

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему **«Модернізація системи автоматизації опалення та гарячого водопостачання санаторію»**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Вихренко Д.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Бороздін М.К.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2023 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Ступінь вищої освіти Бакалавр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри автоматки,  
електроніки та телекомунікацій**

\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
“ 10 ” квітня 2023 р.

### **ЗАВДАННЯ**

#### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ**

**Вихренку Денису Сергійовичу**

1. Тема роботи **«Модернізація системи автоматизації опалення та  
гарячого водопостачання санаторію»**

керівник роботи Срмілова Наталя Василівна, к.т.н., доцент

затверджена наказом вищого навчального закладу від від 20.03.2023 року  
№ 236-фа .

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) технічна документація на систему  
опалення та гарячого водопостачання санаторію, температурні графіки води  
у подавальному та зворотному трубопроводі. Провести модернізацію  
системи автоматизації, забезпечити підтримку заданої температури води, яка  
надходить в систему гарячого водопостачання; регулювання подачі теплоти в  
системі опалення залежно від зміни параметрів навколишнього середовища з  
метою підтримки заданої температури повітря в опалювальних приміщеннях.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити) Характеристика об'єкту модернізації. Огляд і аналіз систем  
управління. Постановка задач на кваліфікаційну роботу. Розроблення  
системи автоматизації об'єкту. Розрахунок і вибір двигунів насосів опалення  
та гарячого водопостачання. Розрахунок механічних характеристик та  
перевірочний розрахунок двигунів. Визначення параметрів налаштування  
системи. Дослідження перехідних процесів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

- 1) принципова схема ЕП системи опалення та гарячого водопостачання;
- 2) функціональна автоматизації СО та ГВП;
- 3) структурна схеми цифрової САР;
- 4) графіки зміни температури подавальної та зворотної води у часі;
- 5) дослідження перехідних процесів системи регулювання температури подавальної води;
- 6) дослідження перехідних процесів системи регулювання температури зворотної води.

6. Дата видачі завдання 01.04.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Характеристика об'єкту модернізації. Огляд і аналіз систем управління. Постановка задач на кваліфікаційну роботу	26.04.23	I	20%	Пл. 1
2	Розроблення системи автоматизації	10.05.23		40%	Пл. 2
3	Розрахунок і вибір двигунів насосів опалення та гарячого водопостачання. Розрахунок механічних характеристик та перевірочний розрахунок двигунів	24.05.23	II	60%	Пл. 3
4	Визначення параметрів налаштування системи. Дослідження перехідних процесів	07.06.23		80 %	Пл. 4,5
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	14.06.23	III	100%	Пл. 6

Студент \_\_\_\_\_  
( підпис )

Вихренко Д.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

Єрмілова Н.В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра «Модернізація системи автоматизації опалення та гарячого водопостачання санаторію»

Робота містить 47 сторінок, 12 рисунків, 4 таблиці, 20 використаних джерел.

Ключові слова: гаряче водопостачання, насос, система опалення, електропривод, контролер.

Об'єктом розроблення кваліфікаційної роботи бакалавра є система автоматизації опалення та гарячого водопостачання будівлі санаторію. Метою роботи є модернізація даної системи з метою підвищення ефективності її роботи.

Запропонована в роботі система автоматизації підтримує задану температуру води, яка надходить в систему гарячого водопостачання; регулює подачу теплоти в системі опалення залежно від зміни параметрів навколишнього середовища з метою підтримки заданої температури повітря в опалювальних приміщеннях.

Система автоматизації працює на базі багатофункціонального контролера типу Waterheat-S1, для модернізованої системи підібрані сучасні вимірювальні перетворювачі, прилади та регулятори. Для кращого функціонування системи в роботі проведено розрахунок навантаження, вибір та перевірку вибору двигунів електропривода насосів системи опалення і гарячого водопостачання.

Розроблена структурна схема цифрової САР, проведено моделювання в середовищі MatLab перехідних процесів по каналах «завдання-вихід» та «збурення-вихід» для системи регулювання температури подавальної та зворотної води, отримані показники якості перехідних процесів, які задовольняють заданим технологічним параметрам системи.

Робота має практичну цінність, її результати після більш детальної доробки можуть бути розглянуті для використання на даному об'єкті.

## ABSTRACT

bachelor's qualification thesis "Modernization of the automation system of heating and hot water supply of the sanatorium"

The work contains 47 pages, 12 figures, 4 tables, 20 used sources.

Keywords: hot water supply, pump, heating system, electric drive, controller.

The object of development of the bachelor's qualification work is the system of automation of heating and hot water supply of the sanatorium building. The purpose of the work is to modernize this system in order to increase its efficiency.

The automation system proposed in the work maintains the set temperature of water entering the hot water supply system; regulates the supply of heat in the heating system depending on the change in environmental parameters in order to maintain the set air temperature in the heated rooms.

The automation system works on the basis of a multifunctional controller of the Waterheat-S1 type, modern measuring transducers, devices and regulators are selected for the modernized system. For better functioning of the system, load calculation, selection and verification of the choice of motors of the electric drive of pumps of the heating system and hot water supply were carried out in the work.

The structural diagram of the digital SAR was developed, the simulation of transient processes in the MatLab environment on the "task-output" and "disturbance-output" channels for the supply and return water temperature control system was carried out, and the quality indicators of the transient processes that satisfy the given technological parameters of the system were obtained.

The work has practical value, its results after more detailed finishing can be considered for use at this object.

## ЗМІСТ

Вступ .....	7
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	9
1.1 Характеристика об'єкту модернізації .....	9
1.2 Огляд і аналіз систем управління .....	12
1.3 Постановка задач на кваліфікаційну роботу. ....	13
2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА .....	14
2.1 Розроблення системи автоматизації .....	14
2.2 Розрахунок і вибір двигунів насосів систем опалення та гарячого водопостачання .....	21
2.3 Розрахунок механічних характеристик та перевірочний розрахунок двигунів .....	24
2.4 Розрахунок пускових реакторів в колі статора .....	31
2.5 Висновки по розділу .....	33
3. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ САК .....	35
3.1 Визначення параметрів налаштування системи .....	35
3.2 Результати досліджень перехідних процесів .....	42
3.3 Висновки по розділу .....	45
ВИСНОВКИ .....	45
Використана література .....	46
Додатки .....	49

## ВСТУП

В сучасному промисловому виробництві науково-технічний прогрес значною мірою пов'язаний з автоматизацією, яка докорінно змінює роль людини у процесі виробництва. Це дає можливість позбутися помилок персоналу при виконанні операцій в заданій послідовності, забезпечити необхідний рівень безпеки, економію витратних матеріалів, витрати на обслуговування практично будь-якої системи. **Актуальність теми** полягає в тому, що використання автоматизованих систем управління в теплоенергетиці дозволяє підвищити надійність та економічність енергетичних установок при малій кількості обслуговуючого персоналу, сприяє підвищенню його кваліфікації.

За рівнем автоматизації теплоенергетика займає одне з ведучих місць серед інших галузей промисловості. Теплоенергетичні установки характеризуються безперервністю процесів, що протікають у них. При цьому вироблення електричної і теплової енергії в будь-який момент часу повинно відповідати споживанню (тобто навантаженню). Майже всі операції на теплоенергетичних установках механізовані, а перехідні процеси в них розвиваються порівняно швидко. Цим обумовлюється високий розвиток автоматизації в теплоенергетиці.

**Предметом дослідження** є тепловий пункт санаторію „Псьол” Полтавської області. **Об'єктом дослідження** є модернізація системи автоматизації даного теплового пункту, яку необхідно провести для кращого функціонування обраної системи.

Електродвигуни найбільш широко застосовуються у приводах енергетичних, технологічних та транспортних машин. Вони стандартизовані та випускаються промисловістю різних типорозмірів у широкому діапазоні потужностей. Електродвигуни можуть

застосовуватись у різних кліматичних умовах, на відкритому повітрі, в запиленних приміщеннях та у вологих і хімічно-активних середовищах.

Робота електропривода різних машин має свої певні особливості, а саме такі, як змінне навантаження, періодичне вмикання або вимикання, тривалість перерв у роботі. Ці особливості ставлять специфічні вимоги до вибору потужності електродвигуна, які будуть розглядатись в розрахунковій частині кваліфікаційної роботи. Вибір двигуна за способом охолодження особливо важливий для регульованих електроприводів, так як неправильний вибір в цьому випадку може призвести до значного підвищення встановленої потужності двигуна, тобто до збільшення капітальних витрат, збільшення конструкції та до різкого зниження ККД та коефіцієнта потужності.

**Метою даної роботи** є модернізація системи автоматичного керування споживанням теплової енергії в системі опалення (СО) та гарячого водопостачання (ГВП) обраного об'єкту для підвищення ефективності її роботи.

Для цього потрібно вирішити **наступні задачі**:

- провести розрахунок та вибір електроприводу насосів системи опалення та гарячого водопостачання,
- модернізувати систему керування,
- здійснити вибір приладів керування та захисту електродвигунів насосного обладнання,
- перевірити модернізовану систему керування на якість.

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Характеристика об'єкту модернізації

Система централізованого теплопостачання - це комплекс генератора тепла (теплоелектроцентральної чи котельні) і теплових мереж, призначений для постачання теплоти споживачам - до систем опалення та гарячого водопостачання.

Теплоносій від котельні транспортується по магістральним тепловим мережам до кварталів і далі по розподільчим чи квартирним тепловим мережам до будинків або групи будинків. Оскільки таким шляхом неможливо забезпечити необхідний гідравлічний і тепловий режим у всіх споживачів теплоти, застосовують проміжні ступені підтримки температури і тиску води - центральні теплові пункти (на два чи більш будинків) чи індивідуальні теплові пункти.

У теплових пунктах передбачається розміщення обладнання, арматури, приладів контролю, керування й автоматизації, за допомогою яких здійснюється:

- перетворення виду теплоносія або його параметрів;
- контроль параметрів теплоносія;
- облік теплових потоків, витрат теплоносія і конденсату;
- регулювання витрати теплоносія і розподіл його по системах споживання теплоти (через розподільчі мережі в центральних теплових пунктах чи безпосередньо в системи індивідуальних теплових пунктів);
- захист місцевих систем від аварійного підвищення параметрів теплоносія;
- заповнення і підживлення систем споживання теплоти;
- збір, охолодження, повернення конденсату та контроль його кольоровості та яскравості;

У теплових пунктах, в залежності від його призначення і місцевих умов можуть здійснюватися всі перераховані заходи або тільки окремі пункти.

В даній кваліфікаційній роботі розглядається тепловий пункт санаторію „Псьол”, що розміщений у Полтавській області, в якому тепла енергія використовується на потреби опалення та гарячого водопостачання санаторію.

Система опалення призначена для підтримки у приміщенні температур повітря на заданому рівні, що досягається зміною кількості теплоти, яка передається до приміщення опалювальними приладами. В якості теплоносія виступає вода. Це пов'язано з численними перевагами теплоносія - води порівняно з паром. Крім того, в житлових і адміністративних будинках різних підприємств до систем опалення висувають підвищені санітарні вимоги і зокрема до температури теплоносія. У вказаних будинках вона не повинна перевищувати межу:  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$  – в житлових будинках, гуртожитках, готелях, санаторіях, школах та ін. учбових закладах, адміністративних будинках, поліклініках, дитячих садках, музеях, читальних залах, а також в приміщеннях їдалень, управлінь, котрі розміщуються у допоміжних будинках промислових підприємств та ін.

Постачання і споживання теплової енергії виробляється на підставі «Договору про відпустку і споживання теплової енергії», що полягає між енергозберігаючою організацією і споживачем. Температура постачальної мережної води для енерговиробника задається на підставі прогнозів метеостанції про температуру зовнішнього повітря у відповідності з прийнятим температурним графіком.

За температурним графіком визначають температури постачальної мережної води і зворотної води залежно від конкретної температури зовнішнього повітря. Система опалення забезпечує підігрів і охолодження повітря у приміщенні (в залежності від пори року).

Температурний графік води, яка подається в систему опалення даного санаторію при розрахунковій температурі зовнішнього повітря до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зображено на рис. 1.1.

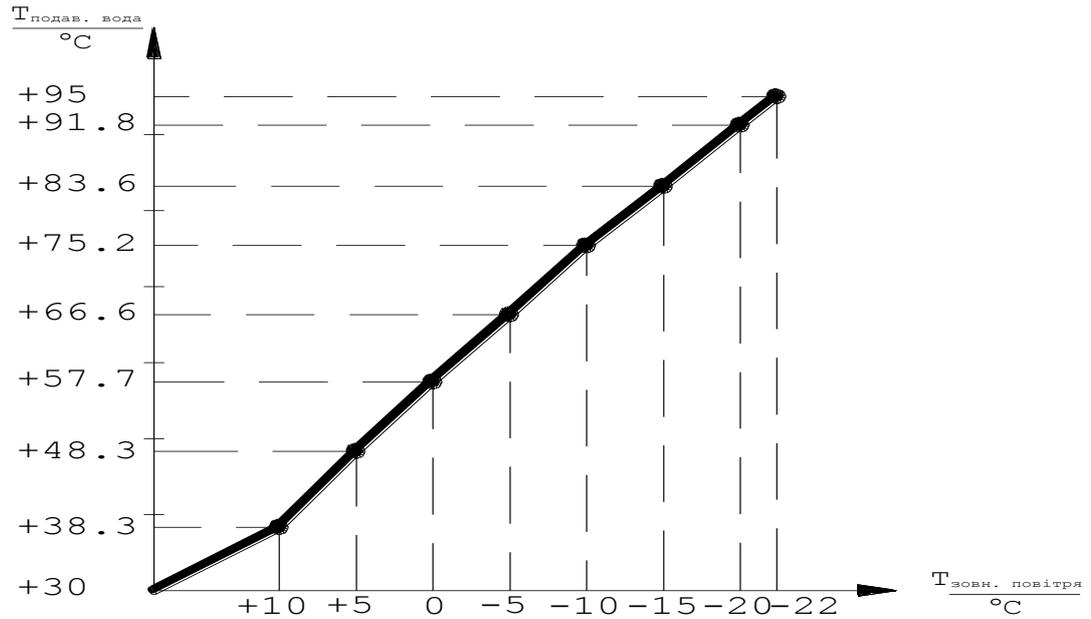


Рисунок 1.1 - Температура води, яка подається в систему опалення згідно температурного графіка при розрахунковій температурі зовнішнього повітря до  $-20^{\circ}\text{C}$

Температурний графік мережної води в зворотньому трубопроводі зображено на рис. 1.2.

