

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Система автоматичного керування блок-модульної котельні

Назва теми

КвРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

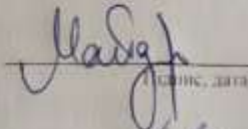
студент 3 курсу, група АКІТс-20-1



Підпис

Владислав ЗАПАРНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник



Підпис, дата

Павло МАЙДАН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри автоматизації,  
комп'ютерно-інтегрованих  
технологій та робототехніки



Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 6 » червня 2023 р.

Хмельницький 2023

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

В. Моргун

«01» 02 2023р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Запарнюк Владислав Олександрович

- 1 Тема роботи: Система автоматичного керування блок-модульної котельні керівник роботи Майдан П.С., к.т.н, доцент  
Затверджено наказом по університету від «01» березня 2023р. №5.
- 2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 03.06.2023р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Загальні відомості про котельні. Основна частина. Розробка системи керування технологічним процесом. Моделювання роботи системи керування технологічним процесом. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) 1. Структурна схема керування котлом. 2. Схема підключення контролеру СК3-01. 3. Блок-схема алгоритму керування технологічним процесом.


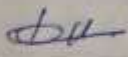


Завдання отримав

Науковий керівник

В. Моргун

Майдан П.С.

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

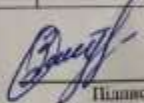
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7. Дата видачі завдання « 01 » 02 2023 р.

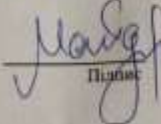
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2023р.	Виконано
2	Загальні відомості про котельні	15.03.2023р.	Виконано
3	Основна частина	10.04.2023р.	Виконано
4	Розробка системи керування технологічним процесом. Моделювання роботи системи керування технологічним процесом	10.05.2023р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2023р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КРБ	25.05.2023р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.06.2023р.	Виконано

Студент

 В.О. Зелениук  
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник роботи

 І.С. Малишев  
Підпис Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система автоматичного керування блок-модульної котельні».

Автор роботи: Запарнюк Владислав Олександрович

Керівник роботи: Майдан П.С. к.т.н., доцент

Пояснювальна записка: 59 с., 24 рис., 1 табл., 2 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГАЗОПОСТАЧАННЯМ, МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА, МІКРОКОНТРОЛЕР, СПЕКОН, OMRON, ТЕМПЕРАТУРА, КОТЕЛ.

Метою роботи є розробка системи автоматичного керування газопостачанням котельень для зниження споживання палива на одиницю виробленої теплової чи електричної енергії. Встановлено технічні характеристики об'єкта автоматизації, виконано аналітичний огляд технологічного процесу постачання палива, дано коротку характеристику основного обладнання, що використовується, проаналізовано технологічний процес. Розроблено та запропоновано систему автоматичного керування: отримали модель об'єкта - залежність температури води із мережі для споживача, від витрати води із котла на теплообмінник, тобто зміною положення триходового клапана буде виконуватись регулювання температури води для споживача. Було обрано закон регулювання та прораховано оптимальні коефіцієнти налаштування регуляторів, обрано комплекс технічних засобів для системи автоматичного керування.

06.2023р.

дата

  
Підпис

## Зміст

ВСТУП	с. 3
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОТЕЛЬНІ	5
1.1 Технічна характеристика котельні, як об'єкту автоматизації	5
1.2 Технологічний процес роботи котла	5
1.3 Технічні характеристики встановленого обладнання	8
1.4 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації	16
1.5 Висновки до першого розділу	18
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ	19
2.1 Система автоматичного керування, яка вже використовується	19
2.2 Аналіз системи автоматичного керування, яка вже використовується	20
2.3 Вибір та обґрунтування системи автоматичного керування технологічним процесом	22
2.4 Висновки до другого розділу	27
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ	28
3.1 Математичний опис об'єкта керування	28
3.2 Аналіз впливу збурення на систему керування	41
3.3 Вибір комплексу технічних засобів для системи керування	42
3.4 Технологічні системи автоматичного захисту об'єкта керування	48
3.5 Висновки до третього розділу	52
ВИСНОВКИ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54
ДОДАТКИ	59

<b>КВРАКІТ.2020038.01.06 ПЗ</b>								
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Система автоматичного керування блок-модульної котельні. Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Запарніох В.О.		6.06.23		y	2	59
Перевір.		Майдан П.С.		6.06.23				
Н.контр.		Корещька Л.О.		6.06.23				
Затвер.		Мартинюк В.В.		6.06.23				
						ХНУ гр. АКІТс-20		

## ВСТУП

На сучасному етапі необхідність підвищення ефективності виробництва поставила завдання, успішне вирішення яких багато в чому пов'язане з упровадженням на підприємствах засобів автоматизації та обчислювальної техніки.

