

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Сергій КОВБАСА

(підпис)

“ ” 2026 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи автоматизації,

електропривод та електромобільність»

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

на тему: Розробка автоматизованої електромеханічної системи розподіленого теплопостачання

Виконав: студент 3 курсу, групи ЕП-п31

(шифр групи)

КОРОЛЬ НІКИТА

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц., к.т.н. Пушкар Микола Васильович

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

(підпис)

Консультант _____

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

(підпис)

Рецензент асистент Стулішенко А.С.

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

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



(підпис)

Київ – 2026 р.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	Кі ль кі ст ь ли ст і в	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	141.000.005.БР	Пояснювальна записка	100	
3	A1	141.000.005.БР	Схема плану будинку	1	
4	A1	141.000.005.БР	Схема електрична принципова	1	
5	A1	141.000.005.БР	Графіки перехідних процесів	1	

				141.00.01.БР		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Король Н.О.			Автоматизована електромеханічна система розподіленого теплопостачання	Лист	Листів
Керівн.	Пушкар М.В.				2	100
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП-п31	
Н/контр.	Пушкар М.В.					
Зав.каф.	Ковбаса С. М.					

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Автоматизована електромеханічна система розподіленого
теплопостачання

Київ – 2026 р.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроенерготехніки та автоматики
 (повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
 (повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 (код і назва)

Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
 _____ Сергій КОВБАСА
 (підпис)

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Короля Нікіти Олеговича
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Електропривод і автоматизація кривошипного преса

керівник проекту _____ Пушкар Микола Васильович, к.т.н.,
доц. _____

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

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту 10.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: насос моделі Wilo-Atmos GIGA-N 50/160, діаметр напірного патрубку DN50, діаметр робочого колеса 168 мм.

4. Зміст пояснювальної записки: 1 Аналітичний огляд; 2 Розрахунок потужності насосу; 3 Синтез регулятора тиску; 4 Дослідження роботи системи; 5 Опис системи автоматизації; 6 Синтез загальної системи теплопостачання;
5. Перелік графічного матеріалу: Схема плану будинку. Схема електрична принципова. Графіки перехідних процесів.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання 1.04.2026 р.

Календарний план

Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки про виконання
1. Аналітичний огляд 1.1 Роль, значення та переваги автоматизації систем теплопостачання 1.2 Погодозалежне та покімнатне регулювання як основа енергоефективності будівлі 1.3 Управління єдиним циркуляційним насосом за допомогою перетворювача частоти в умовах живлення від теплоцентралі 1.4 Комплексний захист та багаторівневе аварійне реагування	20.04.26	
2. Розрахунок потужності насосу 2.1 Опис об'єкту 2.2 Вибір системи внутрішнього водопроводу 2.3 Визначення необхідного напору та подачі для системи внутрішнього водопроводу	30.04.26	
3 Синтез регулятора тиску 3.1 Вибір перетворювача частоти 3.2 Обґрунтування вибору та інтеграція в систему 3.3 Математична модель об'єкта керування	7.05.26	
4. Дослідження роботи системи 4.1 Дослідження динамічних характеристик замкненої системи керування за фактичним значенням напору насосної установки	15.05.26	
5 Опис системи автоматизації 5.1 Технологічний процес забезпечення тепловою енергією та вибір апаратної бази системи автоматизації	20.05.26	
6 Синтез загальної системи 6.1 Підготовка та подача води 6.2 Опис станів локальної підсистеми керування на базі екосистеми Ajax	31.05.26	
Оформлення пояснювальної записки та графічної частини. Підготовка презентації	10.06.26	

Студент


(підпис)

Нікіта КОРОЛЬ

Керівник проекту

Микола ПУШКАР

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки на 84 сторінках, 29 рисунків, 9 таблиць, 2 додатків.

У дипломному проекті розроблено систему автоматизації магістрального відцентрового насоса тепlopостачання на базі сучасного електропривода потужністю 7,5 кВт зі скалярним керуванням $U/f = \text{const}$. Аналіз гідравлічних режимів теплової мережі та розрахунок робочої точки напір 45 м, витрата 43,5 м³/год дозволили здійснити оптимальний вибір насосу Wilo-Atmos GIGA-N.

Розроблено алгоритм керування системою на базі ПЛК Schneider Electric Zelio Logic, який забезпечує плавний пуск, адаптивне підтримання заданого тиску та блокування роботи у разі виникнення аварійних ситуацій. Також враховано інтеграцію з локальною підсистемою мікроклімату на базі Ajax.

У середовищі MATLAB розроблено математичну модель електромеханічної системи ПЧ-АД-насос. Вона дозволила дослідити перехідні процеси основних координат напору, струму та швидкості та підтвердила стійкість системи до впливів при зміні гідравлічного навантаження.

Результати проведених досліджень підтверджують високу енергоефективність, надійність та стабільність синтезованої замкненої системи з ПІ-регулятором напору, прийнятих у процесі проектування.

ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ПЛК, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПІ-РЕГУЛЯТОР, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

					141.003.017.БР				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована електромеханічна система розподіленого теплопостачання	Літ.	Арк.	Актуалізація	
Розроб.		Король Н.О.							
Керівн.		Пушкар М.В.					6	100	
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, каф. АЕМС-ЕП зр. БП.в31			
Н. Контр.		Пушкар М.В.							
Зав. каф.		Ковбаса С. М.							

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки на 84 сторінках, 24 рисунків, 11 таблиць, 2 додатків.

У дипломному проекті розроблено систему автоматизації магістрального відцентрового насоса теплопостачання на базі сучасного електропривода потужністю 7,5 кВт зі скалярним керуванням $U/f = \text{const}$. Аналіз гідравлічних режимів теплової мережі та розрахунок робочої точки напір 45 м, витрата 43,5 м³/год дозволили здійснити оптимальний вибір насосу Wilo-Atmos GIGA-N.

Розроблено алгоритм керування системою на базі ПЛК Schneider Electric Zelio Logic, який забезпечує плавний пуск, адаптивне підтримання заданого тиску та блокування роботи у разі виникнення аварійних ситуацій. Також враховано інтеграцію з локальною підсистемою мікроклімату на базі Ajax.

У середовищі MATLAB розроблено математичну модель електромеханічної системи ПЧ-АД-насос. Вона дозволила дослідити перехідні процеси основних координат напору, струму та швидкості та підтвердила стійкість системи до впливів при зміні гідравлічного навантаження.

Результати проведених досліджень підтверджують високу енергоефективність, надійність та стабільність синтезованої замкненої системи з ПІ-регулятором напору, прийнятих у процесі проектування.

ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ПЛК, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПІ-РЕГУЛЯТОР, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

					141.003.017.БР			
					Автоматизована електромеханічна система розподіленого теплопостачання	Літ.	Арк.	Актуальн.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			6	100
Розроб.		Король Н.О.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, каф. АЕМС-ЕП ар. БП.в21		
Керівн.		Пушкар М.В.						
Реценз.								
Н. Контр.		Пушкар М.В.						
Зав. каф.		Ковбаса С. М.						

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Роль, значення та переваги автоматизації систем теплопостачання	12
1.2 Погодозалежне та покімнатне регулювання як основа енергоефективності будівлі	14
1.3 Управління єдиним циркуляційним насосом за допомогою перетворювача частоти в умовах живлення від теплоцентралі	16
1.4 Захист та багаторівневе аварійне реагування	21
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ НАСОСУ	24
2.1 Опис об'єкту	24
2.2 Вибір системи внутрішнього водопроводу	24
2.3 Визначення необхідного напору та подачі для системи внутрішнього водопроводу	25
2.4 Вибір насоса	27
2.5 Вибір датчика тиску	31
3 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ТИСКУ	34
3.1 Вибір перетворювача частоти	34
3.2 Обґрунтування вибору та інтеграція в систему	35
3.3 Математична модель об'єкта керування	36
4 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ	41
4.1 Дослідження динамічних характеристик замкненої системи керування за фактичним значенням напору насосної установки	41
5 ОПИС СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	47
5.1 Технологічний процес забезпечення тепловою енергією та вибір апаратної бази системи автоматизації	47
5.2 Апаратне та алгоритмічне забезпечення локальної підсистеми керування мікрокліматом квартири	51
5.3 Відведення відпрацьованого теплоносія та алгоритм аварійного скидання	60
5.4 Принципова електрична схема та апаратна реалізація керування насосом	62
6 СИНТЕЗ ЗАГАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	66
6.1 Підготовка та подача води	66
6.2 Опис станів локальної підсистеми керування на базі екосистеми Ajax	70

	11
ВИСНОВКИ	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	77
ДОДАТОК А	79
ДОДАТОК Б	81

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку енергетичного сектору та житлово-комунального господарства одним із пріоритетних напрямків є підвищення енергоефективності систем розподіленого тепlopостачання. Традиційні методи регулювання гідравлічних режимів у багатоквартирних будинках, зокрема за допомогою дросельних засувки, характеризуються значними втратами енергії, підвищеним зносом обладнання та високим ризиком виникнення гідравлічних ударів[1].

Ефективним вирішенням цієї проблеми є впровадження регульованого електропривода насосних агрегатів. Перехід до адаптивного керування продуктивністю відцентрового насоса за допомогою перетворювача частоти дозволяє не лише оптимізувати витрати електроенергії, але й забезпечити точне підтримання заданого напору в магістралі незалежно від поточного рівня споживання. Крім того, інтеграція магістрального насосного обладнання з інтелектуальними локальними підсистемами керування мікрокліматом створює децентралізовану систему розподілу теплової енергії. Усе це зумовлює високу актуальність розробки та дослідження автоматизованої системи керування насосом індивідуального теплового пункту.

Метою дипломного проєкту є підвищення енергоефективності, надійності та якості функціонування системи тепlopостачання багатоквартирного будинку шляхом розробки автоматизованої системи керування електроприводом магістрального відцентрового насоса.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні завдання:

1. Проаналізувати технологічний процес подачі та розподілу теплоносія в системі тепlopостачання.

2. Здійснити обґрунтований вибір основного технологічного та електротехнічного обладнання, зокрема насосного агрегату, приводного асинхронного двигуна та перетворювача частоти.

3.Розробити структурну схему замкненої системи керування з пропорційно-інтегральним регулятором для стабілізації тиску при змінах гідравлічного опору мережі.

Розробити алгоритми безпечного запуску та керування системою на базі програмованого логічного контролера.

Створити математичну модель електромеханічної системи у середовищі MATLAB для дослідження динамічних характеристик та перехідних процесів базових координат напору, витрати, кутової швидкості та струму.

Оцінити якісні показники розробленої системи при відпрацюванні завдання та компенсації збурювальних впливів.

Об'єкт дослідження - електромеханічна система автоматизованого електропривода відцентрового насоса в системі розподіленого теплопостачання.

Предмет дослідження - перехідні процеси, енергоефективність та алгоритми адаптивного керування електромеханічною системою насоса на базі частотно-регульованого привода.

Для вирішення поставлених завдань у роботі використано методи теорії автоматичного керування, методи теорії електропривода, а також методи комп'ютерного моделювання з використанням програмного комплексу MATLAB.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Роль, значення та переваги автоматизації систем тепlopостачання

У сучасних умовах безперервного розвитку міської інфраструктури, а також стрімкого масштабування промислового сектору, системи тепlopостачання перестають бути просто базовою технічною необхідністю. Сьогодні вони стрімко еволюціонують, перетворюючись на надзвичайно складні, розгалужені інтелектуальні мережі. Ці мережі є критично важливими, фундаментальними елементами будь-якої сучасної будівлі, абсолютно незалежно від її кінцевого цільового призначення - чи то багатоквартирний житловий комплекс, громадський заклад, чи велике виробниче підприємство.

Від стабільної та безперебійної роботи цих систем безпосередньо залежить не лише фізичний затишок та щоденний комфорт людей, але й безперебійність технологічних процесів, а також загальна цілісність будівельних конструкцій. Сьогодні, коли вимоги до екологічності та економічності об'єктів нерухомості невідпинно зростають у всьому світі, управління такими системами у традиційному ручному режимі стає вкрай неефективним і навіть відверто небезпечним[3].

Саме тому ключовим етапом модернізації інженерних мереж є цілеспрямоване впровадження глибокої автоматизації, яка дозволяє перевести роботу всього обладнання на якісно новий рівень самостійності та безпрецедентної точності. Автоматизація систем опалення та тепlopостачання являє собою продуманий комплекс технічних рішень, головним завданням якого є повністю автономне управління тепловими процесами без постійного втручання людини. Така інтелектуальна система бере на себе повну відповідальність за постійний контроль параметрів теплоносія та злагоджену координацію роботи всього теплогенеруючого обладнання в режимі реального часу. На практиці це означає радикальну зміну підходу до експлуатації: замість чергового персоналу, який має вручну відкривати чи закривати клапани або

вмикати та вимикати насоси, усіма складними процесами керують програмовані контролери.

Електронні пристрої виступають мозком комп'ютера, постійно збираючи дані з різноманітних датчиків, що вимірюють температуру, вологість та тиск води. Вони швидко аналізують отримані дані та видають точні команди обладнанню транспортного засобу, включаючи положення потоку в сучасних насосах або перетворювачах частоти.

Однією з головних переваг такої конструкції є унікальна здатність цієї системи адаптуватися до змін зовнішніх умов. Наприклад, завдяки часовому плануванню технічного обслуговування система безперервно відстежує зміни температури. Якщо погода починає надто холоднішати, пристрій заздалегідь збільшує опалювальну потужність будинку, а в сонячні або теплі дні - навпаки, знижує її до потрібного рівня.

Це дозволяє повністю уникнути неприємного ефекту перегріву приміщень, коли людям стає занадто спекотно і доводиться масово відкривати вікна, марно витрачаючи дорогу теплову енергію. Таким чином, досягається максимальна енергоефективність усієї інфраструктури, що дозволяє суттєво знизити фінансові витрати на комунальні послуги для житлових будинків або помітно зменшити собівартість продукції на підприємствах. Окрім прямої економії ресурсів, глибока автоматизація значно підвищує надійність та експлуатаційну безпеку всієї інженерної структури.

Безперервний моніторинг характеристик дозволяє інтелектуальній системі розрізняти нормальне завдання та надзвичайну ситуацію. У таких випадках система автоматично втручається, щоб запобігти необґрунтовано високому вхідному значенню, та одночасно надсилає сигнал тривоги до контролера. Ця система забезпечує стабільну роботу робота та підвищує ефективність.

1.2 Погодозалежне та покiмнатне регулювання як основа енергоефективностi будiвлi

Одним iз найважливиших та найперспективнiших завдань автоматизацiї систем опалення в рамках розробки та впровадження сучасних iнженерних рiшень для житлових, комерцiйних та промислових споруд є впровадження iнтелектуальних правил на основi часу. Ця робота служить цiнним iнструментом для глибокої оптимiзацiї, що дозволяє суттєво перетворити застарiлi статичнi системи опалення на гнучкi та високоефективнi конструкцiї.

Така оновлена мережа здатна миттєво та максимально точно пiдлаштовуватися пiд постiйнi, непередбачуванi змiни навколишнього середовища, гарантуючи iдеальний баланс мiж комфортом та витратами ресурсiв. Основний принцип роботи алгоритму погодозалежного регулювання базується на безперервному, цiлодобовому зборi та аналiзi об'єктивних даних про поточну температуру зовнiшнього повітря. Цей процес здiйснюється за допомогою спецiальних високоточних датчикiв, якi зазвичай встановлюються безпосередньо на фасаднiй сторонi будiвлi.

Центральнi системи контролю температури автоматично та попередньо встановлюють температуру всiєї системи на основi даних, отриманих вiд датчикiв температури. Це попереднє налаштування є критично важливим, оскiльки система не чекає, поки температура всерединi будинку почне падати через вологiсть або швидко пiдвищуватися. Використання цих алгоритмiв вирiшує кiлька ключових проблем у галузi, найголовнiше – надiйно запобiгаючи перегрiву будiвель у мiжсезоння.

У традицiйних, морально застарiлих системах без належної автоматики дуже часто виникає типова ситуацiя, коли пiд час рiзкого потеплiння на вулицi або пiд iнтенсивним впливом прямого сонячного випромiнювання будiвля продовжує отримувати ту саму велику кiлькiсть тепла, що й у найлютишi морози.

Це призводить до утворення надмірної, виснажливої спеки в кімнатах, через що люди змушені масово відкривати вікна для банального провітрювання. Фактично, у такий спосіб дорога тепла енергія просто викидається на вулицю. Автоматизована система повністю виключає ненадійний людський фактор із цього процесу. Вона миттєво реагує на найменше потепління, оперативно зменшуючи подачу тепла ще до того моменту, як кінцевий споживач взагалі відчує температурний дискомфорт. Це дозволяє системі підтримувати ідеальний мікроклімат у режимі реального часу. Надзвичайно важливим аспектом є також суттєве зменшення загальних витрат енергоресурсів, що є вкрай актуальним питанням у сучасному контексті глобальної енергетичної незалежності та жорсткої економії бюджетних коштів.

Практика показала, що фактична економія енергії, досягнута за допомогою автономної системи опалення, може сягати 30% лише за один тиждень, що забезпечує довгострокову окупність інвестицій. Крім того, система забезпечує довгострокову стабільність температури, що впливає на комфорт мешканців і дозволяє безпечно та тривало експлуатувати будівлю.

Відсутність постійних і різких коливань температури надійно захищає закриту конструкцію від надмірного розширення та стиснення матеріалу та ефективно запобігає утворенню мікротріщин. Система дозволяє уникнути багаторазових циклів відключення електроенергії та працює плавно та збалансовано, значно знижуючи навантаження на насосне обладнання та труби, а також забезпечуючи стабільність всієї інженерної мережі[16].

Однак ефективність погодозалежної автоматики найкраще демонструється, коли в кожній будівлі використовується правильна регулювання температури. Моніторинг приміщень дозволяє розраховувати різні температури в кожній кімнаті, такі як сильне сонячне світло, що потрапляє крізь вікна, тепло від працюючих побутових приладів або раптове заселення.

Для реалізації концепції індивідуального зонального клімат-контролю застосовуються спеціальні виконавчі механізми - термоелектричні сервоприводи, які встановлюються замість звичайних ручних вентилів або

механічних термоголовок безпосередньо на регулюючі клапани радіаторів опалення. Робота цих приводів координується за допомогою електронних кімнатних термостатів, бездротових датчиків температури або інтегрованих систем розумного дому, що об'єднують усі елементи управління в єдину логічну мережу.

Принцип дії такої локальної системи базується на безперервному моніторингу фактичної температури в кімнаті та її порівнянні із заданими користувачем значеннями. Якщо повітря охолоджується нижче комфортного рівня, центральний контролер або мініатюрне силове реле, сховане в підрозетнику, подає керівну напругу на відповідний сервопривід.

Така локальна автоматизація дозволяє створювати гнучкі температурні сценарії, які суттєво підвищують рівень енергозбереження. Наприклад, логіка системи може бути налаштована так, щоб автоматично знижувати температуру до економних показників уночі або в той час, коли всі мешканці йдуть на роботу, а також миттєво перекривати подачу тепла в конкретній кімнаті, якщо датчики фіксують відчинення вікна для провітрювання. Завдяки сучасному бездротовому обладнанню розгортання такої мережі можливе навіть після завершення ремонту, оскільки воно не потребує прокладання нових кабелів.

У результаті створення глибокої багаторівневої системи управління - від загального циркуляційного насоса в підвалі до кожного окремого радіатора у квартирі - досягається бездоганний баланс між ідеальним температурним режимом для мешканців та максимально раціональним споживанням дорогих енергоресурсів.

1.3 Управління єдиним циркуляційним насосом за допомогою перетворювача частоти в умовах живлення від теплоцентралі

У сучасних індивідуальних теплових пунктах, які отримують теплову енергію від зовнішньої централізованої міської мережі, архітектура внутрішнього контуру опалення будівлі найчастіше будується навколо єдиного

головного циркуляційного насоса. Оскільки в такій схемі відсутні власні генератори тепла, зникає потреба в управлінні складними каскадами палиникових пристроїв чи ротації великих насосних груп первинного контуру.

Натомість уся технічна відповідальність за своєчасне, стабільне та рівномірне транспортування теплоносія від теплообмінника до кожного радіатора у квартирах повністю лягає на насос[15].

У системі циркуляції теплоносія використовуємо насос відцентрового типу. Головним робочим елементом є насаджене на приводний вал робоче колесо, яке вільно обертається всередині закритого корпусу.

Конструктивно це колесо утворене двома дисками переднім і заднім, зафіксованими на певній відстані один від одного. Простір між ними заповнений лопатями, які міцно з'єднують диски в єдину деталь та мають плавний вигин у напрямку, протилежному вектору обертання[3]. Ці лопаті разом із внутрішніми стінками дисків формують так звані міжлопатеві канали, які під час безперервної експлуатації електромеханічної системи повністю заповнені рідиною.