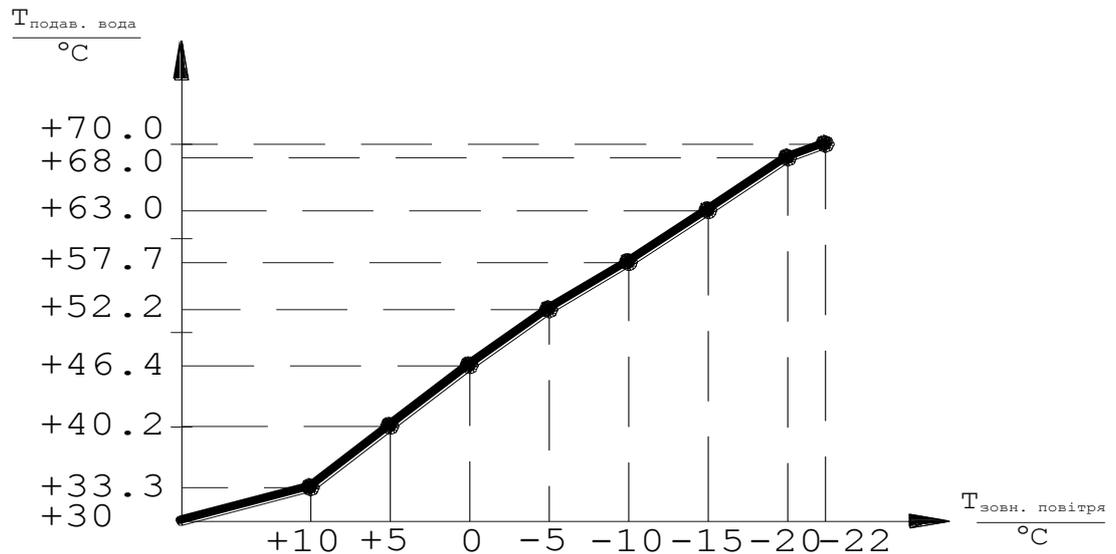


Рисунок 1.2 - Температура мережної води в зворотньому трубопроводі при розрахунковій температурі зовнішнього повітря до  $-20^{\circ}\text{C}$

## 1.2 Огляд і аналіз систем управління

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра передбачається застосування автоматичного керування споживанням теплової енергії в системах опалення та гарячого водопостачання, встановлення приладів керування та захисту електродвигунів насосного обладнання з системою АВР та аварійною сигналізацією.

Також однією з основних задач роботи являється удосконалення роботи системи за допомогою двигунів окремо на опалення та гарячого водопостачання, кожен з яких матиме по одному резервному, на випадок виходу з ладу основного двигуна.

Автоматизація теплових пунктів повинна забезпечувати: підтримання заданої температури води; регулювання подачі теплоти (теплового потоку) в системах опалення та гарячого водопостачання в залежності від зміни параметрів зовнішнього повітря з метою підтримання заданої температури повітря в опалювальних приміщеннях.

Температура води в контурі опалення контролюється регулювальним клапаном по температурі подачі в контурі опалення.

Керування теплотою споживання у двох системах (опалення – залежної системи і системи гарячого водопостачання – незалежна система) здійснюється за допомогою багатфункціонального регулятора температури з можливістю додаткового настроювання діапазонів значень вхідних та вихідних сигналів шляхом програмного зниження регулюючих параметрів за часом.

У даній роботі пропонується застосувати схему, яка буде здійснювати керування споживанням теплоти у контурах СО та ГВП шляхом непрямого включення в систему керування теплообмінника.

Температура в контурах опалення та гарячого водопостачання контролюється датчиками температури, встановленими у подаючому

трубопроводі системи опалення та гарячого водопостачання і змінюється залежно від температури зовнішнього повітря, згідно від сигналу датчиків температури.

Для якісної роботи в системі двоходові регулюючі клапани потребують постійного перепаду тиску (до і після себе). Для підтримання необхідного перепаду тиску на трубопроводах додатково встановлено перед регулюючими клапанами регулятори перепаду тиску прямої дії.

### **1.3 Постановка задач на кваліфікаційну роботу**

В роботі передбачається модернізація системи автоматизації опалення та гарячого водопостачання санаторію „Псьол” Полтавської області. Автоматизація теплового пункту повинна забезпечувати підтримку заданої температури води, яка надходить в систему гарячого водопостачання; регулювання подачі теплоти (теплового потоку) в системі опалення в залежності від зміни параметрів навколишнього середовища з метою підтримки заданої температури повітря в опалювальних приміщеннях.

У розрахунковій частині роботи ставиться задача вибору та розрахунку системи автоматичного регулювання температури мережевої води, що подається в систему опалення, після чого потрібно отримати налаштування обраного типу регулятора. Необхідно вибрати сучасні засоби вимірювання температури та засоби вимірювання і регулювання тиску.

Також необхідно провести розрахунок навантажень, вибір та перевірку вибору електродвигунів електроприводу (ЕП) насосів.

Виходячи з розрахунків, необхідно розробити функціональну схему системи атоматизації, принципову схему електроприводу системи, структурну схему системи автоматичного керування (САК), провести дослідження графіків перехідних процесів для САК температури подавальної та зворотної води.

## **2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

### **2.1 Розроблення системи автоматизації**

Автоматизація теплового пункту повинна забезпечувати:

- підтримку заданої температури води, що надходить до системи гарячого водопостачання;
- регулювання подачі теплоти (теплового потоку) до системи опалення залежно від зміни температури зовнішнього повітря з метою підтримки заданої температури повітря в опалювальних приміщеннях .
- увімкнення резервних двигунів при відключенні робочих.

#### **2.1.1 Засоби вимірювання температури**

У системі, яка розглядається, повинні контролюватися такі параметри теплоносія, як температура та тиск. Також повинна вимірюватися сумарна витрата води, що надходить від системи гарячого водопостачання, та температура зовнішнього повітря. Проводимо модернізацію засобів автоматизації.

Сумарну витрату води, яка не використовується у системі ГВП та витрату води з водопроводу запропоновано вимірювати сучасним лічильником холодної води типу Gross ETR- C(H)15/110 R50H/40V (виробник Україна).

Температура у контурах системи опалення і гарячого водопостачання, вимірюється датчиками температури, встановленими у подаючому трубопроводі системи опалення і гарячого водопостачання, і змінюється залежно від температури зовнішнього повітря згідно сигналу цих датчиків температури. Керування температурою обох контурів здійснюється шляхом подання керуючого сигналу на електродвигуни виконавчих механізмів.

Вимірювання температури зовнішнього повітря виконується датчиком температури зовнішнього повітря типу Pt 1000 Ом/0°C ESM-10, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100M і шкалою (-30 ...+50) °C.

Температура у контурі опалення – 95°C вимірюється датчиком температури типу Pt 1000 Ом/0°C ESM-11, встановленим у подаючому

трубопроводі системи опалення, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100М і шкалою (0...+120) °С.

Температура у контурі гарячого водопостачання – 45-55<sup>0</sup>С вимірюється датчиком температури типу Pt 1000 Ом/0<sup>0</sup>С ESM-11, встановленим у подаючому і зворотньому трубопроводі системи ГВП, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100М і шкалою (0...+120) °С.

Температура у контурах на виході з системи опалення і на другий теплообмінник системи гарячого водопостачання – 70<sup>0</sup>С вимірюється датчиком температури типу Pt 1000 Ом/0<sup>0</sup>С ESM-11, встановленим у зворотньому трубопроводі системи, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100М і шкалою (0...+120) °С.

Температура теплоносія із теплової мережі – 60<sup>0</sup>С вимірюється датчиком температури типу Pt 1000 Ом/0<sup>0</sup>С ESM-11, встановленим у зворотньому трубопроводі системи, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100М і шкалою (0...+120) °С.

Температура теплоносія до системи опалення – 95<sup>0</sup>С вимірюється датчиком температури типу Pt 1000 Ом/0<sup>0</sup>С ESMU-100/-250, встановленим у зворотньому трубопроводі системи, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100М і шкалою (0...+140) °С.

Температура теплоносія із системи опалення – 70<sup>0</sup>С вимірюється датчиком температури типу Pt 1000 Ом/0<sup>0</sup>С ESM-11, встановленим у зворотньому трубопроводі системи, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100М і шкалою (0...+120) °С.

Температура води до системи гарячого водопостачання – 55<sup>0</sup>С вимірюється датчиком температури типу Pt 1000 Ом/0<sup>0</sup>С ESM-11, встановленим у зворотньому трубопроводі системи, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100М і шкалою (0...+120) °С.

Температура води, яка не була використана у системі гарячого водопостачання – (45-55)<sup>0</sup>С вимірюється датчиком температури типу Pt

1000 Ом/0°C ESM-11, встановленим у зворотньому трубопроводі системи, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100М і шкалою (0...+120) °С.

Температура холодної води із водопроводу – 10°C вимірюється датчиком температури типу Pt 1000 Ом/0°C ESM-10, встановленим у зворотньому трубопроводі системи, виробник фірма DANFOS, з градуванням 100М і шкалою (-30...+50) °С.

### **2.1.2 Засоби вимірювання тиску**

Для якісної роботи в системі двоходові регулюючі клапани вимагають постійного перепаду тиску (до і після себе). Для підтримання необхідного перепаду на трубопроводах пропонуємо встановити перед регулюючими клапанами регулятори перепаду тиску прямої дії типу AVP, DN 32 003H6378, які використовуються здебільшого в системах централізованого теплопостачання. Клапан регулятора AVP закривається тоді, коли різниця тиску між точками відбору імпульсів (тобто – перепад тиску) – зростає. Регулятор AVP складається із регулювального клапану VG2 або VGF2, одноіменного регулювального елемента AVP та імпульсних трубок AV, одної або двох, що залежить від конкретного коду регулятора. Регулювальний елемент AVP в свою чергу складений з мембранного блоку, та налагоджувальної пружини без рукоятки – для налаштування значення перепаду тиску, необхідного для його підтримання.

Імпульсні трубки повинні встановлюватися між подаючими та зворотніми трубопроводами та регулюючим елементом. При використанні середовища, що пересувається з температурами від 50 до 200°C по імпульсній трубці, яка іде до подаючого трубопроводу, повинен встановлюватись охолоджувач імпульса тиску. При установці охолоджувача трубка, як правило, розрізається.

Зростання тиску у подаючому та зворотному трубопроводах буде передаватися через імпульсні трубки до регулюючого елемента. При

зростанні перепаду тиску клапан регулятора прикривається, а при його зниженні відкривається, підтримуючи таким чином перепад тиску на постійному рівні. Регулятори AVR комплектуються клапаном скидання надлишкового тиску, який захищає мембранний елемент від значного перепаду тиску.

Для вимірювання різниці тиску в даній роботі вирішено використовувати сучасні показуючі манометри. Манометри та датчики тиску на насосах монтуються на відбірних пристроях тиску з триходовими кранами, які розраховано на відповідну температуру води у місці їх встановлення.

Тиск подавального теплоносія із теплової мережі – 0,35 МПа пропонуємо вимірювати манометром показуючим типу YATO YT-24790, діапазон виміру (0...1,1) МПа (виробник Китай).

Тиск теплоносія до системи опалення після підмішуючих насосів – 0,42 МПа також пропонуємо вимірювати манометром, що показує, типу YATO YT-24790. Такі самі манометри встановлюємо для контролю тиску теплоносія до теплообмінника системи ГВП – 0,34 МПа; тиску зворотного теплоносія до теплової мережі – 0,3 МПа; тиску води до системи гарячого водопостачання – 0,26 МПа; тиску зворотного теплоносія до теплової мережі – 0,3 МПа; тиску води до системи гарячого водопостачання – 0,26 МПа; тиску води від системи гарячого водопостачання – 0,2 МПа.

### **2.1.3 Вибір контролера**

Керування теплотою споживання у двох паралельно включених контурах (опалення та гарячого водопостачання), пропонується здійснювати за допомогою сучасного контролера типу Waterheat-S1, спеціалізованого для роботи з системами теплопостачання.

Даний контролер призначений для управління двома системами опалення або однією системою опалення та однією системою гарячого

водопостачання. Контролер може бути сконфігурований під управління двома системами в нижче перелічених поєднаннях:

1. Дві залежні системи опалення (клапани в обох системах з аналоговим або трипозиційним управлінням).

2. Залежна система опалення та незалежна система опалення без підживлення (клапани в обох системах з аналоговим або трипозиційним управлінням).

3. Залежна система опалення та незалежна система опалення з підживленням (клапани в обох системах тільки з аналоговим управлінням).

4. Дві незалежні системи опалення без підживлення (клапани в обох системах з аналоговим або трипозиційним управлінням).

Даний контролер запрограмований таким чином, що температури, які виміряні датчиками, встановлюються на аналогових виходах пристрою (0-10) В.

