу теплоносія від систем теплопостачання характеризується багатовимірністю, випадковістю величин. Ці особливості утруднюють збір своєчасної та точної інформації про об'єкт, ускладнюють перебіг оптимальних режимів, не дозволяють оператору-технологу використовувати експериментальні методи оптимального контролю.

За цих умов оптимальний метод керування має базуватися на математичному описі об'єкта, що дозволяє формалізувати задачі прогнозування та непрямого оцінювання невимірних змінних, вибору контролю в умовах невизначеності та обмежень на змінні та керування.

Відповідно до випадкових змін таких факторів, як властивості теплоносія та насосів, які мають великий вплив на транспортування теплової енергії, доцільно описати та визначити менеджерів впливу для використання методів, заснованих на статистичному підході до оптимального контролю на основі.

Серед таких методів можна назвати методи теорії ігор і статистичних рішень, методи теорії розпізнавання зображень, методи принципу чотирьох очей, методи студентів статистичних моделей. Застосування теоретико-ігрових методів і статистичних рішень в управлінні складними об'єктами засноване на

ототожненні процесу управління процесом з ігровою ситуацією, в якій одна сторона представлена людиною-оператором або його обчислювальним пристроєм, а інша - силами природи. неконтрольований вплив на рослину. Метод заснований на виділенні кінцевої множини, станів природних сил і припущень про нормальний розподіл випадкових величин, що відповідають окремим станам. Кожен стан природних сил пов'язаний з набором значень факторів впливу, які відповідають певному правилу рішення (Байєсіан, мінімакс).

Нестационарність об'єкта та значна кількість випадкових факторів, що впливають на нього, призводять до надмірної громіздкості цього методу та ускладнюють його застосування до задачі оптимального керування магістральною тепловою трубою з насосними станціями.

У статті розглядаються методи, що передбачають використання під час ідентифікації та управління адаптивними системами, що входять до ідентифікатора контуру керування. Такі системи називають адаптивними системами з ідентифікацією (ASI). Спосіб передбачає визначення раціонального технологічного режиму процесу шляхом розв'язання оптимізаційної задачі, формалізованої як задача математичного програмування на основі математичної моделі процесу, параметри якої визначаються та коригуються при дрейфі властивостей процесу за допомогою алгоритму коригування. У цьому випадку відбувається як накопичення інформації про об'єкт, так і зближення алгоритмів корекції Параметри та рішення задачі оптимізації, технологічний режим керованого процесу прагнуть до оптимального; таким чином, управління з адаптивними моделями є більш-менш оптимальним на відміну від подвійного керування, але вимагає значно меншої обчислювальної потужності.

Алгоритми роботи адаптивних оптимальних систем керування складаються з алгоритмів перевірки адекватності математичних моделей, підгонки моделей, пошуку моделей оптимального технологічного режиму та

видачі оптимальних елементів керування для об'єкта. До основних переваг цього методу можна віднести:

1. Можливість застосування методу у разі недостатньої апріорної інформації про суб'єкт управління;
2. Можливість врахувати вплив низькочастотних збурень шляхом фактичної корекції параметрів моделі;
3. Здатність описувати об'єкт з нелінійною властивістю, яка адаптується до лінійної моделі;
4. Зменшення обсягу обчислень і пам'яті, зайнятих шляхом побудови математичної моделі.

Особливості характеристик магістрального теплового трубопроводу та насосних станцій, аналіз роботи існуючих систем автоматизації з частотно-керованими перетворювачами дозволяють сформулювати основні вимоги до процесу керування насосною станцією, такі як: В. максимальний ККД та енергоємність збереження. Ці умови можуть бути виконані:

1. Робота насосної станції в оптимальних умовах експлуатації;
2. Виключення аварійних режимів, гідроудару в магістральному теплопроводі;
3. Усунути процеси кипіння і кавітації теплоносія.

Особливості процесу транспортування теплової енергії визначають вибір таких принципів управління:

Принцип оптимальності. Знаходження оптимального режиму керування насосною станцією потребує вирішення математичної задачі методом математичного програмування залежно від типу математичної моделі системи;

Принцип компенсації. Оскільки насосна станція працює при високих робочих тисках, на це істотно впливають спостережувані (але неконтрольовані) порушення, що вимагають використання контролю за порушенням.

Таким чином, враховуючи обрані принципи, управління насосною станцією відноситься до класу оптимальних засобів управління порушеннями.

Ефективним методом дослідження таких систем, які характеризуються складним характером взаємозв'язків їх елементів, високою динамікою процесів і впливом випадкових факторів і невизначеності, може бути метод моделювання. У цьому випадку на основі аналізу фізичних властивостей виходить експериментально-аналітична модель

*Процес, грає роль об'єкта в симуляції.* Вивчення технологічних закономірностей шляхом моделювання реального об'єкта на комп'ютері дає можливість найкраще відтворити хід технологічного процесу в різноманітних змінних змінних і приголошшливих ефектах.

## **Висновки до розділу 1**

1. Аналіз процесів, що відбуваються в магістральних теплових трубах і насосних станціях, показав, що ці процеси належать до класу безперервних, просторово розподілених, нелінійних багатовимірних процесів.

Випадкові коливання кількісних і якісних властивостей теплової енергії та дрейфових властивостей відцентрових насосів визначають стохастичність і нестійкість процесу. Властивості об'єкта пред'являють певні вимоги до транспортування теплової енергії, які необхідно враховувати при виборі систем керування системами опалення.

2. Сучасна практика управління насосними станціями заснована на управлінні насосними станціями за допомогою електроприводів для послідовного включення і вимикання насосів, що призводить до надмірного споживання електроенергії та гідравлічного удару в системі теплових труб.

3. Показано, що у відомій літературі та в існуючій практиці управління процесами проблема оптимального керування не вирішується.

4. Сформульовано сучасні методи та підходи до математичного опису та управління транспортом теплової енергії та дослідницьке завдання з урахуванням специфіки суб'єкта управління.

## РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ

### 2.1. Математична модель насосної станції

Відомо, що найбільші великі втрати (до 90%) припадають на енергетику, якій доводиться докладати великих зусиль для енергозбереження. Оскільки споживання електроприводів становить до сімдесяти відсотків виробленої електроенергії, саме оптимальне керування системами електроприводів може забезпечити значну економію енергії. За різними даними, через те, що на частку відцентрових насосів, вентиляторів, повітродувок тощо припадає 20-35% споживання електроенергії в промисловості, модернізація систем керування насосними агрегатами є важливою сферою енергозбереження. політика в промисловості. Це питання особливо важливе для високоефективних приводів з тривалим періодом експлуатації – насосно-компресорних станцій, водяних насосів, нафтогазоперекачувальних станцій, великих вентиляторів тощо .

Найбільш характерним режимом роботи насосних агрегатів є перекачування продукту. Б. вода, з певним тиском і витратою. Щоб зберегти зрілість цих параметрів або змінити їх відповідно до вимог технології та змін зовнішніх факторів, необхідно налаштувати роботу насосного агрегату. Таке регулювання можна зробити, змінивши або властивості трубопроводу, або насоса. У першому випадку використовується найпоширеніший варіант дроселювання, тобто управління режимами роботи насосів за допомогою регулюючої та запірної арматури при постійній швидкості приводного двигуна, що призводить до значних втрат в гідрорегуляторах.

Насосні агрегати можна регулювати зміною частоти обертання робочого колеса насоса за допомогою керованого електроприводу. При цьому методі регулювання клапан на трубі залишається повністю відкритим, і вся гідравлічна потужність насоса використовується для переміщення рідини по трубі, тобто. Н. немає додаткових втрат через гідравлічний опір воріт.



Розглянемо, який із двох способів керування тиском і витратою насоса є найкращим.

### *Результати дослідження*

Оцінимо складові балансу потужностей системи «Електропривід – насос – трубопровід».

Гідравлічна властивість трубопроводу описується рівнянням

$$H = H_c + ZQ^2, \quad (2.1)$$

де  $H_c$  – статичний тиск, що залежить від різниці висот між початком і кінцем трубопроводу;  $Z$  - гідравлічний опір трубопроводу;  $Q$  - Споживання продукту (вода, повітря, газ тощо).

Характеристика тиску відцентрового насоса (ВН) може бути представлена у вигляді

$$H_{\text{ЦН}} = H_0 - k_H Q^2, \quad (2.2)$$

де  $H_0$  - напір насоса при «закритому» затворі ( $Q = 0$ );  $k_H$  - коефіцієнт, який визначається характеристикою підгонки насоса. Коли насос працює безпосередньо на трубопроводі («відкриті ворота»), гідравлічні параметри системи в усталеному режимі визначаються перетином напірних характеристик ЦН 1 і трубопроводу 2 (точка А. Рисунок 2.1).

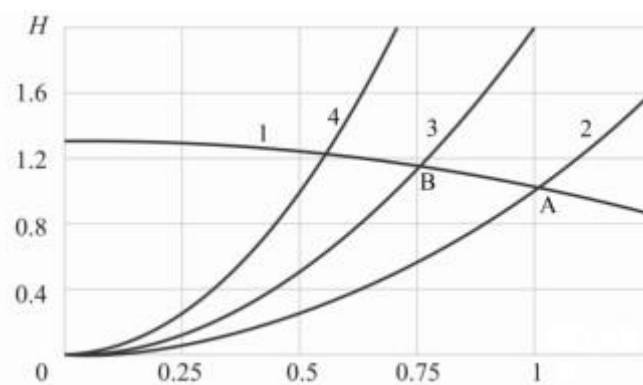


Рисунок 2.1 - Регулювання подачі ЦН дроселювання: 1 –  $Z_{\text{гр}}=0$ ; 2 -  $Z_{\text{гр}}=1$ ;  
3 -  $Z_{\text{гр}}=3$ .

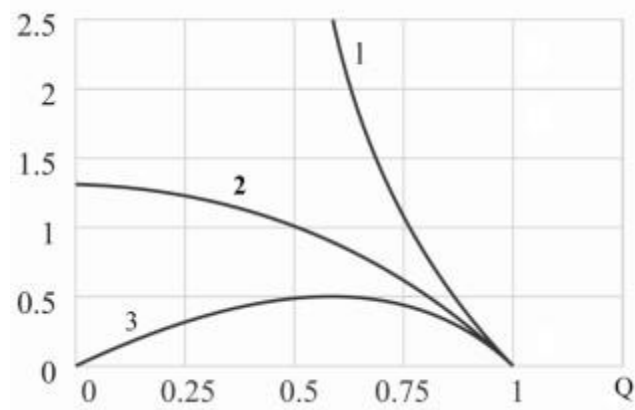


Рисунок 2.2 – Зміна основних характеристик насосного агрегата при регулюванні витрат дроселюванням:

1 -  $Z_{гр}$ ; 2 -  $\Delta H_{гр}$ ; 3 -  $\Delta P_{гр}$ .

Для забезпечення заданих значень тиску і витрати на виході насоса зазвичай встановлюється гідравлічний регулятор, де втрачається електроенергія.

$$\Delta P_{гр} = \Delta H_{гр} * Q. \quad (2.3)$$

Де  $\Delta H_{гр}$  – зміна напору в регуляторі. В відносних одиницях рівняння (2,1) та (2,2) матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} H &= H_0(\omega^2 - C_H Q^2); \\ H &= H_C + ZQ^2, \end{aligned} \quad (2.4)$$

Де  $\omega$  – кутова швидкість обертання,  $C_H = 1 - (1/H_0)$ .

Рішення рівнянь (2.3) дає:

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{\frac{H_0 \omega^2 - H_C}{C_H H_0 + Z}}; \\ H &= \frac{H_0 (C_H H_C + Z \omega^2)}{C_H H_0 + Z} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Гідравлічна потужність на вході трубопровода

$$P_{маг} = Q_{маг} H_{маг} = \frac{H_0 (C_H H_C + Z \omega^2)}{C_H H_0 + Z} \sqrt{\frac{H_0 \omega^2 - H_C}{C_H H_0 + Z}} \quad (2.6)$$

З рівнянь (2.5) видно, що при заданих характеристиках насоса та трубопроводу подачу та напір можна регулювати, змінюючи гідравлічний опір на вході магістралі  $Z$  або частоту обертання робочого колеса  $\omega$ . Для першого випадку  $\omega=1$ , а на виході насоса вводиться додатковий гідравлічний опір регулятора  $Z_{гр}$ . Тим самим змінюється характеристика трубопроводу і система працює в точці В (рис. 2.1) з новими значеннями  $H$  і  $Q$ . Загальний опір на виході насоса

$$Z=Z_{\text{маг}}+Z_{\text{гр}} \quad (2.7)$$

Де  $Z_{\text{маг}}$  та  $Z_{\text{гр}}$  – опір магістралі та гідрорегулятора

Гідравлічний опір регулятора. Необхідне для забезпечення продуктивності  $Q$  о.е.:

$$Z_{\text{гр}} = \frac{H_0(1-Q^2) - H_c}{Q^2}$$

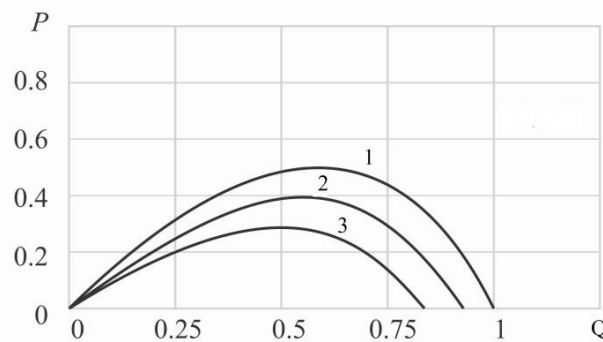


Рисунок 2.3– Втрати потужності за різних статичних напорів  $H$ , при регулюванні витрати дроселюванням:

$$1 - H_c = 0; 2 - H_c = 0.2; 3 - H_c = 0.4.$$

На гідрорегуляторі тиск зміниться на величину

$$\Delta H = Z_{\text{гр}} Q^2 = H_0(1 - Q^2) - H_c, \quad (2.9)$$

Втрати потужності на ньому будуть

$$\Delta P_{гр} = \Delta H Q = (H_0 - H_c) Q - H_0 Q^3. \quad (2.10)$$

Результати розрахунку показані на рисунку. 2.2.

На рисунку 2.3 показано коефіцієнт продуктивності при регулюванні швидкості подачі насосного агрегату шляхом дроселювання. Видно, що втрата потужності

$\Delta P_{гр}$  залежить від значення  $H_c$  і може досягати 50% споживаної потужності (при  $H_c = 0$ ,  $H_0 = 1,3$ ). Відносні значення втрат потужності в гідравлічному контролері  $\Delta P_{гр}$  зменшуються зі збільшенням  $H$ . Крім виникнення втрат потужності в затворі, перехід з точки А на роботу в точці В (рис. 2.1) знижує ККД. насосного агрегату. Втрати енергії в насосі викликаються різними витоками рідини, подоланням гідравлічних опорів у воді, що проходить через насос, тертям в підшипниках, стисненням, тертям диска колеса насоса навколо рідини тощо.

Застосовуючи змінний привод, ви можете безпосередньо плавно регулювати швидкість крильчатки ЦН, забезпечуючи необхідні значення витрати і напору без використання дроселюючих клапанів. Останній встановлюється лише для допоміжних цілей і повністю відкритий під час перекачування, що знижує гідравлічний опір мережі. Змінюючи швидкість і повністю відкриваючи золотник на виході ( $Z=1$ ) для регулювання випередження, рівняння (2.5) і (2.6) набувають вигляду (2.11):

$$Q = \sqrt{\omega^2 - \frac{H_c}{H_0}}; H = C_H H_c + \omega^2;$$

$$P_{маг} = (C_H H_c + \omega^2) \sqrt{\omega^2 - \frac{H_c}{H_0}} \quad (2.11)$$

У цьому випадку зниження витрати відбувається за рахунок зменшення напору, створюваного насосом (рис.2.4), при цьому виключаються додаткові втрати потужності в гідрорегуляторі та за будь-якого значення подачі  $P_{ЦН} = P_{маг}$ .

