

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет автоматизації і інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації технологічних процесів  
(назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

на тему: Автоматизація регулювання температури гарячої води в системі водопостачання

Дрига Валентин Ігорович  
(прізвище, ім'я та по батькові студента повністю)

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет автоматизації і інформаційних технологій**  
Кафедра автоматизації технологічних процесів  
(назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Запривода А.В.

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему: Автоматизація регулювання температури гарячої води в системі водопостачання  
(назва)

Виконав студент групи АКІТ-23М

174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані  
технології та робототехніка»

(спеціальність)

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології  
та робототехніка

(спеціалізація)

Дрига Валентин Ігорович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Керівники

Іносов С.В.

(прізвище та ініціали)

Доцент, к.т.н.

(вчене звання, науковий ступінь)

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра: Автоматизації технологічних процесів

Освітній рівень: магістр за ОПП

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Спеціалізація: Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о декана факультету

Терентьев О.О.

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я  
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Дрига Валентин Ігорович

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. Тема роботи: Автоматизація регулювання температури гарячої води в системі водопостачання затверджена наказом ректора КНУБА № 923/2 від «24» червня 2024 року

2. Керівник роботи

Іносов Сергій Вікторович

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 01.11.2024 р.

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р.1. Технічні умови та завдання на проектування

Р.2. Огляд основних напрямлень технічних рішень

Р.3. Розробка структурної та функціональної схеми

Р.4. Розробка принципової електричної схеми

Р.5. Конструкторська частина

Р.6. Економічна частина

5. Календарний план виконання роботи: а) наукова частина;  
б) практична частина.

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1. Системи теплопостачання будівель	25.10.2024
Розділ 2. Огляд існуючих рішень автоматизації в систем водопостачання	29.10.2024
Розділ 3. Технологічні рішення для автоматизації систем водопостачання	05.11.2024
Розділ 4. Математичне моделювання контуру регулювання температури в системі гарячого водопостачання	05.11.2024
Розділ 5. Моделювання динаміки регулювання	07.11.2024
Розділ 6. Економічна частина	07.11.2024
Остаточне оформлення роботи	08.11.2024

Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	08.11.2024
Попередній захист роботи на кафедрі	08.11.2024

6. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1.	Системи теплопостачання будівель	Іносов С.В.	
Розділ 2.	Огляд існуючих рішень автоматизації в систем водопостачання	Іносов С.В.	
Розділ 3.	Технологічні рішення для автоматизації систем водопостачання	Іносов С.В.	
Розділ 4.	Технологічні рішення для автоматизації систем водопостачання	Іносов С.В.	
Розділ 5	Моделювання динаміки регулювання	Іносов С.В.	
Розділ 6.	Економічна частина	Шевчук К.І.	

7. Дата видачі завдання 01.09.2024 р.

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Київський національний університет будівництва і архітектури /  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## РЕЗЮМЕ / RESUME

Дрига Валентин Ігорович / Dryha Valentyn.  
факультет автоматизації і інформаційних технологій /  
faculty of automation and information technologies,  
група АКІТ-23м / group of АСІТ-23m.

Тема атестаційної випускної роботи: / Theme of attestation final work:

«Автоматизація регулювання температури гарячої води в системі водопостачання» /  
« Automation of hot water temperature regulation in the water supply system ».

Освітній рівень: «магістр» / Educational level: master's degree.

Спеціальність: 174. «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» /  
Specialty: 174.« Automation, computer-integrated technologies and robotics»,

Спеціалізація: «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» /  
Specialization: Automation, computer-integrated technologies and robotics»,

Науковий керівник: Іносов Сергій Вікторович, к.т.н., доцент  
Scientific leader: Inosov Serhii V., candidate of engineering sciences,

**Обсяг роботи.** Атестаційна випускна робота магістра складається: розділів – 6, стор. – 95, табл. – 3, рис. – 28, слайдів – 21. Включає завдання, вступ, висновки, список використаних джерел.

**Актуальність теми.** Автоматизація регулювання температури гарячої води в системах водопостачання є важливою через підвищення енергоефективності, що дозволяє зменшити споживання ресурсів і витрати на енергію. Вона забезпечує стабільність температури, підвищуючи комфорт і безпеку для користувачів та знижуючи ризик утворення шкідливих мікроорганізмів. Крім того, автоматизовані системи сприяють зменшенню екологічного навантаження та інтегруються в сучасні технології розумного будинку.

**У вступі** основний акцент робиться на важливості забезпечення якісного, стабільного та енергоефективного управління температурою гарячої води для покращення комфорту населення,

підвищення ефективності та зниження витрат.

*Перший розділ* присвячений аналізу методів і технологій, що забезпечують ефективне обігрівання приміщень, оптимізацію використання енергії та комфортні умови для мешканців.

*У другому розділі* розглядаються сучасні технології та підходи до автоматизації, спрямовані на оптимізацію роботи, підвищення ефективності та стабільності подачі води.

*Третій розділ* описує інноваційні методи та інструменти, що забезпечують ефективне управління, моніторинг і регулювання процесів водопостачання для підвищення якості та надійності послуг. А також, розробка функціональної та електричної схеми системи управління контролерами.

*У четвертому розділі* присвячений створенню математичного опису процесу контролю та управління температурним режимом з метою підвищення ефективності й стабільності системи.

*П'ятий розділ* зосереджений на аналізі й відтворенні поведінки системи регулювання температури гарячої води для оцінки її ефективності та стабільності в різних умовах.

*У шостому розділі* подано економічний аналіз, зокрема розрахунок вартості капітальних вкладень та оцінка економічної ефективності модернізації.

*У висновках* підтверджено підвищення енергоефективності, зниження витрат та покращення якості послуг водопостачання шляхом використання сучасних методів контролю температури. Впровадження систем автоматизації забезпечило стабільний контроль температури гарячої води, що сприяло зменшенню теплових втрат, зниженню енергоспоживання та оптимізації експлуатаційних витрат.

**Ключові слова:** автоматизація, гаряче водопостачання контролер, система регулювання, ефективність, регулятор температури.

**Keywords:** automation, hot water supply controller, control system, efficiency, temperature controller.

## Зміст

ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1 .....	13
1.1 Системи централізованого теплопостачання .....	13
1.2 Децентралізована система теплопостачання .....	19
1.3 Енергозбереження у системах централізованого теплопостачання на новому етапі розвитку .....	21
2 розділ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.1 Основні функції систем автоматизації в водопостачанні .....	25
2.2 Аналіз сучасних автоматизованих систем регулювання температури .....	27
2.3 Порівняльна характеристика існуючих рішень .....	28
2.4 Основні принципи регулювання температури .....	30
Розділ 3 .....	34
Технологічні рішення для автоматизації систем водопостачання .....	34
3.1 DPTL-1-V — датчик перепаду тиску рідини .....	34
3.2 Циркуляційний насос для води Calpeda NR 50/250A/B з сухим ротором .....	36
3.3 Датчик температури NTC 10K .....	40
3.4 Регулятор температури РТ-ДО .....	42
3.5 Частотний перетворювач ESV153N04ТХВ 15кВт .....	47
3.5 Контролер КТР-121 .....	49
3.6 Розробка функціональної та електричної схеми .....	52
3.7 Підключення та налаштування перетворювача частоти і контролера .....	59
Розділ 4 .....	65
4.1 Фізичні властивості води та їх вплив на процеси регулювання .....	65
4.2 Отримання математичної моделі контуру регулювання температури в системі гарячого водопостачання .....	67
Розділ 5 .....	71
5.1 Vissim – Програмний засіб для моделювання задач теорії автоматичного керування .....	71
5.2 Моделювання динаміки регулювання .....	73
Розділ 6 .....	80

6.1.	Розрахунок собівартості монтажних-налагоджувальних робіт .....	83
6.2.	Кошторис додаткових капітальних вкладень .....	89
6.3.	Економічна ефективність використання ресурсного потенціалу	90
6.4.	Техніко-економічні показники .....	93
Висновки .....		94
Список використаної літератури .....		95
Додаток 1.....		97

## ВСТУП

Система водопостачання є однією з ключових складових інфраструктури будь-якого населеного пункту, забезпечуючи населення та промисловість необхідними ресурсами для комфортного життя та ефективної діяльності. Гаряча вода, як важливий елемент цієї системи, використовується не лише для побутових потреб, але й у промислових процесах, медичних установах та інших сферах. Відповідно, регулювання температури гарячої води є критично важливим для забезпечення її якості, безпеки та енергоефективності.

Сучасні вимоги до систем водопостачання вимагають впровадження новітніх технологій автоматизації, які дозволяють оптимізувати процеси управління, зменшити витрати енергії та підвищити комфорт для споживачів. Автоматизація регулювання температури гарячої води в системах водопостачання дозволяє забезпечити стабільність температурного режиму, що, в свою чергу, сприяє зменшенню ризиків, пов'язаних із перегрівом або недостатнім нагрівом води.

У даній дипломній роботі буде розглянуто існуючі системи регулювання температури гарячої води, їх переваги та недоліки, а також запропоновано нові підходи до автоматизації цього процесу. Основна мета роботи полягає в розробці ефективної автоматизованої системи, яка забезпечить оптимальне регулювання температури гарячої води в системі водопостачання, враховуючи різноманітні зовнішні фактори, такі як зміни температури навколишнього середовища, коливання споживання води та інші.

Важливість даної теми обумовлена не лише потребою в підвищенні ефективності систем водопостачання, але й необхідністю зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, що є актуальним у контексті глобальних змін клімату та зростаючих вимог до сталого

розвитку. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення існуючих систем водопостачання, а також для розробки нових рішень у сфері автоматизації, що відповідають сучасним вимогам та стандартам.

Крім того, автоматизація регулювання температури гарячої води може суттєво знизити експлуатаційні витрати, зменшити ризики аварійних ситуацій, пов'язаних із перепадами температури, а також підвищити загальний рівень комфорту для споживачів. В умовах зростаючого попиту на енергію та ресурсозбереження, впровадження інноваційних технологій у цю сферу стає не лише бажаним, але й необхідним.

У рамках цієї роботи буде проведено аналіз сучасних технологій автоматизації, вивчено їх вплив на ефективність системи водопостачання, а також розроблено рекомендації щодо впровадження нових рішень. Сподіваємося, що результати дослідження сприятим розвитку інтелектуальних систем управління, які забезпечать не лише економічну вигоду, але й підвищать якість життя населення.

## Розділ 1

# Системи теплопостачання будівель

### 1.1 Системи централізованого теплопостачання

Системи централізованого теплопостачання (СЦТ) — це комплекси інженерних рішень, які забезпечують теплову енергію для обігріву будівель і постачання гарячої води. Такі системи використовуються для обслуговування житлових будинків, комерційних та промислових об'єктів у багатьох містах світу, особливо в регіонах з холодним кліматом. Ефективність централізованого теплопостачання дозволяє знизити витрати енергії, зменшити вплив на навколишнє середовище та забезпечити стабільне теплопостачання на великих територіях.

Сучасний розвиток технологій, а також глобальні тенденції до енергозбереження і підвищення екологічної ефективності систем теплопостачання стимулюють модернізацію існуючих СЦТ. Інтеграція відновлюваних джерел енергії, впровадження інноваційних технологій і використання інтелектуальних систем стають ключовими аспектами розвитку цих систем.

### Основні компоненти систем централізованого теплопостачання

Системи централізованого теплопостачання є складними комплексами, які складаються з декількох ключових компонентів. Кожен з них виконує свою важливу функцію в забезпеченні ефективного транспортування та використання теплової енергії.

Централізовані системи теплопостачання зазвичай працюють на основі великих теплогенераційних установок, таких як:

- **Котельні.** Традиційні джерела тепла, які використовують природний газ, вугілля, мазут або біомасу для вироблення теплової енергії. Вони є основними джерелами тепла для багатьох систем централізованого теплопостачання.



Рис.1 Приклад роботи централізованого теплопостачання

- Теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Це комбіновані установки, які виробляють як тепло, так і електроенергію, що підвищує ефективність використання палива. Вони дозволяють знижувати викиди парникових газів і покращувати енергетичну ефективність.
- Відновлювані джерела енергії. Сучасні СЦТ все частіше інтегрують біомасу, сонячну енергію або геотермальні системи, що дозволяє значно скоротити використання викопних видів палива і зменшити викиди CO<sub>2</sub>.

## Тепломережі

Тепломережі — це система трубопроводів, які транспортують теплоносії (зазвичай воду або пару) від джерела тепла до споживачів. Трубопроводи бувають двох основних видів:

- Магістральні трубопроводи. Вони забезпечують транспортування теплоносія на великі відстані від джерела тепла до споживчих зон (житлові квартали, промислові зони).
- Розподільчі трубопроводи. Ці мережі розподіляють теплоносії серед окремих будівель і об'єктів.

Ефективність тепломереж залежить від якості ізоляції трубопроводів, правильного проектування та підтримки тиску теплоносія на необхідному рівні.

## Теплові пункти

Теплопункти є важливими елементами системи водопостачання, які забезпечують ефективне регулювання температури гарячої води. Вони виконують функцію перетворення енергії, що надходить від джерел тепла, у теплову енергію, яка потім передається до споживачів.[1] Теплопункти можуть бути як автономними, так і частиною централізованих систем теплопостачання, що дозволяє забезпечити гарячу воду для побутових і промислових потреб.

Основною метою теплопунктів є підтримка стабільної температури гарячої води, що є критично важливим для забезпечення комфорту споживачів. Вони оснащуються різноманітними системами контролю та автоматизації, які дозволяють регулювати температуру води в залежності від зовнішніх умов, таких як температура навколишнього середовища, обсяги споживання та інші фактори. Це досягається за допомогою використання сучасних технологій, таких як датчики температури, контролери, електронні

клапани та інші автоматизовані елементи.

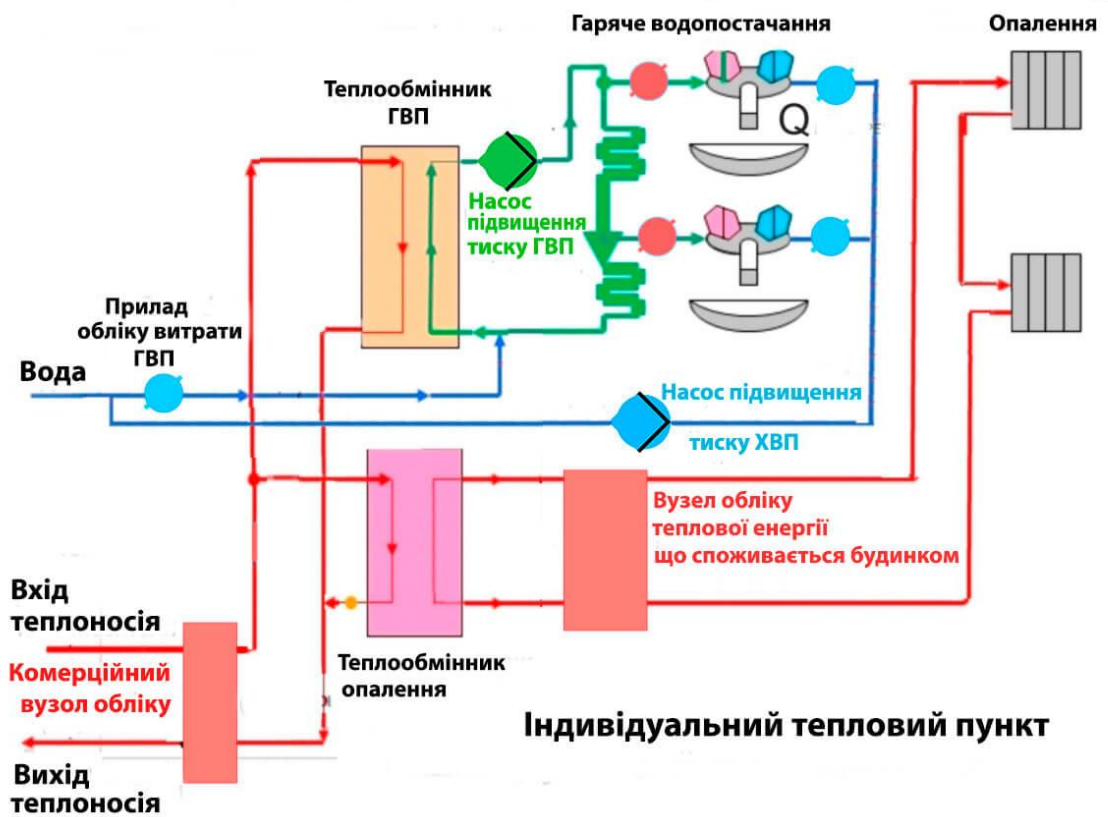


Рис. 2 Принцип роботи індивідуального теплового пункту

У теплових пунктах зазвичай реалізуються різні схеми регулювання, які можуть включати як прості механічні системи, так і складні автоматизовані рішення. Наприклад, у простих системах регулювання температура води може контролюватися за допомогою термостатів, які вмикають або вимикають нагрівальні елементи в залежності від заданих параметрів. У більш складних системах використовуються програмовані логічні контролери (ПЛК), які забезпечують інтеграцію з іншими елементами системи водопостачання, що дозволяє здійснювати більш точне та ефективне регулювання.

Автоматизація теплових пунктів має ряд переваг. По-перше, вона дозволяє знизити витрати на енергію, оскільки система може адаптуватися до змін у споживанні та зовнішніх умовах. По-друге, автоматизовані системи забезпечують більш високий рівень безпеки, оскільки можуть виявляти

аномалії в роботі обладнання та своєчасно реагувати на них. Це зменшує ризики аварійних ситуацій, пов'язаних із перегрівом або недостатнім нагрівом води.

Крім того, автоматизація теплових пунктів сприяє покращенню якості обслуговування споживачів. Завдяки можливості моніторингу в реальному часі, оператори можуть оперативно реагувати на запити та проблеми, що виникають у системі. Це підвищує загальний рівень задоволеності споживачів та сприяє формуванню позитивного іміджу постачальників послуг.

У контексті сталого розвитку та зростаючих вимог до енергоефективності, впровадження нових технологій у теплові пункти стає особливо актуальним. Системи, що базуються на відновлювальних джерелах енергії, такі як сонячні колектори або теплові насоси, можуть суттєво знизити залежність від традиційних джерел енергії та зменшити викиди парникових газів.

Таким чином, теплові пункти відіграють ключову роль у системах водопостачання, забезпечуючи ефективне регулювання температури гарячої води. Автоматизація цих процесів не лише підвищує ефективність роботи системи, але й сприяє зменшенню витрат, покращенню якості обслуговування та забезпеченню безпеки. У подальшому розвитку технологій автоматизації в теплових пунктах можна очікувати ще більших досягнень у сфері енергоефективності та екологічної безпеки.

## **Переваги централізованого теплопостачання**

Системи централізованого теплопостачання (СЦТ) надають значні переваги порівняно з індивідуальними системами опалення. Вони використовуються в багатьох містах і регіонах світу, зокрема в країнах з холодним кліматом, де забезпечення надійного та економічно ефективного теплопостачання є критично важливим для комфортного життя.[2] Нижче

розглянемо основні переваги централізованого теплопостачання.

### 1. Висока енергоефективність

Одна з головних переваг централізованого теплопостачання полягає в його високій енергоефективності. Великі централізовані установки, такі як теплоелектроцентралі (ТЕЦ) або котельні, працюють на принципі когенерації — одночасного виробництва теплової енергії та електроенергії. Це дозволяє досягти вищого коефіцієнта корисної дії (ККД) у порівнянні з індивідуальними системами, які використовують енергію для опалення або гарячого водопостачання на рівні окремих будинків.

### 2. Зниження теплових втрат

Важливим аспектом централізованого теплопостачання є зниження теплових втрат під час передачі тепла. У сучасних системах використовуються високоякісні ізоляційні матеріали для трубопроводів, що дозволяє мінімізувати втрати теплової енергії під час її транспортування від джерела до споживача. У порівнянні з індивідуальними системами опалення, де теплові втрати можуть бути значними через низьку якість ізоляції або зношеність обладнання, СЦТ забезпечують більш стабільне та ефективне збереження тепла.

### 3. Зменшення витрат на обслуговування та ремонт

Централізовані системи теплопостачання характеризуються значною економією на експлуатаційних витратах. Оскільки велика частина обладнання знаходиться у централізованих котельнях або теплоелектроцентралях, обслуговування та ремонт відбуваються у централізованому порядку. Це дозволяє зменшити кількість точок можливого виникнення несправностей та спростити процес технічного обслуговування. Замість того, щоб обслуговувати кожен індивідуальну систему опалення, у СЦТ вся система керується з одного або кількох центрів, що значно знижує витрати на ремонт і обслуговування.

### 4. Економічна вигода для споживачів

Централізоване теплопостачання дозволяє знижувати витрати на обігрів та гаряче водопостачання для кінцевих споживачів.

#### 5. Зменшення негативного впливу на довкілля

Системи централізованого теплопостачання, зокрема ті, що працюють на принципі когенерації або використовують відновлювані джерела енергії (біомасу, сонячну енергію, геотермальні ресурси), допомагають значно зменшити викиди парникових газів і шкідливих речовин у атмосферу.

#### 6. Можливість інтеграції з відновлюваними джерелами енергії

Сучасні СЦТ все більше інтегрують відновлювані джерела енергії, такі як біомаса, геотермальна енергія або сонячні колектори. Це дозволяє знизити залежність від традиційних викопних видів палива і сприяє переходу до більш екологічно чистих систем теплопостачання.

#### Підвищення комфорту для споживачів

СЦТ забезпечують стабільний рівень теплопостачання та гарячого водопостачання протягом року.

## **1.2 Децентралізована система теплопостачання**

Децентралізована система теплопостачання - це система, яка забезпечує теплопостачання будівлі без централізованого джерела тепла. Це означає, що кожна будівля або група будівель має власну систему виробництва тепла, що дозволяє економити енергію та зменшити залежність від централізованих систем теплопостачання.

