

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет автоматики та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Петро ПЛЄШКОВ
“___” _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
**«Дослідження та автоматизація роботи насосної
станції підкачки води з розробкою системи
стабілізації тиску в магістралі»**

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури групи ЕЕ-20М
ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ Антон ЛУЦЕНКО
«___» _____ 2021 р.

Керівник роботи
к.т.н., доцент

_____ Анатолій МАЦУЙ
«___» _____ 2021 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет автоматики та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Петро ПЛЄШКОВ*

«_____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ *Луценка Антона Віталійовича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Дослідження та автоматизація роботи насосної станції підкачки води з розробкою системи стабілізації тиску в магістралі*
Research and automation of water pumping station with the development of pressure stabilization system in the highway

2. Керівник роботи (проекту) *Мацуї Анатолій Миколайович, к.т.н., доцент*

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту *03.12.2021 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) *Метою роботи є дослідження та автоматизація роботи насосної станції підкачки води з розробкою системи стабілізації тиску в магістралі. Завдання роботи: розглянути технологічний процес підкачки води; обґрунтувати актуальність теми роботи; проаналізувати існуючі системи керування насосною станцією; побудувати функціональну і структурні схеми системи керування; обрати технічні засоби для системи керування; знайти передавальні схеми всіх елементів системи; провести моделювання системи керування насосною станцією; провести синтез регулятора; побудувати перехідні процеси та знайти прямі показники якості.*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Савеленко І.В.</i>		
<i>Економічна частина</i>	<i>к.е.н., доц. Журило І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Вступ</i>	<i>04.10.20</i>	
<i>2</i>	<i>Призначення та область застосування автоматизованої системи керування</i>	<i>08.10.20</i>	
<i>3</i>	<i>Склад автоматизованої системи керування</i>	<i>11.10.20</i>	
<i>4</i>	<i>Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій</i>	<i>22.10.20</i>	
<i>5</i>	<i>Моделювання САК насосної установки у середовищі Matlab</i>	<i>29.10.20</i>	
<i>6</i>	<i>Синтез САК стабілізації тиску в магістралі</i>	<i>05.11.20</i>	
<i>7</i>	<i>Розрахунок параметрів передавальних функцій</i>	<i>12.11.20</i>	
<i>8</i>	<i>Висновки, перелік посилань</i>	<i>16.11.20</i>	
<i>9</i>	<i>Охорона праці</i>	<i>22.11.20</i>	
<i>10</i>	<i>Розрахунок економічної ефективності заходів по автоматизації</i>	<i>25.11.20</i>	
<i>11</i>	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації</i>	<i>03.12.20</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

«____» _____ 2021 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис студента _____

«____» _____ 2021 р.

АННОТАЦІЯ

Луценко А.В. Дослідження та автоматизація роботи насосної станції підкачки води з розробкою системи стабілізації тиску в магістралі

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Електротехнічні системи електроспоживання». – Центральноукраїнський національний технічний університет: Кропивницький, 2021 р.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та автоматизація роботи насосної станції підкачки води з розробкою системи стабілізації тиску в магістралі.

Об'єктом дослідження є технологічний процес підкачування води, як об'єкт автоматичного контролю і управління.

Предметом дослідження є методи автоматичного контролю і регулювання процесу підкачки води.

У роботі розглянуто опис технологічного процесу і виконано аналіз методів керування та існуючих систем автоматичного керування.

Розроблено функціональну та структурну схеми системи автоматичного керування стабілізації тиску в магістралі, також створено структурну схему автоматичної системи керування стабілізації тиску в магістралі.

Виконано дослідження динамічних режимів роботи САК за допомогою середовища MATLAB, де були побудовані часові та частотні характеристики, визначено прямі показники якості САК.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, НАСОСНА СТАНЦІЯ, ПІД – РЕГУЛЯТОР, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ, СТАНЦІЯ ПІДКАЧКИ ВОДИ, MATLAB, SIMULINK

ABSTRACT

Lutsenko A.V. Research and automation of water pumping station with the development of pressure stabilization system in the highway

Qualification work on the second (master's) level of higher education in the specialty 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" of the educational program "Electrical power consumption systems". - Central Ukrainian National Technical University: Kropyvnytskyi, 2021.

The purpose of the qualification work is to study and automate the operation of the pumping station for water pumping with the development of a system for stabilizing the pressure in the highway.

The object of research is the technological process of water pumping, as an object of automatic control and management.

The subject of research is the methods of automatic control and regulation of the water pumping process.

The paper considers the description of the technological process and analyzes the control methods and existing automatic control systems.

The functional and structural schemes of the system of automatic control of stabilization of pressure in the highway are developed, also the structural scheme of the automatic system of control of stabilization of pressure in the highway is created.

The study of dynamic modes of ACS operation was performed with the help of MATLAB environment, where time and frequency characteristics were constructed, direct indicators of ACS quality indicators were determined.

AUTOMATION, MODELING, PUMPING STATION, PID-REGULATOR, TRANSITION PROCESS, PRESSURE REGULATION, WATER PUMPING STATION, MATLAB, SIMULINK

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 Призначення та область застосування автоматизованої системи керування.....	9
1.1 Опис технологічного процесу та об'єкта автоматизації.....	9
1.2 Аналіз методів керування та існуючих САК	Ошибка! Закладка не определена.
1.3 Вимоги до систем автоматизації водопостачання.....	21
РОЗДІЛ 2 Склад автоматизованої системи керування.....	24
2.1. Розробка функціональної та структурної схеми системи автоматичного керування стабілізації тиску в магістралі.....	24
РОЗДІЛ 3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій.....	31
3.1. Математичне забезпечення.....	31
3.2. Технічне забезпечення	35
3.3. Технічне забезпечення	35
РОЗДІЛ 4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу	466
4.1. Моделювання САК насосної установки у середовищі Matlab.....	46
4.2. Дослідження динамічних режимів роботи САК	52
4.3. Контур стабілізації напору	59
4.4. Технічна реалізація САК.....	61
4.5. Синтез САК стабілізації тиску в магістралі.....	68
4.5.1 Розробка структурної САК стабілізації тиску в магістралі.....	68
4.5.2 Розрахунок параметрів передавальних функцій	68
4.5.3 Моделювання САК	69
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК А	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б	90
ДОДАТОК В	104

ВСТУП

В середньому близько 60% витрат електроенергії підприємства припадає на долю електродвигунів, які використовуються в насосних станціях.

Швидкий ріст цін на енергоносії та ресурси призвів до того, що загальна сума затрат на них стала надзвичайно високою. В результаті є гострою необхідність максимального енергозбереження. Аналіз витрат електроенергії показав, що вирішити таке завдання можна двома способами – організаційно-технічні заходи направлені на виключення витрат енергоресурсів без необхідності, та впровадження енергоефективних технологій та енергозберігаючого обладнання, що дає можливість виконувати той самий об'єм роботи при менших затратах ресурсів.

Електропривод – енергосилова основа сучасного виробництва, оскільки завдяки своїй простоті та відносно не високій вартості, знайшов широке застосування в різноманітних механізмах. Найчастіше використовуються електроприводи з асинхронними короткозамкнутими двигунами.

Характерним прикладом використання асинхронного двигуна є насосні станції холодного та гарячого водопостачання, каналізаційні насосні станції та системи опалення.

Нажаль в деяких випадках використовуються не регульовані електроприводи, що не дає можливості забезпечити режим раціонального енерговикористання. Обрані, виходячи із максимально необхідної продуктивності, механізми більшу частину часу працюють з меншою продуктивністю, оскільки необхідність ресурсу змінюється в різні періоди часу.

В результаті впровадження автоматичної системи управління технологічним процесом змінюється форма та характер праці, підвищується рівень безпеки, кваліфікації та рівень знань робітників, покращується енергоефективність використання ресурсів при не змінній продуктивності, що підтверджує актуальність даної роботи.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та автоматизація роботи насосної станції підкачки води з розробкою системи стабілізації тиску в магістралі.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання::

- ознайомитися з технологічним процесом;
- провести аналіз існуючих систем;
- виконати математичний опис;
- провести моделювання системи.

Об'єктом дослідження є технологічний процес підкачування води, як об'єкт автоматичного контролю і управління.

Предметом дослідження є методи автоматичного контролю і регулювання процесу підкачки води.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у роботі використовувались методи: теорії автоматичного керування; математичного опису об'єктів автоматизації; підвищення точності засобів вимірювання оптимізації; математичного моделювання.

Науково-практична новизна одержаних результатів полягає в наступному: виконано синтез контуру стабілізації напору в точці водогону, побудовано структурну схему та розраховано перехідний процес; розглянуто методику розрахунку ПІД-регулятора.

РОЗДІЛ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технологічного процесу та об'єкта автоматизації

Насосна станція - це складний комплекс насосних установок, споруд і пристроїв, що забезпечують в сукупності безперебійну подачу питної води споживачеві через розводящу мережу системи водопостачання, тому в експлуатаційному відношенні насосна станція є основним виробничим цехом.

Насосна станція складається з машинного залу, розподільного пристрою 0,4 кВ та побутових приміщень. У машинному залі розташовано три насосних агрегати (рис.1.1) з електродвигунами з короткозамкненим ротором.

Технологічний процес полягає в тому, що вода надходить з магістралі водопостачання на вхідні засувки №17, 18, 19, потім по трубопроводу надходить на засувку №14, йде через витратомір №15, засув №13 і надходить на всмоктувальні засувки №4,5,6. При ремонті засувів №14,13 вода проходить через засув №16 і надходить на засувки №4,5,6 і насоси №1,2,3. У роботі завжди знаходиться один насос, другий - у резерві, третій - у ремонті. З виходу насосів вода надходить на напірні засувки №1,2,3 і зворотний клапан №7(8,9) і надходить в магістраль через засув №12, №11.

Відцентровий насос пускають в роботу тільки після заповнення всмоктувального трубопроводу і самого насоса водою. Для затоки насоса водою відкривають всмоктувальний засув №4(5,6), потім напірний засув №1(2,3) і вирівнюють тиск в магістралі. Закривають засув №1(2,3), запускають насосний агрегат №1(2,3) і засувом №1(2,3) виводять насосний агрегат №1(2,3) на потрібний тиск, спостерігаючи за показаннями манометра №20, яке повинно бути $(0,4 \times 8) + 1 = 4,2$ атм.

Основним елементом НС, зазвичай, є насосна установка, яка може містити один або декілька насосів. В наш час найбільш широко використовуються відцентрові насоси (рис.1.2).

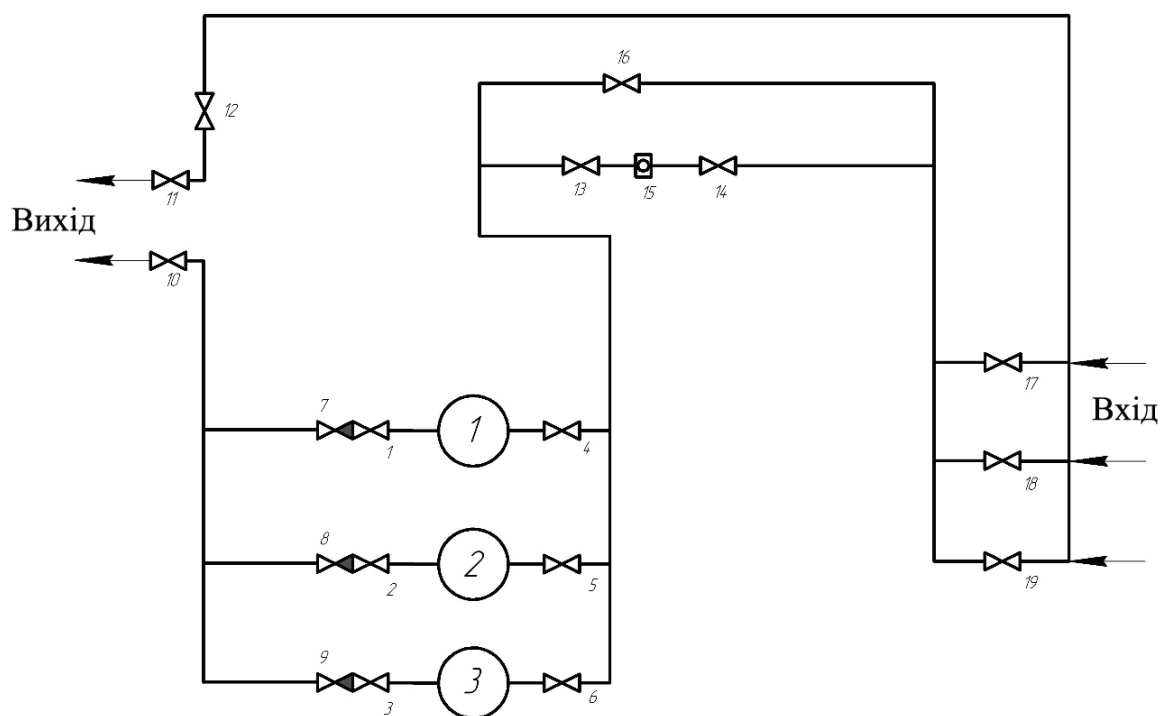


Рисунок 1.1 – Функціональна схема насосної станції

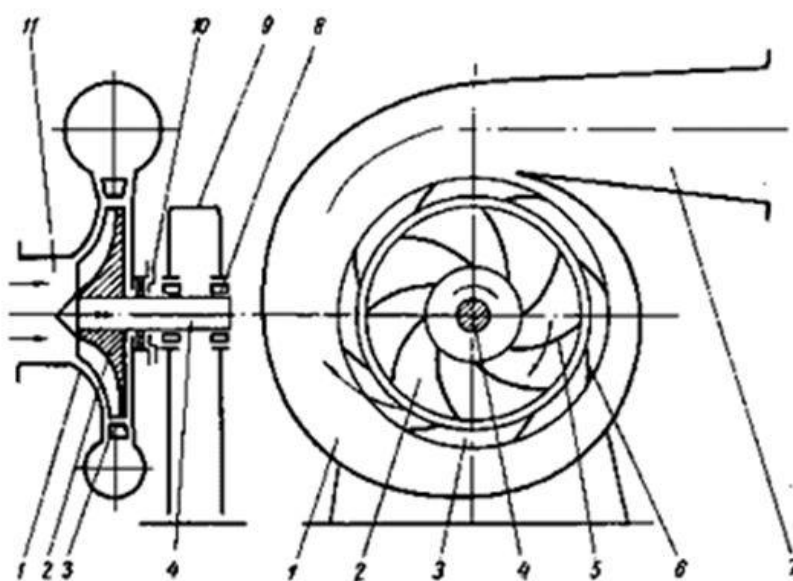


Рисунок 1.2 – Принципова схема відцентрового насосу:

- 1 – робоча камера; 2 – робоче колесо; 3 – направляючий апарат; 4 – вал;
 5 – лопатка робочого колеса; 6 – лопатка направляючого апарату;
 7 – нагнітальний патрубок; 8 – підшипник; 9 – корпус насосу;
 10 – гідравлічне торцеве ущільнення валу; 11 – всмоктуючий патрубок

Відцентрові насоси використовуються для транспортування рідин шляхом перетворення кінетичної енергії обертання в гідродинамічну енергію потоку рідини. Обертальної енергії, як правило, передається від двигуна або

електродвигуна. Рідина надходить у робоче колесо насосу вздовж або поблизу до осі обертання, і прискорюється крильчаткою, тече радіально назовні в дифузور або спіральну камеру (кожух).

В насосних установках знаходять застосування регульовані приводи з багатошвидкісними (двохшвидкісними) електродвигунами, з індукторними муфтами ковзання, з гідромуфтами, приводи із схемою асинхронно-вентильного каскаду, приводи на базі вентильного електродвигуна і частотні приводи.

Багатошвидкісні двигуни використовують в тих випадках, коли застосовувати плавне регулювання не потрібно, наприклад при ступінчастому графіку водоспоживання.

Привід з індукторними муфтами ковзання переважно використовують в системах автоматизованого управління насосних установок, обладнаних горизонтальними насосними агрегатами невеликої потужності (40...250 кВт). Цей привід належить до групи приводів, що працюють з втратами ковзання.

Привід з гідромуфтами за своїми енергетичними характеристиками аналогічний приводу з індукторними муфтами ковзання.

Привід за схемою асинхронно-вентильного каскаду (рис.1.3) набув поширення в горизонтальних насосних агрегатах середньої та великої потужності (250...1600 кВт). На відміну від приводів з індукторними муфтами ковзання і гідромуфтами в цьому приводі втрати ковзання не враховуються.

Приводи на основі вентильного двигуна використовують в агрегатах великої потужності (1600...5000 кВт), найчастіше для вертикального виконання.

Частотний привід застосовують в основному в низьковольтних агрегатах потужністю 40...250 кВт. Такі приводи працюють без втрат ковзання, проте відрізняються порівняно високою вартістю і складністю конструкції.

Водопровідні насосні станції (рис.1.3) можуть бути I та II підйомів, підвищувальні (насосні станції підкачки) та циркуляційні. НС I підйому використовуються для подачі води з джерела водопостачання на очисні споруди або одразу в трубопровідну мережу або резервуари. В невеликих системах водопостачання НС II підйому відсутні. НС I підйому облаштовують поряд з

водозабірними спорудами руслового типу. НС I підйому зазвичай споруджують заглибленими. Підземну частину будівлі зводять з залізобетону (з гідроізоляцією). Будівлі мають круглі або прямокутні обриси.

Вимоги до неперервності роботи НС залежать від її призначення. Найбільш високі вимоги пред'являють до НС I підйому, обслуговуючим виробництво (не допускається перерва в подачі води) та господарсько-питні водопроводи великих міст; менш жорсткі - до НС I підйому, що подає додаткову воду і циркуляційні системи водопостачання. НС I підйому, заглиблені більше 4-5 м, обладнують вертикальними насосами з електродвигунами, розташованими на рівні землі.

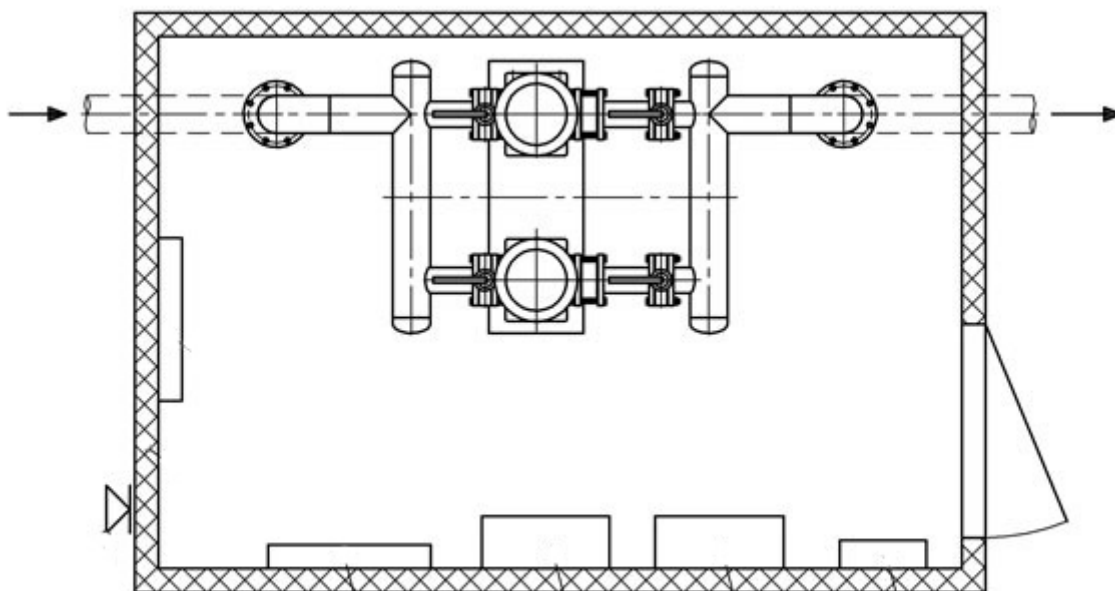


Рисунок 1.3 – Водопровідна НС

Для видалення води, що потрапляє в будинок НС в результаті витоків з трубопроводів, встановлюють дренажні насоси, що можуть подавати 10-20 л/год води. Насосні станції II підйому застосовують для подачі очищеної води з резервуарів очисних споруд у водопровідну мережу. Часто їх вмонтовують безпосередньо в будівлю очисних споруд або об'єднують з НС I підйому. НС II підйому влаштовують незаглибленими або напівзаглибленими, зазвичай на 2-3 м нижче поверхні землі.

НС II підйому обладнують горизонтальними насосами, подачу і напір даних агрегатів обирають за даними розрахунку системи водопостачання. В НС першої категорії надійності встановлюють два резервних насоса, а в НС другої категорії, як правило – один.

Циркуляційні НС використовуються в основному для подачі води в системах оборотного водопостачання. В цих НС іноді встановлюють дві групи насосів для подачі відпрацьованої води (нагрітої води на охолоджувальні споруди для подальшої подачі охолодженої води споживачам). Зазвичай достатньо однієї групи насосів, які подають воду споживачам. Число насосів на циркуляційних НС визначають з умови забезпечення безперебійності постачання споживачів охолодженої води з урахуванням можливості регулювання подавання води в залежності від коливань температури і вологості атмосферного повітря.

Підвищувальні НС (станції підкачки води рис.1.4) призначені для підвищення напору в мережі віддалених районів міста або на ділянках районних водопроводів. Ці НС забирають воду з водоводів, магістралей або проміжних резервуарів. За компонованням і конструктивним рішенням будівель вони аналогічні НС II підйому.

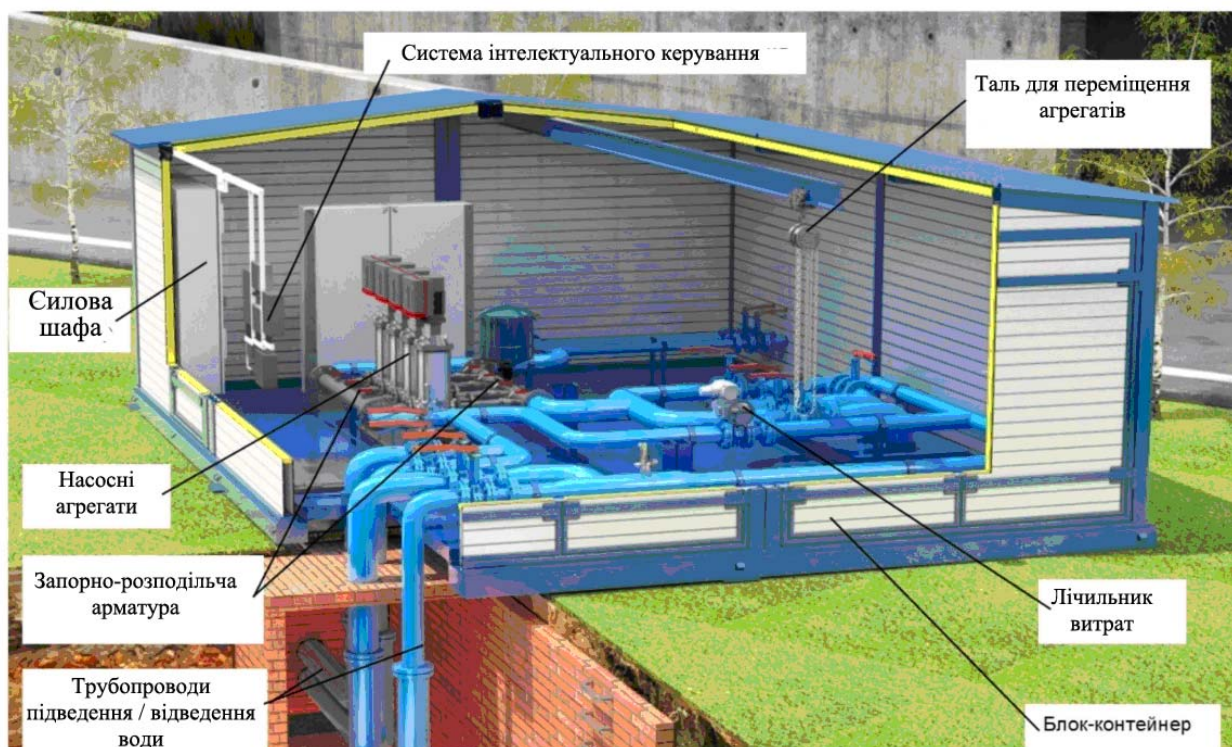


Рисунок 1.4 – Станція підкачки води

1.2 Аналіз методів керування та існуючих САК

Застосування регульованого електроприводу (РЕП) в системах автоматичного управління насосних установок дозволяє привести у відповідність режим їх роботи з водоспоживанням або припливом стічних вод. Це дозволяє стабілізувати тиск у водопровідній мережі і рівень води в приймальних ємностях каналізаційних насосних станцій або резервуарах систем водопостачання, економити енергію, скорочувати витрати та непродуктивні витрати води, збільшити потужність насосних агрегатів та зменшити їх число.

РЕП використовують зазвичай в насосних установках, оснащених агрегатами значної потужності (75...100 кВт і вище), це зумовлює нерівномірність подачі і велику динамічність висоти підйому води.

У САК водопровідних насосних станцій, що працюють в безбаштовій водопровідній мережі, регульованим параметром зазвичай є тиск в певній точці водопровідної мережі. В даному випадку, якщо НС розташована поряд зі споживачами або при падінні тиску в трубопроводах між точкою зняття інформації і колектором насосної станції мало залежить від витрати води, параметра регулювання обирають тиск на напірному колекторі станції.

Насосна станція може бути оснащена агрегатами з регульованим та не регульованим електроприводом одночасно або тільки з РЕП.

У випадку одночасної роботи регульованих і нерегульованих насосних агрегатів система керування забезпечує їх взаємодію, тобто змінює кутову швидкість обертання регульованих агрегатів; включає або відключає в потрібний момент нерегульовані агрегати. Якщо працює декілька насосних установок, які подають воду у водопровідну мережу труб цілого району, система автоматичного керування підтримує оптимальне середньозважене значення ККД групи насосних станцій.