Для кожної температури є свій діапазон, наприклад:

TE1 (температура зовнішнього повітря) =  $-30 - +45$  °С.

TE10 (температура холодної води) =  $+3 - +20$  °С.

Аналогові виходи пристрою зв'язку з об'єктом підключені до аналогових виходів керуючого контролеру, які також налаштовані на сигнал 0-10 В. Відповідно до виміряних значень температур, керуючим контролером виробляються команди на виконавчі механізми. Так, наприклад, при температурі гарячої води в системі ГВП нижчій за задане значення, контролер у відповідності із закладеною програмою почне відкривати регулюючий клапан на подачі подавального теплоносія з зовнішньої тепломережі в теплообмінник. Нові значення положення клапану знову ж передаються по інтерфейсній мережі на модель, де вона обраховує нові значення температур на об'єкті відповідно до нових даних, які далі передаються в систему, сприймаються контролером і цикл повторюється.

Для всіх конфігурацій програмного забезпечення контролер Waterheat-S1 виконує такі загальні функції для обох систем (СО та ГВП):

1. Вибір типу закону регулювання («імпульс-пауза», П, ПІ, ПД, ПІД).
2. Вибір типу управляючого сигналу регулюючим клапаном (трипозиційний або аналоговий, в тих конфігураціях, де є така можливість).
3. Можливість ввімкнення функції автоматичного контрольного відкриття/закриття (прогону) клапану із заданою періодичністю для запобігання його залипання в період тривалого простою.
4. Можливість завдання обмеження крайніх положень клапана (тільки для клапанів з аналоговим управлінням).
5. Ручне управління регулюючим клапаном з меню контролера.
6. Вибір робочого циркуляційного насосу.
7. Автоматична зміна робочого та резервного циркуляційних насосів із заданою періодичністю для їх рівномірного зношення.
8. Контроль роботи циркуляційних насосів.
9. Автоматичне ввімкнення резервного насосу в разі аварії робочого.

Температура у контурах опалення та гарячого водопостачання, вимірюється датчиками температури, встановленими у подаючому трубопроводі системи опалення та гарячого водопостачання, і змінюється залежно від температури зовнішнього повітря, згідно сигналу від датчиків.

Виконавчі механізми (ВМ) – двоходові регулюючі клапани типу ZRES з різною швидкістю ходу штоків для ВМ систем опалення та гарячого водопостачання.

Деякі типи електроприводів мають пристрої захисту, які дозволяють закрити або відкрити регулюючий клапан при зникненні струму в системі регулювання. Окрім стандартних функцій, таких як ручне управління та індикація положення, приводи мають кінцеві вимикачі, які зупиняють їх роботу при виникненні перенавантажень, у тому числі, уразі досягнення штоком клапана крайніх положень.

Додатково треба враховувати, що регулюючі клапани при зникненні напруги в електромережі зупиняються в поточному положенні.

Якщо одночасно станеться тривала зупинка насосного обладнання та регулюючих клапанів у відкритому положенні, на високих температурах у тепломережі може з'явитися загроза закіпіння води у контурах системи опалення та гарячого водопостачання (при відсутності водозбору).

#### **2.1.4 Опис щита автоматизації СО та ГВП**

На оператора системи управління покладаються наступні функції:

- спостереження за роботою технологічного обладнання і аналіз стану технологічного процесу;
- спостереження за станом пристроїв системи управління;
- зміни завдання системи регулювання;
- попередження аварій технологічного обладнання;
- виявлення несправностей і з'ясування їх причин.

Зовні на щиті автоматизації розміщено:

- ключі управління для вибору режиму управління двигунами;
- кнопки “пуск”, “стоп” для робочого і резервного насосів;
- сигнальні лампи.

Всередині щита:

- контролер для регулювання температури в системі опалення, а також для відпрацювання в автоматичному режимі операцій по управлінню насосами;
- автоматичні вимикачі систем живлення;
- модулі систем регулювання та управління виконавчими механізмами.

## **2.2 Розрахунок і вибір двигунів насосів систем опалення та гарячого водопостачання**

При проектуванні нових електроприводів або модернізації існуючих вибирають такі серійні двигуни, які забезпечували б найкраще виконання на них функцій та відповідали б умовам роботи електроприводу та робочої машини. Їхні паспортні дані (потужність, напруга, струм, частота і т.д.) повинні бути близькими до розрахункових при роботі даного електроприводу, а їх конструктивне виконання відповідати способу розміщення в електроприводі та умовам навколишнього середовища.

Основним елементом будь-якого електроприводу є двигун. Саме його даними визначаються вибір інших елементів електроприводу – перетворювачів, комутаційної апаратури, резисторів, елементів захисту тощо. З цієї причини обчисленню потужності та вибору двигуна приділяється велике значення.

Завдання вибору полягає в пошуку такого двигуна, який би забезпечував заданий технологічний цикл робочої машини, відповідав умовам навколишнього середовища та компонування з робочою машиною, а також витримував можливе нагрівання. Вибір двигуна недостатньої потужності може призвести до порушення заданого циклу, зниження продуктивності робочої машини. При цьому матиме місце також його підвищене нагрівання, прискорене старіння ізоляції та передчасний вихід двигуна з ладу, що викличе зупинку машини та усього технологічного процесу. Неприпустимим є також використання двигунів підвищеної потужності, тому що при цьому не тільки підвищується первісна вартість електроприводу, а й збільшуються втрати енергії за рахунок зниження ККД двигуна. Для асинхронного та вентильного електроприводів, крім того, знижується коефіцієнт потужності.

Вибір двигуна за способом охолодження особливо важливий для регульованих електроприводів, так як неправильний вибір в цьому

випадку може призвести до значного підвищення встановленої потужності двигуна.

Вибір типу електродвигуна пов'язаний із характером і режимом роботи електропривода – якщо пуск у дію машин здійснюється без зовнішнього навантаження, режими роботи машини короточасні або довгочасні, а вимоги до енергетичних показників привода невисокі, то доцільно вибрати відомі асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором основного виконання (АИР). Такі двигуни застосовують у приводах металорізальних верстатів, конвеєрів, механізмах пересування кранів, насосів, у приводах більшості енергетичних машин. Таким чином, обґрунтований вибір електродвигуна насосної станції є дуже важливим завданням, що визначає техніко-економічні показники та надійність роботи усього електроприводу.

Розрахунок потужності електродвигуна для насосів та вентиляторів досить простий, якщо відома потужність, споживана механізмом.

Потужність електродвигуна, який застосовуються для привода відцентрового насоса визначають зі співвідношення:

$$P = \frac{k \cdot P_n}{\eta_n}, \quad (2.1)$$

де  $P_n$  – потужність насоса, кВт;

$k$  – коефіцієнт запасу потужності, який враховує можливі перевантаження, його визначають залежно від потужності насоса:

$$P_n < 20 \text{ кВт} \quad - \quad k = 1.25;$$

$$P_n = 20-300 \text{ кВт} \quad - \quad k = 1.2, \dots 1.15 ;$$

$$P_n > 300 \text{ кВт} \quad - \quad k = 1.1;$$

$\eta_n$  – ККД передаточного механізму, при безпосередньому з'єднанні валів двигуна та насоса без редуктора або іншої передачі приймається рівним одиниці.

Оскільки в даній кваліфікаційній роботі використовуються два двигуна (систем опалення та гарячого водопостачання), то необхідно розрахувати потужність кожного.

Потужність відцентрового насосу з врахуванням подачі та висоти напору може бути визначена за відомою формулою:

$$P_H = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta_H}, \quad (2.2)$$

де  $\rho$  - щільність рідини, для води приємо рівною  $1050 \text{ кг/м}^3$ ;

$Q$  - подача насосу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$H$  - напір насосу, м;

$g$  - прискорення вільного падіння,  $g=9.8 \text{ м/с}^2$ .

Параметри  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta$  змінюються залежно від режимної точки, в якій працює насос. Але при цьому потужність двигуна не повинна бути менше потужності, яка необхідна для роботи насоса у номінальному режимі.

На даній насосній станції застосовується два основних та два резервних насоса для подачі води до системи опалення та гарячого водопостачання з наступними параметрами:

$$Q=0,03 \text{ м}^3/\text{с}; \quad Q'=0,055 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$H=10 \text{ м}; \quad H'=12 \text{ м};$$

$$\eta=0,57; \quad \eta'=0,57.$$

За формулою (2.2) відповідно до вказаних параметрів розраховуємо потужності, необхідні для кожного насосу:

$$P_H = \frac{1050 \cdot 9,8 \cdot 0,03 \cdot 10}{1000 \cdot 0,57} = 5,4 \text{ кВт},$$

$$P'_H = \frac{1050 \cdot 9,8 \cdot 0,055 \cdot 12}{1000 \cdot 0,57} = 14,28 \text{ кВт}.$$

Для розрахунку за формулою (2.1) приймаємо  $k=1,2$ , тоді:

$$P=1,2 \cdot 5,4=6,48 \text{ кВт};$$

$$P'=1,2 \cdot 11,9= 14,28 \text{ кВт}.$$

Двигун на систему гарячого водопостачання вибираємо з довідника типу АИР132S4 з наступним характеристиками:

$$P=7,5 \text{ кВт}; \quad \cos\varphi=0,86; \quad I_{\text{п}}/I_{\text{н}}=7,5; \quad M_{\text{п}}/M_{\text{н}}=2.$$

$$J=0,028 \text{ кг/м}^2; \quad n_{\text{н}}=1500 \text{ об/хв}; \quad \eta=87,5\%;$$

$$S=4\%; \quad M_{\text{max}}/M_{\text{н}}=2,5; \quad M_{\text{min}}/M_{\text{н}}=1,6.$$

На систему опалення вибираємо двигун типу АИР160S4 з такими характеристиками:

$$P'=15 \text{ кВт}; \quad \cos\varphi'=0,86; \quad I_{\text{п}}/I_{\text{н}}'=7.; \quad M_{\text{п}}/M_{\text{н}}'=1,9.$$

$$J'=0,028 \text{ кг/м}^2; \quad n_{\text{н}}'=1500 \text{ об/хв}; \quad \eta'=90\%;$$

$$S'=3\%; \quad M_{\text{max}}/M_{\text{н}}'=2,9; \quad M_{\text{min}}/M_{\text{н}}'=1,8.$$

### 2.3 Розрахунок механічних характеристик та перевірочний розрахунок двигунів

2.3.1 Розрахунок механічної характеристики, перевірка на перевантаження

Для побудови механічної характеристики асинхронного двигуна скористаємося відомою формулою Клосса:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}, \quad (2.3)$$

де  $M_k$  - критичний (максимальний) момент двигуна, Н·м;

$S$  - ковзання, яке відповідає даному моменту;

$S_k$  - критичне ковзання.

Критичний момент визначається зі співвідношення

$$M_k = M_{\text{н}} \cdot \lambda, \quad (2.4)$$

де  $M_{\text{н}}$  - номінальний момент двигуна, Н·м;

$\lambda$  – коефіцієнт, що характеризує перевантажувальну здатність двигуна.

Номінальний момент двигуна можна визначити з відомої формули:

$$M_H = 9550 \cdot P_H / n_H, \quad (2.5)$$

де  $P_H$  - номінальна потужність двигуна, Вт;

$n_H$  - номінальна частота обертання ротора двигуна,  $s^{-1}$ .

Номінальна частота обертання може бути визначена через величину ковзання  $S$ :

$$n_H = n_0(1 - S) = 1500(1 - 0,04) = 1440 \text{ об/хв},$$

$$n'_H = n_0(1 - S) = 1500(1 - 0,03) = 1455 \text{ об/хв}.$$

Визначаємо номінальний момент за формулою (2.5):

$$M_H = 9550 \cdot 7,5 / 1440 = 49,7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$M'_H = 9550 \cdot 15 / 1440 = 98,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Критичний момент згідно формули (2.4) буде дорівнювати:

$$M_K = M_{\max},$$

Оскільки  $M_{\max}/M_H = 2,5$ , то  $M_{\max} = 2,5 \cdot 49,7 = 124,25 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Отже,  $M_K = 124,25 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Відповідно,  $M_{\max}/M'_H = 2,9$ ;  $M'_{\max} = 2,9 \cdot 98,4 = 285,36 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Отже,  $M'_K = 285,36 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Критичне ковзання знайдемо за відомою формулою:

$$S_k = S_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) \quad (2.6)$$

$$S_k = 0,04(2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,19,$$

$$S'_k = 0,03(2,9 + \sqrt{2,9^2 - 1}) = 0,16.$$

Таким чином, формула (2.3) після підстановки отриманих значень для системи ГВП прийме вигляд:

$$M = \frac{2 \cdot 124,25}{\frac{S}{0,19} + \frac{0,19}{S}}, \quad (2.7)$$

Відповідно для системи опалення

$$M' = \frac{2 \cdot 285,36}{\frac{S}{0,16} + \frac{0,16}{S}} \cdot$$

За отриманими формулами проводимо розрахунок механічних характеристик двигунів, результати яких представлені в таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1– Розрахунок механічної характеристики двигуна ГВП

S	M, Н·м
0	0
0,01	13,04
0,05	61,2
0,1	103,54
0,2	124,25
0,3	116,20
0,4	99,4
0,5	83,3
0,6	70,3
0,7	65,3
0,8	55,2
0,9	50,4
1	46,1

За спрощеною формулою Клосса недоцільно будувати механічну характеристику двигуна, особливо в області ковзань, які вище критичного, тому механічну характеристику можливо побудувати по її характерним точкам: точці холостого ходу (0,0); точці номінального

режиму ( $S_H, M_H$ ); точці максимального ( $S_K, M_K$ ) та пускового ( $1, M_{II}$ ) моменту.