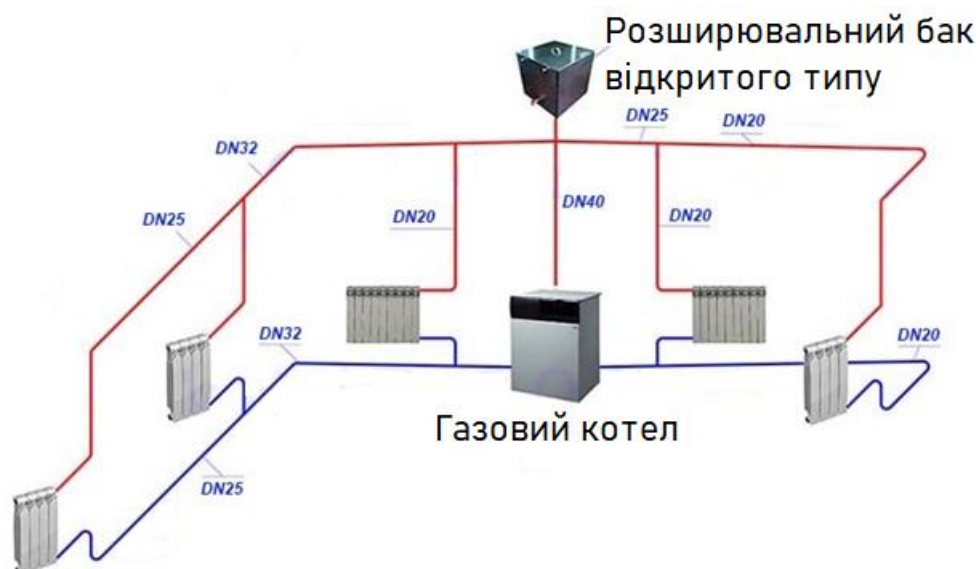


Рис. 3 Принцип роботи децентралізованого теплопостачання

Однією з головних переваг децентралізованих систем теплопостачання є економія енергії.[3] Ці системи дозволяють використовувати місцеві джерела енергії, такі як сонячна енергія, геотермальна енергія або біомаса, що зменшує споживання енергії з централізованих джерел. Крім того, децентралізовані системи теплопостачання можуть бути більш економічними, ніж традиційні системи, оскільки вони не потребують будівництва та утримання централізованих систем теплопостачання.

Іншою важливою перевагою децентралізованих систем теплопостачання є збільшення енергетичної незалежності будівель. Ці системи дозволяють будівлям бути більш енергетично незалежними, що зменшує залежність від централізованих систем теплопостачання. Крім того, децентралізовані системи теплопостачання можуть бути більш екологічними, ніж традиційні системи, оскільки вони використовують місцеві джерела енергії і не вимагають транспортування енергії на великі відстані.

## **Переваги децентралізованих систем теплопостачання**

Економія енергії: децентралізовані системи теплопостачання дозволяють використовувати місцеві джерела енергії, такі як сонячна енергія, геотермальна енергія або біомаса, що зменшує споживання енергії з централізованих джерел.

Зниження витрат: децентралізовані системи теплопостачання можуть бути більш економічними, ніж традиційні системи, оскільки вони не потребують будівництва та утримання централізованих систем теплопостачання.

Збільшення енергетичної незалежності: децентралізовані системи теплопостачання дозволяють будівлям бути більш енергетично незалежними, що зменшує залежність від централізованих систем теплопостачання.

Зменшення впливу на довкілля: децентралізовані системи теплопостачання можуть бути більш екологічними, ніж традиційні системи, оскільки вони використовують місцеві джерела енергії і не вимагають транспортування енергії на великі відстані.

### **1.3 Енергозбереження у системах централізованого теплопостачання на новому етапі розвитку**

Енергозбереження у централізованих системах теплопостачання є одним із ключових аспектів модернізації теплових мереж на сучасному етапі їх розвитку. Інтеграція сучасних технологій автоматизації, зокрема регулювання температури гарячої води, суттєво підвищує енергоефективність систем, знижує витрати на енергоресурси та покращує якість послуг теплопостачання.

Централізоване теплопостачання забезпечує тепловою енергією великі міста та промислові об'єкти, однак значна частина енергії втрачається через

застарілу інфраструктуру, неефективне регулювання температури води та високі тепловтрати під час транспортування. Це призводить до підвищення витрат на паливо та зниження загальної ефективності. Автоматизація регулювання температури гарячої води в системах водопостачання сприяє зменшенню цих втрат і є важливим рішенням як з економічної, так і з екологічної точки зору, оскільки знижує викиди парникових газів та мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище.

На сучасному етапі розвитку централізованих систем теплопостачання впровадження автоматизованих систем управління та регулювання температури гарячої води має критичне значення для енергозбереження. Така автоматизація дозволяє точно контролювати температуру в різних точках системи водопостачання відповідно до фактичних потреб споживачів та зовнішніх умов. Завдяки датчикам температури та програмованим контролерам можна оперативно реагувати на зміни зовнішньої температури або запити користувачів, що знижує втрати енергії, зменшує надмірне використання тепла та покращує комфорт для споживачів.

Інтелектуальні системи управління теплопостачанням адаптують роботу теплових пунктів і водонагрівачів до потреб конкретних будівель або районів. Це дозволяє уникати перевищення необхідної температури води в мережі, що значно знижує енергетичні втрати і підвищує ефективність використання ресурсів. Модернізація обладнання теплових пунктів, як-от сучасні теплообмінники, насоси з частотним регулюванням та теплоізовані труби, також дозволяє суттєво зменшити енерговтрати під час транспортування та розподілу тепла.

Важливим елементом сучасних систем централізованого теплопостачання є віддалений моніторинг і управління, що реалізується завдяки технологіям Інтернету речей (IoT). Контролери та датчики в різних точках мережі передають дані до центрального пункту управління, що

дозволяє швидко реагувати на відхилення від заданих параметрів та оптимізувати роботу системи, знижуючи витрати енергії.

Автоматизація регулювання температури гарячої води зменшує експлуатаційні витрати і підвищує економічну ефективність, оскільки дозволяє знижувати споживання палива шляхом регулювання температури води відповідно до фактичних потреб. Також це сприяє зниженню зносу обладнання, зменшуючи витрати на його ремонт і обслуговування.

Перспективи розвитку енергозбереження у системах централізованого теплопостачання пов'язані з подальшою автоматизацією та впровадженням інноваційних технологій. Це включає використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна або геотермальна енергія, що дозволяє додатково знизити споживання викопного палива та зменшити вплив на довкілля. Модернізація тепломереж, автоматизовані системи управління, відновлювані джерела енергії та нові методи утилізації тепла сприяють суттєвому зниженню витрат на енергоресурси та підвищенню якості послуг. Для досягнення максимальної ефективності необхідно продовжувати інвестувати в оновлення інфраструктури та впроваджувати новітні технології.

Майбутній розвиток систем централізованого теплопостачання також передбачає інтеграцію передових технологій штучного інтелекту (ШІ) та аналітики великих даних. Завдяки використанню інтелектуальних алгоритмів можна прогнозувати попит на тепло, аналізувати ефективність роботи мережі в реальному часі та оптимізувати процеси споживання енергії. Це дозволяє більш точно регулювати потоки теплової енергії, знижувати витрати та забезпечувати безперебійне постачання тепла відповідно до змін кліматичних умов і потреб споживачів.

Крім того, активне залучення відновлюваних джерел енергії до систем централізованого теплопостачання відкриває нові можливості для зниження

залежності від викопного палива. Використання теплових насосів, сонячних колекторів та інших екологічно чистих технологій може суттєво підвищити рівень енергетичної незалежності та екологічної безпеки, знижуючи негативний вплив на довкілля. Комплексний підхід до модернізації, включаючи автоматизацію, інтеграцію нових джерел енергії та застосування цифрових технологій, сприятиме створенню більш стабільних, ефективних та екологічно безпечних систем теплопостачання в майбутньому.

## Розділ 2

### Огляд існуючих рішень автоматизації в систем водопостачання

Системи водопостачання є важливим елементом міської та промислової інфраструктури. Вони забезпечують населення та виробничі процеси необхідною кількістю води відповідної якості. Однак для підтримання стабільної та ефективної роботи цих систем потрібне постійне управління процесами постачання і регулювання параметрів, таких як температура, тиск, витрати води та інші показники.[4] Одним із ключових напрямків розвитку інженерних систем є автоматизація, яка дозволяє підвищити ефективність і надійність роботи систем водопостачання, зменшити енергоспоживання та підвищити екологічну безпеку.

Автоматизація водопостачання передбачає впровадження різних технічних засобів і програмного забезпечення для контролю та управління роботою насосних станцій, трубопроводів, систем підігріву води, а також моніторингу якості води. Ці заходи дозволяють оптимізувати процеси, мінімізувати людський фактор і уникати помилок, що можуть призвести до аварійних ситуацій.

#### 2.1 Основні функції систем автоматизації в водопостачанні

Системи автоматизації виконують низку важливих функцій у водопостачанні:

1. **Контроль і регулювання параметрів води:** Автоматизовані системи дозволяють контролювати і підтримувати потрібний рівень температури, тиску, витрат води та її якості. Наприклад, датчики температури в системі гарячого водопостачання допомагають точно підтримувати необхідний температурний режим, що забезпечує економію енергії та підвищує комфорт користувачів.

2. **Управління насосними станціями:** Насосні станції є ключовими елементами систем водопостачання, оскільки вони забезпечують транспортування води до кінцевого споживача. Автоматизація дозволяє оптимізувати роботу насосів, зменшити витрати електроенергії та підвищити надійність роботи обладнання за рахунок запобігання перегріву або перевантаження насосів.

3. **Моніторинг витрат води:** За допомогою автоматизованих лічильників можна в режимі реального часу відстежувати кількість спожитої води, що важливо як для промислових об'єктів, так і для комунальних служб. Ці дані можуть використовуватись для оптимізації витрат, а також для раннього виявлення витоків або зловживань.

4. **Контроль якості води:** Для забезпечення відповідності якості води санітарним нормам автоматизовані системи можуть моніторити такі параметри, як рівень хлору, твердість, наявність домішок і забруднювачів. Це дозволяє своєчасно реагувати на зміни у якості води та вживати необхідних заходів для її очищення.

5. **Автоматичне регулювання підігріву води:** В системах гарячого водопостачання автоматизовані системи дозволяють ефективно керувати процесами нагрівання, підтримуючи постійну температуру та знижуючи витрати енергії. Це важливо для забезпечення комфортного користування гарячою водою в житлових будинках, готелях, на виробництві тощо.

6. **Дистанційне управління і моніторинг:** Сучасні системи автоматизації дають можливість віддаленого контролю та управління за допомогою Інтернету або інших мереж. Оператори можуть моніторити стан системи, виявляти можливі несправності та оперативно реагувати на них, не перебуваючи безпосередньо на об'єкті.

## **Переваги автоматизації в системах водопостачання**

1. Економія енергоресурсів. Автоматизовані системи дозволяють точно регулювати параметри роботи насосів і підігрівачів, що призводить до зниження споживання електроенергії та інших ресурсів.

2. Збільшення надійності систем. Виявлення несправностей і відхилень у роботі системи на ранній стадії дозволяє уникнути аварійних ситуацій і збоїв в подачі води.

3. Поліпшення якості обслуговування споживачів. Завдяки стабільній роботі системи і точному регулюванню параметрів водопостачання, користувачі отримують постійну подачу води необхідної якості і температури.

4. Оптимізація використання людських ресурсів. Завдяки автоматизації знижується потреба у великій кількості обслуговуючого персоналу, оскільки більшість процесів може контролюватися дистанційно або виконуватись без втручання людини.

5. Підвищення екологічної безпеки. Автоматизація дозволяє зменшити кількість викидів шкідливих речовин і втрат води, що позитивно впливає

### **2.2 Аналіз сучасних автоматизованих систем регулювання температури**

Сучасні автоматизовані системи регулювання температури води у системах водопостачання є результатом значного прогресу в галузі електроніки, програмного забезпечення та енергозберігаючих технологій. Основна мета таких систем полягає у забезпеченні постійного температурного режиму з мінімальними втратами енергії та ресурсів, що є важливим як для побутових, так і промислових споживачів.[5] Ефективне регулювання температури води дозволяє не лише підвищити комфорт, але й оптимізувати витрати на енергоресурси та забезпечити стабільність роботи системи навіть

при змінних умовах експлуатації.

Сучасні автоматизовані системи використовують передові технології, такі як програмовані логічні контролери (ПЛК), мікропроцесорні системи керування, бездротові датчики температури, інтелектуальні алгоритми керування та інтернет речей (IoT). ПЛК є ключовим елементом таких систем, оскільки вони дозволяють точно керувати процесом нагріву та охолодження води, збираючи дані з різних точок системи через датчики температури та потоку. Дані, отримані з датчиків, обробляються контролерами, які регулюють потужність нагрівальних елементів або керують змішувальними клапанами для підтримання оптимальної температури.

Значною перевагою сучасних систем є використання інтелектуальних алгоритмів керування, таких як ПІД-регулятори (пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори), які забезпечують точну та гнучку регуляцію температури. Ці алгоритми дозволяють знизити коливання температури та оптимізувати споживання енергії за рахунок адаптивної роботи системи. Інтелектуальні системи можуть також враховувати зовнішні фактори, такі як зміни температури навколишнього середовища, а також використовувати дані з інших сенсорів для адаптації температурного режиму.

Ще одним важливим аспектом є впровадження інтернету речей (IoT), що дозволяє підключати системи регулювання до віддалених серверів та хмарних платформ для моніторингу та аналізу даних у реальному часі. Це дозволяє операторам здійснювати управління системою дистанційно, вчасно реагувати на аварійні ситуації, а також отримувати прогнози щодо оптимізації роботи системи на основі великих даних (Big Data).

### **2.3 Порівняльна характеристика існуючих рішень**

Для ефективного вибору автоматизованої системи регулювання температури води важливо провести порівняльний аналіз на основі кількох критеріїв, таких як точність регулювання, енергоефективність, вартість

впровадження та обслуговування, гнучкість налаштувань та можливість інтеграції з іншими системами.

1. Механічні системи регулювання є найпростішими та найдешевшими рішеннями, які зазвичай використовуються в невеликих побутових системах. Вони засновані на термостатах або термостатичних клапанах, що регулюють потік гарячої води відповідно до температурних показників. Основна перевага цих систем полягає у простоті експлуатації та низькій вартості. Однак їх недоліком є невисока точність регулювання та відсутність гнучкості для адаптації до змінних умов експлуатації.

2. Електронні системи з базовими контролерами пропонують більш високий рівень точності та гнучкості в порівнянні з механічними. Вони можуть забезпечувати автоматичну підтримку температури завдяки використанню електронних контролерів та датчиків. Такі системи зазвичай використовуються у житлових комплексах або на невеликих промислових об'єктах. Основними їх перевагами є вища точність, гнучкість налаштувань та більша енергоефективність у порівнянні з механічними системами. Проте вони мають більшу вартість та складність у налаштуванні.

3. Програмовані логічні контролери (ПЛК) представляють найвищий рівень автоматизації. Вони забезпечують високу точність регулювання, можливість налаштування складних алгоритмів управління та інтеграцію з іншими системами на підприємствах. ПЛК можуть бути налаштовані для роботи з багатьма датчиками, керувати декількома контурами нагріву та охолодження, а також забезпечувати енергоефективність за рахунок адаптації до змінних умов експлуатації. Основна перевага таких систем полягає у їх універсальності та масштабованості, що робить їх придатними для великих промислових або житлових об'єктів. Недоліками є висока вартість впровадження та необхідність професійного обслуговування.

4. Інтелектуальні системи з підтримкою IoT є найбільш інноваційним рішенням. Вони дозволяють дистанційно керувати температурним режимом через інтернет, інтегрувати систему з хмарними сервісами для зберігання та

аналізу даних, а також використовувати штучний інтелект для прогнозування та оптимізації процесів. Такі системи можуть бути надзвичайно ефективними з точки зору енергоощадження, але вимагають значних інвестицій та високого рівня технічної підтримки.

Отже, кожен з наведених типів систем має свої переваги та недоліки. Вибір оптимального рішення залежить від потреб конкретного об'єкта, його масштабу та бюджету. Для побутових умов або невеликих об'єктів підійдуть електронні системи середнього рівня складності, тоді як для великих підприємств та житлових комплексів доцільно впроваджувати ПЛК або системи з підтримкою IoT для забезпечення максимальної ефективності та гнучкості у керуванні температурним режимом.

## **2.4 Основні принципи регулювання температури**

Регулювання температури води в системах водопостачання є важливим аспектом забезпечення енергоефективної та комфортної роботи систем. Основні принципи регулювання температури базуються на фізичних, технологічних та автоматизаційних методах, які дозволяють підтримувати необхідні параметри температурного режиму за змінних умов експлуатації.

### **Принцип зворотного зв'язку**

Один із ключових принципів, на якому базується робота систем регулювання температури, — це принцип зворотного зв'язку. У цій системі датчики температури постійно вимірюють поточну температуру води і передають ці дані контролеру. Контролер порівнює фактичні значення температури з заданими та в разі відхилень від норми надсилає команди виконавчим механізмам (клапанам, нагрівальним елементам) для корекції температури. Це дозволяє досягти стабільного регулювання навіть при змінних зовнішніх умовах, таких як навантаження на систему або температурні коливання навколишнього середовища.

## **Принцип пропорційного управління**

Пропорційне управління є основою багатьох систем автоматичного регулювання температури. Відповідно до цього принципу, ступінь впливу на систему (наприклад, зміна потужності нагріву або охолодження) пропорційний до відхилення фактичної температури від бажаної. Чим більше відхилення, тим сильніше система реагує, намагаючись якомога швидше повернути температуру до необхідного рівня. Цей принцип часто використовується в поєднанні з іншими методами регулювання, такими як інтегральне та диференціальне керування.

## **Принцип ПІД-регулювання**

Пропорційно-інтегрально-диференціальне (ПІД) регулювання є найпоширенішим методом точного регулювання температури в автоматизованих системах. ПІД-регулятор враховує три складові:

- Пропорційна складова відповідає за поточне відхилення температури;
- Інтегральна складова враховує сумарне відхилення температури з плином часу, що дозволяє коригувати тривалі систематичні відхилення;
- Диференціальна складова аналізує швидкість зміни температури, дозволяючи системі передбачати можливі майбутні відхилення і діяти на випередження.

ПІД-регулятори є дуже ефективними для точного підтримання температури в системах із складною динамікою, оскільки вони забезпечують гнучке реагування на відхилення і зменшують коливання температури.

## **Принцип інерційності**

Температурні процеси в водопостачальних системах часто мають інерційний характер, тобто зміна температури відбувається не миттєво після подачі сигналу на зміну параметрів. Інерційність враховується в системах автоматизації через алгоритми передбачення поведінки системи. Наприклад, при збільшенні потужності нагрівального елемента вода не відразу досягає нової температури, і системі потрібно враховувати цей час для уникнення перерегулювання.

### **Принцип енергоефективності**

Завдання систем регулювання не обмежується лише підтриманням необхідної температури, але й мінімізацією енергоспоживання. Сучасні автоматизовані системи намагаються оптимізувати роботу нагрівальних елементів, враховуючи, як зменшити втрати тепла та ефективно використовувати наявні енергоресурси. Це досягається за рахунок адаптивного керування, яке залежить від різних умов, таких як попит на гарячу воду, час доби, зовнішня температура та інші фактори.

### **Принцип безперервного моніторингу**

Для підтримання стабільної температури важливо забезпечити постійний моніторинг параметрів системи. Це включає безперервне вимірювання температури в різних точках системи, а також контроль за параметрами потоку, тиску і енергоспоживання. Безперервний моніторинг дозволяє швидко реагувати на будь-які відхилення або аварійні ситуації та зменшує ризик перегріву або переохолодження води.

### **Принцип гнучкості та адаптивності**

Сучасні системи регулювання температури часто мають можливість адаптувати свою роботу під змінні умови. Наприклад, системи можуть автоматично змінювати параметри в залежності від прогнозів погоди або

аналізу даних про споживання води. Це дозволяє підвищити точність регулювання та знизити витрати енергії. Гнучкість системи є важливою перевагою, особливо у великих системах водопостачання або промислових об'єктах, де умови експлуатації можуть значно змінюватися.

Таким чином, основні принципи регулювання температури базуються на точному контролі за допомогою зворотного зв'язку, адаптивних алгоритмів управління та ефективному використанні ресурсів. Впровадження сучасних автоматизованих рішень дозволяє не тільки забезпечити необхідний температурний режим, але й значно знизити енергетичні витрати, підвищивши загальну ефективність систем водопостачання.

## **Розділ 3**

### **Технологічні рішення для автоматизації систем водопостачання**

Автоматизація систем водопостачання є важливою складовою забезпечення ефективної, стабільної та економічної роботи сучасних інженерних мереж. Вона охоплює широкий спектр технологічних рішень, спрямованих на оптимізацію процесів транспортування, нагріву, розподілу та споживання води. Основні цілі автоматизації — підвищення якості обслуговування, забезпечення надійності та зменшення витрат на експлуатацію систем.

Сучасні технології дозволяють автоматично контролювати параметри систем, такі як тиск, температура, витрата води, а також забезпечувати адаптацію роботи системи до зміни умов споживання. В цьому розділі розглядаються ключові технологічні рішення, які застосовуються для автоматизації систем водопостачання, особливості їх реалізації та переваги у використанні.

#### **3.1 DPTL-1-V — датчик перепаду тиску рідини**

Застосовуються для виявлення різниці тиску рідини в зоні вентиляції, обігріву та водопровідних систем. Також підходить для злегка агресивних рідин.

Застосовуються для виявлення різниці тиску рідини в зоні вентиляції, обігріву та водопровідних систем. Також підходить для злегка агресивних рідин.

Технічні характеристики датчика вказані на рис 4 , загальний вигляд датчика на рис. 5.