Системи автоматизації частіше за все входять до складу АСКТП подачі та розподілу води. У цих системах електронно-обчислювальні машини (ЕОМ), за допомогою яких виконують аналіз інформації, що збирається від насосних

станцій, водоводів, резервуарів і розподільних мереж та виконують розрахунки по оптимізації режимів роботи системи подачі та розподілу води.

Інформація про технологічні та електричні параметри (тиск, витрати і рівень води, електричний струм, напруга) в пристроях перетворюється в малопотужні уніфіковані електричні аналогові й релейні сигнали. Регулюють режим роботи насосних установок в основному за пропорційно-інтегральним законом (ПІ-законом). Для реалізації команд, що надходять із системи автоматизації, агрегати та інше обладнання оснащують додатковими механізмами. В насосних установках набули поширення мікропроцесорні пристрої і промислові комп'ютери, за допомогою яких можна легко і швидко переналаштувати закони регулювання у випадку зміни динамічних характеристик керованого об'єкта.

Наявність РЕП знижує аварійність в системах водопостачання та водовідведення завдяки зменшенню кількості включень і відключень насосного агрегату і більш плавного характеру змін подачі води в системі. Застосування РЕП в насосних установках сприятливо і з екологічної точки зору, так як сприяє зменшенню надходження стічних вод у систему водовідведення за рахунок скорочення витоків і непродуктивних витрат води. При правильно обраних об'єктах впровадження, застосування РЕП окупається в насосних установках систем водопостачання за 1...2 роки, а в системах водовідведення за 3...4 роки.

Також, безпосередній характер роботи насосної станції визначається потребами споживача, тобто необхідно забезпечити цілодобове якісне обслуговування. Це включає в себе безперебійне водопостачання незалежно від часу доби і підтримання нормального тиску в магістралі трубопроводу.

Діапазон регулювання повинен збігатися з потребами споживача.

Необхідно забезпечити нормальну продуктивність подачі води. Тому для керування використовується алгоритм наведений на рисунку 1.5.

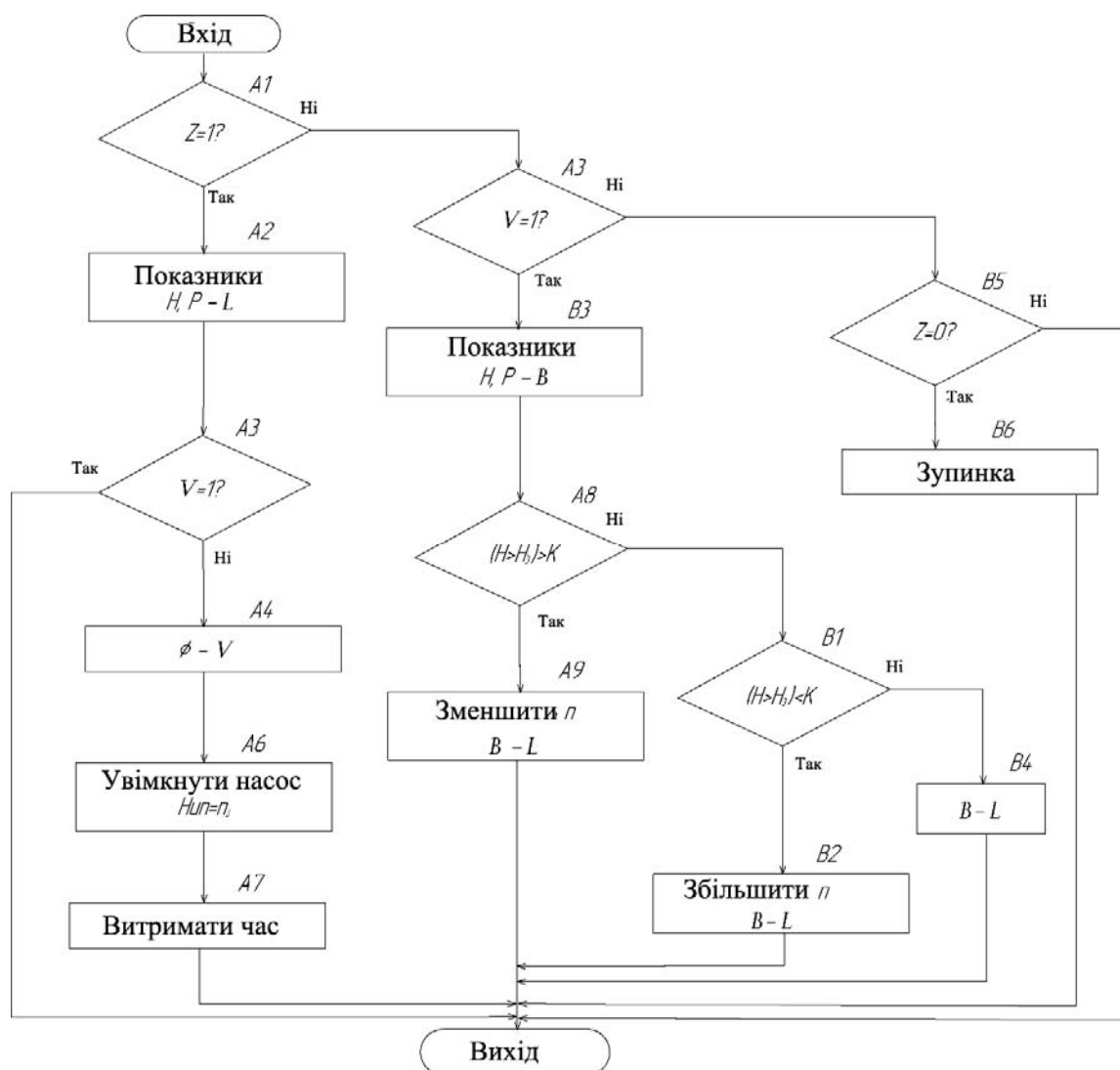


Рисунок 1.5 – Блок-схема алгоритму регулювання

Опис умовних позначень алгоритму:

Z – сигнал оператора на ввімкнення насосу;

H, P – показання датчиків;

V – ознака для розділення показання датчиків на поточне та попереднє значення;

$\emptyset$ – ознака (будь-яке число відмінне від нуля), що формується при першому вході в програму;

L – попереднє показання датчика;

B – поточне показання датчика;

H_z, p_z – задані значення тиску та витрати;

K – константа.

Опис блоків алгоритму:

- A1 – сигнал на дозвіл увімкнення насосу;
 - A2 – обробка попередніх показань;
 - A3 – наявність ознаки регулювання;
 - A4 – порівняння програми з ознакою;
 - A5 – сигнал на ввімкнення не надходить;
 - A6 – сигнал на ввімкнення надійшов і відбувається розгін приводу до створення необхідного тиску рідини;
 - A7 – заданий час на розгін;
 - A8 – високий тиск, потрібне регулювання;
 - A9 – виконується регулювання шляхом зменшення обертів приводу, а в наслідок зменшення тиску;
 - B1 – тиску недостатньо, потрібне регулювання;
 - B2 – виконується регулювання шляхом збільшення обертів приводу, а в наслідок збільшення тиску;
 - B3 – відбувається обробка поточних показань;
 - B4 – поточні показання рівні попереднім;
 - B5 – відсутність завдання або заборона регулювання;
 - B6 – зупинка приводу.
- В якості готового рішення можна використовувати САК побудовану на базі ПЛК ОВЕН САУ-МП з використанням частотного перетворювача та таймера ОВЕН УТ1-РiС (рис.1.6)

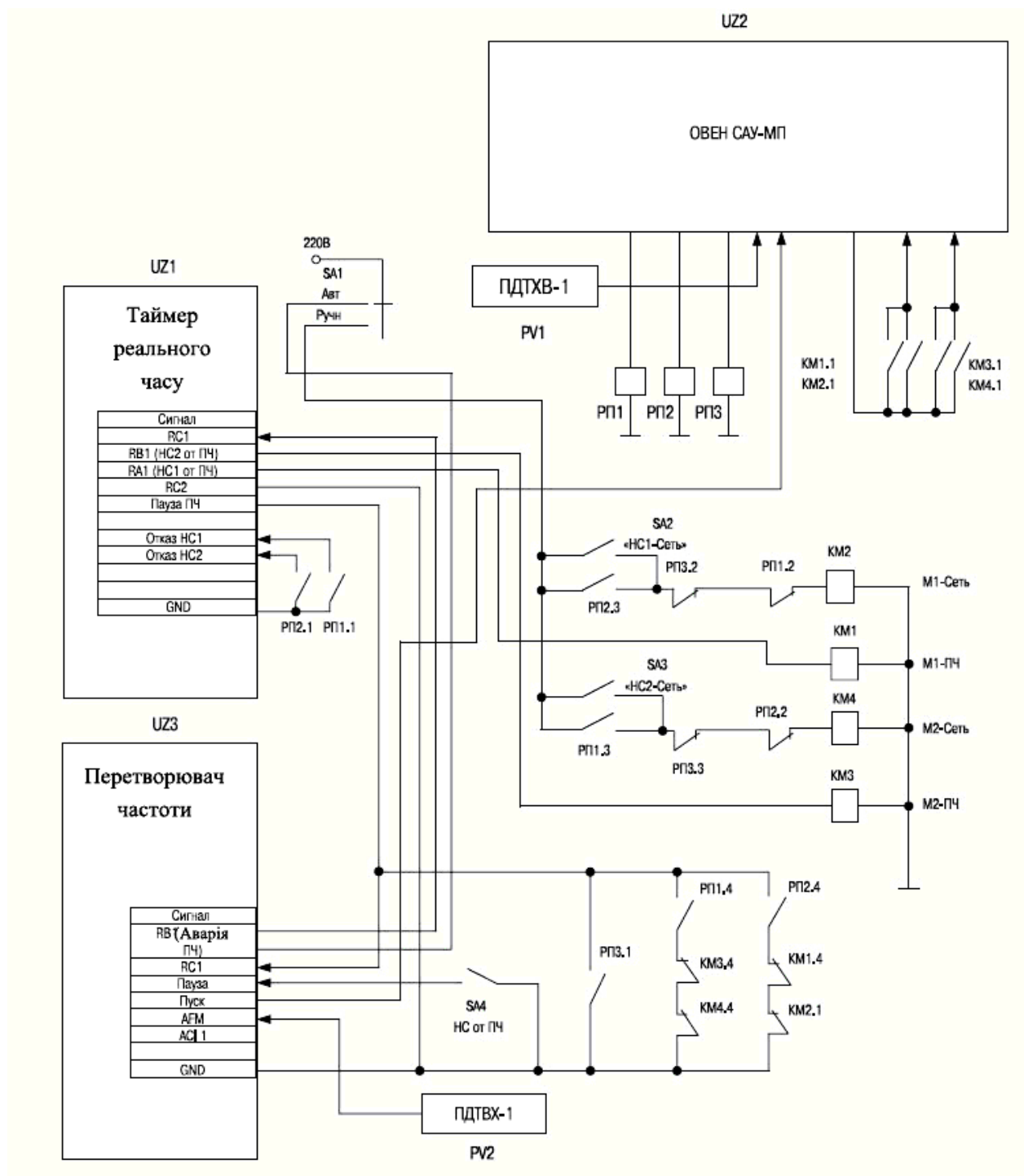


Рисунок 1.6 – Функціональна схема системи

Розглянемо більш роботу НС, коли перемикач SA1 знаходиться в положенні «Автомат».

Після подачі живлення САК аналізує сигнал з датчика тиску PV1, контролюючи тиск води на вході, і якщо воно нижче уставки тиску P1 (мінімально допустимого тиску води на вході), видає команду «Пауза» (спрацьовує реле РП3), що забороняє роботу насосів. Якщо тиск на вході більше уставки P1, то система включає режим очікування.

Пуск насоса здійснюється за допомогою перемикача SA4. У штатному режимі, тобто при відсутності аварійних ситуацій в перетворювачі частоти, контакти внутрішнього реле RB1 і RC1 замкнуті. Напруга 220 В через контакти внутрішнього реле R1 таймера надходить на котушки контактів KM1 або KM2. При замиканні контактів KM1.1 або KM3.1 контролер відпрацьовує затримку увімкнення, потім перевіряє сигнал з датчика тиску PV2, за яким оцінюється наявність мінімально допустимого тиску води на виході установки.

Сигнал транслюється від датчика тиску PV2 через аналоговий вихід перетворювача частоти, і, якщо він нижче уставки P2 (мінімально допустимий тиск води на виході), видає команду «Відмова». Якщо тиск на виході більше P2, то контролер залишається в робочому режимі. Затримка включення T0 введена для усунення помилкових спрацьовувань при плавному виході насоса на робочий режим.

Необхідний тиск води на виході насосної установки задається за допомогою пульта керування перетворювача частоти. Сигнал заданого значення порівнюється з поточним сигналом датчика тиску PV2, на підставі чого формується та подається керуючий імпульс на двигун насоса. Якщо під час роботи насосів сигнал на вході 1 стає менше уставки P1 на час, більший T1, то контролер видає команду «Пауза».

Скасування команди відбувається після перевищення сигналу уставки P1 на час, більший T1. Якщо під час роботи насосів (НС1 або НС2) сигнал на вході 2 стає менше уставки P2 на час, більший T2 (за умови, що сигнал на вході 1 уставки P1) – що свідчить про аварійної ситуації – контролер видає команду «Відмова», в цей час спрацьовують реле РП1 або РП2.

При зміні положення контактів РП1.4 (РП2.4) перетворювач частоти переводиться в режим «Пауза». Контактми РП1.2 (РП2.2) насоси відключаються від мережі, а РП1.1 (РП2.1) сигналізують таймеру про необхідність переключити внутрішнє реле R1 в положення, відповідне запуску резервного насоса.

Після спрацьовування контактора резервного насоса він контактами КМ1.4 (КМ3.4) розриває ланцюг включення команди «Пауза» перетворювача частоти, і робота станції триває. Контакти реле РП1 (РП2) відмови насоса залишаються в замкнутому положенні до відключення живлення приладу.

Періодична зміна насосів на станції реалізується наступним чином.

За 1-2 хвилини до перемикаання насосів замикаються контакти внутрішнього реле R2 таймера реального часу, і перетворювач частоти переводиться в режим «Пауза». Потім перемикаються контакти реле R1 і відбувається зміна насоса, через 1-2 хвилини команда «Пауза» скасовується. Ймовірність розриву трубопровідної системи внаслідок виникнення гідроудару виключається завдяки плавному зміні частоти обертання двигуна насоса під час його пуску та зупинки.

Ручний режим є резервним. Він призначений для забезпечення працездатності станції на час профілактики або ремонту перетворювача частоти. У цьому режимі періодична зміна насосів не проводиться, але задіяні функції захисту від «сухого ходу» і включення резервного насоса у випадку аварії основного.

Також, може бути використаний спосіб каскадно-частотного регулювання, при якому ПЧ управляє тільки одним насосом, а іншим по мірі необхідності подає команди на пуск і зупинку. При пуску додаткових насосів, їх електродвигуни підключаються безпосередньо до мережі.

Перевагами такого способу є простота і надійність, а також мінімальна кількість обладнання для створення автоматизованої НС.

Однак, даний спосіб має досить серйозні недоліки:

- поява гідроударів при пуску/зупинення додаткових насосів;
- поява в електромережі кидків напруги, пов'язаних з перехідними процесами при пуску двигунів;
- неможливість підтримки точного тиску в системі, перепади тиску при включенні або виключенні додаткових насосів.

Звичайно, вплив описаних недоліків можна знизити. Щоб уникнути гідроударів і кидків напруги, можна застосовувати пристрої плавного пуску, однак це економічно доцільно лише при відносно великих потужностях двигунів. Якість регулювання тиску також можна поліпшити за рахунок ускладнення алгоритму управління, що реалізується обчислювачем даної системи. Проте всі ці заходи пов'язані з додатковими фінансовими витратами, що нівелює привабливість ідеї.

Цих недоліків позбавлений спосіб управління (рис.1.7), коли при неможливості забезпечити необхідну в даний момент продуктивність НС одним насосом, в роботу включається наступний, при цьому перший насосний двигун перемикається безпосередньо на мережу, а той, що вступає в роботу – виводиться на робочу частоту під управлінням ПЧ, за заданою користувачем кривою розгону.

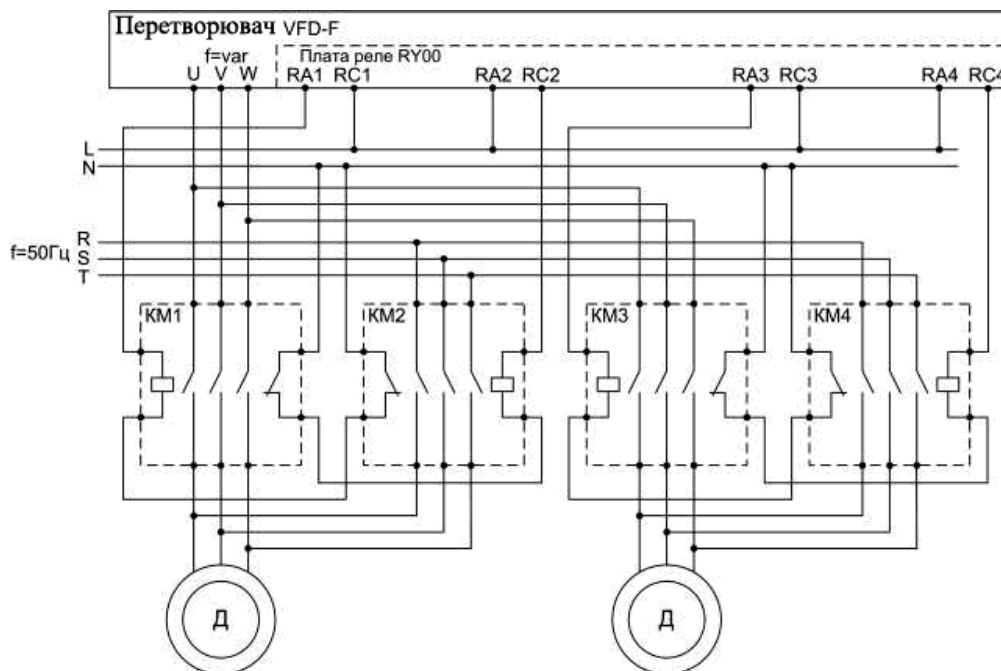


Рисунок 1.7 – Функціональна схема керування за допомогою ПЧ

1.3 Вимоги до систем автоматизації водопостачання

Автоматизація повинна забезпечувати управління насосними агрегатами без постійної присутності обслуговуючого персоналу, підвищувати надійність роботи станції, зберігати її обладнання і забезпечувати найбільш економічні режими роботи насосних агрегатів і станції в цілому.

Всі зміни стану датчиків і вимикачів повинні відслідковуватися програмованим логічним контролером.

ПЛК по заданому алгоритму має включати або відключати насоси та регулювати тиск в магістралі за допомогою зміни обертів електродвигуна.

Повинна бути можливість увімкнути або вимкнути роботу насосів, за необхідності, за допомогою перемикачів на щиті.

Підхід до проектування системи управління насосної установки, силової частини і приводу в цілому, має відповідати світовим тенденціям розвитку електроприводу.

Для реалізації задачі управління насосної установки електропривод повинен забезпечувати:

- автоматичне, ручне управління пуском і зупинкою насосної установки;
- автоматична зміна частоти обертання вала двигуна для підтримки постійним тиску в споживчій мережі;
- екстрений зупинка насоса у разі надходження аварійного сигналу від датчика (при відхиленні параметрів від допустимих технологічних меж);
- захист від аварійних режимів роботи електродвигуна;
- включення резервного насоса у випадку аварії; автоматичне чергування насосів;
- захист від «сухого» ходу;
- самозапуск після перепаду напруги.

При проектуванні САК повинно бути передбачено заходи по забезпеченню безпеки при монтажі, експлуатації, обслуговування та ремонту технічних засобів у відповідності з діючими на території України нормативними документами.

Повинен бути обмежений доступ до обертових частин насосної установки.

Електричні елементи повинні мати захисне занулення.

Повинні бути прийняті заходи по обмеженню рівня виробничого шуму, так як установка експлуатується в зоні житлових забудов, а також передбачені засоби пожежогасіння.

Вимоги до ергономіки та технічної естетики забезпечуються розташуванням насосної установки в добре освітленому, опалювальному приміщенні, в місці, зручному для її обслуговування технічним персоналом, що дозволить забезпечити швидкість, простоту, економічність технічного обслуговування і ремонту в нормальних і аварійних умовах.

Конструкція та розташування щитів, пультів, повинні забезпечити простоту обслуговування.

РОЗДІЛ 2

СКЛАД АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1. Розробка функціональної та структурної схеми системи автоматичного керування стабілізації тиску в магістралі

До складу водопровідних гідротранспортних комплексів (ГТК) входять (рис. 2.1):

- насосні станції з паралельно включеними НА, які приводяться в обертання асинхронними або синхронними електродвигунами потужністю від десятків кіловат до декількох мегават;
- запірно-регулююча та гідрозахисна арматура (вентилі, засувки, зворотні клапани, гасителі гідроударів і ін.), Що встановлюється як на виході НА, так і в трубопровідній мережі;
- розгалужена комунікаційна мережа трубопроводів великої протяжності;
- датчики тиску і витрати рідини, встановлені на виході насосної станції і в трубопровідній мережі.

Серед існуючих видів НС переважне використання отримали НС з паралельним з'єднанням насосів, які застосовуються в системах водопостачання і водовідведення населених пунктів, промислових підприємств, системах оборотного водопостачання технологічних комплексів виробничих об'єктів, в тому числі на підприємствах кольорової металургії і нафтопереробних заводах.

На рис. 2.2 зображена технологічна схема типової НС. Рідина надходить у вхідний колектор НС і акумулюється в резервуарі. З вхідного резервуара вона відкачується насосами, подається в вихідний колектор НС і далі в магістральний трубопровід, звідки і розподіляється по споживачах або надходить до входу наступної НС. Для відділення насоса від трубопроводу служать засувки, розміщені на вхідному і напірному патрубках насоса. Крім того, на вихідному патрубку насоса встановлений зворотний клапан, що запобігає зворотному потоку рідини через насос.

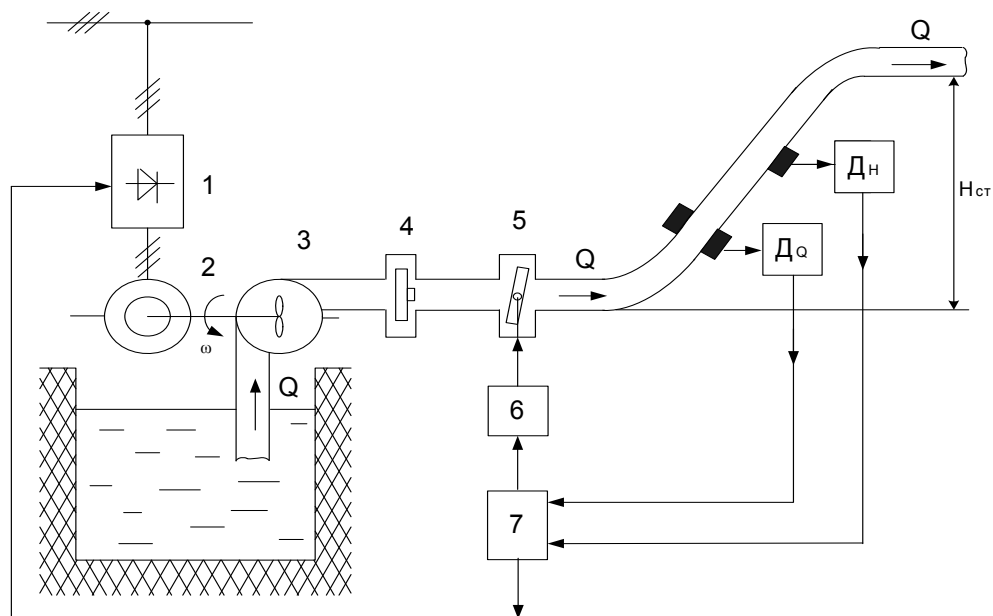


Рисунок 2.1 – Загальна схема насосного комплексу:

1 – перетворювач; 2 – асинхронний двигун;
 3 – насос; 4 – зворотний клапан; 5 –засувка;
 6 – виконуючий механізм; 7 - керуючий пристрій; D_Q – датчик витрати; D_H – датчик тиску

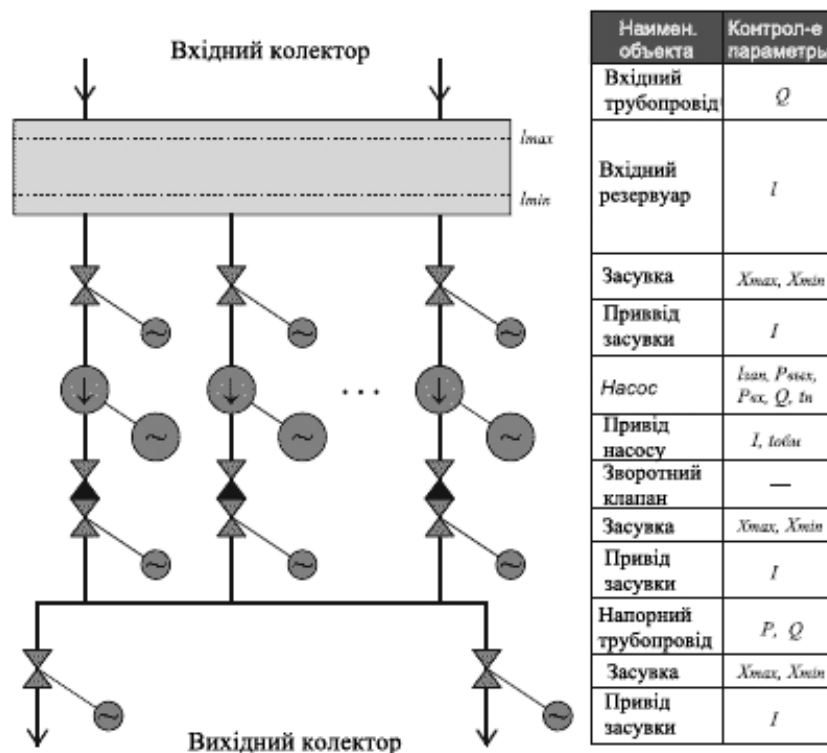


Рисунок 2.2 – Технологічна схема типової насосної станції

В якості електроприводів насосів і засувок застосовуються електродвигуни. У правій частині рис. 2.2 розміщено таблицю, в якій для

кожного з об'єктів НС наведено перелік контрольованих параметрів. Даний перелік може змінюватися в залежності від призначення НС і потужності насосних установок.