У процесі обертання колеса на кожен елементарний об'єм рідини масою m , що розташований у міжлопатевому каналі на радіальній відстані r від осі обертання, починає діяти відцентрова сила. Математична модель для її визначення описується наступним виразом:

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

де ω – кутова швидкість обертання вала.

Під дією цієї сили рідина викидається з робочого колеса, в результаті чого в центрі колеса створюється розрідження, а в периферійній його частині - підвищений тиск. Для забезпечення безперервного руху рідини через насос необхідно забезпечити підведення рідини, що перекачується до робочого колеса і відведення її від нього.

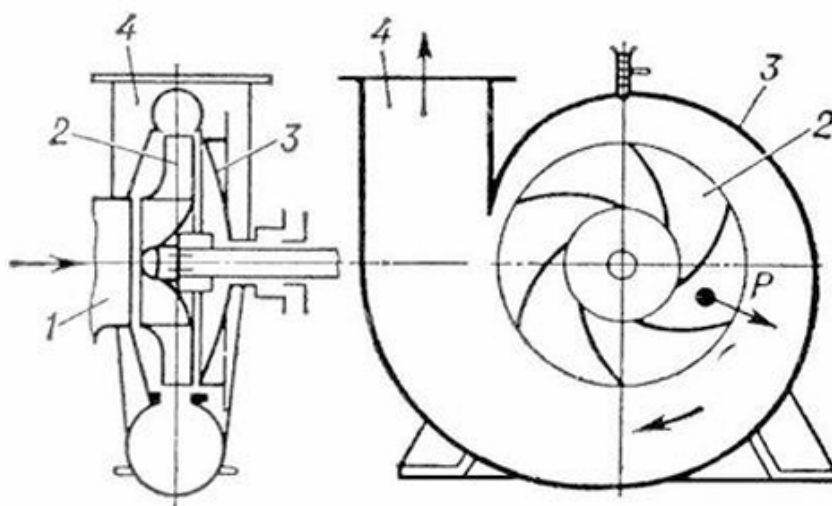


Рис.1.1 – Відцентровий насос

На рис.1.1. зображено: 1 - отвір для підведення рідини; 2 - робоче колесо; 3 - корпус; 4 - патрубок для відведення рідини; P - відцентрова сила

Щоб перетворити цей насос із простого механічного пристрою на високоінтелектуальний елемент системи, ключовим та безальтернативним рішенням є застосування сучасного перетворювача частоти.

Перетворювач частоти - це складний електронний пристрій, який дозволяє не просто вмикати чи вимикати двигун насоса, а максимально плавно і точно регулювати швидкість його обертання залежно від реальних потреб системи в режимі реального часу. Необхідність використання ПЧ зумовлена постійною зміною гідравлічного опору всередині будівлі. Протягом доби мешканці активно користуються термостатичними головками на своїх радіаторах: відчиняють їх для інтенсивнішого обігріву або прикривають, коли в кімнаті стає занадто тепло чи на неї починає світити яскраве сонце.

Якщо єдиний насос працюватиме на постійній, незмінній швидкості, масове закриття термодіапанів неминуче призведе до стрімкого і небезпечного зростання тиску в мережі. Це, своєю чергою, викликає дратівливий аеродинамічний шум у трубах та радіаторах, створює надмірне навантаження на

запірну арматуру і призводить до неефективної роботи насоса в режимі на закриту засувку[9].

Завдяки інтеграції перетворювача частоти ця проблема вирішується кардинально і повністю автоматично. Електронний контролер ІТП безперервно зчитує показання з датчика перепаду тиску, встановленого між подавальним та зворотним трубопроводами внутрішнього контуру. Як тільки термоклапани в квартирах починають закриватися і гідравлічний опір зростає, датчик фіксує підвищення тиску.

Контролер миттєво передає сигнал на ПЧ, який пропорційно знижує частоту електричного струму, тим самим плавно зменшуючи оберти крильчатки насоса. І навпаки: коли потреба в теплі зростає і клапани відкриваються, ПЧ негайно розганяє двигун, відновлюючи необхідну циркуляцію. Цей процес відбувається безперервно, гарантуючи ідеально стабільний тиск у системі за будь-яких умов експлуатації.

Такий інтелектуальний підхід до управління забезпечує колосальну енергоефективність. Відповідно до законів гідравліки, споживана електрична потужність насоса знаходиться в кубічній залежності від швидкості обертання його валу[2]. Це означає, що зниження обертів двигуна за допомогою ПЧ лише на 20% призводить до економії електроенергії майже на 50%.

Враховуючи, що циркуляційний насос працює цілодобово протягом усього опалювального сезону, близько півроку, фінансова економія від використання перетворювача частоти стає надзвичайно відчутною, і обладнання окупається в найкоротші терміни. Крім того, плавний пуск і зупинка двигуна, які забезпечує ПЧ, повністю виключають руйнівні гідравлічні удари та значно знижують механічний знос підшипників і торцевих ущільнень, подовжуючи термін служби насоса в кілька разів.

Окрім регулювання тиску, ПЧ працює в тісній синергії з клапаном подачі тепла від міської теплоцентралі. Теплопостачальні організації суворо штрафують за повернення занадто гарячої води назад у мережу, оскільки це свідчить про неефективний зйом тепла об'єктом. Завдяки частотному

регулюванню, система автоматики підтримує саме таку швидкість циркуляції внутрішнього насоса, яка необхідна для максимального відбору енергії в теплообміннику. У випадку виникнення позаштатних ситуацій, таких як різке падіння тиску через витік теплоносія, ПЧ миттєво фіксує аномальну зміну навантаження на валу двигуна або втрату потоку і миттєво зупиняє агрегат, рятуючи його від небезпечного сухого ходу та перегріву.

Таким чином, перетворювач частоти є не просто інструментом оптимізації, а справжнім інтелектуальним ядром, яке гарантує економічність, акустичний комфорт мешканців та абсолютну безпеку експлуатації єдиного насоса в системі опалення.

Ефективність сучасної системи тепlopостачання розкривається повною мірою лише тоді, коли загальнобудинкова автоматика доповнюється точним локальним регулюванням мікроклімату безпосередньо всередині кожної квартири. Якщо індивідуальний тепловий пункт адаптує параметри теплоносія до зовнішніх погодних умов, то покімнатне управління дозволяє врахувати унікальні теплові надходження в кожному окремому приміщенні, такі як інтенсивне сонячне світло через вікна, тепло від працюючої побутової техніки чи присутність великої кількості людей.

Для реалізації концепції індивідуального зонального клімат-контролю застосовуються спеціальні виконавчі механізми - термоелектричні сервоприводи, які встановлюються замість звичайних ручних вентилів або механічних термоголовок безпосередньо на регулюючі клапани радіаторів опалення. Робота цих приводів координується за допомогою електронних кімнатних термостатів, бездротових датчиків температури або інтегрованих систем розумного дому, що об'єднують усі елементи управління в єдину логічну мережу.

Принцип дії такої системи базується на безперервному моніторингу фактичної температури в кімнаті та її порівнянні із заданими користувачем значеннями. Якщо повітря охолоджується нижче комфортного рівня, центральний контролер або мініатюрне силове реле, сховане в підрозетнику,

подає керівну напругу на відповідний сервопривід. Під дією електричного струму спеціальний термоелемент усередині привода нагрівається та розширюється, плавно виштовхуючи шток, який відкриває клапан і дозволяє гарячій воді надходити в батарею. Щойно приміщення прогрівається до встановленої позначки, подача живлення припиняється, термоелемент холодне, і зворотна пружина надійно перекриває потік води, гарантовано запобігаючи дискомфорту перегріву. Така локальна автоматизація дозволяє створювати гнучкі температурні сценарії, які суттєво підвищують рівень енергозбереження.

Наприклад, логіка системи може бути налаштована так, щоб автоматично знижувати температуру до економних показників уночі або в той час, коли всі мешканці йдуть на роботу, а також миттєво перекривати подачу тепла в конкретній кімнаті, якщо датчики фіксують відчинення вікна для провітрювання. Завдяки сучасному бездротовому обладнанню розгортання такої мережі можливе навіть після завершення ремонту, оскільки воно не потребує прокладання нових кабелів.

У результаті створення глибокої багаторівневої системи управління - від загального циркуляційного насоса в підвалі до кожного окремого радіатора у квартирі - досягається бездоганний баланс між ідеальним температурним режимом для мешканців та максимально раціональним споживанням дорогих енергоресурсів.

1.4 Захист та багаторівневе аварійне реагування

Невід'ємною та критично важливою складовою будь-якого сучасного проекту з автоматизації теплових пунктів є забезпечення багаторівневого захисту теплотехнічного обладнання від будь-яких позаштатних ситуацій. Котельні установки, теплообмінники та потужні насосні агрегати - це надзвичайно дороге устаткування, яке щоденно та безперервно працює в складних умовах високих температур та значного гідравлічного навантаження. Покладати відповідальність за збереження та безпеку цієї техніки виключно на

уважність чергового персоналу в сучасних реаліях є абсолютно невиправданим ризиком.

Аварійні ситуації в інженерних мережах зазвичай розвиваються настільки стрімко, що людина фізично не здатна вчасно на них відреагувати. Саме тому розумні системи управління запрограмовані таким чином, щоб діяти виключно на випередження і миттєво блокувати будь-які процеси, що можуть призвести до незворотних руйнувань або раптового виходу техніки з ладу в розпал опалювального сезону[4].

У процесі щоденної експлуатації неминуче виникають відхилення від нормального режиму. Завдяки гнучким алгоритмам, автоматика здатна м'яко і максимально точно скоригувати роботу обладнання: на кілька міліметрів прикрити клапан або плавно змінити швидкість насоса. Проте існують серйозні поломки, коли такого плавного коригування технічно недостатньо. Однією з найпоширеніших загроз є раптове падіння внутрішнього тиску через розгерметизацію трубопроводів або приховані витoki теплоносія. Якщо датчики фіксують стрімке падіння тиску, система блискавично переходить у режим аварійного захисту.

Система автоматично за частки секунди перекриває моторизовані засувки та повністю зупиняє подачу теплоносія в аварійний контур, надійно локалізуючи аварію і не дозволяючи будівлі зазнати збитків від затоплення гарячою водою. Цей процес також тісно пов'язаний із захистом насосів від сухого ходу - вкрай небезпечного режиму роботи без води[9].

Окрім витоків, електронна система забезпечує надійний захист від критично високого тиску або надмірної температури. Надлишковий тиск здатен буквально розірвати радіатори у приміщеннях чи неоправно пошкодити теплообмінники, а перегрів загрожує небезпечним закипанням води в котлі. При найменшому наближенні до небезпечної межі автоматика самостійно плавно знижує потужність пальників, зупиняє нагрів або примусово відкриває скидні клапани для безпечного зниження напруги в мережі. Паралельно із цими захисними діями система генерує тривожний сигнал, який миттєво передається

на пульт диспетчерської служби або безпосередньо на мобільні пристрої інженерів. Це детальне інформаційне повідомлення містить точні дані про характер несправності, конкретний вузол та поточні показники датчиків.

Логічним завершенням цієї системи є наявність чітко запрограмованих сценаріїв реагування. За екстремальних обставин, як-от масштабний прорив трубопроводу чи раптове припинення подачі газу, контролер без вагань активує протокол екстреної зупинки. Цей процес є продуманим і поетапним, щоб уникнути руйнівного гідравлічного удару при різкому вимкненні потужних насосів. В інших випадках автоматика може перевести мережу в безпечний режим, наприклад, знизивши потужність котлів до мінімально базового рівня, щоб не допустити промерзання будівлі до прибуття ремонтної бригади. Таким чином, сучасна автоматизація створює своєрідний невидимий, але надзвичайно міцний щит навколо кожної деталі теплового пункту, зводячи до нуля негативний вплив людського фактора і гарантуючи абсолютну безпеку.

Висновки до першого розділу:

1. Обґрунтовано доцільність спільного використання алгоритмів погодозалежного та індивідуального покімнатного регулювання для максимального підвищення загальної енергоефективності.

2. Розглянуто технічну та економічну необхідність застосування перетворювачів частоти для керування циркуляційними насосами з метою стабілізації гідравлічних режимів.

3. Визначено ключові вимоги до систем багаторівневого аварійного захисту, які завдяки безперервному моніторингу параметрів здатні превентивно блокувати позаштатні ситуації та гарантувати безпечну експлуатацію теплотехнічного устаткування

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ НАСОСУ

2.1 Опис об'єкту

Досліджуваним об'єктом є тепловий пункт, обладнаний внутрішнім водопроводом. Водопостачання здійснюється від зовнішньої водопровідної мережі через підвищувальну установку і водомірний вузол до 10-ти поверхового будинку.

2.2 Вибір системи внутрішнього водопроводу

Мінімальний вільний напір $H_{\min}$ у мережі водопроводу населеного пункту при максимальному господарсько-питному водоспоживання на вході в тепловий пункт над поверхнею землі повинен прийматися виходячи з розрахунку 10 для одноповерхової забудови плюс 4 на кожен наступний поверх [16] :

$$H_{\min} = 10 + 4(n - 1)$$

де 10 – напір для одноповерхової забудови;

n – кількість поверхів;

$H_{\min}$ – мінімальний вільний напір.

Вільний напір у мережі зовнішнього водопроводу позначається H_g і дорівнює 20 . Підставивши значення в формулу (2.1), отримаємо попередньо необхідний напір:

$$H_{\min} = 10 + 4(10 - 1) = 46_{\text{м}}$$

Оскільки $H_{\min} > H_g$ то приймемо систему з підвищувальною установкою.

2.3 Визначення необхідного напору та подачі для системи внутрішнього водопроводу

Норма витрати води в години максимального водоспоживання на людину складає: $q_{hr,c} = 15,6$ / . А витрата холодної води будь-яким приладом, що розміщується в кожній квартирі буде дорівнювати: $q_0 = 0,2$ / . Вірогідність дії всіх приладів мережі одночасно визначається за формулою:

$$P = \frac{q_{hr,u} \cdot U}{3600 \cdot q_0 \cdot N}$$

де U – кількість людей, що проживають у будинку;

N – загальна кількість приладів, що розміщуються в будинку

$$N = n_n \cdot n_{kv} \cdot n_{np} = 10 \cdot 4 \cdot 4 = 160$$

де n_n – кількість поверхів в будинку;

n_{kv} – кількість квартир на одному поверсі в будинку;

n_{np} – кількість приладів, що споживають воду, в одній квартирі

$$N = n_n \cdot n_{kv} \cdot n_{oc} = 10 \cdot 4 \cdot 4 = 160$$

n_{oc} – кількість осіб, що проживають в одній квартирі.

Підставивши всі відповідні значення в формулу (2.2), отримаємо:

$$P = \frac{q_{hr,u} \cdot U}{3600 \cdot q_0 \cdot N} = \frac{15,6 \cdot 160}{3600 \cdot 0,2 \cdot 160} = 0,021$$

Знайдемо максимальну секундну витрату води:

$$q = 5 \cdot q_0 \cdot N \cdot P = 5 \cdot 0,2 \cdot 160 \cdot 0,021 = 3,36$$

Оскільки допускається перерва в подачі не більше 6 годин, при відсутності регулюючої ємності, то необхідна подача насоса Q буде визначатися за формулою:

$$Q \approx 3,6 \cdot q_t = 3,6 \cdot 3,36 = 12,1 \quad / \quad = 44 \quad ^3 /$$

Необхідний напір H_f в зовнішній мережі в точці підключення вводу визначають за наступною формулою:

$$H_f = H_{geo} + \sum H + H_F - H_g$$

де H_{geo} – геометрична висота розташування найвищої водорозбірної точки над поверхнею землі, тобто висота розташування самого високого (розрахункового) водозабірної приладу, що споживає воду;

$\sum H = 29,75 \text{ м}$ – втрати напору по довжині трубопроводу при $q=3.36 \text{ л/с}$, зовнішньому діаметрі труби $D = 50 \text{ мм}$, товщині стінки труби $0,5 \text{ мм}$, довжині трубопроводу $L=100$, коефіцієнту, що враховує втрати напору на місцеві опорах $k = 1,2$, та геометричній висоті $H_{geo} = 28,7 \text{ м}$, що розраховується нижче;

$H_F = 5 \text{ м}$ – вільний мінімальний напір перед приладом, що споживає воду, відповідно до встановлених норм;

$H_g = 20 \text{ м}$ – вільний напір у мережі зовнішнього водопроводу.

$$H_{geo} = Z_{пр} - Z_{двк}$$

де $Z_{пр}$ – геодезична відмітка найвищого розрахункового приладу;

$Z_{двк} = 352.3 \text{ м}$ – геодезична відмітка точки підключення внутрішнього водопроводу до зовнішньої мережі (знімається з генплану).

$$Z_{np} = Z_3 + a + (n - 1) \cdot H_{пов} + H_{np}$$

де $Z_3 = 353,7 \text{ м}$ – відмітка будинку (знімається з генплану);

$a = 0,95$ – перевищення першого поверху над землею ;

$n=10$ – кількість поверхів у будинку;

$H_{пов} = 2,8 \text{ м}$ – висота поверху;

$H_{np} = 1,1$ – висота до самого високого водозабірною приладу від підлоги останнього поверху ;

Підставивши відповідні значення в формулу (3.8), отримаємо:

$$Z_{np} = Z_3 + a + (n - 1) \cdot H_{пов} + H_{np} = 353,7 + 0,95 + 9 \cdot 2,8 + 1,1 = 381 \text{ м}$$

Геометрична висота буде дорівнювати:

$$M_{ген} = Z_{np} - Z = 381 - 352,3 = 28,7$$

Необхідний напір насоса матиме наступне значення:

$$H_f = H_{geo} + \sum M + H_F - H_g = 28,7 + 29,75 + 5 - 20 = 43,5$$

2.4 Вибір насоса

Відповідно до розрахованих значень напору $M_f = 43,5$ і подачі $Q = 440 \text{ м}^3 /$ вибираємо насос, що задовольняє дану робочу точку Wilo-Atmos GIGA-N 50/160-7,5/2 за допомогою програми Wilo-Select

Розшифровка позначень:

Atmos GIGA-N – тип насоса (класичний одноступінчатий консольний відцентровий насос на фундаментальній плиті);

50 – номінальний діаметр напірного (вихідного) патрубку, мм;

160 – номінальний діаметр робочого колеса, мм;

7,5 – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

2 – кількість полюсів електродвигуна.

Відповідно до розрахованих значень напору $M_f = 43,5$ і подачі $Q = 440 \text{ м}^3 /$ вибираємо насос, що задовольняє дану робочу точку - Grundfos NBE 50-160/177 AAF2AESBQQEMWB - нормальновсмоктуючий одноступінчатий консольно-моноблочний відцентровий насос з горизонтальним

всмоктуючим патрубком, вертикальним напірним патрубком і горизонтально розташованим валом. Основні характеристики даного насоса приведені в табл. 2.1 нижче.

Таблиця 2.1

Опис параметру	Значення для обраної моделі
1. Технічні дані	
Марка (тип) насоса	Wilo-Atmos GIGA-N 50/160-7,5/2
Частота обертання двигуна	2910 об/хв
Конструктивний діаметр гідравліки	50/160
Максимальний робочий тиск P_N	16 бар
Максимальна температура зовнішнього середовища	40°C
2. Рідина	
Діапазон температури рідини	від -20°C до +140°C
Розрахункова температура рідини	20°C
Густина	998.2 кг/м ³
3. Дані електрообладнання	
Тип електродвигуна	Трифазний асинхронний (стандарт IEC)
Кількість полюсів	2
Номінальна потужність, P2	7.5 кВт
Промислова частота	50 Гц
Номінальна напруга	3 x 400 В (380 В)
Клас захисту	IP 55
Клас ізоляції	F
4. Матеріали	
Корпус насоса	Чавун сірий (EN-GJL-250)
Робоче колесо	Чавун сірий (EN-GJL-200)

Wilo-Atmos GIGA-N належить до класу консольних відцентрових насосів низького тиску із сухим ротором. Приставка консольний вказує на специфічне розташування робочого колеса, воно закріплене на кінці вала, який виступає за межі опорного вузла, підшипникової стійки. Насос має моноблочно-рамне компонування, де сама гідравлічна частина ралик та стандартний асинхронний електродвигун встановлені на єдиній зварній або литій фундаментній плиті з високоякісної сталі або чавуну[3].