Технічні характеристики:	DPTL...A	DPTL...V
Діапазон вимірювання:	Див. таблицю	
Максимальний статичний тиск:	21 бар	
Максимально-допустиме перевищення тиску:		
- моделі 1 і 2,5 бара	6 бар	
- моделі 4 і 6 бар	16 бар	
Напруга живлення:	15...24 В DC(±10%)	15...24 В DC(±10%) / 24 В AC(±10%)
Вихід:	4...20 мА	0...10 В, мін. навантаження 2 кОм
Час реакції:	10 мс	
Електричне підключення:	Гвинтової клемник, відповідний DIN 43650, тип А	
Енергоспоживання:	макс. 20 мА	0,37 Вт (В DC), 0,9 Вт (В AC)
Середовище:	Вода, помірно агресивні рідини	
Температура рідини:	-10...+80 °С	
Температура оточуючого середовища:	-10...+50 °С	
Похибка:	±1%	
Ступінь/клас захисту:	IP 54 / III	
Відносна вологість:	До 95 %	
Корпус:		
- нижня частина	нержавіюча сталь 1,4305	
- верхня частина	литий під тиском алюміній	
Матеріали, що контактують з середовищем:	Кераміка/нержавіюча сталь A203/1,4305	
Ущільнення:	EPDM	
Вага:	Прибл. 510 г	

Рис. 4 Технічні характеристики датчика DPTL-1-V



Рис. 5 Загальний вигляд датчика перепаду тиску

### **3.2 Циркуляційний насос для води Calpeda NR 50/250A/B з сухим ротором**

Циркуляційний насос Calpeda NR 50/250A/B з сухим ротором є важливим елементом у системах водопостачання, що забезпечує ефективну циркуляцію води. Насоси з сухим ротором відомі своєю надійністю, високою продуктивністю та економічною роботою, що особливо важливо в контексті автоматизації. Використання такого обладнання дозволяє зменшити втрати енергії, забезпечити точний контроль параметрів потоку, підвищити ефективність роботи всієї системи та знизити експлуатаційні витрати. Завдяки можливості автоматизованого керування, насос може адаптуватися до змінних умов роботи, що сприяє стабільності та надійності водопостачання.



Рис. 6 Циркуляційний насос для води Calpeda NR 50/250A/B з сухим ротором

Таблиця 1. Технічні характеристики Циркуляційний насос для води Calpeda  
NR 50/250A/B

Тип ротора	Сухий
Система всмоктування	Одноступінчата
Тип приєднання	Фланець
Тип мережі	Трифазна
Діапазон температур рідини, що перекачується, °C	-10...+90
Максимальний робочий тиск, бар	10
Матеріал виробу	Чавун
Діапазон температур навколишнього середовища, °C	0...+40
Електрична потужність, кВт	15
Клас електрозахисту	IP54
Тип керування	Ручне
Напір max, м	87
Частота струму, Hz	50
Напруга, V	400-690

Встановлення і застосування насосів NR

- Перекачування чистих рідин, що не містять абразивних домішок і не агресивних для матеріалів, з яких виготовлений насос (вміст твердих частинок максимум 0,2%).
- Використання насосів в установках тепlopостачання, кондиціонування, охолодження і циркуляції.
- Використання насосів у побутовій і промисловій сфері.
- При необхідності робота насосів з пониженим рівнем шуму (n - 1450 об./хв).

Область застосування  $n \approx 2900$  об./хв.

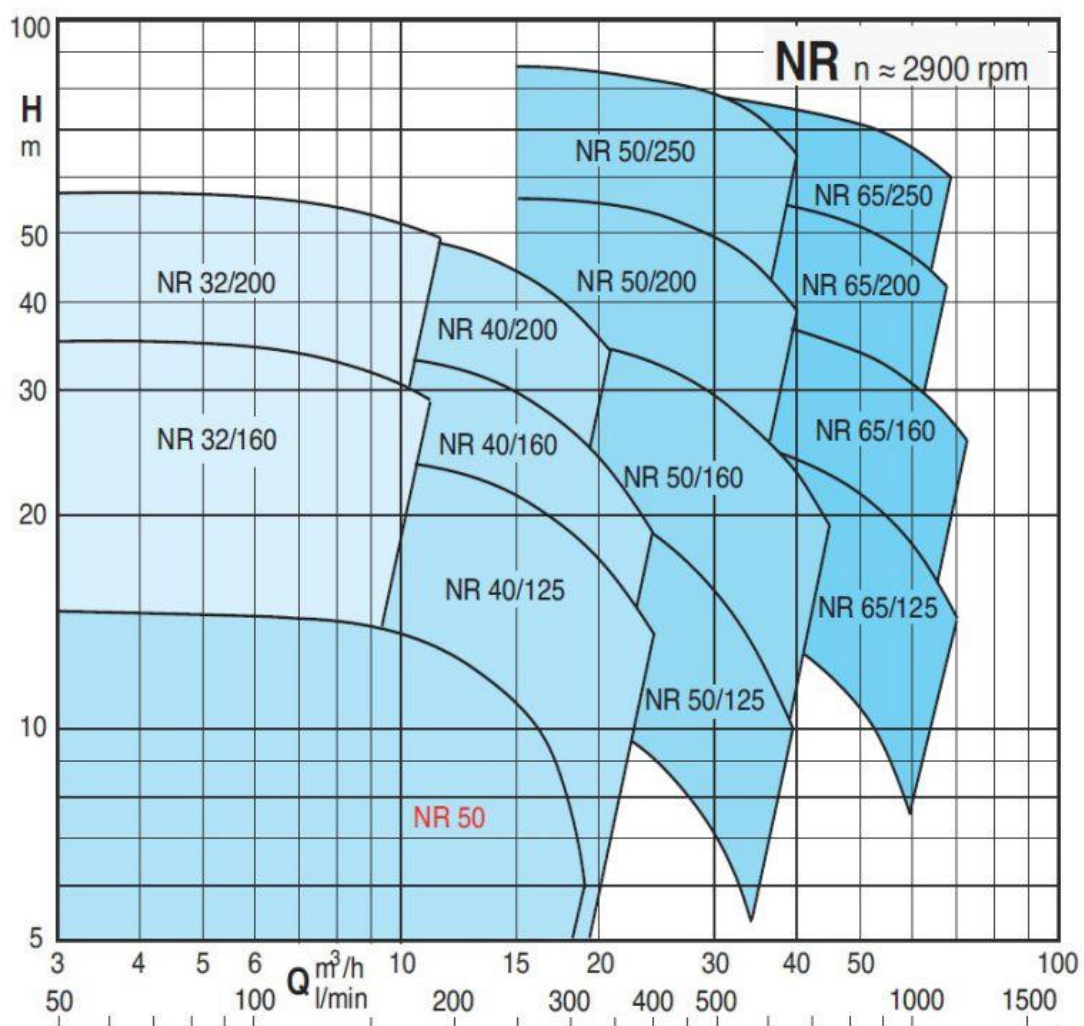


Рис. 7 Область застосування  $n \approx 2900$  об./хв.насосу

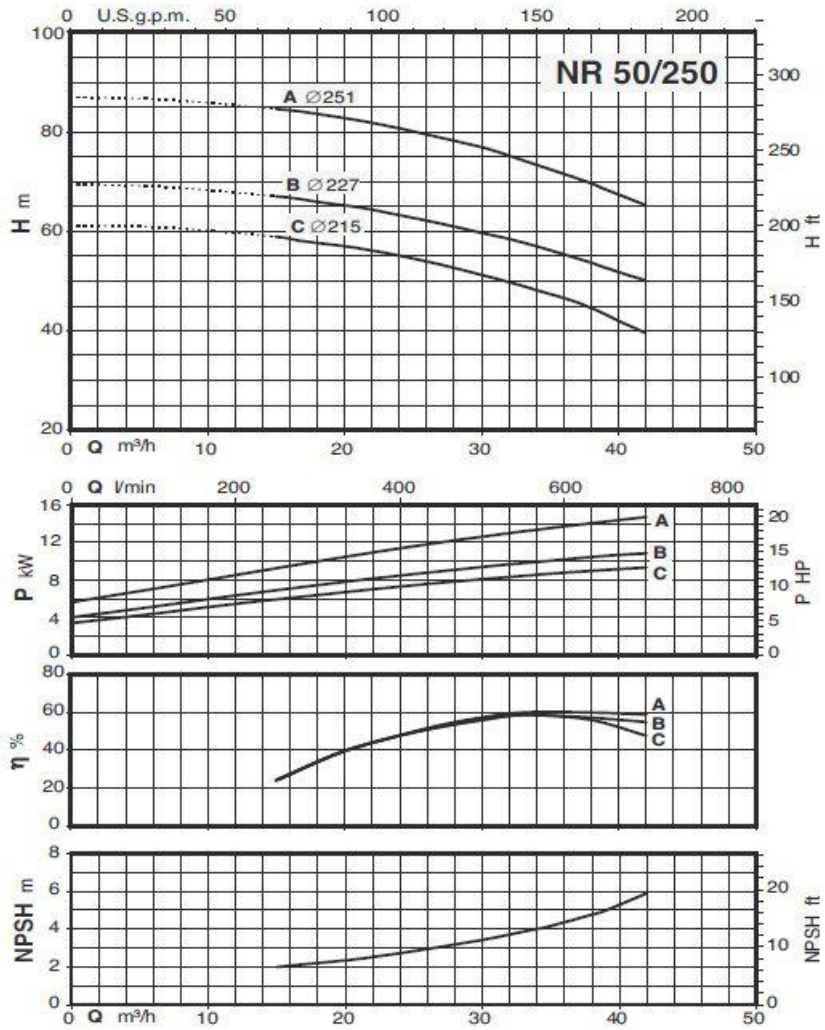


Рис. 8 Гідравлічні характеристики насосу

### 3.3 Датчик температури NTC 10K

Датчик температури NTC 10K від компанії **Vaillant** є загальнопромисловим термістором, який використовується для вимірювання температури в різних опалювальних системах, кондиціонерах та промислових процесах.



Рис. 9 Загальний вигляд датчика температури

Ось його основні характеристики та опис:

Опис та принцип роботи

- NTC (Negative Temperature Coefficient) — це тип терморезистора, в якому опір зменшується зі збільшенням температури. Датчики типу NTC 10K мають номінальний опір **10 кОм** при температурі **25°C**.
- Чутливий елемент NTC забезпечує високу точність вимірювань у діапазоні від **-40** до **+125°C**, хоча робочий діапазон може дещо змінюватися залежно від моделі.

- У системах Vaillant NTC-датчики часто використовуються для вимірювання температури води в котлах, системах опалення, вентиляції та кондиціонування.

#### Основні характеристики

1. Номінальний опір: 10 кОм при 25°C.
2. Тип датчика: терморезистор NTC.
3. Робочий температурний діапазон: від -40°C до +125°C (може змінюватися залежно від умов використання).
4. Точність: Висока точність у вузькому температурному діапазоні; типова похибка  $\pm 1^\circ\text{C}$  (може варіюватися).
5. Призначення: Використовується для моніторингу та контролю температури в котлах, системах гарячого водопостачання та опалення.

#### Переваги

- Надійність та довговічність: Стійкий до механічних впливів та екстремальних температур.
  - Висока чутливість до змін температури.
  - Сумісність з багатьма котловими та промисловими системами.

Цей датчик є важливою частиною систем управління температурою, оскільки забезпечує точні дані для контролю, захисту та оптимізації роботи нагрівального обладнання.

### 3.4 Регулятор температури РТ-ДО

Регулятор температури РТ-ДО використовується для автоматичного підтримання заданої температури в різних системах теплообміну, таких як системи водопостачання, опалення чи охолодження. Він належить до типу регуляторів, що працюють без зовнішнього джерела енергії, а їхня дія базується на зміні температури контрольованого середовища.



Рис.10 Регулятор температури РТ-ДО

Таблиця 2. Технічні характеристики регулятора температури РТ-ДО (ДЗ)

Характеристики	Значення				
Діаметр умовного отвору, мм	15	25	40	50	80
Діапазон налаштування регульованої температури, °С	0-40; 20-60; 40-80; 60-100; 80-120; 100-140; 120-160; 140-180				
Умовна пропускна спроможність $K_v$ , м <sup>3</sup> /ч	2,5	6,3	16	25	60
Зона пропорційності, °С	10				12,5
Зона нечутливості, °С	1				
Постійна часу, с	100				
Допустимість протікання в % от $K_v$ , не більше	0,1				
Температура регульованого середовища, °С	от -15 до +225				
Довжина дистанційного зв'язку, м	1,6; 2,5; 4; 6; 10				
Умовний тиск, МПа	1,0				0,63
Тиск регульованого середовища, МПа	1,6				
Максимальний перепад тиску на регулювальному органі, МПа	0,6				0,4
Маса регуляторів, кг	7	9,5	14,5	22	40
Похибка установки за шкалою налаштування, °С	± 3				

Схема установки регулятора температуры РТ-ДО на об'єкті, що регулюється, наведена на рис. 2. Датчик температури (термобалон) встановлюється в регульованому середовищі. Регулюючий орган (клапан) встановлюється у трубопроводі подачі теплоносія. Між собою вони гідравлічно з'єднані капілярною металевією трубкою

**Принцип роботи:** Коли температура теплоносія (води або іншого середовища) змінюється, термочутливий елемент регулятора розширюється або стискається. Це призводить до переміщення клапана, який змінює потік теплоносія. Якщо температура перевищує встановлену, клапан частково або повністю закривається, зменшуючи потік гарячої води і тим самим знижуючи температуру. Якщо температура знижується, клапан відкривається, дозволяючи більшій кількості гарячої води пройти через систему і підвищити температуру.

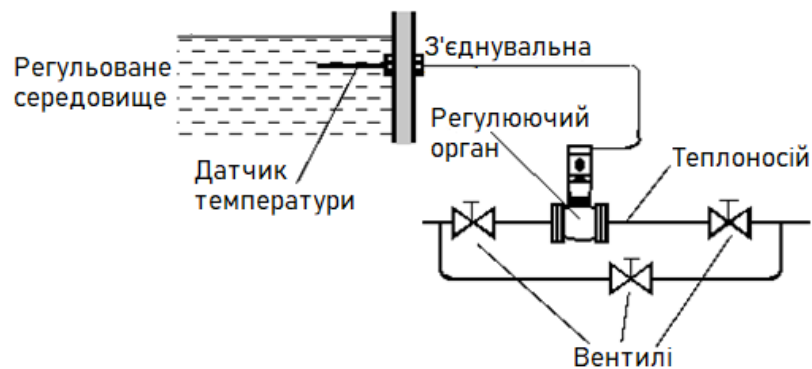


Рис.11. - Схема встановлення регулятора температури РТ-ДО на регульованому об'єкті

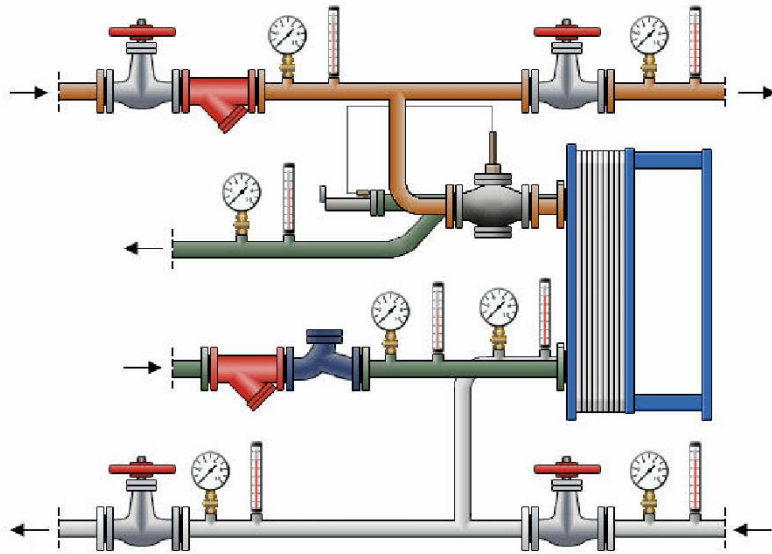


Рис. 12 Приклад встановлення регулятора температури РТ-ДО на теплообміннику гарячого водопостачання

Регулятори РТ-ДО забезпечують автоматичне і безперервне регулювання температури без потреби в електричному або пневматичному живленні. Їхня дія базується виключно на температурному розширенні середовища в термочутливому елементі. Це робить їх надійними, простими в обслуговуванні та придатними для використання в умовах, де немає доступу до зовнішніх джерел енергії.

На рис.13 наведено статичну характеристику П-регулятора при налаштуванні заданої температури на 50 град. У межах зони пропорційності  $\pm 5$  град. (паспортні дані) залежність керуючого впливу  $U$  (витрата теплоносія у % номіналу) від регульованої величини  $\theta$  (температура гарячої води у градусах) лінійна:

$$U = K_1 \cdot \theta + 50,$$

Тут коефіцієнт пропорційності регулятора  $K_1$  має значення 10 %/град.

Поза зоною пропорційності керуючий вплив обмежений значеннями 0 і 100%.

Статическая характеристика П-регулятора

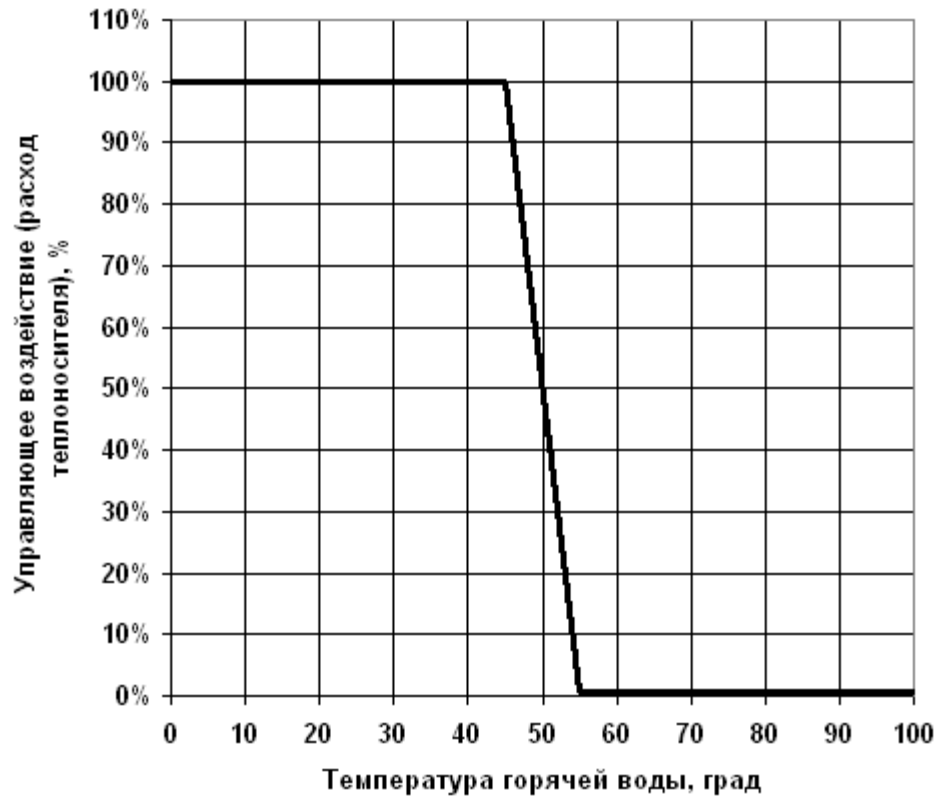


Рис.13. - Статична характеристика П-регулятора

Регулятор має паразитну інерційність, переважно, що визначається інерційністю нагріву термобаллона. Динамічні властивості регулятора визначаються його передатною функцією:

$$\frac{K_1}{T_1 p + 1}$$

Крім коефіцієнта пропорційності  $K_1$  до неї входить множник:

$$\frac{1}{T_1 p + 1}$$

Це аперіодична ланка першого порядку, що описує динаміку нагрівання

термобаллону.  $T_1$  - постійна часу регулятора, що дорівнює 100 с. або 1.7 хв (паспортні дані).

### 3.5 Частотний перетворювач ESV153N04TXB 15кВт

Перетворювач ESV153N04TXB забезпечує регулювання швидкості двигуна, адаптуючись до змінних навантажень, що є особливо важливим для оптимізації роботи систем у таких сферах, як виробництво, пакування, транспортування матеріалів і вентиляція. Крім того, завдяки широкому спектру функцій та можливостей інтеграції, цей пристрій підходить для роботи в складних умовах, забезпечуючи стабільність і надійність процесів. Розглянемо його технічні характеристики, переваги та можливості налаштування в контексті сучасних вимог до енергоефективності та продуктивності.



Рис.14 Частотний перетворювач ESV153N04TXB 15кВт

## **Характеристики**

Потужність — 15 кВт

Напруга живлення — 320...550 VAC (450...770VDC)

Вхідний струм -35 А

Вихідний струм (ном.) — 31

Номинал автоматичного вимикача на вході — С50 Ампер.

Максимально дозв. довжина кабелю двигуна:

екранований — 50 м. неекранований — 100 м.

Вихідна частота — 0...240 Гц

### **Дискретні входи:**

1 Старт/Стоп

3 Дискретних входу

### **Дискретні виходи:**

1 релейний вихід (NO)

1 дискретний вихід (відкритий колектор)

### **Аналогові входи:**

1 вхід — 0..10VDC

1 вхід — 4..20mA

### **Аналогові виходи:**

1 аналоговий вихід: 0..10VDC

Робота і гнучкість налаштувань **SMVector** роблять його привабливим рішенням для широкого ряду приводних завдань для трифазного асинхронного двигуна змінного струму:

- машини харчової промисловості;
- пакувальні автомати;
- конвеєри;
- транспортування матеріалів і деталей;
- нагрівання, вентиляція та кондиціонування повітря;

Програмовані дискретні і аналогові входи / виходи дозволяють використовувати перетворювач для багатьох приводних завдань, таких як робота з попередньо встановленими (постійними) швидкостями, електронне гальмування, поштовховий режим роботи мотора... Можливість інвертування вхідного аналогового сигналу дозволяє використовувати частотний перетворювач в системах підтримки тиску без використання зовнішніх регуляторів.

### 3.5 Контролер КТР-121

КТР-121 - це контролер з готовими алгоритмами для автоматизації котельні . Встановлюється в стаціонарних, блочно-модульних, дахових водогрійних котельнях, а також котельнях з котлами зовнішнього розміщення і котельнях з прибудованим ІТП. Керування пальником здійснюється через вбудований менеджер горіння. Контролер керує модульованими, одно -, дво - і триступневими пальниками. За типом палива підтримуються газові, рідкопаливні, комбіновані та електричні пальники.



Рис.15 Загальний вигляд контролера КТР-121

Алгоритми КТР-121 розділені за завданнями автоматизації котельні. Лінійку складають три групи алгоритмів:

- Автоматика котла – КТР-121.01.
- Автоматика котельні – КТР-121.02.
- Автоматика опалення та ГВП – КТР-121.03.