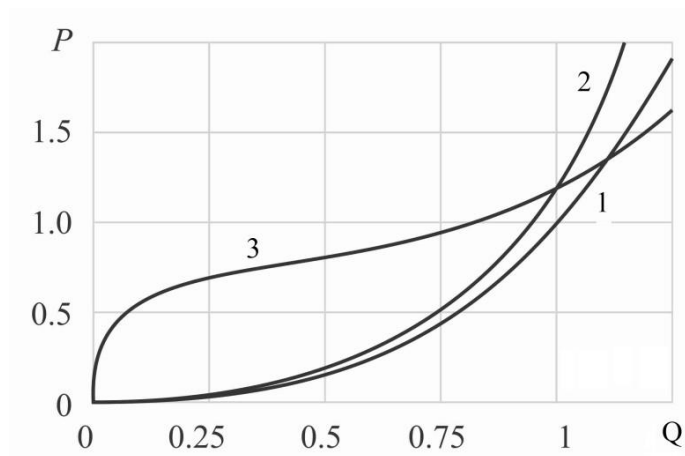


Рисунок 2.4 Потужність ЦН при регулюванні витрати Q:

1-гідравлічна потужність на виході ЦН; 2- механічна потужність на валу ЦН при регулюванні частоти обертання; 3- механічна потужність валу ЦН при дросельному регулюванні.

При регулюванні частоти обертання робочого колеса насоса  $\omega$  і нехтуванні величиною статичного підпору  $H_c$  зазначені параметри змінюються згідно із законами гідравлічної подоби, відомими з літератури:  $Q = \omega$ ,  $H = \omega^2$ .  
 $P = \omega^3$

Результати розрахунку потужності при частотному регулюванні ЦН ( $H_c=0$ ,  $H_0= 1,3$ ) приведені на рисунку 2.4.

При розрахунку потужності на валу насоса використовується раніше отримана крива ККД насоса. Слід зазначити, що ККД насоса дещо зростає із збільшенням  $\omega$ , оскільки пропорційно потужності змінюються лише гідравлічні втрати в насосі та втрати на тертя колеса. Складові втрат на тертя в підшипниках, в мережах не збільшуються пропорційно потужності насоса. Ще одна істотна перевага

Регульований привід насоса виглядає наступним чином. Електроприводи СН вибираються для забезпечення максимально можливої вартості при підтримці необхідного тиску в системі. На виході з установки створюється тиск (іноді значно перевищує номінальне значення для системи), яке потім знижується до необхідного значення сервісним клапаном. Зменшення тиску

насоса за рахунок зміни частоти обертання крильчатки дозволяє зменшити навантаження і збільшити термін служби деталей обладнання та зменшити витоки в них.

У систему автоматичного керування процесом будь-якої складності можна без принципових труднощів включити сучасний автоматизований електропривод ЦН. Порівняння значень потужності, що поглинається насосом з валу двигуна, показує значний економічний вплив від передачі CN на привод змінної швидкості. Оскільки розрахунок ведеться у відносних одиницях і для  $n_0 = 1,3$ , що відповідає параметрам переважної більшості насосних агрегатів, можна оцінити вказаний вплив на роботу даного трубопроводу, використовуючи наведені вище залежності.

Всі наведені вище аргументи змушують нас розглядати регульований привід насосів як найважливіший засіб економії енергії та ресурсів у всіх сферах застосування насосних агрегатів. Аналіз режимів роботи насосів постійної швидкості показує, що надмірні витрати енергії дуже значні, а економічність таких рішень дуже незадовільна. Перехід від нерегульованого електроприводу з регулювальною запірною арматурою до регульованого є основним напрямком розвитку насосних агрегатів, оскільки значно покращує якість технологічних процесів та економить до 30% електроенергії.

Вимоги до контролю потоку в системах трубопроводів стають різноманітнішими, оскільки самі системи трубопроводів стають все більш складними та автоматизованими. Інтеграція автоматизованого електроприводу ЦН в загальну систему автоматичного керування технологічними процесами є набагато природнішою та простішою, ніж системи дроселювання. Це дозволяє розглядати переведення насосних агрегатів на керований автоматизований електропривод як важливе економічне завдання, вирішення якого принесе значний економічний ефект.

## 2.2. Синтез системи управління

### 2.2.1 Розробка структурної схеми

Система управління являється одноконтурною та одним з зовнішніх контурів по тиску

Структурна схема системи приведена на рисунку 2.5

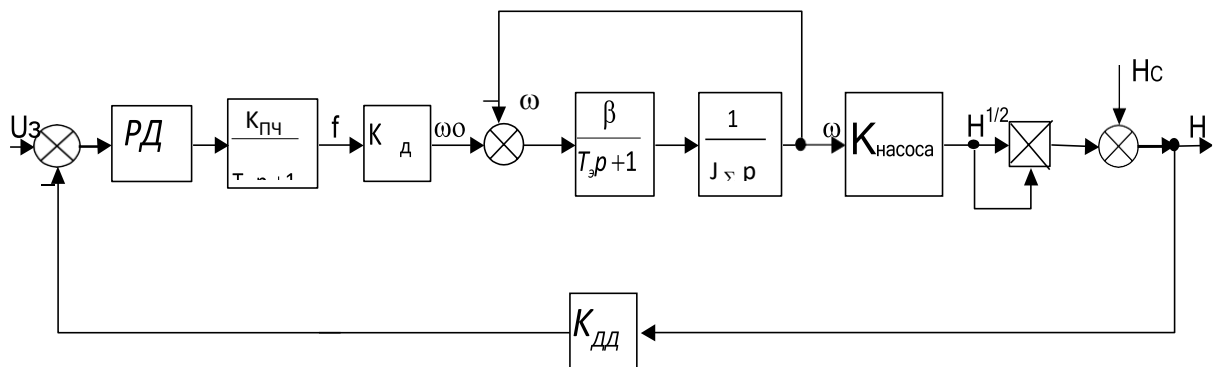


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи

Де РД – регулятор тиску

$K_d$  – коефіцієнт передачі двигуна

$K_{дд}$  – Коефіцієнт зворотнього зв'язку (За тиском)

### 2.2.2 Аналіз об'єкту

Об'єкт управління показується в нижчеприведеній функціональній схемі (Рисунок 2.6).

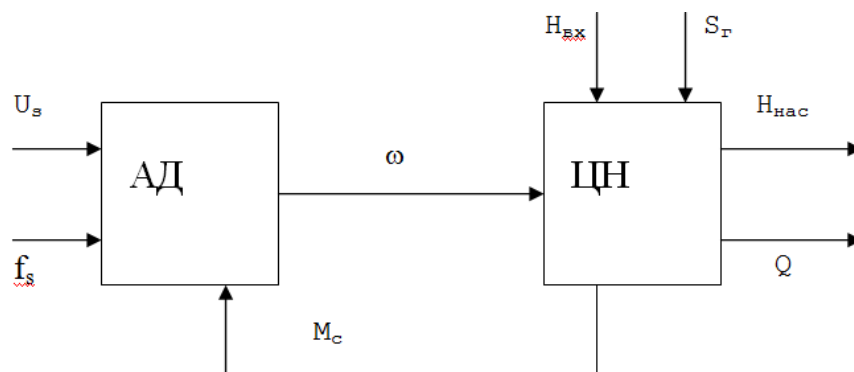


Рисунок 2.6 – Функціональна схема насосної установки (НУ)

Представимо позначення: АД – асинхронний двигун; ЦН – центробіжний насос;  $U_s$  – напруга в статорі;  $f_c$  – частота напруги в статорі;  $\omega$  – кутова швидкість обертання робочого колеса насоса та ротора;  $M_c$  – статичний момент навантаження на валу двигуна;  $H_{\text{нас}}$  – натиск на виході з насоса;  $H_{\text{вх}}$  – натиск на вході в насос;  $Q$  – продуктивність насоса;  $S_T$  – гідравлічний опір магістрального трубопроводу.

При квадратичній формі статичний момент ЦН залежить від швидкості робочого колеса. Для того щоб вивести залежність модуля перерізу від швидкості, необхідно мати під рукою математичні вирази властивостей ЦН і властивостей трубопроводу.

Основними параметрами насоса є напір і витрата.

Подача  $Q$  – це кількість рідини, що подається насосним агрегатом за одиницю часу.

Тиск  $H$  – це різниця вмісту енергії в 1 кілограмі води на ділянці від входу до виходу насосного агрегату.

$$\frac{m}{\rho g} Q^2 + s^2 (a + a_{\phi}) Q^2 = s^2 \frac{H_{0H}}{\omega_H^2} \omega^2 + s^2 H_{\text{ст}}$$

де  $m$  – Маса води;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\rho$  – щільність рідини.

Найкращим рішенням цієї задачі буде лінеаризація деяких виразів з використанням подібності .

$$Q_1 \setminus Q_2 = \omega_1 \setminus \omega_2$$

$$H_1 \setminus H_2 = \omega_1^2 \setminus \omega_2^2$$

$$Q_2 = Q_H, \quad \omega_2 = \omega_H, \quad H_2 = H_H; \quad H_1 = H^*, \quad \omega_1 = \omega^*; \quad Q_1 = Q^*,$$

де  $Q_H$ ,  $\omega_H$ ,  $H_H$  – номінальні значення відповідних параметрів насосної установки;

$Q^*$ ,  $H^*$  – насосної установки.

Тоді отримуємо рівняння (2.14) матиме наступний вигляд (2.15)



$$\frac{Q_*}{H_*} = \frac{\omega_*}{\omega_H^2} \quad (2.15)$$

Значення напору та подачі насоса можна виразити за допомогою швидкості на валу двигуна (2.16) та (2.17):

$$Q_* = \frac{Q_H}{\omega_H} \omega_* = k_1 \omega_* \quad (2.16)$$

$$H_* = \frac{H_H}{\omega_H^2} \omega_*^2 = k_2 \omega_*^2 \quad (2.17)$$

де  $k_1, k_2$  є незмінними величинами.

Якщо не враховуватимемо інерційність частотного перетворювача та електромагнітних ланцюгів, припустивши, що порядок їх нижчий, ніж постійна часу об'єкта, і зв'язок об'єкта з електроприводом через  $M_s$ , вважаючи, що жорсткість механічної характеристики двигуна є значно високою, то структурну схему при керуванні напором можна лінеаризувати лише близько точки номіналу і привести до наступного виду.

Знайдемо корінь рівняння (2.17);

$$\sqrt{H_*} = k_{насоса} \omega_* \quad (2.18)$$

Де  $k_{насоса} = \sqrt{\frac{H_H}{\omega_H^2}}$  - постійний коефіцієнт

$T_{нас}$  – постійна часу насоса

Так як насос – це не лінійна складна система, а наша робота знаходиться в малих відхиленнях, лінеризується його коефіцієнт передачі.

Значення  $T_{нас}$  – дуже мала. Також можна знехтувати і віднести насос до посилюючої ланки.  $W_{нас}(p) \square k_{нас}$

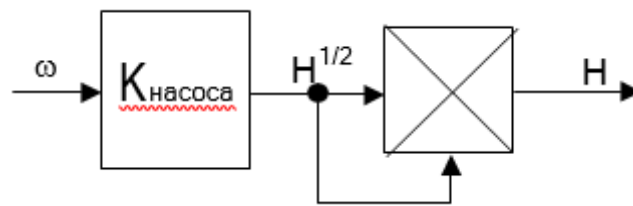


Рисунок 2.8 – модель насоса

Звідси витікає структурна схема НУ буде в наступному вигляді (рисунок 2.9)

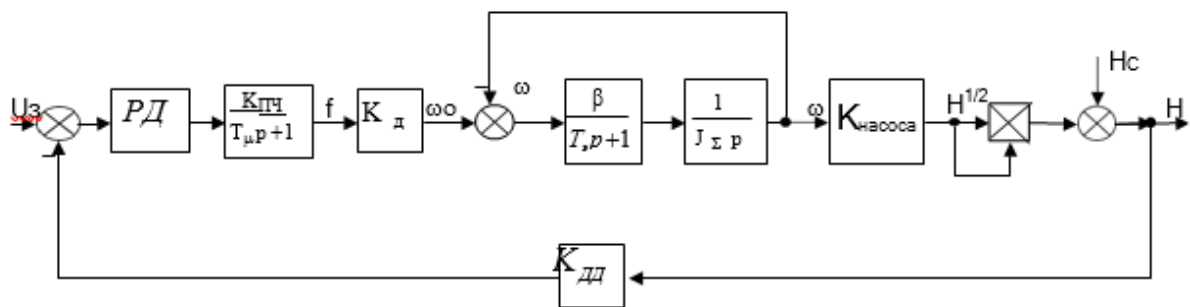


Рисунок 2.9 – Структурна схема

$K_{д}$ -коєфіцієнт передачі двигуна

$K_{дд}$ - коєфіцієнт зворотнього зв'язку(по тиску)

$$K_{дд} = \frac{U_з}{H_H}$$

Вплив постійного часу насоса на параметри перехідних процесів у системі буде враховано під час моделювання цієї системи.

### 2.2.3. Модель асинхронного двигуна

Взявши за основу Т-подібну схему заміщення і схему динамічної електромашини зробимо матопис двигуна з короткозамкненим ротором і

розробимо його динамічну модель.

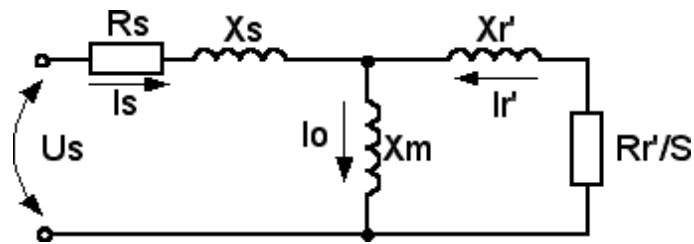


Рисунок 2.10 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Параметри даної схеми:

$$X_1 = X'_1 \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}}$$

$$X'_2 = X''_2 \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}}$$

$$R_1 = R'_1 \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}}$$

$$R'_2 = R''_2 \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}}$$


---

де  $X$  - головний індуктивний опір;  $R'$ ,  $X'$

- активне та індуктивний опір обмотки в статорі;  $R_2'$ ,  $X_2'$  - те ж але в обмотці ротора;

$X_1, X_2'', R_1, R_2''$  - опору статора і ротора;  $U_{1\phi n}$ ,  $I_{1\phi n}$  - це номінальні напруга і струм.