Система автоматичного керування тиском води в умовах водопровідної насосної станції призначена підтримувати тиск в загальному колекторі і трубопроводах до споживачів при непостійному навантаженні, що збільшує точність підтримання параметрів водопостачання, економічність роботи системи та виконання потребуючого графіка подачі води для нормальних і аварійних умов, необхідного ступеня надійності і, отже, певною мірою безперебійності роботи.

Завдання даної системи керування – підтримка постійного заданого напору у водопровідній магістралі житлового комплексу, забезпечення відпрацьовування добової діаграми напорів, забезпечення енергозберігаючого керування напором, забезпечення захисту від перевищення й зниження тиску у водогінній мережі.

Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення енергоефективності водонапірного вузла та зменшення часу його реакції на зміну параметрів водопостачання за рахунок впровадження нової системи автоматизованого управління.

Об'єктом управління є водопровідна насосна станція. Регульованою величиною є тиск води в системі.

Підставою для розробки теми являється недостатньо високий рівень автоматизації технологічних процесів у вітчизняних СВ, унаслідок чого не можуть успішно вирішуватися задачі енергозбереження.

Для забезпечення заданого режиму роботи НС при зміні умов роботи потрібно проводити регулювання режимів роботи насосних установок. Це завдання може бути розділене на два напрямки: регулювання гідравлічних режимів роботи насосів і регулювання енергетичної ефективності роботи електроприводу НС.

Для насосних установок відцентрового типу застосовують такі способи регулювання подачі рідини і тиску:

- дроселюванням трубопроводу;
- перепуском частини потоку рідини з вихідного патрубку насоса у вхідній;
- відключенням або підключенням насосів (ступеневу регулювання);
- зміною частоти обертання робочого колеса насоса.

Дроселювання трубопроводу є вельми поширеним способом регулювання тиску і подачі рідини. Регулюючим елементом в цьому випадку є механічний пристрій у вигляді шибер, дросель-клапана, засувки, діафрагми і т. п., яке розташовується на напірному патрубку насоса і за рахунок свого переміщення змінює поперечний переріз трубопроводу.

Незважаючи на простоту реалізації даного способу регулювання він має ряд недоліків. Одним з них є зниження ККД НС, це стосується коли глибоко регулюється подача. Крім цього, зростання тиску на виході насоса при закритті засувки призводить до скорочення терміну служби ущільнень і запірних пристроїв, а також до збільшення витоків рідини через стики і щілини.

Ступінчасте регулювання подачі насосної станції здійснюється за рахунок підключення або відключення насоса або групи насосів. Він простий в управлінні, тому що не передбачає додаткових регулювальних пристроїв. Але він не може гарантувати безперервне і якісне підтримання напору при зміні споживання рідини і викликає часті пуски двигунів, що зменшує термін роботи обладнання і вимагає будівництва проміжного акумулюючого резервуара для згладжування коливань подачі НС. Крім того, електроприводи працюють не в оптимальному режимі, що також знижує ККД всієї НС.

Зазначені особливості обумовлюють скорочення НС, на яких застосовуються розглянуті вище способи регулювання.

Зміна частоти обертання робочого колеса насосної установки дозволяє здійснити безперервне регулювання продуктивності НС з меншими витратами енергії, ніж в попередніх варіантах. Однак воно вимагає великих витрат на

регулююче обладнання, особливо для установок з потужністю вище середньої, і призводить до погіршення електромагнітної сумісності з мережею живлення. Проте знижується вартість регульованих електроприводів, що робить цей спосіб найбільш перспективним.

Можливо також поєднання декількох способів регулювання. Одним з широко застосовуваних варіантів регулювання є поєднання ступінчатого регулювання зі зміною частоти обертання робочого колеса насосної установки, яке досягається за допомогою частотно-регульованого електроприводу. Згідно з рекомендаціями, регульованим електроприводом слід обладнати один насосний агрегат в групі з 2-3 робочих агрегатів.

Для регулювання енергетичної ефективності обладнання НС повинен бути вибраний оптимальний по енергоспоживанню режим роботи насосів при їх спільній роботі.

Автоматизована система керування повинна складатися з наступних рівнів (рис. 2.3):

- 1-й рівень - датчики вимірюваних параметрів, прилади, регулятори, виконавчими механізмами і пристрої;
- 2-й рівень – мікроконтролерні пристрої для автоматичного збору і первинної обробки результатів вимірювання;
- 3-й рівень системи (операторський) - робочі станції операторів, що забезпечують обробку і відображення інформації, реєстрацію, архівування, документування та ін.

Управління регульованим електроприводом потрібно здійснювати автоматично в залежності від тиску в диктують точках мережі, витрати води, яка подається в мережу, рівня води в резервуарах.

У НС слід передбачати вимірювання тиску в напірних водоводах і у кожного насосного агрегату, витрат води на напірних водоводах, а також контроль рівня води в дренажних приямках і вакуум-котлі, температури підшипників агрегатів (при необхідності), аварійного рівня затоплення (появи води в машинному залі на рівні фундаментів електроприводів). При потужності

насосного агрегату 100 кВт і більше необхідно передбачати періодичне визначення ККД з похибкою не більше 3%.



Рисунок 2.3 – Функціональна схема рівнів системи керування стабілізації тиску в магістралі

При автоматичному або дистанційному (телемеханічному) управлінні повинно передбачатися також місцеве управління.

В насосних станціях повинна передбачатися автоматизація наступних допоміжних процесів: промивання обертових сіток за заданою програмою, регульованою за часом або перепаду рівнів, відкачки дренажних вод за рівнями води в приямку, електроопалення за температурі повітря в приміщенні, а також вентиляції.

Структура автоматизованої насосної станції:

Спрощена електрична схема силових ланцюгів показана на рис. 2.4 а. Штриховий лінією із зірочкою позначена взаємна механічне блокування контактних апаратів, що забороняє одночасне підключення електродвигуна до мережі і до перетворювача частоти. Взаємодія блоків станції і гідравлічної системи показано на рис.2.4 б.

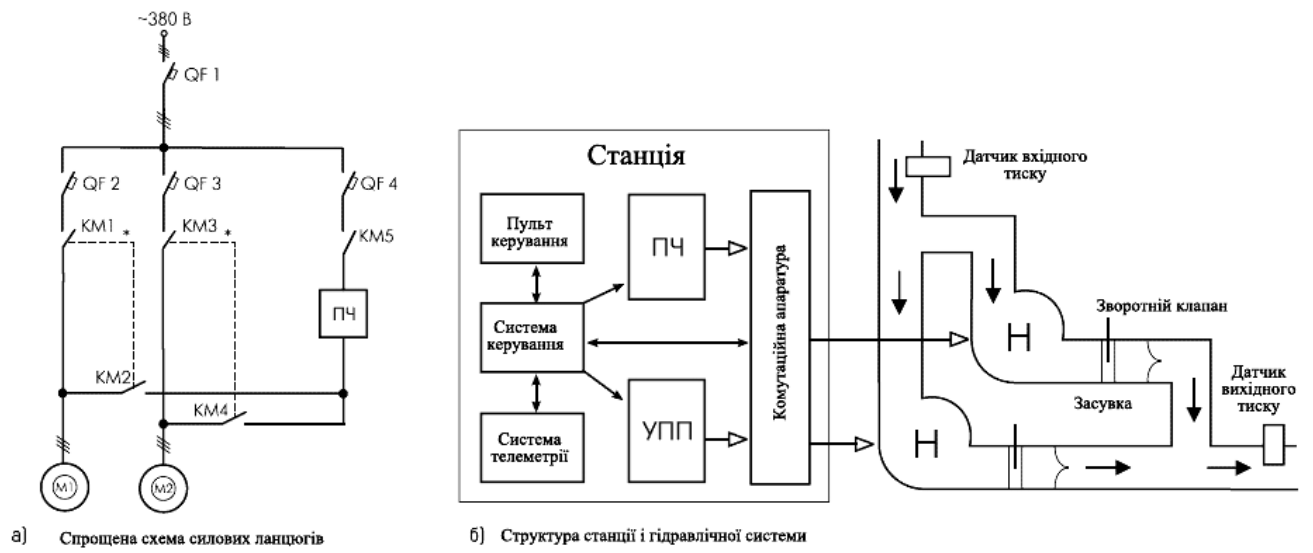


Рисунок 2.4 – Структура насосної станції

РОЗДІЛ 3

Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій

3.1 Математичне забезпечення

За наступними технічними характеристиками насосу та параметрами трубопроводу розраховуємо потужність електродвигуна:

$$P = \frac{\rho Q (H_c + \Delta H)}{n_H * n_n} * 10^{-3},$$

де H_c – сумарний тиск м; Q – подача насосу м³/с; ΔH - втрата тиску в магістралі м; ρ – густина рідини, що перекачується ; g - прискорення вільного падіння;

n_H, n_n - ККД насосу та передачі; $H_c = 0,5$ МПа = 50 м; $Q = 0,014$ м³/с; 32/3600 - 0,014 м³/с; де 32 подача насосу м³/час; $H = 10$ м; $\rho = 1000$ кг/м³; $g = 9,81$ м/с²;

$$n_H = 0,85 \quad n_n = 0,95$$

$$P = \frac{1000 * 9.81 * 0.014 * (32 + 10)}{0.85 * 0.95} * 10^{-3} = 7.14 \text{ кВт}$$

приймаємо $P = 7,5$ кВт

За довідником вибираємо двигун типу 4АМУ112М2У2 дані якого наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні дані двигуна

Рн, кВт	об/мин	Ін, А	КПД%	Cosφ	Маса, кг
7,5	2814	15	88	0,89	53

Визначення номінальної та мінімальної частоти обертання двигуна.

За заданою продуктивністю насосу протягом доби маємо:

$$Q_{\max} = 48 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$Q_{\min} = 10 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Номінальна продуктивність насосу:

$$Q_{\text{н ном}} = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Забезпечується при частоті обертання асинхронного двигуна:

$$n_{\text{н ном}} = 2814 \text{ об/мин}$$

Подача насосу при роботі на мережу без статичної складової напору:

$$\frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}} = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}}$$

тоді

$$n_{\text{min}} = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}} * n_{\text{max}}$$

для продуктивності $Q_{\text{max}} = 48 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$n_1 = \frac{48}{50} * 2814 = 2701 \text{ об/хв}$$

для продуктивності $Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$n_2 = \frac{10}{50} * 2814 = 563 \text{ об/хв}$$

Тоді частота обертання асинхронного двигуна повинна змінюватися від $n_1=2701 \text{ об/хв}$ до $n_2 = 563 \text{ об/хв}$.

Діапазон регулювання швидкості асинхронного двигуна рівний:

$$D = \frac{n_{\text{н}}}{n_2}$$

$$D = \frac{2814}{563} = 5$$

Для поліпшення динамічних властивостей системи в автоматичній стабілізації додано гідравлічний понижувач тиску.

Передаточні функції лінійної моделі системи після перетворень Лапласа:

- передаточна функція за переміщенням поршня

$$W_y(s) = \frac{Y(s)}{\Phi(s)} = \frac{A_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

- передаточна функція за тиском в напірній лінії

$$W_p(s) = \frac{Y(s)}{\Phi(s)} = \frac{(b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0)B_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

де $\Phi(s)$ – зображення за Лапласом одиничного ступінчатого збурного діяння;
 $Y(s)$ і $P(s)$ – зображення за Лапласом оригіналів функцій $y(s)$; $a_3, a_2, a_1, a_0, A_0, B_0$ – сталі.

Оптимізація передаточної функції ПФП відбувається шляхом забезпечення рівномірності амплітуди за частотами. У разі виконання таких умов (рис. 3.1) діаграма Найквіста наблизиться до кола.

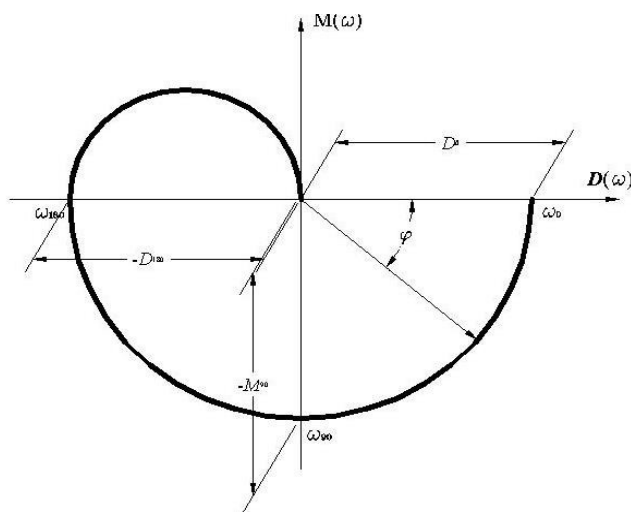


Рисунок 3.1 – Діаграма Найквіста

Для автоматизованих насосних станцій підкачки при довжині всмоктувальних трубопроводів до 120 м рекомендується влаштування загального колектора в який вода поступає однією або двома підвідними трубами. До колектора приєднують два стояка діаметром 800 мм, які повітряними трубками підключають до вакуумної системи. З'ємні герметичні кришки цих стояків розташовують на відстані 0,6 м від поверхні землі. Наявність таких стояків призводить до розриву суцільності потоку саме в них і живлення водою насосів при їх пуску в період подолання інерції води в підвідних трубопроводах. Таким чином, стояки в період пуску насосів працюють як водоповітряні резервуари, які стабілізують зміни тиску.

Діаметри підвідних і самопливних трубопроводів визначають при швидкостях $V_{п} = V_{с} = 0,7...0,8$ м/с. Діаметри всмоктувальних трубопроводів

довжиною до 50 м знаходять за рекомендаціями в залежності від швидкості води в них:

$$V_B = 0,7 \dots 1 \text{ м/с при } D_B \leq 250 \text{ мм};$$

$$V_B = 1 \dots 1,5 \text{ м/с при } 250 < D_B < 800 \text{ мм};$$

$$V_B = 1,5 \dots 1,8 \text{ м/с при } D_B \geq 800 \text{ мм}.$$

Діаметри напірних ліній D_H приймають при швидкостях води в них:

$$V_H = 1,5 \dots 2 \text{ м/с при } D_H \leq 250 \text{ мм};$$

$$V_H = 2 \dots 2,5 \text{ м/с при } D_H > 250 \text{ мм}.$$

Порядок розрахунків діаметрів такий. Знаходять площу поперечного перерізу трубопроводу:

$$\omega = Q_j / V_j,$$

де Q_j - розрахункова витрата j -того трубопроводу, м³/с. При двох самотливих трубах $Q_j = Q_c = Q_{\max} / 2$. При двох підвідних трубах $Q_j = Q_p = Q_{\max} / 2$. Для підвідних труб, що подають воду на два насоса $Q_j = Q_B = 2Q_H$. Для окремих всмоктувальних труб $Q_j = Q_B = Q_H$.

Конструкція і компонування елементів всмоктувальних трубопроводів насосів повинні виключати можливість підсмоктування повітря і утворення повітряних мішків. Для цього всмоктувальний трубопровід повинен мати безперервний підйом до насоса з похилом не менше 0,005, а перехід від діаметру всмоктувального трубопроводу D_B до діаметру всмоктувального патрубка d_B здійснюється несиметричним конфуззором з верхньою горизонтальною твірною. Кут звуження приймають не більше 15°. При відсутності даних довжина переходу (конфузора) визначають за наближеною формулою:

$$l_{\text{кон}} = (3,5 \dots 4,0)(D_B - d_B)$$

На всмоктувальних трубопроводах насосів при будівлях НСП камерного типу встановлюють ремонтну засувку діаметром D_B .

Перехід від діаметра напірного патрубка насоса d_H до діаметра напірної лінії насоса D_H приймається у вигляді дифузора з кутом конусності не більше

10°. При відсутності даних довжина прямого симетричного переходу (дифузора) визначається за наближеною формулою:

$$L_{\text{диф}} = (6 \dots 7)(D_n - d_n).$$

На напірній лінії насоса діаметром D_n передбачають установку сальникового компенсатора; зворотного затвора; монтажної вставки довжиною 0,2 м; не менше трьох плавних поворотів на 45° і з'єднання з напірним (магістральним) трубопроводом НСП у вигляді відводу, трійника або збірного колектора в залежності від схеми комунікацій.

В табличній формі уточнюють втрати напору у всмоктувальних h_v і напірних h_n комунікаціях насоса при подачі Q_n . Втрати напору для сталевих трубопроводів знаходять за відомими формулами.

Втрати напору по довжині:

$$h_{wl} = (\lambda_j l_j / D_j) [V^2 / (2g)] = \zeta l_j [V^2 / (2g)],$$

де λ_j , l_j , D_j , V_j - відповідно коефіцієнт опору, довжина, діаметр і швидкість води для j -тої ділянки трубопроводу. Коефіцієнт опору трубопроводу λ_j знаходять за формулою Ф.А. Шевелева:

$$\lambda_j = 0,021 / D_j$$

Місцеві втрати напору:

$$h_{wi} = \zeta_i [V_i^2 / (2g)],$$

де ζ_i , V_i – відповідно коефіцієнт місцевого опору, швидкість води для i -того перерізу трубопроводу.

3.2 Технічне забезпечення

Обґрунтування структури комплексу технічних засобів системи автоматичного керування стабілізації тиску в магістралі

Для відповідності висунутим в розділі 1 вимогам комплекс технічних засобів АСК стабілізації тиску в магістралі повинен будуватися за ієрархічним принципом та містити три рівні:

- 0-й (польовий) рівень: контрольно-вимірювальні прилади і виконавчі механізми, блоки ручного керування виконавчими механізмами, кабельні з'єднання, клемні коробки, кросові шафи та ін.;
- 1-й (контролерний) рівень: рівень програмованих логічних контролерів, модулів віддаленого вводу-виводу, операторських панелей;
- 2-й рівень операторського керування (SCADA-рівень): операторські станції, комунікаційне обладнання, клієнтські АРМи, сервер баз даних.

Верхній (2-й) рівень системи забезпечує виконання функцій оперативно-диспетчерського керування та дистанційного контролю параметрів технологічного процесу термічної обробки обкотишів. До складу підсистеми верхнього рівня входять робочі станції фахівців (головний диспетчер-технолог, начальник парковки, головний інженер) з пристроями друку. Станції володіють можливістю взаємного дублювання і резервування та безперебійної роботи при провалах напруги живлення.

Завдання, які вирішуються системою верхнього рівня:

- автоматизована видача диспетчером команд керування і автоматичний контроль їх виконання;
- відображення на екранах робочих станцій оперативної інформації у вигляді екранних форм (мнемосхем), графічних залежностей контрольованих параметрів, журналу аварійних та інших подій тощо;
- парольний захист прав доступу до інформації.

Також передбачена можливість:

- одночасного виконання обчислювальних операцій і будь-яких інших дій, управління базами даних, формування звітів і завдань;
- організації єдиного централізованого списку контрольованих параметрів з можливістю створення глобальних змінних, доступних всім клієнтським застосуванням програмного комплексу, що володіє механізмом резервування серверів ОРС; і т. д.

На цьому ж рівні передбачені засоби підключення до мережі, що зв'язує його з нижнім рівнем АСК та з рівнями, що знаходяться вище, диспетчерського керування парковою.

Нижній рівень забезпечує виконання всіх алгоритмів ведення технологічного процесу, функцій захисту та аварійної сигналізації при відхиленні стану обладнання від норми, а також функцій зв'язку з верхнім рівнем АСК стабілізації тиску в магістралі. Цей рівень доцільно реалізувати на базі промислових логічних контролерів. На основі аналізу кількості вхідних та вихідних дискретних та аналогових сигналів АСК, для реалізації означених функцій доцільно обрати ПЛК родини Modicon M241 виробництва компанії Schneider Electric.

Для реалізації АСК стабілізації тиску в магістралі використовується наступне обладнання:

Контролер Modikon M241 (TM241CEC24R), що призначається для високопродуктивних компактних машин. Він оснащений вбудованим портом Ethernet із функціями FTP та веб-сервера, що дозволяє легко інтегрувати архітектуру системи керування для віддаленого моніторингу та технічного обслуговування машин.

Основні характеристики:

- Оснащується вимикачем Run/Stop
- Оснащується слотом для карти пам'яті SD
- PID-регулювання
- 4 виходи контролю положення



Рисунок 3.2. – Контролер Modikon M241

Контролер Modicon M241 забезпечує високу продуктивність і можливості комунікації завдяки вбудованим функціям управління рухом і п'яти вбудованим комунікаційним портам.

Все необхідне вбудовано:

- 5 портів: Ethernet, CANopen, 2 послідовних лінії, порт USB для програмування
- Високопродуктивний процесор і картриджі розширення
- Сервери Web і FTP
- Спеціальні входи / виходи HSC / PTO
- Карта SD
- Швидка і проста конфігурація
- Функції безпеки
- Модуль пускача TeSys SoLink
- Модулі Ethernet і Profibus
- Інтуїтивне програмування за допомогою програмного забезпечення SoMachine, унікального ПО для контролерів MachineStruxure
- Загальне середовище для всіх завдань: стандартна і безпечна логіка, управління рухом і конфігурація пристроїв HMI

- Новий віконний інтерфейс дозволяє зробити програмування інтуїтивним як ніколи раніше
- Скорочення часу на розробку досягається застосуванням готових бібліотек і шаблонів
- Завантаження розробленої програми на всі пристрої за один клік
- SoMachine - одна з найсучасніших і найпотужніших завдання-орієнтованих середовищ розробки на ринку

ПЛК Modicon M241 є складовою комплексу рішень Schneider Electric по автоматизації MachineStruxure. Нове покоління MachineStruxure™ - це інтуїтивне рішення для промислової автоматизації з усіма функціями і характеристиками необхідними для створення високоефективних механізмів. MachineStruxure забезпечує численні переваги протягом усього життєвого циклу машин і механізмів, від проектування і розробки до введення в експлуатацію та обслуговування.

Переваги:

- Modicon M241 - ПЛК, що дозволяє досягти оптимальної продуктивності і збільшення економічної ефективності за допомогою:
- Інтуїтивного програмування за допомогою ПО SoMachine, готових до застосування прикладів і функціональних блоків
- Вбудованих функцій, що дозволяють проектувати і програмувати більш ефективно
- Гнучкого і масштабується управління, включаючи можливість переходу на більш продуктивні моделі ПЛК
- Простий інтеграції і управління за допомогою підключення через Ethernet, бездротовий доступ або WEB-сервер

Застосування:

- Контролери Modicon M241 для компактних високопродуктивних машин з функціями управління швидкістю переміщення і позиціонуванням.

Технічні характеристики:

Логічні контролери M241 виробляються 2 типорозмірів (Ш x В x Г):

- з 24 входами / виходами: 150x90x95 мм
- з 40 входами / виходами: 190x90x95 мм
- Входи і виходи, вбудовані в контролери M241, підключаються через знімні клемні блоки з гвинтовими роз'ємами, які поставляються разом з контролерами

- Кожен контролер M241 оснащується вимикачем Run / Stop (Пуск / Стоп)

- Кожен контролер M241 оснащується слотом для карти пам'яті SD

У слот, яким оснащений кожен контролер M241, можна вставити до 2 картриджів наступних типів:

- картриджі розширення аналогового введення або виведення
- спеціальні картриджі: для під'ємнихустройств або пакувальних машин (1)

Кожен логічний контролер M241 має QR-код для прямого доступу до технічної документації даного контролера.

Засоби зв'язку:

На логічних контролерах M241 є до 5 вбудованих портів зв'язку:

- порт Ethernet з вбудованою функцією веб-сервера
- CANopen (ведучий пристрій)
- 2 послідовних порту
- порт програмування

Вбудовані функції:

- ПІД-регулювання
- 8 входів високошвидкісних лічильників (HSC), частота 200 кГц
- 4 виходи контролю положення для:
- інтерфейс pulse / direction (P / D), імпульсний вихід CW / CCW з трапецеїдальним і S-образним профілем, частота 100 кГц
- широтно-імпульсна модуляція (ШІМ)
- генератор частоти (FG)

Тепловодолічильник Ергомера 125 призначений для технологічного обліку кількості води, стоків чи інших рідин, на промислових об'єктах та об'єктах комунальної власності. Застосовується в системах керування, контролю та вимірювання, забезпечує неперервне перетворення вимірюваних величин – теплової потужності, витрати, температури, тиску в уніфіковані токові, імпульсні сигнали в цифровий сигнал по протоколу обміну інтерфейсу RS-232 або RS-485.



Рисунок 3.3 – Тепловодолічильник Ергомера 125

Електролічильник НІК 2303 виконує вимірювання активної та реактивної енергії в прямому та зворотньому напрямках, по одному або декількома тарифам в трифазних трипровідних та чотирипровідних ланцюгах змінного току, з трансформаторним та безпосереднім підключенням по напрузі та току.



Рисунок 3.4 – Електролічильник НІК 2303

Частотний перетворювач Delta CP2000 може забезпечити декілька способів керування електродвигуном – V/F, SVC, FOC sensorless як для постійного, так и змінного режиму навантаження. Він може використовуватися для одночасного керування 8 насосами, що покращує ефективність використання обладнання та економії електроенергії.