Об'єднуючи різні алгоритми КТР-121 в єдину систему, можна отримати рішення для складних схем котелень. Комбінації алгоритмів дають змогу підібрати оптимальний набір автоматики для котельні.

### **Опис роботи контролера для автоматичного регулювання**

В системі водопостачання використовується один насос для кількісного регулювання температури в автоматизованій системі.[6,7] При цьому насос використовується з перетворювачем частоти та датчиком зворотного зв'язку за температурою. За допомогою «АКУТЕК» КТР-121.220.03.10 реалізується плавне керування швидкістю насоса, відповідно, і підтримування температури на заданому рівні.

Для керування обладнанням насосної установки в системі водопостачання використаємо контролер теплового регулювання фірми «АКУТЕК» типу КТР - 121.220.03.10 з такими характеристиками:

Конструктивне виконання:

Кріплення на DIN-рейку у шафі керування;

Ступінь захисту корпусу – IP20;

Габаритні розміри – 123x90x58 мм;

Напруга живлення – 94.. 264 В (номінальна 120 ... 230 В при частоті 47 ... 63 Гц);

Споживана потужність, не більше – 17 ВА;

Мережеві можливості:

Інтерфейс зв'язку – RS-485;

Протокол зв'язку із зовнішніми системами автоматизації – Modbus-RTU,

Modbus-ASCII;

Режим роботи в мережі Master/Slave.

Швидкість передачі даних: біт/с – 9600, 14400, 19200, 38400, 57600, 115200.

Індикація передньої панелі – дворядковий шістнадцяти розрядний РКІ, 2 світлодіодних індикаторів (робота, аварія), 6 кнопок.

Для керування асинхронним циркуляційним двигуном вибираємо оптимальний для даної задачі частотний перетворювач ESV153N04TXB.

Характеристики перетворювача частоти:

Потужність — 15 кВт;

Напруга живлення — 400-480 В;

Вхідний струм — 36 А;

Вихідний струм (номінальний) 31 А;

Номінал автоматичного вимикача на вході — С32А (крива відключення С, 32А).

Максимально дозволена довжина кабелю мотора:

- якщо кабель екранований — 100 м;
- якщо кабель неекранований — 50 м.

Вихідна частота — 0...500 Гц.

Дискретні входи:

1 дискретний вхід для реалізації команди «Старт/Стоп»;

3 дискретних входи для перемикання режимів роботи.

Дискретні виходи:

1 релейний вихід (NO);

1 дискретний вихід (відкритий колектор).

Аналогові входи:

1 вхід — 0..10В постійного струму;

1 вхід — 4..20мА.

Аналогові виходи:

1 аналоговий вихід: 0..10В постійного струму.

Інші:

10В постійного струму для живлення задаючого потенціометра;  
12 В постійного струму, 20мА для живлення дискретних входів.

### 3.6 Розробка функціональної та електричної схеми

Завдяки використанню контролерів КТР121 можливе точне регулювання температури теплоносія, контроль за режимами роботи котельних установок та оперативне реагування на зміну умов роботи, що значно підвищує ефективність та надійність системи. Ці контролери забезпечують інтеграцію з іншими елементами автоматизації, включаючи сенсори, виконавчі механізми та системи віддаленого моніторингу. Такий підхід дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати і підвищити економічну ефективність теплопостачальних систем, роблячи їх більш стійкими до змін у навантаженні та потребах споживачів.

Функціональна схема використання контролерів серії КТР121 для котельних представлена на рисунку 2.1.



Рис.16. Функціональна схема вмикання контролерів серії КТР-121 для

котельні.

В залежності від функціонального призначення розрізняють наступні прошивки контролера КТР121:

- КТР121.01. Здійснює керування пальником, керування насосом котла, регулювання температури зворотної води, контроль стану котла;

- КТР121.02. Здійснює керування каскадним вмиканням котлів, погодозалежне керування, керування насосами циркуляції, керування підживленням контуру;

- КТР121. Здійснює регулювання температури в контурах, керування насосами контурів опалення і гарячого водопостачання, керування підживленням контурів.

Схема автоматизації для такої котельної приймає вигляд, представлений на рисунку 2.2.

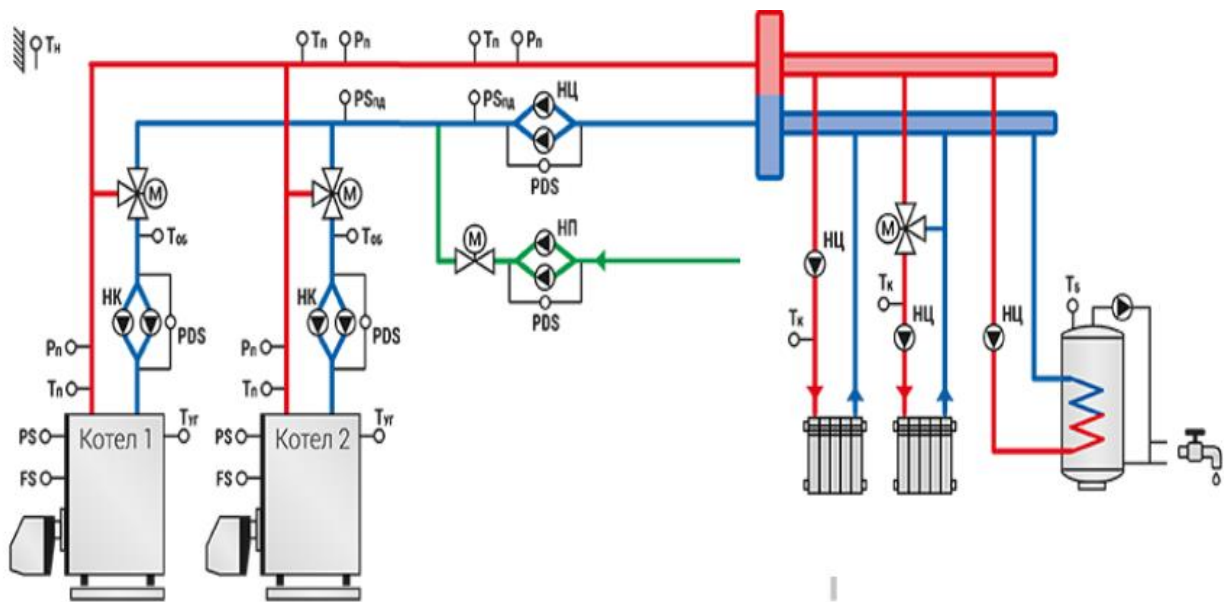


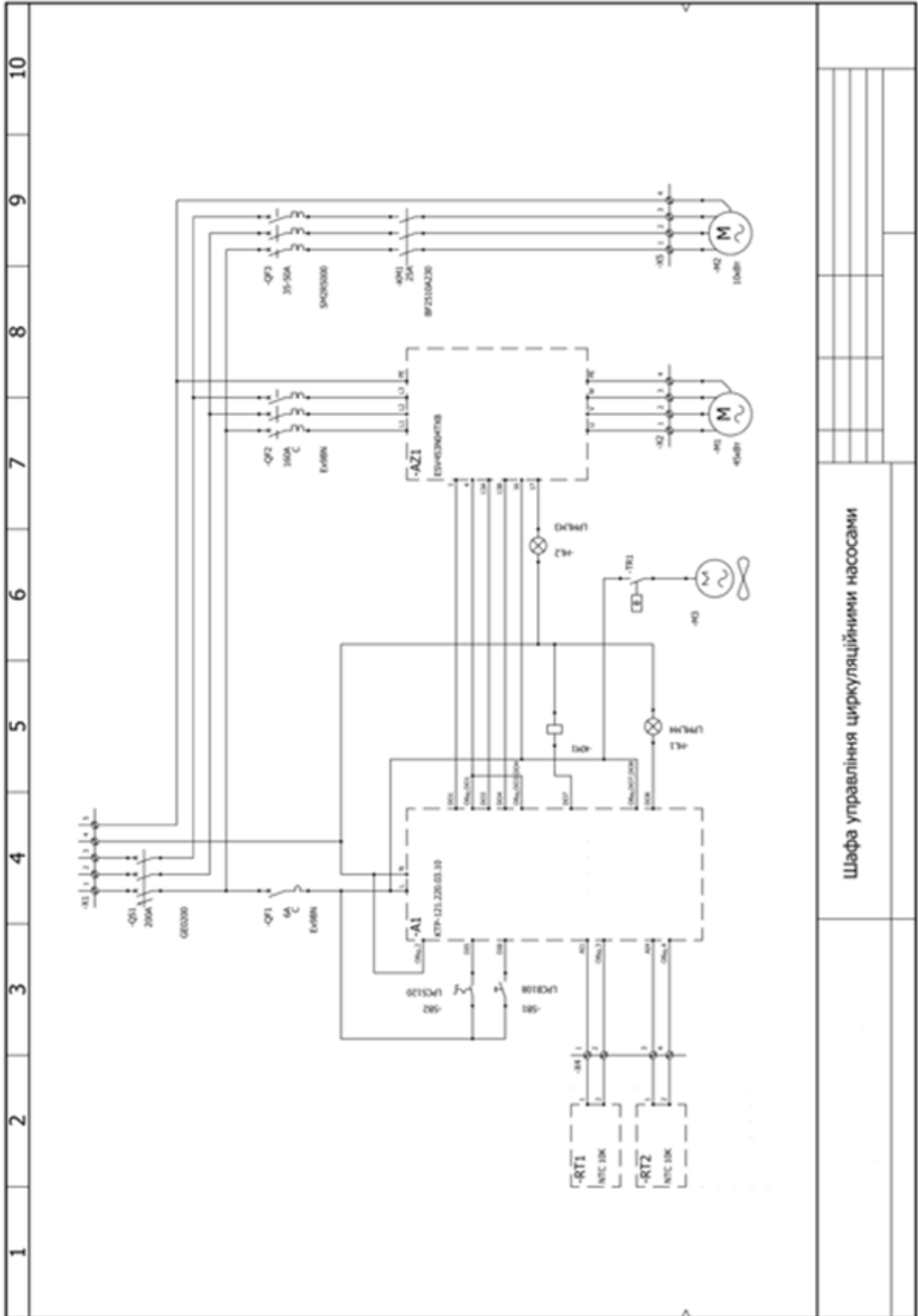
Рис.17. Схема автоматизації котельної установки.

Відповідно, виходячи із завдання побудувати систему кількісного регулювання температури для нашої системи автоматизації доцільно використовувати контролер із прошивкою третьої версії КТР121.03. Особливістю такого регулятора є те, що він забезпечує регулювання температури на основі якісного регулювання, тобто засувками. Отже виникає

необхідність переходу від системи якісного регулювання до кількісного, при цьому сам КТР121.03 повинен залишатися незмінним, а перетворювач частоти має бути налаштований таким чином, щоб повністю копіювати роботу засувки.

Найбільш доцільним підходом при цьому є реалізація функції «мотор – потенціометра» або іншими словами «електронного потенціометра» при використанні дискретних виходів контролера або простого керування швидкістю при використанні аналогових виходів контролера. Для цього спроектуємо схему керування перетворювачем частоти насоса гарячого водопостачання від контролера.

# Електрична схема



Шафа управління циркуляційними насосами

### Перелік елементів

№	Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	QS1	Вимикач навантаження GA100A	1	Lovato electric
2	QF1	Модульний автоматичний вимикач Eх9BN 1P C6	1	Noark
3	QF2	Модульний автоматичний вимикач Eх9BN 3P C40	1	Noark
4	QF3	Автомат захисту двигуна SM1R1000	1	Lovato electric
5	KM1	Контактор BF1810A230	1	Lovato electric
6	AZ1	Частотний перетворювач ESV153N04TXB 15кВт	1	Lenze
7	A1	КТР-121.220.03.10 Контролер для автоматичного керування котельнею	1	«АКУТЕК»
8	RT1-RT2	NTC 10К. Датчик температури загальнопромисловий	2	Vaillant
9	TR1	Термостат вентилятора	1	Schneider Electric
10	M3	Вентилятор NSYCVF165M230PF	1	Schneider Electric
11	M1	Циркуляційний насос Calpeda NR 50/250A/B (15 кВт, напір max 87 м) з сухим ротором	1	Встановлюється по місцю
12	M2	Циркуляційний насос Calpeda NR 50/200A/A (7.5 кВт, напір max 56.7 м) з сухим ротором	1	Встановлюється по місцю
13		Шафа EV66-1284 1200*800*400 мм	1	КУБ УКРАЇНА

14		Решітка випускна NSYCAG223LPF	1	Schneider Electric
15		Ручка для з'єднання дверей GAX61	1	Lovato electric
16		Подовжувач валу для з'єднувальних ручок дверей GAX7150	1	Lovato electric

У цій частині роботи розроблено автоматизовану систему для регулювання температури гарячого водопостачання в котельні із використанням кількісного регулювання. Під час реалізації задачі було враховано всі необхідні умови для ефективної роботи системи.

Для виконання алгоритму управління вибрано контролер КТР-121.220.03.10 виробництва компанії «АКУТЕК». Цей контролер оснащений готовими алгоритмами для автоматизації котельних установок і підходить для використання в стаціонарних, блочно-модульних та дахових водогрійних котельнях, а також у котельнях з зовнішніми котлами чи прибудованими індивідуальними тепловими пунктами. Керування пальниками здійснюється через вбудований менеджер горіння, що підтримує різні типи пальників, зокрема модульовані, одно-, дво- і триступеневі, працюючі на газі, рідкому паливі, комбінованому паливі або електричному живленні. Однією з переваг цього контролера є інтеграція функцій ПЛК і графічної панелі оператора в одному корпусі.

Для управління двигуном насосної установки обрано транзисторний перетворювач частоти Lenze ESV153N04TXB, виробництва німецької компанії, призначений для підключення до трифазної мережі з потужністю 15 кВт.

### **3.7 Підключення та налаштування перетворювача частоти і контролера.**

Перетворювач частоти є ключовим компонентом в системах автоматизації та електроприводах, що застосовуються для регулювання обертів електродвигунів. Контролер КТР-121, що працює як регулятор технологічного процесу, використовується для управління і моніторингу різноманітних технологічних операцій.

Контролер КТР-121.220.03.10 виробництва компанії «АКУТЕК» є промисловим пристроєм, призначеним для автоматизації та управління технологічними процесами в різних секторах промисловості. Продукти компанії «АКУТЕК» відомі своєю надійністю і універсальністю в застосуванні.

Щоб успішно підключити перетворювач частоти до контролера КТР-121, слід дотримуватися таких кроків:

- 1. Документація та специфікації:** Перед підключенням важливо уважно ознайомитися з документацією до обох пристроїв. Звернути увагу на технічні характеристики, електричні параметри та порти для з'єднання.
- 2. Електричне підключення:** Переконайтеся, що параметри живлення КТР-121 та перетворювача частоти відповідають вимогам документації. Підключити живлення відповідно до інструкцій та здійснити з'єднання між виходами перетворювача частоти і входами контролера КТР-121.
- 3. Налаштування параметрів:** Увімкнути обидва пристрої та перевірити їх взаємодію, щоб уникнути конфліктів. Використовуючи програмне забезпечення для налаштування обладнання, налаштувати параметри комунікації між контролером та перетворювачем частоти.

4. **Тестування та налагодження:** Провести тестові запуски системи для перевірки коректності підключення. У процесі моніторингу в реальному часі контролювати роботу обладнання та виявляти можливі аномалії. При необхідності, внести коригування в параметри для оптимізації роботи системи.

Важливо пам'ятати, що правильне підключення та налаштування компонентів є основою для стабільної роботи автоматизованої системи. У разі виникнення складнощів, рекомендується звертатися до технічної підтримки виробника для отримання професійної допомоги.

Після вивчення інструкцій виробника, налаштовуємо контролер КТР-121 та перетворювач частоти.

Після першого включення контролера з'являється меню вибору схеми управління:

- Контур 1: 1;
- Контур 2: 0;

Для даної системи, де регулювання здійснюється без зовнішнього датчика температури, обираємо параметр "Контур 1".

Схема електрична підключень для КТР-121.03 має вигляд, представлений на рис.2.4.

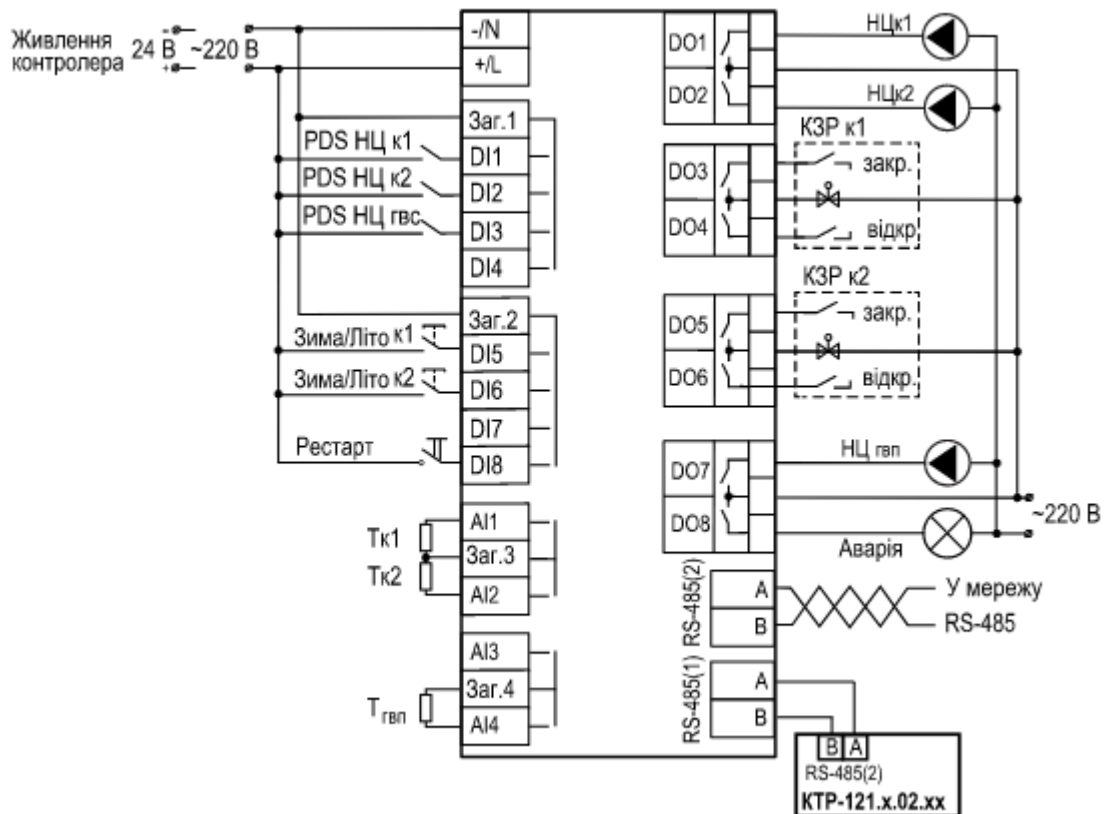


Рис.18 Схема електрична підключень контролера КТР-121.03.

На електричній схемі підключень введені наступні позначення:

PDS НЦ – датчик перепаду тиску на групі насосів теплових контурів;

НЦ – насос циркуляції теплового контуру;

НЦгвс – завантажувальний насос бойлера;

КЗР – клапан запірно-регулюючий, сигнали «відкрити» і «закрити»;

Зима/Літо – зовнішня кнопка зміни сезонів;

Рестарт – зовнішня кнопка скидання аварій;

Тк – датчик температури в тепловому контурі;

Тгвс – датчик температури в бойлері на ГВС;

Аварія – лампа загальної аварії.

При якісному регулюванні, запропонованому для використання в КТР-121.03, керування температурою здійснюється за допомогою КЗРк1 та КЗРк2 дискретними сигналами «відкрито» та «закрито». При цьому контролер обраховує час подачі команд «відкрито» та «закрито» й відповідно визначає

для себе потужність від 0 до 100% вихідного сигналу контролера, що пропорційний сигналові 0..10В контролерів для аналогового виходу. Відповідно, перетворювач частоти повинен бути налаштований аналогічним чином.

Далі здійснимо налаштування перетворювача частоти для роботи із контролером КТР-121 в режимі кількісного регулювання технологічного параметру.

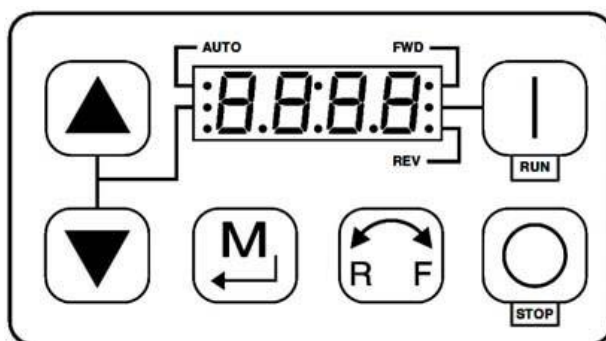


Рис.19 – Панель управління ПЧ

Для налаштування ПЧ Lenze ESV153N04TXB використовуємо посібник користувача який входить до комплекту ПЧ. Для налаштування на панелі управління ПЧ (Рис.2.5.) заходимо в меню , щоб зайти в меню потрібно:

1. натиснути і кнопками / та набрати пароль 225.
2. Знову натиснути , на індикаторі з'явиться P100.

Налаштування параметрів:

1. За допомогою кнопок / двигаємося по меню для підтвердження натискаємо .

2. Змінюємо параметри перетворювача, що відрізняються за функціоналом від заводських. Параметри, що змінюються при налаштуванні представлені в таблиці:

Табл. 3. Таблиця конфігурації параметрів перетворювача частоти Lenze  
ESV.

Призначення	Параметр	Значення параметру
Джерело команди пуску	P100	1
Стандартне джерело уставки завдання	P101	1
Час розгону	P104	20
Час сповільнення	P105	20
Перевантаження двигуна	P108	100
Спосіб зупинки	P111	2
Робота мотор – потенціометра при вмиканні живлення	P115	2
Функція дискретного входу 13А	P121	11
Функція дискретного входу 13В	P122	12
Фіксована швидкість 1	P131	20
Функція релейного виходу	P140	3
Межа по струму	P171	125

При налаштуванні параметра P115=2, перетворювач частоти після включення живлення відновлює останнє значення мотор-потенціометра, що дозволяє йому повністю імітувати функціонування трипозиційної засувки.