Повна модель динаміки асинхронного двигуна в стаціонарній системі координат є п'ятьма диференціальними рівняннями

$$\omega = \frac{1}{J} \left[ \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} (\Psi_{2a} i_{1b} - \Psi_{2b} i_{1a}) - M_c \right]$$

$$\frac{di_{1a}}{dt} = -\frac{R_1}{\sigma} i_{1a} - \alpha \beta L_m i_{1a} + \alpha \beta \psi_{2a} + \beta \omega p_n \psi_{2b} + \frac{U_{1a}}{\sigma}$$

$$\frac{di_{1b}}{dt} = -\frac{R_1}{\sigma} i_{1b} - \alpha \beta L_m i_{1b} + \alpha \beta \psi_{2b} - \beta \omega p_n \psi_{2a} + \frac{U_{1b}}{\sigma}$$

$$\frac{d\psi_{2a}}{dt} = -\alpha \psi_{2a} - \omega p_n \psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a}$$

$$\frac{d\psi_{2b}}{dt} = -\alpha \psi_{2b} + \omega p_n \psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b}$$

де

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} \quad \beta = \frac{L_m}{\sigma L_2} \quad \sigma = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \quad L_1 = L_m + L_{1\sigma} \quad L_2 = L_m + L_{2\sigma}$$

$\omega$  – кутова швидкість;  $i_{1a}, i_{1b}$  – складові вектора струму в статорі;  $\Psi_{2a}, \Psi_{2b}$  – складові вектора потокозчеплення в роторі;  $U_{1a}, U_{1b}$  – складники вектора напруги в статорі;  $M_c$  – момент навантаження;  $R_1, R_2$  – активний опір ротора і статора;  $L_1, L_2$  – індуктивності відповідно ротора і статора;  $L_m$  – індуктивність магнітного контура;  $L_{1\sigma}, L_{2\sigma}$  – складові індуктивності розсіювання ротора та статора;  $p_n$  – число пар полюсів.

Розвиваючий момент двигуна:

$$M = \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} (\psi_{2a} i_{1b} - \psi_{2b} i_{1a})$$

Оскільки під час стабілізації напору ця система працює у невеликих відхиленнях порівняно робочої точки.

Для виконання синтезу регуляторів системи управління

застосовуватиметься лінеаризована модель двигуна. Структурну схему цієї моделі двигуна можна зобразити на малюнку 2.11:

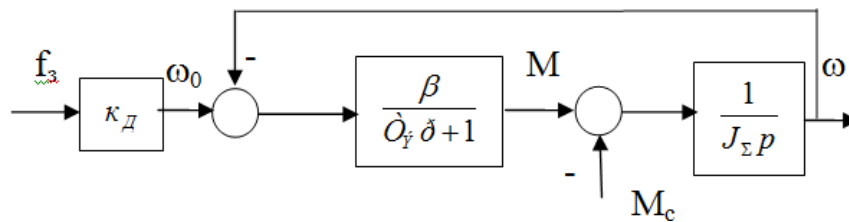


Рисунок 2.11 - Лінеаризована модель двигуна

де  $M$  – це механічний момент асинхронного двигуна;  $\beta$  - це жорсткість лінійної частини механічної характеристики;  $T_s$  – електромагнітна константа часу;  $J$  – сумарний момент інерції вала двигуна;  $\omega_0$  – завдання кругової частоти обертання;  $f_3$  – завдання частоти;  $K_D$  – коефіцієнт передачі АД.

### *Модель перетворювача частоти (динамічна)*

Перетворювач частоти містить регульований пристрій з проміжним контуром, а також фільтр і перетворювач напруги.

Транзисторний перетворювач є дискретним і нелінійним динамічним об'єктом з граничним керуванням, але можна сказати, що особливості перетворювача частоти як нелінійного об'єкта не впливають на систему кардинально. Частота зрізу ланцюга управління, в якому він знаходиться, значно нижча за частоти, необхідні для динаміки транзисторного перетворювача, а час, що витрачається на перехідні процеси в даній системі, значно більше періоду дискретизації системи. Випрямлячі при розробці електрично керованих систем часто є аперіодичним з'єднанням з коефіцієнтом передачі- $K_v$  і постійною часу- $T_v$ , а інвертором - інерційним з'єднанням  $K_n$ .

Надалі для синтезу контролера буде використовуватися лінеаризована модель перетворювача частоти (рис. 2.12):

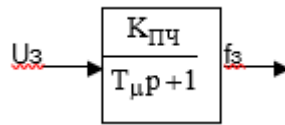


Рисунок 2.12. Ліанарезована модель частотного перетворювача

де  $K_{ПЧ}$  – це коефіцієнт підсилення частотного перетворювача;  $T$  – постійна часу.

Для того, щоб отримати більш чітке і чітке уявлення про ходові перехідні процеси, проводиться дослідження динаміки системи, яка складається з двох частин: асинхронного двигуна частотного перетворювача і еквівалентної двофазної моделі двигун у векторній формі. Дано математичний опис різних процесів перетворення енергії в АД, припускаючи, що воно живиться від мережі. Перетворення енергії в двигуні є складним завданням, оскільки в рівняннях є значні нелінійності через добуток залучених змінних.

Двигун трифазний, що значно ускладнює математичний опис, оскільки збільшується кількість рівнянь, тому процеси в таких багатофазних електродвигунах замінюються еквівалентною двофазною моделлю. Умовою розумності при вирішенні цієї проблеми є незмінність потужності електродвигуна при перетворенні розв'язуваних рівнянь. При розв'язуванні цієї задачі кожна змінна двигуна представляється у вигляді вектора. Напрямок цього вектора фіксується на відповідній осі координат. Він також міцно з'єднаний зі статором

з ротором - з  $(d, q)$  осями. Усі обчислені величини подано в системі координат  $(U, V)$ , що обертається відносно нерухомого статора з визначеним  $\omega$ . Перетворення змінні асинхронного двигуна в осі за допомогою ортогональних проєкцій відповідних змінних векторів на ці осі за геометричними законами.

Рівняння Кірхгофа має вигляд:

$$U_1 = I_1 R_1 + \frac{d\dot{\Psi}_1}{dt} + j\omega_c \Psi_1 \quad (2.24)$$

$$0 = I_2 R_2 + \frac{d\dot{\Psi}_2}{dt} + j(\omega_c - \omega_{\text{ст}}) \dot{\Psi}_2 \quad (2.25)$$

де  $U_1$  – це напруга статора;  $I_1, I_2$  – відповідно струм статора і ротора;  $R_1, R_2$  – активні електричні опори статора та ротора;

$\omega_{\text{ел}} = p n \omega$  - кутова швидкість (електрична);

$p$  – число полюсних пар.

Потокосцеплення для статора та ротора визначаються такими рівняннями:

$$\dot{\Psi}_1 = L_1 \dot{I}_1 + L_{12} \dot{I}_2 \quad (2.26)$$

$$\dot{\Psi}_2 = L_{12} \dot{I}_1 + L_2 \dot{I}_2 \quad (2.27)$$

де  $L_1, L_2, L_{12}$  – індуктивності відповідно обмоток статора, ротора та їх взаємо-індуктивність.

Вектори струмів, напруги та потокосцеплення визначаються сумою проєкцій на осі (U,V),

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= U_{1U} + j \dot{U}_{1V} \\ \dot{I}_1 &= \dot{i}_{1U} + j \dot{i}_{1V} \\ \dot{I}_2 &= \dot{i}_{2U} + j \dot{i}_{2V} \\ \dot{\Psi}_1 &= \Psi_{1U} + j \dot{\Psi}_{1V} \quad \dot{\Psi}_2 = \Psi_{2U} + j \dot{\Psi}_{2V} \end{aligned}$$

За рівнянням (2.27) визначається струм ротора

$$I_2 = \frac{1}{r_2} \Psi_2 - \frac{L_{12}}{r_2} I_1 \quad (2.28)$$

Після підстановки (2.16) в (2.13) отримуємо

$$0 = \frac{R_2}{L_2} \dot{\psi}_2 - \frac{L_{12}}{L_2} R_2 \dot{I}_1 + p \dot{\psi}_2 + j(\omega_c - \omega_{\text{ст}}) \dot{\psi}_2$$

Введемо заміну:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2}$$

Тоді рівняння матиме наступний вигляд:

$$0 = (p + \alpha + j(\omega_c - \omega_{\text{ст}})) \dot{\psi}_2 - L_2 \alpha \dot{I}_1 \quad (2.29)$$

З (2.26) з урахуванням (2.28) знаходимо наступний вираз для поточосцеплення статора

$$\psi_1 = L_1 I_1 + L_{12} \left( \frac{1}{L_2} \dot{\psi}_2 - \frac{L_{12}}{L_2} \dot{I}_1 \right) = \frac{L_1 L_2 - L_{12}^2}{L_2} \dot{I}_1 + \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2 = \sigma \dot{I}_1 + \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2$$

$$\sigma = \frac{(L_1 L_2 - L_{12}^2)}{L_2} \quad (2.30)$$

Підставляючи (2.22) в (2.24) отримаємо напругу:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 R_1 + p \sigma \dot{I}_1 + p \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2 + j \omega_c \sigma \dot{I}_1 + j \omega_c \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2$$

Або в операторній формі:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 R_1 + p \sigma \dot{I}_1 + p \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2 + j \omega_c \sigma \dot{I}_1 + j \omega_c \frac{L_{12}}{L_2} \dot{\psi}_2 \quad (2.31)$$

Після заміни для ланцюга ротора ми отримаємо перетворену систему рівнянь яка описує процеси у двигуні:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (R_1 + \sigma(p + j\omega_c)) + \frac{L_{12}}{L_2} (p + j\omega_c) \dot{\psi}_2$$

$$0 = (p + \alpha + j(\omega_c - \omega_{\text{ст}})) \dot{\psi}_2 - L_2 \alpha \dot{I}_1$$



(2.32)

Перше рівняння (2.22) в системі координат (U,V) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 U_{1U} + jU_{1V} &= (i_{1U} + j i_{1V})(R_1 + \sigma(p + j\omega_c)) + \frac{L_{12}}{L_2} (p + j\omega_c)(\psi_{2U} + j\psi_{2V}) \\
 U_{1U} + jU_{1V} &= (R_1 + \sigma p)i_{1U} + j(R_1 + \sigma p)i_{1V} + j\sigma\omega_c i_{1U} - \sigma\omega_c i_{1V} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2U} + \\
 &+ j\frac{L_{12}}{L_2} \omega_c \psi_{2U} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2V} - \frac{L_{12}}{L_2} \omega_c \psi_{2V}
 \end{aligned}
 \tag{2.33}$$

Проекції векторів а напругою матимуть значення:

$$\begin{aligned}
 U_{1U} &= (R_1 + \sigma p)i_{1U} - \sigma\omega_c i_{1V} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2U} - \frac{L_{12}}{L_2} \omega_c \psi_{2V} \\
 U_{1V} &= (R_1 + \sigma p)j i_{1V} + \sigma\omega_c i_{1U} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2V} + \frac{L_{12}}{L_2} \omega_c \psi_{2U}
 \end{aligned}
 \tag{2.34}$$

Також для другого рівняння системи (2.20)

$$0 = (p + \alpha + j(\omega_c - \omega_{en}))(\psi_{2U} + j\psi_{2V}) - L_{12}\alpha(i_{2U} + j i_{2V}),$$

Проекції будуть мати наступні значення:

$$\begin{aligned}
 0 &= (p + \alpha)\psi_{2U} - (\omega_c - \omega_{en})\psi_{2V} - L_{12}\alpha i_{2U} \\
 0 &= (p + \alpha)j\psi_{2V} - (\omega_c - \omega_{en})\psi_{2U} - L_{12}\alpha j i_{2V}
 \end{aligned}
 \tag{2.35}$$

Перехід до системі координат  $\alpha, \beta$  здійснюється при  $U=\alpha, V=\beta, \omega_c=0$ .

Системи рівнянь (2.26) і (2.27) приймають вигляд:

$$\begin{aligned}
 U_{1\alpha} &= (R_1 + \sigma p)i_{1\alpha} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2\alpha} \\
 U_{1\beta} &= (R_1 + \sigma p)j i_{1\beta} + \frac{L_{12}}{L_2} p\psi_{2\beta}
 \end{aligned}
 \tag{2.36}$$

$$\begin{aligned}
 0 &= (p + \alpha)\psi_{2\alpha} + \omega_{en}\psi_{2\beta} - L_{12}\alpha i_{1\alpha} \\
 0 &= (p + \alpha)j\psi_{2\beta} - \omega_{en}\psi_{2\alpha} - L_{12}\alpha j i_{1\beta}
 \end{aligned}
 \tag{2.37}$$

Звідси ми отримуємо рівняння для струмів потосчеплень:

$$\begin{aligned} i_{1\alpha} &= \frac{1}{R_1 + \sigma p} \left[ U_{1\alpha} - \frac{L_{12}}{L_2} p \Psi_{2\alpha} \right] \\ i_{1\beta} &= \frac{1}{R_1 + \sigma p} \left[ U_{1\beta} - \frac{L_{12}}{L_2} p \Psi_{2\beta} \right] \end{aligned} \quad (2.38)$$

$$\begin{aligned} \Psi_{2\alpha} &= \frac{1}{p + \alpha} \left[ L_{12} \alpha i_{1\alpha} - \omega_{\text{ел}} \Psi_{2\beta} \right] \\ \Psi_{2\beta} &= \frac{1}{p + \alpha} \left[ L_{12} \alpha i_{1\beta} - \omega_{\text{ел}} \Psi_{2\alpha} \right] \end{aligned} \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} p \Psi_{2\alpha} &= L_{12} \alpha i_{1\alpha} - \omega_{\text{ел}} \Psi_{2\beta} - \alpha \Psi_{2\alpha} \\ p \Psi_{2\beta} &= L_{12} \alpha i_{1\beta} + \omega_{\text{ел}} \Psi_{2\alpha} - \alpha \Psi_{2\beta} \end{aligned} \quad (2.40)$$

Рівняння для моменту АД буде мати вигляд:

$$M = \frac{3}{2} P_n L_{12} I_m (\dot{I}_1 \cdot \tilde{I}_2);$$

де  $\tilde{I}_2 = i_{2U} - j i_{2V}$

Проводимо рівняння струмів:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 \cdot \tilde{I}_2 &= \dot{I}_1 \left( \frac{1}{L_2} \dot{\Psi}_2 - \frac{L_{12}}{L_2} \dot{I}_1 \right) = \frac{1}{L_2} \dot{I}_1 \dot{\Psi}_2 - \frac{L_{12}}{L_2} (\dot{i}_{1U}^2 + \dot{i}_{1V}^2) = \\ &= \frac{1}{L_2} (i_{1U} + j i_{1V}) (\Psi_{2U} + j \Psi_{2V}) - \frac{L_{12}}{L_2} (\dot{i}_{1U}^2 + \dot{i}_{1V}^2) = \frac{1}{L_2} (i_{1U} \Psi_{2U} + \Psi_{2V} i_{1V}) + \\ &\quad + j \frac{1}{L_2} (-i_{1U} \Psi_{2V} + i_{1V} \Psi_{2U}) - \frac{L_{12}}{L_2} (\dot{i}_{1U}^2 + \dot{i}_{1V}^2); \end{aligned}$$

І вираз для моменту в координатах U, V буде мати наступний вигляд:

$$M = \frac{3}{2} P_n \frac{L_{12}}{L_2} (i_{1V} \Psi_{1U} - i_{1U} \Psi_{1V})$$

Наслідки переходу в координатах статора ( $\square, \square$ ) момент АД буде:

$$M = \frac{3}{2} P_n \frac{L_{12}}{L_2} (i_{1\beta} \Psi_{2\alpha} - i_{1\alpha} \Psi_{2\beta}) \quad (2.41)$$

Механічна частина переходу електричного двигуна описується наступним рівнянням динаміки:

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M - M_c \quad (2.42)$$

Де  $J_1$ —це момент інерції двигуна;  $M_c$ —статичний момент.

Рівняння (2.28)-(2.34) є еквівалентною двохфазною математичною моделлю АД в координатах  $(\alpha, \beta)$  статора.