Також враховуємо, що на ділянці між точками холостого ходу та номінального режиму характеристика наближається до прямої, а між точками максимального та пускового моментів має вигляд параболи. Характеристика побудована у відносних координатах (рис. 2.1).

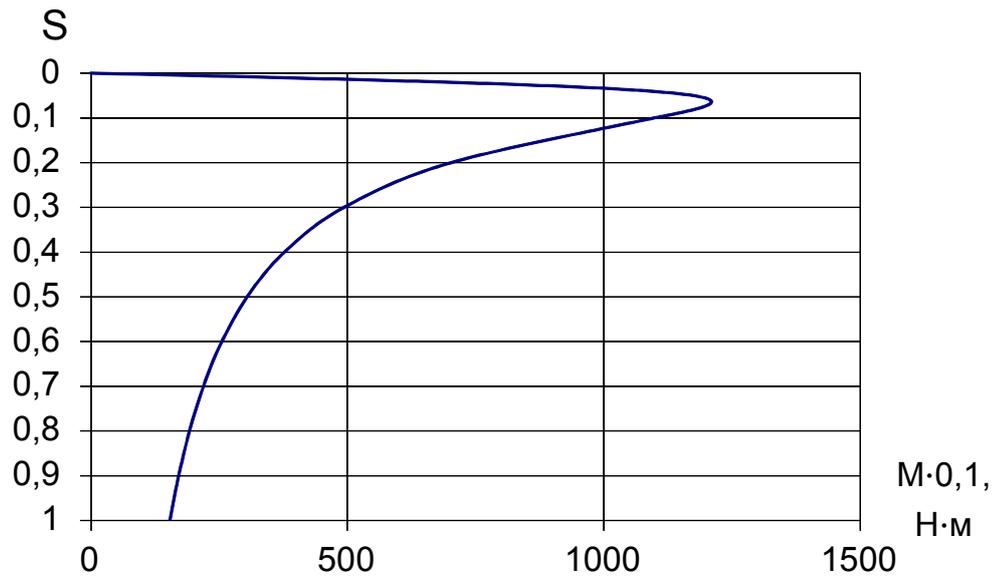


Рисунок 2.1 – Механічна характеристика двигуна системи ГВП

Таблиця 2.2 – Розрахунок механічної характеристики двигуна системи опалення

S	M, Н·м
0	0
0,01	35,5
0,05	162,5
0,1	257,08
0,2	278,4

0,3	237,8
0,4	196,8
0,5	166,8
0,6	142,3
0,7	126,8
0,8	109,7
0,9	100,1
1	89,03

Механічна характеристика двигуна системи опалення, побудована по даних табл. 2.2, представлена на рис. 2.2.

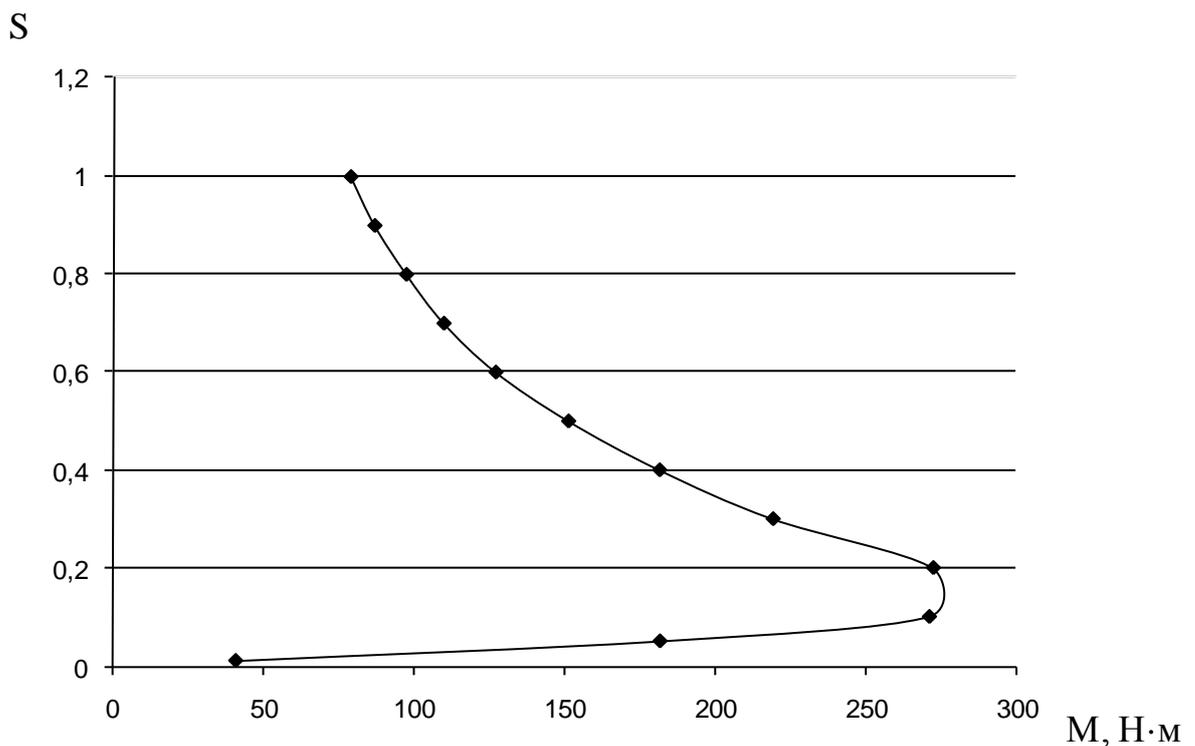


Рисунок 2.2 - Механічна характеристика двигуна системи опалення

Перевіримо двигуни на перевантажувальну здатність. Така перевірка має на меті запобігання зупинці електродвигунів під час різкого збільшення зовнішнього навантаження. Для правильної роботи двигунів необхідне виконання умови:

$$M_{H.MAX} < M_K, \quad (2.7)$$

де  $M_{H.MAX}$  - максимальний момент навантаження на валу відцентрового насосу, Н·м;

$M_K$  – максимальний момент на валу двигуна, Н·м.

Відомо, що максимальний момент на валу відцентрового насосу може складати 1,5 від номінального моменту. Номінальний момент насосу визначаємо за формулою:

$$M_{H.H} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / \eta \cdot \omega, \quad (2.8)$$

де  $\omega$  – кутова частота обертання робочого колеса насосу,  $s^{-1}$ , приймаємо її рівною кутовій частоті обертання вала двигуна, яка пов'язана зі швидкістю обертання відомою формулою  $\omega = \frac{n_H}{9,55}$ , маємо для системи ГВП  $\omega = 1440 s^{-1}$ .

Тоді:

$$M_{H.H} = 1050 \cdot 9,8 \cdot 0,03 \cdot 10 \cdot 9,55 / (0,57 \cdot 1440) = 35,91 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Для системи опалення:

$$M'_{H.H} = 1050 \cdot 9,8 \cdot 0,055 \cdot 12 \cdot 9,55 / (0,57 \cdot 1455) = 77,35 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальний момент на валу двигунів матиме значення:

$$M_{H.MAX} = 1,5 \cdot 35,91 = 53,86 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M'_{H.MAX} = 1,5 \cdot 77,35 = 116,03 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичний момент двигуна являє собою його максимальний момент, він був визначений раніше при розрахунку механічної характеристики двигуна:

$$M_K = 124,25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M'_K = 285,36 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким чином, умова (2.7) виконується в обох випадках:

$$53,86 < 124,25;$$

$$116,03 < 285,36,$$

що свідчить про правильність вибору двигунів.

### 2.3.2 Перевірка пуску двигуна при пониженій напрузі

Для забезпечення нормального пуску привода необхідно щоб виконувалась умова:

$$M_{H.MAX} < M_{П.д}, \quad (2.9)$$

де  $M_{п.н}$  - максимальний момент на валу відцентрового насосу, Н·м;

$M_{П.д}$  – пусковий момент на валу двигуна, Н·м.

Перевірка двигуна виконується для можливих несприятливих умов пуску та експлуатації, коли напруга електромережі падає на 10%. Як свідчить досвід експлуатації, падіння напруги в  $n$  разів призводить до зменшення моменту в  $n^2$  разів (тобто 10% зниження напруги зменшує момент на 19%). Тому припустимим вважається 10% зниження напруги живлячої мережі.

Враховуємо, що з технічних характеристик обраних двигунів пусковий момент складає  $2,0 \cdot M_{н.н}$  для насосу на гаряче водопостачання та  $1,9 \cdot M_{н.н}$  для насосу на систему опалення.

Можливе падіння напруги враховуємо при розрахунку моменту:

$$M_{П.д} = 0,81 \cdot 2,0 \cdot M_H, \quad (2.10)$$

$$M_{П.д} = 0,81 \cdot 2,0 \cdot 49,7 = 80,51 \text{ Н·м};$$

$$M'_{П.д} = 0,81 \cdot 1,9 \cdot M'_H, \quad (2.11)$$

$$M'_{П.д} = 0,81 \cdot 1,9 \cdot 98,4 = 151,43 \text{ Н·м.}$$

Отже, маємо нерівності:

$$53,86 < 80,51.$$

$$116,03 < 151,43.$$

Виконання нерівностей свідчить про надійний пуск двигунів навіть при зниженні напруги живлення.

## 2.4 Розрахунок пускових реакторів в колі статора

Для зниження пускових струмів короткозамкнених асинхронних двигунів у коло статора на момент пуску вводять активні або реактивні опори. Зниження струму характеризується коефіцієнтом  $\alpha$  :

$$I_{np} = \alpha \cdot I_n \quad (2.12)$$

$I_{np}$  - пусковий струм при відкненому резисторі;

$I_n$  - пусковий струм при відсутності резистора.

В нашому розрахунку  $\alpha$  приймає рівним 0,5.

Для розрахунку величини пускового резистору спочатку визначають номінальне ковзання :

$$S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0}, \quad (2.13)$$

$n_0$  - синхронна швидкість поля статора;

$n_H$  - швидкість обертання ротора електродвигуна.

Для обраного двигуна номінальне ковзання дорівнює  $S_H = 0,04$ .

Визначаємо номінальний струм двигуна:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H}, \quad (2.14)$$

$P_H$  - номінальна потужність;

$U_H$  - номінальна напруга;

$\eta_H$  - ККД;

$\cos \varphi_H$  - номінальний коефіцієнт потужності двигуна.

$$I_H = \frac{7,5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,875 \cdot 0,86} = 15,14 \text{ А};$$

Визначаємо коефіцієнт потужності в момент пуску:

$$\cos \varphi_n = \cos \varphi_H \left[ \frac{M_n}{M_H} \cdot \frac{\eta_H}{(1-S_H) \cdot \frac{I_n}{I_H}} + \gamma \cdot \frac{I_n}{I_H} (1-\eta_H) \right], \quad (2.15)$$

Тут  $\gamma = \frac{1}{3}$  - визначає відношення втрат у міді до номінальних втрат.

Після розрахунку отримуємо

$$\cos \varphi_n = \cos \varphi_H \left[ 2 \cdot \frac{0,875}{(1-0,04) \cdot 7,5} + \frac{1}{3} \cdot 7,5(1-0,875) \right] = 0,5524.$$

Далі визначаємо пусковий струм електродвигуна:

$$I_n = K_3 \cdot I_H, \quad (2.16)$$

де  $K_3$  - коефіцієнт кратності пускового і номінального струмів ( $K_3=7,5$ ).

$$I_n = 7,5 \cdot 15,14 = 113,55 A.$$

Повний опір фази двигуна у момент пуску:

$$Z_k = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad (2.17)$$

$$Z_k = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 113,55} = 1,932 \text{ Ом}.$$

Визначаємо активний та індуктивний опори фази при пуску:

$$r_k = Z_k \cdot \cos \varphi_n \quad (2.18)$$

$$x_k = Z_k \cdot \sin \varphi_n \quad (2.19)$$

Величину  $\sin \varphi_n$  знаходимо за таким співвідношенням:

$$\sin \varphi_n = \sin(\arccos(0,5524)) = 0,8335.$$

Тоді:  $r_k = 1,932 \cdot 0,5524 = 1,067 \text{ Ом},$

$$x_k = 1,932 \cdot 0,8335 = 1,61 \text{ Ом}.$$

Індуктивний опір пускового реостата на фазу визначаємо зі співвідношення:

$$x_n = \sqrt{\left(\frac{Z_k}{\alpha}\right)^2 - r_k^2} - x_k = \sqrt{\left(\frac{1,932}{0,5}\right)^2 - 1,067^2} - 1,61 = 2,099 \text{ Ом} \quad (2.20)$$

Визначаємо величину індуктивності з відомої формули:

$$x_n = \omega \cdot L, \quad (2.21)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1} \quad (2.22)$$

Звідси величина індуктивності

$$L = \frac{x_n}{\omega} = \frac{2,099}{314} = 0,00668 \text{ Гн} = 6,68 \text{ мГн}.$$

Реактори необхідні з індуктивністю 6,68 мГн, які вибираємо за довідником. Усього потрібно 3 реактори (по одному на кожен фазу).

Вибраний реактор марки ЕРОМ-350/6 має наступні характеристики:

$$U_H = 220 \text{ В}$$

$$I_{HP} = 105 \text{ А}$$

$$L = 0,006 \text{ Гн}$$

$$I_{MAX} = 240 \text{ А}$$

Перевіряємо відхилення (прийнято допустиме відхилення 20 %):

$$\Delta L = \frac{L_n - L_{кат}}{L_n} \cdot 100\% < 20\% \quad (2.23)$$

$$\Delta L = \frac{0,00668 - 0,006}{0,00668} \cdot 100\% = 10,7\% .$$

Таким чином вибрані реактори нам підходять, так як відхилення від норми менше допустимого.