Основою автоматизації будь-якого виробництва є створення високоефективних, функціонально розвинених автоматизованих та систем автоматичного керування (САК) складними технологічними процесами, агрегатами та виробництвами із застосуванням електронних керуючих обчислювальних машин та спеціалізованих засобів автоматизації. Застосування автоматичних систем керування технологічними процесами (АСК ТП) підвищує загальний рівень організації виробництва й оперативності взаємодії персоналу з технічним агрегатом. Це призводить до скорочення загального циклу виробництва, внутрішньовиробничі заділи та забезпечує більш повне використання матеріалів, тобто істотно підвищує віддачу фондів. З'являється можливість переходу до оптимізованих режимів ТП, що збільшує продуктивність агрегатів, підвищує ефективність використання сировини та матеріалів, а також запобігає аварійним ситуаціям. Відповідно, загальна якість готового продукту поліпшується, а його характеристики стабілізуються.

З урахуванням досить швидкого розвитку та розширення сфери застосування до засобів обчислювальної техніки в САК висуваються наступні вимоги: реалізованості різних законів керування на базі єдиних технічних засобів (або програмованість), можливості широко варіювати кількість та вид інформаційних та керівних сигналів, орієнтації на заданий курс часу, що визначається характером процесу, який керується.

Ускладнення реалізованих алгоритмів, підвищення рівня інтеграції елементів, вимоги уніфікації засобів, призводять до значних змін у самій методиці проектування. В цілому завдання проектування нових САК все більше

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ускладнюються.

Значних змін зазнають навіть ті моделі та методи, що застосовуються на різних етапах проєктування. Неодмінною умовою подолання даних перешкод є системний підхід під час проєктування та автоматизації на основі застосування обчислювальних машин. Енергетика є найважливішою складовою всієї нашої економіки та останнім часом привертає до себе особливу увагу. Все більше людей опиняються тією чи іншою мірою втягнуті у сферу газо- та електропостачання, для забезпечення енергетичної безпеки нашого суспільства.

Саме тому, актуальною є проблема підвищення ефективності системи газопостачання, встановлення сучасного обладнання на котельні та ТЕЦ, що дасть змогу знизити споживання на одиницю виробленої теплової чи електричної енергії.

Нормативний термін експлуатації обладнання, що встановлене в усіх районах, становить понад 20-30 років, робота котелень не буде вимагати постійної присутності обслуговуючого персоналу, буде виконуватись залежно від погоди регулювання витрати теплоносія, що надасть змогу котельні працювати в оптимальному режимі.

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОТЕЛЬНІ

## 1.1 Технічна характеристика котельні, як об'єкту автоматизації

Згідно із технічним завданням, в якості об'єкта керування виступає блок-модульна котельня. На такій котельні може бути встановлено, наприклад, два водогрійні опалювальні котли марки Logano S815 із загальною тепловою потужністю по 2,5 МВт, вона повністю автоматизована і, відповідно, не потребує постійної присутності обслуговуючого персоналу [1, 2]. Загальні технічні характеристики даного типу котельні подано в режимній карті котельні, зведеної в таблицю Г.1, наведену в додатку Г.

## 1.2 Технологічний процес роботи котла

Блок-модульна котельня виробляє теплоносій (в даному випадку, гарячу воду), що використовується для покриття теплофікаційних навантажень побутових споживачів. На котельні встановлено, наприклад, два водогрійні котли типу Logano S815 виготовлені фірмою Buderus [1, 2].

Робочим паливом для даного типу котлів є природний газ. Пальник працює в двоступеневому режимі: в залежності від навантаження - 50% або 100%.

Тиск в обох контурах підтримується за допомогою використання циркуляційних та підвищувальних насосів. Для підживлення контурів та покриття втрат буде використовуватись холодна вода із загально міської мережі. Відповідно, в технологічний процес виробництва необхідного теплоносія на блок-модульній котельні входять два контури циркуляції.