Трехфазний АД працює від мережі симетричними синусоїдальними напругами:

$$\begin{aligned} U_A &= U_m \sin(2\pi f_1 t) \\ U_B &= U_m \sin\left(2\pi f_1 t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ U_C &= U_m \sin\left(2\pi f_1 t - \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned}$$

Де  $U_m$ —це амплітуда працюючої напруги;

Перехід до координатної системи  $(\alpha-\beta)$  здійснюється на основі відношення (Рисунок. 2.13)

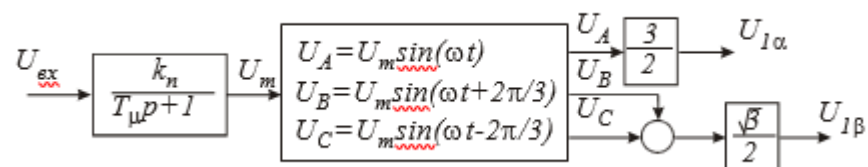


Рисунок 2.13 – Перехід від трехфазної системи до двохфазної системи координат

$$U_A + U_B + U_C = 0$$

$$U_{1\alpha} = U_A - U_C \cos 60^\circ - U_B \cos 60^\circ = U_A - (U_C + U_B) = \frac{3}{2} U_A$$

$$U_{1\beta} = U_B \cos 30^\circ - U_C \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} (U_B - U_C)$$

Структурна схема цього переходу приведена на рисунку 2.14. А амплітуда працюючої від мережі напруги  $U_d$  задається величиною  $U_m$  а частота цієї напруги – значенням  $f_1$ .

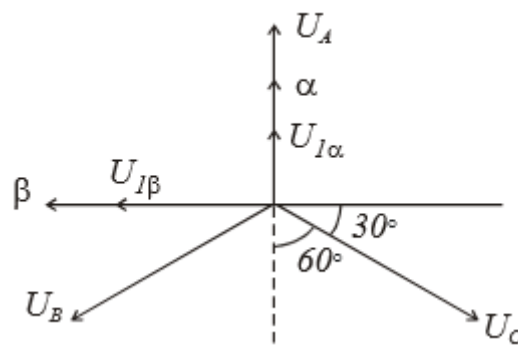


Рисунок 2.14 - Двохфазна напруга живлення двигуна  
(Еквівалентне)

В ході дослідження перехідних процесів був використаний пакет моделювання Simulink, середи MATLAB. І тому зібрана схема ЧП-АД на рисунках 2.6 та 2.15. В цій схемі блок Subsystem – це ПД-регулятор швидкості.

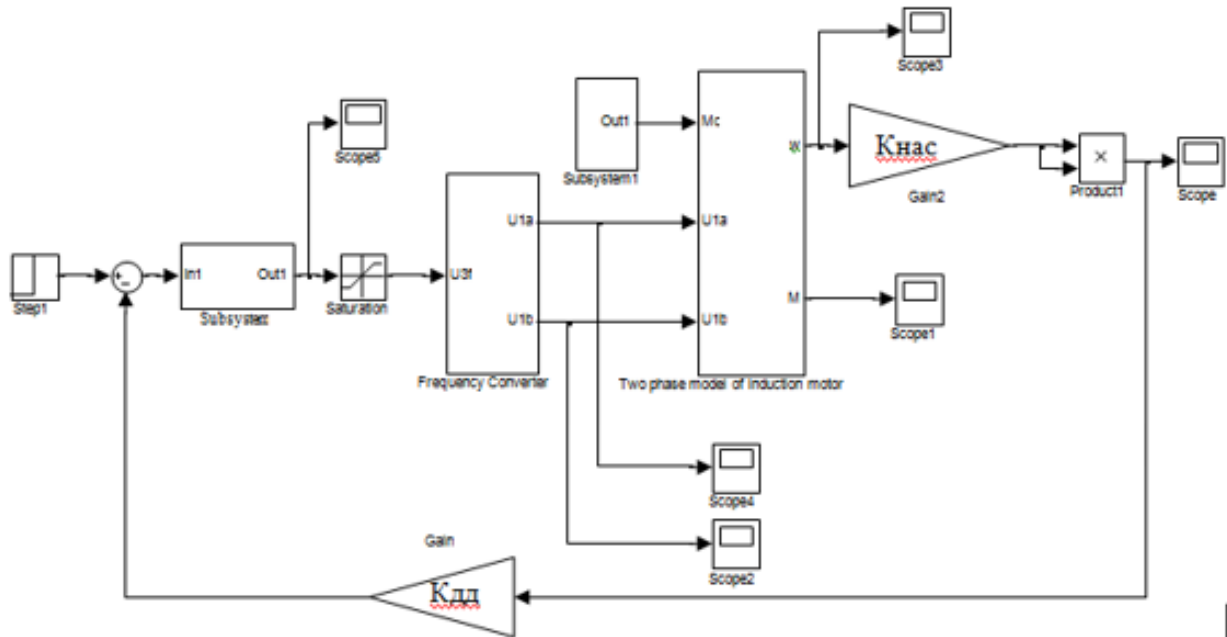


Рисунок 2.15 – Структурна схема системи частотного перетворювача АД з використанням еквівалентної двохфазної моделі.

Передаточна функція цього об'єкта буде в наступному вигляді:

$$W_o(p) = W_{ПЧ}(p) \cdot W_D(p) \cdot W_{НАС}(p) \quad (2.43)$$

$$W_o(p) = \frac{k_{ПЧ} \cdot k_D \cdot k_{НАС}}{(T_{\mu}p + 1) \cdot (T_M T_{\Sigma} p^2 + T_M p + 1)} \quad (2.44)$$

Щоб виконати синтез регулятора тиску, скористайтесь завданням бажаної передатної функції (ПФ), щоб компенсувати будь-які значущі постійні часу об'єкта та виключити їх із розриву ланцюга. Також можна виключити всі коефіцієнти посилення з розімкнутого контуру керування і ввести туди інтегратор з незначною константою для усунення статичної помилки.

Цей контур керування можна замінити кінцевим циклом із узагальненим посиленням, рівним  $1/K_{ДД}$ , який має статистику 1-го порядку та забезпечує високу якість виконання з дещо постійними часами, які залишаються некомпенсованими.

Бажаний ПФ відкритої системи може виглядати так:

$$W_{\delta.\alpha.\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}(p) = W_{\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}(p) \cdot W_i(p) = \frac{1 / K_{\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}}}{2\dot{O}_{\mu}p(\dot{O}_{\mu}p+1)} \quad (2.45)$$

Тоді ПФ регулятора буде наступним:

$$\begin{aligned} W_{\text{РС}}(p) &= \frac{W_{\delta.\alpha.\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}(p)}{W_i(p)} = \frac{\frac{1 / K_{\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}}}{2\dot{O}_{\mu}p(\dot{O}_{\mu}p+1)}}{\frac{k_{\dot{I} \times} \cdot k_{\dot{A}} \cdot k_{\dot{I} \dot{A}\ddot{N}}}{(\dot{O}_{\mu}p+1) \cdot (T_M T_{\dot{Y}} p^2 + T_M p + 1)}} = \\ &= \frac{(\dot{O}_{\mu}p+1) \cdot (T_M T_{\dot{Y}} p^2 + T_M p + 1)}{K_{\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}} 2\dot{O}_{\mu}p(\dot{O}_{\mu}p+1) \cdot k_{\dot{I} \times} \cdot k_{\dot{A}} \cdot k_{\dot{I} \dot{A}\ddot{N}}} = \frac{(T_M T_{\dot{Y}} p^2 + T_M p + 1)}{2\dot{O}_{\mu}p \cdot k_{\dot{I} \times} \cdot k_{\dot{A}} \cdot k_{\dot{I} \dot{A}\ddot{N}} \cdot K_{\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}}} \end{aligned} \quad (2.46)$$

Де  $T_M$  – це мала не компенсована постійна часу.

Видно що данна ПФ являється ПД-регулятором з відповідними коефіцієнтами підсилення. Коефіцієнти ПД-регулятора знаходяться:

$$\begin{aligned} K_{\text{П}} &= \frac{T_M}{2 \times k_{\text{ПЧ}} \times k_{\text{Д}} \times k_{\text{НАС}} \times K_{\text{дН}}} = \frac{0,025}{2 \times 3,125 \times 3,14 \times 0,693 \times 0,157} = 0,012, \\ K_{\text{И}} &= \frac{1}{2 T_{\mu} \times k_{\text{ПЧ}} \times k_{\text{Д}} \times k_{\text{НАС}} \times K_{\text{дН}}} = \frac{1}{2 \times 0,01 \times 3,125 \times 0,693 \times 0,157} = 14,7, \\ K_{\text{Д}} &= \frac{T_M T_{\dot{\alpha}}}{2 T_{\mu} \times k_{\text{ПЧ}} \times k_{\text{Д}} \times k_{\text{НАС}} \times K_{\text{дН}}} = \frac{0,025 \times 0,022}{2 \times 0,01 \times 3,125 \times 3,14 \times 0,157} = 0,017 \end{aligned}$$

Підставляючи числові значення ми отримуємо:

$$W_{\text{РС}}(p) = 0,012 + \frac{14,7}{p} + 0,017p$$

#### 2.2.4. Дослідження динаміки системи управління насосною установкою в Matlab

При моделюванні системи керування використовується пакет SIMULINK програмного додатка MATLAB r2009. Характерним є той факт, що якщо реальним умови експлуатації починаються НУ, зміна тиску в мережі

відбувається не різко, а плавно і довго. Метою цього розділу є дослідження роботи НУ в критичних режимах з метою перевірки правильності синтезу регулятора. Дослідження перехідних процесів у системі стабілізації здійснюється за допомогою моделі асинхронного двигуна з урахуванням постійного часу роботи насоса. З метою вивчення динаміки в Simulink була розроблена модель НОУ, яка дозволяє моделювати контролер (з обмеженнями або без) і з можливістю піддавати вхід системи управління різним завданням. Схема цієї моделі НУ показана на рисунку 2.16.

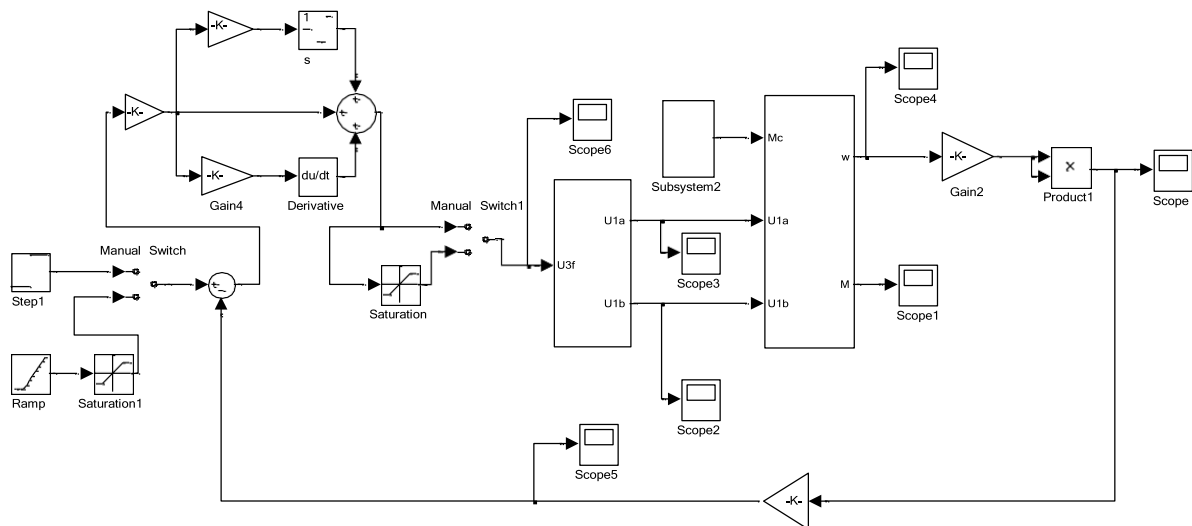


Рисунок 2.16 – Схема моделі САУ НУ

Обмеження здійснюється за допомогою спеціального блоку Saturation. Manual Switch 1 – перемикач, який комутує режим: вхідний сигнал: стрибок – лінійне зростання сигналу до заданого значення; Manual Switch 2- включення обмеження; Manual Switch 3 накидання навантаження.

Модель складена від приватних блоків. Кожен блок виконує певну функцію структурної схеми. Ця модель включає інші компоненти, призначені для того, щоб забезпечити працездатність і візуалізацію результатів моделювання.

Аналіз динамічного режиму (без обмежень)

Графік зміни тиску при реакції на стрибок (без обмежень) на виході

регулятора наведено на малюнку 2.17. Графік зміни тиску при реакції на плавне зростання сигналу завдання (без обмежень) на виході регулятора представлена на малюнку 2.14.

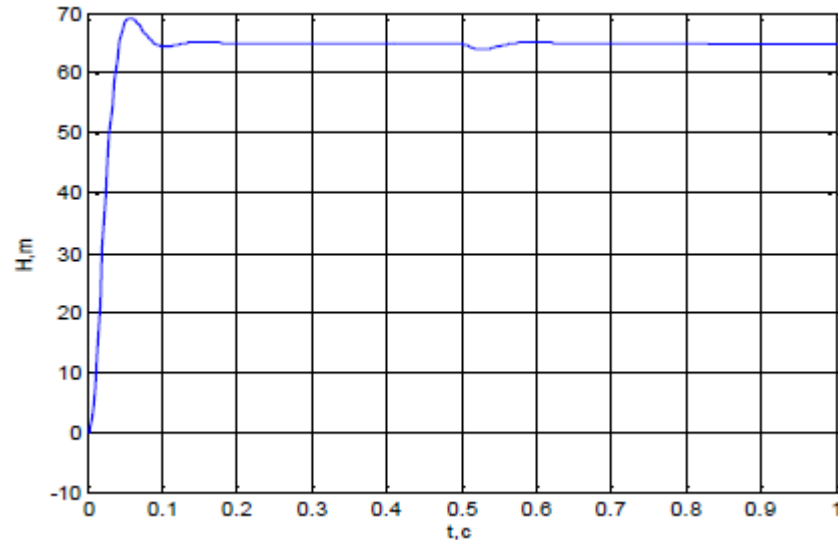


Рисунок 2.17 – Перехідний процес зміни тиску, при реакції на стрибок сигналу завдання без урахування обмежень на виході регулятора тиску та накид навантаження

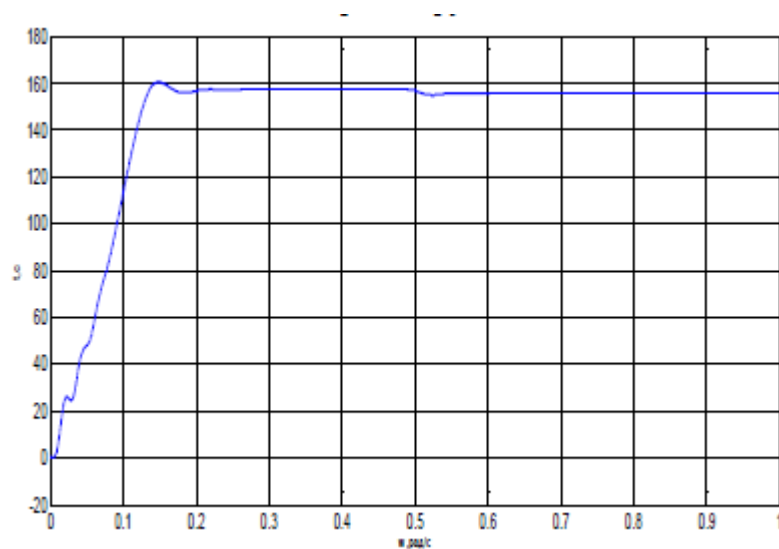


Рисунок 2.18- Перехідний процес зміни швидкості, при стрибку сигналу завдання без урахування обмежень на виході регулятора тиску та накидання навантаження



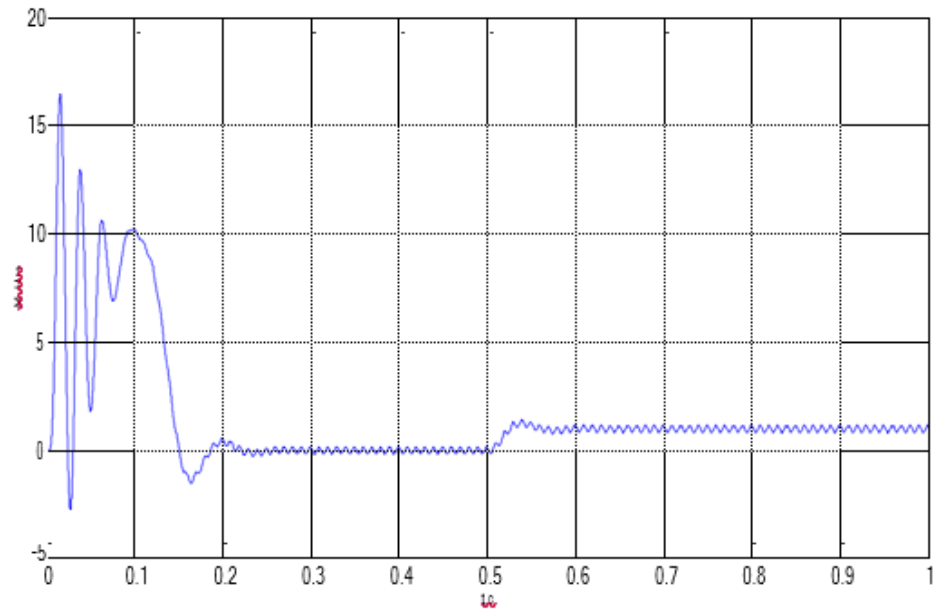


Рисунок 2.19 - Перехідний процес зміни моменту, при стрибку сигналу завдання без урахування обмежень на виході регулятора тиску та накидання навантаження.

