

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

КЕРТИС Дмитро Артурович

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНОЮ.
/AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC BOILER ROOM.

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Випускна кваліфікаційна робота
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконав: студент групи АКІТ-41
Д. А. Кертис

Науковий керівник:
к.т.н., доцент А. І. Сегін

Випускну кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:
" ____ " _____ 2025 р.

Завідувач кафедри СКС
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2025

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри СКС

_____ А. І. Сегін
" ____ " _____ 2024р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Кертис Дмитро Артурович
(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Система автоматизованого управління електокотельнею. /Automated control system for electric boiler room.

керівник роботи к.т.н., доцент Сегін А. І.

затверджено наказом по університету від « 28 » листопада 2024 р. № 938

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

30 травня 2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Забезпечення необхідних параметрів досліджуваної електокотельні.

2. Вимоги до системи автоматичного управління електрокотельнею.

3. Впровадження ефективного автоматичного регулятора температури теплоносія.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Розробити загальну структуру системи автоматичного управління електокотельнею.

2. Розробити функціональну та електричну схему системи автоматизованого управління електокотельнею.

3. Підбір відповідних засобів автоматизації.

4. Розрахунок автоматичного регулятора температури теплоносія на виході електокотельні

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Принципова схема електрокотельні.
2. Електрична схема електрокотельні.
3. Функціональна схема електрокотельні.
4. Схема автоматизації електрокотельні.
5. Структурна схема система автоматизованого управління електрокотельнею.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сегін А. І.		
2	Сегін А. І.		
3	Сегін А. І.		

7. Дата видачі завдання 3 грудня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика електрокотельень	01.12.2024р. – 15.01.2025р.	виконано
2	Опис вибраних засобів автоматизації електрокотельні	16.02. 2025р.– 15.03.2025р.	виконано
3	Структуру системи автоматизованого управління електрокотельнею та розрахунок автоматичного регулятора температури	16.03.2025р. – 30.04.2025р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2025р. – 15.05.2025	виконано

Студент

(підпис)

Кертис Д. А.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доц. Сегін А.І..

АНОТАЦІЯ

Кертис Д. А. Система автоматизованого управління електокотельнею. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійною програмою – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль. 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено типи та обладнання електрокотельень. Проведено аналіз технологічного процесу нагрівання та подачі гарячої води. Розроблено загальну структуру системи автоматизованого управління електрокотельнею та здійснено підбір технічного обладнання для її реалізації. Здійснено розрахунок автоматичного регулятора нагрівання води та підтримання її значення на заданому рівні.

ANNOTATION

Curtis D. A. Automated control system for electric boiler room. – Manuscript.

Research for obtaining a bachelor's degree in the specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies, educational and professional program - Automation and computer-integrated technologies. – Western Ukrainian National University, Ternopil. 2025.

In the qualification work, the types and equipment of electric boilers were studied. The technological process of heating and hot water supply was analyzed. The general structure of the automated control system of the electric boiler room was developed and the selection of technical equipment for its implementation was carried out. The calculation of the automatic water heating regulator and maintaining its value at a given level was carried out.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОКОТЕЛЕНЬ.....	9
1.1 Огляд типів електрокотелень, їх характеристики та призначення.....	9
1.2 Оснащення електрокотельні	11
1.3 Електрична схема електрокотельні.....	14
1.4 Основні типи електричних котлів.....	16
1.4.1 ТЕНові електричні котли.....	16
1.4.2 Індукційні котли.....	19
1.4.3 Електродні опалювальні котли.....	19
1.5 Відомості про досліджувану електрокотельню.....	20
1.6 Опис технологічного процесу роботи електрокотельні.....	21
2 ОПИС ВИБРАНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНІ.....	24
2.1 Електрична схема електрокотельні.....	24
2.2 Обґрунтування вибору засобів автоматизації.....	27
2.2.1 Перетворювач частоти HYUNDAI N700E-004HF.....	28
2.2.2 Датчик тиску Rosemount 3051C.....	29
2.2.3 Датчик температури ТП101–К.....	30
2.2.4 Контролер Simatic S7-300.....	31
2.2.5 Операторська панель OP77A.....	32
2.2.6 Модульна станція ET 200S (ET 200M) введення – виводу для систем на основі PROFIBUS.....	33

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Кертис Д. А.			Система автоматизованого управління електрокотельнею		Лім.	Арк.	Акрущів
Перевір.		Сегін А. І.						5	50
Консульт.		Сегін А. І.		ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41					
Н. Контр.		Заставний О.М.							
Затверд.		Сегін А.І.							

2.3 Регулювання електрокотлів, що працюють за закритою схемою.....	39
3. СТРУКТУРУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНЕЮ ТА РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРИ.....	41
3.1 Структурна схема системи автоматизованого управління електрокотельнею та опис її функціонування і компонентів.....	41
3.2. Розрахунок автоматичного регулятора температури.....	43
ВИСНОВКИ.....	47
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48
ДОДАТКИ.....	51

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні вимоги до енергозбереження, надійності постачання теплової енергії та безпеки експлуатації енергетичних установок визначають необхідність широкого впровадження автоматизованих систем управління в технологічні процеси теплопостачання. Одним із важливих напрямів є автоматизація роботи електрокотелень, що забезпечують теплову енергію для житлових, комунальних та виробничих об'єктів. Застосування таких систем дозволяє мінімізувати участь обслуговуючого персоналу, покращити якість управління та підвищити енергоефективність.

Електрокотельні, як джерело тепла, мають ряд переваг — екологічність, точність регулювання, гнучкість в експлуатації. Проте для досягнення оптимального режиму їх роботи необхідна система, здатна своєчасно реагувати на зміни температурних і тискових параметрів, а також ефективно координувати роботу допоміжного обладнання. Саме тому дослідження, розробка та впровадження сучасних систем автоматичного управління є надзвичайно актуальними.

Крім того, з огляду на розвиток цифрових технологій, важливим є використання віддаленого моніторингу та керування, інтелектуальних алгоритмів обробки даних, виявлення несправностей і адаптивного керування. Це дозволяє підвищити рівень безпеки, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити безперервне теплопостачання навіть у складних умовах. Таким чином, тема автоматизованого управління електрокотельнею є важливою як у науковому, так і у прикладному аспекті.

Мета кваліфікаційної роботи. Метою кваліфікаційної роботи є розробка структурної та функціональної моделі системи автоматизованого управління електрокотельнею, яка забезпечує оптимальне, безпечне та ефективне регулювання технологічного процесу теплозабезпечення, з використанням сучасних засобів автоматики, сенсорики та обчислювальної

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

техніки.

Об’єкт дослідження – електрокотельня як комплекс технічних засобів для централізованого або локального теплозабезпечення.

Предмет дослідження – процеси автоматизованого управління температурним режимом, тиском, подачею теплоносія та взаємодією між технічними підсистемами електрокотельні.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися методи математичного моделювання динамічних систем, методи системного аналізу, теорії автоматичного регулювання, а також імітаційного моделювання для оцінки роботи запропонованої системи. Аналіз технічної документації, комп’ютерне моделювання та використання спеціалізованого програмного забезпечення дозволили забезпечити об’єктивність і практичну доцільність результатів дослідження.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані в роботі технічні та алгоритмічні рішення можуть бути використані при модернізації існуючих електрокотелень або створенні нових енергоефективних систем. Вони дозволяють підвищити точність регулювання параметрів, забезпечити своєчасне виявлення відхилень у роботі обладнання, зменшити втрати енергії та витрати на обслуговування. Результати дослідження можуть бути впроваджені в системах автоматизованого управління на підприємствах житлово-комунального господарства, промислових об’єктах та об’єктах соціальної інфраструктури.

Апробація результатів роботи

Воробей С. Р., Кертис Д. А. Система автоматичного балансування зарядки та контролю стану акумуляторних батарей автономного живлення. //Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» (АКІТ–2025) Тернопіль, 2025. С 23–30.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОКОТЕЛЕНЬ

1.1 Огляд типів електрокотелень, їх характеристики та призначення

Електричні котельні використовуються для опалення та гарячого водопостачання житлових та промислових будівель. Широкий діапазон продуктивності дозволяє опалювати приміщення площею до 30000 м².

Потужність та теплопродуктивність електрокотелень залежить від типів котлів, що входять до їх складу та кількості. Універсальні котли потужністю 35-125 кВт використовуються для опалення житлових та невеликих об'єктів площею до 1250 м². Для опалення великих об'єктів площею до 10000 м², котельні оснащені промисловими котлами потужністю від 150 до 1000 кВт. Для опалення будівель і споруд площею до 30000 м² використовуються потужніші електрокотельні потужністю до 3000 кВт.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики електричних котельних установок

№	Параметри	Значення
1	Призначення	опалення та гаряче водопостачання кволих та промислових об'єктів
2	Конструкція	• <u>блочно-модульна</u> (контейнерна) • на рамі
3	Потужність, кВт	• на базі промислових котлів – 150-1000 кВт • на базі універсальних котлів – 35-125 кВт
4	Площа приміщення, що обігрівається, м ²	• на базі промислових котлів - до 10000 • на базі універсальних котлів – до 1250
5	Теплопродуктивність, <u>Гкал/год</u>	до 2,58

Продовження таблиці 1.1

6	ККД котлів, %	до 96
7	Система автоматики	<u>погодозалежне регулювання</u>
8	Напруга електричного ланцюга, В	380
9	Максимальний тиск теплоносія, МПа	0,4
10	Діапазон регулювання температури теплоносія, °С	0-90
11	Номінальний струм автоматичного вимикача по фазі*, А	400, 500, 630, 800, 1000
12	Необхідна площа поперечного перерізу кабелю, що підводить, МЕДЬ*, мм ²	120, 150, 240 і більше
*залежить від потужності електричного котла		

Перевага електричних котлів полягає у можливості працювати як в якості основного, так і в якості мобільного або альтернативного джерела тепlopостачання, що досягається через високий рівень автономності обладнання [2] (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд оснащення електокотельні.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

Електрокотельні можуть мати різноманітне виконання в залежності від типу використовуваних електрокотлів, їх функціонального призначення та потужностей.

1.2 Оснащення електрокотельні

Основу електрокотельень складають електричні котли з кліматозалежним контролером та багатоступінчастим захистом від окремого нагрівального елемента до всього котла загалом (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2. – Загальний вигляд електрокотельні, з її системою кабелів, трубопроводів та обладнання.

Крім електричних котлів, котельні оснащені (рисунок 1.3):

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

- циркуляційними насосами подачі води;
- розширювальним мембранним баком;
- шафою управління насосами ШУН;
- шафою автоматики та управління електрокотлами;
- водо-розподільчим пристроєм;

контрольно-вимірювальними приладами (термоманометр, лічильник) та запірною арматурою;

Для забезпечення гарячого водопостачання електрокотельні комплектуються пластинчастим теплообмінником або накопичувальним водонагрівачем.