Імітація роботи засувки досягається шляхом налаштування дискретних входів 13А та 13В відповідно до параметрів  $P121=11$  та  $P122=12$ . Час розгону та час сповільнення, визначені параметрами  $P104$  та  $P105$ , повинні збігатися з налаштуваннями засувки в контролері КТР121, щоб забезпечити коректну роботу системи.

Релейний вихід конфігурується для спрацювання при аварії, що дає змогу ефективно відтворювати функціональність системи керування засувкою.

Додатково в налаштуваннях перетворювача частоти потрібно встановити параметри, які забезпечують можливість дистанційного пуску ( $P100=1$ ), що дозволяє здійснювати пуск через зовнішні клеми перетворювача, а також визначити зовнішню уставку швидкості ( $P101=1$ ).

При скалярному керуванні за законом Костенка на двигуні виставляється тільки обмеження за струмом, яке регулюється через параметр  $P171=125$ , що відповідає легкому режиму роботи перетворювача.

## Розділ 4

### Математичне моделювання контуру регулювання температури в системі гарячого водопостачання

#### 4.1 Фізичні властивості води та їх вплив на процеси регулювання

Теплоємність води є ключовою характеристикою, яка визначає здатність рідини поглинати та зберігати тепло. Завдяки високій питомій теплоємності (близько  $4,18 \text{ кДж/кг}\cdot\text{°C}$ ) для нагрівання чи охолодження води потрібна значна кількість енергії. Це робить воду ефективним теплоносієм, який здатний поглинати тепло без різкого підвищення температури. Водночас ця властивість ускладнює процес швидкого нагріву або охолодження води, що впливає на динаміку регулювання температури у системах гарячого водопостачання. Висока теплоємність визначає інерційність таких систем, тому для зміни температури необхідно враховувати часові затримки. [8,9] Для розрахунків процесів нагріву чи охолодження використовується формула теплопередачі:

$$Q = mc\Delta T,$$

де  $Q$  — кількість тепла (Дж),  $m$  — маса води (кг),  $c$  — питома теплоємність води ( $\text{кДж/кг}\cdot\text{°C}$ ),  $\Delta T$  — зміна температури ( $\text{°C}$ ).

Теплопровідність води визначає її здатність передавати тепло від однієї частини об'єму до іншої. Вода має середню теплопровідність (приблизно  $0,6 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ ), що забезпечує ефективне розподілення тепла в системах водопостачання. Проте процес передачі тепла залежить від швидкості потоку води: чим швидше циркулює рідина, тим рівномірніше передається тепло. Це сприяє стабільному підтриманню температури у контурах гарячого водопостачання.

Щільність води, яка становить близько  $1000 \text{ кг/м}^3$  при температурі  $4^\circ\text{C}$ , є практично сталою за звичайних умов експлуатації та робить воду майже нестисливою рідиною. Ця властивість дозволяє точно розраховувати об'ємні витрати води та підтримувати стабільний тиск у системах. Стабільність тиску є важливою для налаштування регуляторів температури, таких як клапани та насоси, які керують потоками теплоносія.

Зміна агрегатних станів води, зокрема її замерзання при  $0^\circ\text{C}$  і кипіння при  $100^\circ\text{C}$  за нормального тиску, впливає на проектування систем гарячого водопостачання. У холодних умовах системи регулювання налаштовуються таким чином, щоб запобігти замерзанню води у трубах шляхом підтримання мінімальної температури.

В'язкість води також має важливе значення, оскільки вона залежить від температури: зі зростанням температури в'язкість знижується. Це впливає на швидкість потоку та ефективність роботи насосів і теплообмінників у системах. При високій в'язкості, що характерна для холодної води, зростає опір руху рідини, що може вимагати додаткової потужності для забезпечення циркуляції.

Математичні моделі процесів нагріву та охолодження води відіграють ключову роль у прогнозуванні та оптимізації роботи систем водопостачання.

Модель теплового балансу дозволяє визначати, як швидко змінюється температура залежно від вхідних і вихідних теплових потоків:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q_{\text{вхід}} - Q_{\text{вихід}}}{mc},$$

де  $Q_{\text{вхід}}$  — кількість тепла, що надходить у систему,  $Q_{\text{вихід}}$  — кількість тепла, що втрачається,  $dt/dT$  — швидкість зміни температури.

Теплообмін між водою та навколишнім середовищем описується рівнянням Ньютона для охолодження:

$$Q = hA(T_{\text{вода}} - T_{\text{середовище}}),$$

де  $h$  — коефіцієнт тепловіддачі,  $A$  — площа теплообміну ( $\text{м}^2$ ),  $T_{\text{вода}}$  — температура води ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{\text{середовище}}$  — температура навколишнього середовища.

Для опису потоку води в системі використовується рівняння Бернуллі:

$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const},$$

де  $P$  — тиск у системі (Па),  $\rho$  — щільність води ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ),  $v$  — швидкість потоку ( $\text{м}/\text{с}$ ),  $g$  — прискорення вільного падіння ( $9,8 \text{ м}/\text{с}^2$ ),  $h$  — висота над рівнем відліку (м).

Фізичні властивості води мають вирішальне значення для регулювання температури у системах водопостачання, а математичні моделі забезпечують точний опис і прогнозування поведінки таких систем. Це є основою для створення ефективних автоматизованих систем контролю температури, які сприяють енергоефективності та стабільності роботи.

#### **4.2 Отримання математичної моделі контуру регулювання температури в системі гарячого водопостачання.**

При регулюванні температури враховують дві важливі інерційні складові: інерційність електромеханічної системи та інерційність теплового процесу нагріву.[10] У більшості випадків основну роль відіграє саме інерційність теплового процесу, але під час налаштування плавного

запуску та зупинки перетворювача частоти, який керує насосом, значний вплив також має інерційність електромеханічної частини.

В більшості літературних джерел інерційність теплового процесу описують як послідовне поєднання аперіодичної ланки першого порядку та ланки з чистим запізненням.

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{K_{\text{тп}} e^{-pT}}{(T_{\text{тп1}}p+1)(T_{\text{тп2}}p+1)},$$

де  $K_{\text{тп}}$  – коефіцієнт підсилення теплового процесу,  $T_{\text{тп1}}$ ,  $T_{\text{тп2}}$  – сталі часу перехідного процесу;  $T$  – чисте запізнення процесу нагріву.

При цьому слід відзначити, що в значній більшості технологічних процесів маємо  $T_{\text{тп1}} \gg T_{\text{тп2}}$ .

Інерційність теплового процесу з достатньою точністю описується послідовним з'єднанням аперіодичної ланки першого порядку та ланки із чистим запізнюванням, відповідно:

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{K_{\text{тп}} e^{-pT}}{T_{\text{тп}}p+1},$$

де  $T_{\text{тп}}$  – більша із сталих теплового процесу.

Для нашої системи приймаємо значення сталої часу рівним 4 секундам, тобто перехідний процес нагріву визначаємо як закінчений через 20 секунд. Коефіцієнт підсилення регулятора визначаємо як нелінійний коефіцієнт, що визначається степенем 0,9. Лінійна складова дорівнює відношенню максимальної температури і максимальної швидкості насоса. Чисте запізнення приймаємо рівним одній секунді.[11]

Далі отримаємо математичну модель асинхронного двигуна, що живиться безпосередньо від перетворювача частоти.

Для стандартної частоти  $f_1=50$  Гц електромагнітна стала часу лежить в межах  $T_e=0,001 \div 0,1$  с, при цьому можливі менші значення, що, в свою чергу, відповідають двигунам меншої потужності. Оскільки електромагнітна стала асинхронного двигуна зазвичай менша за електромагнітну сталу синхронного

двигуна із електромагнітним збудженням, тому електромагнітні процеси в ньому протікають швидше. На основі залежності жорсткості механічної характеристики отримуємо передаточну функцію електромагнітного перетворення в асинхронному двигуні із короткозамкненим ротором. При цьому отримуємо опис процесу і вигляді аперіодичної ланки першого порядку:

$$W(p) = \frac{M(p)}{\omega_c(p) - \omega(p)} = \frac{\beta}{1 + T_e p}$$

Доповнюємо отриманий вираз рівнянням руху електроприводу в операторній формі. При цьому використовуємо передаточною функцією механічної частини у вигляді одномасової схеми. При цьому маємо структурну схему двигуна змінного струму, представлену на рисунку 2.6.

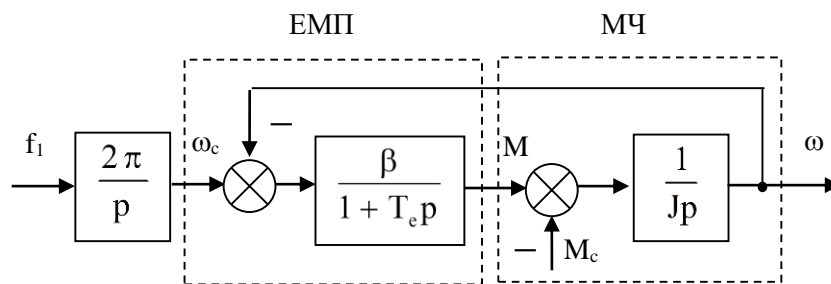


Рис.20 Структурна схема двигуна змінного струму при використанні моделі на основі лінеаризованої механічної характеристики.

Пропорційна ланка на вході моделі визначає залежність між синхронною частотою обертання та частотою на виході перетворювача частоти.[12] При цьому вважаємо, що використовується закон Костенка, тобто забезпечується залежність  $\frac{U}{f} = const$ .

Для опису поведінки перетворювача частоти доцільно використовувати аперіодичну ланку першого порядку:

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

де  $K_{пч}$  – коефіцієнт підсилення перетворювача частоти, що визначається відношенням вихідної частоти та задаючого сигналу. За умови, що з виходу контролера на перетворювач частоти надходить сигнал 0..10В постійного

струму, а на виході частота не перевищує номінальне значення 50Гц, коефіцієнт підсилення ставим рівним 5. Сталу часу приймаємо рівною 0,03с для забезпечення відповідно розгону на рівні 0,1с.

Крім того, слід врахувати вплив зміни моменту навантаження на роботу електродвигуна насосу за залежністю:

$$M_c = K_{\text{впливу}} * \omega^{1,8},$$

де  $K_{\text{впливу}}$  – визначає вплив зміни швидкості на статичний момент навантаження; коефіцієнт 1,8 визначає залежність моменту навантаження у відцентровому насосі, в залежності від зміни швидкості обертання крильчатки.[8]

Відповідно математична модель досліджуваної системи містить нелінійності типу «обмеження», ланку «чистого запізнювання» і два суттєво інерційні об'єкти. При цьому налаштування доцільно робити методом послідовної корекції за бажаним графіком перехідного процесу за швидкодією та характером зміни вихідної координати.

## Розділ 5

### 5.1 Vissim – Програмний засіб для моделювання задач теорії автоматичного керування

VisSim — програмний засіб для моделювання в реальному часі динамічних систем — лінійних і нелінійних, безперервних і дискретних. VisSim може моделювати системи, що містять як безперервні, так і дискретні функції передачі, а також системи з різними часовими відрізками для різних дискретних функцій передачі.

У VisSim ви просто малюєте свою модель як блок-схему односпрямованих блоків. Блоки є основними компонентами. Кожен блок реалізує певне перетворення вхідного сигналу в математичну форму. Перетворення можуть бути простими (наприклад, обчислення функції синуса) і досить складними (наприклад, передаточна функція 15-го порядку).

VisSim пропонує стандартний набір із понад 90 блоків: лінійні стаціонарні інерційні блоки в безперервному та дискретному часі, нелінійні неінерційні блоки, нестаціонарні блоки тощо для моделювання безперервних та дискретних систем. У меню «Блоки» перераховані такі типи блоків:

- Арифметика (множення, розподіл тощо)
- Логіка (алгебра логіки)
- Інтегратори (прості, обмежені, скидання)
- Лінійні системи (передатні функції неперервні та дискретні)
- Нелінійні (функціональні перетворення)
- Генератори випадкових чисел (з різними законами розподілу)
- Споживачі сигналів (графографи, стрілочні вимірювачі і тд..)
- Генератори сигналів (один крок, синусоїдальний сигнал і тд.)
- Затримки часу

За потреби можна створювати користувацькі блоки та користувацькі функції. Можна будувати багаторівневі ієрархічні моделі, об'єднуючи частину

структурної діаграми в один єдиний блок із власним ім'ям. Це забезпечує виняткову еластичність при побудові складних моделей. У цьому випадку використовується принцип чорного ящика, коли внутрішня структура блоків прихована на верхньому рівні ієрархії.

Можливість комбінувати блоки сприяє модульному, ієрархічному підходу до складання складних моделей. Ви можете мати скільки завгодно рівнів ієрархії (вкладеності) блоків.

VisSim може мати дуже широку сферу застосування, але його основне призначення — моделювання задач теорії автоматичного керування (аналіз та синтез систем автоматичного керування, фільтрів тощо).

VisSim має дуже простий, зрозумілий і зручний інтерфейс, працює в середовищі Windows, вимагає досить багато пам'яті (близько 5 мегабайт), містить всі необхідні інструменти і не має нічого зайвого. Це набагато легше навчитися, ніж аналогічний, але більш потужний інструмент Simulink із програмного продукту Matlab. Тому його можна рекомендувати як навчально-розрахунковий засіб для курсу «Моделювання та ідентифікація об'єктів і систем», для курсового та дипломного проектування за спеціальністю «Автоматизація та керування технологічними процесами»

У даній роботі VisSim використовується для статистичного моделювання енергоефективності автономної сонячної електростанції окремого житлового будинку.

## 5.2 Моделювання динаміки регулювання

Моделювання відбувалося за допомогою спеціалізованого програмного засобу для моделювання завдань теорії автоматичного управління в реальному часі – VisSim. Одна секунда на моделі відпвідає одній хвилині у реальному часі.

На рис. 21 представлена схема статистичного моделювання динаміки регулювання температури. Модель контуру регулювання (зліва вгорі) включає моделі об'єкта регулювання (Plant) та П-регулятора (P-regulator). Модель об'єкта реалізує передатну функцію

$$\frac{K_o e^{-p\tau}}{T_o p + 1}$$

Де

$K_o = 1.0$  - Статичний коефіцієнт передачі об'єкта, в град /%;

$T_o = 15.0$  – Основна постійна часу об'єкта, в хв;

$\tau = 1.0$  – Запізнення об'єкта, в хв;

Модель регулятора реалізує передатну функцію

$$\frac{K_1}{T_1 p + 1}$$

Де

$T_1 = 1.7$  хв – постійна часу регулятора

$K_1 = 10$  %/ град. - Коефіцієнт пропорційності регулятора

Вказана температура 50 градусів.

Обурення (зміна споживання гарячої води) моделюється блоком Consumption. На рис. 22 наведена внутрішня структура блоку моделювання випадкового впливу Consumption (варіації споживання гарячої води) з попередньої схеми. Обурення формується як сума трьох складових:

1. Постійна складова (= 55)

2. Синусоїда (Sinusoid) з амплітудою 35 та періодом 12 годин

3. Випадкова складова. Остання формується з білого шуму (White noise) із середньоквадратичним значенням 800, шляхом пропускання його через лінійний інерційний формуючий фільтр (Shaping filter). На рис. 23 наведена внутрішня структура формує фільтра Shaping filter з попередньої схеми. Вона включає три аперіодичні ланки з постійними часу 10, 5, 2 хв.

Рисунок 24 ілюструє наявність статичної помилки регулювання, неминучою при пропорційному регулюванні. З графіка видно, що температура води залежить від її споживання і не завжди відповідає заданій (50 град). Так як висока точність підтримки температури гарячої води не потрібна, то таку помилку ( $\pm 5$  град. від заданої температури) можна вважати допустимою.

Крім того, пропорційне регулювання може призвести до нестійкості системи, якщо об'єкт регулювання має несприятливі динамічні властивості. Рис. 25 ілюструє незагасаючі коливання температури та керуючого впливу в системі автоматичного регулювання при виборі параметрів об'єкта, що відповідають межі стійкості.

На рис.26 наведена межа стійкості системи автоматичного регулювання в площині параметрів об'єкта регулювання. Для стійкості необхідно, щоб запізнення об'єкта було менше постійної часу об'єкта як мінімум в 7.5 разів. Розрахункова точка відповідає стійкій роботі системи. Але зменшення постійного часу об'єкта з 15 до 7 хвилин виведе систему на межу стійкості. Таким чином, до теплообмінника пред'являються досить жорсткі вимоги, і для кожної модифікації теплообмінника розрахунок стійкості системи автоматичного регулювання потрібно обов'язково проводити заново.

На рис. 27 наведена схема статистичного моделювання роботи лічильника тепла. Потужність теплоспоживання (Heat consumption) обчислюється як витрати води (Water consumption) на її температуру (Temperature). Обчислення проводиться у блоці Heat consumption. Осцило-грами зазначених змінних наведено на осцилографі Plot. Загальна кількість спожитого тепла обчислюється шляхом інтегрування потужності теплоспоживання в часі.

Інтегрування здійснюється у блоці Intergal heat consumption. Осцилограма відповідної змінної видно на ос-цилографі Plot у вигляді зростаючої кривої.

Рисунок. 28 ілюструє можливість економії тепла за рахунок зменшення заданої температури. При зменшенні заданої температури гарячої води з 65 до 50 градусів інтегральне споживання тепла зменшується на 25% (при припущенні, що обсяг споживання гарячої води залишається незмінним).

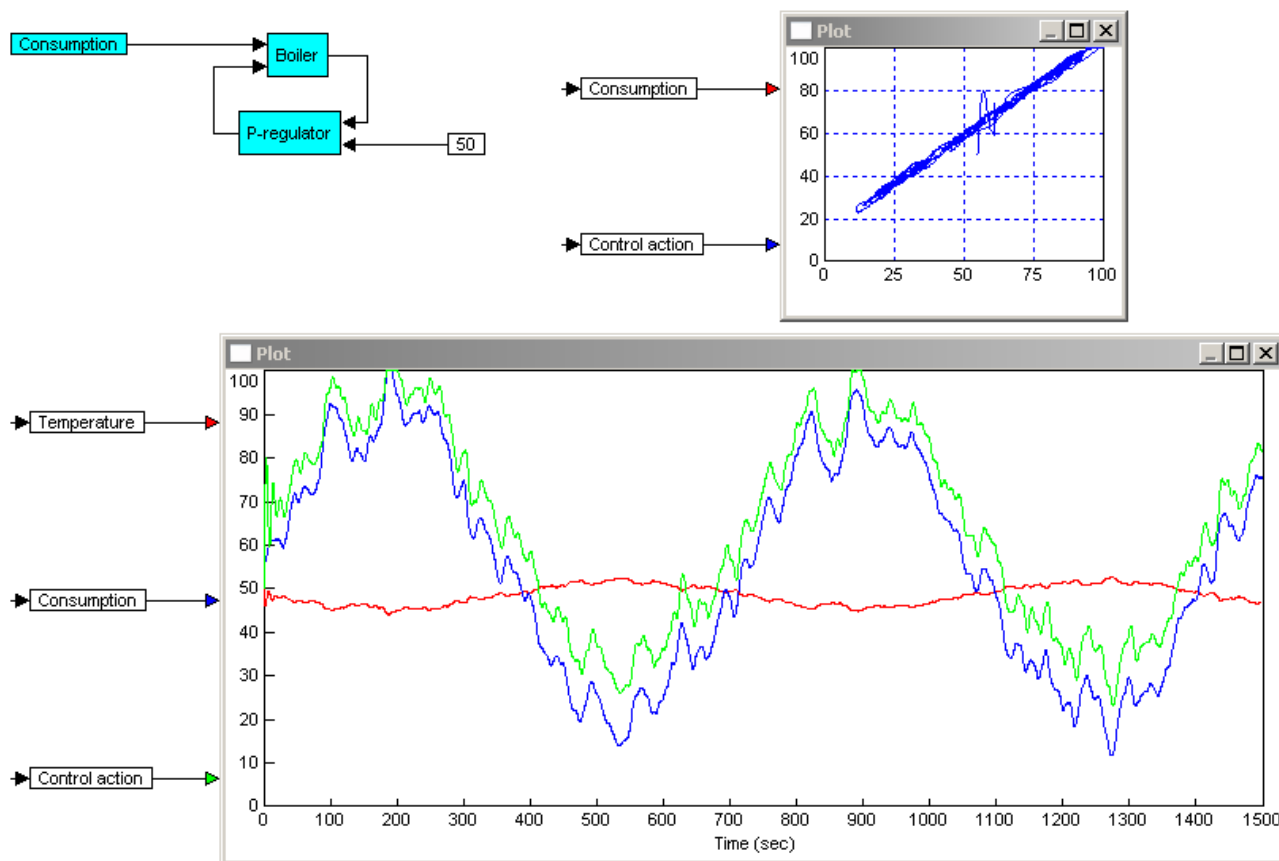


Рис.21. - Статистичне моделювання динаміки регулювання температури

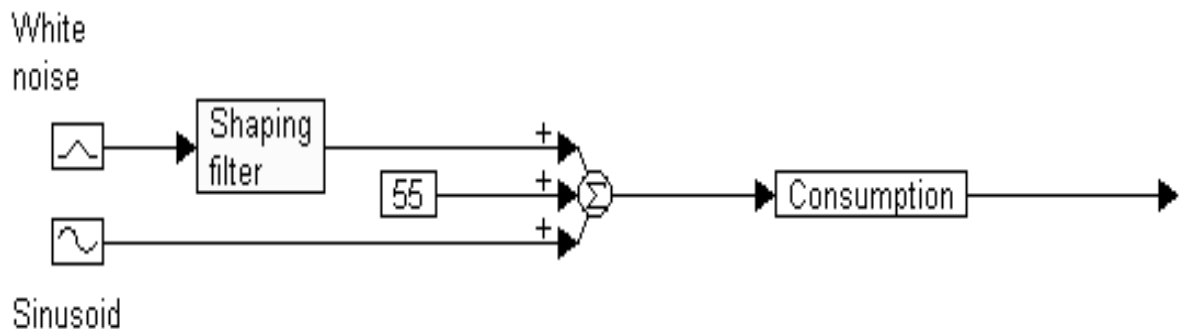


Рис.22. - Внутрішня структура блоку моделювання випадкового впливу, що обумовлює (варіації споживання гарячої води)