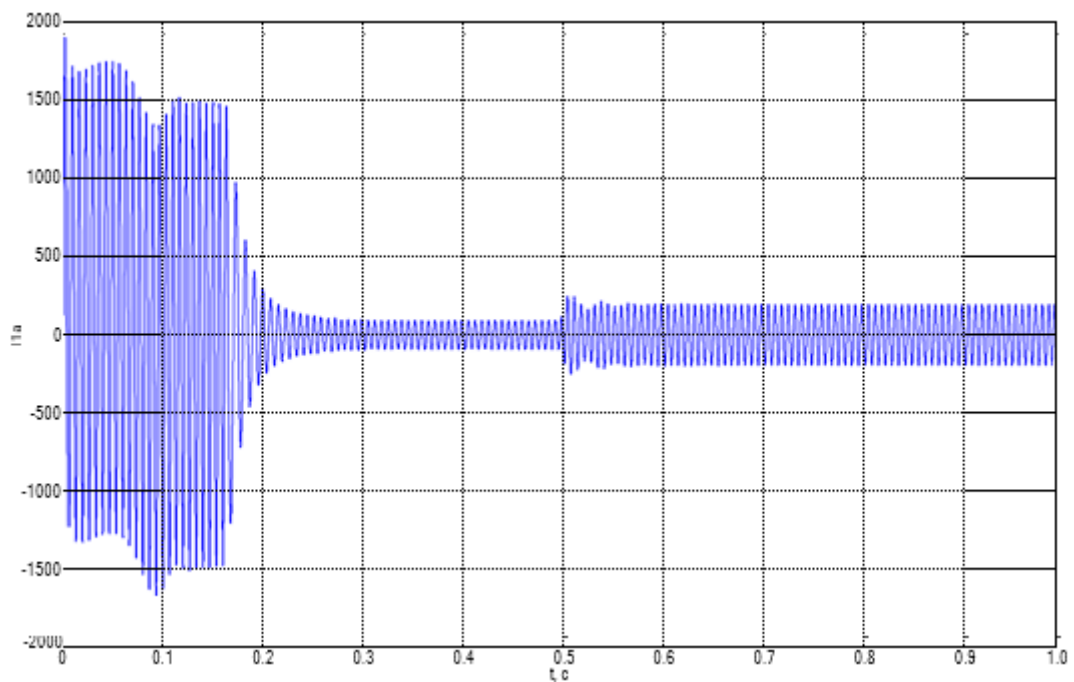


Рисунок 2.20 - Зміна струму фази при реакції на стрибок сигналу завдання без урахування обмежень на виході регулятора тиску і накидання навантаження .

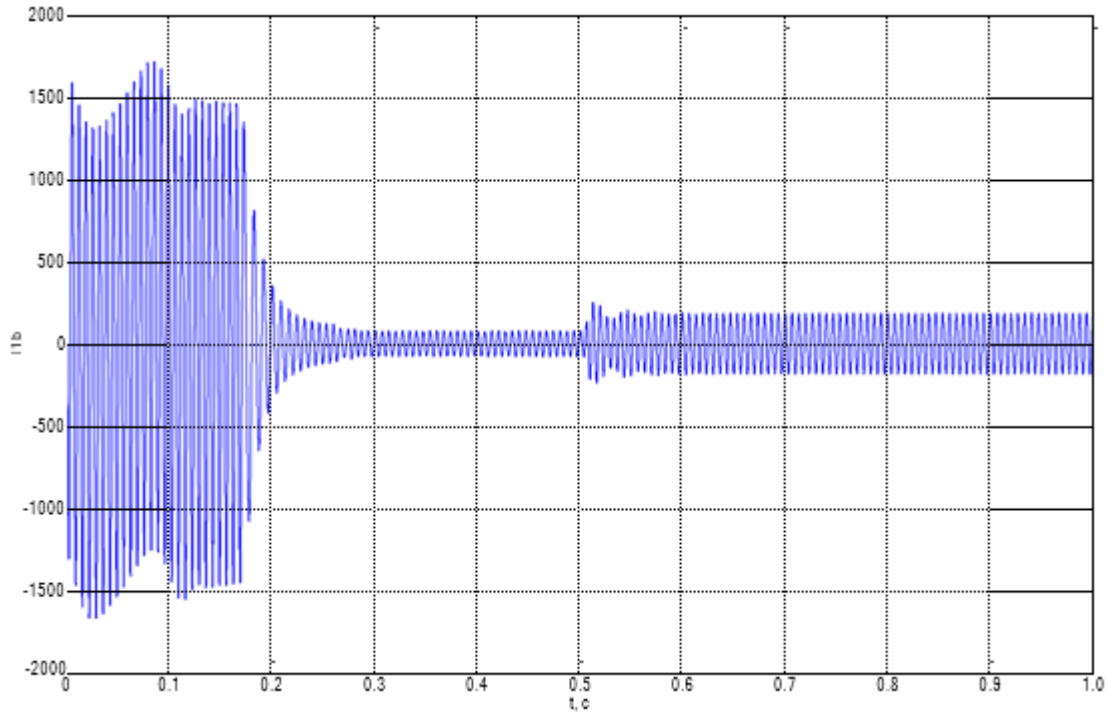


Рисунок 2.21 - Зміна струму фази I1b при реакції на стрибок сигналу завдання без урахування обмежень на виході регулятора тиску і накидання навантаження .

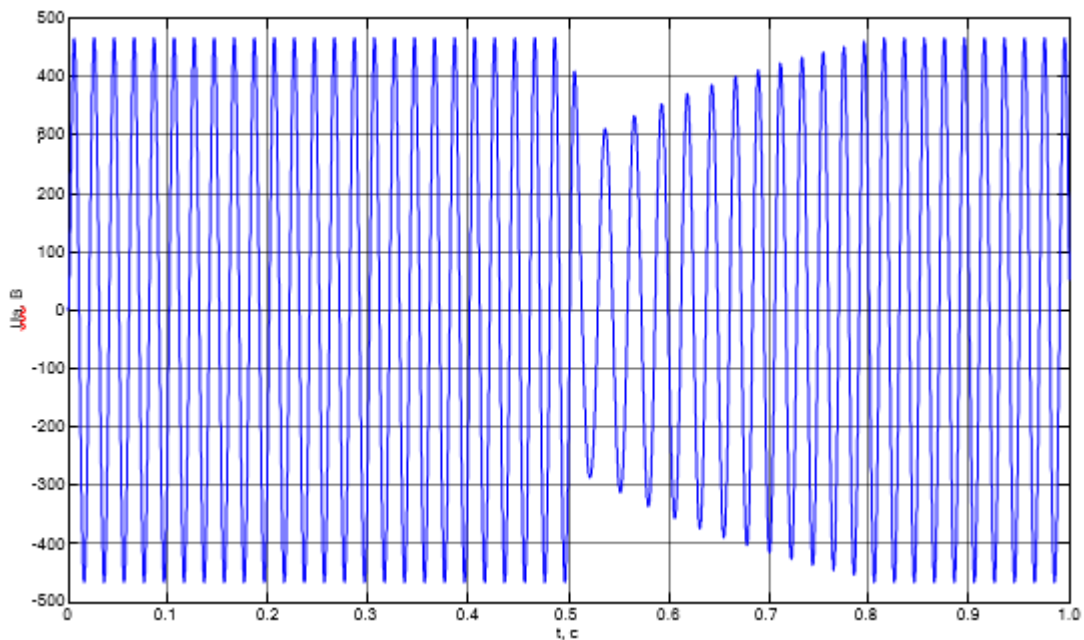


Рисунок 2.22 - Зміна напруги фази a при реакції на стрибок сигналу завдання без урахування обмежень на виході регулятора тиску і накидання навантаження

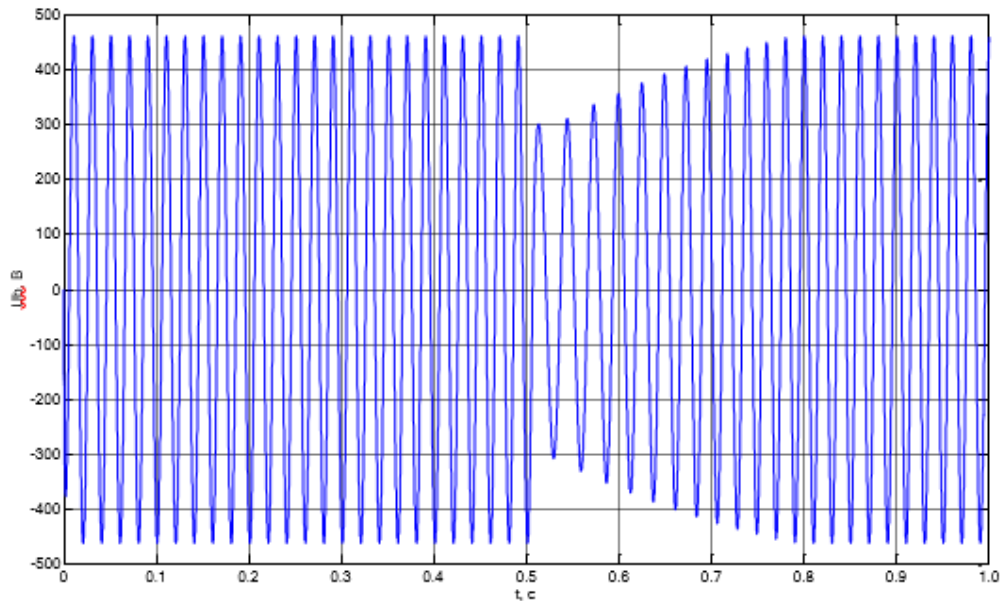


Рисунок 2.23 - Зміна напруги фази *b* при реакції на стрибок сигналу завдання без урахування обмежень на виході регулятора тиску і накидання навантаження.

Основні показники якості перехідних процесів: При  $t=0$  було здійснено пуск двигуна на холостому ході.

При  $t=0.5$ с – начерк навантаження. Час перехідного процесу:  $t=0.8$ с  
Перерегулювання у відсотках:

$$\sigma = \frac{H_{\max} - H_{\text{оно}}}{H_{\text{оно}}} \cdot 100\% = \frac{69 - 65}{65} \cdot 100\% = 6,1\%$$

Падіння швидкості при набросі нагрздки (Динамічне)

$$\Delta H_{\text{аєі}} \% = \frac{\Delta H}{H_{\text{оно}}} \cdot 100\% = \frac{65 - 64}{65} \cdot 100\% = 1,5 \%$$

Час витрачений для відновлення тиску :  $t_{\text{в.с.}}=0.7$  с.

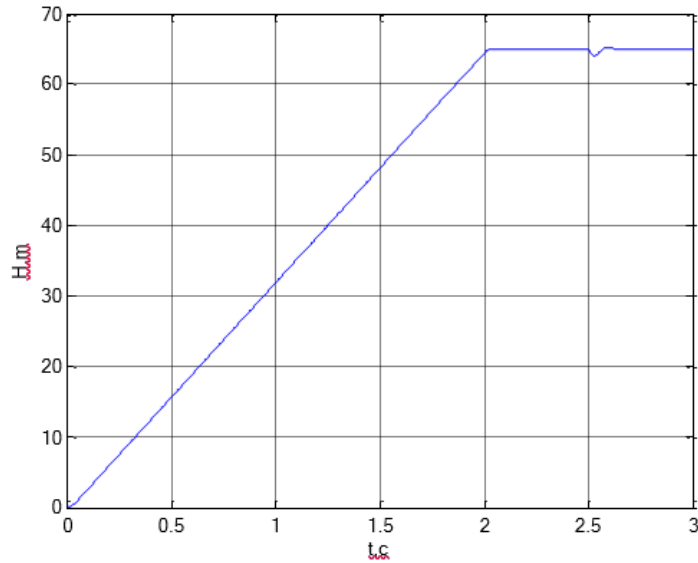


Рисунок 2.24 – Перехідний процес зміни тиску при реакції на плавне нарощування сигналу без обмежень на виході регулятора та накид навантаження.

## 2.3. Експериментальні дослідження магістрального теплового трубопроводу з насосними станціями

### 2.3.1. Методи дослідження та аналіз

Вивчення статистичних даних здійснюється з використанням узагальнених показників, розраховуються відносні та середні значення, дається підсумкова оцінка варіації ознак, що характеризують динаміку явищ, застосовуються індекси, побудови рівноваги, показники, що характеризують близькість, розраховано змін знака зв'язків. Для того, щоб цифровий матеріал подати максимально раціонально та наочно, його подають у вигляді таблиць та графіків. Він складається з наступних етапів:

- Визначити середнє (математичне очікування). Математичне очікування - число, навколо якого зосереджені значення випадкової величини;
- Визначити дисперсію. Дисперсія випадкової величини характеризує ступінь дисперсності випадкової величини в околиці її математичного очікування.
- Визначення стандартного відхилення. Стандартне відхилення

характеризує розкид значень відносно середнього (математичне очікування). Позначається як  $\sigma(x)$  або  $s(x)$ .

- аналізувати характеристики статистичних даних (за допомогою статистичних методів).