## 2.5 Висновки по розділу

В розділі запропонована система автоматизації теплового пункту санаторію, яка буде забезпечувати підтримку заданої температури води, що

надходить до системи гарячого водопостачання, а також регулювання подачі теплового потоку до системи опалення залежно від зміни температури зовнішнього повітря з метою підтримки заданої температури повітря в опалювальних приміщеннях.

Для цього були обрані сучасні засоби вимірювання температури та засоби вимірювання і регулювання тиску. Пропонується керування теплотою споживання у двох паралельно включених контурах (опалення та гарячого водопостачання), здійснювати за допомогою сучасного контролера типу Waterheat-S1, спеціалізованого для роботи з системами тепlopостачання.

Розроблений щит автоматизації СО та ГВП з описом його функцій та основного обладнання.

Проведений розрахунок, вибір та перевірка вибору електродвигунів на перевантаження та спроможність пуску двигуна з врахуванням можливості падіння напруги на 10% насосів систем опалення та гарячого водопостачання.

Також проведений розрахунок та вибір пускових реакторів для зниження пускового струму електродвигунів насосів.

### 3. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ САК

В системі автоматичного регулювання досліджуваного теплопункта передбачено дві системи регулювання: система опалення (СО) та система гарячого водопостачання ГВП). Обидві системи повинні забезпечувати підтримку стабільності температури води, яка надходить до споживачів залежно від температури зовнішнього середовища та температурного графіку.

#### 3.1 Визначення параметрів налаштування системи

Розрахунок налаштувань системи виконується по параметрам динаміки об'єкта управління, в якості котрого виступають СО та ГВП, які отримуються після обробки кривих розгону, що будуються по експериментальним даним.

Параметрами такого об'єкту управління є:

- коефіцієнт передачі об'єкта  $K_{об}$ , котрий визначають, як встановлене відхилення величини, що регулюється, в розрахунку на одиничне стрибкоподібне збурення;
- загальне запізнення  $\tau_{об}$ ;
- стала часу  $T_{об}$ .

Для визначення загального запізнення  $\tau_{об}$  та сталої часу  $T_{об}$  проводять дотичну до перехідної характеристики в точці, де швидкість зміни величини максимальна. Проекція відрізка дотичної на вісь часу визначає час запізнювання  $\tau_{об}$  та постійну часу  $T_{об}$ .

Для розрахунку було обрано дві одноконтурні САР: температура зворотної води до тепломережі з корекцією по температурі зовнішнього повітря і температура подавальної води в систему ГВП.

При подачі ступінчастого збурення в розмірі 16% по шкалі виконавчого механізму були отримані такі перехідні характеристики, що представлені в наступному графічному і табличному вигляді.

Таблиця 3.1 – Дані перехідних характеристик температури

t, c	0,0	178	658	1138	1618
T, °C	72	72	75,5	77,5	78,6
t, c	2098	2578	3058	3538	4000
T, °C	79,2	79,6	79,7	79,9	79,9

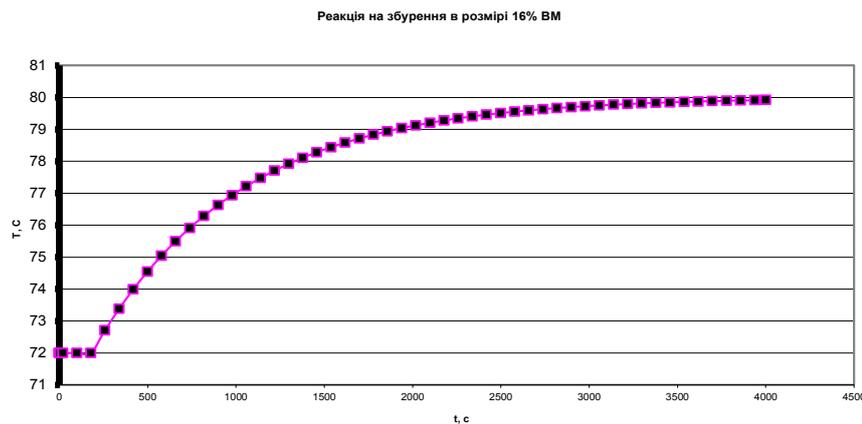


Рисунок 3.1 – Перехідна характеристика об'єкту регулювання – температура зворотньої води з систему опалення – регулююча дія

Параметри об'єкту:

$$K_{об}=0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{PO}; \quad \tau_{об}=180 \text{ c}; \quad T_{об}=830 \text{ c}.$$

Для визначення параметрів об'єкту проведемо нормування перехідної характеристики:

$$h(t) = \frac{y(t) - y(0)}{y(\infty) - y(0)}; \quad \tau = 1.07 t_1 - 0.07 \cdot t_2 \quad T_{об} = \frac{t_2 - \tau}{1.61}; \quad k_{об} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3.1)$$

За нормованими характеристиками визначаємо параметри об'єкту керування:

$$\tau_1 = 1.07 \cdot 267.4 - 0.07 \cdot 1516 = 180 \quad T_{об} = \frac{1516 - 180}{1.61} = 830; \quad k_{об} = \frac{8}{16} = 0.5,$$

$$W_{об_1}(s) = \frac{0.5}{830 \cdot s + 1} e^{-180s};$$

Перехідні характеристики об'єкту регулювання наведені на рис. 3.1 та рис. 3.3. На рис. 3.2 представлена нормована перехідна характеристика.

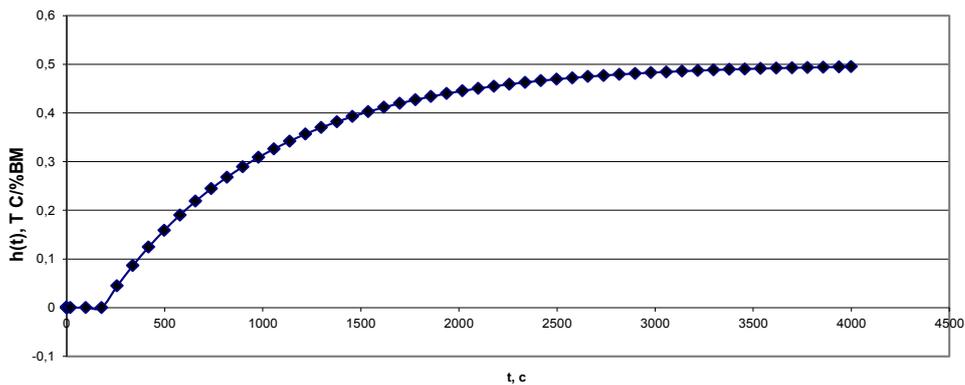


Рисунок 3.2 - Нормована перехідна характеристика

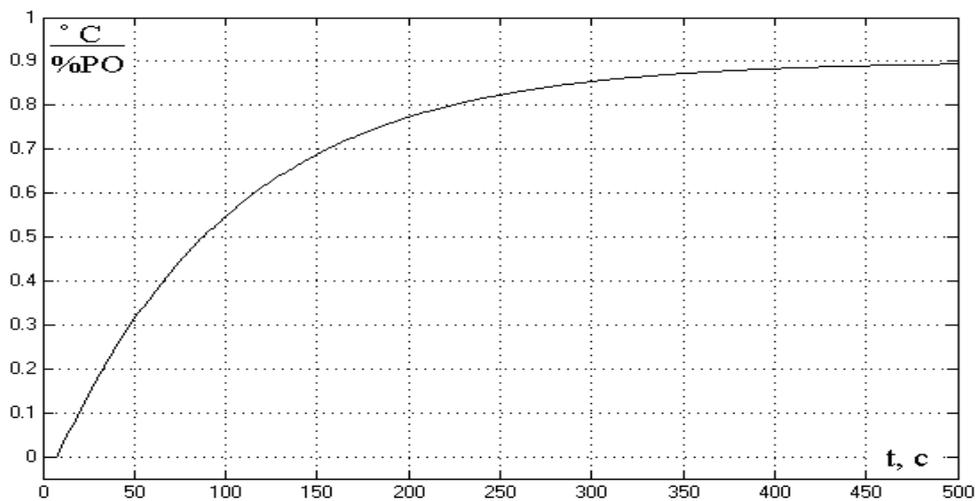


Рисунок 3.3 - Перехідна характеристика об'єкту регулювання – температура подавальної води в систему ГВП

Параметри об'єкту:

$$K_{об} = 0,9 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{ PO};$$

$$\tau_{об} = 8 \text{ c};$$

$$T_{об} = 98 \text{ c}.$$

Оскільки в даній кваліфікаційній роботі використовується програмований контролер, то систему автоматичного регулювання (САР) будемо розглядати та розраховувати як цифрову.

Використання цифрових модулів для управління технологічними процесами вносить свої корективи у роботу систем управління. Це обумовлюється тим, що цифрові модулі оперують дискретними сигналами, тобто сигналами, котрі приймають певне значення тільки в дискретні, рівноудалені періоди часу через інтервал часу  $T_0$ , котрий називається періодом повторення або періодом квантування.

Застосування мікропроцесорних пристроїв для управління технологічними процесами дозволяє:

- за допомогою одного програмованого контролера реалізовувати декілька систем регулювання;
- удосконалювати алгоритм управління об'єктом, не змінюючи технічну елементну базу;
- досить легко змінювати і удосконалювати структуру управління об'єктом.

Структурна схема цифрової САР наведена на рис. 3.4.

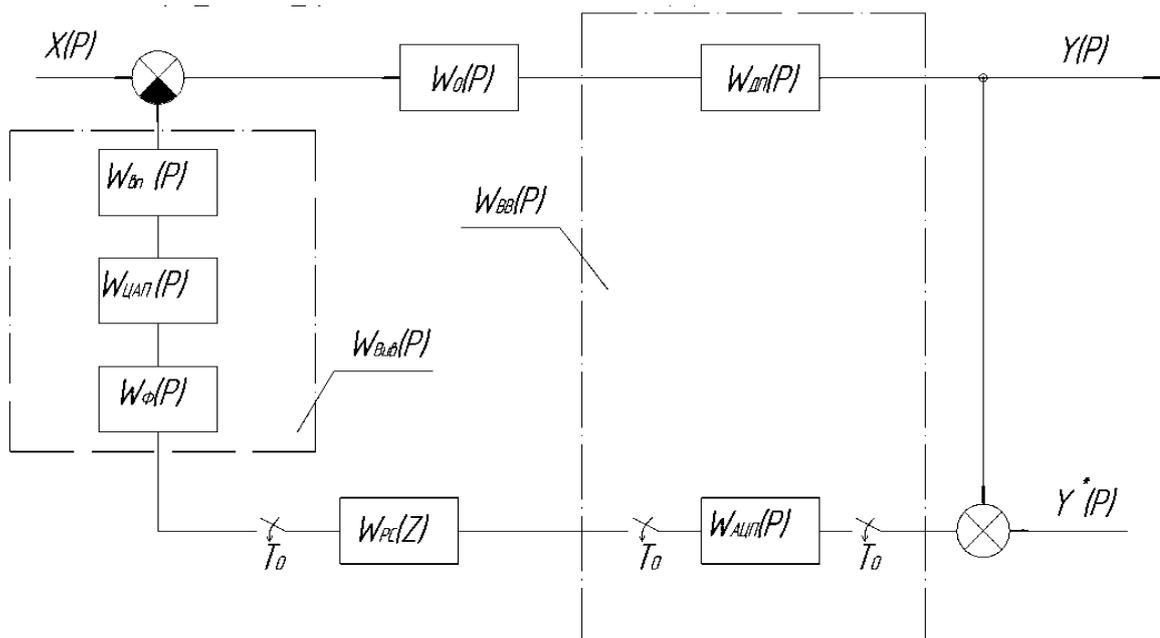


Рисунок 3.4 - Структурна схема цифрової САР

Тут  $W_{en}(p)$  - передавальна функція виконавчого пристрою;

$W_{ЦАП}(p)$  - передавальна функція цифро-аналогового перетворювача;

$W_{\phi}(p)$  - передавальна функція фіксатора нульового порядку;

$W_{РС}(z)$  - передавальна функція контролера;

$W_{АЦП}(p)$  - передавальна функція аналогово-цифрового перетворювача;

$W_{ДП}(p)$  - передавальна функція датчика-перетворювача;

$T_o$  - період квантування (в секундах).

Для розрахунків приймемо розрядність АЦП та ЦАП – 16, тобто максимальне число в десятковій системі дорівнює  $2^n - 1 = 2^{16} - 1 = 65535$ .

Діапазон зміни регулюючого параметру приймаємо  $\Delta y = 120^\circ\text{C}$ .

Період квантування визначаємо як 0,04 с.

Передавальна функція каналу введення інформації для температури зворотньої води в загальному вигляді може бути записана:

$$W_{вв}(p) = W_{ДП} \cdot W_{АЦП} = K_{ДП} \cdot K_{АЦП}, \quad (3.2)$$

де  $W_{ДП}$  - передавальна функція датчика-перетворювача;

$W_{АЦП}$  - передавальна функція аналогово-цифрового перетворювача.

Знайдемо перехідну функцію датчика-перетворювача:

$$W_{ДП} = \frac{\Delta I}{\Delta x}, \quad (3.3)$$

де  $\Delta I$  - нормована вихідна величина перетворювача,

$\Delta x$  - шкала датчика.

Температура зворотньої води вимірюється за допомогою датчику температури типу Pt 1000 Ом/ $0^\circ\text{C}$  ESM-11 (0...20) мА, шкала якого (0...120) $^\circ\text{C}$  є вихідним сигналом.