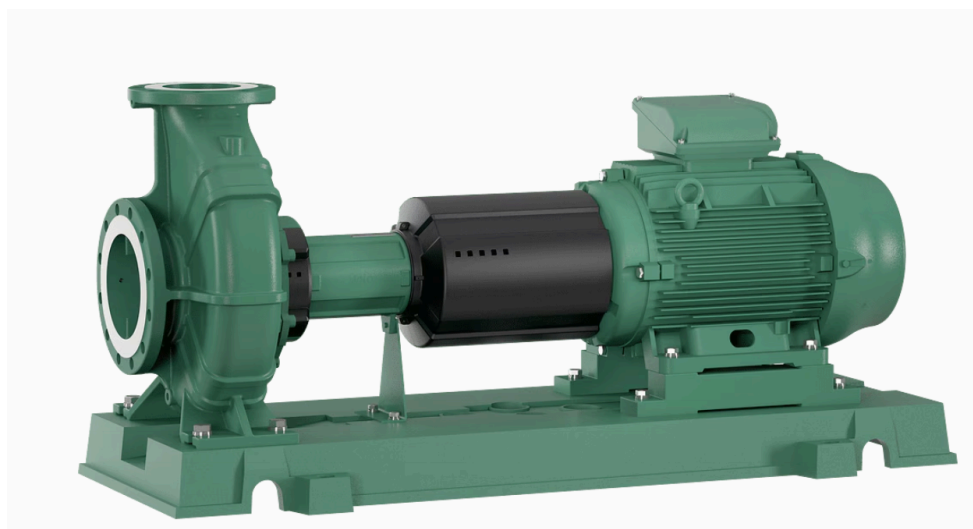


Рис.2.1 – Зовнішній вигляд насоса Wilo-Atmos GIGA-N 50/160-7,5/2

З'єднання вала насоса та вала електродвигуна здійснюється за допомогою еластичної муфти. Така конструкція забезпечує так званий принцип *Back-Pull-Out* (задній демонтаж). Його головна перевага полягає в тому, що під час сервісного обслуговування або ремонту торцевого ущільнення і робочого колеса інженеру не потрібно від'єднувати корпус насоса від магістральних трубопроводів або демонтувати двигун. Достатньо зняти муфту та витягти внутрішній блок разом із робочим колесом і підшипниковим вузлом.

Корпус насоса має осьовий всмоктуючий патрубок діаметром DN 65, через який вода надходить безпосередньо до центру робочого колеса, та радіальний напірний патрубок діаметром DN 50, спрямований вертикально вгору для підключення до напірної мережі будівлі. Фланцеві приєднання виконані

відповідно до європейського стандарту EN 1092-2, що полегшує монтаж та заміну запірної арматури засувок, зворотних клапанів.

За принципом дії даний насос є чисто відцентровим гідравлічним пристроєм[3]. Вода з всмоктуючого колектора потрапляє на лопатки робочого колеса, яке безперервно обертається двополюсним двигуном зі швидкістю близько 2910 обертів за хвилину. Під впливом високої кутової швидкості виникає потужна відцентрова сила, яка відкидає частинки рідини від центру колеса до його периферії.

У цей момент кінетична енергія трансформується в потенційну енергію тиску всередині спірального корпусу, який має форму равлика з виходом, що поступово розширюється. Створений надлишковий тиск дозволяє подолати геометричну висоту будівлі 28,7 м, гідравлічні втрати на тертя у пластикових трубах діаметром 50 мм, а також забезпечити необхідний вільний напір на найвищому поверсі.

Для забезпечення тривалого терміну служби у важких умовах комунального господарства елементи проточної частини виготовлені зі зносостійких матеріалів. Корпус насоса та ліхтар вилиті з сірого чавуну марки EN-GJL-250. Для захисту від корозії під дією кисню, розчиненого у водопровідній воді, чавунні деталі проходять обов'язкове заводське катафорезне покриття електрохімічне нанесення захисного шару.

Робоче колесо також виготовлене з чавуну марки EN-GJL-200. Вал насоса виготовлений з високоякісної нержавіючої сталі, що виключає появу корозійних раковин у зоні дії ущільнень. Герметичність валу забезпечується механічним ковзним торцевим ущільненням типу AQ1EGG (карбід кремнію/графіт/EPDM), яке розраховане на роботу в широкому діапазоні температур від -20°C до +140°C і є стійким до хімічних домішок у воді. Максимальний робочий тиск корпусу становить 16 бар, що гарантує захист від випадкових гідроударів у мережі.

Насос укомплектований трифазним асинхронним електродвигуном стандарту ІЕС з номінальною потужністю $P_2 = 7,5$ кВт. Двигун має високий клас енергоефективності ІЕ3, що знижує експлуатаційні витрати на оплату електроенергії. Клас захисту корпусу двигуна - IP55, надійний захист від осідання пилу та прямих струменів води, а клас ізоляції обмоток – F, стійкість до термічних навантажень.

2.5 Вибір датчика тиску

З метою забезпечення зворотного зв'язку за тиском у найвіддаленішій точці водогону передбачено монтаж вимірювального перетворювача Wika A-10 загальний вигляд якого наведено на рис. 2.2. Датчик використовується для реєстрації тиску рідин або газів та захищений корпусом із високоякісної нержавіючої сталі. Основними експлуатаційними перевагами обраної моделі є лазерне калібрування робочої шкали, автоматична компенсація температурних похибок і стійкість до електричних перешкод згідно з нормативами EU EMC.



Рис.2.2 – Зовнішній вигляд датчика тиску Wika A-10

Технічні характеристики датчика приведені в табл.2.3.

Таблиця 2.2

Робоче середовище	Рідини (вода), повітря, газ
Діапазон вимірювань надлишкового тиску	від 0 до 10 бар, перекриває робочу точку 4.35 бар
Діапазон допустимих температур робочого середовища, °C	від -30 °C до +100 °C
Час реакції, мс	< 4
Межа допустимої основної приведеної похибки	±0,5% від діапазону вимірювань
Клас захисту корпусу	IP 65
Вихідний сигнал	4 – 20 мА
Напруга живлення $U_{жив}$, В	8 – 30 (постійний струм DC)
Електричне з'єднання	Стандартний кутовий штекер кубічної форми DIN EN 175301-803 A
Технологічне з'єднання (різьба підключення)	$\frac{1}{4}$ Зовнішня різьба G $\frac{1}{4}$ відповідно до DIN EN 10226
Матеріал корпусу та частин, що контактують з середовищем	Високоякісна нержавіюча сталь AISI 316L (1.4404)
Вага, кг	0.08 (компактне промислове виконання)

Висновки до другого розділу:

1. Розрахували значення необхідного напору насоса
2. За результатами розрахунків робочої точки обрано оптимальну модель відцентрового консольного насоса Wilo-Atmos GIGA-N 50/160-7,5/2. Описано його конструктивні переваги та високі показники енергоефективності.
3. Для реалізації контуру зворотного зв'язку підібрано промисловий перетворювач тиску Wika A-10, який повністю відповідає експлуатаційним вимогам

3 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ТИСКУ

3.1 Вибір перетворювача частоти

Для забезпечення енергоефективного керування підвищувальною установкою, плавного регулювання продуктивності насоса та безперервного підтримання заданого тиску у внутрішній водопровідній мережі необхідне застосування перетворювача частоти.

Ключовими критеріями для вибору ПЧ є номінальні електричні характеристики електродвигуна обраного насоса Wilo-Atmos GIGA-N 50/160-7,5/2, а саме: трифазна напруга живлення 400 В та номінальна потужність 7,5 кВт. Крім того, пристрій повинен мати вбудований ПІ-регулятор для обробки аналогового сигналу від вимірювального перетворювача тиску.

Відповідно до зазначених вимог, для інтеграції в систему автоматичного керування обрано спеціалізований перетворювач частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202 (потужністю 7,5 кВт). Дана серія розроблена спеціально для застосування у системах водопостачання та водовідведення, маючи оптимізовані алгоритми керування відцентровими насосами.

Основні технічні характеристики обраного перетворювача частоти наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Опис параметру	Значення для обраної моделі
Марка пристрою	Danfoss VLT AQUA Drive FC 202 (FC-202P7K5T4)
Номінальна вихідна потужність	7,5 кВт
Напруга живлення (вхідна)	3 фази, 380...480 В ($\pm 10\%$)
Частота мережі живлення	50/60 Гц
Номінальний вихідний струм	16 А
Вихідна напруга	0 – 100% від напруги живлення
Вихідна частота	0 – 590 Гц
Перевантажувальна здатність	110% протягом 1 хвилини (нормальне навантаження)
Аналогові входи	2 шт. (0–10 В або 0/4–20 мА) — для датчика тиску
Вбудовані інтерфейси зв'язку	RS-485 (Modbus RTU)
Клас захисту корпусу	IP20 (для монтажу в шафі керування)

3.2 Обґрунтування вибору та інтеграція в систему

Вибір моделі Danfoss VLT AQUA Drive FC 202 зумовлений наявністю специфічних апаратних та програмних функцій, які ідеально підходять для роботи з підвищувальними водопровідними установками.

Пряма сумісність із вимірювальним обладнанням: ПЧ має вбудований ПД-регулятор технологічного процесу та конфігуровані аналогові входи. Це дозволяє підключити обраний раніше датчик тиску Wika A-10 безпосередньо до клем перетворювача (використовуючи струмову петлю 4–20 мА). ПЧ

самостійно порівнюватиме фактичний тиск із заданим значенням (уставкою) та автоматично коригуватиме частоту обертання двигуна насоса.

Захист насосу: Перетворювач частоти має спеціалізовану функцію «Захист від сухого ходу» (Dry Pump Detection). Алгоритм постійно аналізує споживану потужність та струм двигуна, у разі падіння навантаження, що свідчить про відсутність води у всмоктувальному колекторі, ПЧ миттєво зупиняє насос, запобігаючи пошкодженню торцевого ущільнення Wilo-Atmos GIGA-N.

Режим очікування (Sleep Mode): В умовах мінімального водорозбору, наприклад, у нічний час, ПЧ автоматично плавно зупиняє насос, коли тиск у системі досягає норми і витрата води відсутня. При поновленні розбору води та падінні тиску двигун автоматично запускається. Це дозволяє уникнути роботи насоса «на закриту засувку», суттєво економить електроенергію та продовжує ресурс електродвигуна.

Плавний пуск і зупинка: Налаштування лінійних рамп розгону та гальмування повністю виключає виникнення гідравлічних ударів у внутрішній водопровідній мережі 10-поверхового будинку, захищаючи трубопроводи та запірну арматуру від руйнівних перевантажень.

Таким чином, інтеграція перетворювача частоти Danfoss FC 202 у єдиний комплекс із відцентровим насосом Wilo та датчиком тиску Wika створює повністю автономну, енергоефективну та захищену електромеханічну систему підтримання тиску.

3.3 Математична модель об'єкта керування

Для забезпечення точного і стабільного підтримання заданого тиску у внутрішній водопровідній мережі необхідно розробити математичну модель системи та синтезувати параметри автоматичного регулятора. У нашому випадку замкнена система автоматичного керування складається з наступних

елементів: перетворювача частоти, асинхронного електродвигуна, відцентрового насоса, гідравлічної мережі та виміррювального перетворювача.

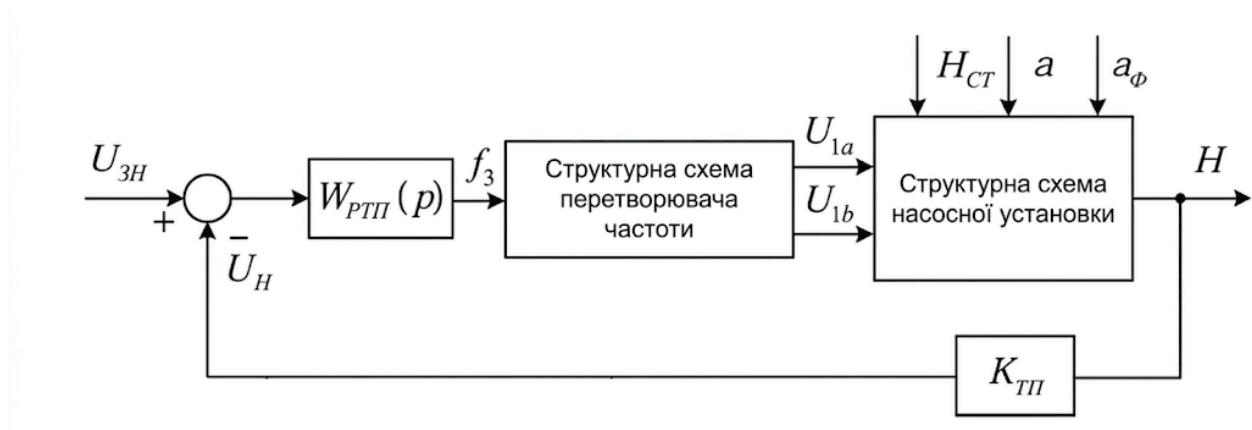


Рис.3.1 – Структурна схема замкненої системи керування

На рисунку прийнято наступні позначення : U_{3H} - напруга завдання напорю; U_H - напруга зворотного зв'язку ; $K_{\Pi\Pi}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за напором; $W_{PT\Pi}(p)$ - передаточна функція регулятора напорю.

$$K_{\Pi\Pi} = \frac{U_{3H\max}}{H_{\max}} = \frac{10}{50} = 0,2$$

Для спрощення математичної моделі доцільно ввести низку обґрунтованих допущень. Оскільки інерційність перетворювача частоти та електромагнітних контурів двигуна на порядок менша за сталу часу гідравлічного об'єкта, їхнім впливом можна знехтувати. Крім того, враховуючи високу жорсткість механічної характеристики електропривода, можна не брати до уваги його взаємозв'язок із технологічним об'єктом через C_M . За таких умов структурну схему керування напором H без урахування статичного напорю $H_{ст}$ можна лінеаризувати в околі номінальної робочої точки та звести до спрощеного вигляду рис. 3.2.

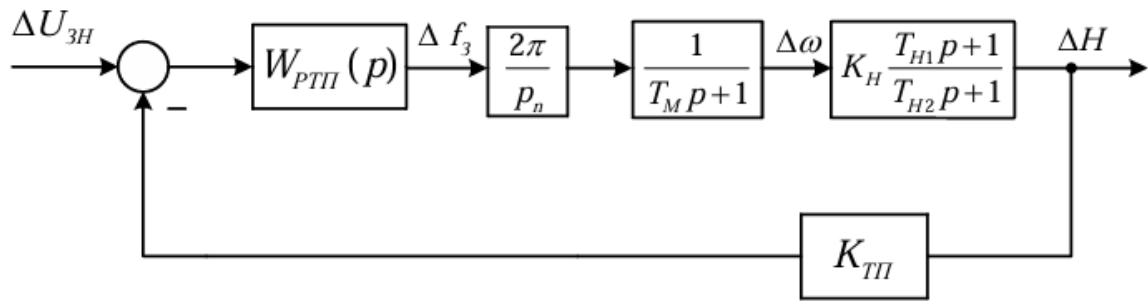


Рис.3.2 – Структурна схема системи керування напором

Коефіцієнт передачі об'єкту по напору:

$$K_H = \frac{2 \cdot a \cdot H_{OH}}{(a_\phi + a) \cdot \omega_H} = \frac{2 \cdot 337500 \cdot 50}{(10000 + 337500)} = 0,126.$$

Сталі часу об'єкту при регулюванні напору:

$$T_{H1} = \frac{T_H}{2 \cdot a \cdot Q_H} = \frac{50}{2 \cdot 337500 \cdot 45,5} = 1,628 \cdot 10^{-6} \text{ c},$$

$$T_{H2} = \frac{T_H}{2 \cdot (a_\phi + a) \cdot Q_H} = \frac{50}{2 \cdot (337500 + 10000) \cdot 45,5} = 1,581 \cdot 10^{-6} \text{ c}.$$

Контур напору налаштовуємо на модульний оптимум. Здійснюємо процедуру синтезу у наступним порядку.

Знаходимо передаточну функцію розімкненої системи, попередньо перетворивши схему до вигляду з одиничним зворотним зв'язком:

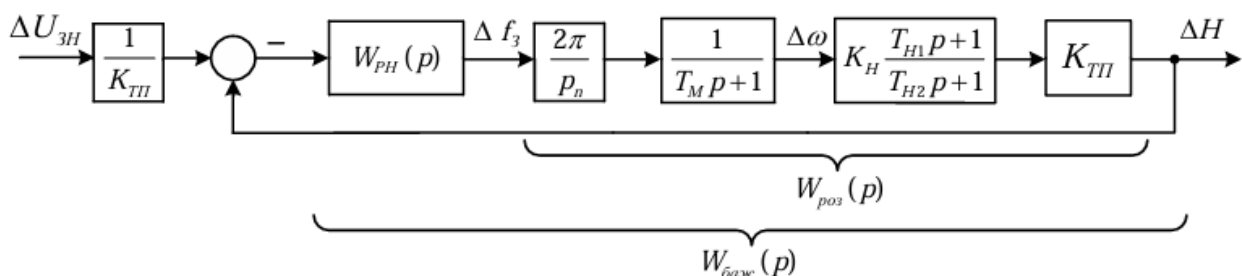


Рисунок 3.3 - Спрощена структурна схема системи керування напором

Таким чином, передаточна функція розімкненої системи має наступний вигляд:

$$W_{роз}(p) = \frac{2\pi K_H (T_{H1}p + 1)}{p_n (T_M p + 1)(T_{H2}p + 1)} K_{ТП}$$

де $W_{роз}(p)$ - передавальна функція розімкненої системи;

p - оператор Лапласа;

K_H - коефіцієнт передачі насоса;

T_{H1}, T_{H2} - еквівалентні сталі часу гідравлічної частини;

T_M - електромагнітна стала часу двигуна;

Знайдемо передаточну функцію регулятора, знаючи попередньо бажану передаточну функцію системи. Отже, при налаштуванні контура на модульний оптимум:

$$W_{баж}(p) = \frac{1}{2T_\mu p (T_\mu p + 1)}$$

$$W_{баж}(p) = W_{PH}(p) \cdot W_{роз}(p)$$

З виразу (3.4) знайдемо передаточну функцію регулятора:

$$\begin{aligned} W_{PH}(p) &= \frac{W_{баж}(p)}{W_{роз}(p)} = \frac{1}{2T_\mu p (T_\mu p + 1)} \cdot \frac{p_n (T_M p + 1)(T_{H2}p + 1)}{2\pi K_H K_{ТП} (T_{H1}p + 1)} = [T_\mu = T_M] = \\ &= \frac{p_n (T_{H2}p + 1)}{4\pi K_{ТП} K_{ТМ} p (T_{H1}p + 1)} = \frac{p_n}{4\pi K_H K_{ТП} T_M} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{(T_{H2}p + 1)}{(T_{H1}p + 1)} = \\ &= \left[\frac{p_n T_{H2}}{4\pi K_H K_{ТП} T_M} + \left(\frac{p_n}{4\pi K_H K_{ТП} T_M} \right) \cdot \frac{1}{p} \right] \cdot \frac{1}{T_{H1}p + 1}. \end{aligned}$$

За даних налаштувань контуру отримуємо послідовне з'єднання ПІ

регулятора та аперіодичного фільтра, що в загальному випадку має вигляд:

$$W(p) = \left(K_p + \frac{K_i}{p} \right) \frac{1}{T_{f1}p + 1},$$

$$K_p = \frac{p_n T_{H2}}{4\pi K_{HT} K_M kT} = \frac{1 \cdot 1,581 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,126 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 0,001} = 0,051 c$$

$$K_i = \frac{p_n}{4\pi K_{HT} K_M T} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,126 \cdot 0,2 \cdot 0,001} = 3210 \quad .$$

Для радикального вирішення цієї проблеми до алгоритму керування вводиться інтегральна складова, яка перетворює регулятор на пропорційно-інтегральний. Інтегральна частина безперервно накопичує помилку в часі $\int e(t)dt$.

Завдяки цій властивості, навіть якщо відхилення фактичного тиску від заданого є мізерно малим, з плином часу інтегральна сума неминуче зростає. Це накопичення змушує регулятор безперервно змінювати вихідний сигнал, збільшувати або зменшувати частоту перетворювача доти, доки фактичний напір не стане абсолютно рівним заданому, тобто доки помилка $e(t)$ не перетвориться на строгий нуль. Як тільки помилка зникає, інтегрування припиняється, інтегратор запам'ятовує своє останнє значення, і насос продовжує працювати на нових стабільних обертах, ідеально підтримуючи необхідний тиск.

У контексті досліджуваної насосної установки цей алгоритм забезпечує високу якість перехідних процесів. Пропорційна складова гарантує швидку, енергійну початкову реакцію системи на різке відкриття кранів мешканцями, не даючи тиску критично просісти. Зі свого боку, інтегральна складова плавно і надзвичайно точно вирівнює напір до цільового розрахункового значення.