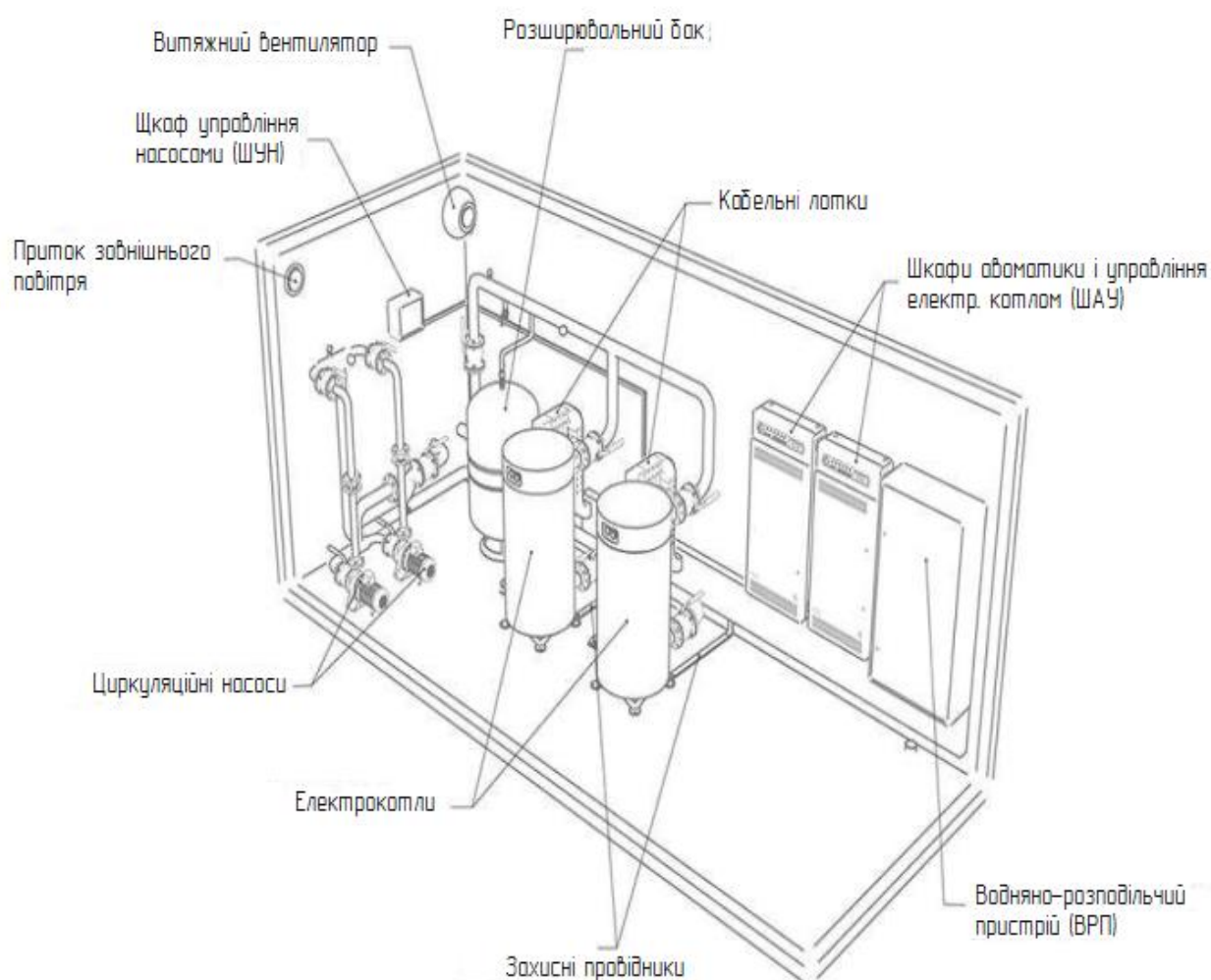


Рисунок 1.3 – Схема розміщення обладнання електрокотельні

Щоб гарантувати подачу гарячої води, електрокотельні оснащені

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

теплообмінником або накопичувальним водонагрівачем [2].

Принципова теплотехнічна схема електрокотельні (рисунок 1.4) складається з:

- 1) швидкісний водонагрівач;
- 2) колектор гарячої води;
- 3) колектор холодної води;
- 4) грязьовик;
- 5) насоси;
- 6) бак-акумулятор;
- 7) ізоляційна вставка;
- 8) електрокотли.

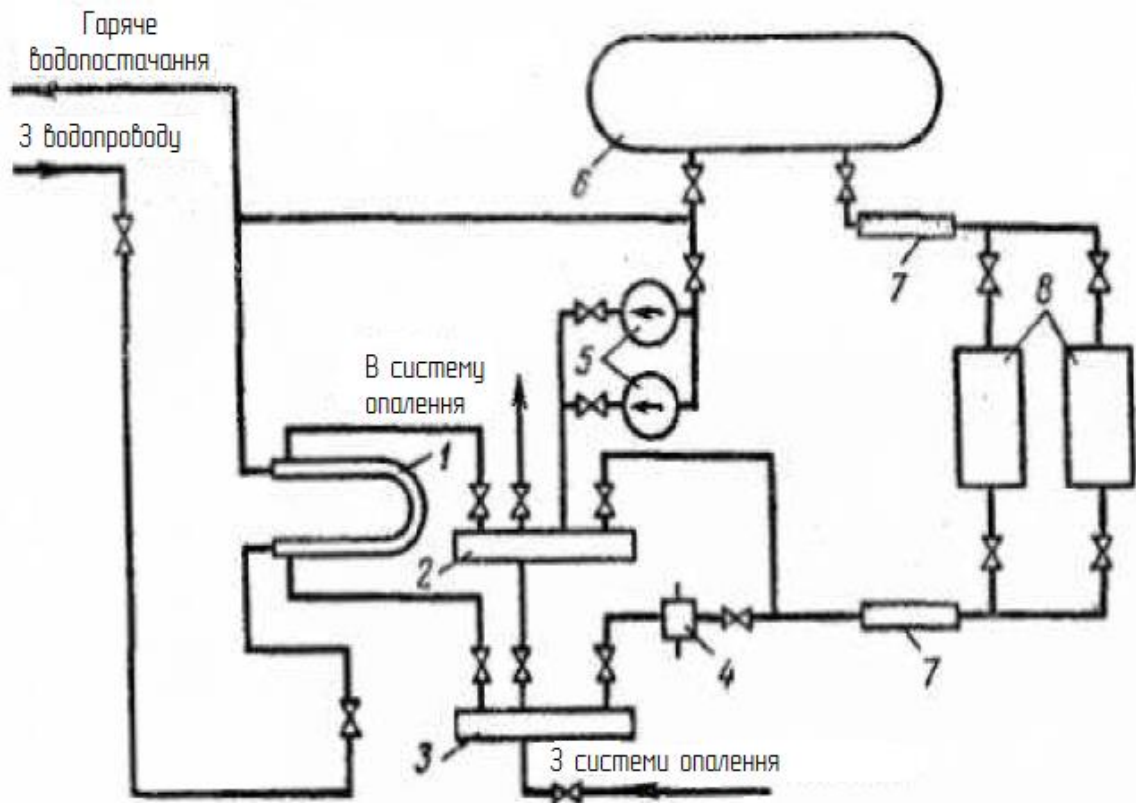


Рисунок 1.4 – Принципова схема електрокотельні.

Система автоматизації електрокотлів дозволяє використовувати обладнання без постійної присутності співробітників та забезпечує:

- кліматичне регулювання температури води;

- плавне і каскадне включення/вимикання електродкотлів з функцією вибору оптимальної кількості підключених нагрівальних елементів;
- захист електродкотлів від аварійного перегріву.

Крім того, пристрої, що входять до складу, гарантують надійність, безпеку, ефективність та простоту використання:

Електродкотли мають теплоізоляцію, нагрівальні елементи з нержавіючої сталі, модульні контактори, що забезпечують тиху та тривалу роботу, ДБЖ для ланцюгів управління, які оснащується фазовим перемикачем. Наявність достатньої кількості теплоносія (у тому числі незамерзаючих гліколевих рідин) контролюється датчиком. Утворення "повітряних пробок" виключається через наявність автоматичного повітровідводу, крім того, встановлений запобіжний клапан для захисту обладнання високого тиску [4].

1.3 Електрична схема електродкотельні

Принципова електрична схема електродкотельні представлена на рисунок 1.5.

Живлення подається на схему за допомогою перемикача QS. Насоси (основний та резервний) підключаються за допомогою автоматичних вимикачів QF2 та QF3, а котли – QF4, QF5 та контактором КМ.

Котли можуть включатися в певний час, що визначається за допомогою реле часу СТ, яке має дві програми. Температура води у баку контролюється реле температури SK1. Верхній контакт SK1 включається, коли температура води нижча норми, нижній контакт – при досягненні максимального значення температури. В аварійному режимі, коли температура води на 3–4 °С вище, ніж верхня уставка реле SK1, реле SK2 активується.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Блокуючий контакт SQ запобігає запуску котлів, коли двері огорожі не зачинені. Котли включаються, коли один із контактів реле часу КТ замкнутий. Попередньо (після включення QF2 або QF3) запускається насос, включаються автоматичні вимикачі QF4, QF5 та QF1.

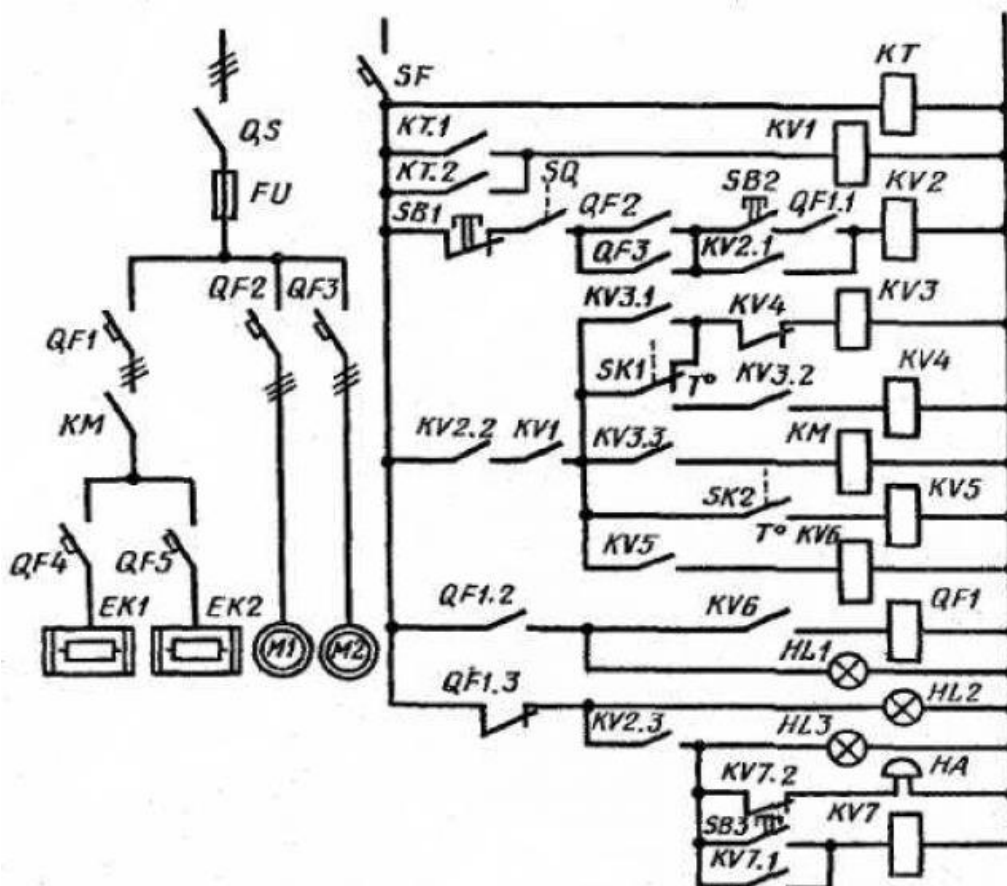


Рисунок 1.5 – Електрична схема електрокотельні

Кнопка SB2 живить котушку реле KV2, яке через реле проміжного KV3 включає контактор КМ силового ланцюга котла. Коли температура піднімається вище за мінімум, верхній контакт SK1 розмикається, але живлення на реле KV3 подається через власний контакт KV3.1.