Тому маємо:

$$W_{ДП.под.} = \frac{\Delta I}{\Delta Y} = \frac{20 mA}{120^{\circ}C} = 0,167 \frac{mA}{^{\circ}C} .$$

Аналогічно розрахуємо канал введення інформації для температури води системи ГВП. Температура вимірюється за допомогою такого ж датчику температури (0...20) мА, шкала якого (0...120)<sup>0</sup>С є вихідним сигналом.

$$\text{Тому } W_{ДП.звор.} = \frac{\Delta I}{\Delta Y} = \frac{20 mA}{120^{\circ}C} = 0,167 \frac{mA}{^{\circ}C} .$$

Для перетворення аналогового сигналу в цифровий використовується шістнадцятирозрядний АЦП (n=16).

$$W_{АЦП} = \frac{2^n - 1}{\Delta I}, \quad (3.4)$$

де  $\Delta I$  - нормована вихідна величина перетворювача.

Температуру води в системі ГВП (прямої) та зворотної води СО було вирішено вимірювати за допомогою вищеописаних датчиків температури типу Pt 1000 Ом/0<sup>0</sup>С ESM-11 з вихідним сигналом (0...20) мА, тому маємо однакові величини для АЦП:

$$W_{АЦП_{Прям.}} = \frac{2^n - 1}{\Delta I} = \frac{65535}{20 \text{ мА}} = 3276,75 \frac{1}{\text{мА}},$$

$$W_{АЦП_{Зворот.}} = \frac{2^n - 1}{\Delta I} = \frac{65535}{20 \text{ мА}} = 3276,75 \frac{1}{\text{мА}}.$$

Остаточно передавальна функція каналу введення інформації для температури зворотної води та подавальної води системи ГВП має вигляд:

$$W_{ВВ.подав.}(p) = 0,167 \times 3276,75 = 547,217 \frac{1}{^{\circ}C},$$

$$W_{ВВ.зворот.}(p) = 0,167 \times 3276,75 = 547,217 \frac{1}{^{\circ}C}.$$

Передавальна функція каналу виводу інформації в загальному вигляді може бути записана:

$$W_{\text{вив}}(p) = W_{\phi}(p) \cdot W_{\text{ЦАП}}(p) \cdot W_{\text{ВП}}(p), \quad (3.5)$$

Де  $W_{\text{ЦАП}}(p)$  - передавальна функція цифро-аналогового перетворювача;

$W_{\phi}(p)$  - передавальна функція фіксатору нульового порядку;

$W_{\text{ВП}}(p)$  - передавальна функція виконавчого пристрою.

$$W_{\phi} = \frac{1 - e^{-T_0 p}}{p}, \quad (3.6)$$

тут  $T_0$  - період квантування у секундах, маємо значення  $T_0 = 0,04$ .

Таким чином:

$$W_{\phi} = \frac{1 - e^{-T_0 p}}{p} = \frac{1 - e^{-0,04p}}{p},$$

$$W_{\text{ЦАП}} = \frac{\Delta I}{2^n - 1} = \frac{20 \text{ мА}}{65535} = 0,00035 \text{ мА},$$

$$W_{\text{ВП}} = \frac{K_{\text{ВП}}}{p} = \frac{\Delta X_{\text{max}}}{p \cdot \Delta I \cdot T_0} = \frac{20}{p \cdot 20 \cdot 0,01} = \frac{100}{p}.$$

Остаточно передавальна функція каналу виводу інформації для температури води ГВП має вигляд:

$$W_{\text{вив.подав}}(p) = \frac{0,035(1 - e^{-0,04p})}{p^2}.$$

Передавальна функція каналу виводу інформації для температури зворотної води СО має вигляд:

$$W_{\text{вив.зворот}}(p) = \frac{0,035(1 - e^{-0,04p})}{p^2}.$$

### 3.2 Результати досліджень перехідних процесів

У якості закону регулювання в даній системі використовується ПІ-закон регулювання. Для розрахунку налаштувань контролера було використано частотний метод.

Моделювання проведене в середовищі MatLab.

Для системи регулювання температури подавальної води отримані наступні результати розрахунку для налаштування регулятора:

$$K_p = 3.1921; \quad T_u = 397,62.$$

Зображення перехідних процесів по каналу “завдання-вихід” та “збурення-вихід” для системи регулювання температури подавальної води представлено на рис. 3.5 та 3.6.

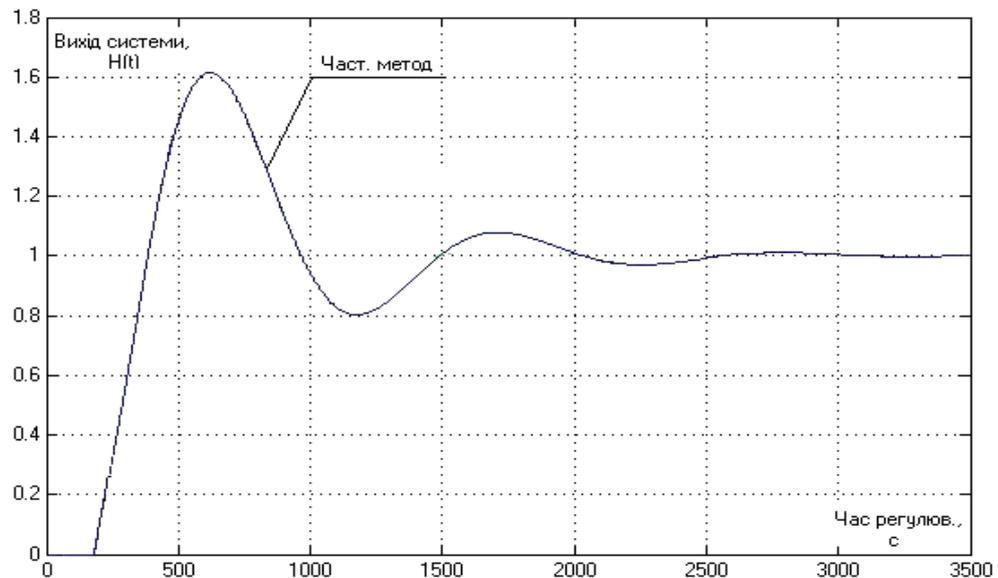


Рисунок 3.5 – Графік перехідного процесу по каналу «завдання-вихід»

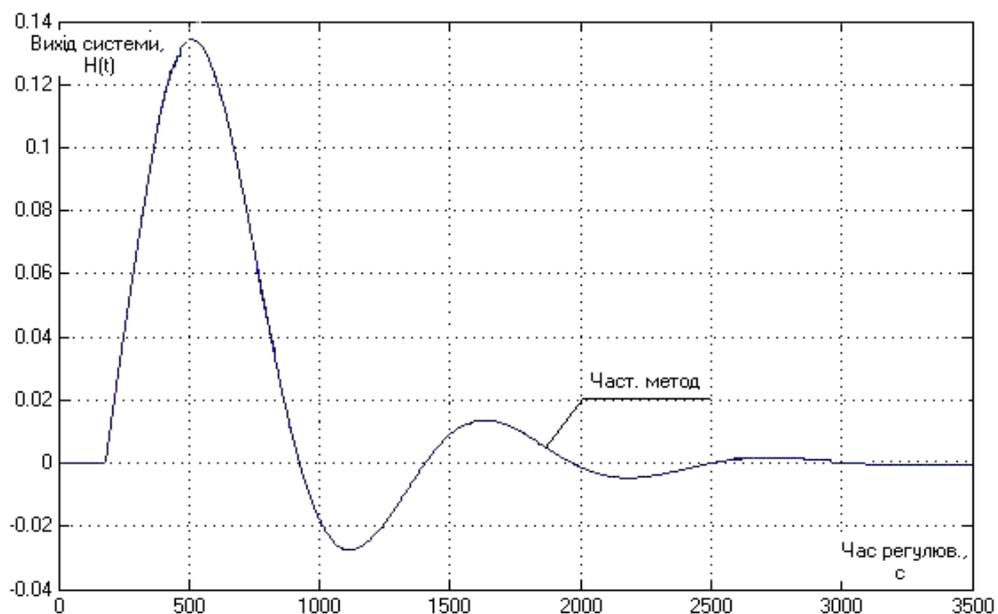


Рисунок 3.6 - Графік перехідного процесу по каналу “збурення-вихід”

При аналізі системи автоматичного регулювання (САР) – температура зворотної води з системи опалення в залежності від температури зовнішнього повітря були отримані якості перехідного процесу, котрі задовольняють заданим технологічним параметрам, а саме:

- максимальне динамічне відхилення  $-1,6^{\circ}\text{C}$ ;
- перерегулювання – 61 %;
- час регулювання – 2700 с.

Для системи регулювання температури зворотної води отримані наступні результати розрахунку для налаштування регулятора:

$$K_p = 10,4066; \quad T_u = 21,2571.$$

Графіки перехідних процесів по каналу “завдання-вихід” та “збурення-вихід” для системи регулювання температури зворотної води представлено на рис. 3.7 та рис. 3.8.

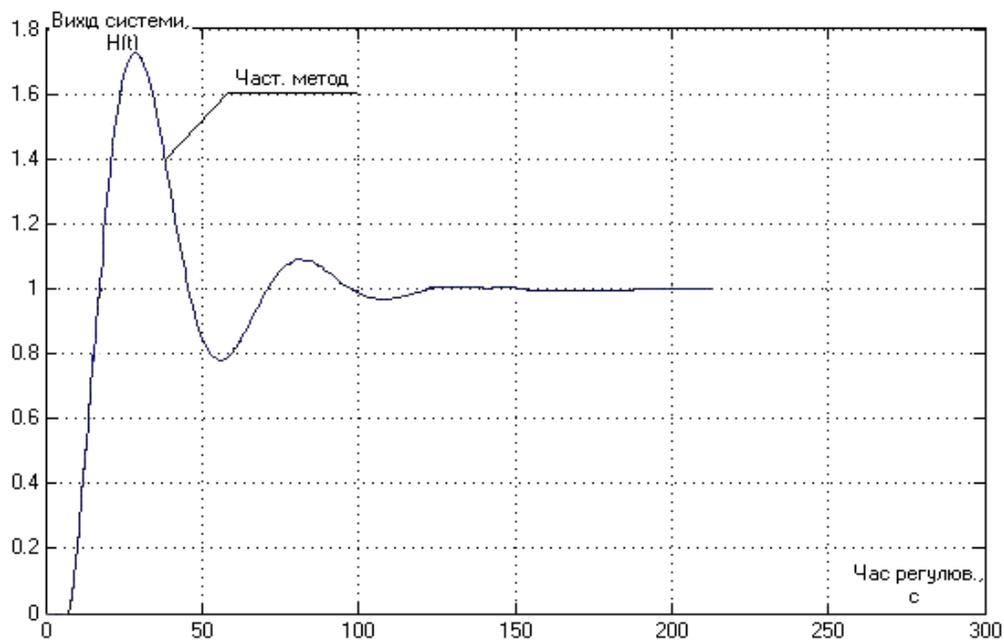


Рисунок 3.7 - Перехідний процес по каналу “завдання - вихід”

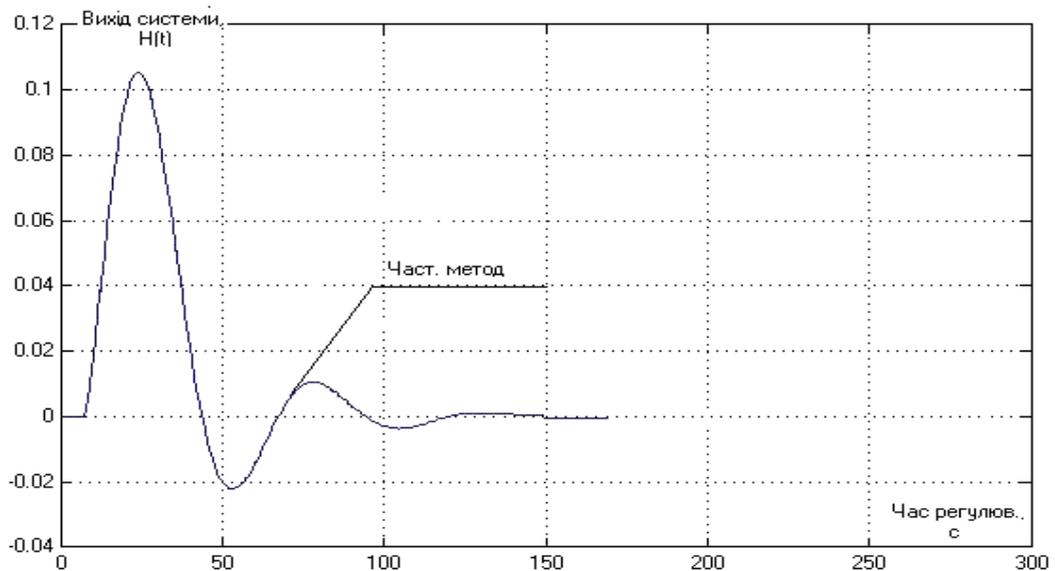


Рисунок 3.8 - Перехідний процес по каналу “збурення-вихід”.

При аналізі системи регулювання - температура води в системі ГВП отримані наступні показники якості перехідних процесів, які задовольняють заданим технологічним параметрам, а саме:

- максимальне динамічне відхилення –  $1,8^{\circ}\text{C}$ ;
- перерегулювання – 68 %;
- час регулювання – 160 с.

Аналізуючи промодельовані в середовищі MatLab перехідні процеси, можна зробити висновок, що запропонований метод є доцільним у використанні в даній кваліфікаційній роботі як метод розрахунку налаштувань регулятора.