Висновки до третього розділу :

1. В розділі розглянули структурну схему замкненої системи керування.
2. Здійснено вибір перетворювача частоти, який виступає головним виконавчим елементом системи автоматичного керування.
3. Визначили, що використання ПІ-регулятора в контурі керування дозволяє усунути статичну похибку та гарантує надійну стабілізацію напору.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

4.1 Дослідження динамічних характеристик замкненої системи керування за фактичним значенням напору насосної установки

У цьому розділі зробимо аналіз перехідних процесів базових координат електромеханічної системи перетворювач частоти - асинхронний двигун – насос. На основі результатів моделювання оцінено показники якості керування, а також досліджено динаміку системи під час стрибкоподібної зміни сигналу завдання та впливу зовнішніх збурень.

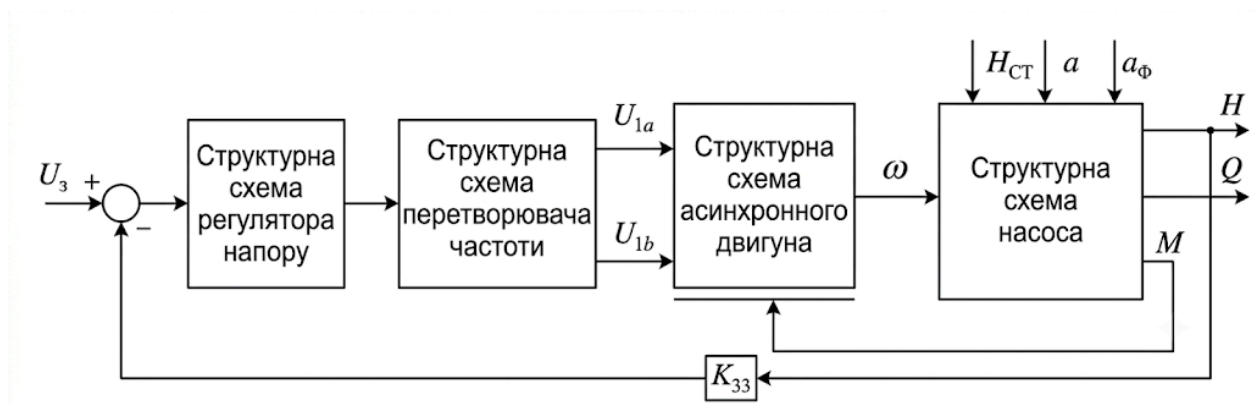


Рисунок 4.1 - Функціональна схема замкненої системи керування напором

Необхідно дослідити поведінку системи при дії керуючої та збурюючої дій. Напруга завдання $U_3 = 10 \text{ В}$.

Графіки перехідних процесів напору $H(t)$, подачі $Q(t)$, швидкості на валу двигуна $\omega \text{ (rad/c)}$, напруги $U_{1a}(t), U_{1b}(t)$ та струмів $I_{1a}(t), I_{1b}(t)$ асинхронного двигуна в координатах статора $a-b$ зображені на рис.4.2 – рис.4.8.

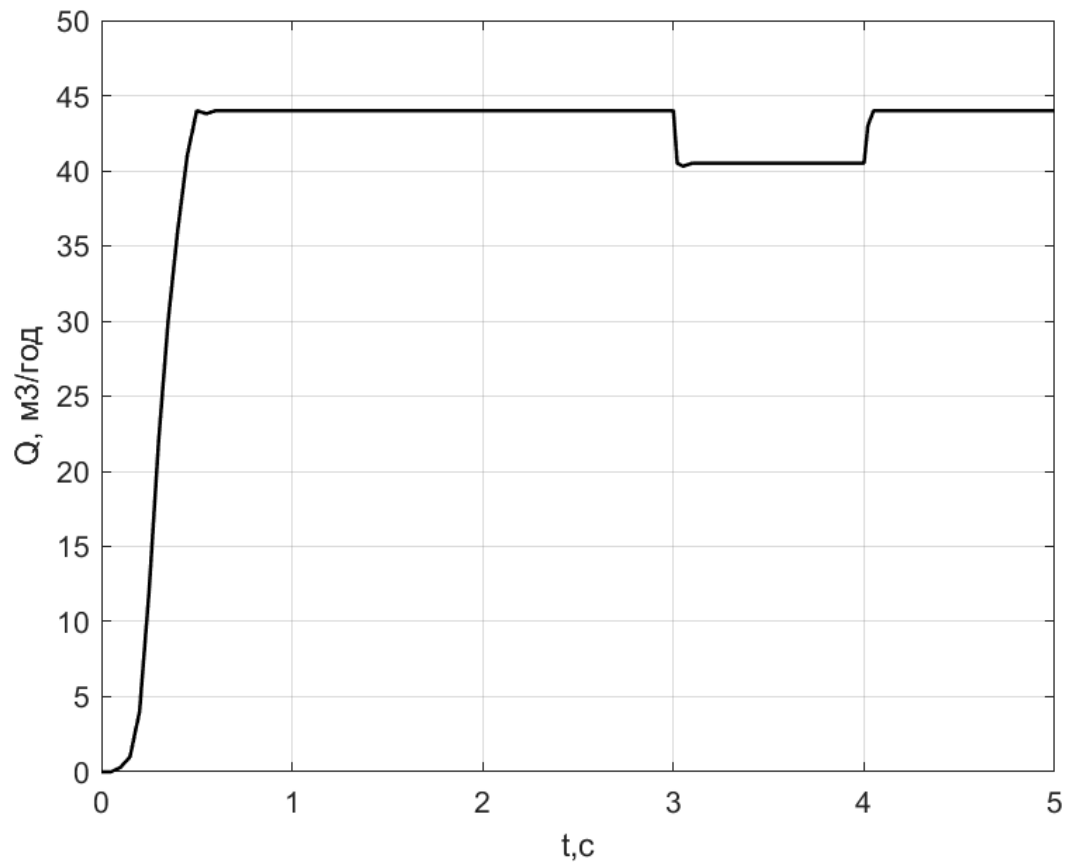


Рисунок 4.2 – Перехідний процес продуктивності насосної установки

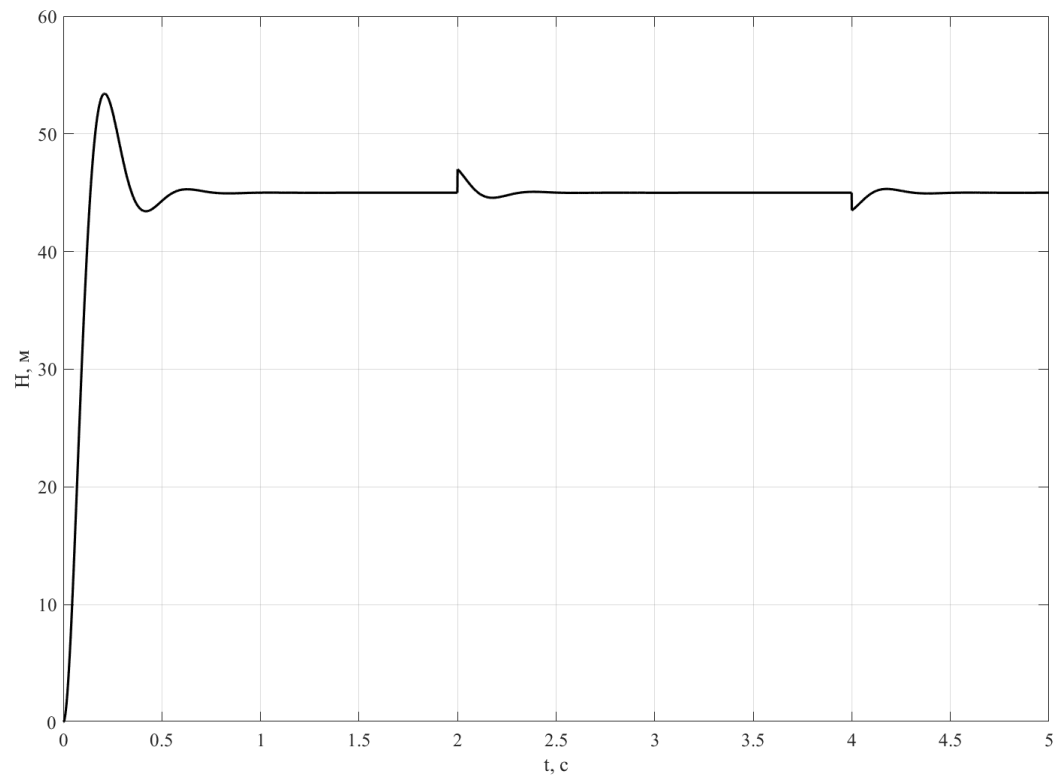


Рис.4.3 - Перехідний процес напору насосної установки

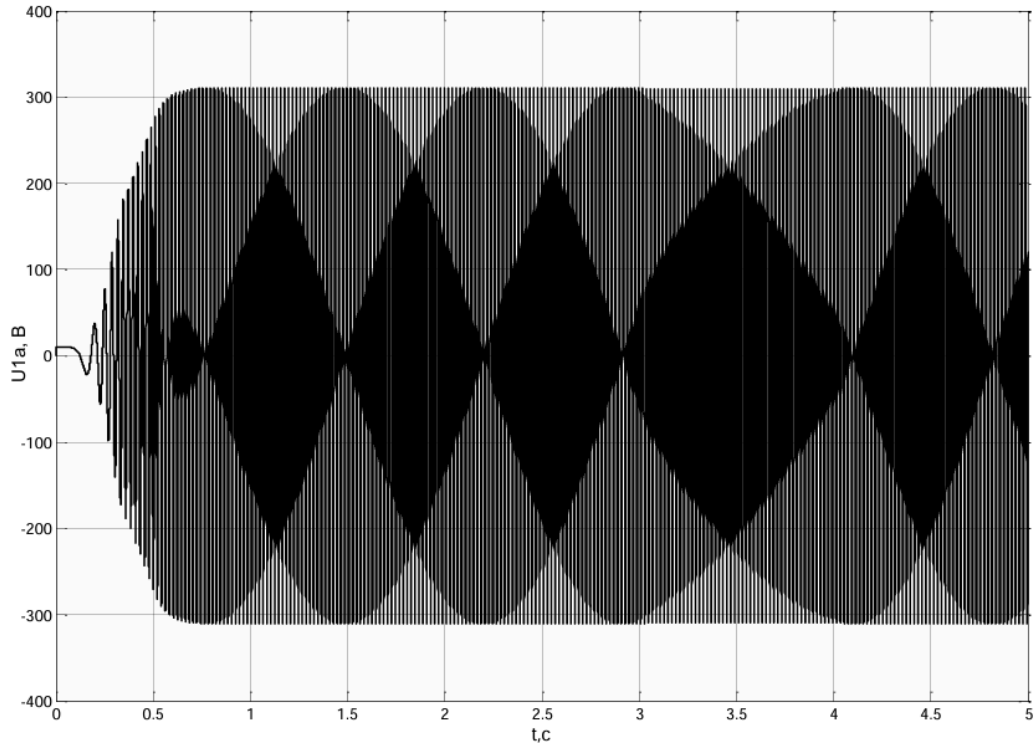


Рисунок 4.4 – Перехідний процес напруги U_{1a} двигуна в координатах статора $a-b$

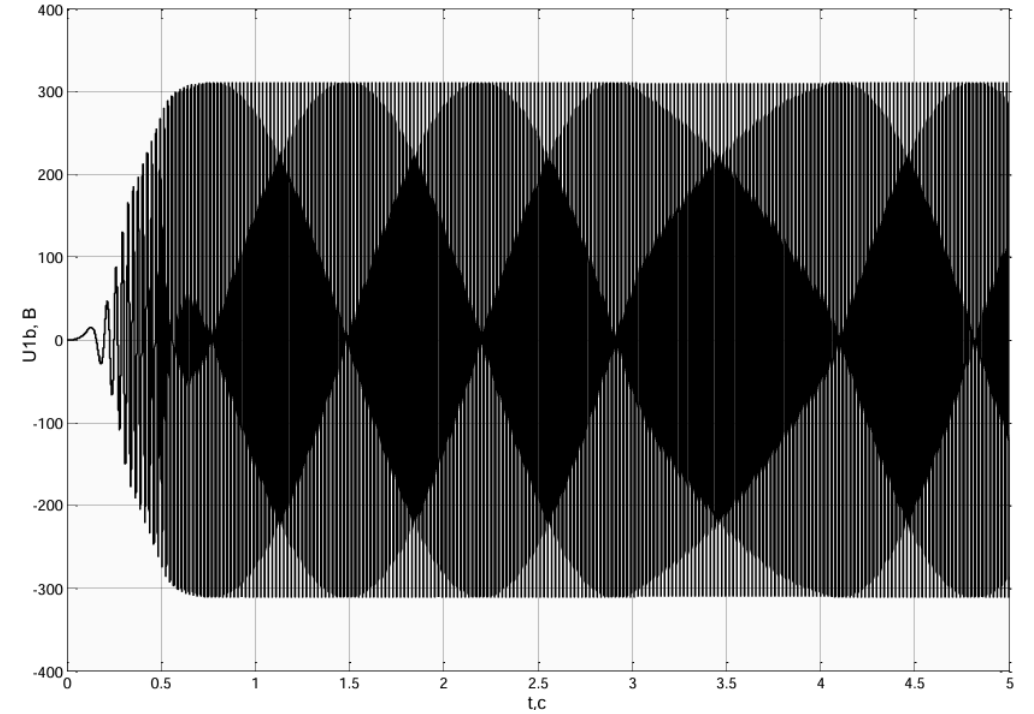


Рисунок 4.5 – Перехідний процес напруги U_{1b} двигуна в координатах статора $a-b$

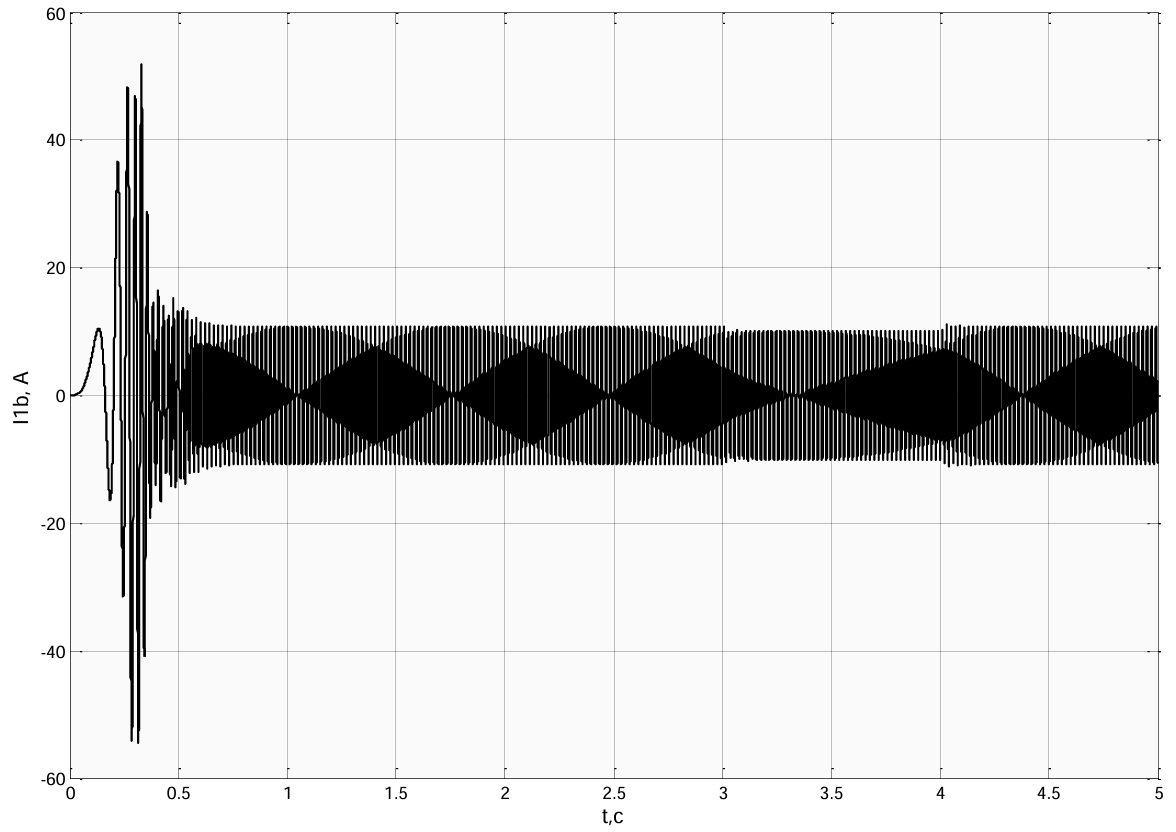


Рисунок 4.6 – Перехідний процес струму I_{1a} двигуна в координатах статора $a-b$

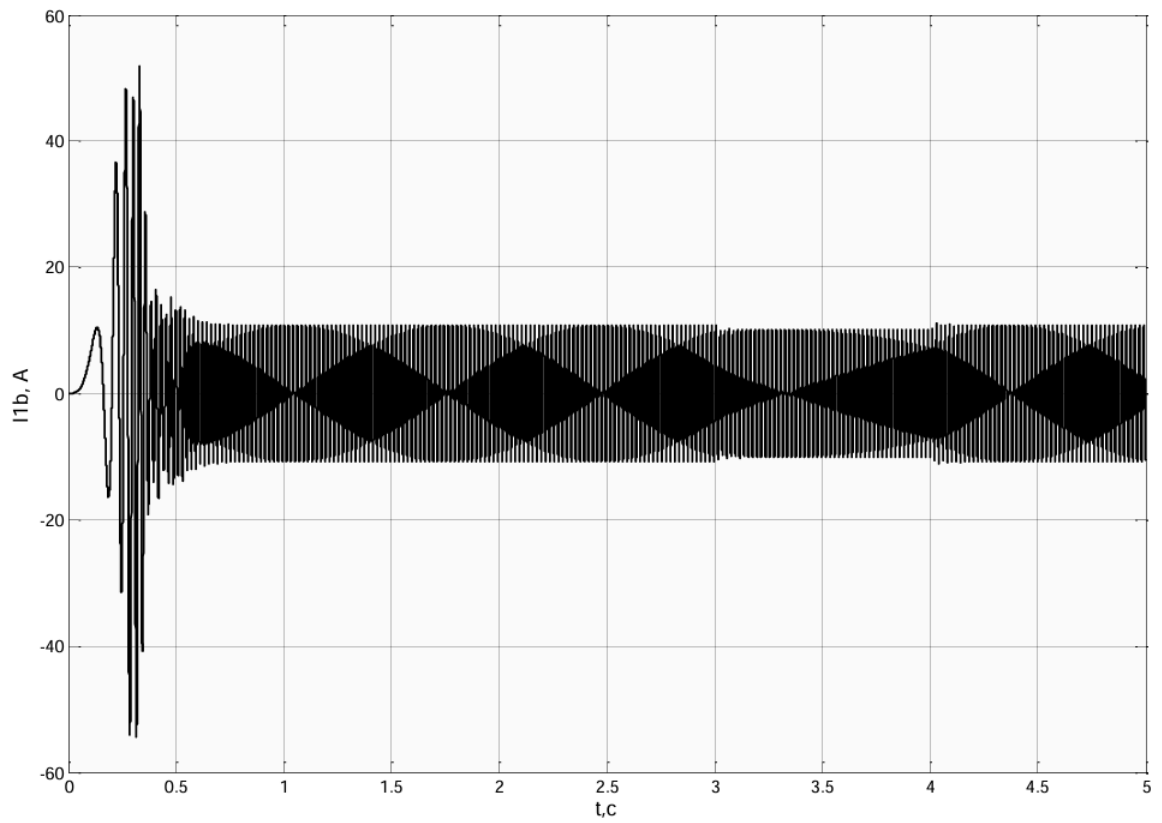


Рисунок 4.6 – Перехідний процес струму I_{lb} двигуна в координатах статора $a-b$

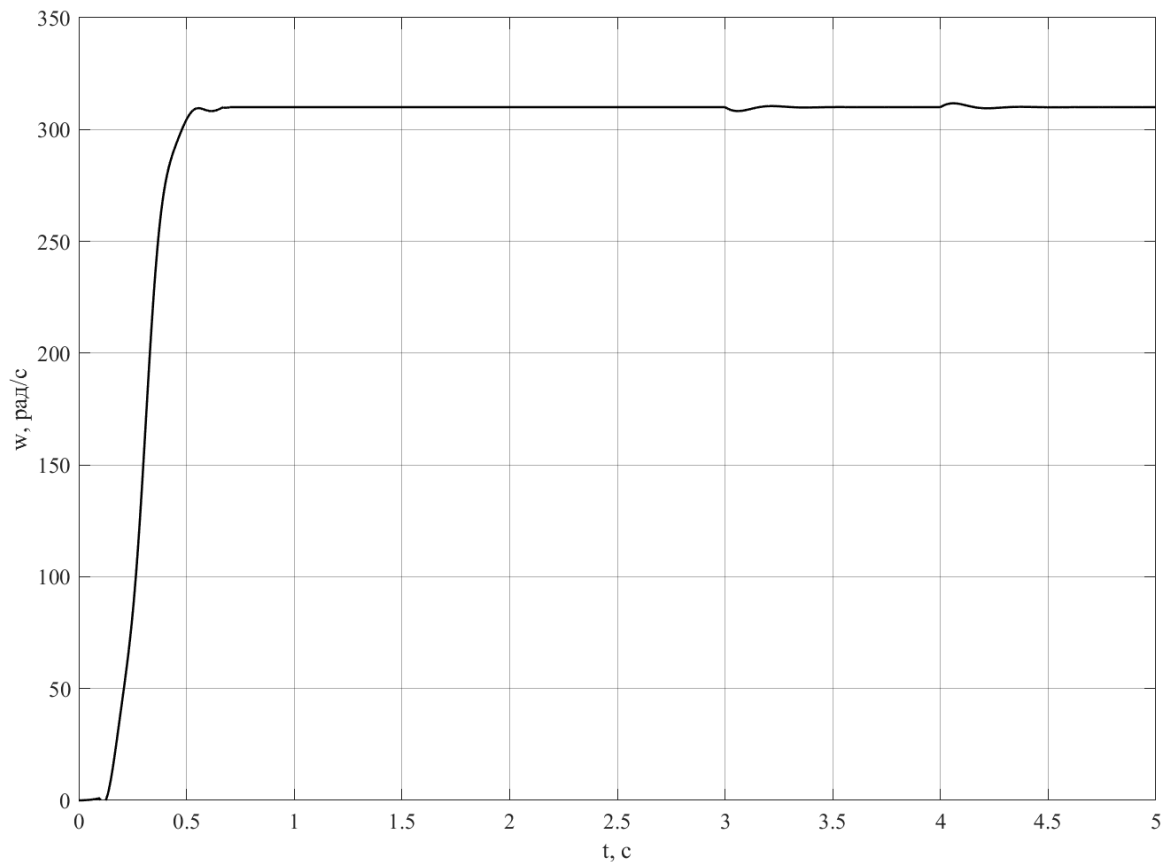


Рис.4.7 – Перехідний процес швидкості на валу двигуна

Проаналізуємо якісні характеристики замкненої системи.