Коли досягається максимальне значення температури, їхній контакт SK1 замикається, отримує живлення від реле KV4 і через контакт KV3.3 реле проміжного KV3 знімає напруження з контакту КМ, що призводить до відключення котлів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

В аварійному режимі, якщо ланцюг не працює, контакт SK2 замикається, і отримує живлення реле KV5, активує реле KV6 своїм контактом, який подає напругу на котушку незалежного роз'єднувача QF1, перериваючи подачу живлення котлів. Блок контактів QF1.3 включають аварійне освітлення (HL2) та звукову сигналізацію НА [34].

Силова схема управління залишається релейно-контакторною, а керуючі ланцюги та алгоритми реалізуються за допомогою контролерів.

1.4 Основні типи електричних котлів

На сьогоднішній день існує три основні типи електричних котлів:

- ТЕНові;
- електродні;
- індукційні.

Поділ за типом визначається способом нагрівання теплоносія (води), що використовується в котлі.

1.4.1 ТЕНові електричні котли

У котлах цього типу для нагрівання теплоносія використовуються трубчасті нагрівальні елементи (ТЕНи). Тени являють собою електричні провідники з дуже високим опором, в наслідок чого при проходженні по ним струму вони сильно нагріваються. Тепло від них в теплообмінниках передається рідині-теплоносію, яка насосами по трубопроводам подається до споживачів.

Недоліком цього типу котлів є те, що на стінках котла і поверхні нагрівача утворюється вапняний наліт. Утворення накипу відбувається через використання в якості теплоносія жорсткої води. Тому до неї часто додаються різні присадки для очищення від вапняних нальотів. Крім того, можна перед використанням відповідними добавками пом'якшити воду

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

штучно, привівши її до нормального показника жорсткості 7-10 мг-екв/л.

Для пом'якшення води також використовують спеціальні фільтри, дистиляцію води та попереднє кип'ятіння.

Ще одна проблема такого котла полягає у витоку охолоджувальної рідини. Нагрівач, не занурений у воду, перегрівається і згорає, що може привести до пожежі. Тому варто використовувати якісні котли даного виду з відповідним захистом, а також приділити особливу увагу автоматизації котлів.

Розглянемо конструкцію ТЕНового котла на прикладі електричного настінного котла з еквітермальним регулюванням моделі Proterm «Скат» (рисунок 1.6).

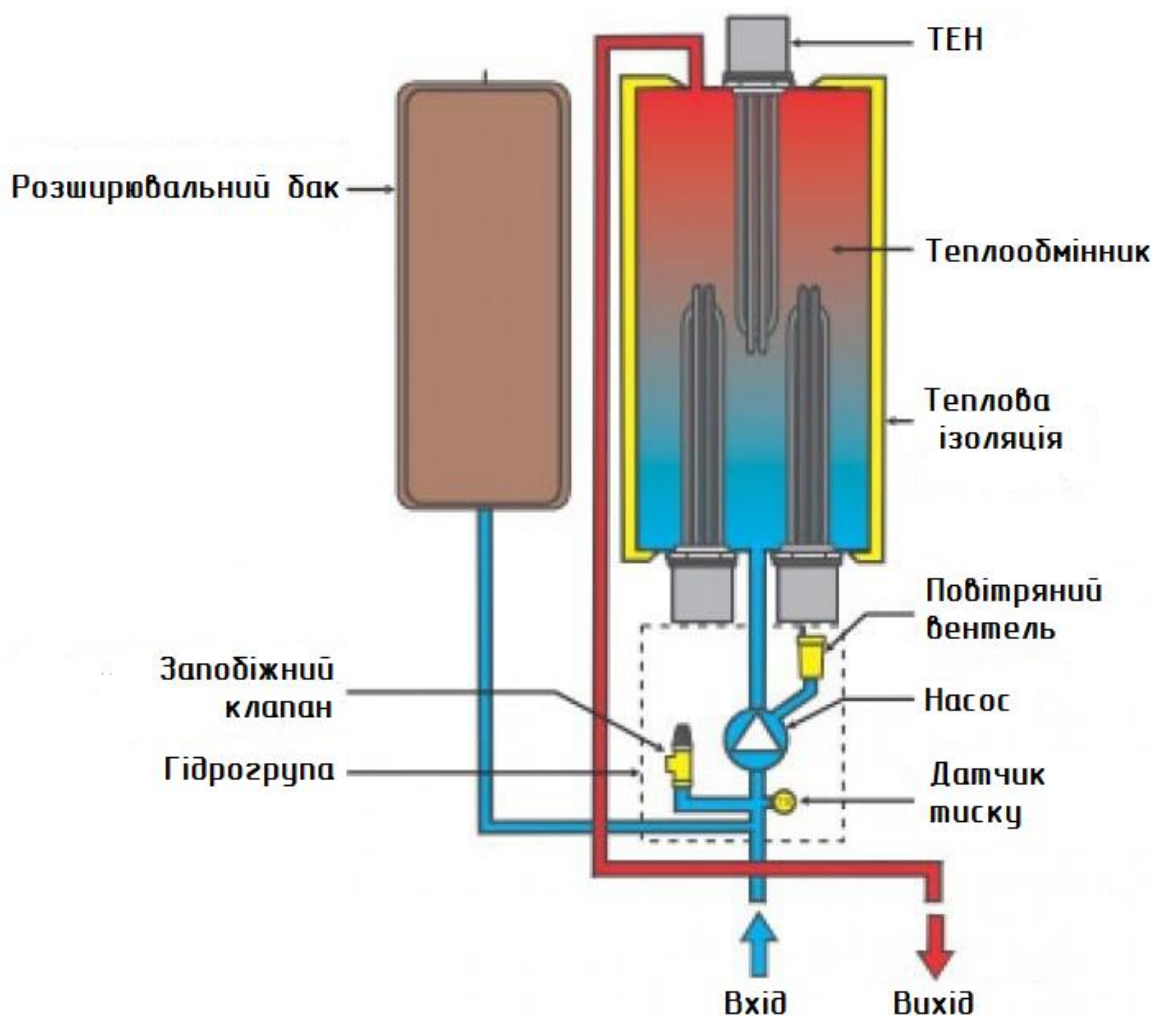


Рисунок 1.6 – Конструкція ТЕНового котла

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Вода (охладжувальна рідина) із системи опалення надходить у котел, нагрівається трьома встановленими нагрівальними елементами.

Гідравлічна група котла включає двохшвидкісний насос, який забезпечує циркуляцію охолоджуючої рідини

Захист котла:

- від замерзання охолоджувальної рідкості;
- від замерзання котла непрямого нагріву;
- Захист насоса від заклинювання;
- Запобіжний клапан на 3 бари.

Електричний котел підключається окремою електропроводкою з окремим автоматичним вимикачем. Поперечний переріз кабелів та номінали автоматів захисту наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Рекомендовані параметри запобіжників та перерізів провідників

Потужність котла, кВт	Кількість і потужність нагрівальних елементів	Сила струму в однофазовій системі (А)	Номінальний струм запобіжника(А)	Перетин дроту – <u>Cu</u> (мм ²)
6	2 * 3 кВт	9,5 (28*)	10 (32*)	1,5 (6*)
9	3 кВт + 6 кВт	14 (39*)	16 (50*)	1,5 (10*)
12	2 * 6 кВт	18,5	20	2,5
14	2 * 7 кВт	23	25	2,5
18	3 * 6 кВт	27,5	32	4
21	3 * 7 кВт	32	40	4
24	4 * 6 кВт	36,5	40	6
28	4 * 7 кВт	43	50	10
*дійсно при однофазному підключенні				

1.4.2 Індукційні котли

Електромагнітна індукція, що навколо іншого провідника із феромагнітними властивостями, нагріває його. У опалювальному котлі феромагнітний провідник є трубкою з циркулюючою охолоджуючою рідиною.

Недоліки:

- утворення вапняного накипу;
- потрібний захист від витоків охолоджувальної рідини.

Індукційні котли можуть складатися із кількох нагрівачів. Конструкція котла складається з трьох індукційних нагрівачів, кожен з яких складається з:

- індукційної котушки;
- теплообмінного металевих корпусу;
- вхідними та вихідними патрубками;
- клемна група у захисній металевій коробці.

1.4.3 Електродні опалювальні котли

Електродні котли можна порівняти із проточними водонагрівачами, в яких вода нагрівається за рахунок проходження електрики через теплоносій. У цих пристроях охолоджуюча рідкість нагрівається сама по собі, що досягається введенням в охолоджувальне середовище спеціальних електродів, які збуджують коливання вільних електронів, які нагрівають воду.

Відмінності електродних котлів:

- Циліндричні форми;
- Невеликий розмір;
- економічність при встановленні не чавунних радіаторів;
- безпека, вони не працюють за відсутності води;
- автоматичне увімкнення/вимкнення за допомогою датчиків

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

температури.

Недоліки таких котлів:

- потужність не може бути відрегульована, тільки включення/вимкнення;
- утворення вапняного накипу, що призводить до зниження потужності;
- вода потребує підготовки;
- не використовуйте традиційні охолоджувальні рідини (тосол та антифриз);
- дистильована вода не підходить у вигляді охолоджуючої рідини;
- Існує можливість прямого витоку електрики на корпус і труби опалення;
- електроліз, що відбувається під час процесів в електродному котлі, призводить до утворення токсичних газів і вимагає періодичної заміни охолоджувальної рідини [23].