Перший контур із розрахунковими параметрами води 64-95 °С та робочим тиском в межах - 3,5-4,2 кг/см<sup>2</sup> складається із котлів, первинної сторони теплообмінника, котлових та циркуляційних насосів, систему трубопроводів для

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

їх сполучення та запірно-регулювальної арматури, а також контрольно-вимірювальних приладів та автоматики.

Другий контур котельні із розрахунковими (максимальними) параметрами води в межах 50-80 °С містить спеціалізовані мережеві насоси, систему трубопроводів для їх сполучення, вторинну сторону загального теплообмінника, запірно-регулювальну арматуру, а також контрольно-вимірювальних приладів та автоматики.

Вмикання котла в роботу починається із продування пальника, потім перевірки на герметичність основного газового клапана. Якщо перевірка пройдена, то лише тоді подається сигнал на подачу запального газу. Газ подається до пальника фірми Weishaupt, в якому відбувається змішування газу із повітрям. Потім отримана суміш газу-повітря подається в топку котла, де відбувається її займання. Лише після підтвердження наявності полум'я давачем, буде виконано подачу основного газу.

Для швидкого проходження, так званої «точки роси» (55 °С) та розігріву котла, закривається двоходовий клапан, що розташовано на виході з котла і вода котлового контуру починає циркуляцію по малому колу за рахунок насосів, що встановлені в котлі. Робота одного котла забезпечує постійне прогрівання іншого, що дає змогу підтримувати котел №2 завжди в нагрітому стані, за тієї самої температури, що й робочий котел №1, для уникнення проходження «точки роси». Після досягнення температури в котловому контурі рівної 60 °С відкривається двох ходовий клапан та потік води буде спрямовано через трьох ходовий клапан на теплообмінник.

Даний трьох ходовий клапан використовується для забезпечення потрібної витрати теплоносія за рахунок подачі котлової води на теплообмінник або перепуску в зворотну лінію на котел або перебуваючи в середньому положенні, тим самим підтримуючи задану температуру контуру опалення в необхідних межах 50-80 °С в залежності від потрібної теплової потужності й температури повітря з навколишнього середовища за заздальгідь закладеною опалювальною

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

кривою.

У протиточному теплообміннику поверхневого типу відбувається процес передачі тепла від більш нагрітого тіла, а саме води із котла, до менш нагрітого тіла, тобто, води з опалювального контуру. Пройшовши теплообмінник, нагріта вода опалювального контуру буде надходити до споживача. Вода із зворотного котлового контуру надходить із теплообмінника на спеціальні циркуляційні насоси, які підвищують тиск у контурі на  $2 \text{ кг/см}^2$ , для забезпечення необхідного перепаду тиску в проміжку  $1-2 \text{ кг/см}^2$  між входом та виходом, тим самим підтримуючи необхідний тиск у контурі, на рівні  $3,5-4 \text{ кг/см}^2$ , та забезпечуючи безперервну рециркуляцію води.

Насоси виконують такі самі функції тільки для контуру опалення. У разі підвищення тиску в котловому контурі за рахунок температурних розширень води в системі теплопостачання, що дорівнює  $5,5 \text{ кг/см}^2$ , повинен спрацювати спеціальний скидний клапан, зайва вода надходить до баків-накопичувачів, які, в свою чергою, можуть бути використані для підживлення водою обох контурів. При досягненні ж тиску в  $6 \text{ кг/см}^2$  повинні включитись клапани аварійного скидання води в систему каналізації.

Для компенсації температурних розширень води передбачено закриті мембранні баки налаштовані на тиск рівня  $4 \text{ кг/см}^2$ . Для підтримування потрібного обсягу води в системі трубопроводів обох контурів, спричиненого можливістю витоків, передбачено використання спеціальних підвищувальних насосів, які використовують холодну воду з міського мережі загального користування із тиском рівнем  $4 \text{ кг/см}^2$ . Даний тип насосів також використовуються для підвищення тиску в обох контурах трубопроводів (котельному та опалювальному) за виникнення такої необхідності. Клапани підживлення обох контурів трубопроводів використовуються для подачі холодної води, які відкриваються в разі спрацювання давача тиску за мінімальним значенням, що встановлене на рівні  $2 \text{ кг/см}^2$ , для захисту насосів і,

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

відповідно, будуть закриті в разі вирівнювання тиску.