Основні особливості:

- Модульна конструкція
- Вбудований ЖК дисплей
- Діапазон потужностей 0,75 кВт ~ 400 кВт
- Функція адаптації до зміни навантаження
- Відповідність міжнародним стандартам CE/UL/CUL



Рисунок 3.5 – Частотний перетворювач Delta CP2000

Датчик тиску MBS 1250:

- Унікальна тонкоплівкова технологія
- Діапазон вимірювання від 0 – 10 до 0 – 3000 бар
- Вбудований демпфер для захисту від гідроударів та пульсацій тиску
- Для середовищ з температурою до 125°C



Рисунок 3.6 – Датчик тиску MBS 1250

Для забезпечення створення інформаційної структури АСК стабілізації тиску в магістралі необхідно привести типи з'єднань та типи мережевих кабелів, що використовуються:

Ethernet TCP/IP 100Base-TX – використовується для зв'язку з іншими ПЛК, індустріальними ПК та робочими станціями технологічного персоналу по мережі Ethernet.



Рисунок 3.7 – Кабель UTP з роз'ємом 8P8C

Кабель UTP з роз'ємом 8P8C, який використовується в Ethernet-мережах стандартів 10BASE-T, 100BASE-T (x) і 1000BASE-T (x).

Modbus – відкритий комунікаційний протокол, заснований на архітектурі провідний-ведений (master-slave). Широко застосовується в промисловості для організації зв'язку між електронними пристроями. Може використовуватися для передачі даних через послідовні лінії зв'язку RS-485, RS-422, RS-232, і мережі TCP / IP (Modbus TCP). Також існують нестандартні реалізації, що використовують UDP.

Продуктивність насосу визначає реле РПН-1М

Воно складається з двох основних частин корпусу і плати, сполучених між собою болтами. При обтіканні прапорця потоком рідини повертається жорстко пов'язаний з ним валик. На рис.3.8 представлений загальний вигляд реле продуктивності насоса РПН-1М.



Рисунок 3.8 – Загальний вид реле продуктивності насоса РПН-1М.

Закріплений на валику кронштейн передає зусилля потоку. Пружинка створює проти зусилля і повертає прапорець з магнітом у вихідне положення при зникненні потоку. Напруга пружини регулюється гвинтом.

Реле тиску РТВ-1М

Для контролю заливки головного насоса застосовується реле тиску РДВ в рудниковому нормальному виконанні. Чутливим елементом реле є діафрагма, яка сприймає тиск стовпа води. Через шток тиск передається на штир мікроперемикача, який виробляє відповідні перемикання в схемі. Повернення штока і мікроперемикача в початкове положення здійснюється пружиною

Призначене для включення-відключення електронасоса, в автоматичному режимі. За допомогою доступних регулюючих елементів встановлюється необхідний рівень нижнього і верхнього тиску для включення і виключення електронасоса. При викачуванні електронасосом води з джерела, реле тиску автоматично відключає електронасос.

Основні технічні характеристики:

1. Тиск включення, атм	0,5÷2,0
2. Тиск відключення, атм	1,0÷5,0
3. Тиск аварійного відключення, атм	ниже 0,2
4. Максимальний коммутуємий струм, А	10
5. Клас захисту	1

Чутливим елементом реле тиску є діафрагма. Реле має два дискретні рівні регулювання по тиску. Це здійснюється за допомогою малого і великого «поршнів» що аналогічно зменшенню або збільшенню діафрагми. Сила тиску стовпа води сприймається діафрагмою і передається через поршень на шток, який впливає на кронштейн з магнітом. Попереднє натягнення пружини, необхідне для подолання сил тертя і чіткого відключення, регулюється гвинтом.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Моделювання САК насосної установки у середовищі Matlab

Для моделювання системи управління насосної установки скористаємося додатком SIMULINK пакета прикладного програмного забезпечення MATLAB.

Слід відзначити той факт, що при реальних умовах роботи пуск насосної установки, зміна тиску в споживчій мережі, не відбувається стрибкоподібно, а досить плавно і тривало. Метою даного розділу є дослідження роботи установки в критичних режимах роботи, перевірка правильності синтезу регулятора. Дослідження перехідних процесів в системі стабілізації тиску проводимо з використанням спрощеної моделі і урахуванням постійної часу насоса. Для дослідження динаміки системи в додатку Simulink розроблена модель насосної установки, що дозволяє проводити моделювання з урахуванням і без урахування обмежень регулятора тиску і з можливістю подачі на вхід системи завдання різного виду. Схема моделі САУ насосної установки приведена на рис. 4.1.

Проаналізуємо дану систему в наступних режимах без обмеження регулятора тиску і з обмеженням:

- Пуск стрибком на холостому ходу ($M_C = 0$);
- Наброс навантаження, що дорівнює $M_C = 0,9 \cdot M_H = 0,9 \cdot 707 = 636,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$
- Плавний пуск від задатчика інтенсивністю та набросу навантаження;

В даному дипломному проекті прийнято, що вплив гидросети на АД учитивається ступінчастим характером наброса M_C . Так як параметри гидросети залежать від конкретної конфігурації і зазвичай забезпечують плавне наростання M_C , то цей випадок є найбільш важким.

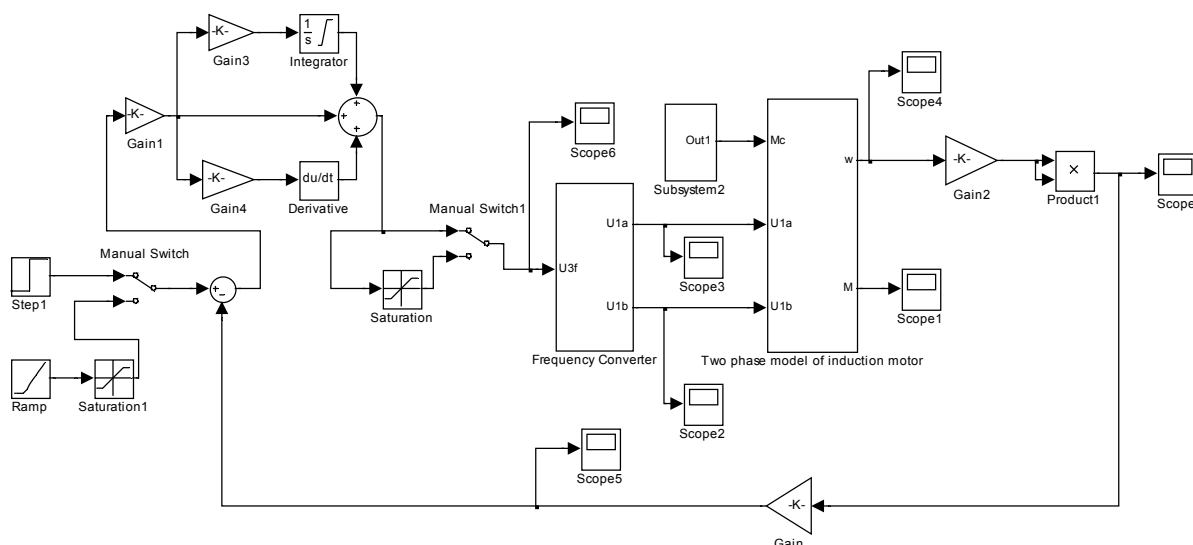


Рисунок 4.1 – Схема моделі САК насосної установки

Облік обмеження здійснюється за допомогою блоку Saturation. Тобто для випадку з обмеженням рівень обмеження виставляється на рівень 20.

Переалючачелем Manual Switch-1 комутується режим: вхідний сигнал: стрибок - задатчик інтенсивності (лінійне зростання сигналу до заданого рівня); Manual Switch-2 включає режим обмеження; Manual Switch-3 здійснює наброс навантаження.

Модель системи складена з окремих блоків. Кожен блок реалізує певний елемент структурної схеми. Модель містить і інші компоненти, призначені для забезпечення працездатності та візуалізації результатів моделювання.

Графік перехідних процесів зміни тиску, при реакції на вхідний стрибок без врахування обмежень на виході регулятора тиску наведені на рис.4.2-4.6. Графіки зміни струму фаз на рис.4.7, 4.8.

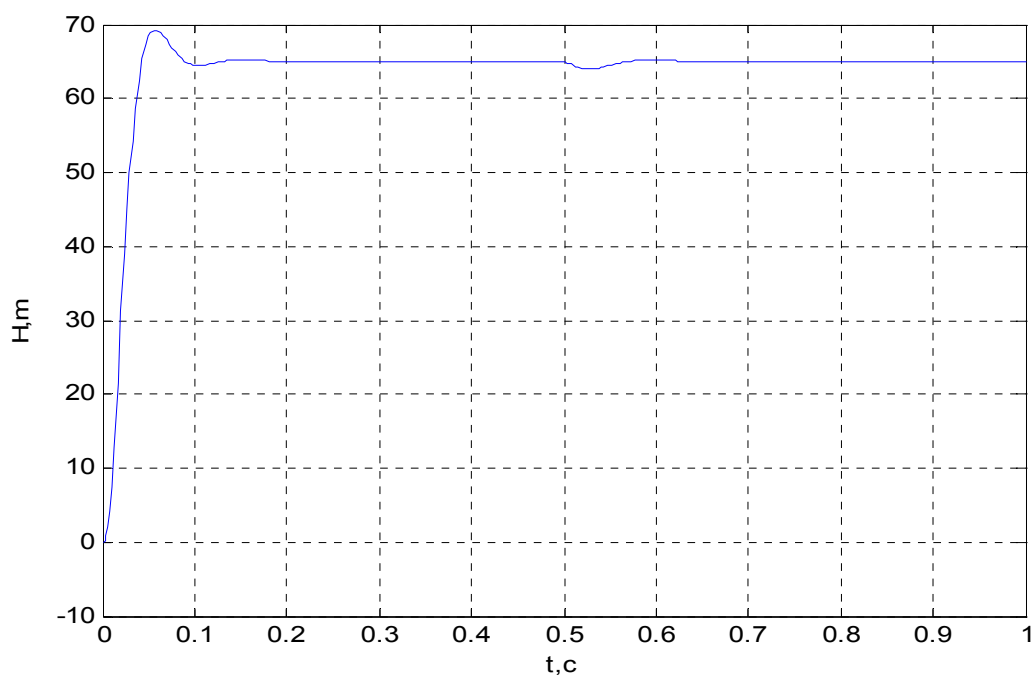


Рисунок 4.2 – Графік перехідного процесу зміни тиску, при реакції на стрибок сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і накинув навантаження

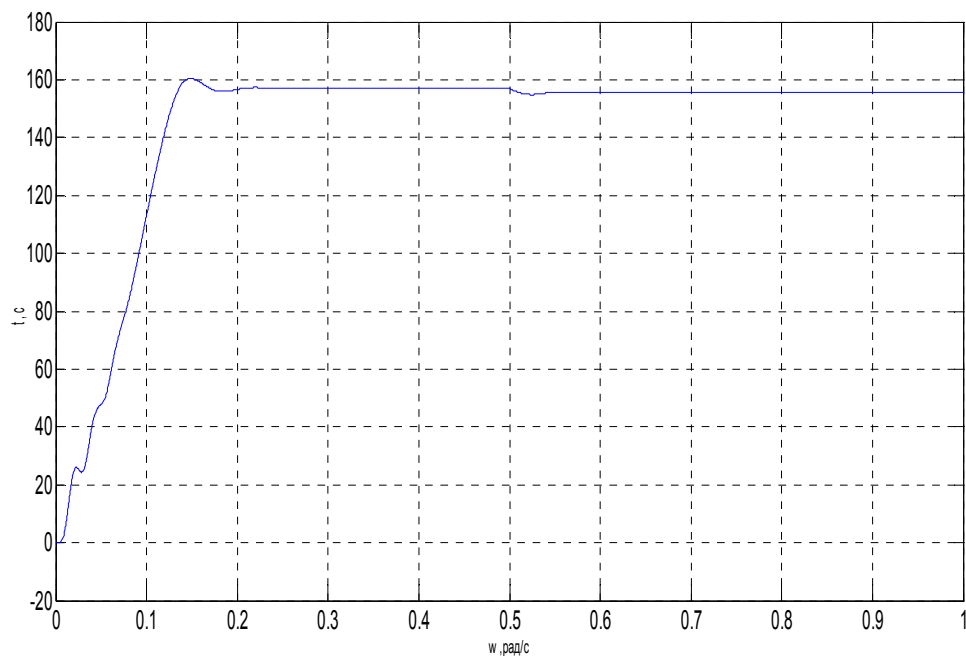


Рисунок 4.3 – Графік перехідного процесу зміни швидкості, при реакції на стрибок сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і накид навантаження

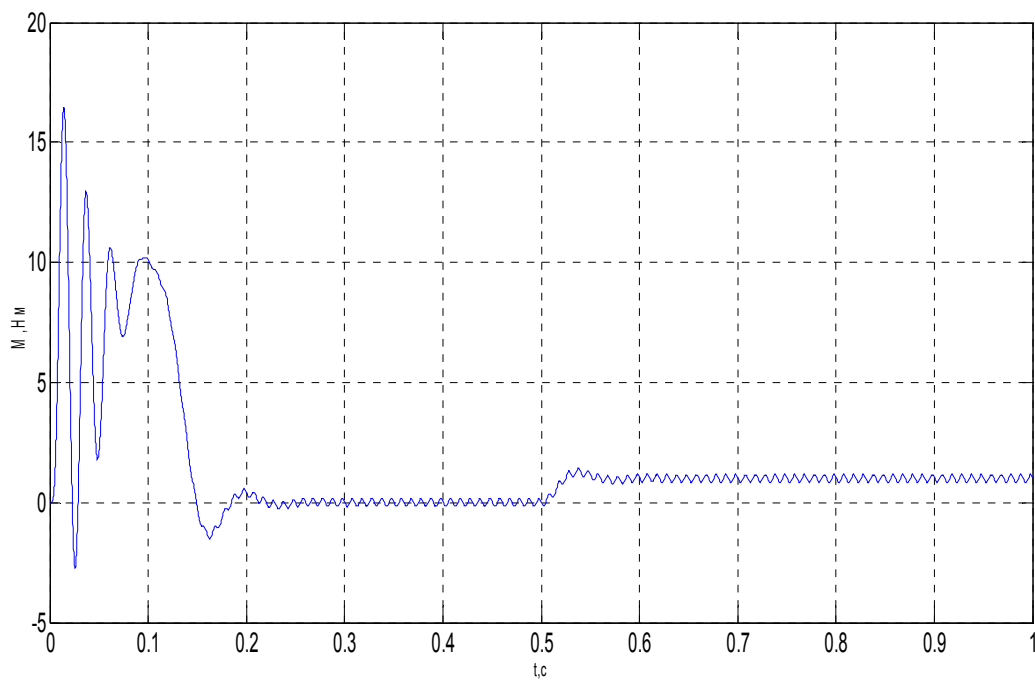


Рисунок 4.4 – Графік перехідного процесу зміни швидкості, при реакції на стрибок сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і накид навантаження

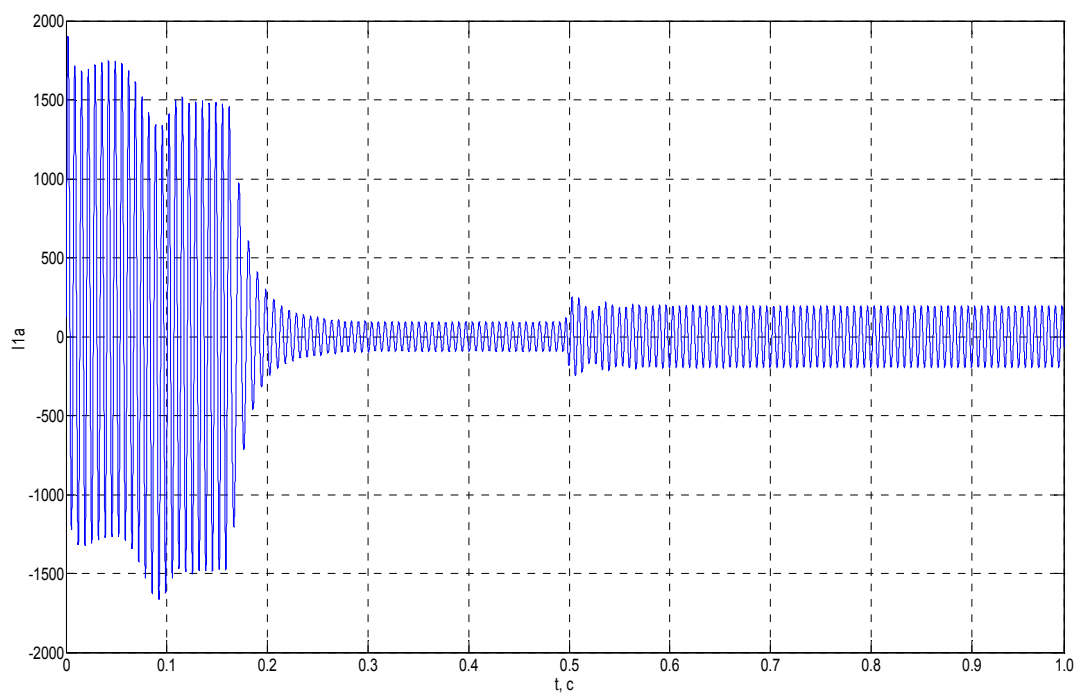


Рисунок 4.5 – Графік зміни струму фази ІІа, при реакції на стрибок сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і накид навантаження

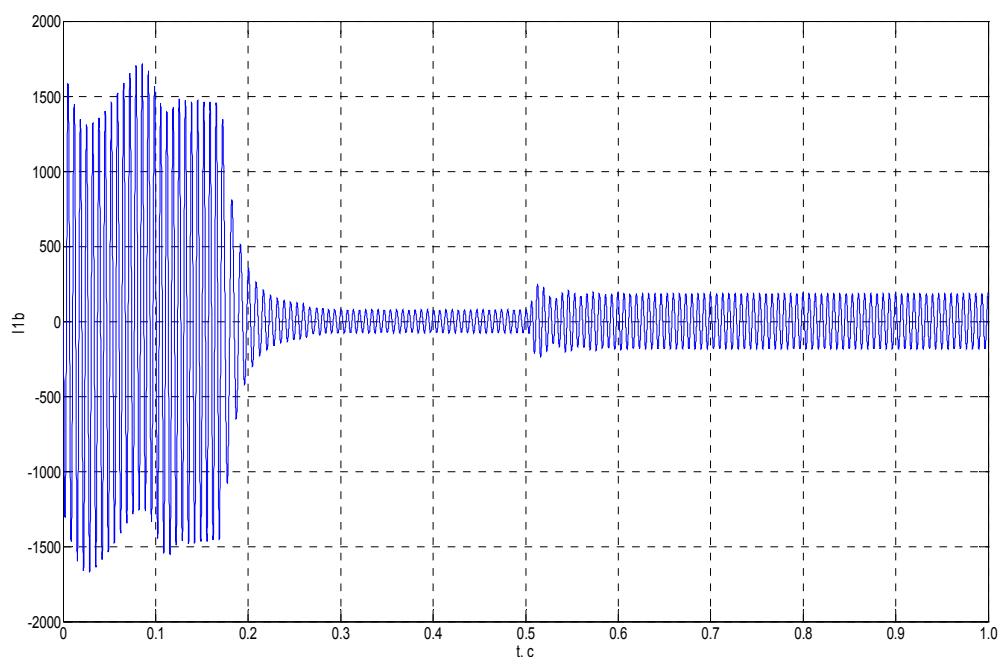


Рисунок 4.6 – Графік зміни струму фази I_{1b} , при реакції на стрибок сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і накид навантаження

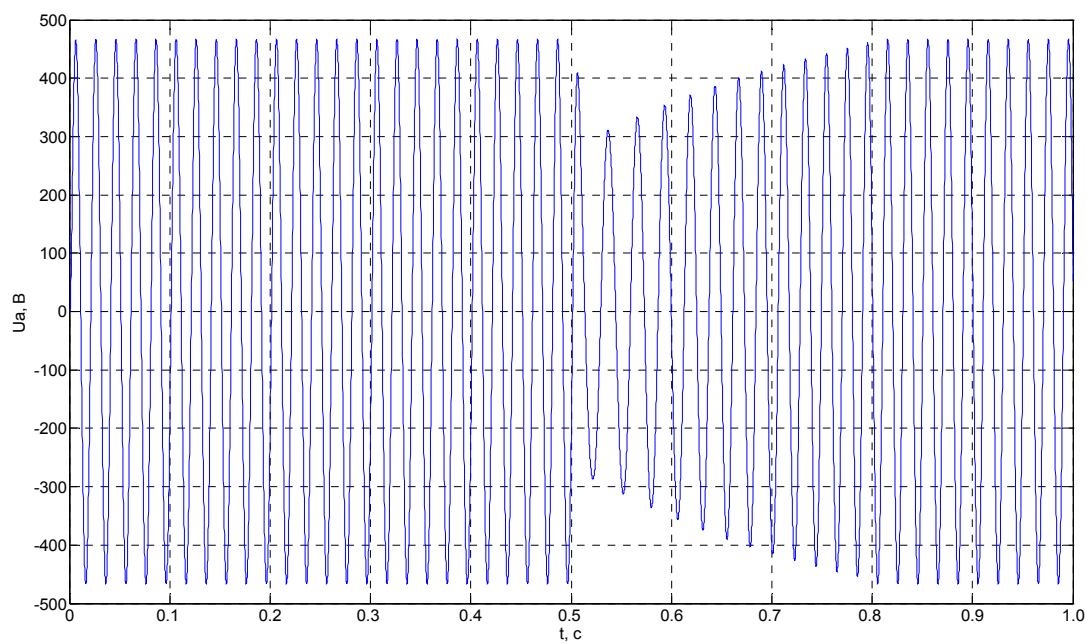


Рисунок 4.7 – Графік зміни напруги фази U_{1a} , при реакції на стрибок сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і накид навантаження

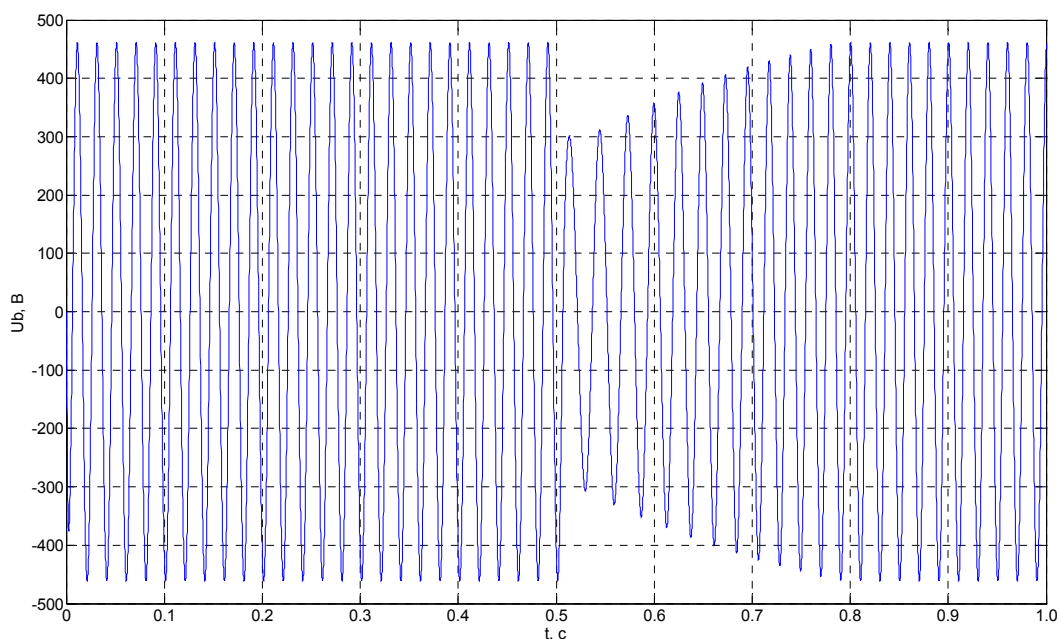


Рисунок 4.8 – Графік зміни напруги фази U1b, при реакції на стрибок сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і накид навантаження

Основні показники якості перехідних процесів:

При $t = 0$ – був проведений пуск двигуна на холостому ході

При $t = 0,5 \text{ c}$ – наброс навантаження.

Час перехідного процесу: $t_{\text{в.і}} = 0,08 \text{ c}$

Перерегулювання:

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

Динамічне падіння швидкості при при набиранні навантаження:

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

Час відновлення тиску: $t_{\text{а.н}} = 0,7 \text{ c}$.

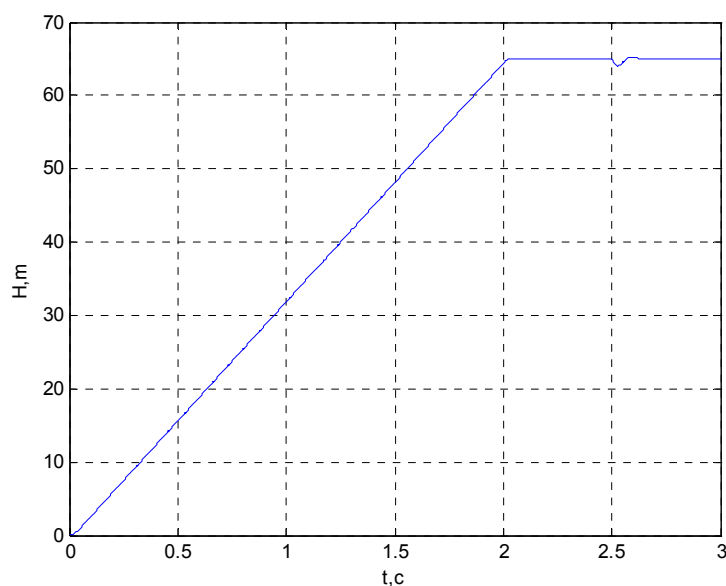


Рисунок 4.9 – Графік перехідного процесу зміни тиску, при реакції на плавне наростання сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і накид навантаження.

Спроектована система являє собою одноконтурну систему управління, з одним зовнішнім контуром - контуром тиску.

Регулятор тиску реалізуємо за допомогою програмного універсального ПІД-регулятора, вбудованого в перетворювач частоти. Перевіркою результатів синтезу регулятора буде моделювання системи в пакеті MATLAB.

4.2 Дослідження динамічних режимів роботи САК

Виконаємо дослідження режимів роботи САК стабілізації тиску в магістралі за допомогою середовища MATLAB.