1.5 Відомості про досліджувану електрокотельню

У складних гідравлічних умовах повне перенесення споживачів теплової енергії від котелень на теплові мережі від ТЕЦ не завжди економічно доцільне. Для повної передачі споживачів часто необхідно виконати ряд дій, вартість яких не окупатиметься за рахунок економічних ефектів, що виникають у результаті перенесення. Щоб знизити капітальні витрати при реалізації заходів, можна розглянути заходи щодо часткового переведення споживачів котелень на мережі ТЕЦ, коли котельня включається тільки в піковому режимі, при максимальних споживаннях мережної води в системах теплопостачання. До цієї групи котелень пропонується віднести електрокотельні.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

В таблиці 1.3. представлено загальні характеристики електрокотельні.

Таблиця 1.3 – Параметри досліджуваної електрокотельні

Встановлена потужність Е/К, Гкал	158,2
Наявна потужність Е/К, Гкал	151,4
Витрати теплової потужності на власні <u>нужди</u> , Гкал/год	0,01
«Фактичне» навантаження споживачів, Гкал/год, у тому числі:	133,5
опалення	132,2
вентиляція	1,1
<u>ГВП (середньогодинна)</u>	0,2
Переведення навантаження в ТЕЦ-2, Гкал/год	75,0
Втрати теплової потужності в мережах, Гкал/год	11,4
Фактичне навантаження на колекторах Е/К у гарячій воді, Гкал/год	89,9
Резерв/дефіцит потужності котельні, Гкал/год	61,4
Резерв/дефіцит встановленої потужності, Гкал/год	68,3

Піковий режим роботи електрокотельних забезпечить надійність та якість теплопостачання споживачів у періоди температур, близьких до розрахункових для опалювальних систем, а також знизить собівартість виробництва тепла у всій системі теплопостачання [32].

1.6 Опис технологічного процесу роботи електрокотельні

Автономна електрокотельня є готовою спорудою, призначеною для опалення по закритій системі теплопостачання кволих і промислових будівель і споруд. Режим роботи котельні автоматизований, не потребує присутності персоналу, що прослуховує. Дистанційне керування роботою за допомогою виносного диспетчерського пульта.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Технологічний процес електричної котельні: подача мережевої води за температури 70°C із системи опалення по зворотній трубі через відстійник до насосів, які живлять електричні котли. У казанах вода нагрівається під впливом струму, який протікає між електродами. Вода нагрівається до температури 95°C і виходить прямою трубою в систему опалення. Потім по трубопроводу вода повертається до насосів і знову надходить у котли. Під час аналізу гарячої води підживлювальний насос перекачує кількість води, якої не вистачає в системі. Статичний тиск всмоктування насосів підтримується регулятором тиску.

Температура на виході з котла є регульованим параметром у системі опалення, а це означає, що цей параметр зберігається під час роботи котла. Основний вплив на зміну температури робить процес надходження води в котел, яку необхідно нагріти, та вихід вусі нагрітої води. Тому основний вплив, що обурює, - це витрата води через котел.

Подача тепла регулюється автоматично на основі сигналів від датчика температури котла та датчика температури навколишнього середовища. Електричний сигнал, що генерується датчиками через з'єднувальні дроти, надходить у мікропроцесорний контролер, де оператор встановлює всі параметри, необхідні управління. У цьому пристрої сигнал, отриманий датчиком, порівнюється і керуюча дія генерується у формі електричного імпульсу. Він передається на електродвигун і перетворюється на обертання ротора, з'єданого зі шпинделем, який проходить через сальник у середині кришки котла. Контролер потужності розташований на шпинделі у вигляді ряду діелектричних екранів, які входять у проміжки між пластинами і переміщуються вертикально щодо них. Залежно від кута, на який повернеться ротор двигуна, контролер потужності, переміщаючись по різьбленню шпинделя, опускатиметься або підніматиметься на певну висоту, змінюючи активну поверхню електродів, що означає або підвищить, або знизить потужність котла. Діапазон регулювання потужності від 25 до 100%

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

номінальної потужності котла.

Крім зміни температури в нормальному режимі роботи можлива зміна, яка викликана аварійною ситуацією, при цьому контролер може не впоратися з приведенням температури до бажаного рівня. В цьому випадку спрацьовує аварійний захист. В якості захисних пристроїв використовуються автоматичні вимикачі, рубильники, запобіжники і т.д. Прилади та обладнання, призначені для захисту, працюють невідкладно. Цей захист гарантує, що котел зупиняється при підвищенні температури нагрівання води до 100°C, а також у разі багатофазних та однофазних коротких замикань у лінії, яка живить котел електричною енергією, що перевищує максимальний струм вище номінального напруги в 5%, асиметрія струмів навантаження 25% від номінального значення струму.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2 ОПИС ВИБРАНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНІ

2.1 Завдання та переваги АСУ ТП

Автоматизація – використання інструментів, які виконують виробничі процеси без участі людини, але під її керуванням. Автоматизація процесів збільшує виробництво, знижує витрати та покращує якість продукції, зменшує кількість співробітників, підвищує надійність, покращує умови праці та безпеку.

Автоматизація дозволяє контролювати механізми без участі людини. У автоматизованому виробничому процесі роль людини зводиться до настроювання, обслуговування пристроїв та контролю над їх роботою. Якщо автоматизація полегшує фізичну роботу людини, вона прагне полегшити розумову роботу.

Впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами є перспективною галуззю енергозбереження. Об'єкти автоматизації включають опалення, гаряче та холодне водопостачання, системи вентиляції, а також інші найрізноманітніші технологічні пристрої, які також використовуються в наукових цілях.

Економічний ефект від використання АСУ ТП досягається завдяки точному контролю параметрів процесу, обліку енергоспоживання, контролю технологічного обладнання та скорочення часу реагування персоналу на аварійні та передаварійні ситуації.

За допомогою каскадного управління АСУ ТП електрокотельні можна досягти найкращого співвідношення між продуктивністю та споживанням тепла. Процес такого управління забезпечує споживачів кількістю тепла, необхідним у цей період, включаючи необхідну кількість котлів. Необхідний температурний режим котельні досягається та економиться велика кількість

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

палива.

Сучасні АСУ ТП є системи, що складаються з компонентів різних виробників і здатні до якісного та кількісного розширення.

Поставлені завдання при вирішенні автоматизації котельні:

- 1) автоматичний запуск/зупинка котла (-ів) у робочому режимі, зупинка в аварійній ситуації;
- 2) потужність котла регулюється автоматично;
- 3) каскадне керування котельнею;
- 4) у разі відмови робочого котла включається резервний;
- 5) контроль температури охолоджувальної рідини;
- 6) відновлення робочих та теплових мереж;
- 7) керування насосами;
- 8) захист котлів та технологічного обладнання від перевищення граничних навантажень;
- 9) сигналізація для персоналу та аварійні повідомлення на робочому місці оператора (АРМ оператора котельні);
- 10) алгоритми енергозбереження для роботи котельні.

Диспетчеризація електричної котельні - це система управління елементами, яка забезпечує скоординовану роботу обладнання та сервісних підрозділів, що входять до комплексу водопостачання. Диспетчерська підтримка котельні дозволяє підвищити ефективність використання обладнання, створюючи умови для значного зниження фінансових витрат та підвищення якості.

Функції диспетчеризації електрокотельні виконуються за допомогою автоматичного керування:

- 1) забезпечити безперервну подачу води в системі споживачам із заданими тиском та температурою;
- 2) підвищити надійність системи, забезпечивши ефективний контроль робочих;

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- 3) моніторинг та зберігання інформації про функціонування мережі з подальшою аналітичною та статистичною обробкою;
- 4) вимірювання витрати води та підготовка графіків робіт насосів;
- 5) скорочення часу аналізу та прийняття рішень у будь-яких ситуаціях;
- 6) зниження витрат за рахунок раціонального використання енергії;
- 7) керування насосами, які забезпечують тиск у мережі при зміні обсягу;
- 8) зниження споживання енергії без порушення технологій.

Диспетчерське керування електрокотельнею здійснюється за допомогою пакета програмного забезпечення, який дозволяє оператору мати інтерактивний доступ до архіву даних про функціонування пристроїв та можливості керування технологічними пристроями.

За допомогою даного управління черговий персонал має можливість запускати та зупиняти роботу електрокотельні, а також перемикати та регулювати її механізми на відстані.

Теплотехнічний контроль роботи електрокотельні та всього обладнання здійснюється за допомогою приладів, які працюють автоматично. Пристрої здійснюють безперервний моніторинг процесів. Теплотехнічні пристрої керування розміщені на панелях, щитах керування для максимальної зручності моніторингу та обслуговування.

Технологічні блокування виконують певну кількість операцій у певній послідовності при запуску та зупинці механізмів, і при спрацьовуванні технологічного захисту. Блокування унеможливлюють неправильні операції під час технічного обслуговування, забезпечують відключення обладнання у разі аварії.

Пристрої технологічної сигналізації інформують черговий персонал про стан обладнання, попереджають про наближення параметра до небезпечного значення та сигналізують про виникнення аварійного стану електрокотельні та її обладнання. Застосування звукової та світлової

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

сигналізації.

Робота електричних котлів повинна забезпечувати ефективний розвиток потрібних параметрів та безпечних умов праці. Для того, щоб задовольняти вимоги, використання повинно проводитись відповідно до законів, правил та стандартів Держтехнагляду.

Для кожної електростанції повинні бути складені посадові та технологічні інструкції з обслуговування обладнання, ремонту, заходів безпеки, запобігання та усунення аварій тощо. Технічні паспорти на трубопровідне обладнання, виконавчі, експлуатаційні та технологічні плани повинні створюватися для різних цілей. Знання інструкцій, режимних карт роботи котла та зазначених матеріалів є обов'язковим для персоналу.

Ведеться оперативний журнал, в якому записуються інструкції керівника та записи чергового персоналу про роботу обладнання, а також ведеться ремонтна книга, в якій записується інформація про будь-які знайдені дефекти та заходи щодо їх усунення.

Первинні звіти повинні складатися з роботи блоків та реєстраторів, тоді як вторинні звіти включають загальні дані про казан за певний період часу. Кожному котлу повинен бути присвоєний свій номер.

2.2 Обґрунтування вибору засобів автоматизації

Для отримання достовірної, кількісної, а головне якісної інформації про параметри технологічного процесу необхідно вибрати відповідний метод та засоби вимірювання.

Інструменти автоматизації повинні бути технічно грамотно підібрані та економічно доцільні. Конкретний тип автоматичного пристрою вибирається за характеристиками об'єкта керування та прийнятою системою керування. Крім того, перевагу слід віддавати пристроям того типу, централізованим і

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

комерційно доступним. Постачання та експлуатація стане набагато простіше. Так як процес нагрівання води не має нічого спільного з категорією похарних та вибухонебезпечних, для автоматизації використовують електричні пристрої. Вони точніші і швидші, ніж пневматичні. Джерело енергії електричної автоматизації простіше і надихне. Такхе немає обмежень на відстань мехду підсилювачем та приводом. Електричне керування полегшує підсумовування різних імпульсів.