Час перехідного процесу: $t_m = 0,71 \text{ c}$.

Перерегулювання – відсутнє.

Коливальність – відсутня.

Висновки до четвертого роздлу:

1. В розділі досліджено перехідні процеси основних координат системи ПЧ-АД-насос, а також на основі отриманих результатів проаналізовано показники якості її роботи.

2. За результатами моделювання перехідних процесів встановлено, що замкнена система демонструє хорошу стійкість до накиду та скиду навантаження, зберігаючи допустиму коливальність перехідної характеристики.

3. Відсутність перерегулювання та коливальності в перехідних процесах підтверджує правильність синтезу контуру керування та оптимальний вибір параметрів ПІ-регулятора. Замкнена система безпомилково та плавно виходить на заданий рівень напору без створення надлишкового тиску в магістралі.

5 ОПИС СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Технологічний процес забезпечення тепловою енергією та вибір апаратної бази системи автоматизації

Технологічний процес забезпечення багатоквартирного будинку тепловою енергією бере свій початок із зовнішнього джерела - централізованої міської тепломережі. Гаряча вода, що виконує роль теплоносія, надходить по магістральних трубопроводах до індивідуального теплового пункту будівлі. На вхідному колекторі ІТП встановлено головний запірний клапан, який виконує функцію гідравлічного відсікання внутрішньої мережі для проведення сервісних робіт та безпеки. Загальна структурно-технологічна схема розробленої системи подачі та розподілу теплоносія наведена на рисунку 5.1.

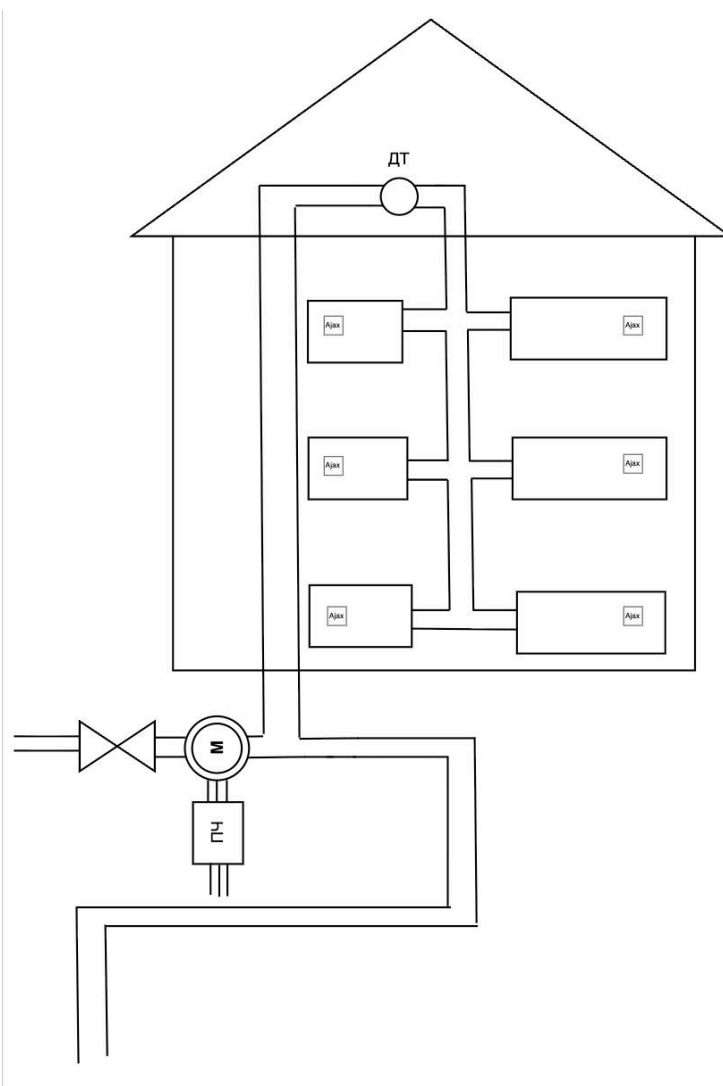


Рис. 5.1 Структурна схема системи теплопостачання багатоквартирного будинку

Після проходження клапана теплоносій потрапляє до головного виконавчого механізму - відцентрового циркуляційного насоса Wilo-Atmos GIGA-N із номінальним діаметром робочого колеса 168 мм. Оскільки статичного тиску зовнішньої мережі зазвичай недостатньо для висотних будівель, саме цей насос створює необхідний динамічний напір. Він примусово піднімає гарячу воду по вертикальних стояках, долаючи геодезичну висоту споруди та сумарний гідравлічний опір трубопроводів.

Для оптимізації енергоспоживання та уникнення небезпечних гідроударів, керування трифазним електродвигуном насоса здійснюється через перетворювач частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202, роботою якого керує програмований логічний контролер Schneider Electric Zelio Logic SR2B201BD.



Рис.5.2 – Зовнішній вигляд Schneider Electric Zelio Logic SR2B201BD
Технічні характеристики плк приведені в табл.5.1

Таблиця 5.1

Параметр	Значення
Виробник	Schneider Electric
Серія	Zelio Logic
Модель	SR2B201BD
Тип пристрою	Програмоване реле
Напруга живлення	24 В DC
Діапазон напруги живлення	19,2...30 В DC
Кількість дискретних входів	12
Кількість аналогових входів	6 (0–10 В або 0–24 В)
Кількість виходів	8
Тип виходів	Релейні
Номінальний струм виходу	8 А
Наявність дисплея	LCD-дисплей з підсвічуванням
Вбудований годинник реального часу	Так
Мова програмування	Ladder Diagram, Function Block Diagram, SFC

Параметр	Значення
Час циклу програми	6–90 мс
Монтаж	DIN-рейка або гвинтове кріплення
Ступінь захисту передньої панелі	IP40
Ступінь захисту клем	IP20
Робоча температура	від –20 °C до +55 °C
Габаритні розміри (Ш×В×Г)	124,6 × 90 × 59,5 мм
Маса	0,38 кг
Ресурс релейних контактів	до 10 млн комутацій

Контролер виконує функцію головного обчислювального пристрою магістрального рівня. Він аналізує загальні умови пуску, формує команди на запуск, або зупинку приводу та реалізує алгоритми аварійного блокування.

Датчик тиску розміщено в найвіддаленішій і найвищій точці системи. Якщо перетворювач частоти зможе підтримати необхідний тиск у цій найскладнішій точці, то всі нижні поверхи гарантовано будуть забезпечені теплоносієм

Після підняття гарячої води на верхні поверхи будівлі за допомогою головного магістрального насоса, теплоносій розподіляється по горизонтальних трубопроводах і безпосередньо надходить до індивідуальних квартирних контурів опалення. На цьому етапі глобальний гідравлічний контур трансформується у розгалужену мережу незалежних зон споживання, де в роботу вступає інтелектуальна локальна підсистема керування мікрокліматом, побудована на базі сучасної екосистеми Ajax.

Головним завданням цієї підсистеми є децентралізований розподіл теплової енергії відповідно до індивідуальних потреб кожної окремої кімнати. Завдяки впровадженню бездротових та розумних алгоритмів автоматизації, мешканці отримують можливість гнучко налаштовувати добові температурні графіки. Система самостійно аналізує поточні теплові втрати приміщення та

динамічно регулює інтенсивність циркуляції гарячої води у локальних контурах теплообміну.

5.2 Апаратне та алгоритмічне забезпечення локальної підсистеми керування мікрокліматом квартири

На вході до кожної квартири встановлюється індивідуальний розподільчий вузол. Першим пристроєм на цій ділянці є сучасний електронний лічильник тепла. Сьогодні їх встановлення є обов'язковим стандартом для нових енергоефективних будинків. Такий лічильник точно рахує, скільки саме тепла спожила конкретна квартира, що дозволяє мешканцям платити чесно - лише за фактично використану енергію.

Математично обчислювальний блок приладу визначення кількості спожитого тепла здійснює непрямим методом, безперервно розв'язуючи інтегральне рівняння теплового балансу:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_1 - t_2)$$

де G - масова витрата теплоносія, що фіксується ультразвуковим або тахометричним витратоміром на вхідній трубі;

c - питома теплоємність води;

$t_1 - t_2$ - температури теплоносія у подавальному та зворотному трубопроводах відповідно, які безперервно вимірюються парою прецизійних термодатчиків опору.

Отримані дані обчислюються та фіксуються в енергонезалежній пам'яті приладу у кількох стандартизованих одиницях: гігакалоріях (Гкал) - традиційній позасистемній одиниці теплоенергетики; гігаджоулях (ГДж) - офіційній одиниці вимірювання енергії та роботи системи СИ; або кіловат-годинах (кВт·год) - сучасному європейському стандарті, що дозволяє

легко зводити загальний енергетичний баланс будівлі та порівнювати ефективність системи опалення з електричними аналогами. Наявність вбудованих комунікаційних модулів дозволяє інтегрувати такі лічильники у загальнобудинкову систему диспетчеризації для автоматизованого збору показників.

Для організації безперебійного та децентралізованого керування мікрокліматом на квартирному рівні критично важливим етапом є вибір апаратного обчислювального центру локальної підсистеми. У даному проєкті в якості головного контролера обрано сучасну централь Ajax Hub 2.



Рис.5.3 - Зовнішній вигляд Hub 2

Технічні характеристики Hub приведені в табл.5.2.

Таблиця 5.2

Параметр	Значення
Тип пристрою	Інтелектуальна централь системи безпеки та автоматизації
Операційна система	OS Malevich
Максимальна кількість підключених пристроїв	До 100 одиниць

Максимальна кількість логічних кімнат	50
Параметр	Значення
Канали зв'язку	Ethernet, 2 × SIM-карти
Бездротові протоколи зв'язку	Jeweller Wings
Робочий діапазон частот радіоканалу	868,0 – 868,6 МГц
Потужність радіосигналу	Саморегульована, до 25 мВт
Час доставки сигналу тривоги/команди	0,15 секунди
Основне електроживлення	110–240 В змінного струму, 50/60 Гц
Резервне електроживлення	Вбудований Li-Ion акумулятор 2 А·год (до 16 годин автономної роботи)
Діапазон робочих температур	Від -10°C до +40°C
Допустима вологість робочого середовища	До 75%
Габаритні розміри (Ш × В × Г)	163 × 163 × 36 мм

Відмова від використання базової версії попереднього покоління, тобто Hub, зумовлена низкою суттєвих інженерних переваг оновленої моделі, які є обов'язковими для реалізації складної логіки керування опаленням. Hub 2 володіє значно розширеним обсягом оперативної та енергонезалежної пам'яті, а також продуктивнішим мікропроцесором. Це є критично необхідною умовою для стабільної роботи операційної системи реального часу OS Malevich та безперебійної обробки десятків одночасних сценаріїв автоматизації, що полягають у циклічному порівнянні температурних уставок із фактичними показниками датчиків.

Друга версія централі повноцінно підтримує роботу з новітніми мікрокліматичними сенсорами LifeQuality, забезпечуючи безперервний збір прецизійної телеметрії з кожної окремої кімнати.



Рис.5.4 - Зовнішній вигляд LifeQuality

Важливим фактором стала і підвищена відмовостійкість, Hub 2 оснащений трьома незалежними каналами зв'язку, включаючи дротовий Ethernet та два слоти для SIM-карт, що гарантує миттєве перемикання на резервний стільниковий канал у разі зникнення основного інтернет-з'єднання.

Фізичне підключення централі здійснюється до стандартної побутової електромережі з напругою 230 В, при цьому пристрій має вбудований резервний акумулятор для підтримки автономної роботи під час локальних знеструмлень.

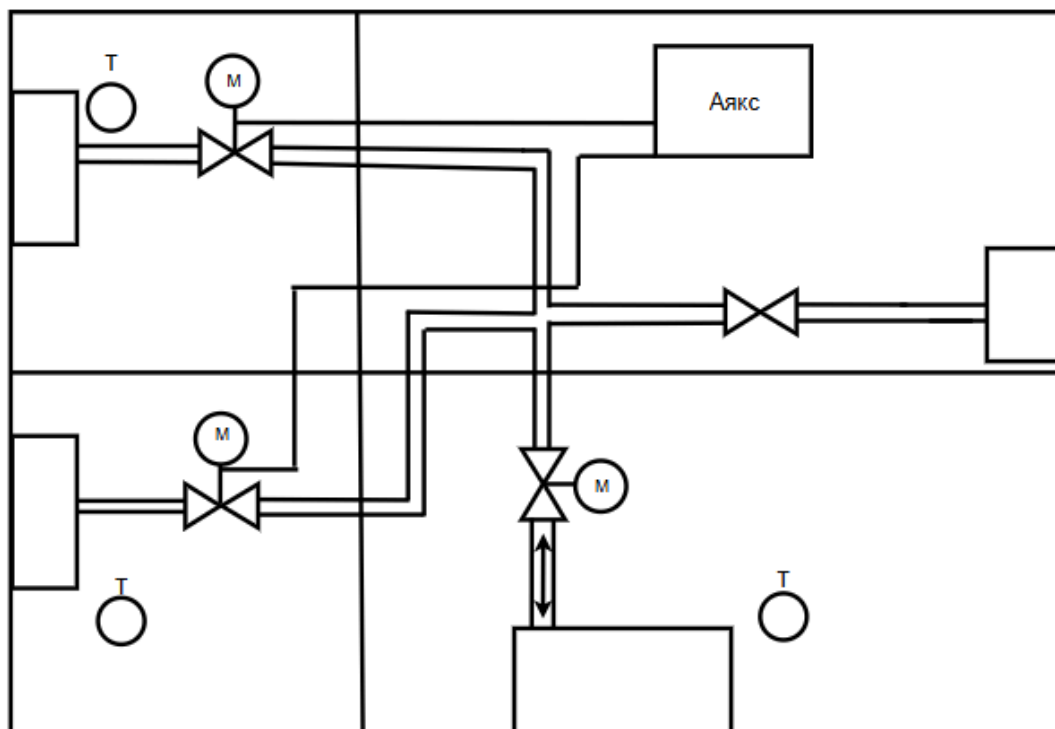


Рисунок 5.5 - Схема локальної системи керування квартирним опаленням

Щоб забезпечити індивідуальний тепловий комфорт в кожній кімнаті квартири та оптимізації роботи виконавчих механізмів, запрограмовано двопозиційний релейний алгоритм керування із заданою зоною нечутливості. Такий підхід дозволяє уникнути явища автоколивань та постійного безпідставного перемикання силових реле при мінімальних коливань температури навколо цільової точки. Математична логіка роботи контуру мікроклімату базується на підтримці заданої комфортної температури на рівні 21 градуса Цельсія із програмним допуском регулювання у 2 градуси. Нижньою межею активації опалення є показник у 19 градусів.

Алгоритм функціонує в режимі реального часу за циклічним принципом, де бездротові датчики здійснюють безперервний моніторинг стану повітряного середовища у кожному приміщенні та передають ці дані на обчислювальне ядро центрального контролера. Якщо в процесі природного охолодження кімнати температура падає до 19 градусів, централь фіксує стан недогріву і надсилає команду на виконавче реле, яке замикає контакти та подає живлення на електропривід крана, повністю відкриваючи потік гарячої води в радіатор.

У процесі інтенсивного теплообміну, поки температура зростає, система не змінює свого стану, а кран залишається відкритим. Щойно датчик фіксує досягнення цільового комфортного рівня у 21 градус, автоматика розмикає реле, електропривід знеструмлюється і під дією поворотного механізму перекриває подачу теплоносія, після чого система переходить у режим очікування.

Окрім базового гістерезисного регулювання, алгоритм керування на базі Ajax Hub 2 дозволяє реалізовувати гнучкі часові сценарії для раціонального використання теплової енергії. Користувач має можливість запрограмувати добовий або тижневий графік роботи системи залежно від свого ритму життя. Наприклад, коли мешканці йдуть на роботу і приміщення залишається порожнім, система автоматично переходить у режим максимального енергозбереження, перекриваючи крани та припиняючи обігрів квартири.

Для того, щоб гарантувати комфортний мікроклімат до моменту повернення людей, наприклад, о 18:00, операційна система контролера ініціює попередній прогрів заздалегідь, подаючи команду на відкриття кранів о 17:00. Такий підхід повністю унеможлиблює марнотратну циркуляцію теплоносія у години відсутності мешканців, водночас забезпечуючи досягнення заданих 21 градуса точно до їхнього приходу.

Взаємодія обчислювального ядра з виконавчими механізмами, роль яких виконують силові реле WallSwitch, реалізується виключно бездротовим шляхом за допомогою енергоефективного радіопротоколу Jeweller, що працює на захищеній частоті 868 МГц.



Рис.5.5 - Зовнішній вигляд WallSwitch

Технічні характеристики WallSwitch приведені в табл.5.3.

Таблиця 5.3.

Параметр	Значення
Тип пристрою	Бездротове силове радіореле
Виконавчий елемент	Електромагнітне реле
Напруга живлення	110 – 230 В змінного струму
Захист за напругою	Макс. - 264 В, мін. - 161 В
Максимальний струм навантаження	13 А
Максимальна потужність навантаження	До 3 кВт
Контроль параметрів енергоспоживання	Струм, напруга, спожита потужність (у застосунку)
Радіопротокол зв'язку	Jeweller (868,0 – 868,6 МГц)
Захист за максимальною температурою	Автоматичне вимкнення при нагріванні понад +65°C
Габаритні розміри (Ш × В × Г)	39 × 33 × 18 мм

Процес інтеграції силового реле в екосистему розпочинається з логічного сполучення шляхом сканування унікального ідентифікатора через мобільний застосунок. Після програмної прив'язки реле до відповідної температурної зони виконується його апаратний монтаж у розподільчому щиті автоматики або спеціальному боксі. На входні клеми WallSwitch подається стаціонарна мережева напруга, а вихідні контакти підключаються безпосередньо до ліній живлення електроприводу кульового крана. У робочому режимі централь постійно моніторить ефір.