Робота котлів може виконуватись в двох варіантах.

Перший варіант, так звана послідовна стратегія роботи котлів може виконуватись за схемою 1-2 або 2-1 по 150 годин роботи для кожного. Якщо вистачає потужності одного котла та витримується необхідна задана температура споживача в межах 50-80 °С, то після відпрацювання 150 годин відбувається перемикання на іншу схему роботи 2-1. При схемі роботи 1-2 перший котел є ведучим - другий веденим. Коли другий стане ведучим, тоді перший буде ведений. У разі недостатнього рівня потужності ведучого котла та відповідно, неможливість виходу на задані параметри теплоносія споживача, вмикається ведений котел на потужність, яку видає за стратегією логічний контролер.

Другий варіант, так звана паралельна стратегія роботи котлів, в свою чергу передбачає їхню спільну роботу на необхідну потужність за стратегією логічного контролера, в залежності від того, чи забезпечується задана необхідна температура опалення споживачеві. Вибір режиму роботи стратегії котлів визначає технічний персонал [1, 2].

### 1.3 Технічні характеристики встановленого обладнання

Опалювальні котли типу Logano S815.

Дані котли є спеціальними опалювальними котлами, спалювання палива в яких відбувається за надлишкового тиску відповідно до Технічних правил експлуатації парових котлів (TRD) 702. Фірма виробник Buderus пропонує наступні котли в діапазоні потужностей від 500 до 19200 кВт [1, 2].

Опалювальні котли (рис. 1.1) використовуються для виробництва перегрітої води із низьким тиском із максимальною температурою 120 °С (це температура спрацьовування запобіжного обмежувача температури) для установок, що відповідають вимогам DIN 4751-2. Допустимий загальний

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



згоряння палива. Завдяки цьому даний тип котла має досить невелику вагу, і для його встановлення не потрібно багато місця. Двері із пальником можуть встановлюватись, за бажанням персоналу, як праворуч, так і ліворуч.

Простота технічного обслуговування – полягає в тому, що фронтальні двері котла є повністю відкидними. Вони також легко відчиняються зі встановленим на них пальником. За відчинених дверей забезпечується зручний доступ до камери згоряння палива та спеціальних додаткових поверхонь нагріву, що дає змогу швидко та легко виконувати очистку котла. Спеціальну поворотну камеру можна оглянути через камеру згоряння палива.

Для всіх типів опалювальних котлів є досить великий вибір узгоджених між собою компонентів, що забезпечують оптимальну роботу всієї установки вцілому.

У всіх опалювальних котлах типу Logano S815 під штуцером зворотної лінії вбудовано спеціалізований направляючий елемент для води. Тут за рахунок явища інжекції від води, що транспортується зі швидкістю в котел зі зворотної лінії, тепла вода із котла транспортується та виконується змішування із холодною зворотною водою. Цілеспрямоване підживлення водою зі зворотної лінії призводить до оптимального потоку води всередині всього об'єму котла. Плавне зниження температур у котлі призводить до достатньо рівномірного розподілу температур усередині всього котла. Такий розподіл води в опалювальному котлі даного типу забезпечує сухий та надійний режим роботи із мінімальною температурою води в зворотної лінії 50 °С. У конструкції котла даного типу використовується триходовий прохід продуктів згоряння за принципом протитечії, що використовується і в теплообмінниках. Разом із ефективним розрахунком поверхонь нагріву це є умовою для достатньо низьких емісій шкідливих речовин та досить високого використання енергії.

Опалювальні котли Logano S815 досягають високого стандартизованого коефіцієнта використання, що також залежить від опалювальної установки.

Регулювання робочої температури в системі керування Logamatic фірми

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

виробника Buderus має відбуватися в залежності від температури навколишнього середовища. При цьому керування виконавчими органами та циркуляційними насосами опалювальних контурів постійно виконується системою автоматичного керування (САК) Logamatic. Електричне підключення насосів та пальників трифазного струму виконується замовником, повне керування (230 В) виконує САК Logamatic [1, 2].

У комбінації із різними САК забезпечуються різні максимальні робочі температури лінії подачі опалювального котла (тобто, максимальне установче значення регулятора). При досягненні даних рівнів температур регулятор буде відключати пальник.