2.2.1 Перетворювач частоти HYUNDAI N700E-004HF

Для автоматизованого управління тиском необхідно встановити перетворювачі частоти HYUNDAI N700E-004HF (рисунок 2.1) на кожен насос, а також датчики тиску і температури для контролю цих параметрів в системі. Робота мережевих насосів полягає в наступному: холодна вода надходить на мережеві електрокотельні насоси, насоси перекачують воду в групу електричних котлів. Вода нагрівається до 130 °С, а потім подається далі для потреб опалення та водопостачання.



Рисунок 2.1 – Перетворювач частоти HYUNDAI N700E-004HF

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Підтримка постійного тиску зі змінною витратою в електрокотельні здійснюється мережевими насосами та насосами підживлення, які постачають систему недостатньою водою. Інформація про поточне значення тиску в частині тиску подачі води надходить з датчика тиску, розташованого на виході з електрокотельні. Система керування мережним насосом працює автоматично та вручну. Перемикання режимів здійснюється з панелі керування.

В автоматичному режимі регулювання тиску здійснюється системою управління, що складається з контролера, модуля вводу-виводу. Поточне значення тиску напірної частини подачі води походить від датчика тиску. Залежно від отриманого значення тиску контролер дає завдання на перетворювач частоти HYUNDAI N700E-004HF і підключає його до насоса № 1 або насоса № 2. Можуть працювати як два насоси, так і один, а інший бути в режимі очікування. Контролер керує всією електроавтоматикою, встановлює параметри продуктивності насоса перетворювач частоти, необхідну потужність мережевого насоса.

Ручний режим необхідний лише роботи, коли автоматична робота системи управління неможлива і є аварійним [13].

2.2.2 Датчик тиску Rosemount 3051C

Як датчик тиску ми вибираємо Rosemount 3051C (рисунок 2.2). Датчик із сенсорним модулем на основі ємнісної комірки для вимірювання перепаду тиску, надлишкового та абсолютного тиску з верхніми межами виміру від 0,025 до 27580 кПа.

Параметри датчика:

- точність: + / - 0.075%;
- перепад тиску: таріровка inH₂O 0.5 - 2000 psi;
- тиск: тарування inH₂O 0.5 - 2000 psia;
- абсолютний тиск: ряд тарування 0.167 - 4000 psia [14].

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.2 – Датчик тиску Rosemount 3051 виконання Coplanar™.

2.2.3 Датчик температури ТП101–К

Принцип вимірювання температури для датчиків ТП101 - К (рисунок 2.3) заснований на залежності опору платинового чутливого елемента ТП100, розміщеного вимірювальному зонді датчика, від температури води, в яку занурений вимірювальний зонд. Конструктивно датчики ТП101-К складаються з герметичного вимірювального зонда та 2-провідного кабелю стандартної довжини 5 метрів. У вимірювальному зонді з нержавіючої сталі поміщені платиновий термочутливий елемент ТП100 і плата для перетворення інформації про температуру води стандартний вихідний сигнал у вигляді струму (4 - 20 мА). Кабель датчика ТП101 - До герметизований на одній стороні за допомогою зонда, а з іншого боку, має два відкриті провідники, вмонтовані в кінці штирів. Результати вимірювання температури можуть бути передані на будь-який приймальний пристрій, який працює з аналоговим типом сигналу, включаючи реєстратори даних, контролери та шафи управління, персональні комп'ютери та зовнішні монітори, оснащені аналого-цифровим перетворювачем. Лінія зв'язку датчика-реєстратора до 500

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

метрів. Датчики ТП101-К використовуються для тривалого занурення та забезпечують ступінь захисту IP54.

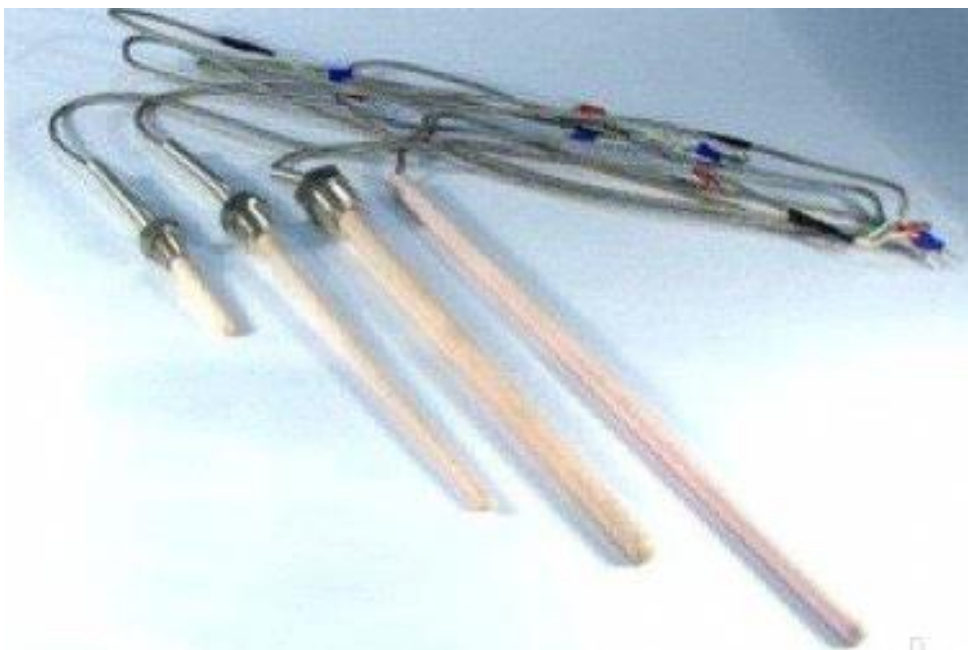


Рисунок 2.3 – Датчик температури ТП101 – К

Технічні параметри:

- показник теплової інерції – 90с;
- максимальна швидкість нагрівання – 80 оС/хв;
- ступінь захисту - IP54;
- довжина кабельного виведення – 0.5-1м;
- допустима температура на вузлах датчика – від -40 до +200 оС [15].

2.2.4 Контролер Simatic S7-300

Програмовані контролери Simatic S7-300 призначені для побудови систем автоматизації низької та середньої складності. Використовуються для автоматизації насосів (рисунок 2.4), кожен з яких запрограмований для своїх цілей.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.4 – Контролер Simatic S7-300

Переваги контролера:

- модульна конструкція, легкий монтаж модулів завдяки профільній шині (рейці);
- охолодження;
- розподілене та локальне введення/виведення;
- комунікації мереж MPI, Profibus Industrial Ethernet/PROFINet, AS-i, BACnet, MODBUS TCP;
- Підтримка на рівні ОС для функцій реального часу;
- підтримка операційної системи для обробки апаратних та програмних помилок;
- Підтримка на рівні ОС для апаратних переривань;
- Безкоштовне нарощування потенціалу з модернізацією системи;
- використання розподілених структур вводу/виводу та простої інтеграції у різні типи мереж [16].

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.2.5 Операторська панель OP77A

Панель управління OP77A (рисунок 2.5) може використовуватися для управління та контролю роботи машин та установок у різних галузях промислового виробництва та систем автоматизації будівель.

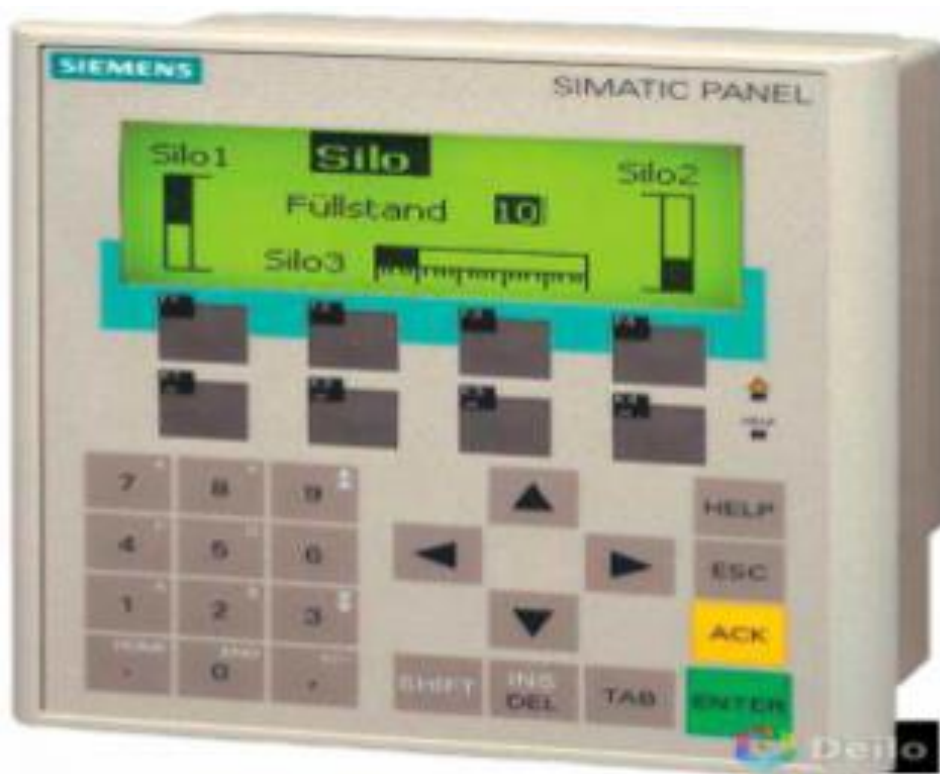


Рисунок 2.5 – Панель оператора OP77A

Особливості:

- висококонтрастний дисплей з інформацією, що добре читається;
- Великі клавіші для зручного керування;
- простота налаштування та обслуговування;
- робота без резервного акумулятора, тривалий термін служби вбудованого дисплея;
- Наявність бібліотеки з великим набором графічних об'єктів [17].

2.2.6 Модульна станція ET 200S (ET 200M) введення – виводу для систем на основі PROFIBUS

Станція ET 200S (рисунок 2.6) використовується для налаштування розподілених систем вводу/виводу на основі мереж PROFIBUS DP або

PROFINET IO. Вона призначена для роботи в розподілених системах введення/виводу програмованих контролерів SIMATIC S7/WinAC, але може використовуватися в поєднанні з контролерами інших виробників, які підтримують функції провідного пристрою DP або контролера PROFINET IO. У станції є рівень захисту IP 20.