Отримавши від датчика температури інформацію про охолодження приміщення, Hub 2 програмно обробляє заданий користувачем сценарій та миттєво надсилає зашифрований радіопакет на відповідне реле. WallSwitch замикає свої внутрішні контакти, подаючи струм на серводвигун крана, який фізично відкриває трубопровід і забезпечує подачу гарячої води до радіатора,

замикаючи таким чином загальний автоматизований контур керування теплопостачанням.

Механізм, що реалізує фізичне керування потоком теплоносія у кожній температурній зоні, обрано двоходовий кульовий клапан з електроприводом Tervix Pro Line ORC .



Рис.5.6 - Зовнішній вигляд клапан Tervix Pro Line ORC

Технічні характеристики датчика приведені в табл.5.4.

Таблиця 5.4

Параметр	Значення
Тип	Двоходовий кульовий клапан з електроприводом
Умовний діаметр (DN)	20 мм
Робоча конфігурація	Нормально закритий
Напруга живлення електропривода	220В
Споживана потужність	6 Вт
Час повного відкриття / закриття	15 секунд

Параметр	Значення
Номінальний тиск	16 бар
Максимальний перепад тиску	6 бар
Пропускна здатність (Kvs)	5,2 м³/год
Температура робочого середовища	Від +2°C до +95°C
Тип робочого середовища	Вода
Ступінь захисту електропривода	IP54
Матеріал корпусу клапана	Штампована латунь
Матеріал ущільнень	PTFE, EPDM

Цей електромеханічний вузол має умовний діаметр DN20 та виконує роль фінальної ланки у ланцюзі автоматизованого керування квартирним мікрокліматом. Важливою технологічною особливістю обраної моделі клапана є його нормально-закрита конфігурація.

Алгоритм взаємодії цього механізму із системою керування передбачає безперервну зміну активної та пасивної фаз. Після того, як обчислювальне ядро Ajax Hub 2 програмно фіксує необхідність підвищення температури у кімнаті, силове реле WallSwitch комутує електричне коло, подаючи мережеву напругу 230 В безпосередньо на клеми електроприводу Tervix. Електродвигун сервоприводу активується і через вбудований редуктор плавно повертає внутрішній кульовий елемент, долаючи опір поворотного механізму. У результаті клапан повністю відкривається, і гаряча вода починає вільно циркулювати через радіатор, при цьому вбудовані мікрровимикачі знімають навантаження з двигуна в крайньому відкритому положенні, запобігаючи його перегріву.

Коли приміщення прогрівається до заданої комфортної температури, система автоматично знімає керуючу напругу з реле. Після знеструмлення привод здійснює зворотний рух, герметично перекриваючи потік теплоносія. Використання нормально-закритого клапана Tervix дозволяє реалізувати

надійний захист безпечної відмови. Якщо у квартирі станеться аварійне знеструмлення мережі або пропаде зв'язок із централлю, клапан автоматично повернеться у закрите положення, що гарантовано захищає приміщення від неконтрольованого перегріву в разі втрати керування та мінімізує ризики затоплення при можливому пошкодженні радіатора.

5.3 Відведення відпрацьованого теплоносія та алгоритм аварійного скидання

Після того як гаряча вода проходить через батареї та віддає своє тепло кімнаті, її потрібно правильно відвести із системи. Цей етап є критично важливим, адже правильне відведення води гарантує стабільний гідравлічний баланс і нормальну роботу магістрального насоса.

У штатному режимі роботи системи відпрацьована вода з квартирних контурів збирається та спрямовується у загальний вертикальний стояк. Як показано на рисунку 5.3, потік теплоносія рухається стояком донизу, після чого через відкриту запірну арматуру направляється у магістральний зворотний трубопровід. Цей трубопровід транспортує охолоджену воду назад до або центральної котельні для подальшого нагрівання та повторного залучення у циркуляційний цикл.

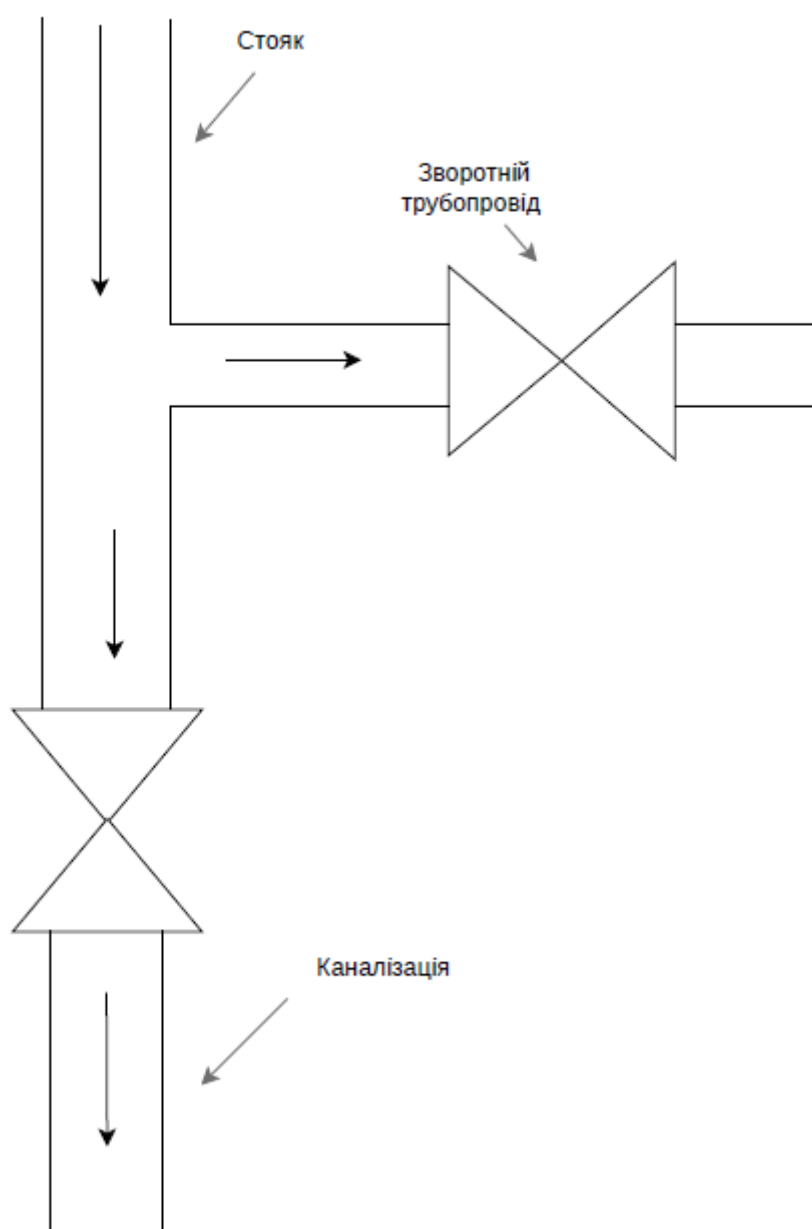


Рисунок 5.7 - Схема вузла відведення теплоносія у зворотний трубопровід та аварійного скидання

У нижній точці стояка, нижче рівня відгалуження до зворотного трубопроводу, передбачено спеціальний вузол аварійного скидання, який за допомогою додаткового запірного клапана з'єднаний з мережею каналізації. Використання лінії скидання у каналізацію передбачено для двох основних експлуатаційних сценаріїв. Першим із них є проведення регламентних та ремонтних робіт. При необхідності технічного обслуговування, заміни

обладнання, промивання системи від шламу або підготовки до неопалювального сезону запірна арматура зворотного трубопроводу перекривається. Після цього відкривається нижній клапан, що дозволяє безпечно та контрольовано злити весь об'єм води зі стояка у каналізаційну мережу, повністю звільняючи гідравлічний контур.

Другим сценарієм є реакція системи на критичні аварійні ситуації. Для забезпечення максимальної надійності та виключення людського фактору процеси перемикання потоків у цьому режимі повністю автоматизовані за допомогою програмованого логічного контролера. У штатному режимі роботи контролер подає керуючий сигнал на електропривід клапана зворотного трубопроводу, утримуючи його у відкритому стані для нормальної циркуляції, та паралельно безперервно аналізує телеметричні дані з датчиків тиску. У разі виникнення серйозних гідравлічних збурень, які не вдалося компенсувати системі автоматики, ПЛК миттєво ініціює аварійний алгоритм безпеки.

Контролер формує відповідні дискретні команди, автоматично перекриває моторизований клапан виходу у загальний зворотний трубопровід для негайної ізоляції пошкодженої ділянки та одночасно відкриває електроклапан дренажного скидання. Це дозволяє екстрено скинути надлишковий тиск та об'єм теплоносія в каналізацію за лічені секунди без фізичного втручання диспетчера.

Таке автоматизоване інженерне рішення локалізує аварію, надійно захищає дороге магістральне обладнання, включаючи насос та теплообмінники, від пошкоджень і мінімізує матеріальні збитки для мешканців будівлі.

5.4 Принципова електрична схема та апаратна реалізація керування насосом

Згідно з розробленою принциповою схемою рис. 5.4, електричне підключення насоса поділяється на три взаємозалежні функціональні кола: силове забезпечення, дискретне керування та аналоговий зворотний зв'язок.

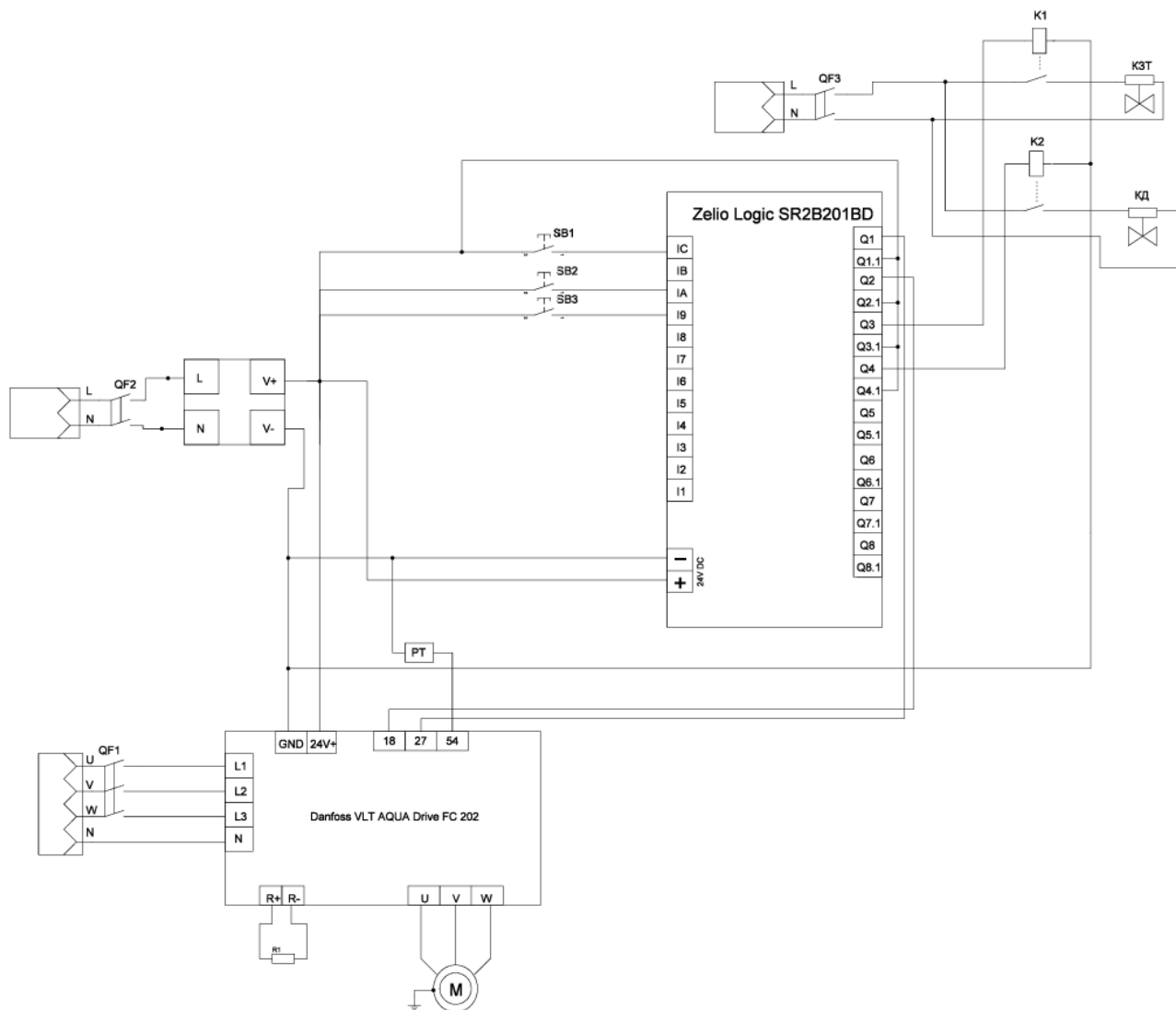


Рисунок 5.8 - Принципова електрична схема керування магістральним насосом та вузлом відведення теплоносія

Основою насосного агрегату є трифазний асинхронний електродвигун (M), керування яким здійснюється за допомогою перетворювача частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202. Напруга з головного розподільчого щита подається через захисний автоматичний вимикач QF1, який захищає вхідну лінію від струмів короткого замикання.

Після автомата мережеве живлення підключається до силових вхідних клем перетворювача частоти L1, L2, L3 та нейтралі N. Відмодульована вихідна напруга зі змінною частотою та амплітудою знімається з клем U, V, W і подається безпосередньо на обмотки статора електродвигуна насоса. Додатково до клем R+ та R- перетворювача підключено гальмівний резистор R1, який

забезпечує розсіювання надлишкової кінетичної енергії під час плавного гальмування масивної крильчатки насоса, запобігаючи небезпечному зростанню напруги на внутрішній шині постійного струму.

Загальна логіка дозволу на роботу, скидання аварій та перемикання клапанів формується контролером магістрального рівня Schneider Electric Zelio Logic SR2B201BD. Для його функціонування, а також для живлення кіл керування, передбачено окреме імпульсне джерело живлення 24 В, захищене автоматом QF2. Фізична взаємодія між контролером та частотним приводом відбувається через релейні виходи ПЛК, які комутують керівну напругу. Зокрема, команда пуску здійснюється через релейний вихід Q3, при програмному замиканні якого сигнал подається на цифровий вхід 18 ПЧ, дозволяючи запуск двигуна. Виходи контролера Q1 та Q2 керують проміжними електромагнітними реле K1 і K2 ,лінія яких захищена автоматом QF3, що відповідають за фізичне відкриття клапана зворотного трубопроводу КЗТ та дренажного клапана каналізації КД.

Для забезпечення автономної стабілізації гідравлічного напору в магістралі використовується перетворювач тиску РТ. Його живлення здійснюється від загальної лінії 24 В, а інформаційний струмовий сигнал безперервно надходить на аналоговий вимірювальний вхід 54 перетворювача частоти. Завдяки такому підключенню мікропроцесор приводу Danfoss самостійно розраховує пропорційно-інтегральний алгоритм і динамічно коригує оберти двигуна.

Висновки до п'ятого розділу:

1.Розроблено систему автоматизації теплопостачання багатоквартирного будинку, що поєднує керування гідравлічним контуром та локальними підсистемами квартирному мікроклімату.

2.Обрали децентралізовану підсистему керування квартирним мікрокліматом на базі інтелектуальної екосистеми Ajax: централь HUB 2,

датчики LifeQuality, рел, та нормально закритих електроклапанів Tervix Pro Line ORC, що забезпечує індивідуальний температурний комфорт.

3.Спроекували загальнобудинкову схему керування на базі програмованого логічного контролера Schneider Electric Zelio Logic SR2B201BD.

6 СИНТЕЗ ЗАГАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

6.1 Підготовка та подача води

Підсистема підготовки та подачі води є ключовим інфраструктурним елементом загальної системи розподіленого теплопостачання багатоквартирного будинку. Її головним завданням є безперебійне забезпечення необхідного гідравлічного напору для транспортування гарячої води до кожної квартири, гнучко реагуючи на їхні поточні потреби.

Оскільки локальні системи керування мікрокліматом, реалізовані на базі екосистеми Ajax, динамічно змінюють стан квартирних запірних клапанів, загальний гідравлічний опір магістралі постійно коливається. Робота головного циркуляційного насоса в класичному нерегульованому режимі за таких стохастичних умов є енергетично неефективною. Це неминуче призводить до перевитрат електроенергії, виникнення аеродинамічного шуму в трубах та прискореного зносу гідравлічного обладнання через перепади тиску.

Для вирішення цієї проблеми у проєкті розроблено та впроваджено алгоритм адаптивного керування продуктивністю насосе. В основі рішення лежить використання перетворювача частоти із вбудованим ПІ-регулятором, який працює в замкненому контурі зі зворотним зв'язком. Інформативним параметром для коригування роботи виступає фактичний тиск у нагнітальному колекторі, що безперервно фіксується промисловим перетворювачем тиску Wika A-10.

Для формалізації алгоритму роботи та виключення непередбачуваних перехідних процесів, логіку автоматизованого керування насосом синтезовано у вигляді графопереходів. Такий підхід дозволяє чітко детермінувати реакцію системи на будь-які зовнішні збурення - від штатного розгону при збільшенні теплового навантаження до миттєвого блокування у разі виникнення аварійної ситуації.

На рис. 3.1 наведено графоперехід керування насосом, який ілюструє повний робочий цикл магістральної підсистеми. Розгорнута характеристика кожного з дванадцяти функціональних станів системи подана нижче.

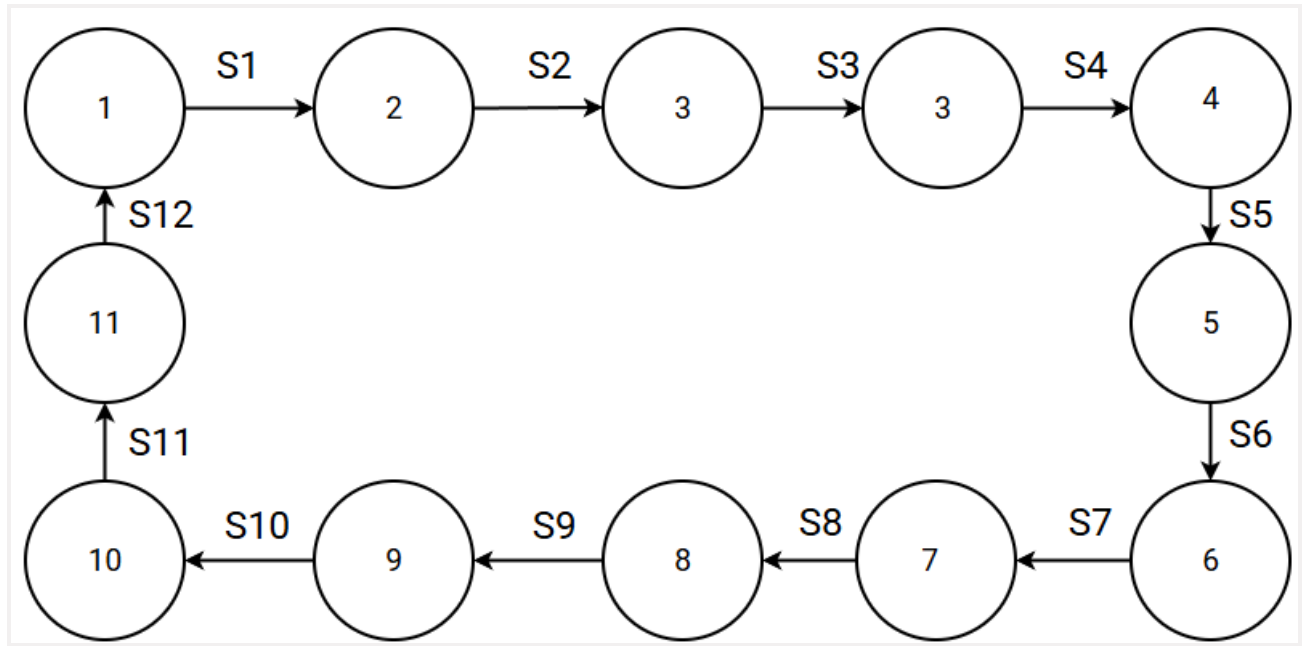


Рис.6.1 – Графоперехід керування насосом

1. Початковий стан. Головний рубильник на силовому щиті розімкнений. Живлення на перетворювачі частоти та у двигуні насоса відсутнє. Система перебуває у повністю безпечному стані. Гідравлічна система знаходиться під статичним тиском міської тепломережі або автономної котельні.