Температура повторного ввімкнення нижча на величину гістерезису. За рахунок цього досягаються середні робочі температури лінії подачі відповідно до таблиці даних. Температура котлової води повинна бути не нижчою за 70 °С. Її можна підтримувати на постійному рівні або плавно регулювати її величину.

На газових котлах, що встановлені у приміщенні або на ділянці газопроводу, розташованій безпосередньо перед газовими котлами даного типу, повинен бути встановлений газовий запірний пристрій із термічним спрацьовуванням (ТАЕ). Який буде автоматично перекривати подачу палива при зовнішньому термічному навантаженні та забезпечувати повне замикання газопроводу.

Опалювальні котли типу Logano S815 можуть працювати на природному газі Е, ЕL та, крім того, на зрідженому газі. Властивості газу повинні відповідати вимогам, наведеним у Робочому листі G 260 DVGW. Для налаштування витрати газу потрібно додатково встановити газовий лічильник, який дає змогу знімати показання також і в діапазоні малих навантажень на пальник. Можливе також використання дизельного палива ЕL відповідно до DIN 51603 [2].

Газові пальники фірми Weishaupt повністю відповідають вимогам простоти монтажу, безпеки роботи та, відповідно, надійності експлуатації. Пальники випробувані на конструктивних зразках згідно з нормами ЄС, тому

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

працюють економічно та екологічно чисто [3, 4].

Газовий пальник – пристрій, що використовується для змішування повітря (кисню) із газоподібним паливом з метою подачі отриманої суміші до вихідного отвору та спалювання її з утворенням стійкого фронту горіння (або факела). Усі газові пальники фірми Weishaupt належать до двопровідних. У даних пальниках газ із магістралі під тиском та повітря, що нагнітається за допомогою вентилятору, подаються двома роздільними потоками до вузла змішування, на виході з якого відбувається займання отриманої газо-повітряної суміші. Практично всі газові пальники Weishaupt, крім гігантів потужністю 17,5 МВт, є блоковими, тобто містять засоби регулювання, вентилятор, а також інші елементи в єдиному корпусі [3, 4].



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд пальника виробництва фірми Weishaupt

У пальниках Weishaupt використовуються сучасні ідеї теорії горіння та, відповідно, патентовані конструкторські розробки в поєднанні із передовими досягненнями цифрових технологій.

Як вже відомо усі конструктивні елементи пальника зібрані в єдиний блок. Вісь електродвигуна пальника розташована під прямим кутом щодо напрямку повітряного потоку. Електродвигун приводить у дію колесо вентилятору та спеціальний рідинно-паливний насос (використовується тільки в комбінованих пальниках). Усі пристрої, що відповідають за регулювання витрат палива та повітря, легко оглядаються та легкодоступні.

Пальник відкидається вліво або вправо в залежності від монтажу. Це спрощує роботи з підпірною шайбою, форсункою та електродами.

До комплекту постачання газового пальника повинні входити наступні елементи: - кульовий запірний кран; - газовий фільтр; - подвійний магнітний клапан; - регулятор тиску газу; - реле максимального та мінімального тисків газу.

Пластинчастий теплообмінник - це теплообмінник, так званого поверхневого типу, призначений для виконання теплообміну між різними середовищами: «рідина- рідина», «пар-рідина». Його теплопередавальна поверхня утворена з тонких штампованих гофрованих пластин [5, 6].

Відповідно до конструкції робочі середовища в теплообміннику рухаються в щілинних каналах складної форми між сусідніми пластинами. Канали для теплоносіїв, що гріє та, відповідно, нагрівається чергуються між собою.

Висока ефективність теплопередачі досягається за рахунок застосування тонких гофрованих пластин, які використовуються в якості природних турбулізаторів потоку і, внаслідок своєї малої товщини, володіють низьким термічним опором [6].

Герметичність каналів та розподіл теплоносіїв по каналах забезпечується за допомогою спеціальних гумових ущільнень, що розташовані по периметру пластини. Таке ущільнення кріпиться до пластини за допомогою використання кліпс. Ущільнення, що розташоване по всьому периметру пластини, охоплює два кутових отвори, через які входить потік робочого середовища в міжпластинний канал та виходить із нього, а через два інших отвори, ізольованих спеціальними додатковими кільцевими ущільненнями, зустрічний потік проходить транзитом. Навколо даних отворів є подвійне ущільнення, яке гарантує повну герметичність каналів, розташування спеціальних канавок, через які теплоносій витікає із теплообмінника назовні в разі пошкодження ущільнення [5, 6].