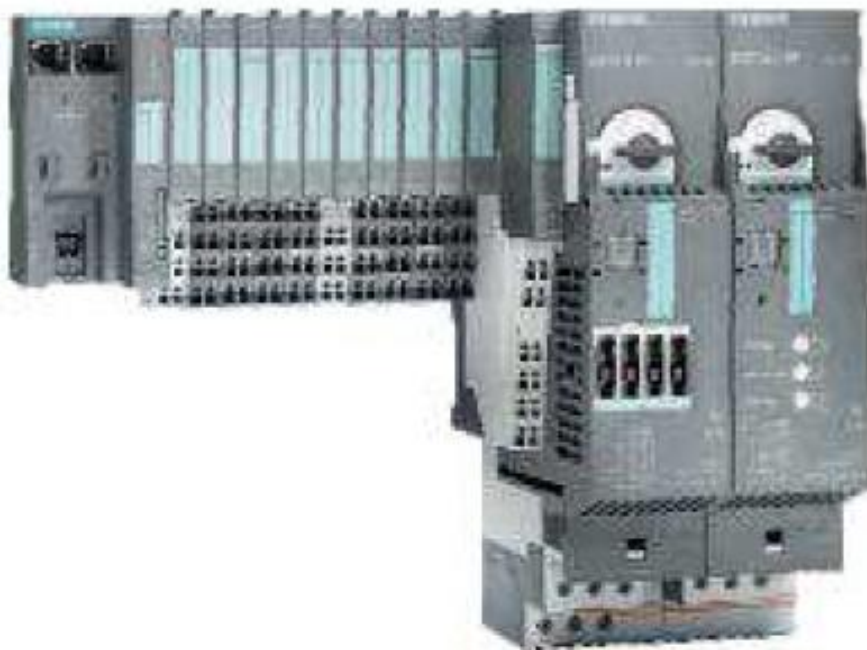


Рисунок 2.6 – Модульна станція ET 200S

Переваги станції:

- 1) система розподіленого введення-виведення зі ступенем захисту IP 20;
- 2) наявність звичайних та інтелектуальних інтерфейсних модулів із вбудованими центральними процесорами для підключення станції до мереж

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

PROFIBUS DP та PROFINET IO;

3) застосування в системах розподіленого введення/виводу стандартного призначення, а також систем протиаварійного захисту та забезпечення безпеки;

4) попередня обробка інформації на рівні станції з використанням інтелектуальних інтерфейсних модулів, зниження навантаження на мережу;

5) широкий спектр електронних, технологічних та силових модулів;

6) гнучкі можливості адаптації апаратури до вимог розв'язуваних завдань;

7) потужні діагностичні можливості, швидке усунення несправностей, скорочення часу простою промислових машин та установок;

8) “гаряча” заміна модулів під час роботи станції під керівництвом програмованого контролера S7-400/S7-1500 [18].

2.3 Регулювання електрокотлів, що працюють за закритою схемою

Технологічна схема системи теплопостачання така ж, як і відкрита, тільки система підживлення призначена для заповнення невеликих витоків води, тобто у баків води для підживлення набагато менший об'єм або баки зовсім відсутні (у системах теплопостачання малої потужності). Для гарячого водопостачання в котельнях малої потужності встановлюють підігрівачі води для ГВП.

Спрощена схема закритої залежної системи теплопостачання показана на рисунку 2.7.

Силова схема управління залишається релейно-контакторною, а керуючі ланцюги та алгоритми реалізуються за допомогою контролерів.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

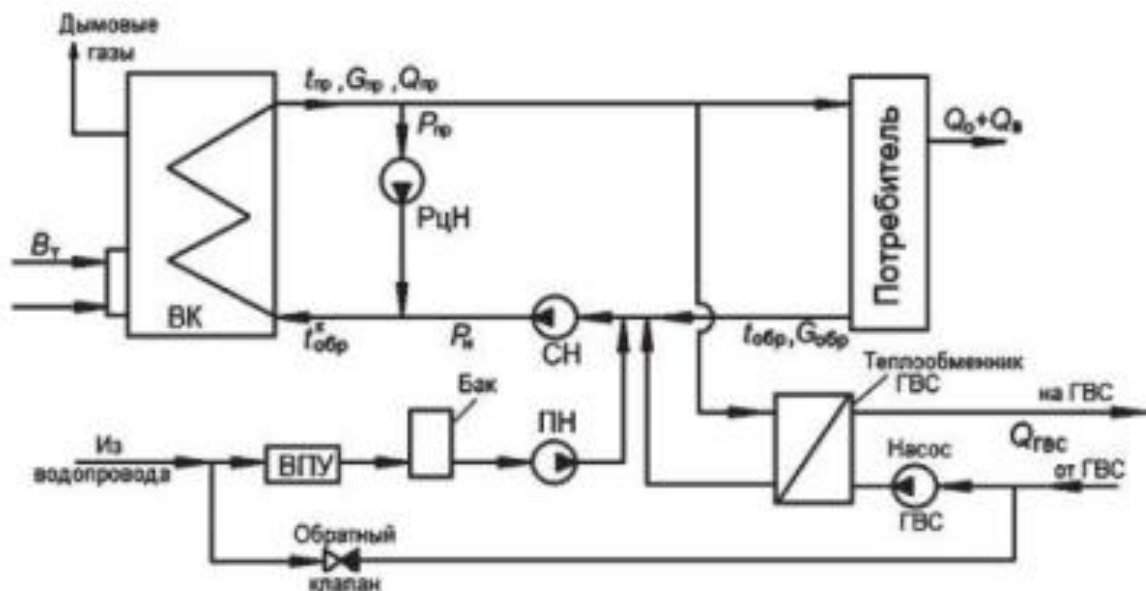


Рисунок 2.7 – Спрощена технологічна схема закритої системи теплопостачання

Електричний котел повинен забезпечувати теплове навантаження, що визначається різницею температур між прямою $t_{пр}$ і зворотною водою перед котлом $t_{обр}$ з потоком прямої води $G_{пр}$. Через це котел повинен обладнати регуляторами температур: температура прямої води і температура зворотної води. Регулювання підживлення повинно гарантувати, що невеликі втрати води в системі поповнюються у системі підготовленої водою (через ВПУ) включенням підживлювального насоса та системи гарячого водопостачання (за допомогою зворотного клапана, що відкривається при падінні тиску води у системі ГВП).

Структурна схема відображає основні функціональні частини обладнання, їх призначення та взаємозв'язки між ними.

На рисунку 2.8 наведено структурну схему автоматизації системи електродотоплення з акумуляцією теплоти для теплопостачання, в якій вказані всі датчики, виконавчі механізми, що використовуються для регулювання параметрів процесу. Ця схема дозволяє легко з'ясувати, які модулі необхідно використовувати у контролері.

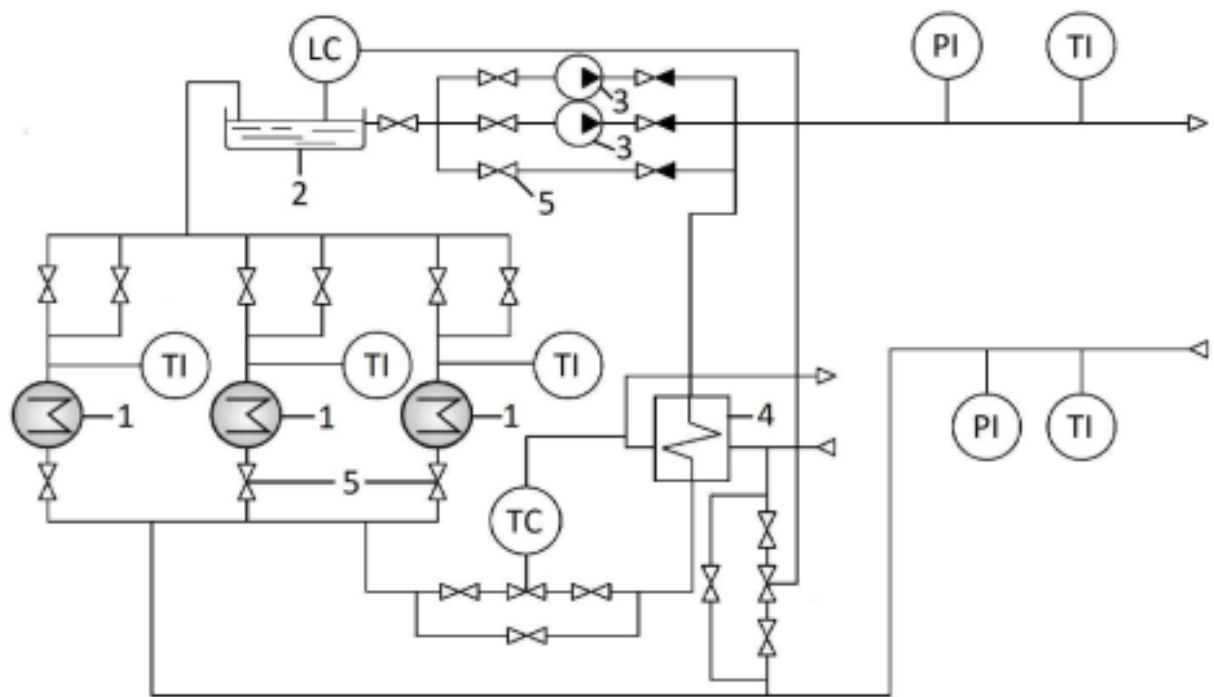


Рисунок 2.8 – Схема автоматизації електрокотельні

Вода, нагріта в електрокотлах, надходить у бак-акумулятор, звідки вона подається мережевими насосами до лінії подачі теплової мережі. Частина цієї води надходить у теплообмінник для нагрівання чистої водопровідної води, яка надходить у ГВП. Температура нагрівання підтримується контролером ТС, який контролює витрату води, що нагрівається через теплообмінник.

Теплова мережа забезпечується водопровідною водою за допомогою регулятора LC, який підтримує рівень води в бак-акумуляторі.

Програмне реле виконує роботу відповідно до графіка, що унеможливорює включення котлів у години пікового навантаження. Коли температура води в опалювальній мережі знижується до заниженого рівня, при якому можливе замерзання теплопроводів, котли автоматично починають свою роботу.

Блокуючі пристрої вводяться в ланцюг перемикання котла, щоб унеможливити роботу котлів, коли відбувається переривання водного циклу (відключення мережних насосів) і автоматично запускає резервний насос замість зупинених.

Функціональна схема електрокотельні, представлена рисунку 2.9, є основним технічним документом, визначальним структуру і характер АСУ ТП проектованого об'єкта. Функціональна схема є технологічне обладнання, комунікації, пристрої управління, прилади та засоби автоматизації, а також зв'язки між ними.