2. Ініціалізація. Після подачі напруги відбувається завантаження операційної системи промислового контролера та ініціалізація перетворювача частоти. Перетворювач частоти виконує самодіагностику, зчитує конфігураційні параметри з енергонезалежної пам'яті та встановлює комунікаційний зв'язок по промисловому протоколу Modbus RTU або Profinet). Одночасно опитуються аналогові входи для перевірки цілісності підключення датчиків.

3. Контроль входу. До початку обертання насоса система здійснює критично важливу перевірку умов пуску. Контролер аналізує показання датчиків

тиску на вхідному (всмоктувальному) колекторі. Якщо тиск нижче мінімально допустимого порогу або вода відсутня, запуск блокується. Це реалізує функцію захисту насоса від «сухого ходу» та кавітації, які можуть миттєво зруйнувати торцеве ущільнення та гідравлічну частину агрегату.

4. Очікування. Тиск води на вході в нормі, система готова до роботи, проте від локальних підсистем керування не надходить жодного запиту на обігрів. Усі квартирні клапани закриті. У цьому стані перетворювач частоти утримує двигун зупиненим, мінімізуючи споживання електроенергії. Контролер безперервно моніторить інформаційну шину в очікуванні керуючого впливу.

5. Активація ПЧ. Щойно хоча б один квартирний контролер фіксує падіння температури та починає відкривати свій клапан, система верхнього рівня реєструє потребу в воді.

6. Розгін насоса. Отримавши команду пуску, ПЧ починає генерувати напругу зі змінною частотою та амплітудою. Відбувається плавне нарощування частоти обертання робочого колеса відповідно до заданої рампи розгону. Такий алгоритм дозволяє уникнути високих пускових струмів в електромережі та руйнівних гідроударів у трубопроводах, плавно підвищуючи тиск у системі.

7. Вихід на режим. Насос досягає мінімальної робочої частоти обертання. У цей момент створюється напір, достатній для подолання висоти будівлі, підняття гарячої води до найвищого поверху та подолання базового гідравлічного опору стояків. Після фіксації стабільного потоку система активує замкнений контур регулювання.

8. Авторегулювання. Основний та найбільш тривалий робочий стан системи. Вмикається ПІ-регулятор вбудований у сам ПЧ. Алгоритм безперервно порівнює задане значення тиску Setpoint із фактичними даними, що надходять від промислового перетворювача тиску Wika A-10. На основі обчисленого ПІ-регулятора ПЧ динамічно коригує оберти насоса.

9. Пікова витрата. Стан виникає при одночасному або масовому відкритті квартирних клапанів, наприклад, у вечірній час або при різкому похолоданні. Гідравлічний опір мережі різко падає, що призводить до просідання тиску в

магістралі. ПІ-регулятор миттєво реагує на цю зміну, формуючи команду на інтенсивне збільшення частоти обертання двигуна насоса для компенсації втрат та відновлення заданого напору.

10. Спад витрати. У міру прогрівання приміщень локальні Ajax Hub починають закривати квартирні клапани. Це призводить до поступового або різкого збільшення загального гідравлічного опору та небезпечного зростання тиску в трубах. Датчик Wika фіксує перевищення заданого порогу, і автоматика дає команду на зниження обертів насоса. Це запобігає появі аеродинамічного шуму в термостатах і знижує енергоспоживання.

11. Плавна зупинка. Якщо потреба в теплі повністю зникає всі квартирні клапани закрито, ПІ-регулятор знижує частоту обертання до мінімально дозвolenої межі. Після закінчення встановленого часу затримки для уникнення хибних вимкнень, ПЧ ініціює гальмування. Оберти двигуна плавно знижуються до нуля, після чого система автоматично повертається у стан Standby.

12. Аварія (Блокування системи) Критичний стан, у який система може перейти з будь-якого іншого режиму окрім знеструмленого при виникненні нештатної ситуації. Тригерами для переходу є: китичне падіння тиску на вході (зникнення води), відсутність або обрив сигналу (4-20 мА / 0-10 В) від датчика тиску, перегрів обмоток статора двигуна (спрацювання РТС-термісторів).

Перевантаження по струму або коротке замикання в кабелі до насоса. У стані «Аварія» подача напруги на двигун негайно блокується. Система активує звукову/світлову сигналізацію і залишається в заблокованому стані до фізичного усунення причини несправності та ручного скидання помилки оператором.

Умови переходів між станами системи керування насосом.

Таблиця 6.1

Назва сигналу	Значення сигналу
S1	Подача напруги
S2	Перетворювач частоти готовий
S3	Тиск джерела в нормі
S4	данні тиску
S5	Команда RUN
S6	Досягнення мінімального напору напору
S7	увімкнення ПІ контролера
S8	Падіння тиску
S9	Зростання тиску
S10	Напір стабілізовано перетворювачем частоти
S11	Оберти зупинено
S12	Команда скидання - Reset

6.2 Опис станів локальної підсистеми керування на базі екосистеми

Аїах

Після підготовки та подачі води виникає необхідність ефективного розподілу безпосередньо у приміщеннях кінцевих споживачів. Потрібна розробка локальної підсистеми керування, головним завданням якої є підтримання індивідуального температурного комфорту в кожній кімнаті та мінімізація нецільових витрат теплової енергії.

Для реалізації апаратної частини квартирної автоматики у проєкті обрано сучасну бездротову екосистему від компанії Ajax Systems. Відмова від класичної дротової мікроконтролерної архітектури дозволяє значно підвищити загальну відмовостійкість системи, виключити необхідність прокладання

сигнальних кабелів у житлових приміщеннях та забезпечити захищений дистанційний контроль мікроклімату.

Алгоритм керування базується на циклічному порівнянні фактичної температури приміщення із заданою користувачем цільовою уставкою. Для запобігання автоколивальному режиму (частому безпідставному відкриттю та закриттю кранів при незначних температурних флуктуаціях) у логіку компаратора програмно інтегровано зону нечутливості.

Нижче наведено розгорнуту характеристику функціональних станів системи та умов переходів між ними, які визначають повний цикл роботи автоматизованого керування опаленням у квартирі.

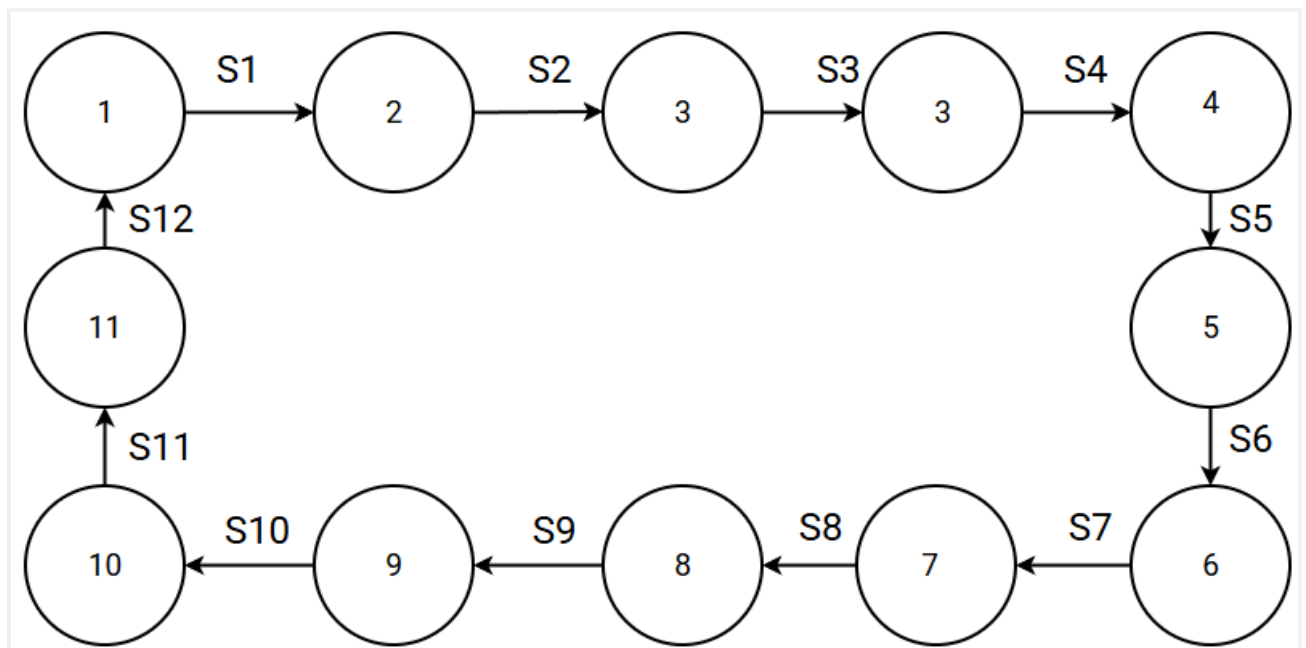


Рис.6.2 – Графоперехід керуванням Ajax Hub 2

1.Знеструмлено. Відсутня напруга 230 В у квартирній мережі.

2.Відновлення живлення та OS Malevich. Подача напруги 230 В. Реле WallSwitch завантажується та переходить у режим очікування з'єднання. Якщо це початковий запуск самої централі, відбувається завантаження операційної системи реального часу OS Malevich на Ajax Hub. Система зчитує з енергонезалежної пам'яті та хмарного бекапу Ajax Cloud конфігурацію пристроїв та задані користувачем температурні сценарії Т ціль.

3. Ініціалізація шин. Замість конфігурації дротових GPIO, Ajax Hub ініціалізує бездротову мережу. Централь сканує ефір, обирає найменш зашумлену радіочастоту (у діапазоні 868 МГц) та встановлює зашифрований двосторонній зв'язок за протоколом Jeweller з усіма прив'язаними пристроями: датчиками температури/якості повітря LifeQuality та силовими реле WallSwitch.

4. Опитування. Активна фаза моніторингу. Hub не чекає пасивно, а із заданою періодичністю від 12 до 36 секунд здійснює опитування (пінг) датчиків LifeQuality у кожній кімнаті. Датчики передають на централь поточні показники мікроклімату T поточна.

5. Фільтрація даних. Хаб приймає радіопакети та проводить їх криптографічну перевірку. Відбувається розшифрування даних, перевірка маркерів часу та цілісності пакету. Якщо ефір був зашумлений і пакет пошкодився, система відкидає його захист від підміни або хибних даних і очікує наступного штатного сеансу зв'язку.

6. Порівняння. Обчислювальне ядро OS Malevich аналізує верифіковані дані. Відбувається математичне порівняння отриманої T поточна із цільовою температурою T ціль, що закладена у сценаріях користувача. Програмно враховується дані датчика, щоб уникнути постійного спрацювання реле при коливаннях температури.

7. Формування команди. На основі результатів порівняння, хаб визначає, чи настала умова для запуску, або зупинки сценарію обігріву. Якщо поточна температура вийшла за межі комфортної зони T поточна $< T$ ціль, операційна система генерує зашифровану радіокоманду на зміну стану конкретного виконавчого пристрою.

8. Активація реле. Після прийняття контролером рішення про обігрів, силове реле замикає контакти. Напруга 220 В подається на клеми електроприводу крана. Вмикається мініатюрний синхронний електродвигун, який починає фізично обертати кулю всередині латунного корпусу крана.

9. Активний обігрів. Кран досягає повністю відкритого положення. У цей момент всередині сервоприводу спрацьовує кінцевий мікрореле, який

автоматично знімає напругу з обмоток двигуна, запобігаючи його перегріву, але кран фіксується у відкритому стані. Вода безперешкодно циркулює через радіатор. Керуюча система продовжує циклічне опитування датчиків у фоновому режимі, відстежуючи динаміку зростання температури в приміщенні.

10. Деактивація реле. Щойно датчик фіксує досягнення цільової температури поточна $> T_{\text{ціль}}$, хаб надсилає команду на розмикання силового реле. Подача напруги 220 В на електропривід крана повністю припиняється.

11. Очікування. Після зняття напруги спрацьовує поворотний механізм приводу. Редуктор обертає кулю у зворотному напрямку, герметично перекриваючи потік води. Кран не споживає електроенергії. Система переходить у режим очікування: мікроклімат підтримується природним охолодженням приміщення, а алгоритм зациклюється на етапі моніторингу температури.

12. Втрата зв'язку. Режим Fail-safe. Якщо Ajax Hub фіксує відсутність відповіді від датчика LifeQuality або реле WallSwitch протягом кількох періодів опитування через розряд батареї, глушіння сигналу або фізичне пошкодження, активується протокол безпеки. Система надсилає push-сповіщення адміністратору про втрату зв'язку. Якщо зв'язок втрачено з централлю, WallSwitch може бути налаштований на автоматичне розмикання ланцюга живлення, перериваючи обігрів для запобігання неконтрольованому підвищенню температури в зоні аварії.

Умови переходів між станами системи керування Ajax Hub

Таблиця 6.2

Назва сигналу	Значення сигналу
S1	Відновлення живлення
S2	Ініціалізація радіомереж
S3	Мережа побудована
S4	Отримано радіопакет
S5	Пакет верифіковано
S6	тригер недогріву
S7	Радіокоманда на відкриття
S8	досягнення температури
S9	Радіокоманда на закриття
S10	Фізичне розмикання силового кола 220 В. Кран автоматично закривається під дією механічної поворотної пружини.
S11	Моніторинг температури
S12	Команда скидання - Reset

Висновки до шостого розділу:

1. В розділі здійснили синтез алгоритмів керування магістральним та локальним рівнями загальної системи тепlopостачання.
2. Сформовано математичні моделі у вигляді графопереходів, які чітко детермінують усі робочі, перехідні та аварійні стани циркуляційного насоса і квартирної автоматики.
3. Визначили, що інтеграція бездротової екосистеми Ajax та впровадження температурного гістерезису в логіку керування дозволяє усунути автоколивання системи та значно підвищує її загальну відмовостійкість.

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті вирішено актуальне науково-технічне завдання щодо підвищення енергоефективності, надійності та якості функціонування систем розподіленого теплопостачання багатоквартирних будинків шляхом розробки автоматизованої системи керування електроприводом магістрального відцентрового насоса. На основі аналізу технологічного процесу подачі теплоносія здійснено розрахунок параметрів робочої точки та обґрунтовано вибір обладнання. Для забезпечення необхідного напору 45 м та номінальної витрати 43,5 м³/год було обрано насосний агрегат Wilo-Atmos GIGA-N із робочим колесом 168 мм та двополюсним асинхронним електродвигуном потужністю 7,5 кВт.

Для ефективного керування синтезовано систему автоматизації індивідуального теплового пункту. На магістральному рівні управління реалізовано на базі програмованого логічного контролера Schneider Electric Zelio Logic та перетворювача частоти Danfoss VLT AQUA Drive, який забезпечує скалярне керування двигуном. На локальному рівні передбачено інтеграцію з інтелектуальною екосистемою мікроклімату Ajax для децентралізованого розподілу теплової енергії. Стабілізацію фактичного значення напору реалізовано через замкнений контур із ПІ-регулятором та датчиком тиску.

Для перевірки прийнятих під час проєктування рішень у середовищі MATLAB було створено імітаційну модель електромеханічної системи та виконано всебічне дослідження її статичної й динамічної поведінки. Аналіз отриманих перехідних процесів напору, витрати, кутової швидкості та струмів статора засвідчив, що використання перетворювача частоти гарантує плавний розгін з жорстким обмеженням пускових струмів. Замкнена система демонструє високу стійкість до збурювальних впливів при накиданні та скиданні гідравлічного навантаження, відпрацьовуючи завдання без перерегулювання та з мінімальною, цілком допустимою коливальністю. Загалом, результати досліджень доводять, що впровадження запропонованої системи дозволяє

відмовитися від неефективного дросельного регулювання, усунути ризик гідравлічних ударів, знизити динамічні навантаження на трубопроводи та суттєво зменшити витрати електроенергії завдяки адаптивній зміні продуктивності насоса відповідно до реальних потреб будівлі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Загальний курс електропривода. – М.: Енергоиздат, 1981. – 576 с.
2. Лезнов Б.С. Економія електроенергії в насосних установках. – М.: Енергоатомиздат, 1991. – 144 с.
3. Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции. Учебник для вузов. М.: Строй издат, 1976. – 304 с.
4. C. S. Kallesoe, V. Cocquempot and R. Izadi-Zamanabadi, "Model based fault detection in a centrifugal pump application", IEEE transactions on control systems technology, vol. 14, no. 2, pp. 204-215, 2006.
5. Попович М.Г., Кіселичник О.І., «Задачі автоматизації установок водопостачання на основі електромеханічних систем керування» // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. №3/2008 (50). Ч.2. С.8-12.
6. Місюренко В.О. Частотно-керований електропривод насосної станції водовідведення / Електромашинобудування та електрообладнання. «Проблеми автоматизованого електропривода», Випуск 66, Київ, «Техніка», 2006. –с.184-185.
7. C.V. Nayar, E. Vasu and S.J. Phillips, "Optimised Solar Water Pumping System Based on an Induction Motor Driven Centrifugal Pump", IEEE TENCON'93/Beijing. Proceedings. Computer Communication Control and Power Engineering, vol. 5, pp. 388-393, 1993.
8. Лезнов Б.С., В.Б.Чебанов. Застосування регульованого електроприводу в насосних установках систем водопостачання та водовідведення / «Електротехніка», №7, 1995. – с.9-12.
9. Перекрест А.Л., Коренькова Т.В. Структура системы регулирования параметров насосной установки с активным регулировочным устройством / Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода» / Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2007. – с.267-272.

10. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
11. О.М. Zakladniy, Т.М. Timchenko, V. Yu. Peredriy and V.V. Grom, "Energy saving aspects of the use of frequency-regulated electric drive", Vestnik of the Kremenchug State Polytechnic University: Scientific Papers of the KPUU, vol. 2, no. 19, pp. 136-139, 2003.
12. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водопостачання. Проектування систем та споруд. – М.: Видавництво АСВ, 2003. – 288с.