### 3.3 Висновки по розділу

В даному розділі проведений розрахунок системи автоматичного керування, який виконаний по параметрам динаміки об’єкта управління, в якості котрого виступають СО та ГВП. Промодельовані перехідні процеси по каналах «завдання-вихід» та «збурення-вихід» для системи регулювання температури подавальної та зворотної води, отримані показники якості, котрі задовольняють заданим технологічним параметрам системи.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра була проведена модернізація системи автоматизації опалення і гарячого водопостачання санаторію „Псьол” Полтавської області.

В результаті проектування система автоматизації підтримує задану температуру води, яка надходить в систему гарячого водопостачання; регулює подачу теплоти в системі опалення залежно від зміни параметрів навколишнього середовища з метою підтримки заданої температури повітря в опалювальних приміщеннях. Запропонована система автоматизації працює на базі багатофункціонального контролера типу Waterheat-S1, який спеціалізований для роботи з системами тепlopостачання.

Було розроблено схему автоматизації, до якої підібрані необхідні вимірювальні перетворювачі, прилади та регулятори. Для кращого функціонування системи було проведено розрахунок навантаження, вибір та перевірку вибору двигунів електропривода насосів системи опалення і гарячого водопостачання; побудовані механічні характеристики двигунів, визначені характерні точки цих характеристик, проведена модернізація електроприводу насосів опалення і гарячого водопостачання.

Розроблена структурна схема цифрової САР, проведене моделювання в середовищі MatLab перехідних процесів по каналах «завдання-вихід» та «збурення-вихід» для системи регулювання температури подавальної та зворотної води, отримані показники якості перехідних процесів, які задовольняють заданим технологічним параметрам системи. Це підтверджує доцільність проведеної модернізації.

Робота має практичну цінність, її результати після більш детальної доробки можуть бути розглянуті для використання на даному об'єкті.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель : навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380 с.
2. Автоматизація технологічних процесів: Автоматизація основних інженерних систем будівлі : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології» /Укладачі: В. П. Бунь, Т. Г. Баган, О. В. Степанець, Ю. І. Маріяш – Київ : КПІ імені Ігоря Сікорського, 2019. – 65 с.
3. Пирков В.В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення / В.В. Пирков. – К. : П ДП «Такі справи», 2003. – 176 с.
4. ДБН В.2.5-67:2013 «ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ». Чинний від 2014- 01-01. – Київ: Мінрегіонбуд та ЖКГ України, 2013. – 232 с.
5. Шефер, В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.
6. Онушко, В.В. Моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник / В.В. Онушко, Д.В. Стрижеус. – Полтава, ПолтНТУ, 2010. – 81с.
7. Моделювання систем: Підручник для ВУЗів / В.М. Томашевський. – К.: ВНУ, 2005. – 352 с.
8. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язєв, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с.
9. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.
10. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / За ред. М.Г. Поповича. – К.: Либідь, 2005. – 672 с.

11. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.: іл.
12. Куцик А.С. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах: Навч. посіб. - Нац. ун-т «Львівська політехніка»/ А.С. Куцик, В.О. Місюренко.– Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011.– 199 с.
13. Колб Ант. А, Колб А. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. – 2-е вид. перероб. і доп. –Д., Національний гірничий університет, 2011. – 540 с.
14. Донець О. В. Теорія електропривода/ В. І. Колотіло, О. В. Донець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
15. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посібник для вищ. навч. закл., за ред. Поповича М.Г., Лозинського О.Ю. – К.:Либідь, 2005. – 678 с.
16. Зеленов А.Б. Теорія електропривода: Методика проектування електроприводів: Підручник. – Луганськ: Вид-во "Ноулідж", 2010. – 670 с.
17. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Підручник. – К: Либідь, 2007, – 656с.
18. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи. Навч. пос-к. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – 454с.
19. Галай В.М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. –131 с.
20. Шефер О.В. Електропривод та автоматизація загальнопромислових механізмів: конспект лекцій. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – 154 с.

## 1 TECHNOLOGICAL PART

### 1.1 Characteristics of the object of modernization

The centralized heat supply system is a complex of a heat generator (thermal power plant or boiler house) and heat networks, designed to supply heat to consumers - to heating and hot water supply systems.

The heat carrier from the boiler room is transported through the main heating networks to the quarters and further through the distribution or apartment heating networks to the houses or a group of houses. Since in this way it is impossible to ensure the necessary hydraulic and thermal regime for all heat consumers, intermediate stages of maintaining water temperature and pressure are used - central heating points (for two or more buildings) or individual heating points.

In thermal stations, it is envisaged to place equipment, fittings, control, control and automation devices, which are used to carry out:

- transformation of the type of heat carrier or its parameters;
- control of coolant parameters;
- accounting of heat flows, consumption of coolant and condensate;
- regulation of heat carrier consumption and its distribution across heat consumption systems (through distribution networks in central heat stations or directly to systems of individual heat stations);
- protection of local systems against an emergency increase in coolant parameters;
- filling and feeding of heat consumption systems;
- collection, cooling, return of condensate and control of its color and brightness;

In the heating station, depending on its purpose and local conditions, they can carry out all the listed measures or only individual items. This qualification paper examines the thermal point of the "Psyol" sanatorium, located in the Poltava

region, in which thermal energy is used for the needs of heating and hot water supply of the sanatorium.

The heating system is designed to maintain the air temperature in the room at a given level, which is achieved by changing the amount of heat transferred to the room by heating devices.

Water acts as a heat carrier. This is due to the numerous advantages of the heat carrier - water compared to steam. In addition, in residential and administrative buildings of various enterprises, higher sanitary requirements are placed on heating systems and, in particular, on the temperature of the coolant. In the specified buildings, it should not exceed the limit: 95 °C - in residential buildings, dormitories, hotels, sanatoriums, schools, etc. in educational institutions, administrative buildings, polyclinics, kindergartens, museums, reading rooms, as well as in canteens, offices located in auxiliary buildings of industrial enterprises, etc.

The supply and consumption of thermal energy is carried out on the basis of the "Agreement on vacation and consumption of thermal energy", which is between the energy-saving organization and the consumer. The temperature of the supply network water for the power producer is set on the basis of forecasts of the weather station about the temperature of the outside air in accordance with the accepted temperature schedule.

According to the temperature schedule, the temperatures of the supply network water and return water are determined depending on the specific temperature of the outside air. The heating system provides heating and cooling of the air in the room (depending on the season).

The temperature graph of the water supplied to the heating system of this sanatorium at the calculated outside air temperature of -20 °C is shown in Fig. 1.1.

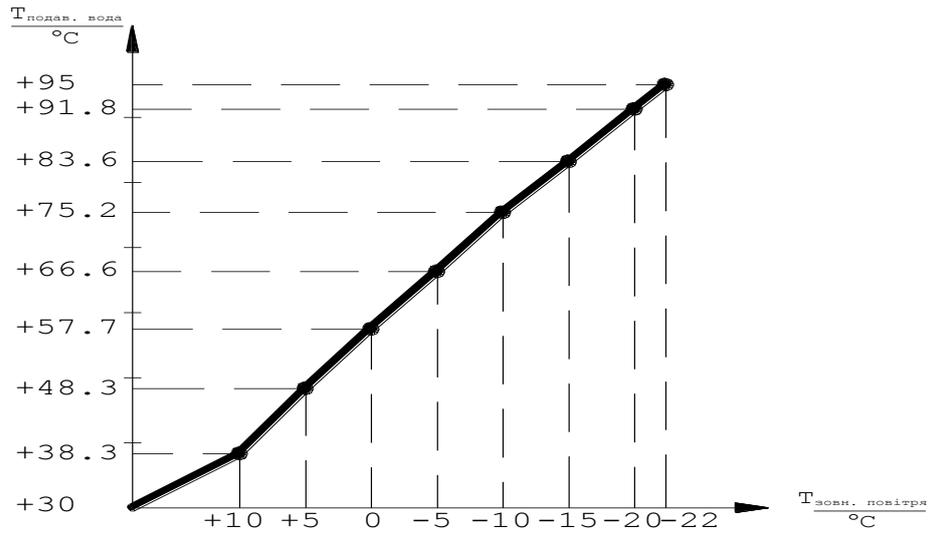


Figure 1.1 - Temperature of water supplied to the heating system according to the temperature chart at the estimated outside air temperature of  $-20^{\circ}\text{C}$

The temperature graph of network water in the return pipeline is shown in Fig. 1.2.

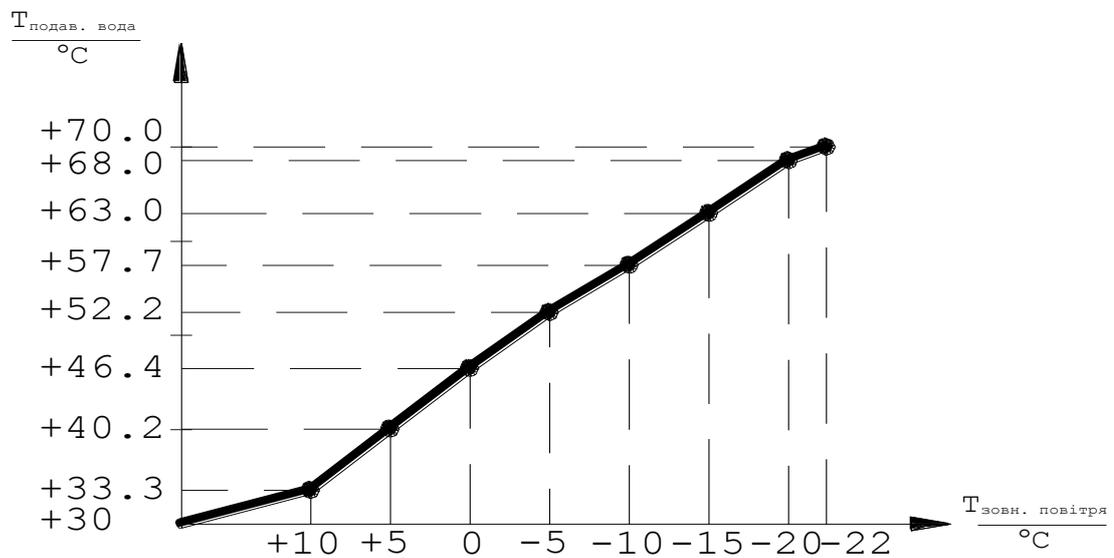


Figure 1.2 - Temperature of mains water in reverse pipeline at the calculated external temperature air up to  $-20^{\circ}\text{C}$

## 1.2 Overview and analysis of management systems

In this bachelor's qualification work, the application of automatic control of thermal energy consumption in heating and hot water supply systems, installation of control devices and protection of electric motors of pumping equipment with AVR system and emergency alarm system is envisaged. Also, one of the main tasks of the work is to improve the operation of the system with the help of separate engines for heating and hot water supply, each of which will have one backup in case of failure of the main engine.

Automation of heating points should ensure: maintenance of the specified water temperature; regulation of heat supply (heat flow) in the heating and hot water supply systems depending on changes in the parameters of the outside air in order to maintain the set air temperature in the heated rooms.

The water temperature in the heating circuit is controlled by a control valve based on the supply temperature in the heating circuit.

Control of heat consumption in two systems (heating - dependent system and hot water supply system - independent system) is carried out using a multifunctional temperature regulator with the possibility of additional adjustment of the value ranges of input and output signals by program reduction of the control parameters over time.

In this work, it is proposed to apply a scheme that will control heat consumption in CO and hot water circuits by indirect inclusion in the control system of the heat exchanger. The temperature in the heating and hot water supply circuits is controlled by temperature sensors installed in the supply pipeline of the heating and hot water supply system and changes depending on the outside air temperature, according to the signal from the temperature sensors.

For high-quality operation in the system, two-way control valves require a constant pressure drop (before and after them). In order to maintain the necessary pressure drop on the pipelines, direct-acting pressure drop regulators are additionally installed in front of the control valves.

### **1.3 Setting tasks for qualification work**

The work envisages the modernization of the automation system of heating and hot water supply of the "Psyol" sanatorium of the Poltava region. The automation of the heating point must ensure the maintenance of the set temperature of the water entering the hot water supply system; regulation of heat supply (heat flow) in the heating system depending on the change in environmental parameters in order to maintain the specified air temperature in heated rooms.

In the calculation part of the work, the task of selecting and calculating the system of automatic regulation of the temperature of network water supplied to the heating system is set, after which it is necessary to obtain the settings of the selected type of regulator. It is also necessary to calculate the loads, select and check the selection of electric motors of the electric drive (EP) of the pumps; calculation of the mechanical part of the electric drive. Based on the calculations, it is necessary to develop a structural and functional diagram of the atomization system, a schematic diagram of the system's electric drive, a structural diagram of the automatic control system (ACS), and conduct a study of transient process graphs for the ACS of the supply and return water temperatures.