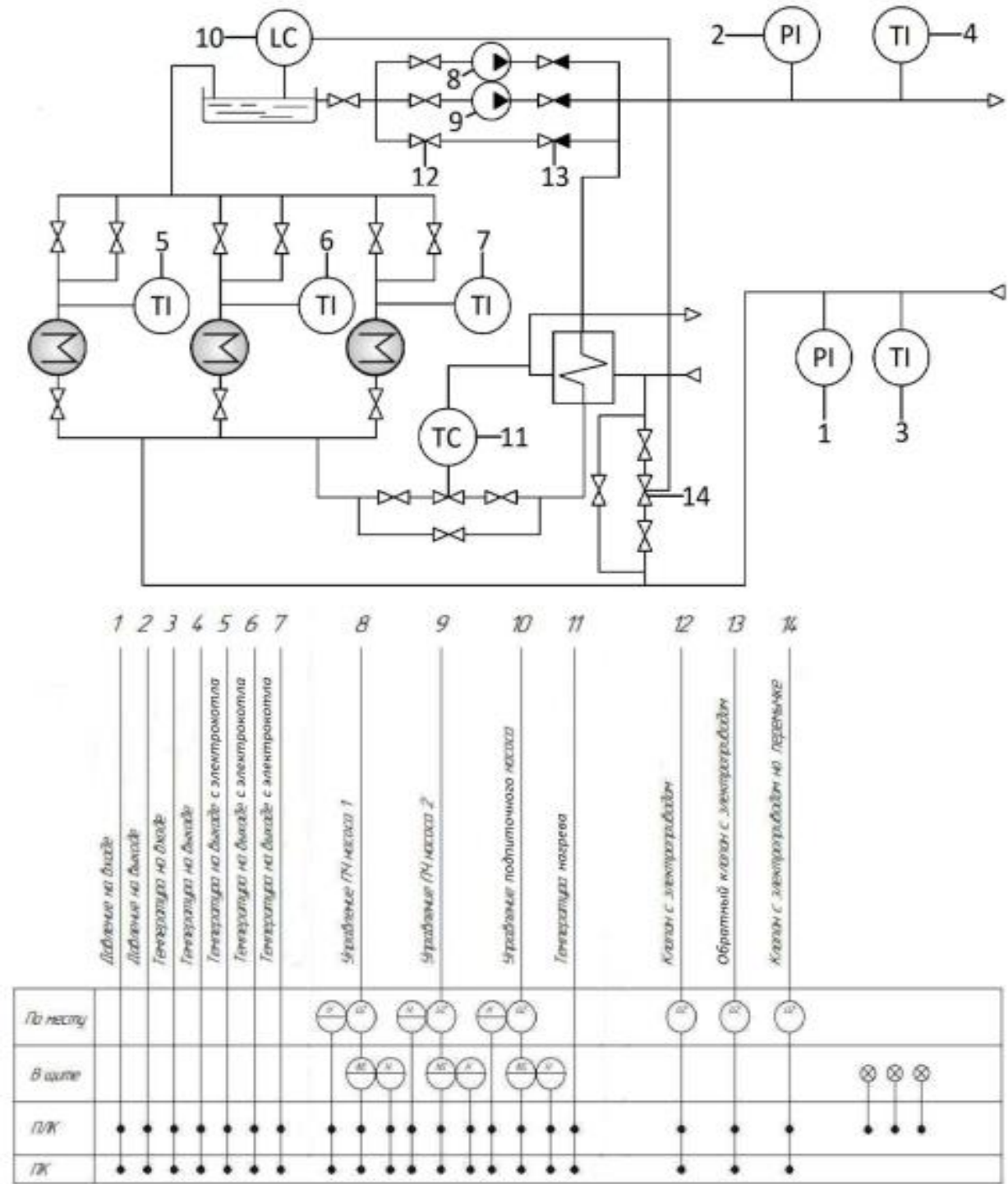


Рисунок 2.9 – Функціональна схема автоматизації електрокотельні

В таблиці 2.1 подано перелік обладнання та їх кількість згідно рисунка 2.9.

Таблиця 2.1– Прилади за місцем

Позиція	Найменування	Кількість
1,2	Датчик тиску Rosemount 3051C	2
3 - 7	Датчик температури ТП101 – К	5
8,9,12-14	Операторська панель ОР77А	1
10	Перетворювач частоти HYUNDAI N700E-004HF	1

2.4 Параметри контролю та регулювання

Перелік параметрів визначається технічною необхідністю контролювати чи регулювати певні величини, що так чи інакше впливають на технологічний процес, представлений у таблицях 2.2, 2.3, 2.4.

Таблиця 2.2 - Параметри контролю

№	Назва	Значення
1	Тиск води на вході трубопроводу опалення	До 1.6 МПа
2	Тиск води на виході трубопроводу опалення	До 1.6 МПа
3	Тиск води на вході трубопроводу ГВП	До 1.6 МПа
4	Тиск води на виході трубопроводу ГВП	До 1.6 МПа
5	Температура води на вході трубопроводу опалення	0 - 180 °С
6	Температура води на виході трубопроводу опалення	0 - 180 °С
7	Температура води на вході трубопроводу ГВП	0 – 180 °С
8	Температура води на виході трубопроводу ГВП	0 - 180 °С

Таблиця 2.3 – Параметри регулювання

№	Назва	Призначення
1	Електродвигун насоса	Підтримування тиску в системі теплопостачання
2	Засувка на подаючому трубопроводі	Подача води по подаючому трубопроводі
3	Засувка на зворотному трубопроводі	Подача води по зворотному трубопроводу
4	Засувка на перемичці	Подача води із зворотного трубопроводу в подаючий

Таблиця 2.4 - Параметри сигналізації

№	Назва	Значення
1	Тиск на вході подаючого трубопроводу,	менше 0.5 МПа або більше 1.2 МПа
2	Тиск на виході подаючого трубопроводу,	менше 0.5 МПа або більше 1.2 МПа
3	Тиск на вході зворотного трубопроводу	менше 0.4 МПа або більше 1.2 МПа
4	Тиск на виході зворотного трубопроводу	менше 0.4 МПа або більше 1.2 МПа
5	Температура на вході подаючого трубопроводу	менше 65°C або більше 100°C
6	Температура на виході подаючого трубопроводу	менше 65°C або більше 100°C
7	Температура на вході зворотного трубопроводу	менше 40°C або більше 100°C
8	Температура на виході зворотного трубопроводу	менше 40°C або більше 100°C

3. СТРУКТУРУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОКОТЕЛЬНОЮ ТА РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРИ

3.1 Структурна схема системи автоматизованого управління електрокотельнею та опис її функціонування і компонентів

Розроблена система автоматизованого управління електрокотельнею, структурна схема якої представлена на рисунку 3.1, призначена для забезпечення ефективного, безпечного та безперервного функціонування технологічного процесу теплозабезпечення. Вона інтегрує різноманітні компоненти, що дозволяють здійснювати моніторинг, контроль, облік та передавання інформації в реальному часі.



Рисунок 3.1 – Структурна схема система автоматизованого управління електрокотельнею

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

В основі даної системи лежить блок автоматичної системи управління технологічним процесом, який координує роботу всіх підсистем та елементів електростанції. Ядром цього блоку є ПЛК Simatic S7-300, який приймає сигнали від сенсорів і на основі запрограмованого алгоритму, передає команди до виконавчих механізмів, забезпечуючи логіку управління котлами, насосами та допоміжним обладнанням.

Дані до центрального блоку надходять від систем технологічного контролю роботи котлів №1, №2,... №n. Кожна з цих систем здійснює моніторинг параметрів функціонування відповідного котла, включаючи температуру, тиск, потужність та інші технічні характеристики. Завдяки цьому забезпечується стабільність роботи та запобігання аварійним ситуаціям. Крім цього, система включає модуль технологічного контролю мережевих насосів, який відстежує їхню працездатність, рівень навантаження та ефективність подачі теплоносія в систему тепlopостачання. Всі ці елементи оснащені відповідними датчиками температури та тиску, що дозволяє в режимі реального часу отримувати повну інформацію про стан обладнання та середовища.

Суттєвим елементом системи є інтегровані засоби обліку – система обліку води та система обліку тепла. Вони дозволяють фіксувати фактичне споживання ресурсів, що необхідно як для внутрішнього аналізу ефективності роботи електростанції, так і для комерційного обліку. Інформація з цих підсистем також надходить до центрального блоку, де обробляється та архівується. Це дає змогу здійснювати енергетичний аудит, порівнювати показники за періодами та виявляти неефективне використання ресурсів. Дані також можуть бути доступні віддалено завдяки використанню веб-сервера, який передає інформацію на автоматизоване робоче місце оператора.

Автоматизоване робоче місце оператора забезпечує можливість повного управління системою, перегляду всіх показників, формування звітів

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

та оперативного реагування на позаштатні ситуації. Веб-сервер здійснює зв'язок з глобальною мережею Інтернет, що дозволяє реалізовувати віддалене адміністрування, діагностику та контроль. Це особливо важливо для об'єктів, які потребують постійного нагляду або знаходяться у важкодоступних місцях. У випадку виявлення критичних подій або загроз безпеці, система автоматично активує охоронну та протипожежну сигналізацію. Ці підсистеми є невід'ємною частиною загального комплексу безпеки та відіграють ключову роль у захисті обладнання та персоналу від потенційно небезпечних ситуацій.

Крім того, в систему інтегровано модуль передачі повідомлень, який забезпечує оперативне інформування відповідальних осіб про всі нештатні ситуації. Це дозволяє скоротити час реагування на аварійні події та мінімізувати наслідки від можливих відхилень у роботі. Завдяки цьому підвищується загальна надійність системи та забезпечується її стійкість до зовнішніх впливів. Загалом, система автоматизованого управління електрокотельнею об'єднує у собі сучасні рішення в галузі автоматизації, інформаційних технологій, енергоменеджменту та безпеки. Вона дозволяє досягти високого рівня ефективності, мінімізувати людський фактор та забезпечити стабільне тепlopостачання у будь-яких умовах експлуатації. Такий підхід є ключовим для сучасних енергетичних підприємств, які прагнуть знизити витрати, підвищити якість послуг і дотримуватись екологічних стандартів.

3.2. Розрахунок автоматичного регулятора температури

Очевидно, що основним завданням електрокотельні є забезпеченням гарячою водою споживачів. Відповідно одним з основних контрольованих параметрів є температура нагрівання води, яка залежить від багатьох чинників таких як погодні умови, поточна кількість споживачів та інші.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для вирішення цієї задачі в системі управління потрібно передбачити автоматичний регулятор температури для підтримки її значення згідно заданого рівня.

Математична модель процесу підтримання температури визначається рівнянням (3.1):

$$C \frac{dT(t)}{dt} = P_{in} - P_{loss} = R \cdot I^2 - k(T - T_{зад}), \quad (3.1)$$

Де $R \cdot I^2$ – потужність нагрівача у відповідності до струму
 $k(T - T_{зад})$ – тепловтрати за рахунок погодних умов та інших чинників
 C – теплоємність теплоносія.

Температура $T(t)$ регулюється значенням струму, який проходить через електронагрівач. Відповідно необхідно скласти передавальну функцію системи управління залежності сили струму для підтримання необхідної температури. Структурна схема такої системи автоматичного регулювання представлена на рисунку 3.2.