Рисунок 1 – Схема електрична принципова

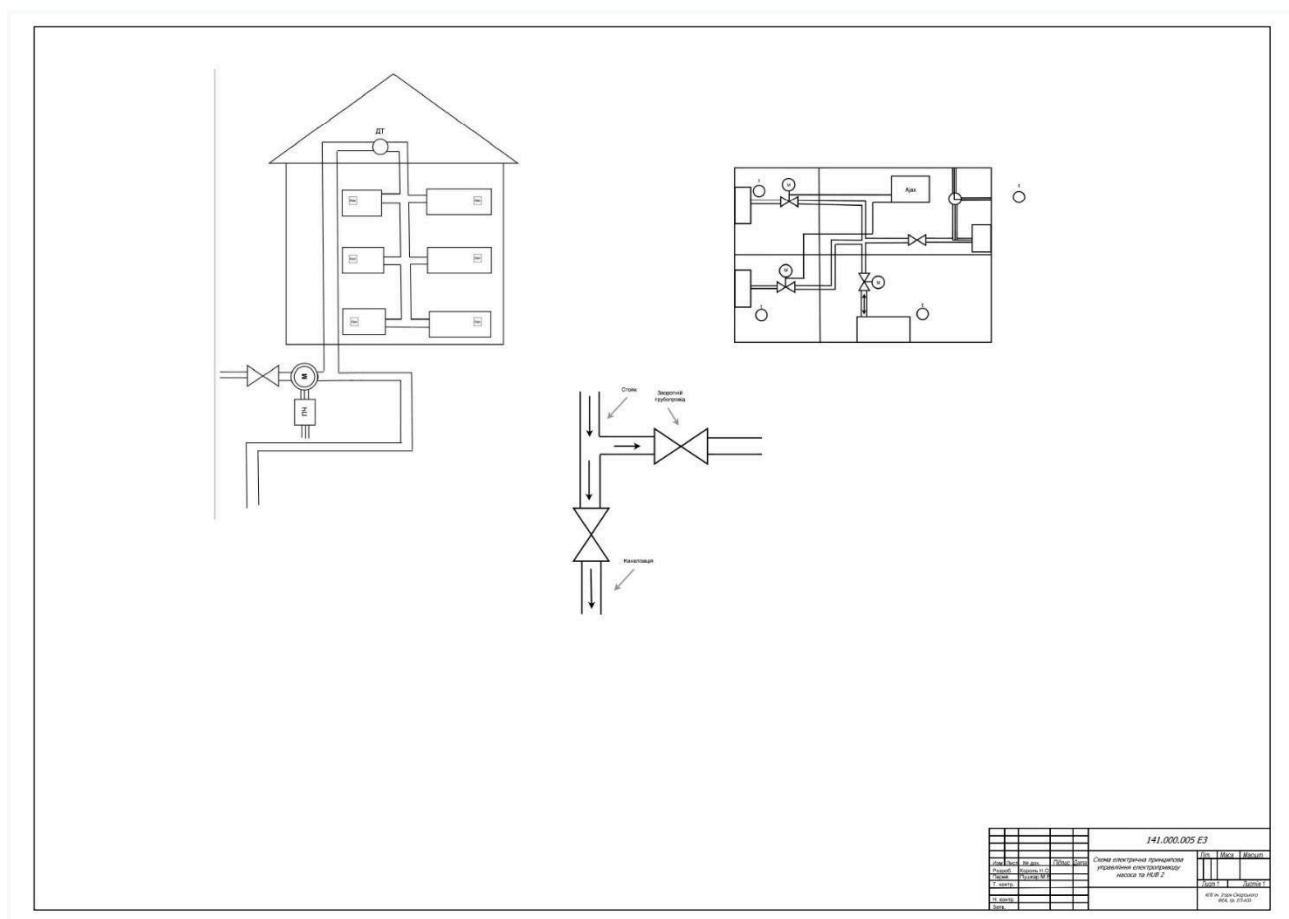


Рисунок 2 – Загальна схема будинку

ДОДАТОК Б

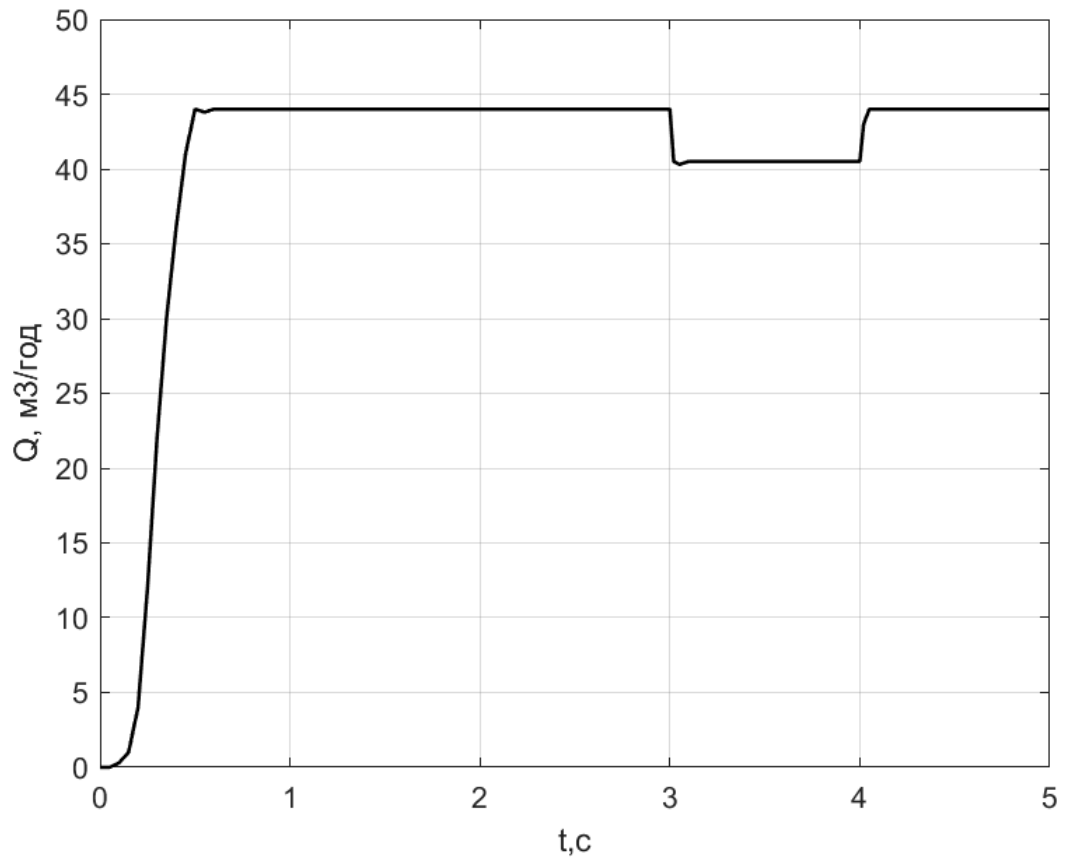


Рисунок 3 – Перехідний процес продуктивності насосної установки

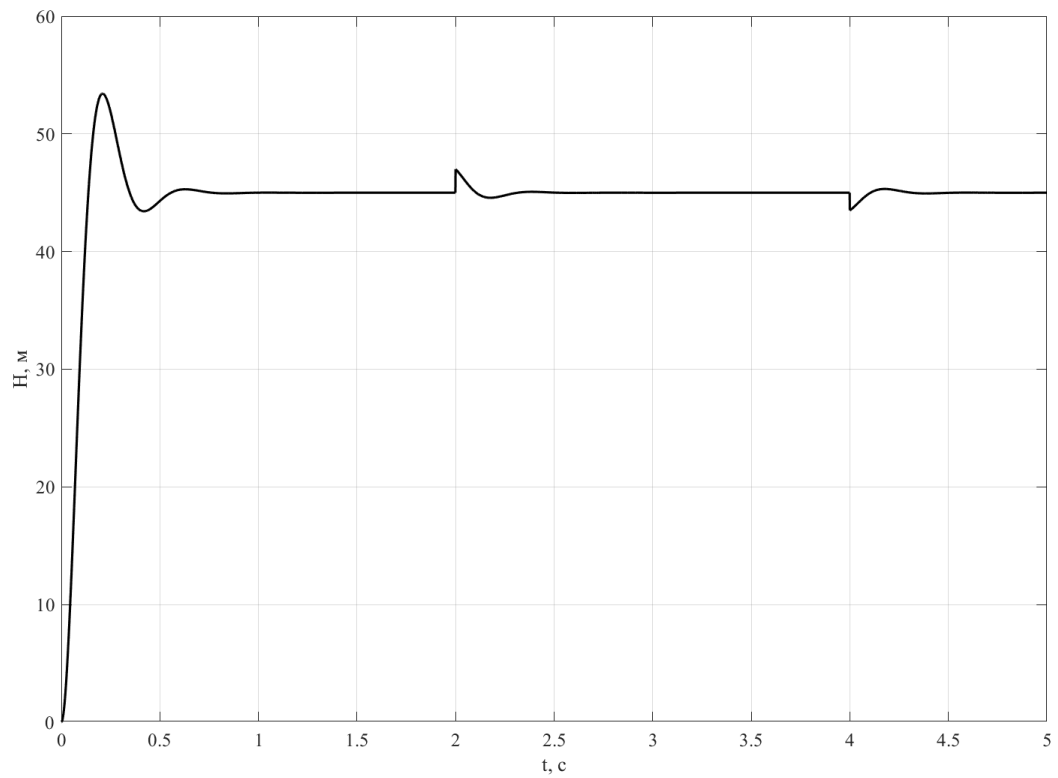


Рис.4 - Перехідний процес напору насосної установки

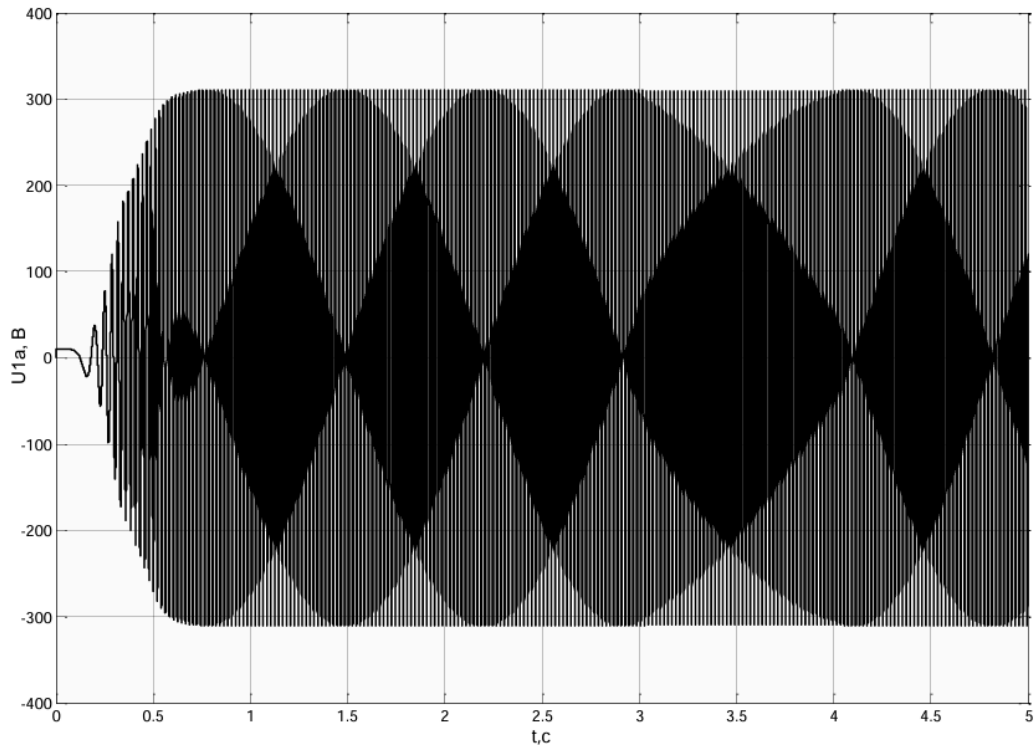


Рисунок 5 – Перехідний процес напруги U_{1a} двигуна в координатах статора $a-b$

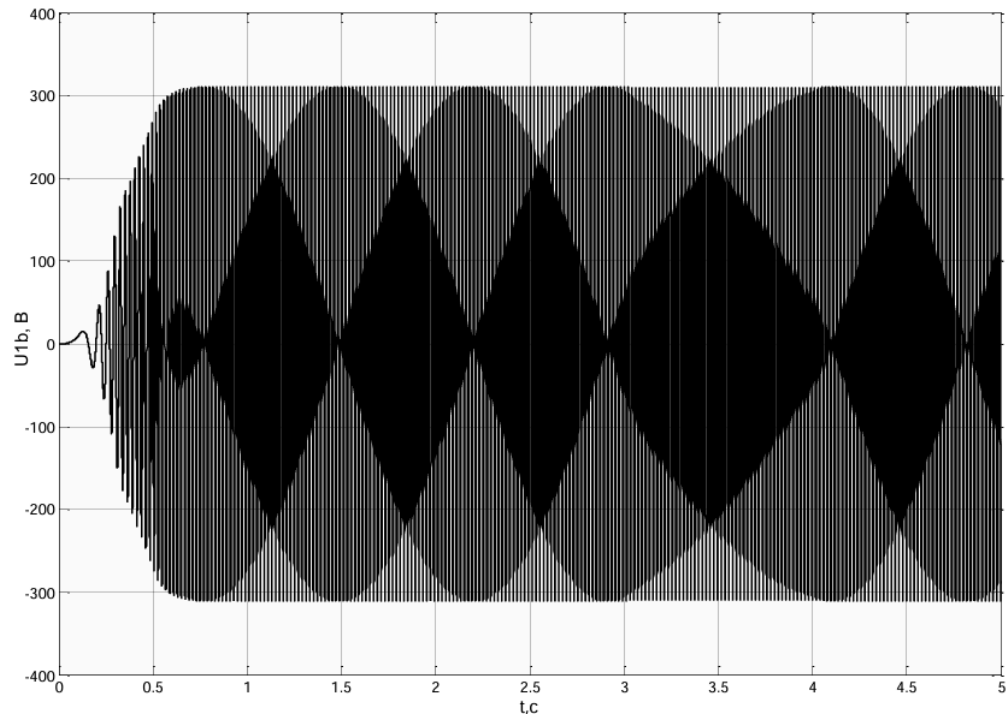


Рисунок 6 – Перехідний процес напруги U_{1b} двигуна в координатах статора $a-b$

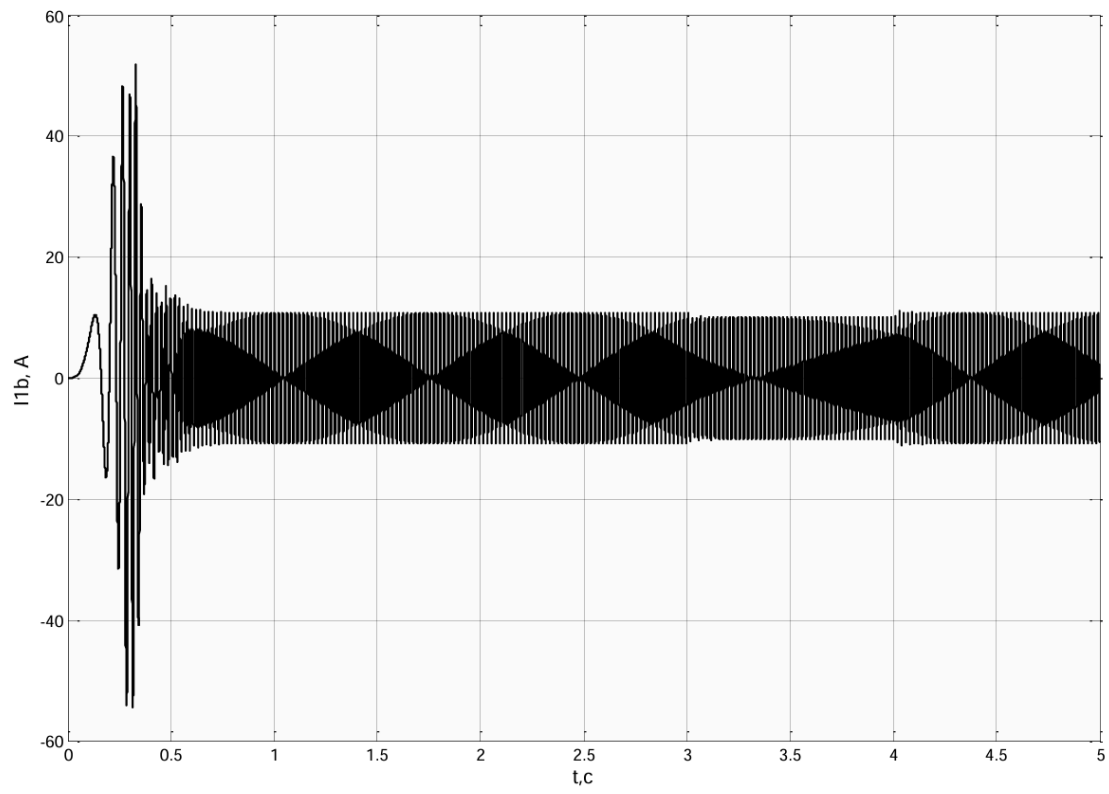


Рисунок7 – Перехідний процес струму I_{1a} двигуна в координатах статора
 $a-b$

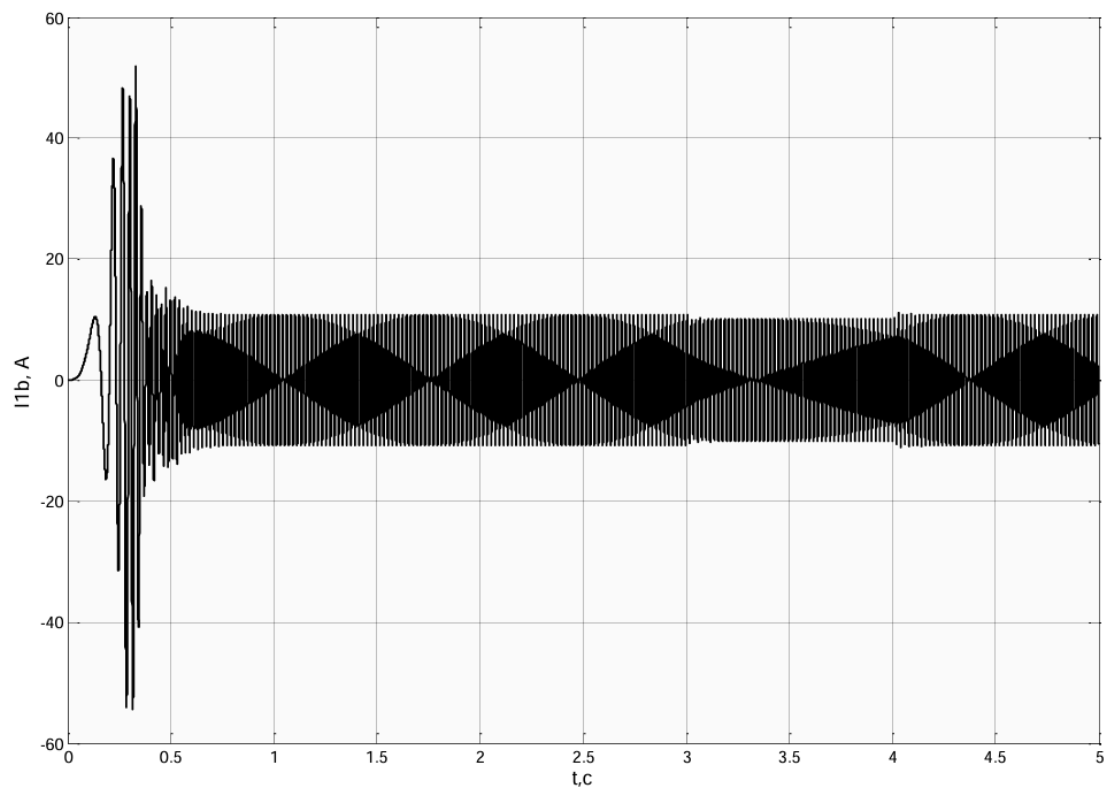


Рисунок 8 – Перехідний процес струму I_{1b} двигуна в координатах статора
 $a - b$

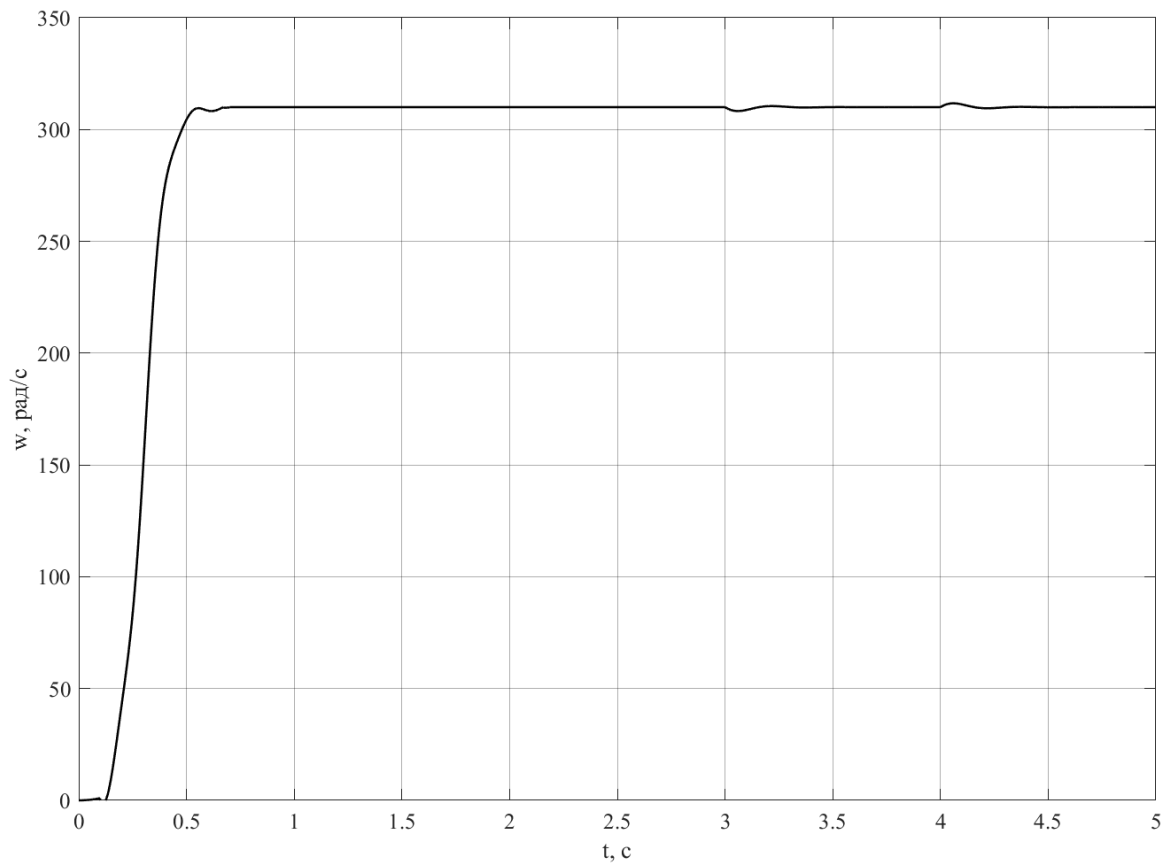


Рисунок 9 – Перехідний процес швидкості на валу двигуна