Використовуючи Matlab побудуємо перехідний процес за сигналом завдання для даної системи (рис. 4.10):

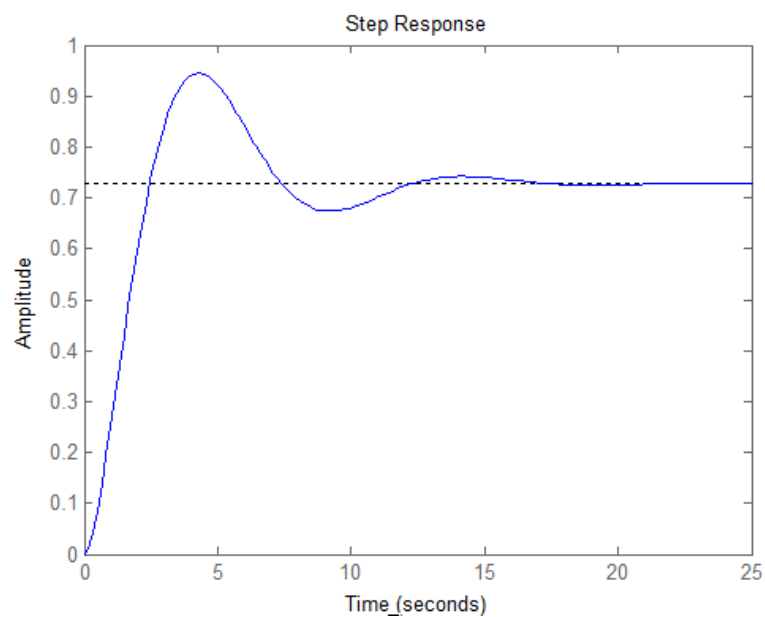
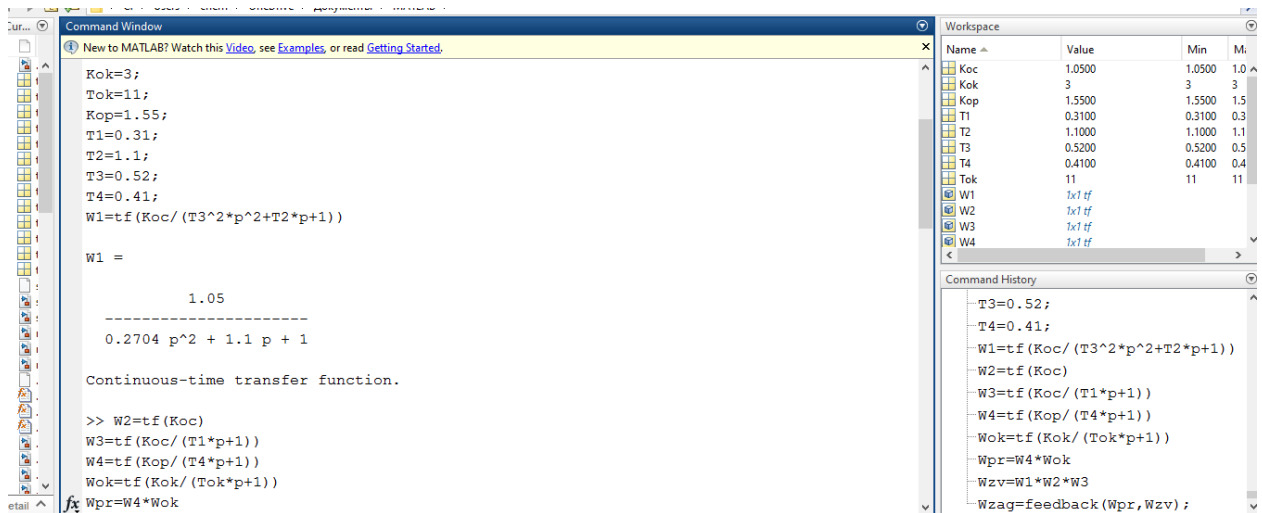


Рисунок 4.10 – Перехідний процес в Matlab

Система автоматичного керування є стійкою, якщо амплітудно-фазова характеристика $W_p(j\omega)$ розімкненого контуру не охоплює точку з координатами $(-1, j\cdot 0)$.

Дослідження стійкості виконаємо за частотним критерієм Найквіста:

```
>> nyquist(Wroz)
```

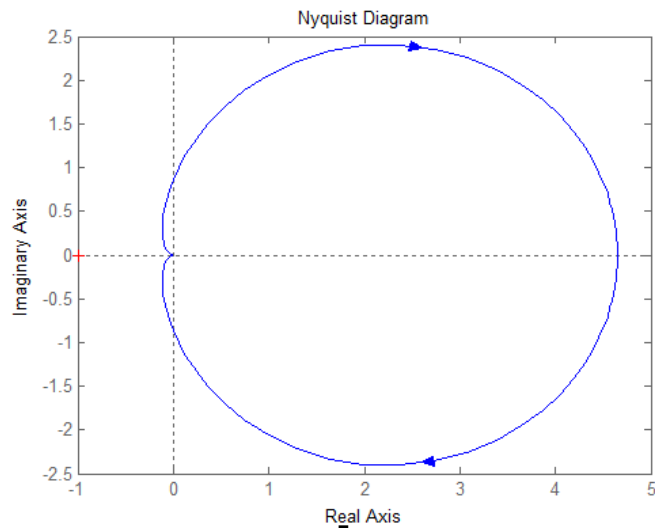


Рисунок 4.11 – АФХ розімкнутого контуру.

Отже, за АФХ система є стійкою.

Побудова частотних характеристик розімкнутої та замкнутої системи

Розрахуємо запаси стійкості за амплітудою та за фазою в Matlab:

>> bode(Wroz)

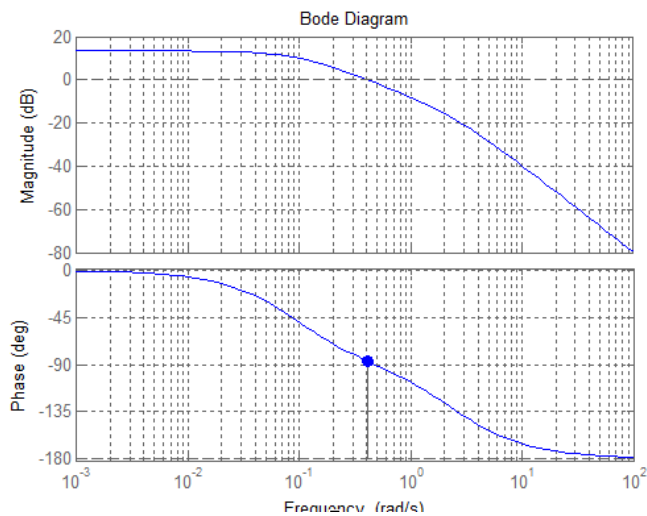


Рисунок 4.12 – Запаси стійкості по ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкненого контуру

Побудуємо частотні характеристики замкнутої системи.

>>bode (Wzag)

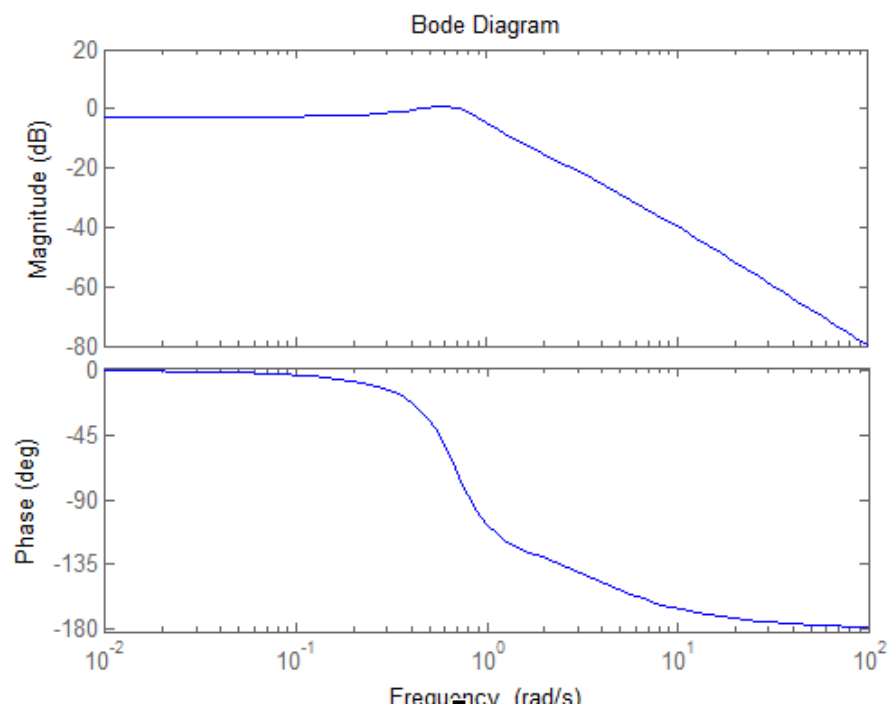


Рисунок 4.13 – ЛАЧХ та ЛФЧХ замкнутої системи

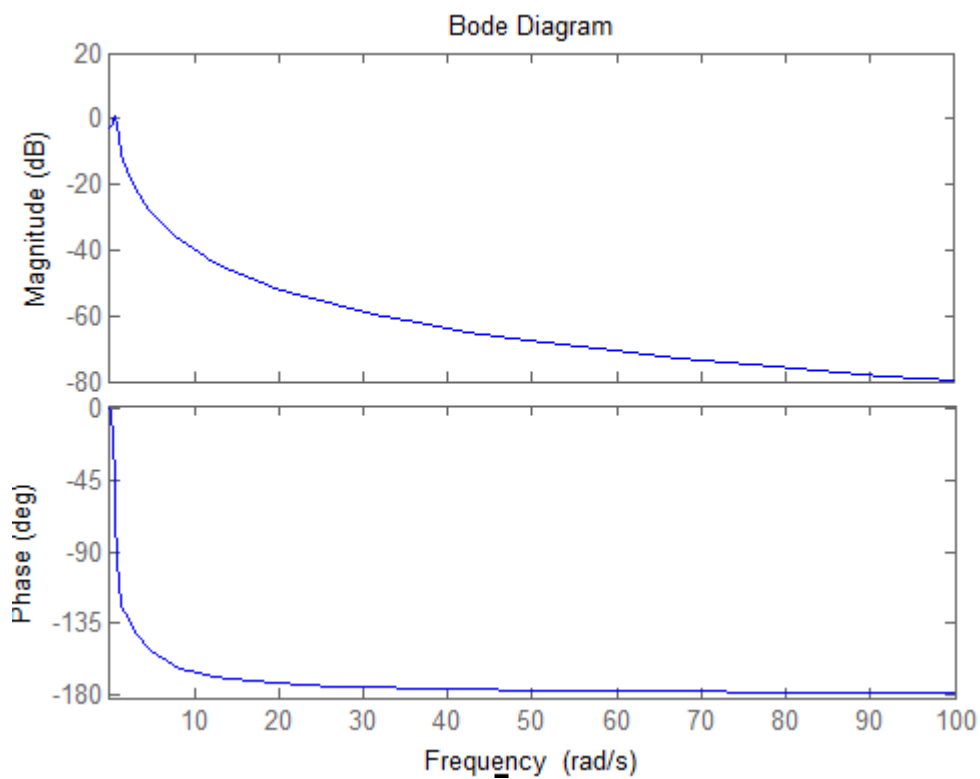


Рисунок 4.14 – АЧХ та ФЧХ замкнутої системи

```
>>nyquist(Wzag)
```

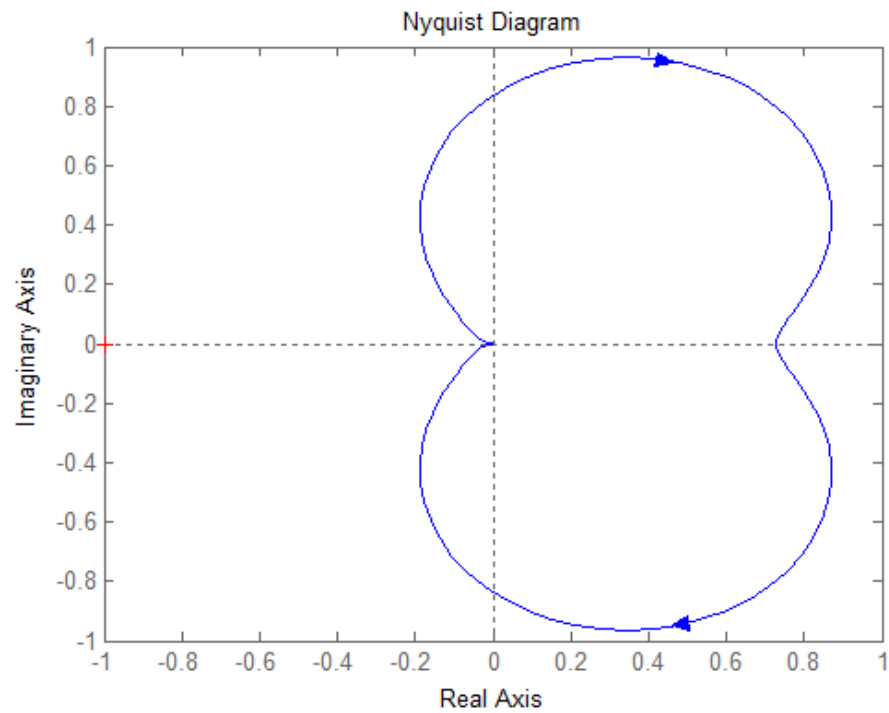


Рисунок 4.15 – АФХ замкнутого контуру

Побудуємо частотні характеристики розімкненої системи.

>>bode (Wroz)

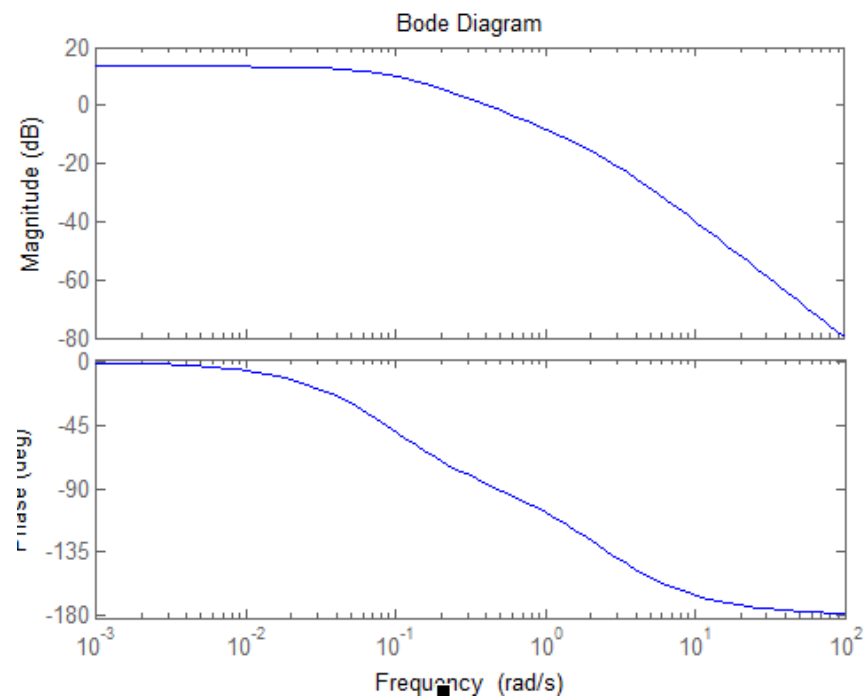


Рисунок 4.16 – ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкненої системи

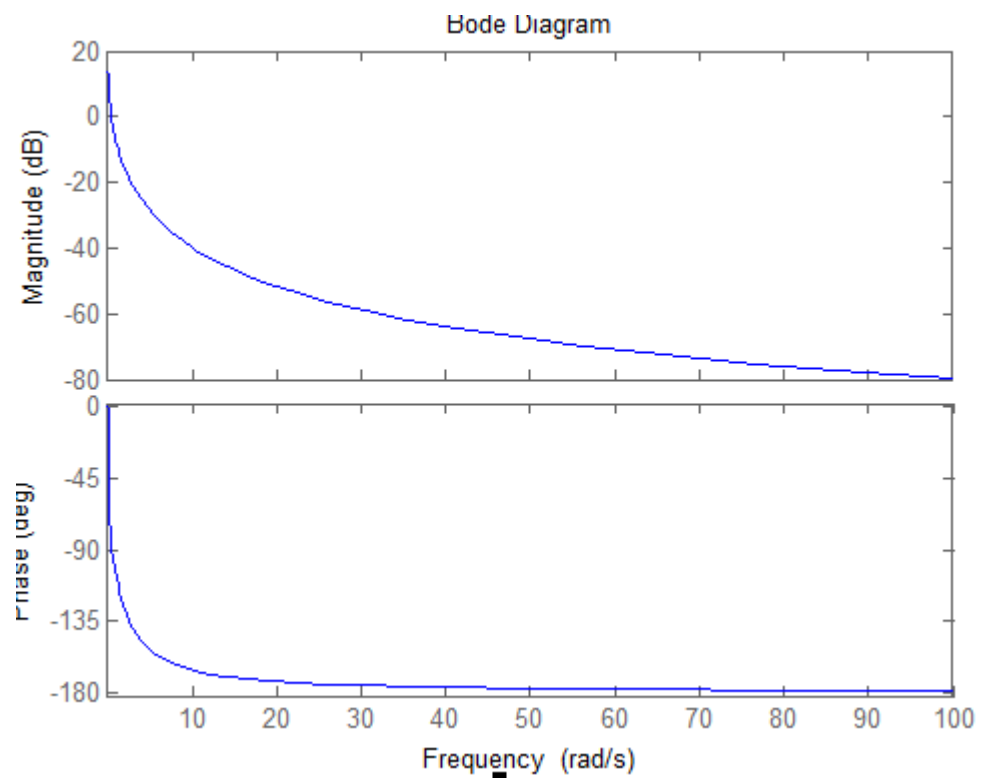


Рисунок 4.17 – АЧХ та ФЧХ розімкнутої системи

>>nyquist(Wroz)

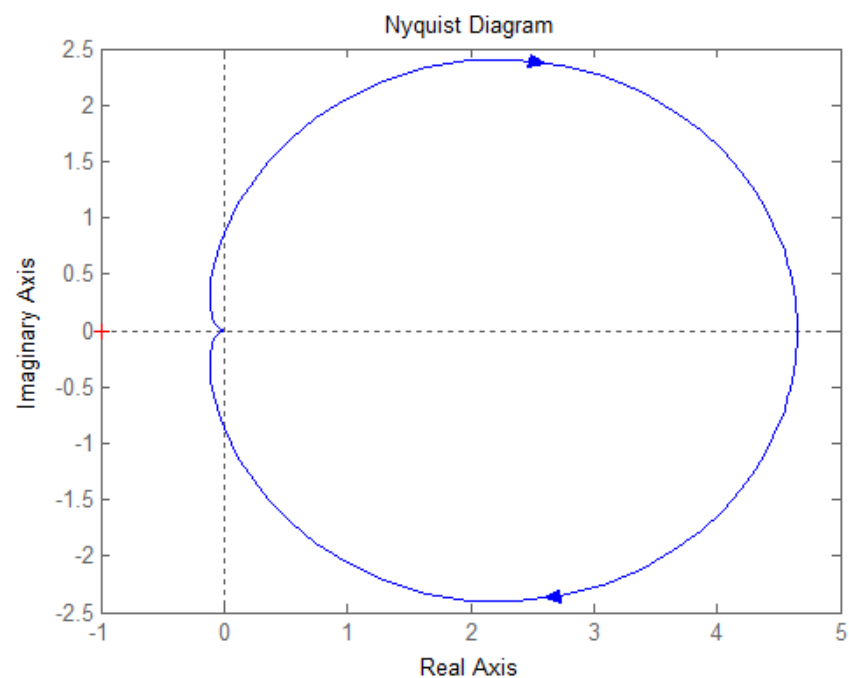


Рисунок 4.18 – АФХ розімкнутої системи

Визначення прямих показників якості САК

Для характеристики перехідного режиму найбільшого поширення мають такі показники якості: час перехідного процесу, перерегулювання, коливальність.

1. Перерегулювання – максимальне відхилення $y_{\max}$ керованої величини від нового заданого значення в бік, протилежний від початкового значення. У тих випадках, коли керована величина наближається до нового значення тільки з одного боку перерегулювання відсутнє.

2. Час перехідного процесу характеризує швидкодію системи.

Визначається як інтервал часу від початку перехідного процесу до моменту, коли відхилення вихідної величини від її нового сталого значення стає менше певної досить малої величини. Зазвичай це п'ять відсотків.

Час перехідного процесу-негативний час, при якому перехідний процес по вихідній координаті досягає 5% зони від стійкого значення.

Якість САР визначається наступними прямими показниками:

1) σ - перерегулювання, визначається за виразом:

$$\sigma\% = \frac{|y_{\max} - y_{уст}|}{y_{уст}} \cdot 100\%$$

2) t_p - час регулювання - час, по закінченні якого відхилення $h(t)$ перехідної характеристики від сталого значення $y_{уст}$ стає й залишається менше заданої величини $\Delta=0.05$ від $y_{уст}$.

За перехідною характеристикою $h(t)$ замкнутої системи можна визначити прямі показники якості.

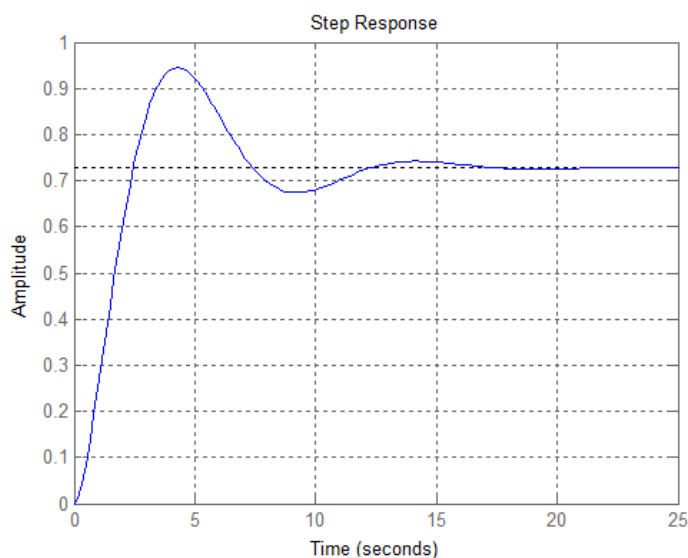


Рисунок 4.19 – Перхідний процес замкнутої системи

$$\text{Перерегулювання } \sigma\% = \frac{|0.94 - 0.73|}{0.73} \cdot 100\% = 28.7\%$$

Показники якості можна визначити у пакеті Matlab, за допомогою функції «stepinfo»:

```
>> stepinfo(Wzag)
```

```
stepinfo(Wzag)
```

RiseTime: 1.7436 – час наростання;

SettlingTime: 11.5629 – час устанавлення;

SettlingMin: 0.6739 - мінімальне значення перехідного процесу;

SettlingMax: 0.9447 - максимальне відхилення від усталеного значення;

PeakTime: 4.2950 – час першого максимуму.

4.3 Контур стабілізації напору

Основним завданням системи є стабілізація напору в точці водогону. Вони широко використовуються застосування на практиці з метою

енергозбереження. Однак, все ще недостатньо вивченим залишається питання вибору типу та параметрів регулятора.

Насос можна описати наступною математичною моделлю

$$\frac{m}{p \cdot g} \cdot \frac{dQ}{dt} = S^2 \cdot H_{ге} - S^2 \cdot (a + a_{\phi}) \cdot Q^2 + \frac{S^2 \cdot H_{он}}{i_n^2 \cdot \omega_n^2} \cdot \omega_d^2,$$

$$H = \frac{S^2 \cdot H_{он}}{i_n^2 \cdot \omega_n^2} \cdot \omega_d^2 - S^2 \cdot a_{\phi} \cdot Q^2$$

де m – маса води в трубопроводі; p – густина води; Q – витрати; S – площа перерізу труби; H – напір; $H_{ге}$ – висота підйому води в трубопроводі; a – гідравлічний опір мережі; a_{ϕ} – гідравлічний опір насоса; i_n – коефіцієнт передачі; ω_d – швидкість двигуна; ω_n – номінальна швидкість насоса; $H_{он}$ – напір при нульових витратах; g – прискорення вільного падіння.

Виконавши перетворення отримаємо рівняння динаміки напору насоса

$$\frac{m}{2 \cdot p \cdot g \cdot S^2 \cdot a_{\phi}} \cdot \frac{dH}{dt} = \frac{m \cdot H_{он}}{p \cdot g \cdot i_n \cdot \omega_n^2 \cdot a_{\phi}} \cdot \omega_d \cdot \frac{d\omega_d}{dt} - S^2 \cdot H_{ге} \cdot Q -$$

$$- \frac{S^2 \cdot H_{он}}{i_n \cdot \omega_n^2} \cdot \left(\frac{a + a_{\phi}}{a_{\phi}} - 1 \right) \cdot \omega_d^2 \cdot Q$$

Динаміку напору в приростах можна подати у наступному вигляді

$$T_{н1} \cdot p \cdot \Delta H + \Delta H = K_{н1} \cdot (T_{\omega} \cdot p + 1) \cdot \Delta \omega_d - K_Q \cdot \Delta Q - K_{ге} \cdot \Delta H_{ге},$$

$$\text{де } T_{н1} = \frac{m}{2 \cdot p \cdot g \cdot S^2 \cdot a_{\phi}} \cdot \frac{a_{\phi}}{(a + a_{\phi}) \cdot Q};$$

$$K_{н1} = \frac{a_{\phi}}{(a + a_{\phi}) \cdot Q} \cdot \frac{2 \cdot S^2 \cdot H_{он}}{i_n \cdot \omega_n^2} \cdot \frac{a}{a_{\phi}} \cdot \omega_d \cdot Q;$$

$$T_{\omega} = \frac{m \cdot H_{он} \cdot \omega_d}{p \cdot g \cdot i_n^2 \cdot \omega_n^2 \cdot a_{\phi}} \cdot \frac{i_n^2 \cdot \omega_n^2 \cdot a_{\phi}}{2 \cdot S^2 \cdot H_{он} \cdot a \cdot \omega_d \cdot Q}; \quad K_{ге} = S^2 \cdot \frac{a_{\phi}}{a + a_{\phi}};$$

$$K_Q = \frac{a_{\phi}}{(a + a_{\phi}) \cdot Q} \left(S^2 \cdot H_{ге} + \frac{a + a_{\phi}}{a_{\phi}} \cdot H - \frac{S^2 \cdot H_{он}}{i_n^2 \cdot \omega_n^2} \cdot \frac{a}{a_{\phi}} \cdot \omega_d^2 \right).$$

Структурну схему підсистеми стабілізації напору у випадку замкнутого контуру керування швидкістю АД подано на рис.3.20, де K_{ω} – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю; T_v – стала часу контуру швидкості.