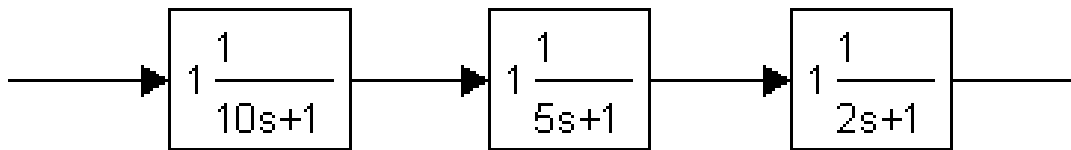


Рис.23. - Внутрішня структура формуючого фільтра Shaping filter

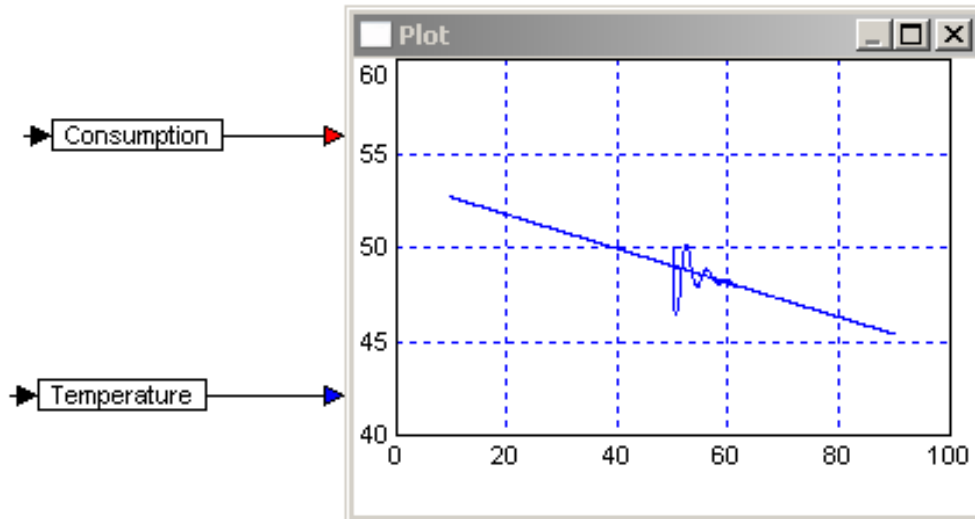


Рис.24. - Статична помилка регулювання, немінуча при пропорційному регулюванні (температура води залежить від її споживання)

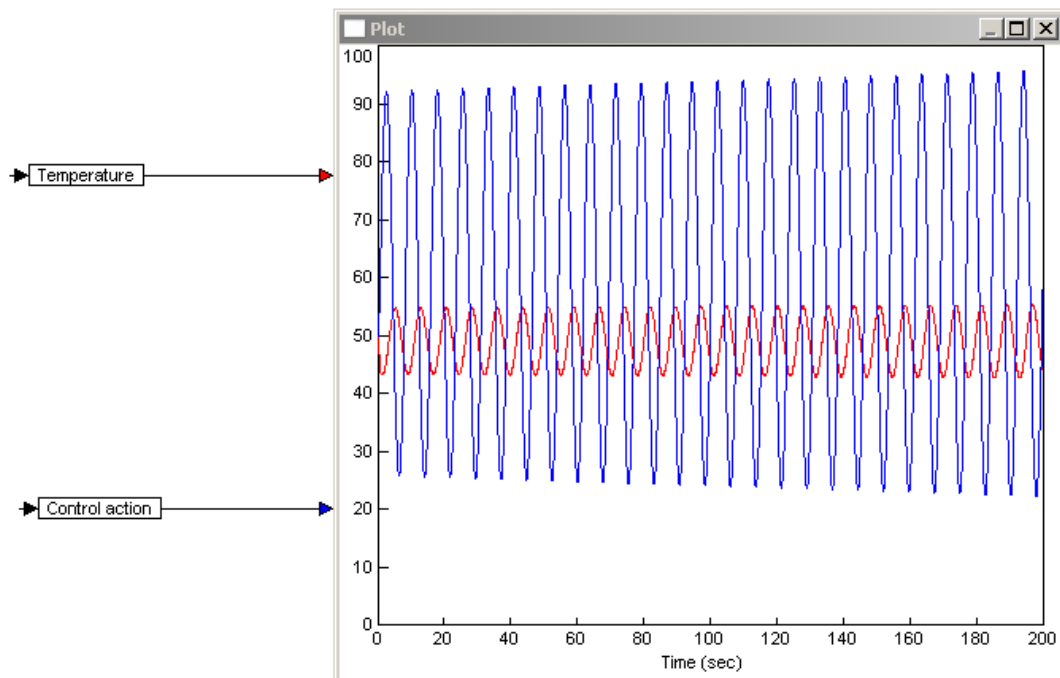


Рис.25. - Незагасні коливання температури та керуючого впливу в системі автоматичного регулювання при виборі параметрів об'єкта, що відповідають межі

стійкості

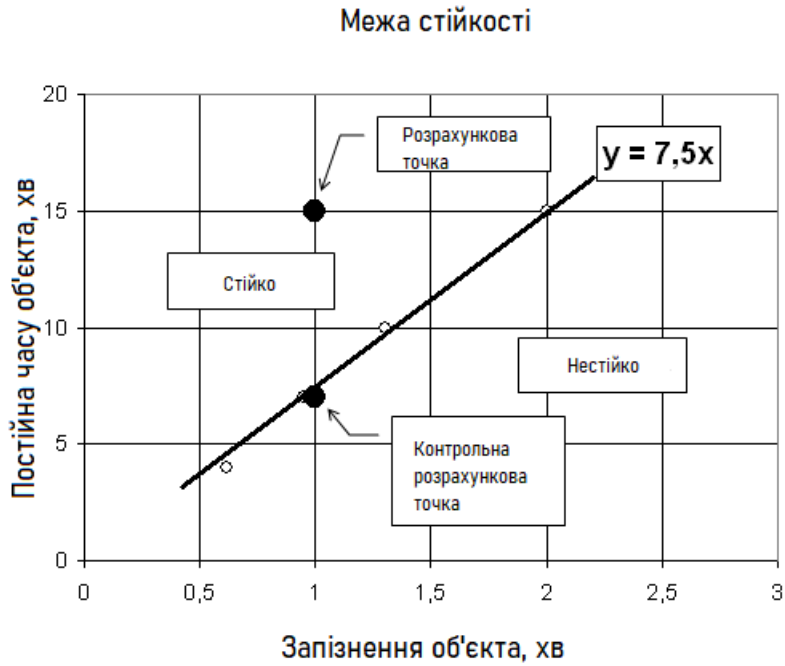


Рис.26. - Кордон стійкості у площині параметрів об'єкта регулювання

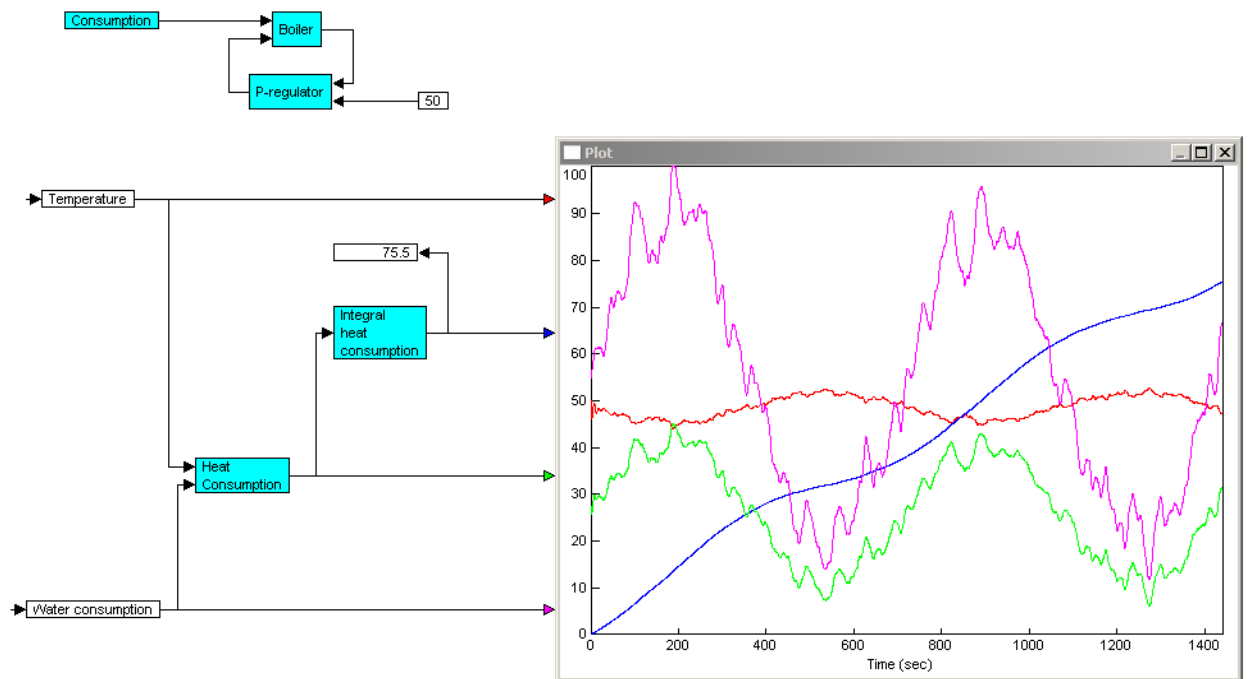


Рис.27. Статистичне моделювання динаміки лічильника тепла

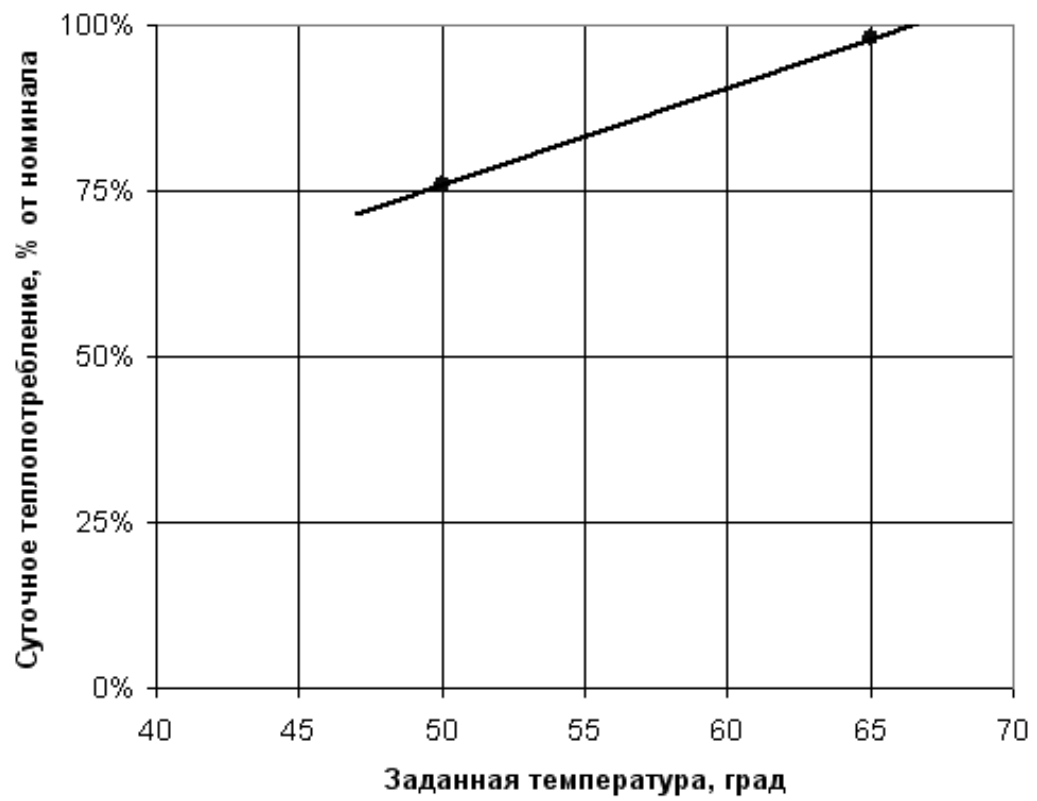


Рис.28. - Можливість економії тепла за рахунок зменшення заданої температури

## Розділ 6 Економічний розділ

### 6.1 Розрахунок вартості конструкторської роботи

Розрахунок вартості конструкторської роботи на усіх етапах конструкторської підготовки наведено в таблиці 6.1. Нормативні значення граф даної таблиці взяті на основі практичних занять, норма трудомісткості на одиницю документу визначено на етапі виготовлення технічної документації. Оплата провідного спеціаліста-конструктора в проектних бюро складає 8000,00 грн. (основна + додаткова) за 160 годин. Отже заробітна платня за один робочий день становить:  $8000,00/160 \cdot 8 = 400,00$  грн./год., розраховані та отримані дані заносимо до таблиці 6.1 та отримуємо загальну картину.

Таблиця 6.1. Розрахунок витрат на розробку ПКД

№ п/п	Найменування документації	Формат документу	Кількість документів	Норма трудомісткості на 1 документ, год.	Загальна трудомісткість даного документу, нормо-	Кількість виконавців, чол.	Трудомісткість кожної роботи, днів ( гр.6 / 8,0)	Середньоденна оплата праці*, грн.	Оплата праці за дану роботу, грн.(гр.8 × гр.9)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Розробка загального виду	A1	1	2	2	1	0,25	400,00	100,00
2	Розробка схеми функціональної	A1	1	8	8	1	1	400,00	400,00
3	Розробка схеми електричної принципової	A1	1	16	16	1	2	400,00	800,00

4	Розробка схеми електричної з'єднувань	A1	1	16	16	1	2	400,00	800,00
5	Зовнішній вигляд щита	A1	1	8	8	1	1	400,00	400,00
6	Пояснювальна записка	A4	70	1	70	1	8,75	400,00	3500,00
7	Всього				120		15		6000,00

При розрахунку витрат маємо врахувати процес коригування та уточнення документації, витрати на сплату єдиного соціального внеску та інші витрати (витрати на папір, друк, силову електроенергію, папки тощо).

Вартість корегування ПКД становить 20% витрат на розробку конструкторської документації. Тоді, витрати на корегування становлять 1200,00 грн. ( $6000,00 \times 0,2$ ).

Сума витрат на сплату ЄСВ – 1584,00 грн. ( $(6000,00 + 1200,00) \times 0,22$ ).

Амортизація комп'ютера для розробки конструкторської документації (дані табл. 6.1) – 365,84 грн. ( $(15190,00 \times 40 \times 120) / (100 \times 1993)$ ).

Затрати на ремонт комп'ютера для розробки конструкторської документації (дані табл. 6.1) – 45,73 грн. ( $(15190,00 \times 5 \times 120) / (100 \times 1993)$ ).

Витрати на електроенергію при використанні комп'ютера для розробки конструкторської документації (дані табл. 2.1) – 17,34 грн. ( $120 \times 0,05 \times 2,89$ ).

Витрати на матеріали. Для розробки конструкторської роботи використовувались допоміжні матеріали, наведені в таблиці 6.2. Ціни на ці матеріали взяті з сайтів <http://www.number1.in.ua> та <http://www.grand.ua> за 2019 рік.

Таблиця 6.2. Витрати на матеріали

Найменування матеріалу	Ціна, грн.	Витрачен о	Сума, грн.
Папка «Кутник» А4	3,05	3	9,15
Папка «Швидкозшивач » Clip А, А4	16,20	1	16,20
Ручка кулькова «Universal»	4,52	2	9,04
Олівець пластиковий «EcoSoftEconomix»	9,37	2	18,74
Маркер текстовий «Economix»	12,00	1	12,00
Папір «BalletUniversal А4 80 г/м2» 500 листів	143,00	1	143,00
Коректор	30,00	1	30,00
Папір формату А1	8,00	10	80,00
Тонер для принтеру	140,00	1	140,00
Всього, грн.			458,13

У таблиці 6.3 подана інформація про загальні витрати пов'язані з розробкою та виготовленням проектно-конструкторської документації.

Таблиця 6.3. Кошторис витрат на розробку та виготовлення ПКД

№ п/п	Вид конструкторської роботи	Вартість роботи, грн.	Розрахунок, джерело
1.	Витрати на розробку документації	6000,00	Табл. 6.1
2.	Витрати на корегування	1200,00	Розрахунок вище
3.	Витрати на сплату ЄСВ	1584,00	Розрахунок вище
4.	Амортизація комп'ютера	365,84	Розрахунок вище
5.	Затрати на ремонт комп'ютера	45,73	Розрахунок вище
6.	Сплата електроенергії	17,34	Розрахунок вище
7.	Витрати на матеріали	458,13	Табл. 6.2
8.	Всього	9671,04	

### 6.1. Розрахунок собівартості монтажних-налагоджувальних робіт

Витрати на виробництво відображають витрати на придбання усіх видів ресурсів, які безпосередньо спрямовані на виробництво продукції (виконання робіт, надання послуг). Наприклад, на сировину і матеріали, енергію, спожиту на технологічні цілі, заробітну плату основних робітників із нарахуваннями, амортизацію обладнання та ін.

Для розрахунку витрат застосовую позачасний метод, так як це одноразове замовлення, а саме проект автоматизації системи автоматизації регулювання температури гарячої води в системі водопостачання і потрібен прямий обрахунок затрат на виробництво окремого замовлення. Плануються такі витрати:

1. Амортизація основних виробничих засобів;
2. Витрати на МШП основних виробничих засобів;
3. Витрати на ремонт основних виробничих засобів;
4. Витрати на оборотні активи;

5. Витрати на силову технологічну електроенергію;
6. Витрати на оплату праці працівників;
7. Витрати на сплату єдиного соціального внеску;

Процес відшкодування зношування основних фондів здійснюється шляхом амортизації. Амортизація – економічний процес поступового перенесення вартості основних засобів в міру їхнього зношування на виготовлену продукцію і використання цієї вартості для відтворення засобів праці. У таблиці 6.4 показано розрахунок амортизаційних відрахувань прямолінійним методом та витрат на ремонт основних виробничих засобів.

Таблиця 6.4. Розрахунок амортизаційних відрахувань та витрат на ремонт основних виробничих засобів

Найменування основних засобів	Первинна вартість, грн.	Річна норма амортизації, %	Фактичний час використання, год.	Нормативний час використання за рік, год.	Сума амортизаційних відрахувань, грн. (гр.2×гр.3×гр.4)/100×гр.5	Затрати на ремонт, грн. (гр.2×5×гр.4)/100×гр.5
1	2	3	4	5	6	7
ПК для налагодження	15700,00	25%	40	1993	78,78	15,76
Всього	15700,00	---	---	---	78,78	15,76

Також будуть використані малоцінні швидкозношувані предмети основних виробничих засобів, особливістю яких є перенесення їх вартості на протязі 1 року експлуатації (табл. 6.5).

Таблиця 6.5. Витрати на малоцінні швидкозношувані предмети

Найменування сировини, матеріалів, робіт і послуг	Одиниця виміру	Кількість одиниць	Ціна ресурсу = обліковій ціні, грн.	Коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат	Вартість, грн. (гр.4×гр.5)
1	2	3	4	5	6
Шуруповерт	шт.	1	789,00	1,05	828,45
Інвертор	шт.	1	2466,70		2590,04
Набір викруток	шт.	1	466,00		489,30
Набір свердл	шт.	1	224,00		235,20
Бокорізи	шт.	1	269,00		282,45
Пасатижі	шт.	1	246,00		258,30
Всього:					
Отже, витрати від використання МШП					124,56

Корегування витрати МШП на тривалість здійснення монтажно-налагоджувальних робіт за формулою:

$$V_{\text{МШП}} = VР_{\text{МШП}} \times t_{\text{вик.МШП}} / \Phi_e \quad (6.1)$$

де:  $t_{\text{вик.МШП}}$  – час використання МШП, год. (стор. 44);  $\Phi_e$  – час

використання засобу у періоді, годин ( $\Phi_{e(2019)}=1993$  год.).

Отже, витрати від використання МШП : 124,56 грн. ( $4683,74 \times 53 / 1993$ ).  
 Виробничі запаси – це запаси засобів виробництва, які знаходяться на складах суб'єктів господарювання та потрібні для забезпечення безперервного виробничого процесу, це лише ті предмети праці, які ще не приймають участь у процесі виробництва і зберігають свою натурально-речову форму. У таблиці 6.6 проведені розрахунки оборотних активів.

Таблиця 6.6. Розрахунок витрати на оборотні активи

№ п/п	Назва ресурсу	Од. Вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1.	Електроенергія	Грн за кВт/год	2,64	1	2201,76	26421,12
2.	<b>Витрати на купівлю компонентів</b>					
2.1	Вимикач навантаження GA100A	шт.	2291,81	1	2291,81	27501,72
2.2	Модульний автоматичний вимикач Eх9BN 1P C6	шт.	105,36	1	105,36	1264,32
2.3	Модульний автоматичний вимикач Eх9BN 3P C40	шт.	326,57	1	326,57	3918,84
2.4	Автомат захисту двигуна SM1R1000	шт.	1165,88	1	1165,88	13990,56
2.5	Контактор BF1810A230	шт.	1489,68	1	1489,68	17876,16
2.6	Термостат вентилятора NSYCCOTHO	шт.	498,25	1	498,25	5979
2.7	Вентилятор NSYCVF165M230PF	шт.	2765,44	1	2765,44	33185,28
2.8	Шафа EV66-1284 1200*800*400 мм	шт.	5362,7	1	5362,7	64352,4
2.9	Решітка випускна NSYCAG223LPF	шт.	623,54	1	623,54	7482,48
2.10	Ручка для з'єднання дверей GAX61	шт.	205,36	1	205,36	2464,32
2.11	Подовжувач валу для з'єднувальних ручок дверей GAX7150	шт.	99,35	1	99,35	1192,2
3	<b>Витрати на компоненти системи автоматизації</b>					
3.1	Частотний перетворювач ESV153N04TXB 15кВт	шт.	92563,54	1	92563,54	1110762,48
3.2	КТР-121.220.03.10 Контролер для автоматичного керування котельнею	шт.	5687,26	1	5687,26	68247,12
3.3	NTC 10К. Датчик температури загальнопромисловий	шт.	75,64	2	151,28	1815,36
<b>Всього:</b>				16	115537,78	1386453,36

1) Перелік елементів контрі необхідно купити для модернізації;

2) Додаток І;

3) гр. 6 = гр. 3 × гр. 4 × гр. 5.