Таким чином, протікання можна визначити візуально та виконати заміну ущільнення за досить короткий час.

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		13

Прокладки для ущільнення кріпляться до пластини таким чином, що після складання та стиснення пластини в апараті утворюють дві системи герметичних каналів - одна для середовища, що гріє, інша для середовища, що нагрівається. Кожна наступна пластина повернута на 180° у площині її поверхні відносно попередньої, що створює рівномірну сітку перетину взаємних точок опор вершин гофр та забезпечує необхідну жорсткість пакета пластин.

Обидві системи міжпластинних каналів з'єднані зі своїми власними колекторами і далі зі з'єднаннями для входу та виходу робочих середовищ на нерухомій плиті теплообмінника. Пакет пластин розташовано на рамі теплообмінника. Рама теплообмінника, в свою чергу, складається із нерухомої плити, опорного штатива, рухомої плити, верхньої та нижньої напрямних і комплекту стяжних болтів, установчих п'яток.

Верхня та нижня напрямні, відповідно, кріпляться до нерухомої плити та до стійки. На напрямні навішується рухома плита та весь пакет пластин. Рухома та нерухома плити стягуються болтами. У одноходових теплообмінників усі з'єднання розташовані саме на нерухомій плиті. Для кріплення теплообмінника до будівельних конструкцій на нерухомій плиті та стійці передбачені спеціальні монтажні п'яти [6].

Високоєфективна теплопередача. У пластинчатому теплообміннику фірми «Alfa Laval» (рис. 1.3) два середовища розділені тонкою гофрованою пластиною. Як правило, чим тонша пластина, тим вища ефективність та рівномірність теплопередачі та, відповідно, легше керування технологічним процесом. Але не менш важливим є створення турбулентного потоку і рівномірний його розподіл по всій поверхні пластини. Фірма «Alfa Laval» випускає досить широкий асортимент пластин. Конфігурація, глибина штампування та матеріал пластин можуть змінюватися залежно від загального призначення. Стандартні пластини виготовляються штампуванням із нержавіючої сталі, але можуть бути виготовлені за потреби із інших матеріалів, наприклад, із титану. Модульність конструкції теплообмінника дає змогу використовувати його в різних галузях.

									Арк.
									14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ				



функціональної надійності, збільшення терміну служби і, не в останню чергу, забезпеченню постійної експлуатаційної готовності всієї опалювальної установки [8].

#### 1.4 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації

Відомо, що автоматизація технологічних процесів у загальному випадку повинна виконувати наступні функції: регулювання (зокрема, стабілізація) параметрів, вимірювання та контроль параметрів, керування роботою обладнання та агрегатів (місцеве, дистанційне), захист з наступним блокування обладнання та агрегатів, облік витрат вироблених та, відповідно, спожитих ресурсів, тепло-механізація контролю, вимірювання, керування.

Усі зазначені функції автоматизації отримали тією чи іншою мірою своє використання у САК блок-модульної котельні. Мета автоматизації котельні полягає в найефективнішому керуванні параметрами теплоносія, регулюванні перепадів тиску води та палива в котловому й опалювальному контурах, регулюванні підживлення контурів, керуванні процесом підготовки води, керуванні роботою насосів, вимірюванні параметрів системи із сигналізацією граничних значень, обліку кількості відданого тепла, споживаної води та електроенергії. САК котельні має забезпечувати високу якість, економічність та надійність тепlopостачання. Крім того САК повинна виконувати наступні завдання:

- стійкість роботи всієї системи в випадку виникнення збурень із боку теплової мережі або споживачів, зокрема й у разі аварійних режимів;
- забезпечення відпуску тепла на опалення будівлі відповідно до опалювальної кривої;
- характеристика комплексу технічних засобів наявної САК котельні;
- забезпечення можливості швидкої зміни температури води в лінії подачі теплової мережі в якості маневреного параметра, що в свою чергу підвищує

резервну здатність системи теплопостачання без порушення теплового режиму опалювальних будівель.

Котлоагрегати оснащено спеціалізованою автоматикою керування та захисту типу Logomatic 4311 (рис. 1.4) [9].