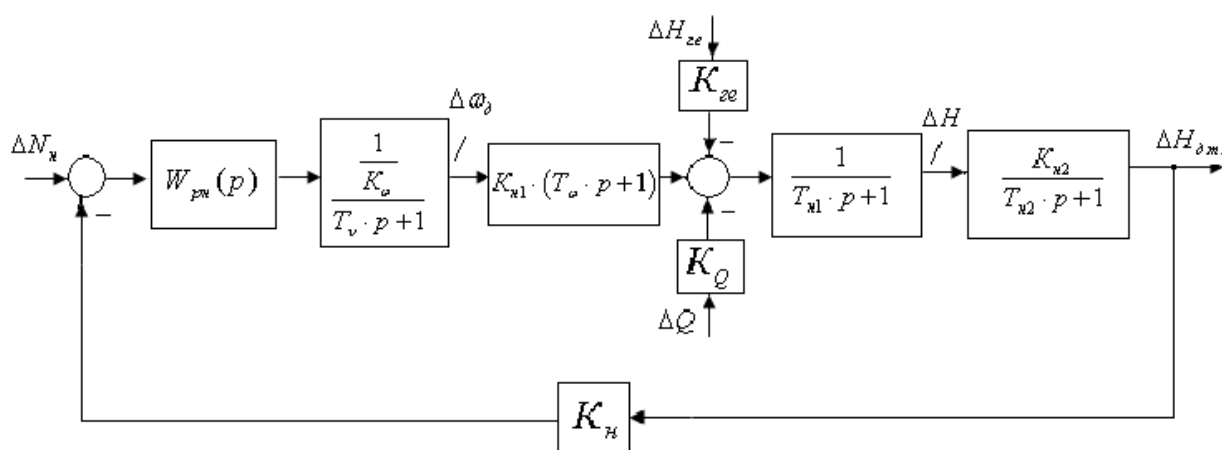


Рисунок 4.20 – Структурна схема контуру стабілізації напору води

Однак на даній схемі враховується дискретність регулятора напору. Синтез проводився, як для неперервної системи. Період квантування був обраний таким, щоб дана система вважалась неперервною.

За допомогою аперіодичної ланки $\frac{K_{н2}}{T_{н2} \cdot p + 1}$ проводимо апроксимацію транспортного запізнювання та втрати в мережі при постачанні води від насоса до точки водогону.

Прирости ΔQ та $\Delta H_{ге}$ було розглянуто як незалежні збурюючі діяння і тому при синтезі регулятора вони не враховуються. За наступним виразом можна знайти коефіцієнт зворотного зв'язку за напором води

$$K_n = \frac{N_{н.мах}}{H_{д.т.мах}},$$

де $N_{н.мах}$ - максимальне значення завдання напору; $H_{д.т.мах}$ - максимальне значення напору в точці водогону.

Налаштувавши контур на модульний оптимум отримали рівняння

$$W_{бaj}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_v \cdot p (T_v \cdot p + 1)}.$$

$$W_{рн}(p) = \frac{W_{бaj}(p)}{W_{роз}(p)} = \frac{K_\omega \cdot (T_{н1} \cdot p + 1) \cdot (T_{н2} \cdot p + 1)}{2 \cdot T_v \cdot p \cdot K_{н1} \cdot (T_\omega \cdot p + 1) \cdot K_{н2} \cdot K_n}.$$

Отже було отримано послідовне з'єднання аперіодичного фільтру та ПІД-регулятора.

Оскільки $T_{H2} \gg T_{H1}$ і $T_{H2} \gg T_{\omega}$, то останнє рівняння спроститься до вигляду:

$$W_{PH}(p) = \frac{K_{\omega} \cdot (T_{H2} \cdot p + 1)}{2 \cdot T_v \cdot K_{H1} \cdot K_{H2} \cdot K_H} = \frac{K_{\omega} \cdot T_{H2}}{2 \cdot T_v \cdot K_{H1} \cdot K_{H2} \cdot K_H} +$$

$$+ \frac{K_{\omega}}{2 \cdot T_v \cdot K_{H1} \cdot K_{H2} \cdot K_H \cdot p} = K_1 + K_2 \cdot \frac{1}{p},$$

$$\text{де } K_1 = \frac{K_{\omega} \cdot T_{H2}}{2 \cdot T_v \cdot K_{H1} \cdot K_{H2} \cdot K_H}; K_2 = \frac{K_{\omega}}{2 \cdot T_v \cdot K_{H1} \cdot K_{H2} \cdot K_H}.$$

В результаті було отримано ПІ-регулятор. Провівши Z-перетворення передавальної функції регулятора

$$W(z) = z \left\{ K_1 + K_2 \cdot \frac{1}{p} \right\} = z \{ K_1 \} + z \left\{ K_2 \cdot \frac{1}{p} \right\} = K_1 + K_2 \cdot \frac{T_0}{z-1}.$$

На рис.3.21 показано результати моделювання, яким чином відпрацьовується в даному контурі стабілізації напору води приросту стрибка сигналу задавального діяння та зміни збурюючого діяння ΔQ .

Моделювання проведено для насосу і привідного двигун $P_{ном}=18,5\text{кВт}$, $n = 3000 \text{ об/хв}$, $\mu = 88.5\%$. При моделюванні прийнято $K_{H2} = 0.2216$; $T_{H2} = 1.4994$; $K_H = 30.12$.

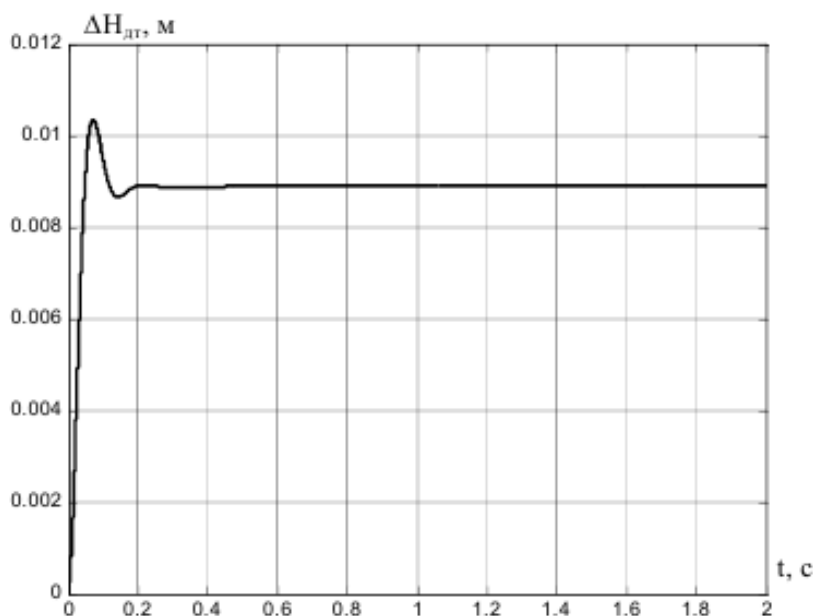


Рисунок 4.21 – Графік перехідного процесу в контурі стабілізації

Отже, система забезпечує задану якість керування

4.4 Технічна реалізація САК

Насосна установка (рис.4.22) має в своєму складі насосний агрегат, резервуари, трубопроводи, контрольно-вимірювальні прилади і арматури.

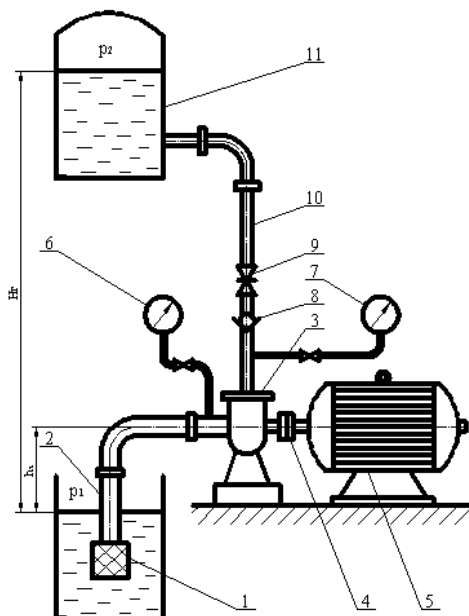


Рисунок 4.22 – Схема насосної установки:

1 – приймальний клапан із сіткою; 2 – всмоктувальний трубопровід; 3 – насос; 4 – муфта; 5 – електродвигун; 6 – вакуумметр; 7 – манометр; 8 – зворотнього клапан; 9 – Задвижка регулююча; 10 – напірний Трубопровід; 11 – напірний резервуар; H_g – геометрична висота; h_v – висота всмоктування насоса; p_1 , p_2 – абсолютні або надлишкові тиски на поверхні

Насосна установка, як правило, складається з різних систем: гідравлічної системи, системи електропостачання, системи автоматики та ін.

Гідравлічна система являє собою сукупність баків, трубопроводів, насосів, контрольно-вимірювальної і пускорегулювальної апаратури і призначена для виконання певних функцій.

Система енергопостачання насосної установки забезпечує електричний зв'язок з енергосистемою і забезпечує безперервне постачання всіх споживачів насосної установки електроенергією.

Система автоматики забезпечує дистанційне керування насосною установкою, системою енергопостачання і т. д.

Розберемо один з можливих варіантів технічної реалізації системи управління установкою.

Електропостачання насосної станції НС здійснюється від трансформаторної підстанції КТП. Електроенергія надходить на розподільчий пристрій РУ, до якого підключено силове електрообладнання. Тут же розміщені первинні апарати для засобів обліку споживаної електроенергії.

Силове електрообладнання розміщено в електрощитовій НС. Воно містить: силові шафи управління СШУ, перетворювач частоти ПЧ і, при необхідності, компенсатор реактивної потужності КРМ. Силовий шафа управління містить комутаційний апарат, за допомогою якого здійснюється комутація харчування електроприводу М відцентрового насоса Н або до виходу ПЧ, або до секції РУ.

У машинному залі НС розміщено основне і допоміжне обладнання НС. Основне обладнання включає насоси Н1, Н2, Н3 електроприводи М1, М2, М3. До складу допоміжного обладнання можуть входити: дренажні, пожежні, вакуум-насоси; засувки (основною функцією яких є зовсім не регулювання тиску в трубопроводі, а забезпечення умов нормального пуску насоса). До додаткового обладнання також відносять зворотні клапани або вентилі, що запобігають зворотне переміщення рідини крізь насос при його відключенні; вентилятори; обігрівачі та інше допоміжне обладнання. Управління ним здійснюється за допомогою виконавчих механізмів ВМ1, ВМ2.

Датчики вихідного тиску в трубопроводі забезпечують систему управління вхідною інформацією, на підставі якої приймається рішення про зміну вихідного впливу.

Сигнали управління та вимірювальні сигнали від обладнання НС збираються в шафі управління ШУ. Тут же відбувається їх об'єднання в одну загальну інформаційну лінію зв'язку, яка підключається до технологічного контролера ТК.

Технологічний контролер реалізує загальний алгоритм управління НС та обмін інформацією з автоматизованою системою управління технологічним комплексом АСУ ТК. Система телеметрії забезпечує передачу на пульт диспетчера параметрів стану станції, сигналів виникнення аварійної ситуації та прийом команд управління з пульта диспетчера. В якості інформаційного каналу можуть використовуватися різні мережі передачі даних - від телефонної мережі до радіоканалу і каналів зв'язку місцевих операторів мережі GSM.

Програмне забезпечення ТК містить ряд функціональних блоків, реалізованих на програмному рівні:

- управління основною насосною установкою.
- управління додаткової насосної установкою, наприклад пожежними насосами.
- управління дренажними насосами.
- вимір і обробка параметрів обладнання НС.
- управління опаленням і вентиляцією приміщень НС.
- здійснення функцій охорони від несанкціонованого проникнення сторонніх осіб на територію НС.
- обслуговування локального терміналу.
- передача інформації про параметри і режими роботи устаткування НС на АСК ТК і обробка сигналів управління, одержуваних від неї.

Основною ланкою які беруть участь в перетворенні енергії для приводу насоса є перетворювач частоти.

Перетворювач частоти служить для плавного розгону і гальмування насосного агрегату, а також для регулювання швидкості його обертання під час роботи. Розглянемо детально його склад

Схема складається з наступних компонентів.

- Елементи L1..L3 і C1..C3 представляють собою мережевий фільтр.
- Далі слід некерований випрямляч на діодах VD1 ... VD6, шунтуватися конденсаторами C1 ... C3 для обмеження похідною напруги на діодах.
- Конденсатори C7..C8 включені в схему для замикання змінної складової напруги ланки постійного струму на землю, а також для придушення радіоперешкод.
- електролітичні конденсатори C9 і C10 необхідні для захисту транзисторів автономного інвертора від перенапруг.
- Світлодіод VD7 необхідний для індикації наявності заряду на ємностях силових ланцюгів перетворювача.
- Автономний інвертор напруги на транзисторах VT1..VT12, шунтуватися діодами VD8..VD19.
- Трансформатори струму ТА1..ТА3 використовуються для закладу зворотного зв'язку по струму у внутрішній системі управління перетворювачем.
- Осередок BJ1 виконує функцію датчика струму ланки постійного струму.

Для того, щоб перетворювач працював з підключеним до нього двигуном так як це потрібно, необхідно зробити відповідні налаштування, а саме поставити відповідним параметрам необхідні значення.

У системі електроприводу будуть використовуватися такі можливості перетворювача.

1. Функція енергозберігаючого управління.
2. Вбудований ПІД регулятор для регулювання тиску.
3. Функції багатофункціональних входів і виходів для завдання тиску і завдань автоматики.

Силове електрообладнання розміщено в електрощитовій НС. Воно містить: силові шафи управління СШУ, перетворювач частоти ПЧ і, при необхідності, компенсатор реактивної потужності КРП. Силовий шафа

управління містить комутаційний апарат, за допомогою якого здійснюється комутація живлення електроприводу М відцентрового насоса Н або до виходу ПЧ, або до секції РУ.

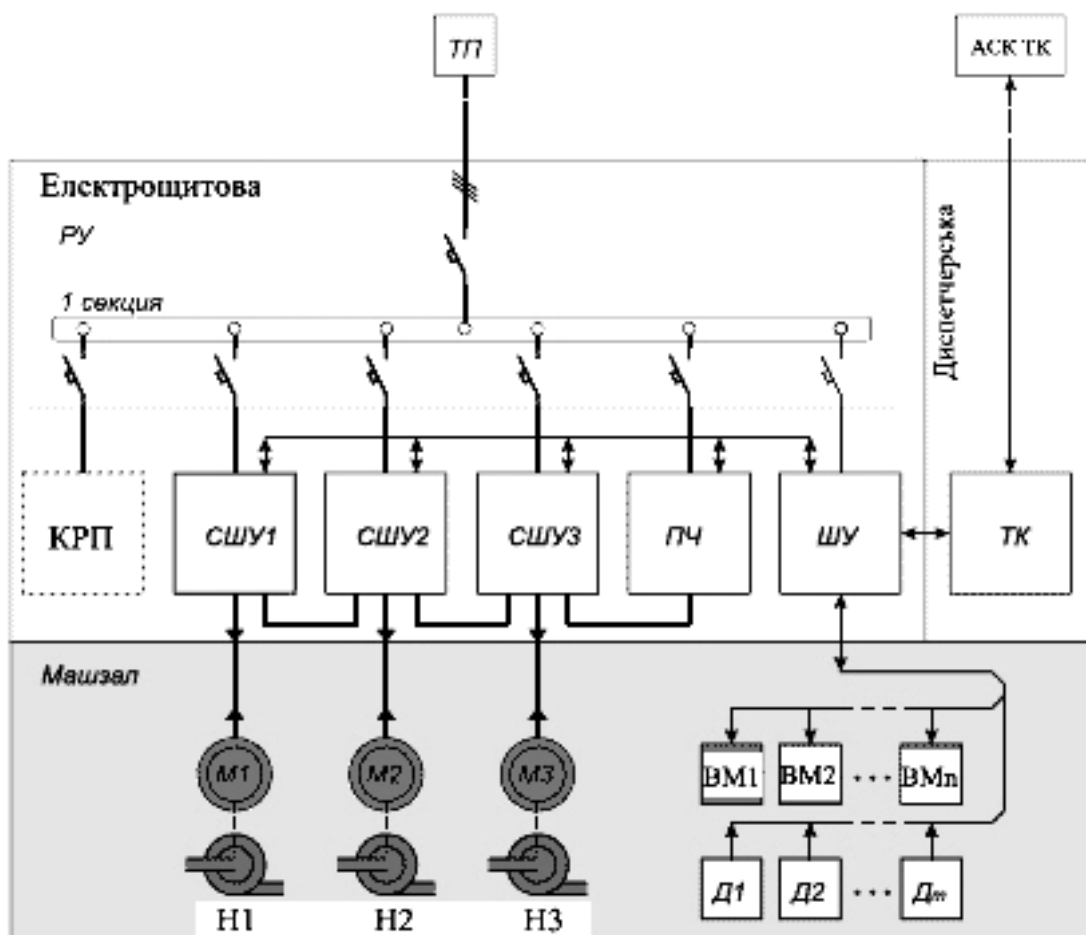


Рисунок 4.24 – Структурна схема автоматизованої насосної станції

4.5 Синтез САК стабілізації тиску в магістралі

4.5.1 Розробка структурної САК стабілізації тиску в магістралі

Проектована система являє собою одноконтурну систему управління, з одним зовнішнім контуром - контуром тиску.

Структурна схема проекрованої системи представлена (РТ – регулятор тиску) на рис. 4.25.

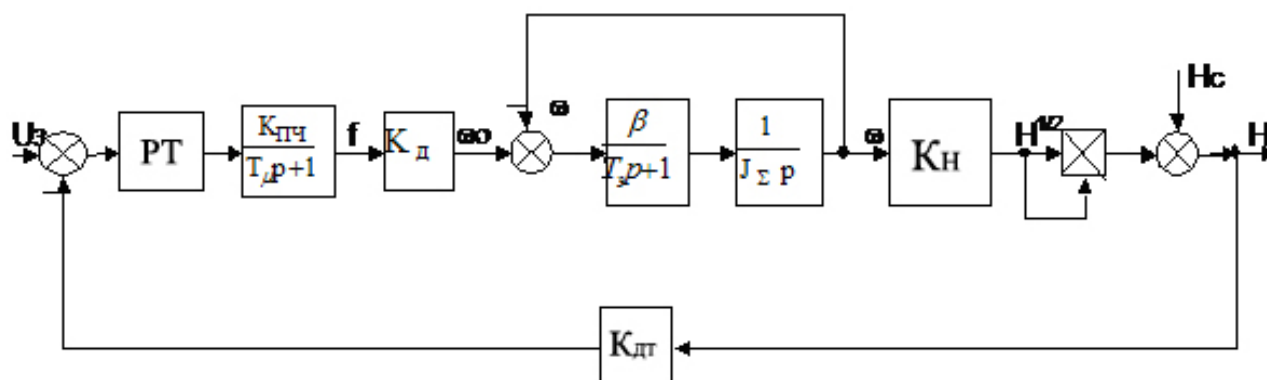


Рисунок 4.25 – Структурна схема САК стабілізації тиску в магістралі

4.5.2 Розрахунок параметрів передавальних функцій

Розрахунок параметрів передавальної функції об'єкта управління

Аналіз об'єкта регулювання - насосного установки.

У загальному випадку об'єкт управління описується наступною функціональною схемою (рис. 4.26).

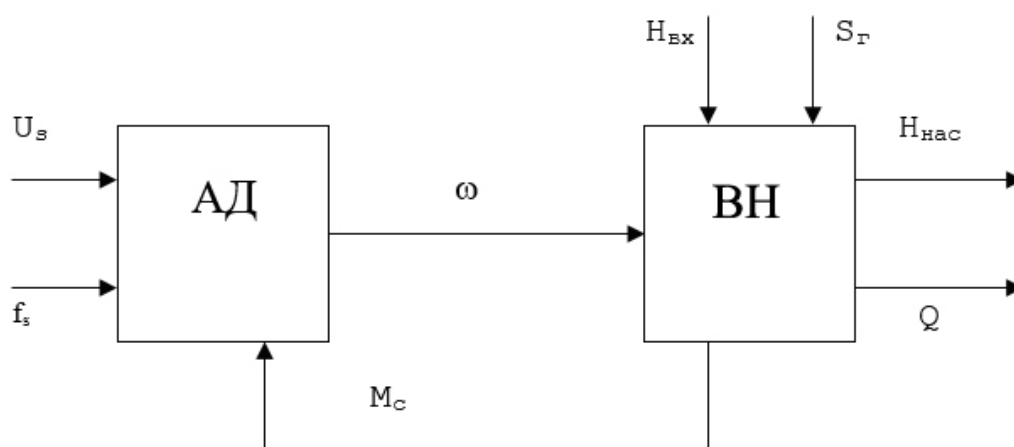


Рисунок 4.26 – Функціональна схема насосного агрегату:

АТ - асинхронний двигун; ЦН - відцентровий насос; U_s - напруга статора, В; f_s - частота напруги статора, Гц; ω - механічна кутова швидкість обертання ротора і робочого колеса насоса, рад / с; M_c - статичний момент навантаження на валу двигуна, Н $\times$ м; $H_{нас}$ - натиск на виході насоса, м; $H_{вх}$ - натиск на вході насоса, м; Q - продуктивність насоса, м³/с; S_r - гідравлічний опір магістралі, с²/м⁵.

Основними параметрами насоса є натиск і подача.

Подачею Q називається обсяг рідини, що подається насосом в одиницю часу. Напір H визначається як різниця вмісту енергії в 1 кг рідини (питомої енергії) на ділянці від входу в насос до виходу з нього.

Диференціальне рівняння описує насос має вигляд:

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

де m - маса води в насосі і трубопроводах; g - прискорення вільного падіння; ρ - щільність рідини.

Визначаємо передавальні функції для структурної схеми:

K_d – коефіцієнт передачі двигуна

$$K_d = \frac{2\pi}{p}$$

$K_{дд}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по тиску:

$$K_{дд} = \frac{U_3}{H_H}$$

4.5.3 Моделювання САК

Після розробки структурної схеми САК та розрахованих передавальних функцій, було виконано моделювання САК стабілізації тиску в магістралі, що наведено на рисунку 4.27 структурну схему в пакеті Simulink.

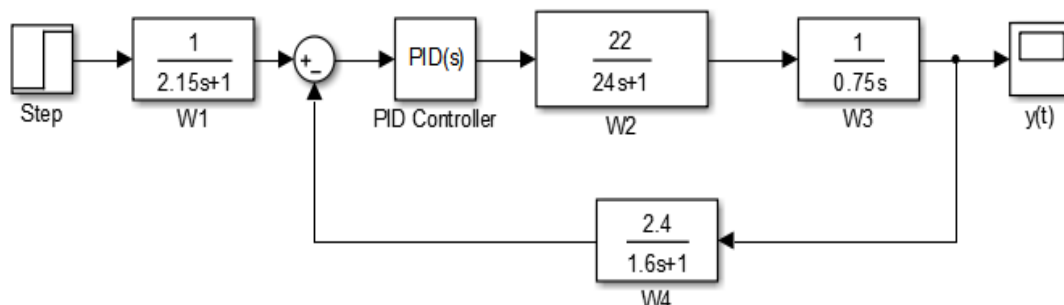


Рисунок 4.27 – Структурна схему в пакеті Simulink

Після розробки моделі, виконано синтез та розрахунок корегуючого пристрою, у вигляді ПД-регулятора, який наведено на рис. 4.28.

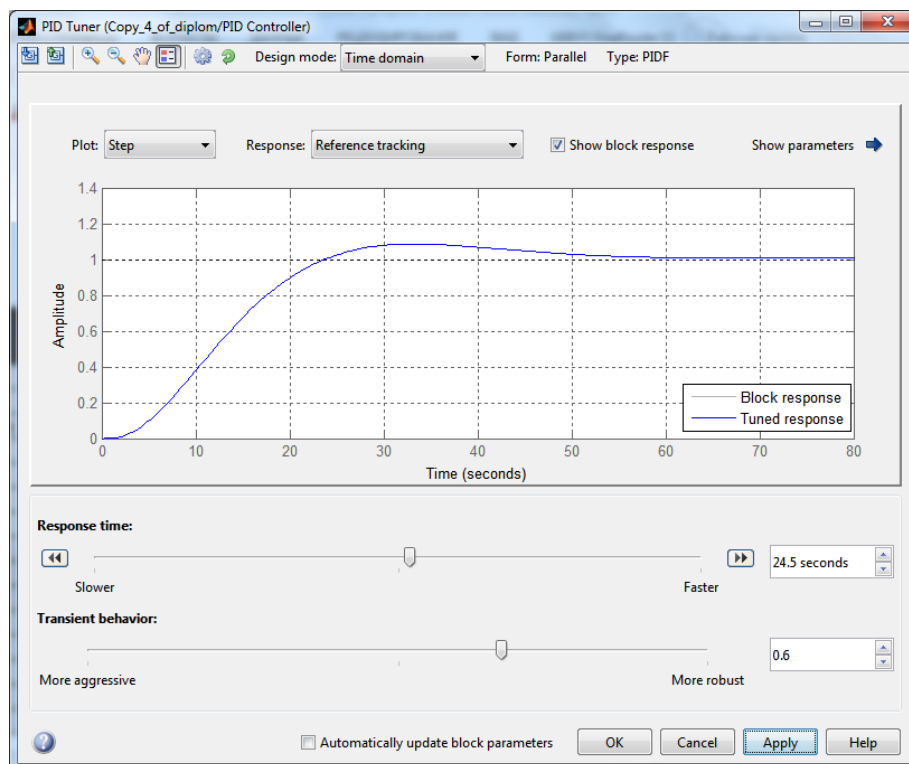


Рисунок 4.28 – Розрахунок параметрів регулятора

Після проведення всіх налаштування та розрахунків параметрів регулятора, було виконано моделювання всієї системи керування в цілому та побудовано перехідний процес, який показано на рисунку 4.29.