- Оцінка результатів аналізу. Основні статистичні методи

Кореляційний аналіз — статистичний метод аналізу даних для вивчення взаємозалежності вибірок. Основним показником є вибірковий коефіцієнт кореляції. Кореляційний аналіз є невід'ємною частиною будь-якого кінстозне дослідження. Дисперсійний аналіз – це статистичний метод аналізу даних

Дослідити ступінь впливу незалежних змінних на залежні. Прикладом є аналіз ступеня впливу значущих факторів на залежну змінну з використанням коефіцієнта детермінації в економетриці. Приклади задач, розв'язуваних дисперсійним аналізом.

- Чи впливає упаковка на продажі?

- Чи впливає колір оголошення на кількість людей, які пам'ятають оголошення?

- Чи впливає вибір каналів збуту на продажі?

Факторний аналіз — статистичний метод аналізу даних, який спрямований на виявлення прихованих причин (факторів), що пояснюють експериментальну ситуацію, намагаючись мінімізувати кількість цих факторів.

Приклади проблем, які вирішуються факторним аналізом:

- У сегментації ринку: визначення прихованих (прихованих) змінних для групових покупців.

- При розробці товарної стратегії: визначення характеристик бренду, які впливають на рішення про покупку.

- При розробці рекламної стратегії, яким програмам надають перевагу споживачі на цільовому ринку?

- При розробці стратегії ціноутворення: Визначення чутливих до ціни характеристик споживачів.

Кластерний аналіз — це набір алгоритмів обробки даних, призначених для розбиття експериментальних об'єктів на відносно однорідні групи (кластери), кількість яких заздалегідь невідома.

Приклади задач, що вирішуються за допомогою кластерного аналізу.

- сегментація ринку; Б. розподілити групи покупців у великому торговому центрі відповідно до їхніх потреб, тобто з тим, що вони очікують від покупки певного товару.

- Зрозумійте поведінку клієнтів, щоб визначити однорідні групи клієнтів.

- Визначення можливостей конкретного продукту: кластеризація брендів і продуктів може визначити конкурентні групи на певному ринку.

### 2.3.2. Статистична обробка експериментальних досліджень

Статистична обробка даних була проведена серед Matlab. У Matlab є такі функції щодо вищеповисаних операцій:

mean - повертає арифметичне середнє значення елементів масиву;

std – повертає стандартне відхилення елементів масиву.

corrcoef(X) - повертає матрицю коефіцієнтів кореляції для вхідної матриці, рядки якої розглядаються як спостереження, а стовпці

Як змінні. Матриця  $S = \text{corrcoef}(X)$  пов'язана з матрицею підступів  $C = \text{cov}(X)$  наступним співвідношенням:  $S(i,j) = C(i,j) / \sqrt{C(i,i)C(j,j)}$ ;

Функція  $S = \text{corrcoef}(x, y)$ , де  $x$  і  $y$  - вектори-стовпці, аналогічна функції  $\text{corrcoef}[x\ y]$ .

Під кореляцією розуміється взаємозв'язок деяких величин, представлених даними векторами чи матрицями. Загальноприйнятою мірою лінійної кореляції є коефіцієнт кореляції. Його близькість до одиниці свідчить про високий рівень лінійної залежності. Даний розділ присвячений опису функції для обчислення коефіцієнтів кореляції та визначення матриці коварійної елементів масиву. Нижче наведена функція дозволяє обчислити коефіцієнти кореляції для вхідного масиву даних.

Нижче наведено таблицю статистичних даних щодо тиску та температури за насосними станціями №4 та №5.

52	1	5.8000	5.8000
53	2	5.9000	5.8000
54	3	6	5.9000
55	4	6.1000	5.9000
56	5	6	5.9000
57	6	6	5.9000
58	7	5.8000	5.8000
59	8	5.8000	5.4000
60	9	6	5.6000
61	10	6.2000	5.8000
62	11	6.3000	5.9000
63	12	6.4000	6.2000
64	13	6.5000	6.2000
65	14	6.3000	6.2000
66	15	6	5.9000
67	16	6.2000	6.2000
68	17	5.4000	5.4000
69	18	5.4000	5.4000
70	19	5.3000	5.4000
71	20	5.3000	5.4000

Рисунок 2.25 – Погодинні данні по тиску

sn <400x6 double>			
	1	2	3
1	0	0	0
2	1	65	66
3	2	68	67
4	3	67	68
5	4	69	67
6	5	70	67
7	6	70	68
8	7	70	67
9	8	64	57
10	9	62	57
11	10	61	0
12	11	63	0
13	12	30	54
14	13	56	45
15	14	65	44
16	15	69	53
17	16	67	60
18	17	67	57
19	18	66	70
20	19	67	66
21	20	68	63
22	21	67	67
23	22	68	65
24	23	67	67
25	24	67	65
26	0	0	0
27	1	67	65

Рисунок 2.26 – Погодинні данні по температурі

Мат.очікування

$$A = \text{mean}(x)$$

% дисперсія

$$S = \text{std}(x)$$

Розділяємо показники дня на чотири частини: ранковий, денний, вечірній, нічний, оскільки споживання в цих часах дня – різне. Як видно на малюнку нижче, до кожного з чотирьох однакових чисел відповідає своя середня дисперсія або за цей період дня.

	1	2	3
1	1	56.5000	56
2	1	56.8300	57.1700
3	1	56.5000	56.6700
4	1	56	55.8300
5	2	57.5000	58.3300
6	2	56.1700	56.3300
7	2	56	55.6700
8	2	56	56.1700
9	3	56.3300	56
10	3	56	56.1700
11	3	55.1700	54.6700
12	3	56	55.8300
13	4	55.5000	55.3300
14	4	55.5000	56.1700
15	4	55.5000	55.8300
16	4	54	54.3300
17	5	57	57
18	5	55.1700	55.3300
19	5	56.8300	56.6700
20	5	56.1700	56.5000

Рисунок 2.27 Мат. Очікування по температурі



	1	2	3
13	4	6.1750	6.1330
14	4	5.7830	5.6170
15	4	5.7500	5.6670
16	4	5.5170	5.5500
17	5	6.6500	6.3330
18	5	6.5830	6.2670
19	5	6.7170	6.5000
20	5	6.1830	5.9000
21	6	6.1830	6.1500
22	6	6.2330	6
23	6	6.4170	6.2830
24	6	6.3000	6.1830
25	7	5.7000	6.3170
26	7	5.7330	5.7500
27	7	5.6500	5.6670
28	7	5.2330	5.4170
29	8	6.1000	5.8170
30	8	5.1830	4.8500
31	8	5.6170	5.8000
32	8	5.0500	4.9000

Рисунок 2.28 – Мат. Очікування по тиску

	1	2	3
1	1	0.4082	0.4082
2	1	0.5477	0.5164
3	1	0.8944	0.7528
4	2	0.5477	1.0330
5	2	0.4082	0.8165
6	2	0	0.5164
7	2	0	0.4082
8	3	0.5164	0.8944
9	3	1.0950	1.3290
10	3	0.4082	0.5164
11	3	0	0.4082
12	4	0.5477	1.0330
13	4	0.5477	0.4082
14	4	0.8367	0.4082
15	4	0.6325	0.5164
16	5	0	0
17	5	0.9832	1.0330
18	5	0.4082	0.5164
19	5	0.4082	0.5477
20	6	0	0
21	6	0.8165	0.7528

Рисунок 2.29 – СКО по температурі

	1	2	3
4	1	0	0
5	2	0.3817	0.0548
6	2	0.3061	0.3521
7	2	0.1329	0.1633
8	2	0.0408	0.0548
9	3	0.1033	0.2714
10	3	0.2563	0.0516
11	3	0.4676	0.3920
12	3	0.1722	0.0983
13	4	0.4097	0.1633
14	4	0.3125	0.2639
15	4	0.0548	0.0516
16	4	0.1472	0.1049
17	5	0.1975	0.0817
18	5	0.4070	0.2875
19	5	0.3189	0.2000
20	5	0.0753	0.1095
21	6	0.0753	0.1049
22	6	0.3445	0.3347
23	6	0.0408	0.2229
24	6	0.2000	0.3656

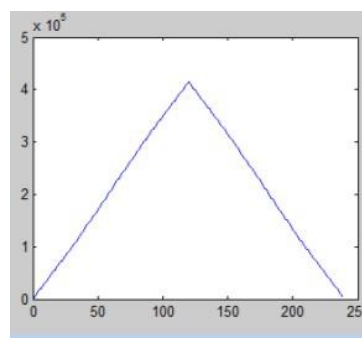
Рисунок 2.30 СКО по тиску

% 2. Розрахунок АКФ (автокорреляційна функція)  $akf = \text{xcorr}(x, x)$ ;

$akfN1\_T = \text{xcorr}(\text{meanAPR}(1:120,2), \text{meanAPR}(1:120,2))$ ;

Ця команда виводить на Workspace (робочий простір) наступний масив даних.

На наступному малюнку показаний кореляційний пік, на якому ґрунтуються кореляційні методи обробки. Чим він більший, тим краще кореляційні властивості сигналу (тобто тим він "випадковіший"). Використовуючи функцію  $\text{xcov}$ (коваріацію) замість  $\text{xcorr}$ (кореляції) отримаємо цей пік у чистому вигляді.

Рисунок 2.31 – Кореляційний пік ( $\text{xcorr}$ )

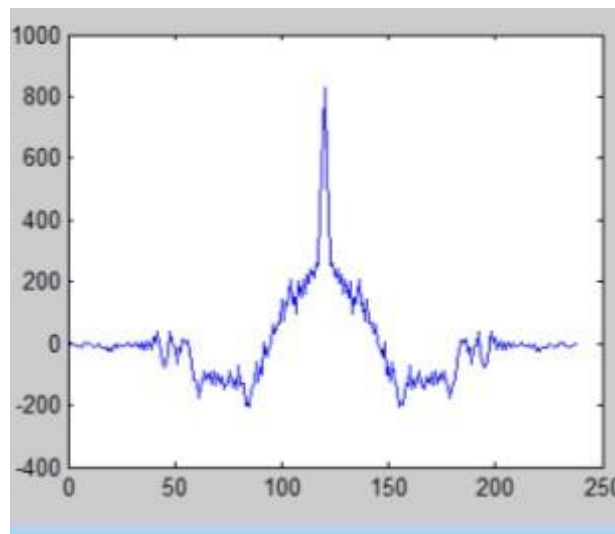


Рисунок 2.32 – Кореляційний пік (xcov)

%3. Расчет ВКФ (взаємо-кореляційна функція)  $vkf = xcorr(x, y)$ ;  
 $vkfN1\_T\_P = xcorr(meanAPR(1:120,2), mean(1:120.2))$ ;

На наступному малюнку показаний кореляційний пік, на якому ґрунтуються кореляційні методи обробки. Чим він більший, тим краще кореляційні властивості сигналу (тобто тим він "випадковіший").

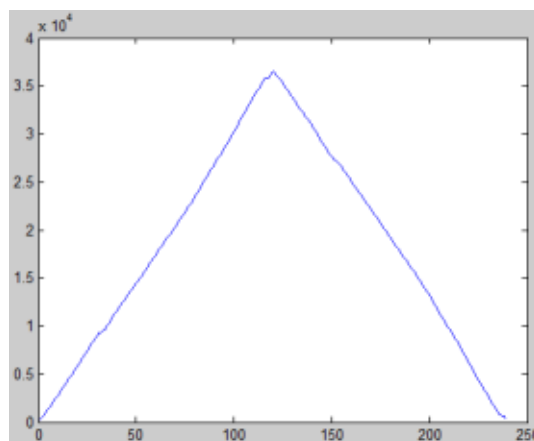


Рисунок 2.33 – Кореляційний пік (xcorr)

Далі визначимо коефіцієнт кореляції за допомогою функції `corrcoef`. Функція  $S = \text{corrcoef}(X)$  повертає матрицю коефіцієнтів кореляції для

двовимірного масиву, коли кожен стовпець сприймається як змінна, а кожен рядок - як спостереження.

```
Corrcoef_n1_T_P=corrcoef(meanAPR(1:120,2),mean(1:120,2));      1      -
0,109470120613016
-0,109470120613016 1.
```

Тут порівнюється матриця всього місяця за температурою та тиском. Якщо брати дані перших 6-7 днів, то коефіцієнт кореляції зміниться так:

```
Corrcoef_n1_T_P=corrcoef(meanAPR(1:30,2),mean(1:30,2));
1 0,0468165318530435
0,0468165318530435 1
```

Перевіряючи дані з 8 по 11 днів, коефіцієнт кореляції дорівнював 0,4552.  
`Corrcoef_n1_T_P=corrcoef(meanAPR(30:50,2),mean(30:50,2))`

## **Висновки до розділу 2**

Розроблена система управління є одноконтурною, з одним зовнішнім контуром. Розроблено модель об'єкта з частотним перетворювачем та ПІД-регулятором. У програмному забезпеченні Matlab проведено:

- дослідження моделі об'єкта;
- одержання графіків перехідних процесів зміни тиску, швидкості, напруги та струму за різних умов роботи, що задовольняють нашим вимогам.

Досліджено статистичні дані щодо насосних станцій теж у середовищі Matlab (Statistics Toolbox). Здійснено кореляційний аналіз погодинних даних, обчислено авто- та взаємнокореляційні функції, а також коефіцієнти кореляції, за якими виведено графіки, де спостерігаються "кореляційні піки".

## РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ

### 3.1. Вибір системи SCADA

Система SCADA повинна виконувати такі функції:

1) Комунікаційні функції:

- між підсистемами та елементами SCADA;
- з системою верхнього рівня на основному та резервному каналах зв'язку;

2) Інформаційні функції:

- Функції збору, первинної обробки та відображення інформації про хід технологічного процесу;
- Функції створення системи сигналізації та попередження;
- Функції формування показників роботи технологічних об'єктів;
- Функції для реєстрації подій, тривожних повідомлень і значень параметрів.

3) Функції дистанційного керування:

- Функції дистанційного керування за командою оператора;
- Функції автоматизованого керування алгоритмами SCADA;
- Функції автоматичного захисту технологічного обладнання - блоковий захист, захист станції, алгоритми захисту всіх трубопроводів.

4) Функції формування звітно-облікової документації:

- врахування технічного стану технологічного обладнання;
- врахування технічного стану програмно-технічних засобів;
- за рахунок споживання паливно-енергетичних ресурсів;
- за збалансованість і якість товарної продукції.

5) Можливості конфігурації компонентів SCADA включають можливості базового програмного забезпечення та елементів керування SCADA для налаштування та налаштування засобів автоматизації.

Завдання, які вирішують системи SCADA, включають наступний набір:

- завдання збору та обробки інформації;
- Завдання контролю та управління технологічним процесом та обладнанням насосної станції (НА) та/або павільйону;
- завдання на відображення інформації;
- Відображення технологічних схем;
- формування табличних форм відображення інформації;
- формування сигналів тривоги та попередження;
- формування тенденцій вимірюваних параметрів;
- Завдання створення архівної інформації;
- Завдання на створення журналу подій і системного журналу;
- завдання контролю доступу до системи;
- Відмітка часу ПЛК і синхронізація часу.
- Перемикання мов онлайн з англійської на російську і назад.

Для того, щоб прийняти рішення про використання системи SCADA, процес вибору зазвичай поділяється на 2 етапи, які розглядаються експертами – спеціалістами з приладобудування та автоматизації.