У таблиці 6.7 розраховані витрати на технологічну електроенергію для здійснення підготовчих та заготівельних робіт.

Таблиця 6.7. Розрахунок витрати на силову технологічну електроенергію

Назва пристрою	Потужність, кВт/год.	Кількість одиниць, шт.	Фактична тривалість роботи, год.	Спожита ел. енергії кВт. год.	Тариф оплат, грн.-	Сума, грн.
1	2	3	4	5	6	7
Шуруповерт	0,28	1	2	0,56	2,89	1,62
Інвертор	2,85	1	7	20,00		57,80
Всього:				20,56		59,42

1) гр. 6 – тариф оплати взято із сайту енергогенеруючої компанії; 2)

гр. 7 = гр. 2 × гр. 3 × гр. 4 × гр. 6.

Оплата праці – це грошовий вираз вартості і ціни, який виступає у формі будь-якого заробітку, виплаченого власником підприємства працівникові за виконану роботу. Оплата праці складається з основної і додаткової оплати праці, які знаходяться. Для розрахунку оплати праці застосовуємо погодинно-преміальну систему оплати праці – це система оплати праці, коли робітник одержує не тільки прямий погодинний заробіток, але і премію, яка передбачена за виконання планових показників роботи. У таблиці 6.8 розраховані витрати на заробітну плату працівників, які здійснюють монтажні-налагоджувальні роботи.

Таблиця 6.8. Розрахунок витрати на оплату праці працівників

Вид робіт, професія, посада	Обсяг робіт		Годинна оплата праці, грн. <sup>1</sup>	Основна оплата праці, грн.	Додаткова оплата праці, грн.	Всього оплата праці, грн.
	Одиниця виміру	Кіль- кість				
1	2	3	4	5	6	7
1. Заготовчі роботи	години	8	76,00	608,00	121,60	729,60
2. Підготовчі роботи	години	8	76,00	608,00	121,60	729,60
3. Монтажні роботи	години	32	76,00	2432,00	486,40	2918,40
4. Налагоджувальні роботи	години	8	76,00	608,00	121,60	729,60
Всього:		56				5107,20

1) гр. 4 – ставка робітника котрий виконує МНР - 76,00 грн.

2) гр. 5 = гр. 3 × гр. 4;

3) гр. 6 = гр. 5 × 20% преміальної доплати;

4) гр. 7 = гр. 5 + гр. 6

В табл. 6.9 здійснено розрахунок витрат на сплату єдиного соціального внеску котрий нараховується на оплату праці працівників котрі виконують монтажні та налагоджувальні роботи.

Таблиця 6.9. Розрахунок витрати на сплату єдиного соціального внеску

Вид обов'язкового платежу	База для нарахування платежів		Ставка платежів, %	Сума платежу, грн.
	Назва	Сума, грн.		
1	2	3	4	5
Єдиний соціальний внесок	ЗП нарахована	5107,20	22	1123,58

## 6.2. Кошторис додаткових капітальних вкладень

В даному розділі визначається загальна величина капітальних вкладень при розробці, монтажі та налагодженні нової системи автоматизації регулювання температури гарячої води в системі водопостачання

Таблиця 6.10. Кошторис додаткових капітальних вкладень

№ п/п	Вид конструкторської роботи	Вартість роботи даного виду, грн..	Розрахунок, джерело розрахунку
1.	Витрати на розрахунок ПКД	9671,04	Таблиця 6.3
2.	Амортизація основних виробничих засобів	78,78	Таблиця 6.4
3	Витрати на ремонт основних виробничих засобів	15,76	Таблиця 6.4
4	Витрати на МШП	124,56	Таблиця 6.5
5	Витрати на оборотні активи	66204,92	Таблиця 6.6
6	Витрати на силову технологічну електроенергію	59,42	Таблиця 6.7
7	Витрати на оплату праці працівників	5107,20	Таблиця 6.8
8	Витрати на сплату єдиного соціального внеску	1123,58	Таблиця 6.9
9	Всього:	82385,26	$\Sigma = 1 \dots 8$ табл. 6.10

### 6.3. Економічна ефективність використання ресурсного потенціалу

Термін «ефект» має значення результату, наслідку зміни стану певного об'єкта, зумовленої дією зовнішнього або внутрішнього фактору. Ефекти можуть бути як позитивними, коли зміни є корисними, так і негативними, коли зміни деструктивні, або нульовими, коли змін немає. Таким чином, існує як об'єктивна зміна стану певної системи (об'єкта), так і її оцінка.

Передбачається досягнення наступних ефектів:

- 1) економія зниження витрат на оплату силової електроенергії за рахунок зменшення електроенергії, що споживається;
- 2) економія фонду заробітної плати з обов'язковими відрахуваннями за рахунок зменшення кваліфікаційного рівня працівника.

Розрахункова формула першої економії має вигляд:

$$E1 = (N_1 - N_2) \times C_{\text{обл.}} \times T_{\text{річ.}} \quad (6.2)$$

де:  $E1$  – розмір економії, грн.;

$N_1$  – розрахункова потужність споживання базового варіанту до модернізації, кВт·год ( $N_1 = 8,32$  кВт·год.);

$N_2$  – очікувана потужність споживання варіанту що пропонується після модернізації, кВт·год ( $N_2 = 6,4$  кВт·год.);

$C_{\text{обл.}}$  – облікова ціна 1 кВт × год силової електричної енергії, грн. ( $C_{\text{обл.}} = 2,89$  грн.);

$T_{\text{річ}}$  – кількість годин роботи за рік 2019, 1993 годин.

Тоді, розмір економії за рахунок зменшення номінальної потужності спожитої силової електроенергії становить:

$$E1 = (8,32 - 6,4) \times 2,89 \times 1993 = 11058,76 \text{ грн.}$$

Економія за рахунок зменшення кваліфікаційного рівня працівника. Базову систему автоматизації регулювання температури гарячої води в системі водопостачання обслуговує 1 працівник 6-го кваліфікаційного розряду, а передбачається, що для роботи буде достатньо одного робітника 5 розряду.

Розрахункова формула розміру економії фонду заробітної плати за рахунок зниження кваліфікаційного рівня працівника має вигляд:

$$E2 = (ЗП_6 - ЗП_5) \times (1 + 22 / 100) \quad (6.3)$$

У таблиці 6.11 наведені дані для розрахунку фондів оплати праці найманих робітників з врахуванням зменшення розряду, а також зменшення кількості працівників.

Таблиця 6.11. Розрахунок фонду оплати праці

Кваліфікація оператора	Обсяг робіт		Годинна тарифна ставка 1-го	Тарифний	Сума основної оплати праці, грн. (гр. 3 × гр. 4 × гр. 5)	Додаткова оплата праці, грн. (0,2 × гр. 6)	Всього оплати праці (ЗП), грн.
	Один. виміру	Т <sub>річ</sub> , год.*					
1	2	3	4	5	6	7	8
6-ий розряд	год.	1993	70,00	1,45	202289,50	40457,90	242747,40
5-ий розряд	год.	1993		1,36	189733,60	37946,72	227680,32

*Примітка:* \* - у 2019 році, норма часу при 40 годинному тижні становить 1993 год.

\*\* - зарплатна ставка 1-го розряду становить 70,00 грн.,

\*\*\* - тарифні коефіцієнти 6-го розряду – 1,45, та 5-го розряду – 1,36.

Тоді, величина економії фонду оплати праці становить:

$$E2 = (242747,40 - 227680,32) \times (1 + (22/100)) = 18381,84 \text{ грн.}$$

Отже, загальний розмір економії – це сума вище розрахованих величин економічних ефектів:

$$E_{\text{заг}} = E_1 + E_2 = 11058,76 + 18381,84 = 29440,60 \text{ грн.}$$

Загальна методологія визначення економічної ефективності може бути формалізована таким співвідношенням :

$$F = \frac{E}{P} \quad (6.4)$$

де :  $F$  – ефективність;

$E$  – результати;

$P$  – витрати (ресурси).

До показників економічної ефективності належать термін окупності ( $T_{\text{ок}}$ ) та коефіцієнт економічної ефективності ( $E_p$ ). Для розрахунку терміну окупності загальну величину капітальних вкладень (ДКВ – всього витрат (табл. 6.10)) ділять на загальний розмір економії ( $E_{\text{заг}}$ ).

$$T_{\text{ок}} = \frac{\text{ДКВ}}{E_{\text{заг}}} = \frac{82385,26}{29440,60} = 2,8 \text{ роки}$$

Отримане розрахункове значення порівнюють з рекомендованою нормативною величиною ( $T_{ок} = 4$  роки), і якщо розраховане значення є меншим рекомендованої нормативної величини, то реалізація даного проекту є економічно вигідною для замовника. Проведені розрахунки дають право стверджувати, що розроблена система автоматизації регулювання температури гарячої води в системі водопостачання є економічно вигідною.

#### 6.4. Техніко-економічні показники

№	Найменування показника	Аналог (база)	Пропонований варіант
1	2	3	4
Технічні показники			
1	Тип керування	ручний	автоматичний
2	Кількість контролюючих параметрів	-	6
3	Споживаємо потужність, кВт.	8,32	6,4
4	Норма обслуговування, чол.	1	1
5	Кваліфікаційний рівень персоналу	6	5
Економічні показники			
7	Величина додаткових капітальних вкладень	-----	82385,26
8	Загальна величина економії, в т.ч.:	-----	29440,60
9	- за рахунок зменшення потужності, що споживається	-----	11058,76
10	- за рахунок зменшення фонду оплати праці у результаті зниження кваліфікаційного рівня працівників	-----	18381,84
11	Термін окупності вкладень	-----	2,8

## Висновки

Основною метою було підвищення енергоефективності, зниження витрат та покращення якості послуг водопостачання за рахунок використання сучасних методів контролю температури.

Завдяки впровадженню систем автоматизації вдалося досягти стабільного і точного контролю температури гарячої води, що забезпечило зменшення теплових втрат під час транспортування та значне зниження енергоспоживання. Використання датчиків, контролерів та систем дистанційного моніторингу сприяло оперативному реагуванню на зміну зовнішніх умов і запитів споживачів, що мінімізувало витрати теплової енергії.

Автоматизація також позитивно вплинула на економічні показники системи. Зменшення витрат на паливо та зниження навантаження на обладнання дозволили оптимізувати експлуатаційні витрати та підвищити термін служби ключових елементів системи водопостачання.

У роботі підкреслено перспективи подальшого розвитку автоматизації в системах водопостачання, зокрема інтеграцію відновлюваних джерел енергії та впровадження новітніх технологій управління для забезпечення ще більшої ефективності. Результати дослідження підтвердили доцільність та ефективність автоматизації регулювання температури гарячої води, що сприяє як економічним, так і екологічним вигодам.

## Список використаної літератури

1. Савченко, К. Ф. Регулювання швидкості теплового потоку з використанням частотного перетворювача. 2021.
2. Казачковський, М. М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти. 2017.
3. Пекуровський, Г. В.; Барабаш, О. В. Налаштування параметрів ПД-регулятора при синтезі адаптивної системи автоматичного управління активною компенсацією вібрації. Системи озброєння і військова техніка, 2012, 4: 139-142.
4. Непомнящий, Владислав Олександрович; Непомнящий, Владислав Олександрович. ПД-регулятор для двигунів постійного струму. 2020. Master's Thesis. Національний університет «Запорізька політехніка».
5. Колієнко, А. Г.; Супрун, Т. Т.; Шеліманова, О. В. Оптимізація системи регулювання відпуску теплоти. 2021.
6. Контрольно-вимірювальні пристрої та засоби автоматизації АКУТЕК. Режим доступу: <https://aqteck.com.ua>, 25.11.23 – вільний.
7. КТР-121. Контролер для автоматичного керування котельнею. Режим доступу: <https://aqteck.com.ua/ua/vymiryuvachi-reguljatory/ktr-121-kontroler-dlja-avtomatycznogo-keruvannja-kotelneju> 25.11.23 - вільний.
8. Торопов А.В. Квазіоптимальне нелінійне керування насосною станцією при стабілізації тиску/А.В. Торопов, Л.В. Торопова, О.Ю. Боднарук// Збірник матеріалів конференції «Actual priorities of modern science, education and practice», March 29 – April 01, 2022, Paris, France . -с. 858- 862.
9. Торопов А.В. Применение моторизованных переключателей Sircover в системах управления канализационными насосными станциями/А.В. Торопов, М.Ю. Горобець//Збірник матеріалів конференції «Наукові праці Sworld» - т.3(1) – с.24-28.
10. Торопов А.В. Підвищення рівня автоматизації шахтних водовідливних установок при живленні насосів від пристроїв плавного пуску/А.В. Торопов//

Вісник Національного технічного університету України" Київський політехнічний інститут". Серія" Гірництво" - №.25, 2014.- с.110-115.

11. Чермалих О.В. Підвищення надійності частотно-регульованого електроприводу каскадних систем стабілізації тиску насосних станцій/А.В. Чермалих, А.В. Торопов// Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика, №36(1009), 2013, с.157-160

12. Основи побудови комп'ютерних інтегрованих систем . Режим доступу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41542/1/Osnovy\\_pobudovy.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41542/1/Osnovy_pobudovy.pdf) - вільний.

Іваненко, В. І. Система керування каскадним насосом станції водопостачання багатоповерхового житлового будинку : магістерська дис. : 141  
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Іваненко Владислав Ігорович. – Київ, 2020. – 85 с.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХИТЕКТУРИ

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИЗАЦІЇ І ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**на тему: А втоматизація регулювання температури гарячої  
води в системі водопостачання**

ВИКОНАВ СТУДЕНТ: ДРИГА ВАЛЕНТИН ІГОРОВИЧ

КЕРІВНИК: ІНОСОВ СЕРГІЙ ВІКТОРОВИЧ К.Т.Н., ДОЦЕНТ

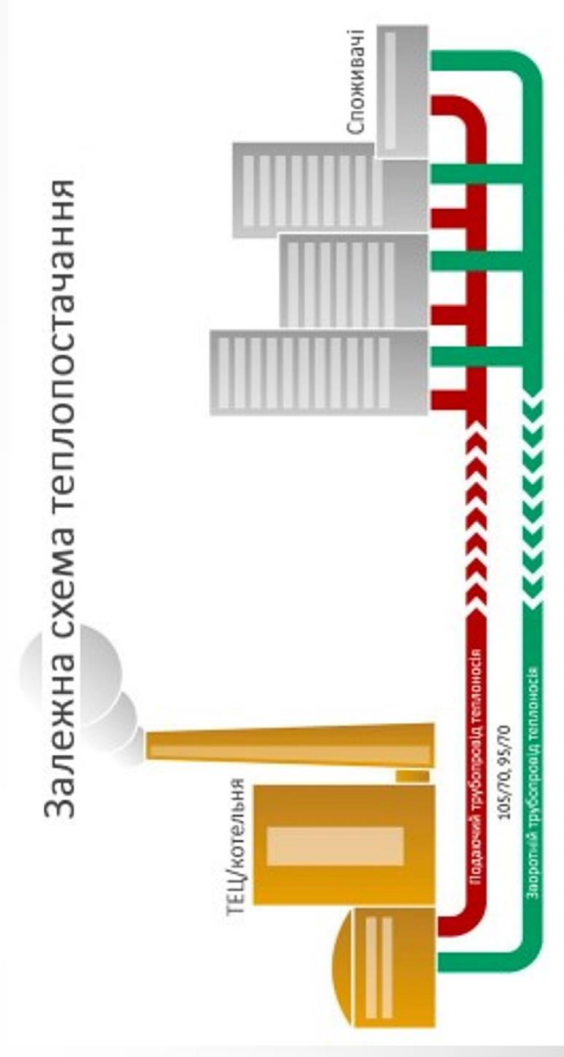
Додаток 1

## Метою даного проєкту є

- **Підвищення енергоефективності** Метою дипломного проєкту є розробка системи автоматизації регулювання температури гарячої води, що дозволить оптимізувати енергоспоживання та знизити теплові втрати, підвищуючи загальну ефективність системи водопостачання.
- **Поліпшення якості послуг водопостачання** Забезпечення стабільного та точного контролю температури гарячої води для підвищення комфорту користувачів та відповідності сучасним вимогам якості.
- **Впровадження сучасних технологій** Метою є інтеграція інноваційних автоматизованих систем управління, включаючи датчики, контролери та технології дистанційного моніторингу, для покращення функціонування системи водопостачання.
- **Зменшення експлуатаційних витрат** За рахунок автоматизації процесів передбачається зниження витрат на паливо та зменшення зносу обладнання, що сприятиме економії коштів та підвищенню довговічності системи.

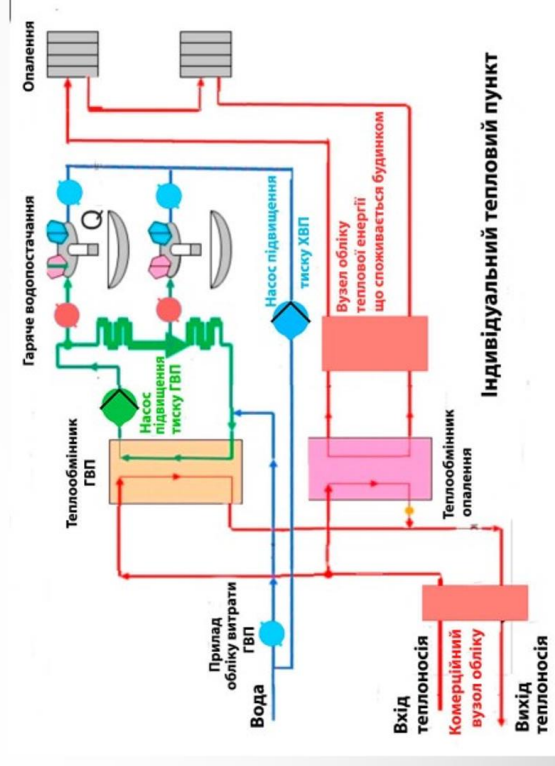
## Системи централізованого теплопостачання

Системи централізованого теплопостачання (СЦТ) — це комплекси інженерних рішень, які забезпечують теплову енергію для обігріву будівель і постачання гарячої води. Такі системи використовуються для обслуговування житлових будинків, комерційних та промислових об'єктів у багатьох містах світу, особливо в регіонах з холодним кліматом.



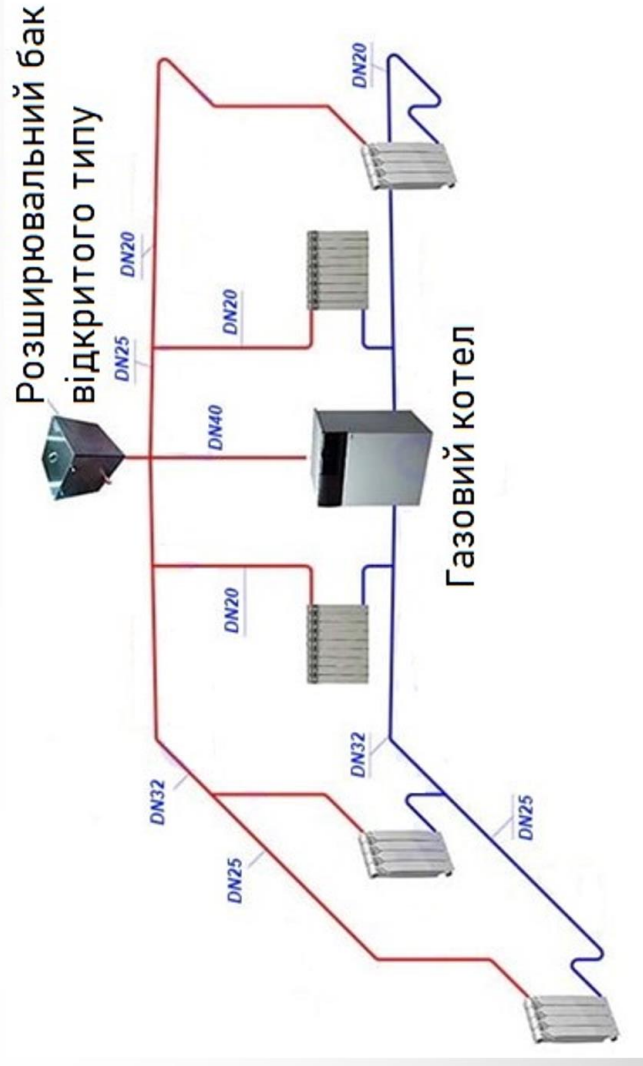
## Принцип роботи індивідуального теплового пункту

Теплопункти є важливими елементами системи водопостачання, які забезпечують ефективне регулювання температури гарячої води. Вони виконують функцію перетворення енергії, що надходить від джерел тепла, у теплову енергію, яка потім передається до споживачів.



## Децентралізована система опалення

Децентралізована система теплопостачання - це система, яка забезпечує теплопостачання будівлі без централізованого джерела тепла. Це означає, що кожна будівля або група будівель має власну систему виробництва тепла, що дозволяє економити енергію та зменшити залежність від централізованих систем теплопостачання.