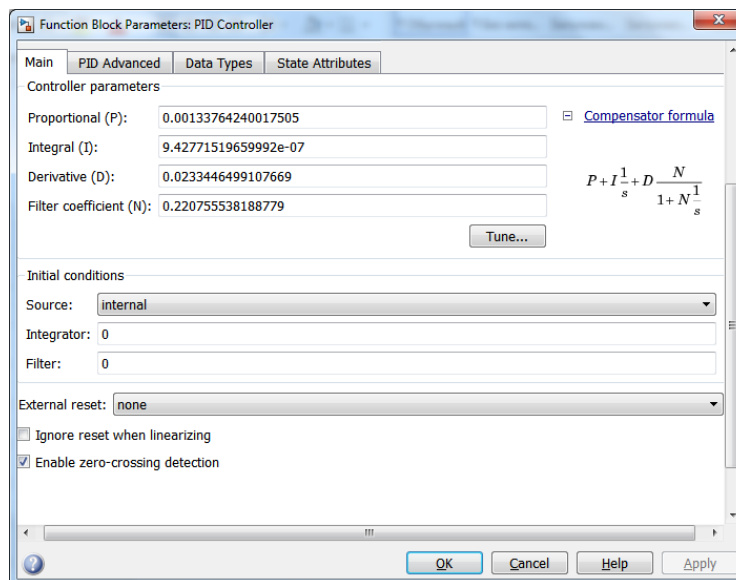


Рисунок 4.29 – Розраховані параметри ПІД-регулятора

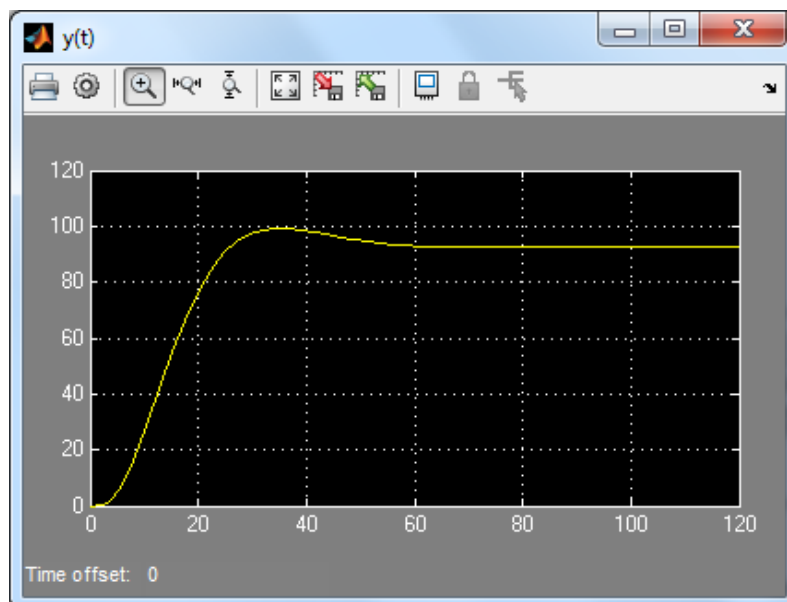


Рисунок 4.29 – Перехідний процес стабілізації тиску в магістралі

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі наведено опис технологічного процесу та об'єкту автоматизації насосної станції підкачки води, структури відцентрового насосу, розглянуто типи існуючих насосних станцій. Виконано аналіз методів керування та існуючих систем автоматичного керування, з якого можна зробити висновок, що на даний час існує достатня кількість різноманітних систем автоматичного керування, які задовольняють вимоги, сформовані в кінці розділу.

Розроблено функціональну та структурну схеми системи автоматичного керування стабілізації тиску в магістралі, також створено структурну схему АСК стабілізації тиску в магістралі, яка має розподіл на три рівні.

Наведено математичний опис технологічного процесу стабілізації тиску в магістралі, були приведені формули та рівняння для розрахунків параметрами трубопроводу та інших параметрів необхідних для технологічного процесу. Для реалізації АСК стабілізації тиску в магістралі було використане технічне забезпечення, яке відповідає вимогам контролю та керування АСК стабілізації тиску в магістралі. Були обрані датчики, пристрої для вимірювання технологічних параметрів та в якості ПЛК було обрано ПЛК MODICON M241 компанії Schneider Electric.

Було виконано синтез САК стабілізації тиску в магістралі. Розроблено структурну схему стабілізації тиску в магістралі. Наведений опис передавальних функцій систем та використовуючи середовище MatLab та пакет Simulink були побудовані моделі систем керування, в якості регулятора було використано ПД-регулятор та розраховано його параметри за допомогою компонента PID Tuner та проведено моделювання систем керування і побудовані перехідні функції.

Було виконано розробку функціональної схеми автоматизації підкачуючої насосної станції.

Для моделювання системи управління насосної установки було використано додаток SIMULINK пакета прикладного програмного забезпечення MATLAB та було проведено математичне та комп'ютерне моделювання САК насосної установки та було побудовані графік перехідних процесів.

Було виконано синтез контуру стабілізації напору в точці водогону, побудовано структурну схему та розраховано перехідний процес.

Було зроблено технічну реалізацію САК стабілізації тиску в магістралі.

Розглянуто небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі на насосній станції, та сформовано рекомендовані заходи безпеки при роботі на насосній станції підкачки води.

Виконано техніко-економічне обґрунтування розробленої системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат. 1990.
2. Попкович Г. С., Гордеев М. А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. М.: Высш. шк. 1986
3. Возможности использования современного регулируемого электропривода в системах водоснабжения. //www.privod.ru
4. Дмитриенко Ю. А. Регулируемый электропривод насосных агрегатов. Кишинев: Штиинца, 1985.
5. Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе // www.technowell.ru
6. Москаленко В. В. Электрический привод: Учебн. для электротехн. спец. техн. -М.: Высш. шк., 1991. -430 с: ил.
7. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. — 392 с, ил.
8. Асинхронные электродвигатели// www.privod.ru/engines
9. Автоматизация насосных станций на основе частотных электроприводов // www.rts.ua
10. Логические контроллеры Modicon M241 и M251. Каталог, 2015
11. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н.Ткачук, М.О.Халімовський, В.В.Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006 – 448 с.
12. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Харків: Індустрія, 2007.– 272с.
13. Автоматизоване енергозберігаюче управління насосною станцією системи водопостачання / Гриценко К.Г.// Автореф. дис..канд.техн.наук 05.13.07.-Донецьк – 2002 .
14. Конспект курса лекций по дисциплине “Теория автоматического управления” (часть II)– Хобин В.А. ОГАПТ. Одесса – 2007 г.
15. Вишневский К.П. Переходные процессы в напорных системах водоподачи. –М.: Агропромиздат, 1986. – 135 с

16. Коренькова Т.В., Курбанова И.Г. Рациональные системы электропривода групповых насосных установок / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. Наук. пр. КДПУ. –Вип. 2(19). – Кременчук: КДПУ, 2003, - с. 30-35.

17. Попович М.Г., Кострицький В.В. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод (теорія і практика). Навчальний посібник.- К.:КНУТД, 2008.-408с.

18. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник — Львів: УАД, 2006 – 336 с.

19. Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф. та ін. Основи охорони праці. – К: Основа, 2000. – 416 с.

20. Конституція України.– К.,1996.– 12с.

21. “Про охорону праці” № 2695-ХІІ від 14.10.1992 в редакції Закону № 229-IV від 21.11.2002

22. ДСН 3.3.6.042-99.Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.– К., МОЗ України, 1993.– 8с.

23. ДБН В.2.5.-28-2006.Державні будівельні норми України. Природне і штучне освітлення.– К.: Мінбуд. України, 2006.– 76с.

24. ДСН 3.3.6.039-99.Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрацій.– К.: МОЗ України, 2000.– 45с.

25. ДСН 3.3.6.037-99.Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.– К.: МОЗ України, 2000 – 29с.

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Законодавчі та нормативні акти України про охорону праці

Законодавчими та нормативними актами, що визначають основні положення про охорону праці, є загальні Закони України, а також спеціальні законодавчі та нормативні акти.

До загальних законів, що визначають основні положення про охорону праці, належать:

- Конституція України;
- Закон України «Про охорону праці»;
- Закон України «Про пожежну безпеку»;
- Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»;
- Закон України «Про охорону здоров'я»;
- Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційний захист»;
- Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності»;
- Кодекс законів про працю України (КЗпП).

Спеціальними законодавчими актами в галузі охорони праці є Нормативно-правові акти з охорони праці (НПАОП), Державні стандарти Системи стандартів безпеки праці, Будівельні норми та правила, Санітарні норми, Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів та інші нормативні документи.

У ст. 43 Конституції України записано: «Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується». «Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом». «Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних роботах

забороняється».

Кожен, хто працює, має право на відпочинок (ст. 45 Конституції України). Це право забезпечується наданням днів щотижневого відпочинку, а також оплачуваної щорічної відпустки, встановленням скороченого робочого дня щодо окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи у нічний час.

У тексті ст. 46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом.

Закон України «Про охорону праці» був прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року. Цей Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян про охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Його дія поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах.

Закон України «Про пожежну безпеку» прийнятий 17 грудня 1993 року і визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних та фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» регулює суспільні відносини, що виникають у сфері забезпечення санітарної та епідемічної безпеки, визначає відповідні права та обов'язки державних органів, підприємств, закладів, організацій та громадян, встановлює порядок організації державної санітарно-епідемічної служби та здійснення державного санітарно-епідемічного нагляду в Україні.

Закон України «Про охорону здоров'я» визначає загальні правові, соціальні основи забезпечення пріоритету життя і здоров'я людини. Він був прийнятий 3 лютого 1993 року. Основні положення цього Закону наступні:

- кожна людина має невід'ємне і непорушне право на охорону здоров'я;
- суспільство і держава відповідальні перед сучасними і майбутніми поколіннями за рівень здоров'я і збереження генофонду народу України, поліпшення умов праці, розв'язання екологічних проблем, запровадження здорового способу життя та інше.

Основи законодавства України про охорону здоров'я визначають правові, організаційні, економічні та соціальні засади охорони здоров'я в Україні, регулюють суспільні відносини у цій галузі з метою забезпечення:

- високої працездатності і довголітнього активного життя громадян;
- усунення факторів, що шкідливо впливають на здоров'я, попередження і зниження захворюваності, інвалідності та смертності, поліпшення спадковості.

В актах законодавства про охорону здоров'я зазначено:

- здоров'я – стан фізичного, душевного і соціального благополуччя, а не тільки відсутність хвороб і фізичних дефектів;
- заклади охорони здоров'я – підприємства, установи та організації, завдання яких є забезпечення різноманітних потреб населення в галузі охорони здоров'я шляхом подання медико-санітарної допомоги;
- медико-санітарна допомога – комплекс спеціальних заходів, спрямованих на сприяння поліпшення здоров'я, підвищення санітарної культури, запобігання захворюванням та інвалідності та інше.

Загальний обов'язок суспільства та держави, підприємств – забезпечити пріоритетність охорони здоров'я у власній діяльності, не завдавати шкоди здоров'ю населення і окремих осіб, у межах своєї компетенції надавати допомогу потерпілим від нещасних випадків, а також виконувати інші обов'язки, передбачені законодавством про охорону здоров'я.

Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційний захист»

встановлює норми щодо зберігання, використання та перевезення ядерних матеріалів. Держава, згідно цього Закону, має контролювати радіаційну обстановку, вчасно оповіщати населення про існування небезпеки у зв'язку з підвищенням рівня радіації, швидко реагувати в умовах надзвичайних ситуацій (евакуювати населення з територій прилеглих до джерела радіаційного випромінювання, організувати та провести рятувальні та інші невідкладні роботи у районах лиха тощо).

Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», відповідно до Конституції України та Основ законодавства України про загальнообов'язкове державне соціальне страхування, визначає правову основу, економічний механізм та організаційну структуру загальнообов'язкового державного соціального страхування громадян від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які призвели до втрати працездатності або загибелі застрахованих на виробництві.

Страхування від нещасного випадку є самостійним видом загальнообов'язкового державного соціального страхування, за допомогою якого здійснюється соціальний захист, охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності.

КЗпП приділяє значну увагу спеціальним нормам, що стосуються охорони праці та здоров'я жінок, неповнолітніх, враховуючи фізіологічні особливості їхніх організмів. Наприклад, відповідно до ст. 174 КЗпП, забороняється застосування праці жінок на важких роботах і на роботах із шкідливими або небезпечними умовами праці, а також на підземних роботах. Забороняється залучати неповнолітніх до нічних, надурочних робіт та робіт у вихідні дні (ст. 192 КЗпП).

НПАОП, які до початку 2003 року носили назву Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП), – це правила, норми, положення, стандарти, інструкції та інші документи, обов'язкові до виконання. Законодавством передбачено, що залежно від сфери дії НПАОП можуть бути міжгалузевими і галузевими.

Власники підприємств, установ, організацій або уповноважені ними органи розробляють на основі НПАОП і затверджують власні положення, інструкції або інші нормативні акти про охорону праці, що діють у межах підприємства, установи, організації.

До основних нормативних актів підприємств належать:

- Положення про систему управління охороною праці на підприємстві.
- Положення про службу охорони праці підприємства.
- Положення про комісію з питань охорони праці підприємства.
- Положення про роботу уповноважених трудового колективу з питань охорони праці.
- Положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці.
- Положення про організацію і проведення первинного та повторного інструктажів, а також пожежно-технічного мінімуму.
- Наказ про порядок атестації робочих місць щодо їх відповідності нормативних актів про охорону праці.
- Положення про організацію попереднього і періодичного медичних оглядів працівників.
- Положення про санітарну лабораторію підприємства.
- Інструкції з охорони праці для працюючих за професіями і видами робіт.
- Інструкції про порядок зварювання і проведення інших вогневих робіт на підприємстві.
- Загальнооб'єктові та цехові інструкції про заходи пожежної безпеки.
- Перелік робіт з підвищеною небезпекою.
- Перелік посад посадових осіб підприємства, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці.
- Наказ про організацію безкоштовної видачі працівникам певних категорій лікувально-профілактичного харчування.
- Наказ про організацію безкоштовної видачі молока або інших

рівноцінних харчових продуктів працівникам підприємства, що працюють у шкідливих умовах.

– Наказ про порядок забезпечення працівників підприємства спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Виходячи із специфіки виробництва та вимог чинного законодавства власник затверджує нормативні акти із вищезазначеного списку та інші, що регламентують питання охорони праці.

Державні стандарти Системи стандартів безпеки праці (ГОСТ ССБТ) застосовуються на території України до їх заміни іншими нормативними документами, якщо вони не суперечать чинному законодавству України. Вимоги щодо охорони праці регламентуються також державними стандартами України з питань безпеки праці, будівельними та санітарними нормами і правилами, правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), нормами технічного проектування та іншими нормативними актами, виходячи із сфери їх дії.

Держава виступає гарантом створення безпечних та нешкідливих умов праці для працівників підприємств, установ, організацій усіх форм власності.

A.2 Шкідливі та небезпечні виробничі фактори при експлуатації насосного обладнання

Шкідливий виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності працівника.

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, дія якого за певних умов може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника.

Серед факторів зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці, світло займає одне з перших місць. Під час здійснення будь-якої трудової діяльності втомлюваність очей, в основному, залежить від напруженості процесів, що супроводжують зорове сприйняття.

Світло впливає не лише на функцію органів зору, а й на діяльність

організму в цілому. При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає потенціальна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Згідно зі статистичними даними, до 5% травм можна пояснити недостатнім або нераціональним освітленням, а в 20% воно сприяло виникненню травм. Врешті, погане освітлення може призвести до професійних захворювань, наприклад, таких як робоча міопія (короткозорість), спазм акомодатії.

До шкідливих виробничих факторів у приміщенні насосної станції належить також вібрація та шум. Знакозмінні напруження, викликані вібрацією, сприяють накопиченню пошкоджень в матеріалах, появі тріщин та руйнуванню. Найчастіше і досить швидко руйнування об'єкта настає при вібраційних впливах за умов резонансу. Вібрації викликають також й відмови машин, приладів. Вібрації виникають при роботі машин та механізмів, які мають неврівноважені та незбалансовані частини, що обертаються чи здійснюють зворотно-поступальний рух. В нашому випадку до такого устаткування належать електроприводи, насоси та вентилятори.

Вібрація викликає порушення фізіологічного та функціонального станів людини. Стійкі шкідливі фізіологічні зміни називають вібраційною хворобою. Симптоми вібраційної хвороби проявляються у вигляді головного болю, заніміння пальців рук, болю в кистях та передпліччі виникають судоми, підвищується чутливість до охолодження, з'являється безсоння. При вібраційній хворобі виникають патологічні зміни спинного мозку, серцево-судинної системи, кісткових тканин та суглобів змінюється капілярний кровообіг. Дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху тощо. Змінюються нормальні процеси вищої нервової діяльності.

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат у виробничих приміщеннях, складовою якого є температура, вологість, рух повітря, а також теплове випромінювання нагрітих поверхонь.

Параметри мікроклімату справляють безпосередній вплив на самопочуття людини та його працездатність. Зниження температури за всіх інших однакових

умов призводить до зростання тепловіддачі шляхом конвекції та випромінювання і може зумовити переохолодження організму.

Підвищення швидкості руху повітря погіршує самопочуття, оскільки сприяє підсиленню конвективного теплообміну та процесу тепловіддачі при випаровуванні поту.

Недостатня вологість призводить до інтенсивного випаровування вологи зі слизових оболонок, їх пересихання та розтріскування, забруднення хвороботворними мікробами.

Зневоднення організму на 6% викликає порушення розумової діяльності, зниження гостроти зору. Зневоднення на 15...20% призводить до смертельного наслідку.

Тривалий вплив високої температури у поєднанні зі значною вологістю може призвести до накопичення теплоти в організмі і до гіпертермії – стану, при якому температура тіла піднімається до 38...40 градусів. За зниженої температури, значної рухомості та вологості повітря виникає переохолодження організму (гіпотермія).

А.3 Заходи по усуненню або зменшенню впливу шкідливих та небезпечних факторів виробництва при експлуатації насосного обладнання

Для створення сприятливих умов зорової роботи, які б виключали швидку стомлюваність очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинно відповідати наступним вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;
- не повинно чинити засліплюючої дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості

у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частоті переадаптації органів зору;

- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);

- має бути достатнім для розрізнення деталей контраст поверхонь, що освітлюються;

- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпечне ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпеку світильників);

- має бути надійним і простим в експлуатації, економічним та естетичним.

Важливе значення для профілактики перегрівання мають індивідуальні засоби захисту. Спецодяг повинен бути повітро- та волого проникним (бавовняним, з льону, грубововняного сукна), мати зручний покрій. Захист від дії зниженої температури досягається використанням теплого спецодягу.

Для усунення вібрації або зменшення її дії на організм людини застосовують індивідуальні та колективні засоби та заходи. Колективні заходи полягають у зниженні вібрації в джерелі її виникнення, наприклад, зрівноважування та балансування, недопущення резонансних режимів.

Засобами індивідуального захисту є обмеження допуску до віброробіт, медичні огляди, спеціальні режими праці та відпочинку, а також експлуатація устаткування відповідно до встановлених норм та режимів, контроль параметрів вібрації.

Для боротьби з шумом використовують заходи та засоби колективного захисту, що зменшують шум на шляху його поширення, а саме архітектурно-планувальні та акустичні заходи. До архітектурно-планувальних заходів відносять раціональне розміщення будівель та споруд на території підприємства, технологічного устаткування, створення шумозахисних зон. Звукоізоляція, звукопоглинання, демпфірування, застосування глушників шуму – акустичні засоби. Звукоізоляція реалізується шляхом встановлення звукоізоляційних перешкод (перегородок, кабін, кожухів, екранів).

Для звукоізоляції найбільш шумних вузів та агрегатів (двигуни, насоси,

вентилятори) використовують звукоізоляційні кожухи, які є засобами, що встановлюються в безпосередній близькості від джерела шуму. Індивідуальними засобами захисту від шуму користуються в тих випадках, коли не вдається усунути шум у джерелі його виникнення.

Для забезпечення нормальних метеорологічних умов у виробничих приміщеннях, а також для відведення продуктів дихання та шкідливих речовин з повітря робочої зони необхідно передбачити систему штучної вентиляції.

А.4 Розрахунок системи вентиляції у приміщенні насосної станції

Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів, призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти приміщень, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам. Основне завдання вентиляції вилучити із приміщення забруднене або нагріте повітря та подати свіже, тобто забезпечити в приміщеннях метеорологічні умови (температуру, відносну вологість та швидкість руху повітря), що відповідають нормативним вимогам, а також виключити можливість вмісту в повітря шкідливих речовин, які перевищують гранично допустимі концентрації.

В системі вентиляції можливе не лише зовнішнє повітря, але й повітря самих приміщень після його очищення. Таке повторне використання повітря приміщень називається рециркуляцією і здійснюється в холодний період року для економії тепла, витраченого на підігрівання припливного повітря.

Схематично система вентиляції у приміщенні насосної станції може бути зображена рис. А.1.

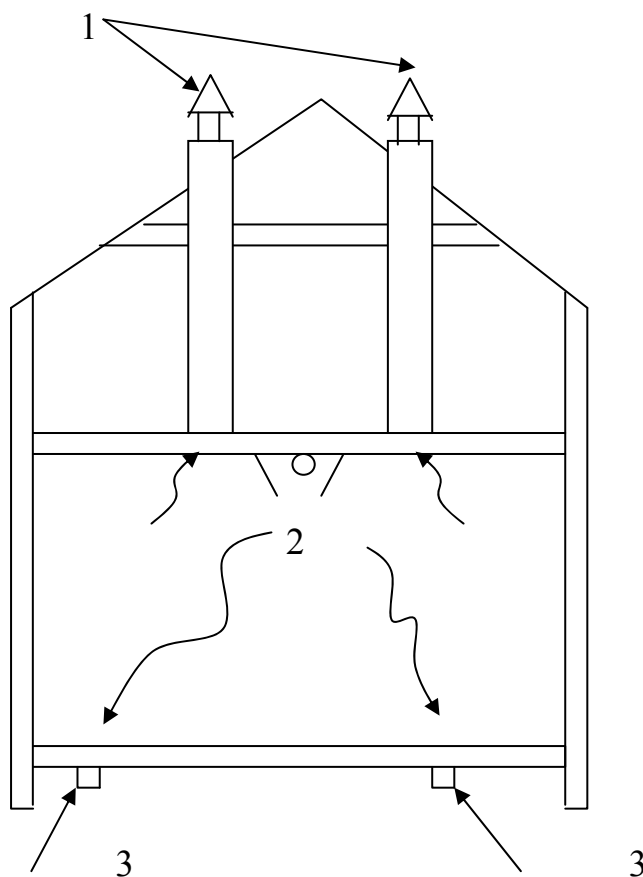


Рисунок А.1 – Схема системи вентиляції у приміщенні насосної станції:

1 – витяжні шахти; 2 – припливні повітропроводи; 3 – витяжні канали

Параметри для розрахунку:

Розміри станції, м :	21×11;
Висота станції, м :	5;
Вологість, %:	55;
Швидкість руху повітря, м/с:	0,2;
Розрахункова температура, °С:	20;
Початкова температура, °С:	-6.

І. Розрахунок калориферних установок.

Проводимо розрахунок за методикою, викладеною у [19, 20].

Кількість повітря, яке підігрівається:

$$G = 3.6 \cdot Q_y / c \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}) = 3,6 \cdot 18380 / 0.24 \cdot (20 - (-6)) = 10604 \text{ кг/год},$$

де $c = 0.24 \text{ ккал/кг} \cdot ^\circ\text{С}$ – вагова теплоємність повітря.

Теплоносієм є вода з параметрами $t_r=90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{зв}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Підібрати калориферну установку для підігріву припливного повітря, що складається з калориферів типу КФБ.

1. Визначаємо витрати тепла на нагрів повітря:

$$Q=G*0.24*(t_{вн}-t_{зовн})=10604*0.24*(20-(-6))=66169\text{ ккал/кг.}$$

Приймаємо, що вагова швидкість повітря $V_y=9\text{ кг/м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ для пластинчастих калориферів, живий переріз калориферної установки за повітрям визначаємо за формулою:

$$f_{пов}=G/(3600*V_y)=0.327\text{ м}^2$$

Вибираємо калорифер КФБ – 7 з живим перерізом за повітрям $f_{пов}=0.354\text{ м}^2$.

Паралельна установка за повітрям двох калориферів утворює переріз:

$$f_{пов}=n*0.354=2*0.354=0.708\text{ м}^2,$$

де $n=2$ – кількість калориферів.

2. Визначаємо вагову швидкість повітря для прийнятої установки калориферів за формулою:

$$V_y = \frac{G}{3600*2*f_{нов}} = \frac{10604}{3600*2*0.354} = 4.2\text{ кг/м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$$

3. Визначаємо швидкість руху води в трубах калориферів, пропускаючи воду послідовно через кожен з них:

$$W = \frac{Q}{3600*1000*f_{тп}*(t_z - t_{зв})} = \frac{66169}{3600*1000*0.0122*(90 - 60)} = 0.0513\text{ м/с}$$

де $f_{тп}=0.0122\text{ м}^2$ – живий переріз проходу води для калорифера КФБ-7.