1 етап - вибір критеріїв споживача. Практика показує, що в більшості випадків інженери називають такі характеристики SCADA:

- Надійність - основний критерій вибору основи для системи автоматизації. Найголовніше - це надійність виконання модулів, тобто їх здатність працювати тривалий час без збоїв. При бажанні можна оцінити надійність системи інструментів, надійність взаємодії окремих модулів між собою, надійність підсистеми архівування даних, а також захист модулів виконання від несанкціонованого доступу до адміністративних функцій або недостатніх кадрових заходів. ;

- драйвери та елементи керування USO - для узагальненої оцінки підтримка якомога більшої кількості типів обладнання є бажаною та важливою з точки зору підтримки користувачами конкретного обладнання, яке буде використовуватися;

- Softlogic - інтегрована SCADA система програмування для контролерів - великий плюс для системи. Контролер програмується так само, як і Arm, тобто в тих самих редакторах і на тих же стандартних мовах програмування, тому не потрібно залучати додаткових програмістів. Крім того, застосовуючи технологію Softlogic, ви можете скоротити час розробки проекту та налаштування. шляхом встановлення з'єднань між контролером і комп'ютером. За допомогою однієї системи налагодження (емулятора) ви можете налагоджувати програму керування, не маючи реального пристрою.

- Підтримка OPC - останнім часом стає все більш важливою, хоча не всі виробники постачають сервери OPC разом зі своїми пристроями. Підтримка всіх типів взаємодії пристроїв (драйверів, softlogic і OPC) гарантує користувачеві рішення проблем сумісності обладнання, в тому числі пов'язаних з перспективами побудови системи;

- Інструменти налагодження - полегшують налагодження алгоритмів обробки даних в системі. Хороший вбудований емулятор відладчика здатний багаторазово прискорити налаштування проекту, а лівову частку роботи можна виконати, не звертаючись до реальних пристроїв;

- продуктивність в реальному часі - критичний параметр для автоматизації швидких процесів, блоків управління, систем з великим потоком даних для архівування, і особливо для великих розподілених систем;

- Hot Redundancy - необхідна функція для автоматизації важливих виробничих площ і тільки великих систем;

- Графічні можливості - Сучасна SCADA повинна мати редактор для створення мнемоніки з тривимірною графікою і розширеними можливостями анімації, підтримка імпорту із зовнішніх графічних файлів і можливість роботи з бібліотеками елементів;

- вбудовані бібліотеки - можуть прискорити створення графічних екранів з мнемонікою за допомогою готових елементів. Чим більше бібліотека, тим вище ймовірність того, що користувач знайде в ній потрібне зображення -



зображення насоса, бака, клапана, заготовки для регулювання регулятора і т. д. Використання вбудованих бібліотек не тільки скорочує час до створення екранів, але також підносить дизайн проекту на більш високий рівень якості.

- Сучасні технології (WEB, GSM) - все більше стають основою реальних проектів розподілених систем;

- побудова розподілених систем - архітектура клієнт-сервер, підтримка стандартних протоколів зв'язку та різних типів з'єднань, простота і прозорість обміну інформацією між окремими вузлами системи автоматизації - без усього цього наймовірно сучасна система управління;

- Звітність - Сучасна SCADA надає гнучкі інструменти для аналізу даних архіву та створення звітів. Цей критерій часто є найважливішим після надійності виконуваних модулів. Добре, якщо генератор звітів постачається з системою SCADA. З іншого боку, ви можете використовувати інші функції для створення звітів, напр. В. Встановлення зберігання даних у режимі реального часу в стандартній базі даних, з якої можна отримати дані для звітів за допомогою спеціальних утиліт, написаних мовою програмування високого рівня для певного завдання. З цієї точки зору особливо важливою є підтримка стандартних інтерфейсів ODBC і DDE;

- Русифікація – більшість іноземних виробників зазвичай перекладають русифікацію своєї продукції на плечі регіональних дистриб'юторів, тому локалізовані версії виходять із запізненням, нестабільної якості, а переклад довідкової системи затягується на деякий час. З цієї точки зору краще вибирати вітчизняного виробника;

- Документація - повинна бути повною і добре структурованою. Бажано мати як друкований, так і електронний варіант. І головне, документація повинна бути повністю перекладена на російську мову. Правильно підготовлена документація полегшує освоєння системи, усуває більшість питань технічної підтримки та допомагає повноцінно використовувати всі можливості системи SCADA;

- технічна підтримка - допоможе швидко знайти вихід із скрутної ситуації. Час, необхідний для пошуку власного рішення проблеми, навіть для висококваліфікованого користувача, може бути непропорційно більшим, ніж дзвінок або електронний лист до служби технічної підтримки виробника SCADA. Звісно, підтримку мають надавати рідною мовою та кваліфіковані, досвідчені фахівці. Також бажано, щоб технічна підтримка була включена в обліковий запис SCADA і її не потрібно було купувати окремо;

- Навчаність - Цей критерій дуже суб'єктивний і багато в чому залежить від рівня і типу базових знань недосвідченого користувача системи. Зрештою, це можна трактувати як поєднання інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача, відповідності загальноприйнятим стандартам і актуальності системи допомоги.

У таблиці 3.1 наведено оцінки 4-х популярних систем SCADA експертами – спеціалістами (ці дані лише відображають їхню думку і наведені тут для ілюстрації).

2 етап – Оцініть важливість критеріїв. Після першого етапу ми отримали оцінку SCADA в балах на основі припущення, що кожен критерій має однаковий вплив на кінцеву оцінку продукту. Однак насправді це не так

- Деякі з перерахованих вище властивостей важливіші для споживача, інші менш важливі. Тому другий етап полягає в оцінці важливості кожного з перерахованих вище критеріїв для конкретного проекту, т. зв. «Критерії зважування».

Таблиця 3.1

## Оцінка продуктивності SCADA-систем

Критерії	Genesis	IFIX	InTouch	Citect
Надійність	8	7,5	6	7,5
Драйвери УСО	1	5,5	5	5
Softlogic	1	1	1	1
Підтримка OPC	10	8	4	8
Налагоджувальні засоби	8,5	8	6	9
Продуктивність у реальному часу	6,5	7,5	6	6
Гаряче резервування	5	8,5	2,5	9
Графічні можливості	8	8	6,5	7,5
Вбудовані бібліотеки	8	8	8	7
Сучасні технології (WEB, GSM)	6,5	4	2,5	7
Побудова розподілених систем	6,5	7,5	7	9
Генерація звітів	7,5	7	7	8
Мова	9	8,5	7	4,5
Технічна підтримка	6	8	6,5	6,5
Простота освоєння	7	8	8,5	7,5
ВСЬОГО:	100,5	113	90,5	107,5
Примітка: 1 – дуже погано, 10 – відмінно				
Документація				

Система, що розробляється, є пов'язаною з OPC сервером, і повинна бути більш русифікованим, і мати хороші налагоджувальні засоби.

Таким чином, кращими SCADA-системами є Genesis (компанія-розробник – Iconics).

### 3.2. Вибір частотного перетворювача

Частотно-регульовані приводи займають особливі місця на ринку обладнання, оскільки вартості цих пристроїв є значно дорогими. Наведемо таблицю порівняння цін різних виробників із різними характеристиками

Таблиця 3.2

## Порівняння цін частотних перетворювачів

Модель	Напруга, В	Струм, А	Потужність, кВт	Ціна, грн
Hyundai серія N300P				
1100HF	380	195	110	467000
1320HF	380	230	132	523500
1600HF	380	295	160	526500
Danfoss VLT HVAC Basic Drive FC				
FC-102P110T4E	380	212	110	1031000
FC-102P132T4E	380	260	132	1245000
FC-102P160	380	315	160	1501000
Siemens Micromaster 430				
FA0-110	380		110	873000
FA0-132	380		132	1000000
FA0-160	380		160	1133000

Порівнюючи ціни, можна побачити, що вища потужність, то вище і вартість частотного перетворювача. У досліджуваному нами об'єкті сумарна потужність насосних агрегатів становить 132 Квт. У таблиці наведено частотні перетворювачі потужностями приблизно близьких до цього значення. Оскільки основним критерієм для вибору є ціна, найприйнятніша за ціною з трьох найбільших виробників для нас є частотний перетворювач, чий виробник Hyundai серії N300P, модель 1320HF потужністю 132 Квт.

### **Висновки до 3 розділу**

У цьому розділі проведено порівняльний аналіз SCADA-систем Genesis, IFIX, Intouch та Citect критерієм вибору системи. Наведено чотири види SCADA-систем: Кожна з них має переваги за деякими параметрами щодо іншої системи. Була обрана система Genesis32 за такими критеріями:

- Надійності;
- Підтримка OPC;
- графічні можливості;
- Мова інтерфейсу.

На базі цієї системи розроблено функціональну схему (візуалізація процесів) у вигляді «екранів», з можливістю переміщення по кнопках навігації. Система Genesis пов'язана через OPC-server з моделлю об'єкта, що реалізована в програмному забезпеченні Matlab.

На основі порівняння частотних перетворювачів різних виробників, таких як Siemens, Danfoss та Hyundai, здійснено вибір перетворювача частоти фірми Hyundai згідно з показниками сумарної потужності існуючого об'єкта, оскільки ціна цього виробника є найбільш вигідним.

## РОЗДІЛ 4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА З ОХОРОНИ ПРАЦІ

### Вступ

Охорона праці розглядає питання безпеки на підприємствах насосних станцій теплової мережі на основі аналізу шкідливих і небезпечних факторів розроблені заходи, спрямовані на створення здорових і безпечних умов праці на проєктованому об'єкті.

Насосна станція (НС) є найбільш ефективним, універсальним і широко поширеним способом транспорту рідини як на вітчизняних, так і зарубіжних підприємствах різних галузей промисловості. Насосна станція характеризується як складний електрогідравлічний технічний комплекс споруд та обладнання, в якому здійснюються процеси перетворення електричної енергії в механічну енергію потоку рідини та відповідно управління параметрами рідини, що транспортується.

Насосні станції знаходять широке застосування у житлово-комунальному господарстві. Вони характеризуються чималою різноманітністю функцій, схем з'єднання насосів при спільній роботі, регульованих параметрів, груп надійності та іншими показниками. Призначенням насосних станцій у системі тепlopостачання є транспорт теплоносія від джерела споживача теплової енергії і назад.

#### 4.1. Аварійні ситуації які можуть трапитись на насосній станції

На будь-яких підприємствах трапляються аварійні ситуації, від яких ніхто не застрахований. І тому робітники повинні знати, як треба себе поводити в таких ситуаціях. Особливо на насосній станції теплової мережі трапляються такі аварійні випадки:

- прорив труби;
- коротке замкнення насосу;
- проривання клапану;
- засмітнення труби;
- затоплення керуючої апаратури в наслідок протікання труби;
- не дотримання температурного режиму в наслідок якого виникає конденсат.

#### 4.2. Виробниче освітлення на насосній станції теплової мережі

У проекті передбачено штучне та природне освітлення. Згідно ДБН В.2.5-28:2018, розряд і підрозряд зорової роботи теплового пункту - Vб та VIIIв. Нормовані значення КПО та норми освітленості в системі суміщеного освітлення наведено в таблиці 1.

Розряд і підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк		КПО, %	
	Штучне		Природне	
	Комбіноване	Загальне	Верхнє і бічне	Комбіноване Верхнє і бічне
Vб	-	200	3 і 1	1,8 і 0,6
VIIIв	-	50	0,7 і 0,2	0,5 і 0,2

Таблиця 1 - Нормативні показники природного та штучного освітлення теплового пункту, згідно ДБН В.2.5-28:2018

У тепловому пункті проводяться наступні заходи для оптимізації виробничого освітлення робочих місць:

- очищення світильників від пилу та бруду один раз на півріччя. Перед очищенням люмінесцентні світильники знеструмлюють;
- вимірювання опору ізоляції проводів і кабелів освітлювальної мережі здійснюються один раз на три роки. Опір ізоляції не менший 0,5 МОм;
- своєчасна заміна ламп, які відпрацювали свій ресурс;
- у приміщеннях, у яких використовують різні напруги, розетки мають відповідні напругам маркування і конструктивні особливості;
- джерела штучного освітлення, що містять пари ртуті, та люмінесцентні лампи до їх застосування зберігаються запакованими у спеціальному приміщенні, а використані – в недоступних місцях і після збору у встановленій кількості здають на спеціалізовані підприємства для утилізації.

#### **4.3. Виробничий шум та вібрації на насосній станції теплової мережі**

Джерелами вібрації є устаткування і машини, які спеціально створюють вібрацію для технологічних процесів (вібростенди, вібростата, вібротрамбівки, вібродробарки та інші), а також устаткування і машини, в яких вібрація є небажаним супутнім чинником (вентилятори, компресори, насоси, верстати, автомобілі тощо). Причиною шуму та вібрації в тепловому пункті є насоси. Згідно ДСН 3.3.6.037-99, допустиме значення рівня звуку не повинно виходити за межі 80 дБА. Фактичне значення шуму за результатами вимірювання в тепловому пункті складає 70 дБА, що відповідає нормам. Заходи, які передбачені в тепловому пункті, для забезпечення необхідних умов та захисту працівників від шкідливих акустичних факторів:

- для кожного працівника виділено навушники і беруші;
- відстань від стіни до обладнання відповідає нормам;
- присутні перегородки і кожухи, які запобігають поширенню шуму



Також рівень шуму і вібрації контролюється за допомогою приладу ИШВ-003.

#### **4.4. Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання на насосній станції теплової мережі**

В даному проекті обладнання здійснюється автоматично: контроль, управління та регулювання. Це дозволяє мінімізувати контакт працівників з обладнанням. Доступ до приміщення осіб з кваліфікаційною групою з електробезпеки нижче II дозволено тільки під наглядом особи, що обслуговує ці установки. До обслуговування теплообмінників та насосів допускається лише та особа, яка має кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче III. Заходи, які передбачені проектом, для уникнення аварійних ситуацій:

- система контролю та сигналізація для попередження про небезпечну ситуацію у тепловому пункті;
- прилади знаходяться в справному стані та присутній плановий ремонт та техогляд;
- персонал ознайомлений з документацією щодо правил безпеки, зберігання та експлуатації обладнання.

Також обов'язково всі працівники, які працюють на даному об'єкті, проходять інструктаж з охорони праці.

#### **4.5. Загальні вимоги охорони праці на насосній станції теплової мережі**

До виконання робіт з експлуатації та обслуговуванні мереж і споруд водопостачання і каналізації допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд без протипоказань до виконання даних робіт, які мають професійні на-ікі, які пройшли[20-25]:

- вступний інструктаж при прийомі на роботу;
- первинний інструктаж на робочому місці;

- первинний інструктаж з пожежної безпеки на об'єкті;
- навчання безпечним методам і прийомам праці;
- стажування на робочому місці;
- перевірку знань з охорони праці, пожежної безпеки;
- навчений і оволодів прийомами надання першої допомоги при нещасних випадках.

Працівникам належить видавати спец. одяг і спец. взуття:

1. Костюм з термостійкої антистатичної тканини
2. Чоботи гумові або черевики шкіряні
3. Рукавиці комбіновані
4. Напівкомбінезон бавовняний
5. Костюм для захисту від знижених температур
6. Валянки
7. Калоші на валянки

#### **4.6. Вимоги охорони праці до початку роботи на насосній станції теплової мережі**

1. Працівник зобов'язаний отримати завдання від безпосереднього керівника на виконання певного виду робіт або певних видів робіт, ознайомитися зі змістом завдання по журналу щоденного обліку видачі завдань служби, підпис і пройти цільовий інструктаж, щодо заходів безпеки, що передбачає вказівки на конкретні особливості даної роботи. Перед початком роботи працівники зобов'язані надіти спецодяг, спец. взуття та каску. Спецодяг повинен бути справним, чистим і відповідати вимогам виконуваної роботи.

2. Перед початком виконання робота повинна бути оформлена нарядом, розпорядженням або переліком робіт, які виконуються в порядку поточної експлуатації.