## **Основні функції систем автоматизації в водопостачанні**

- **КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВОДИ**
- **УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ**
- **МОНІТОРИНГ ВИТРАТ ВОДИ**
- **КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВОДИ**
- **АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПІДГРІВУ ВОДИ**
- **ДИСТАНЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ І МОНІТОРИНГ**

## Технологічні рішення для автоматизації систем водопостачання DRTL-1-V — датчик перепаду тиску рідини



Технічні характеристики:	DRTL...A	DRTL...V
Діапазон вимірювання:	Див. таблицю	
Максимальний статичний тиск:	21 бар	
Максимально-допустиме перевищення тиску:		
- моделі 1 і 2,5 бара	6 бар	
- моделі 4 і 6 бар	16 бар	
Напруга живлення:	15...24 В DC(±10%)	15...24 В DC(±10%) / 24 В AC(±10%)
Витоки:	4...20 мА	0...10 В, мін. навантаження 2 кОм
Час реакції:	10 мс	
Електроізоляційне підключення:	Гвинтовий клемник, відповідний DIN 43650, тип А	
Енергоспоживання:	макс. 20 мА	0,37 Вт (В DC), 0,9 Вт (В AC)
Середовище:	Вода, повітря агресивні рідини	
Температура рідини:	-10...+80 °С	
Температура оточуючого середовища:	-10...+50 °С	
Похибка:	±1%	
Ступінь/клас захисту:	IP 54 / III	
Відносна вологість:	до 95 %	
Корпус:	нержавіюча сталь 1.4305 - нижня частина - верхня частина	
Матеріали, що контактують з середовищем:	Кераміка/нержавіюча сталь A203/1.4305	
Ущільнення:	EPDM	
Вага:	Прибл. 510 г	

## Циркуляційний насос для води calreda NR 50/250A/B з сухим ротором



Тип ротора	Сухий
Система всмоктування	Одноступінчата
Тип приєднання	Фланець
Тип мережі	Трифазна
Діапазон температур рідини, що перекачується, °C	-10...+90
Максимальний робочий тиск, бар	10
Матеріал виробу	Чавун
Діапазон температур навколишнього середовища, °C	0...+40
Електрична потужність, кВт	15
Клас електрозахисту	IP54
Тип керування	Ручне
Напір max, м	87
Частота струму, Hz	50
Напруга, V	400-690

## ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ NTC 10K



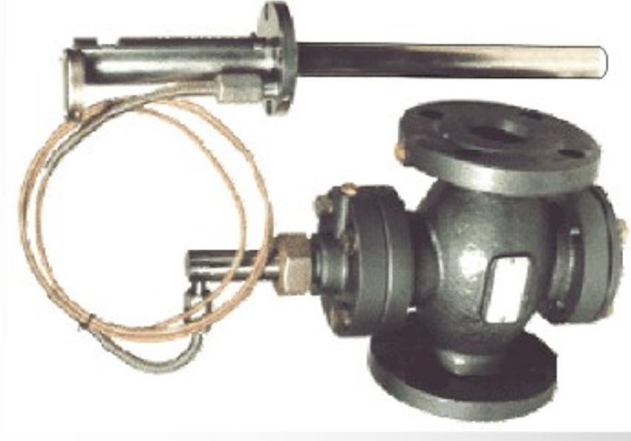
### Основні характеристики

1. Номінальний опір : 10 кОм при 25°С.
2. Тип датчика: терморезистор NTC.
3. Робочий температурний діапазон: від -40°С до +125°С (може змінюватися залежно від умов використання) .
4. Висока точність у вузькому температурному діапазоні; типова похибка  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (може варіюватися).

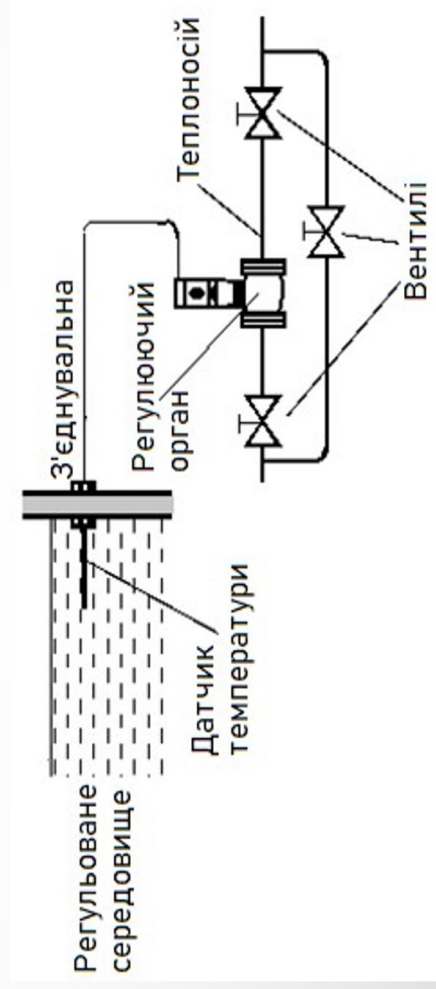
Використовується для моніторингу та контролю температури в котлах, системах гарячого водопостачання та опалення

## Регулятор температури

- Регулятор температури РТ-ДО використовується для автоматичного підтримання заданої температури в різних системах теплообміну, таких як системи водопостачання, опалення чи охолодження.



## Схема встановлення регулятора температури РТ-ДО

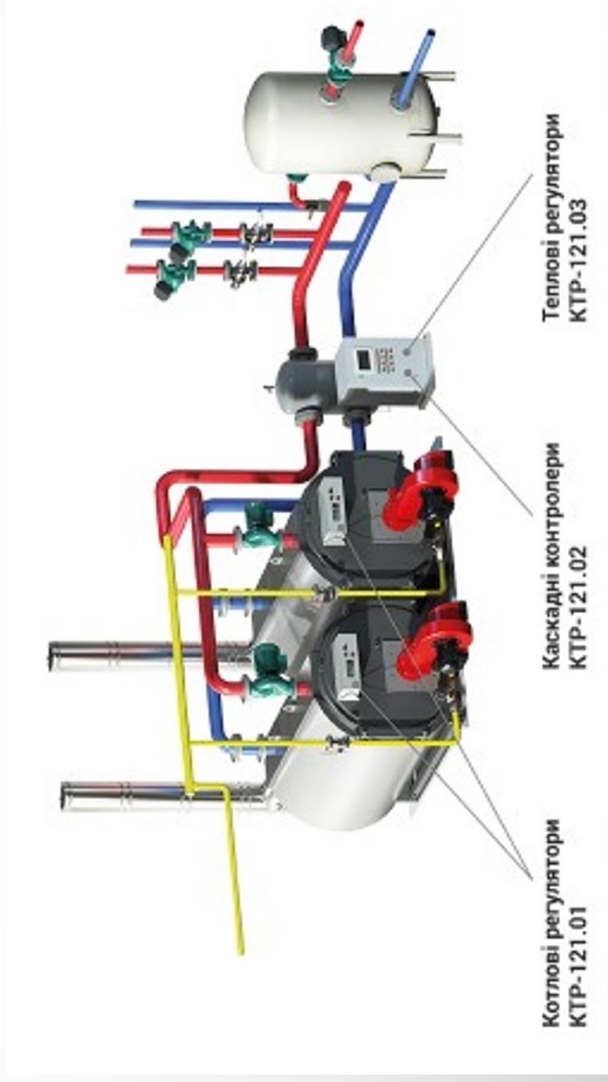


## Контролер КТР-121

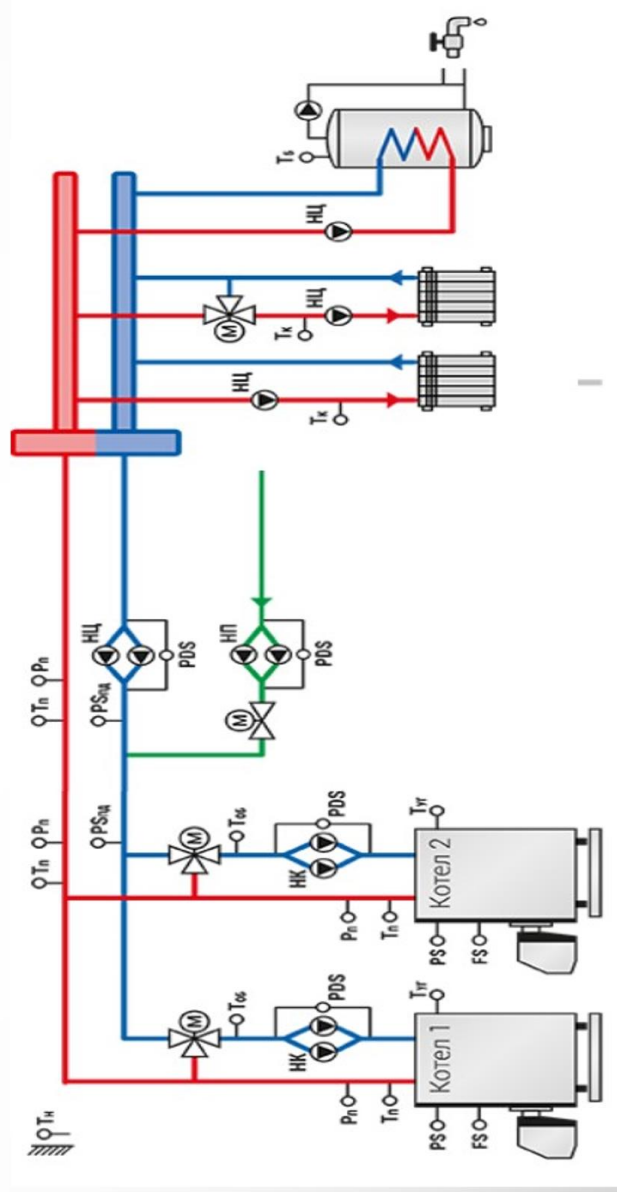
КТР-121 - це контролер з готовими алгоритмами для автоматизації котельні. Встановлюється в стаціонарних, блочно-модульних, дахових водогрійних котельнях, а також котельнях з котлами зовнішнього розміщення і котельнях з прибудованим ІТП.



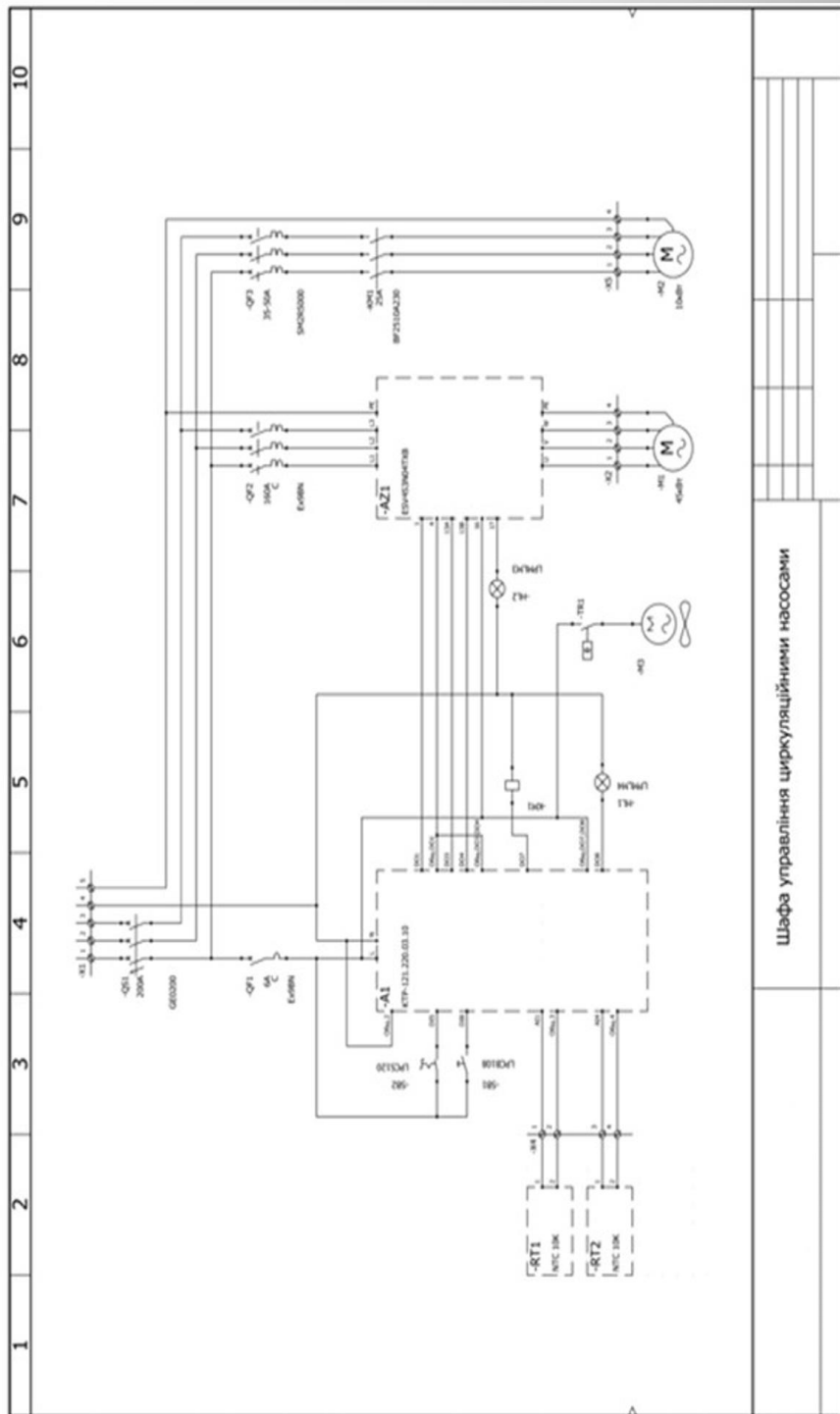
## Функціональна схема



## Схема автоматизації котельної установки.

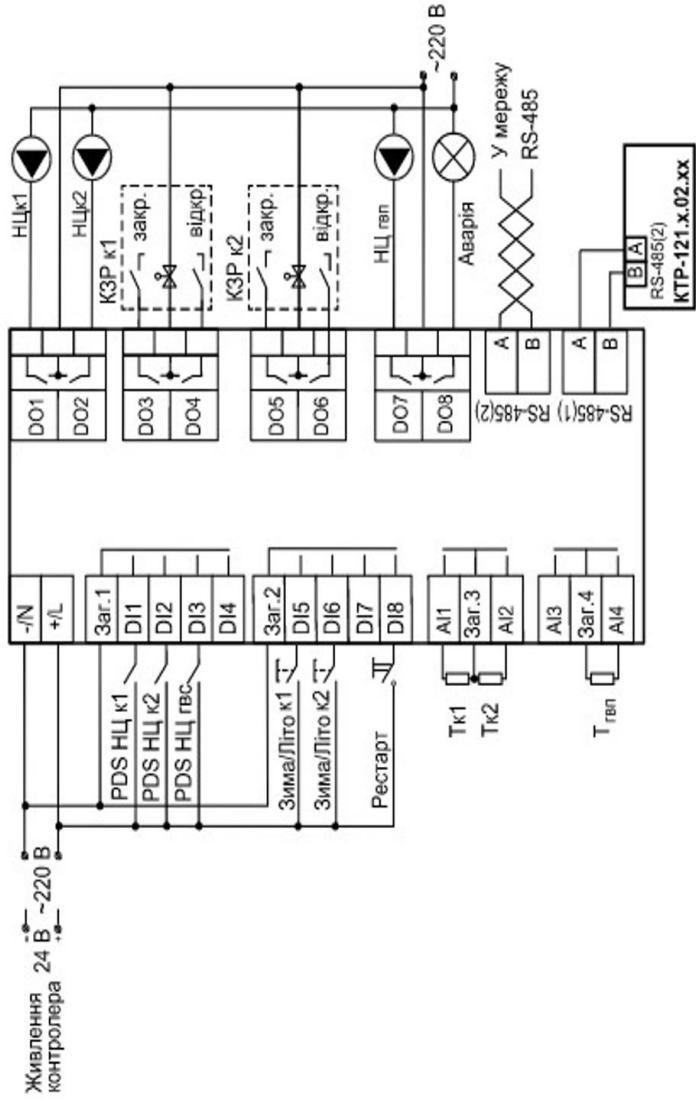


# Електрична схема

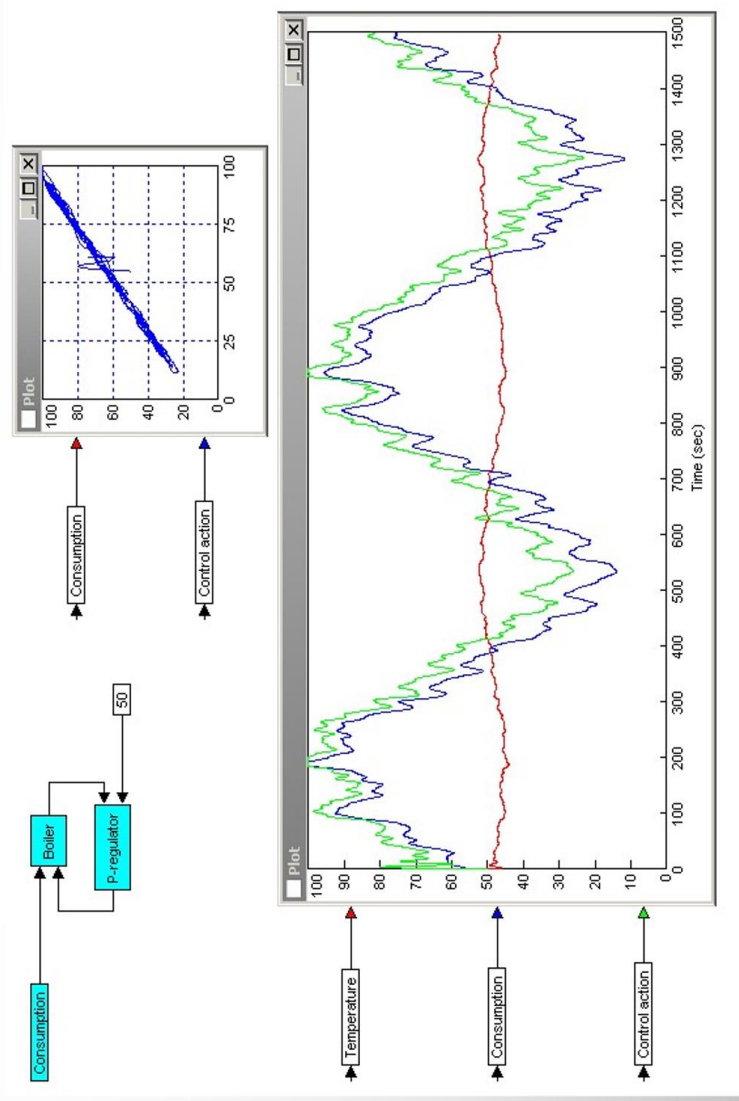


Шкафа управління циркуляційними насосами

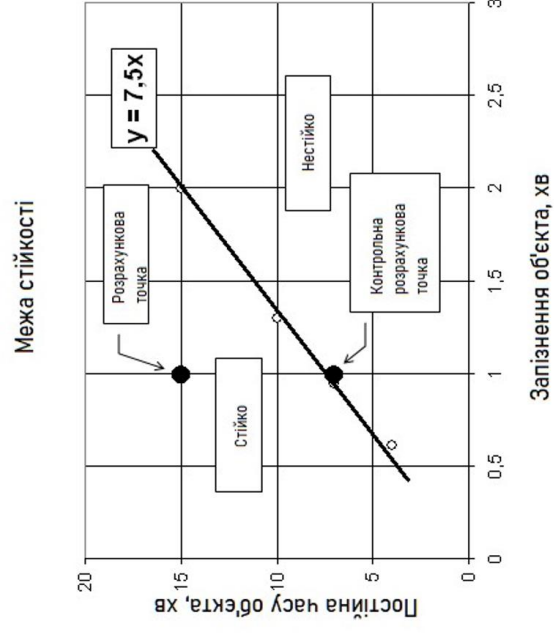
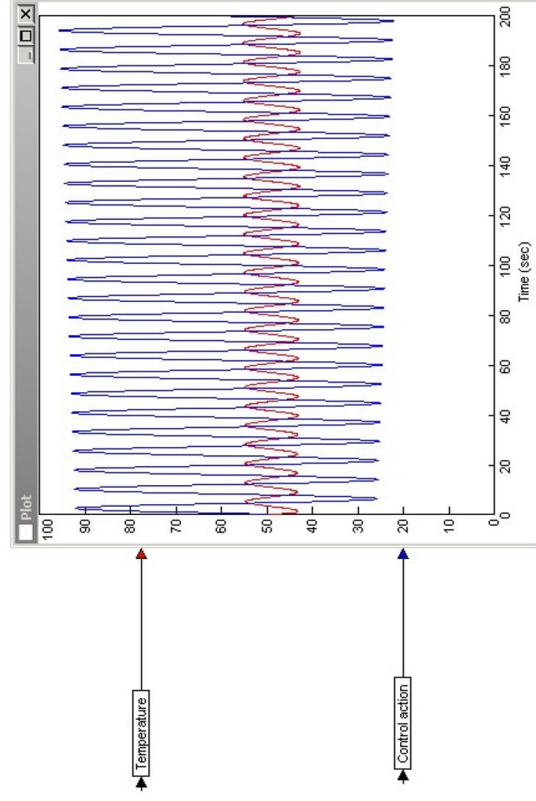
## Схема електрична підключень контролера КТР-121.03.



# Моделювання динаміки регулювання температури



## Коливання температури та керуючого впливу в системі автоматичного регулювання при виборі параметрів об'єкта, що відповідають межі стійкості



## Економічна частина Техніко-економічні показники

№	Найменування показника	Аналог(база)	Пропонований варіант
1	2	3	4
<b>Технічні показники</b>			
1	Тип керування	ручний	автоматичний
2	Кількість контролюючих параметрів	-	6
3	СпоживаємопотужністьВт.	8,32	6,4
4	Нормаобслуговування чол.	1	1
5	Кваліфікаційнийрівень персоналу	6	5
<b>Економічні показники</b>			
7	Величинадодатковихкапітальнихвкладень	-----	82385,26
8	Загальна величина економії в т.ч.:	-----	29440,60
9	- за рахунок зменшення потужності що споживається	-----	11058,76
	- за рахунок зменшення фонду оплати праці у результаті зниження кваліфікаційного рівня працівників	-----	18381,84
10			
11	Термін окупності капітальних вкладень	-----	2,8

## **Висновок**

- Впровадження автоматизованого контролю дозволило значно підвищити енергоефективність системи, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити стабільний температурний режим гарячої води.
- Завдяки застосуванню контролера Акутек вдалося досягти точного регулювання, що мінімізувало втрати теплової енергії, підвищило рівень комфорту для споживачів та сприяло зниженню впливу на довкілля.
- Висновки підтверджують доцільність подальшого розвитку автоматизації за рахунок інтеграції сучасних технологій контролю та управління, що забезпечує економічні й екологічні переваги для систем водопостачання.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**