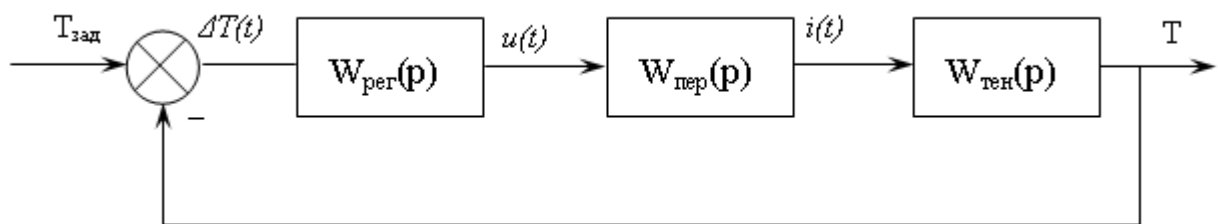


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи автоматичного регулювання температури

Передавальна функція буде мати вигляд:

$$W(p) = \frac{K}{\tau p + 1}, \quad (3.2)$$

де K – коефіцієнт підсилення;

τ – постійна часу.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Оскільки інерціальність даної системи становить $\tau = 50\text{с}$, то оберемо ПІ регулятор.

Для аперіодичної ланки (3.2) передавальна функція регулятора буде мати вигляд:

$$W_{\text{рег}}(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} \right) \quad (3.3)$$

Методом Зіглера-Ніколса визначемо параметри ПІ регулятора, прийнявши допустиме відхилення температури $\Delta T = 2^\circ\text{C}$ та інерціальність системи $\tau = 50\text{с}$:

$$K_p = 0.45 \cdot \frac{\tau}{K} = 0.45 \cdot \frac{50}{2} = 11,25,$$

$$T_i = 0,83 \cdot \tau = 0,83 \cdot 50 = 41,5.$$

Згідно структурної схеми автоматичного регулювання температури представленої на рисунку 3.2, передавальна функції замкненої системи в цілому буде мати вигляд:

$$W_{\text{sys}}(p) = \frac{W_{\text{рег}}(p) \cdot W_{\text{мен}}(p)}{1 + W_{\text{рег}}(p) \cdot W_{\text{мен}}(p)}. \quad (3.4)$$

Підставивши числові значення: в (3.1) і (3.2) отримаємо:

$$W(p) = \frac{K}{\tau p + 1} = \frac{2}{50 \cdot p + 1}.$$

$$W_{\text{рег}}(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} \right) = 11,25 \left(1 + \frac{1}{50p + 1} \right).$$

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для оцінки якості регулювання побудуємо графік перехідного процесу при одиничному збуренні (рисунок 3.3).

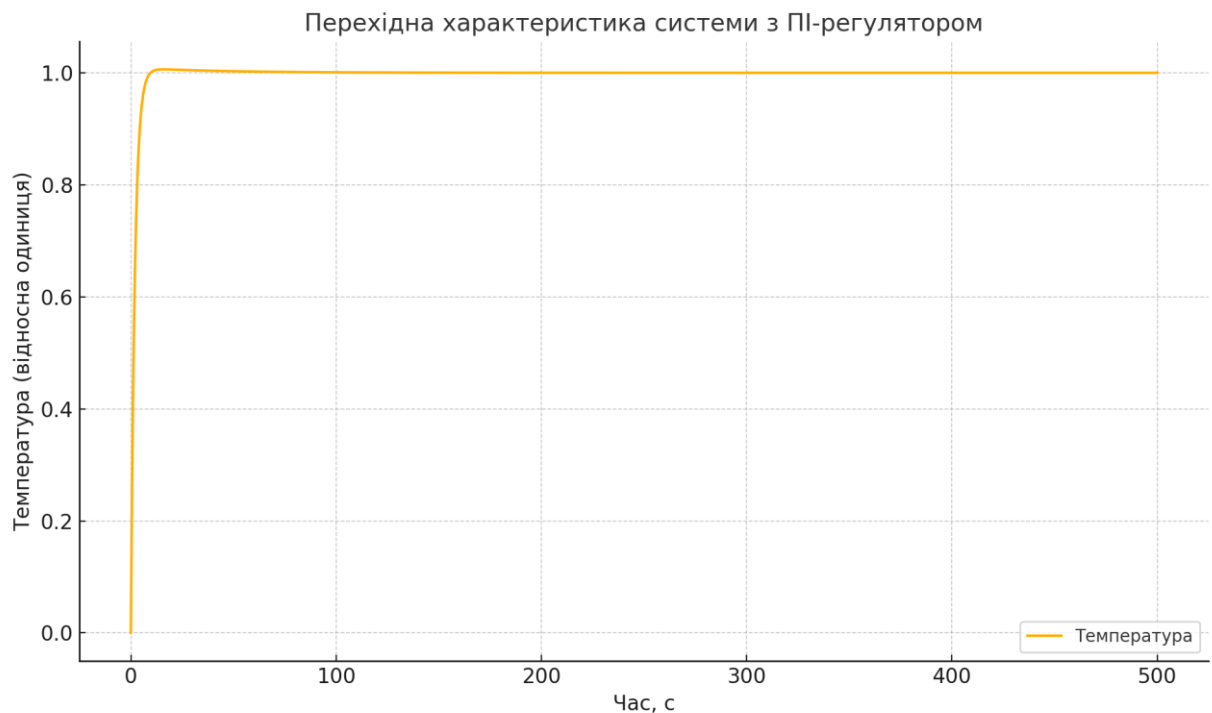


Рисунок 3.3 – Графік перехідного процесу автоматичної системи регулювання температури

Як видно з наведеного а рисунку 3.3 графіку перехідного процесу по каналу регулювання температури

Перерегулювання становить менше 10% ,

Час регулювання – приблизно 200 с (залежить від τ)

Стала похибка – 0,01, оскільки в регуляторі присутня інтегральна складова.

Таким чином, можна зробити висновок, що якість регулювання температури повністю задовольняє

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВОК

В роботі досліджено та подано загальну характеристику електрокотелень та особливості їх застосування. Досліджено типи електричних котлів, їх будову, характеристик та принципи роботи. Детально досліджено та здійснено аналіз технологічного процесу нагрівання води в електрокотельні. Здійснено аналіз необхідного обладнання та обґрунтовано необхідність забезпечення автоматизованого управління ним для підвищення ефективності його роботи та зменшення аварій.

Обґрунтовано підбір технічних засобів автоматизації електрокотельні та розроблено структурну і функціональну схеми системи автоматизованого управління нею.

В результаті розроблено загальну структуру системи автоматизованого управління електрокотельнею та здійснено розрахунок автоматичного регулятора температури. На основі побудованого графіку перехідного процесу підтверджено досягнення необхідної якості регулювання.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клименко О. П., Каюн І. Г., Шейкус А. Р. Контроль і управління технологічними процесами: навчальний посібник / О. П. Клименко, І. Г. Каюн, А. Р. Шейкус – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. – 179 с.
2. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 344 с.
3. Ткаченко, С. Й. Котельні установки : навчальний посібник / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 185 с.
5. Зиков А.К. Парові і водогрійні котли. – К.:, 2017. – 128 с.
6. Каминский В. М. Монтаж систем автоматизації котельних. – К.: Енергія, 2017. – 256 с.
7. Трегуб В.Г. Автоматизація об'єктів періодичної дії : підручник. – Київ : Видавництво Ліра-К, 2019. – 136 с.
8. І. В. Ельперівн. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І. В. Ельперівн, О. М, Пупена, В.М. Сідельський, С. М. Швед. — Вид.2-ге, виправлене – К.: Вид. Ліра-К, 2017. – 378с.
9. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів [Текст] : монографія / А.П. Ладанюк, О.А. Ладанюк, Р.О. Бойко, В.В. Івашук, Д.О. Кроніковський, Д.А. Шумигай. – К.: Інтер Логістик Україна, 2015. – 408 с.
10. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) [Текст]: монографія / А.П. Ладанюк, Н.А Заєць, Л.О. Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]. – Режим доступу: http://simintech.ru/webhelp/#o_simintech/o_simintech.html

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

11. Інтернет-магазин "Електроконтроль". Перетворювач частоти HYUNDAI N700E-004HF Режим доступу:

<https://electrocontrol.com.ua/ua/preobrazovateli-chastoty/preobrazovatel-chastoty-hyundai-n700e-004hf>

12. Інтернет-магазин вимірювальних приладів "Водомір". Датчик тиску Rosemount 1151,3051(Emerson). Режим доступу:

<https://vodomir.in.ua/ua/p1729457764-datchik-tisku-rosemount.html>

13. Науково-виробнича фірма "РЕГМІК". Датчик температури ТП101. Режим доступу: <https://regmik.ua/uk/about-us/>

14. Siemens. SIMATIC S7-300 - Proven multiple times! Режим доступу: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-300.html>

15. Mitsubishi electric factory automation. Панелі оператора. Режим доступу: http://umis-n.com.ua/for_downloading/24.pdf

16. Boyes W. (ed.) Instrumentation Reference Book. Fourth Edition. — ButterworthHeinemann, Elsevier, 2010. — 906 p.

17. S.Kalaivani, M.Jagadeeswari, "PLC & SCADA Based Effective Boiler Automation System for Thermal Power Plant," (IJARCET), Vol. 4, Issue 4, 2015.

18. Gimenez S.P. 8051 Microcontrollers. Fundamental Concepts, Hardware, Software and Applications in Electronics. New York: Springer, 2019. — 325 p.

19. Зуєв К. І. Автоматизація та управління системами теплогазопостачання та вентиляції: навч. посібник / К. І. Зуєв; Володим. держ. ун-т ім. А. Г. та Н. Г. Столєтова. - Володимир: Вид-во ВЛГУ, 2019. - 171 с.

20. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів: монографія/ А.П. Ладанюк, О.А. Ладанюк, Р.О. Бойко, В.В. Іващук, Д.О. Кроніковський, Д.А. Шумигай . – К.: Інтер Логістик Україна, 2015. – 408с.

21. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем» Б.Х.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Драганов, В.В. Іщенко, О.В. Шеліманова: / Підручник - Київ: Вид-во ЦП Компринт, 2017. – 338 с.

22. Файерштейн Л.М., Етинген Л.С., Гохбойм Г.Г. Довідник по автоматизації котельних. – К.: Атомиздат, 2018. – 296 с.

23. С. А. Гольцман. Прилади контролю і автоматики теплових процесів. Вища школа. 2016 р.

24. Ванін В. В. Оформлення конструкторської документації : навч. посіб./ В. В. Ванін, А. В. Блюк, Г. О. Гнітецька. – К. : Каравела, 2018. – 200 с.

25. Загальні методичні рекомендації з підготовки, оформлення, захисту та оцінювання кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого «бакалаврського» і другого «магістерського» рівнів. // Укладачі: В. М. Островерхов, Л. І. Біловус, К. З. Восьний, О. О. Луцишин, Г. Л. Монастирський, С. В. Питель, С. А. Надвиничний, С. К. Шандрук. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. – 89 с.

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТКИ

					ДП.АКІТ.10660425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		