3. Після отримання завдання на виконання робіт з обслуговування мереж і споруд водопостачання у керівника працівники зобов'язані: - Перевірити місце

виконання робіт, звільнити його при необхідності від сторонніх предметів, встановити тимчасове огороження. - Перевірити надійність відключення устаткування, що ремонтується, стан запірної арматури, наявність заборонних плакатів, наявність засобів пожежогасіння та засобів індивідуального захисту.

#### **4.7. Вимоги охорони праці під час роботи на насосній станції теплової мережі**

1. Обхід і огляд трас мереж водопостачання та каналізації здійснюється однією людиною. Під час огляду не допускається відкривати кришки люків колодязів.

2. Огляд трас мереж з поверхні землі шляхом відкривання люків виконується бригадою (ланкою), що складається з двох працівників. Бригада повинна бути оснащена гачком для відкривання люків, переносними знаками огороження та іншими необхідними інструментами. Спуск в колодязі при огляді трас забороняється. Під час огляду не допускається виконувати будьякі ремонтні та відновлювальні роботи. Користуватися відкритим вогнем і курити у відкритих колодязів і камер забороняється.

3. При виробництві земляних робіт на мережах і спорудах водопостачання і каналізації керуватися "Інструкцією з охорони праці при виробництві земляних робіт".

4. Роботи, пов'язані зі спуском працівників у колодязі, камери, резервуари, насосні станції без примусової вентиляції, порожні напірні водоводи і каналізаційні колектори відносяться до розряду небезпечних, до яких пред'являються додаткові (підвищені) вимоги безпеки праці та повинні проводитися за нарядом-допуском на виконання робіт підвищеної небезпеки.

#### **4.8. Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях на насосній станції теплової мережі**

1. При виникненні на робочому місці небезпечних умов праці, ремонтний персонал повинен негайно припинити роботу, відійти на безпечну відстань, про те, що трапилося доповісти керівнику робіт. До усунення небезпечних факторів до роботи не приступати.

2. При виникненні пожежі, оповістити оточуючих будь-якими доступними засобами, вжити заходів щодо виклику пожежного підрозділу і приступити до ліквідації вогнища загоряння підручними засобами пожежогасіння.

3. При неполадках, що спричинили травмування робітника, необхідно перш за все звільнити потерпілого від травмуючого фактора, надати йому першу допомогу і вжити заходів для виклику медпрацівника або відправці його до лікувального закладу.

4. При звільненні потерпілого від дії електричного струму необхідно стежити за тим щоб самому не опинитися в контакті з струмоведучими частинами або під на-пряженням кроку. Про те, що сталося доповісти своєму керівникові, по можливості зберегти обстановку події, якщо це не загрожує життю і здоров'ю людей.

#### **4.9. Вимоги охорони праці після виконання роботи на насосній станції теплової мережі**

1. Після закінчення робіт працівники зобов'язані:

а) очистити робоче місце від відходів використуваних матеріалів і сміття, що утворилися при виконанні роботи;

б) у разі необхідності люки колодязів (камер, резервуарів і т.п.), прибрати загороди;

в) зібрати ручний інструмент, пристосування, оснащення, невикористані матеріалу і засоби індивідуального захисту, що застосовувалися в процесі роботи, і помістити їх у відведене для зберігання місце;

г) виконати вимоги особистої гігієни;

д) повідомити керівника робіт про всі неполадки, що мали місце під час роботи.

#### **4.10. Пропозиції щодо покращення умов охорони праці на насосній станції теплової мережі**

В цілому в підприємстві приділяється належна увага організації охорони праці, однак для підвищення безпеки працівників та умов праці пропоную[18]:

- інженерній службі підприємства покращити контроль за технічним станом експлуатованих насосних установок;
- зобов'язати керівників виробничих підрозділів посилити контроль за протипожежним станом та дообладнати пожежні щити;
- дотримуватися виконання плану проведення інструктажів з охорони праці і більше уваги приділити проведенню повторних інструктажів;
- щорічно збільшувати кількість коштів, що виділяються підприємством на потреби охорони праці;
- після проведення інструктажів на робочому місці обов'язково проводити перевірку знань по питанням охорони праці.

Дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки дає можливість уникнути випадків травматизму, зберегти здоров'я та життя працюючих, що є основним завданням в системі заходів охорони праці.

## **Висновки до розділу Охорона праці**

Аналіз умов праці свідчить про наявність та можливий вплив наступних шкідливих та небезпечних чинників: шуму; несприятливому мікроклімату; можливих травм при виконанні роботи.

З метою вдосконалення питань охорони праці фахівців з сучасних підприємств були розроблені системні заходи з правової оптимізації, соціального захисту працівників, діагностики їх професійної придатності, необхідності норм праці при роботі з новою технікою в залежності від віку, статі, режимів праці та відпочинку.

А також були розглянуті пропозиції, щодо покращення умов охорони праці. Збільшення коштів, що виділяються на підприємство для дотримання потреб охорони праці. Основною метою охорони праці є створення на кожному робочому місці безпечних умов праці, повна або зменшена нейтралізація дії небезпечних виробничих і шкідливих факторів на організм людини, зниження професійних захворювань та виробничого травматизму.

Варто прийняти до уваги, що охорона праці є найголовнішим питанням в галузі трудового права України. Як система правових норм охорона праці формує інститут Особливої частини трудового права України. Основні норми цього інституту зосереджені в таких нормативних актах, як Кодекс законів про працю України, Закон України «Про охорону праці», Основи законодавства України про охорону здоров'я, спеціальні положення, правила, стандарти, інструкції щодо охорони праці тощо.

## ВИСНОВКИ

Відповідно до завдання роботи, здійснено такі заходи:

-проведено літературний аналіз з насосних станцій, методів управління та існуючих систем;

-Розроблено модель та систему управління насосною станцією. Розроблена система дозволяє уникнути гідроударів у трубопровідній мережі, підтримуючи на необхідному рівні тиск води. Застосування електроприводу, що регулюється, дозволяє збільшити термін служби двигуна електричного приводу. Використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором і перетворювачем частоти.

-Проведено дослідження моделі та статистичних даних на Simulink Matlab. В результаті дослідження моделі насосної установки при зовнішніх впливах була перевірена працездатність цієї системи регулювання напору у водопровідній мережі. Були отримані графіки перехідних процесів, графіки зміни тиску та кутової швидкості при збуреннях, за якими спостерігається плавна зміна цих характеристик при стрибку на вході та найкоротший час на регулювання.

Здійснено дослідження погодинних даних за температурою та тиском по насосних станціях м. Талдикорган. Здійснено кореляційний аналіз за допомогою пакета Statistics Toolbox. Визначено середні, дисперсії, СКО та функції авто- та взаємнокореляційні, а також графіки зміни, за якими ясно виражені «кореляційні піки», де кореляційні властивості сигналу є кращими.

- Проведено порівняльний аналіз при виборі частотних перетворювачів та SCADA-систем. За даними різних виробників найдешевшим і відповідним за сумарною потужністю було обрано частотний перетворювач фірми Hyundai. Крім цього, вибрано систему візуалізації Genesis32 за певними переважними параметрами.

- Розроблено систему візуалізації в системі Genesis32, яка пов'язана з моделлю в Matlab через OPC-server.

Отримані результати підтверджують розв'язання задач розробки системи управління насосною станцією теплопостачання. Таким чином, основну мету роботи виконано.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Карелін В. Я., Мінаєв А. В. Насоси та насосні станції: Навч. для вузів. - 2-ге вид., перероб. та дод. - М.: Будвидав, 1986. - 320с.: Іл.
2. Лобачов П. В. Насоси та насосні станції. М.: Будвидав. 1990.
3. Довідник електроенергетика підприємств кольорової металургії / Под ред. М. Я. Басалигіна, В. С. Копиріна. М: Металургія 1991.
4. Бородацький Є. Г. Розробка системи керування взаємопов'язаним електроприводом відцентрових турбомеханізмів станції перекачування рідини. Автореф. дис... канд. техн. наук. Київ. 1999.
5. Ковальов В. З., Бородацький Є. Г. Ефективне використання енергії в насосних установках нафтоперекачувальних станцій // Промислова енергетика. 2000. № 1.
6. Лівчак В.І., Чугункін А.А., Оленєв В.А. Ефективність пофасадного автоматичного регулювання систем опалення // Водопостачання та сан. техніка. 1986 №5. С.14-18.
7. Монахов Г.В., Войтинська Ю.А. Моделювання управління режимами теплових мереж - М.: Вища школа, 1995. - 224 с.: іл.
8. Чистович С.А., Авер'янов В.К., Темпель Ю.Я., Биков С.І. Автоматизовані системи теплопостачання та опалення. - Л.: Будвидав, Ленінгр. отд-ня, 1987. 248 з., іл.
9. Чистович С.А. Автоматизація систем теплопостачання та опалення. М: Будівництво, 1964.
10. Сучасна концепція теплофікації країни/Л.А. Мелентьєв, Г.Б. Левенталь, В. А. Чугреєв, М. Г. Алієва // Теплоенергетика. 1982. С. 8-13.
11. Лезнов Б.С. Енергозбереження та регульований привід у насосних та повітродувних установках. - М.: Вища школа, 2006. 360 с. мул.

12. Алабовський О.М. Проектування промислових підприємств: Курсове проектування з елементами САПР: Навч. посібник / О.М. Алабовський, М.Ф. Боженко, Ю.В.Хоренженко. - К.: Вища шк., 1992. - 207с.

13. Боженко М.Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: текст лекцій у електронному вигляді для студентів спеціальності “Теплоенергетика” / М.Ф. Боженко. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. - 256 с. Свідоцтво НМУ №Е9/10-258 від 15.04.2010 р., протокол №8.

14. Сербін Ю.В., Прокопов А.А., Бугров В.П. Паралельна робота насосних агрегатів під час використання технології частотного регулювання.

15. Коренькова Т.В., Михайличенко Д.А. та ін. Дослідження системи ПЧ-АД-Насос-Гідромережа. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Випуск 2/2003 (19), с. 377.

16. Н.Г. Попович, Н.Г. Борисюк та ін. «Теорія електроприводу» - К.: Вища шк., 1993.494с.: іл

17. Хісаров Б. Д., Копесбаєва А.А. Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра техніки та технології та магістр наук. Методичні вказівки до виконання для магістрантів спеціальності 6М070200 «Автоматизація та управління» – Алмати: АУЕС, 2011. –29с.

18. Конституція України : закон України від 28 червня 1996 року зі змінами та доповненнями. – Харків : ФОП Співак Т.К., 2010. – 46 с.

19. Про охорону праці : закон України від 14 жовтня 1992 р. № 2694-ХІІ / Верховна Рада України // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 49.– С. 668.

20. Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань : закон України від 14.01.1998 р. № 15/98-ВР / Верховна Рада України // Відомості Верховної Ради України. – 1998.– № 22. – С. 115.

21. Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення : закон України від 24 лютого 1994 р. № 4004-ХІІ / Верховна Рада України // Відомості Закон України. – 1994.– № 27. – С. 218.

22. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці : наказ Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 р. № 15 / Державний комітет України з нагляду за охороною праці // Охорона праці. – 2006. – № 3. – С. 2-18.

23. Основи охорони праці / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний [та ін.] ; за ред. К. Н. Ткачука. - 2-ге вид., допов. і перероб. – К. : Основа, 2006. – 444 с.

24. Протоєрейський О. С. Охорона праці в галузі : навч. посіб. / О. С. Протоєрейський, О. І. Запорожець. – К. : Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 268с.

25. Русаловський А. В. Правові та організаційні питання охорони праці : навч. посіб. / А. В. Русаловський. – 4-те вид., допов. і перероб. – К. : Університет «Україна», 2009. – 295 с.

## Додаток А

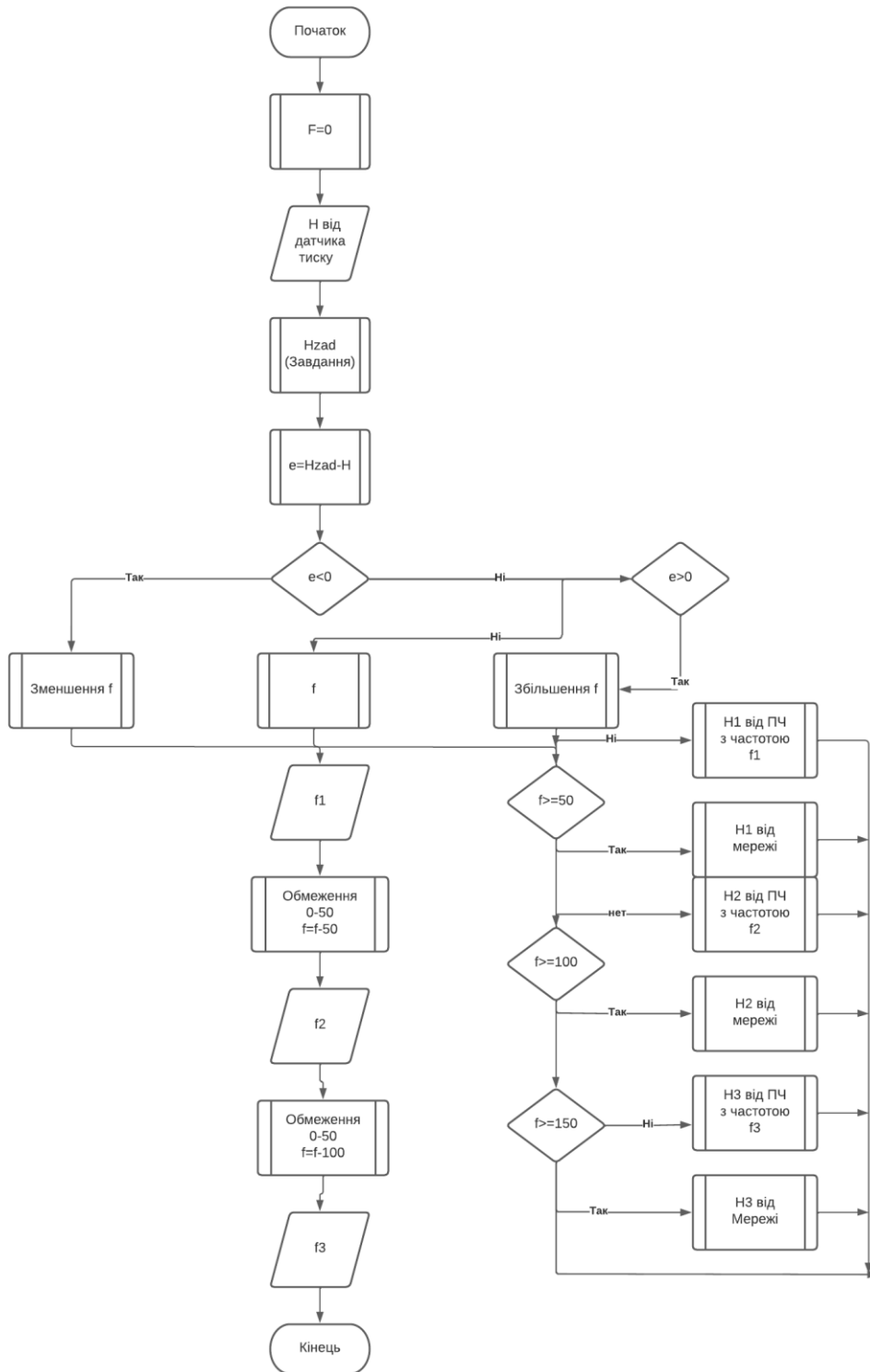


Рисунок А1 – Блок-схема алгоритму управління насосами