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі калориферів – інтерполяцією значень:

$$k=13.7\text{ ккал/год}\cdot\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}.$$

4. Визначаємо необхідну поверхню нагріву калориферів установки:

$$F_y = \frac{Q}{k*\left[\left(\frac{t_z - t_{зв}}{2}\right) - \left(\frac{t_{вн} - t_{зовн}}{2}\right)\right]} = \frac{66169}{13.7*\left[\left(\frac{90 - 60}{2}\right) - \left(\frac{-6 - 20}{2}\right)\right]} = 172.5\text{ м}^2.$$

$F_k=38.9\text{ м}^2$ – поверхня нагріву калорифера КФБ-7.

5. Визначаємо загальну кількість калориферів КФБ-7:

$$n = \frac{F_y}{F_k} = \frac{172.5}{38.9} = 4.4 \approx 5.$$

Необхідно встановити п'ять калорифери КФБ-7.

II. Розрахунок повітроводів, вибір вентиляторів та електродвигунів.

Проводимо розрахунок за методикою, викладеною у [19, 20].

1. Для асимілювання шкідливих виділень до гранично допустимих визначають об'єм повітря за формулою:

$$L_{нов} = \frac{G}{g_{дон} - g_{нов}}, \text{ м}^3/\text{год},$$

де G – кількість шкідливих виділень(газів, парів);

$g_{дон}$ – допустима концентрація шкідливих речовин у виробничому приміщенні;

$g_{нов}$ – концентрація шкідливих речовин у припливному повітрі.

$$G=7.2 \text{ л/год},$$

$$g_{дон}=5 \text{ л/м}^3,$$

$$g_{нов}=0.5 \text{ л/ м}^3.$$

$$L_{нов}=7,2/(5-0,5)=1,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

За спеціальними номограмами [20] за об'ємами вентиляційного повітря та його швидкостями на окремих ділянках системи, визначають площу перерізу повітроводів:

діаметр повітроводу $d=75 \text{ мм}$,

площа $P=0.00441 \text{ м}^2$;

$R=0.15$ – втрати тиску на 1 м довжини круглого повітровода;

динамічний тиск $P_d, \text{ кгс/м}^2=0,43$;

швидкість повітря в повітропроводі $v=2 \text{ м/с}$;

витрати повітря $56,4 \text{ м}^3/\text{год}$.

Визначають опір тертя за формулою:

$$R = \lambda * \frac{l}{d} * v^2 * \frac{\gamma_{зовн}}{2 * g}, \text{ кг/м}^2$$

де λ – коефіцієнт опору тертя (для неметалевих повітроводів $\lambda=0,02$);

$l=35\text{м}$ – довжина повітровода;

d – діаметр повітровода, м;

$v^2 * \frac{\gamma_{\text{зовн}}}{2 * g}$ – швидкісний напір.

$$R = 0.02 * \frac{35}{1} * 4 * \frac{1.337}{2 * 9.8} = 0.191 \text{ кг/м}^2$$

Підбираємо тип вентилятора та електродвигуна для таких даних:

а) необхідна продуктивність вентилятора $L=4500 \text{ м}^3/\text{год}$;

б) повний тиск $H=17 \text{ кг/м}^2$.

За графіком [20] вибираємо вентилятор типу ЦА-70№5, ККД вентилятора – $\eta=0,7$. Усталену потужність електродвигуна вентилятора визначаємо за формулою:

$$N_{\text{уст}} = \frac{L * H * k}{3600 * 102 * \eta_{\text{в}} * \eta_{\text{р.п.}}}, \text{ кВт}$$

де L – продуктивність вентилятора, $\text{м}^3/\text{год}$,

H – повний тиск вентилятора, кг/м^2 ,

k – коефіцієнт запасу,

$\eta_{\text{в}}$ – ККД вентилятора,

$\eta_{\text{р.п.}}$ – ККД ремінної передачі, $\eta_{\text{р.п.}}=0.9$.

$$N_{\text{уст}} = \frac{4500 * 17 * 1.3}{3600 * 102 * 0.7 * 0.9} = 0.43 \text{ кВт.}$$

Для вентилятора ЦА-70№5 підбираємо електродвигун типу АО2-21-6 ($n=930 \text{ об/хв.}$, $N_{\text{уст}}0,8$).

ДОДАТОК Б

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ ПО АВТОМАТИЗАЦІЇ

Б.1 Характеристика виробу

Одним з основних аргументів на користь впровадження того чи іншого виробу в виробництво є економічний ефект та термін окупності. В сучасних умовах, у зв'язку з переходом на новітню елементну базу, суттєво підвищується надійність приладів, що веде за собою зменшення кількості відмов та необхідного часу для відновлення системи.

Таблиця Б.1 – Технічні характеристики виробу

Показники, їх одиниці вимірювання	Позначення	Величина за вартостями	
		базовим	новим
Річний об'єм випуску, шт.	N_H	40	40
Нормативний строк служби, років	$T_{сл}$	10	10
Кількість відмов за рік	n_B	8	3
Кількість годин відновлення після однієї відмови	t_B	0,75	0,25

Б.2 Витрати на виконання науково – дослідних та дослідно – конструкторських робіт

Витрати на проведення науково – дослідних та дослідно – конструкторських робіт є складовою частиною капітальних вкладень, які передбачаються для виготовлення або модернізації систем.

Таблиця Б.2 – Трудомісткість виконання науково – дослідних та дослідно – конструкторських робіт.

Статті витрат та зміст робіт	Трудомісткість в людино-днях	Питома вага в загальному
------------------------------	------------------------------	--------------------------

		обсягу
Постановка задачі, збір інформації, формулювання технічного завдання	0,4	8
Аналіз діючої системи, виявлення недоліків, розробка заходів по її модернізації.	0,75	15
Розробка ескізного проекту та блок – схем	0,3	6
Розробка принципів електричних схем, виконання розрахунків.	1,5	30
Розробка друкованих плат та монтажних схем	1,3	26
Складання специфікацій та розробка робочої документації	0,75	15
Всього витрат часу	5	100

На основі трудомісткості робіт розраховуємо плановий фонд заробітної плати для проведення наукових досліджень :

$$Z_{нд} = T_{нд} \cdot O_{нд} \cdot (1 + 0,01 \cdot H_d) (1 + 0,01 \cdot H_c),$$

де : $O_{нд}$ – середньоденний оклад конструктора ($O_{нд} = 132$ грн.);

H_d – відсоток додаткової зарплати (15%);

H_c – норматив відрахувань у соціальні фонди (37%).

$$Z_{нд} = 5 \cdot 132 \cdot (1 + 0,01 \cdot 15) \cdot (1 + 0,01 \cdot 37) = 1039,83 \text{ грн.}$$

Величина витрат по кожній статті кошторису НДДКР визначається методом прямого розрахунку і заноситься до таблиці Б.3.

Таблиця Б.3 – Кошторис витрат на виконання НДДКР.

Найменування статей	Позначення	Величина, грн.
1	2	3
Матеріали, купівельні вироби та	$M_{нд}$	80

напівфабрикати		
Заробітна плата науково-виробничого персоналу	З _{нд}	1039,83
Витрати на наукові відрядження	В _{нд}	60
Послуги сторонніх організацій	П _{нд}	70
Загальногосподарські витрати	Н _{ак}	80
Всього	К _{нд}	1329,83

Б.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати (основні і допоміжні матеріали, покупні і комплектуючі вироби) розраховуються в залежності від застосування і норм витрат на один прилад з урахуванням додаткових витрат на транспортно-заготівельні операції.

Результат зводимо в таблицю Б.4.

Таблиця Б.4 – Матеріальні витрати

Найменування витрат	Позначення	Норма витрат	Вартість одиниці	Затрати на один виріб
1	2	3	4	5
1. Основні матеріали				
Скелотекстоліт	Мо	1	1,80	1,80
Сентетичні матеріали		1	0,60	0,60
Кабельні матеріали		8	2,00	16
Всього				18,4
2. Покупні матеріали				
Мікросхеми	Мп	12	5	60
Мікросхема INA 128		4	2	8
Мікросхема PDSP16350		1	6,5	6,5
Мікросхема ADS1286		1	10	10

Модем V.34		1	500	500
Всього				584,5
3. Допоміжні матеріали				
припій	Мд	2	1.30	1.60
каніфоль		1	1.40	1.40
розчинник		5	0.80	4.00
Всього				7.00
4. Зворотні відходи				
Всього				14,6

Розрахуємо витрати на матеріали з урахуванням ТЗВ:

$$M_o = \sum_1^n M_{oi} \cdot K_{mз} = 18,4 \cdot 1,2 = 20,1 \text{ грн.},$$

де M_{oi} – витрати на матеріали по і-позиції;

$K_{mз}$ – коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат.

Витрати на покупні вироби розраховуються за формулою:

$$M_n = \sum_1^n M_{ni} \cdot K_{mз} = 584,5 \cdot 1,2 = 701,4 \text{ грн.}$$

Визначаємо витрати на допоміжні матеріали за формулою:

$$M_e = \sum_1^n M_{ei} \cdot K_{mз} = 7 \cdot 1,2 = 8,4 \text{ грн.}$$

Величини зворотних відходів складають 2% матеріальних витрат

$$B_{зв} = (M_o + M_e + M_n) \cdot 2 \div 100 = 729,9 \cdot 2 \div 100 = 14,6 \text{ грн.}$$

Витрати на паливо і енергію для технологічних цілей визначаються з урахуванням витрачання електроенергії для регулювання і випробовування приладу під навантаженням

$$T_{ел} = (M \div 1000) (T_{icn} + T_{рег}) \cdot \Pi_{ел} = 320 \div 1000 \cdot (0,2 + 0,1) \cdot 1,6 = 0,1 \text{ грн.},$$

де M – потужність системи, Вт;

$T_{\text{рег}}, T_{\text{ісп}}$ – норма часу для регулювання і випробовування приладу під навантаженням;

$\Pi_{\text{ел}}$ – ціна 1кВт·год електроенергії.

Б.4 Планування заробітної плати

Розрахунок зарплати по виготовленню приладу виконується з урахуванням трудомісткості робіт, часових тарифних ставок, а також нормативів доплат до заробітної плати. Основні дані по заробітній платі наведені в таблиці Б.5.

Таблиця Б.5 – Основні дані по основній заробітній платі

Види робіт	Годинна тарифна ставка, Чтс	Норма трудомісткість годин	Оплата по тарифу
1. Заготівельні	10	1,6	16
2. Механообробні	15	2	30
3. Складальні	20	2	40
4. Регулювальні	18	1	18
Всього по виробу			104

Витрати на основну заробітну плату за виконання даного виду робіт

$$O_z = \Gamma_z \cdot T_z,$$

де O_z – основна заробітна плата (оплата по тарифу) робітників заготівельної стадії;

Γ_z – часова тарифна ставка робочого заготівельної стадії;

T_z – трудомісткість робіт заготівельної стадії, годин.

Основна заробітна плата за виконання одного виробу по всіх стадіях виробництва:

$$Z_o = \sum_{i=1}^4 O_i = 104 \text{ грн.}$$

де O_i – основна заробітна плата за виконання даного виду робіт.

Додаткова заробітна плата за виготовлення одного виробу:

$$Z_{\partial} = Z_o \cdot H_{\partial} \div 100 = 104 \cdot 15 \div 100 = 15,6 \text{ грн.}$$

де H_{∂} – норматив (у відсотках) додаткової заробітної плати по даному підприємству (цеху) за відпрацьований час.

Відрахування у соціальні фонди:

$$O_c = (Z_o + Z_{\partial}) H_c \div 100 = (104 + 15,6) \cdot 37 \div 100 = 44,25 \text{ грн.}$$

де H_c – норматив (у відсотках) відрахування у соціальні фонди.

Б.5 Визначення непрямих витрат

Витрати на підготовку і освоєння виробництва нових виробів розраховуються по нормативу (H_n) у відсотках від основної заробітної плати:

$$P_{no} = Z_o \cdot H_n \div 100 = 104 \cdot 3 \div 100 = 3,12 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію устаткування цеху розраховується по нормативу (H_{ye}) у відсотках від основної заробітної плати за виготовлення одного виробу:

$$P_y = Z_o \cdot H_{ye} \div 100 = 104 \cdot 12 \div 100 = 12,48 \text{ грн.}$$

Цехові витрати визначаються по нормативу $H_{\text{ц}}$ (у відсотках) від основної заробітної плати за один виріб:

$$P_{\text{ц}} = Z_o \cdot H_{\text{ц}} \div 100 = 104 \cdot 60 \div 100 = 62,4 \text{ грн.}$$

Цехова собівартість одного виробу

$$C_{\text{ц}} = M_o + M_n + M_e - O_e + T_{\text{ел}} + Z_o + Z_{\partial} + P_{no} + P_y + P_{\text{ц}} + O_c = \\ 20,1 + 70,14 + 8,4 - 14,6 + 0,1 + 104 + 15,6 + 3,12 + 12,48 + 62,4 + 44,25 = 957,25 \text{ грн}$$

Загальнозаводські витрати в собівартості одного виробу визначаються по нормативу H_z у відсотках від основної заробітної плати:

$$P_z = Z_o \cdot H_z \div 100 = 104 \cdot 40 \div 100 = 41,6 \text{ грн.}$$

Виробнича собівартість одного виробу:

$$C_e = C_{\text{ц}} + P_z = 957,25 + 41,6 = 998,85 \text{ грн.}$$

Позавиробничі витрати на один виріб визначаються по нормативу $H_{\text{поз}}$

$$З_n = C_{\text{е}} \cdot H_{\text{ноз}} \div 100 = 998,85 \cdot 5 \div 100 = 49,94 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виготовлення одного виробу:

$$C_n = C_{\text{е}} + З_n = 998,85 + 49,94 = 1048,79 \text{ грн.}$$

Б.6 Розробка калькуляції собівартості виробу

За результатами проведених розрахунків складаємо нормативну калькуляцію собівартості виготовлення модернізованого виробу і представимо в таблиці Б.6.

Таблиця Б.6 – Нормативна калькуляція собівартості виробу

Статті витрат	Позначення	Величина витрат
1	2	3
1.Сировина та основні матеріали	Мо	20,1
2.Покупні вироби	Мп	701,4
3.Допоміжні матеріали	Мв	8,4
4.Зворотні відходи	Ов	14,6
5.Паливо і енергія для технологічних цілей	Те	0,1
6.Основна заробітна плата основних робітників	Зо	104
7.Додаткова заробітна плата	Зд	15,6
8.Відрахування в соціальні фонди	Ос	44,25
9.Затрати на підготовку і освоєння виробництва нових виробів	Рпо	3,12
10.Затрати на утримання і експлуатацію устаткування, транспортних засобів та дорогого оснащення	Ру	12,48
11.Цехові витрати	Рц	62,4
Всього цехова вартість	Сц	957,25
12.Загальнозаводські витрати	Рз	41,6

Виробнича собівартість	Св	998,85
13.Позавиробничі витрати	Зп	49,94
Всього повна собівартість	Сп	1048,79

За даними нормативної калькуляції виробу ми бачимо, що його повна собівартість складає 1048,79 грн.

Б.7 Визначення ціни системи

Проектна ціна нового модернізованого виробу (Π_n) визначається по договору із замовником або з урахуванням попиту на продукцію. При державному регулюванні ціну можна розрахувати за допомогою граничного рівня рентабельності ($P_n = 30\%$)

$$\Pi_n = C_n (1 + 0,01 \cdot P_n) = 1048,79 \cdot (1 + 0,01 \cdot 30) = 1363,43 \text{ грн.}$$

При цьому ціна модернізованого приладу повинна сприяти одержанню загального прибутку об'ємом не менше, ніж при реалізації базових виробів.

Балансова вартість системи визначається з урахуванням витрат на транспортування і підготовку до експлуатації.

$$K_{\text{тп}} = 1,1$$

$$B_{\text{ал}}^n = \Pi_n \cdot K_{\text{тп}} = 1363,43 \cdot 1,1 = 1499,77 \text{ грн.}$$

Б.8 Визначення економічної ефективності у виробника системи

Величина економічного ефекту при виготовленні системи моніторингу визначається за формулою:

$$E_{\text{виг}} = (\Pi_n - C_n) \cdot N - E_n \cdot K$$

де $N = 40$ – кількість систем, які виготовляються за рік;

$E_n = 0,25$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;

K – капітальні вкладення.

$$K = K_{\text{нд}} + \Pi_n + K_{\text{суп}} = 1329,83 + 1363,43 + 80 = 27773,26 \text{ грн.}$$

де $K_{\text{суп}}$ – супутні капітальні вкладення;

$$K_{\text{суп}} = 80 \text{ грн.}$$

Тоді отримаємо:

$$E_{\text{виг}} = (1363,43 - 1048,79) \cdot 40 - 0,25 \cdot 2773,26 = 11892,3 \text{ грн.}$$

Період окупності капітальних вкладень у виробника розраховується за формулою:

$$T_{\text{вир}} = \frac{K}{(\Pi_{\text{н}} - C_{\text{п}}) \cdot N}$$

$$T_{\text{вир}} = \frac{2773,26}{(1363,43 - 1048,79) \cdot 40} = 0,22 \text{ року.}$$

Б.9. Визначення економічного ефекту від підвищення надійності роботи системи

Модернізація системи управління технологічним процесом, як правило, підвищує надійність її функціонування. Результуючим показником надійності є кількість можливих відмов у роботі системи за період експлуатації.

Головною умовою для оцінки економічного ефекту від підвищення надійності є зменшення кількості відмов.

За результатами порівняльного аналізу нової техніки з базовим варіантом визначається розбіжність параметрів надійності. Потім виявляються складові ефекту.

Від підвищення надійності, основними з яких можуть бути:

- економія від зменшення кількості запасних частин (комплектуючих виробів);
- зниження витрат на відновлення працездатності технічної системи після відмови;
- скорочення матеріальних витрат на виробництво при використанні високонадійної техніки;

- зменшення часу незапланованого простою устаткування внаслідок відмов.

Економія від зменшення кількості запасних частин визначається методом прямого розрахунку, як різниця

$$E_{зч} = Зб - Зн$$

$$E_{зч} = 210 - 85 = 125 \text{ грн.}$$

де Зб, Зн - вартість запасних частин за базовим і новим варіантами відповідно, грн.

Економічний ефект від зниження витрат на відновлення роботоздатності системи після відмови:

$$E_{відм} = n_B^{\bar{}} \times S_B^{\bar{}} - n_B^n \times S_B^n$$

де $n_B^{\bar{}}$, n_B^n - кількість відмов за рік відповідно базової і нової систем;

$S_B^{\bar{}}$, S_B^n - середні витрати на усунення однієї відмови, за порівняльними варіантами, грн.;

$$S_B = Ц_B + l_q \times t_B (1 + K_{дс} / 100)$$

де $Ц_B$ - балансова вартість змінених елементів, грн;

l_q - середня годинна ставка робітника по усуненню несправності, грн., 15 грн.;

t_B - кількість годин відновлення системи після однієї відмови (включає час виходу системи на нормальний режим роботи);

$K_{дс}$ - процент додаткової зарплати та відрахування на соціальні заходи.

$$S_B^{\bar{}} = 40 + 15 \cdot 0,75 \cdot (1 + 37/100) = 55,41 \text{ грн}$$

$$S_B^n = 10 + 15 \cdot 0,25 \cdot (1 + 37/100) = 15,14 \text{ грн}$$

$$E_{відм} = 8 \cdot 55,41 - 3 \cdot 15,14 = 397,86 \text{ грн}$$

$$E_{над} = E_{зч} + E_{відм}$$

$$E_{над} = 125 + 397,86 = 522,86 \text{ грн.}$$

Б.10 Визначення витрат на експлуатацію виробу

Для визначення витрат у споживача виробу розробляється кошторис витрат (табл.Б.7). Розрахунки виконуються для базового проектного варіантів.

Таблиця Б.7 – Експлуатаційні витрати

Статті витрат	Позначення	Сума витрат за варіантами, грн	
		базовий	новий
1. Заробітна плата (основна, додаткова і відрахування на соціальні заходи) обслуговуючого персоналу (операторів).	$Z_{оп}$	96042	57225
2. Електроенергія	$Z_{ел}$	461	2592
3. Поточні ремонти	Z_p	3549	945
4. Амортизація	$Z_{ам}$	0	375
Всього витрат на експлуатацію	$Z_{ек}$	100052	61137

Заробітна плата операторів по обслуговуванню системи:

$$Z_{оп} = R_{сп} \cdot D_{тс} \cdot S \cdot F_{рд} \cdot (1 + 0,01H_d) \cdot (1 + 0,01H_c)$$

де $R_{сп}$ - кількість операторів по обслуговуванню системи за зміну, чол.;

$D_{тс}$ - середньоденна тарифна ставка одного оператора, грн./день;

S - прийнята змінність роботи підрозділу, де використовується система;

$F_{рд}$ - річний фонд часу роботи оператора, робочих днів;

H_d - норматив додаткової заробітної плати оператора, %;

H_c - норматив відрахувань у соціальні фонди, %.

$$Z_{оп}^6 = 2 \cdot 120 \cdot 1254 \cdot (1 + 0,01 \cdot 15) \cdot (1 + 0,01 \cdot 37) = 96042 \text{ грн.},$$

$$З_{оп}^H = 1143 \cdot 1254 \cdot (1 + 0,01 \cdot 15) \cdot (1 + 0,01 \cdot 37) = 57225 \text{ грн.}$$

Витрати за електроенергію визначаються з урахуванням спожитої системою потужності ($M_{баз} = 0,16$) ($M_{нов} = 0,9$) в кВт та річного фонду роботи ($\Phi_p = 1800$) в годинах:

$$З_{ел} = M \cdot \Phi_p \cdot Ц_{ел}$$

де $Ц_{ел}$ - ціна кіловат-години енергії.

$$З_{ел}^6 = 0,16 \cdot 1800 \cdot 1,6 = 461 \text{ грн.,}$$

$$З_{ел}^H = 0,9 \cdot 1800 \cdot 1,6 = 2592 \text{ грн.}$$

Витрати на поточні планові ремонти визначаються в залежності від конкретних умов експлуатації системи. При цьому враховуються матеріальні витрати ($M_{рем.баз} = 210$) ($M_{рем.нов} = 85$) для проведення одного ремонту (запасні частини та інші матеріали), час проведення одного ремонту в годинах ($t_{р.баз} = 3$), ($t_{р.нов} = 1$), середньогодинна тарифна ставка ремонтного працівника ($l_p = 23$):

$$З_p = n_p \cdot (M_{рем} + t_p \cdot l_p \cdot (1 + 0,01 H_d) \cdot (1 + 0,01 H_c))$$

де n_p - кількість планових ремонтів на рік.

$$З_p^6 = 10 \cdot (210 + 4 \cdot 23 \cdot (1 + 0,01 \cdot 15) \cdot (1 + 0,01 \cdot 37)) = 3549 \text{ грн.,}$$

$$З_p^H = 6 \cdot (85 + 2 \cdot 23 \cdot (1 + 0,01 \cdot 15) \cdot (1 + 0,01 \cdot 37)) = 945 \text{ грн.}$$

Витрати по амортизації виробу визначаються за нормою амортизації ($H_{ам}$) та додатковими капітальними вкладеннями в модернізацію (Бал):

$$З_{ам} = H_{ам} \cdot \frac{Бал}{100}$$

В балансову вартість (додаткові капітальні вкладення в модернізацію) включають ціну виробу, витрати на транспортування та підготовку до промислової експлуатації.

$$З_{ам}^H = 25 \cdot \frac{1499,77}{100} = 374,94 \text{ грн.}$$

Б.11 Визначення економічної ефективності у сфері експлуатації виробу

При експлуатації виробу сукупний економічний ефект складають:

$$E_{\text{екс}} = (Z_{\text{ек}}^{\text{б}} - Z_{\text{ек}}^{\text{н}}) + E_{\text{над}} - E_{\text{н}} \cdot B_{\text{ал}}^{\text{н}}$$

де $Z_{\text{ек}}^{\text{б}}$, $Z_{\text{ек}}^{\text{н}}$ - величина експлуатаційних витрат в порівнюваних варіантах (із табл.7.7) відповідно базового і модернізованого виробів, грн.

$$E_{\text{екс}} = (100052 - 61137) + 522,86 - 0,25 \cdot 1499,77 = 39062 \text{ грн.}$$

Період окупності додаткових капітальних витрат при експлуатації виробу визначається як:

$$T_{\text{екс}} = \frac{B_{\text{ал}}^{\text{н}}}{(Z_{\text{ек}}^{\text{б}} - Z_{\text{ек}}^{\text{н}})}$$

де $B_{\text{ал}}^{\text{н}}$ - балансова вартість модернізованої системи, грн.

$$T_{\text{екс}} = \frac{1499,77}{100052 - 61137} = 0.1 \text{ років}$$

Б.12 Зведені техніко-економічні показники

Зведені техніко-економічні показники представлені в табл. Б.8.

Таблиця Б.8 – Зведені ТЕП системи

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Величина по варіантах	
			базовий	новий
1	2	3	4	5
1	Кількість відмов системи за рік	раз	8	3
2	Витрати на експлуатацію	грн.	100052	61137
3	Собівартість приладу	грн.	—	1048,79

4	Ціна приладу	грн.	—	1363,43
5	Економічний ефект у виробника	грн.	—	11892,3
6	Період окупності у виробника	років	—	0,22
7	Економічний ефект від підвищення надійності системи	грн.	—	522,86
8	Економічний ефект у споживача	грн.	—	39062
9	Період окупності у споживача	років	—	0,1

Під час розрахунків економічної ефективності системи, розробленої в ході виконання кваліфікаційної роботи, були визначені витрати на виконання НДДКР, матеріальні витрати на виготовлення виробу, заробітна плата основних робочих за виготовлення виробу, непрямі витрати, розроблена калькуляція собівартості виробу, ціна виробу. Розрахунки показали, що введення виробу в існуючу систему призведе до значного економічного ефекту, а всі витрати на проведення модернізації окупаються менше ніж за один рік.