2

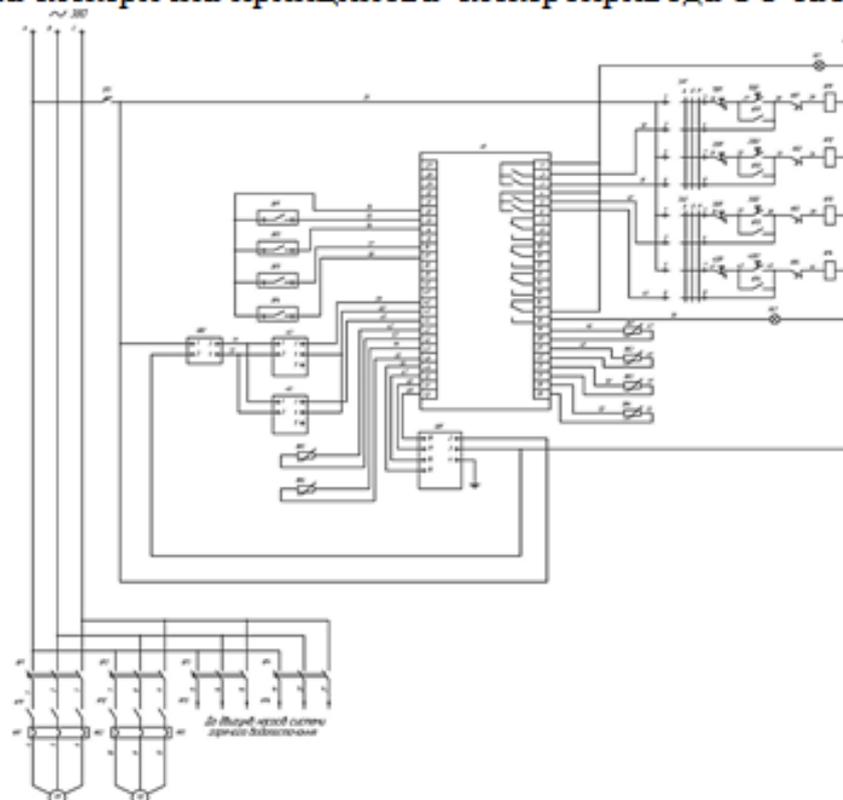
**Актуальність теми** полягає в тому, що використання автоматизованих систем управління в теплоенергетиці дозволяє підвищити надійність та економічність енергетичних установок при малій кількості обслуговуючого персоналу, а також сприяє підвищенню його кваліфікації.

**Система автоматизації насосної станції повинна забезпечувати:**

- підтримку заданої температури води, що надходить до системи гарячого водопостачання;
- регулювання подачі теплоти до системи опалення залежно від зміни параметрів зовнішнього повітря з метою підтримки заданої температури повітря в опалювальних приміщеннях;
- увімкнення резервних двигунів насосів при відключенні робочих.

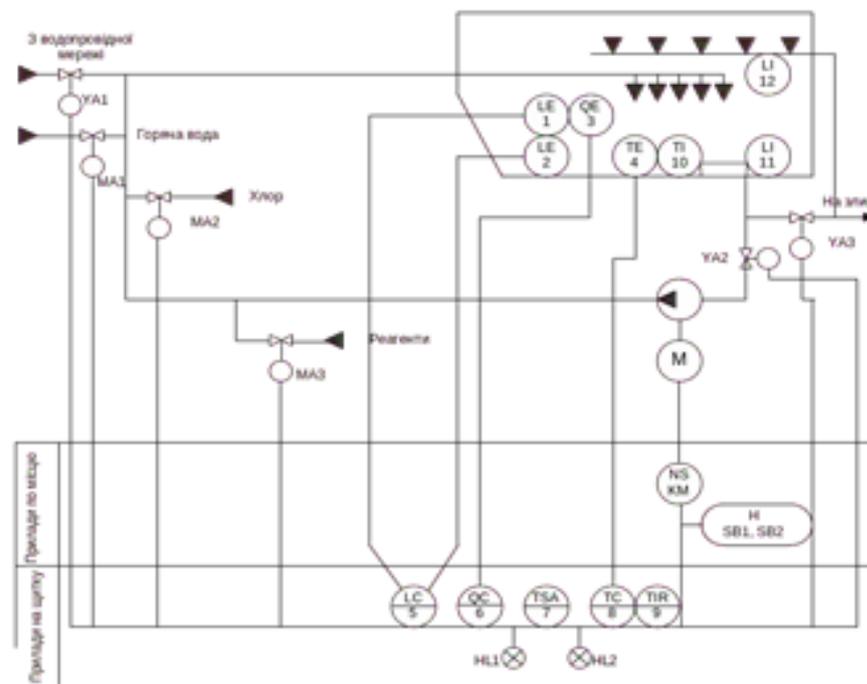
**Метою даної роботи** є модернізація системи автоматичного керування споживанням теплової енергії в системі опалення та гарячого водопостачання обраного об'єкту.

**Схема електрична принципова електропривода СО та ГВП** 3



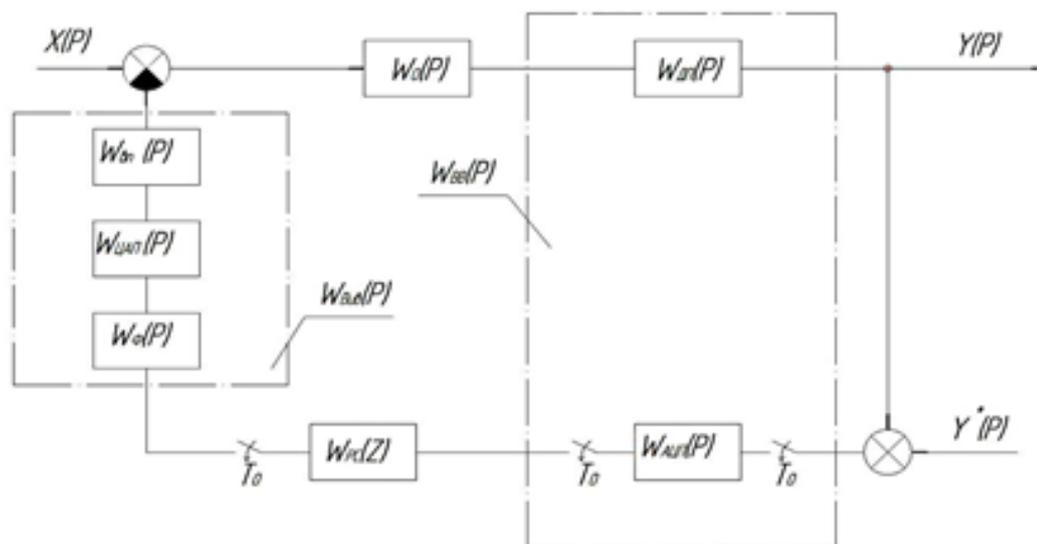
## Функціональна схема автоматизації СО та ГВП

4



## Структурна схема цифрової САР

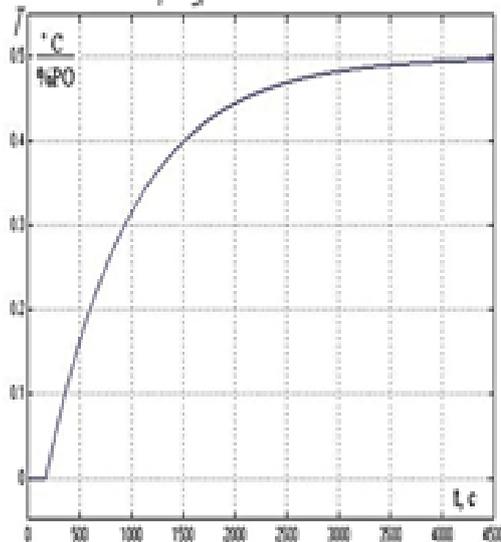
5



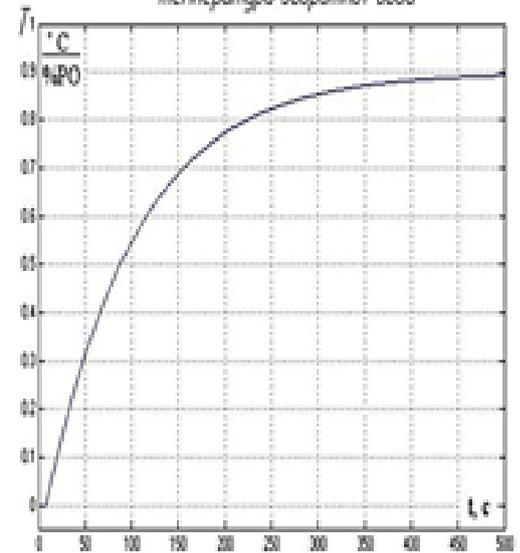
- $W_{зп}(P)$  - передавальна функція виконавчого пристрою;  
 $W_{цАП}(P)$  - передавальна функція цифро-аналогового перетворювача;  
 $W_{\phi}(P)$  - передавальна функція фіксатора нульового порядку;  
 $W_{РС}(Z)$  - передавальна функція контролера;  $T_0$  - період квантування;  
 $W_{ДП}(P)$  - передавальна функція датчика-перетворювача;  
 $W_{АЦП}(P)$  - передавальна функція аналогово-цифрового перетворювача;  
 $X(P)$  - керуюча дія (% ходу РО на трубопроводі);  
 $Y(P)$  - температура води  $^{\circ}\text{C}$ , яка надходить до споживачів.

## Графіки зміни температури подавальної та зворотної води у часі

Крива розгану для системи регулювання температури подавальної води

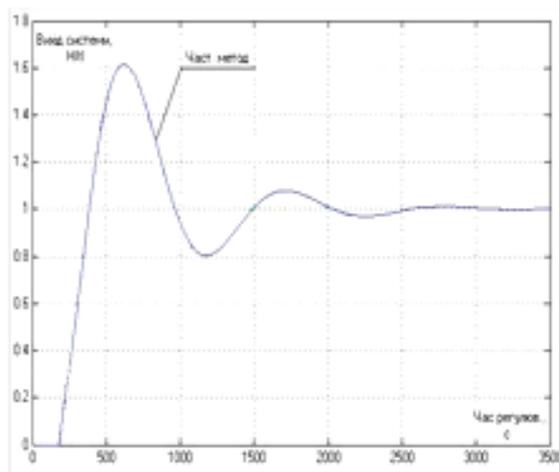


Крива розгану для системи регулювання температури зворотної води

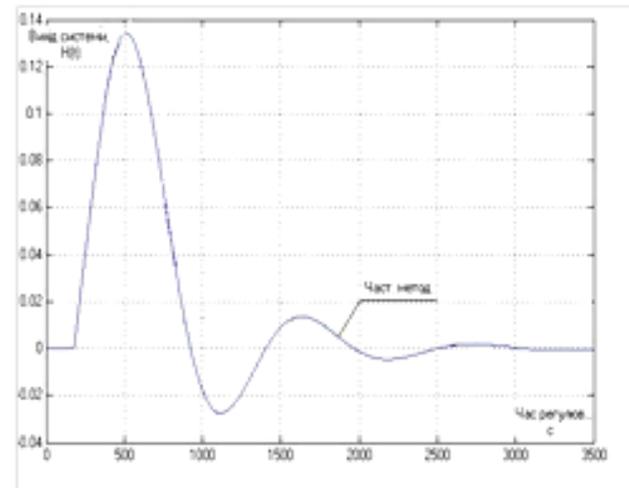


## Графіки перехідних процесів при збуренні для системи регулювання температури подавальної води

7



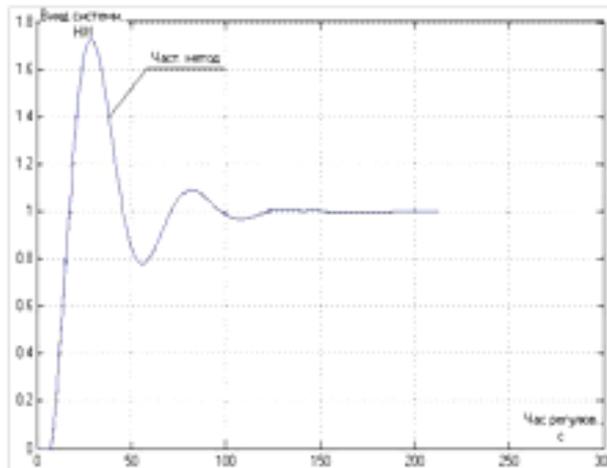
Графік перехідного процесу по каналу «завдання-вихід»



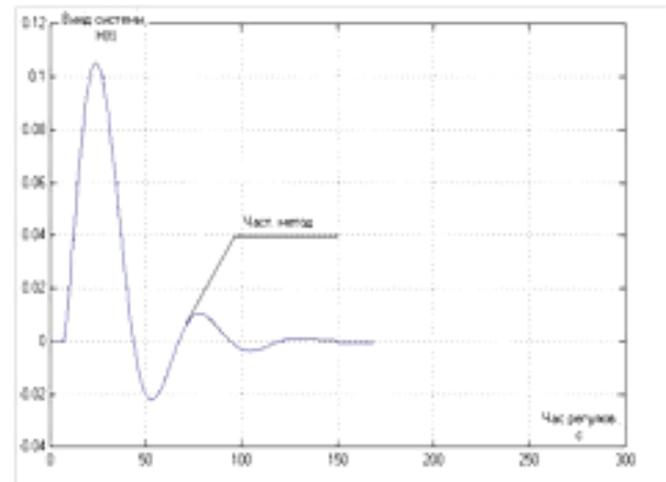
Графік перехідного процесу по каналу «збурення-вихід»

## Графіки перехідних процесів при збуренні для системи регулювання температури зворотної води

8



Перехідний процес по каналу  
«завдання - вихід»



Перехідний процес по каналу  
«збурення-вихід»

## Висновки

- Запропонована в роботі система автоматизації підтримує задану температуру води, яка надходить в систему гарячого водопостачання; регулює подачу теплоти в системі опалення залежно від зміни параметрів навколишнього середовища з метою підтримки заданої температури повітря в опалювальних приміщеннях.
- Система автоматизації працює на базі багатофункціонального контролера типу Waterheat-S1, для модернізованої системи підібрані сучасні вимірювальні перетворювачі, прилади та регулятори.
- Для кращого функціонування системи було проведено розрахунок навантаження, вибір та перевірку вибору двигунів електропривода насосів системи опалення і гарячого водопостачання.
- Розроблена структурна схема цифрової САР, проведено моделювання в середовищі MatLab перехідних процесів по каналах «завдання-вихід» та «збурення-вихід» для системи регулювання температури подавальної та зворотної води, отримані показники якості перехідних процесів, які задовольняють заданим технологічним параметрам системи. Це підтверджує доцільність проведеної модернізації.