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд Logomatic 4311

Особливості модульно-цифрової системи контролерів Logomatic 4311:

- модульна цифрова СК для встановлення на котлі із середньою та великою потужністю;
- можливість керування котельною установкою із одним котлом або як система керування Master на установці з кількома котлами;
- модуль-контролер, додатковий модуль, пульт керування MEC2, регульований регулятор температури відливної води, регульований запобіжний обмежувач температури STB, модуль блоку живлення;
- цифровий пульт керування із вбудованим датчиком кімнатної температури та прийомом радіосигналу;
- перемикач котлового контуру та перемикач пальника;
- сервісний рознім та чотири вільних розніми для додаткових модулів;
- кнопка контролю димових газів;
- кнопка підвищення/зниження модуляції;
- два окремі запобіжні контури;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

*КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ*

Арк.

17

- датчик котлової води та зовнішньої температури;
- пусковий вимикач та аварійний вимикач пальника;
- кабель пальника другого ступеня;
- повна електрична розводка з універсальною системою швидкого монтажу;
- ступінь захисту IP 40, захист від радіо- і телеперешкод;
- можливість розширення комплектації [9].

### 1.5 Висновки до першого розділу

Встановлено технічні характеристики об'єкта автоматизації, проведено аналітичний огляд технологічний процес, охарактеризовано основне обладнання, що використовується, проаналізовано технологічний процес як об'єкта автоматизації, а також охарактеризовано комплекс технічних засобів наявної системи.

## 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

### 2.1 Система автоматичного керування, яка вже використовується

Котельня повинна працювати в автоматичному режимі без постійної присутності технічного персоналу. Керування котлами, пальниками виконується за допомогою системи керування (регулювання) фірми Buderus: автоматика Logomatic R4311 керує котлом 1 та пальником 1, автоматика Logomatic R4312 відповідно виконує керування котлом 2 та пальником 2. Стратегічний модуль FM 447 керує та узгоджує роботу установки, що складається із двох котлів, за потужності, отримуючи сигнал від стратегічного датчика температура [1, 2, 9].

З огляду на виміряну стратегічним датчиком температуру лінії подачі модуль FM 447 вмикає ступені пальників кожного котла в залежності від навантаження та від відпрацьованих годин. Модуль FM 447 виконує керування насосами котлового контуру та температурою контуру опалення за допомогою використання триходового клапана.

Системою, що використовується, передбачено наступне:

- автоматичне керування насосами;
- автоматичне керування опаленням котельні відповідно до сигналів, що надходять від датчика температури лінії подачі контуру опалення котельні;
- автоматичне керування пальниковими пристроями;
- автоматичне керування триходовим клапаном;
- візуальний контроль температури в точках технологічної схеми;
- візуальний контроль тиску теплоносія в точках технологічної схеми;
- візуальний контроль перепаду тиску на насосах та фільтрах.

Котли марки Buderus із блоками автоматики забезпечують [2]:

- автоматичний розпал;
- автоматичне регулювання теплопродуктивності котлів в залежності від

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		19

теплової потужності, що споживається;

- в залежності від зростання навантаження послідовне вмикання котлів;
- вимкнення пальника у випадку:

1) зростання чи зниження тиску повітря та палива, що подається в пальник;

2) несанкціонованого згасання факела;

3) несправності в колах захисту та зникнення напруги в котельні;

4) неприпустиме спадання або зростання тиску в котлі;

5) неприпустиме збільшення температури в котлі;

Існуюча система автоматики котельні виконує наступні функції:

- керує роботою системи хімічного водоочищення та насосами підживлення;

- аварійного вмикання резервів насосів;

- аварійного вмикання резервів електроживлення котельні;

- відключає клапан подачі газу в котельню в разі:

1) загазованості приміщення за  $\text{CH}_4$  (вище 1%) і за  $\text{CO}$  ( $100 \text{ мг/м}^3$ );

2) несправності ланцюгів захисту, включно зі зникненням напруги живлення;

3) пожежі в котельні (повністю знімається напруга живлення котельні);

4) злом входних дверей котельні.

## 2.2 Аналіз системи автоматичного керування, яка вже використовується

Загалом встановлена система автоматизації справляється із поставленим завданням, проте є певні недоліки [9]:

1. Контролер типу Logomatic розроблено для роботи із максимальним значенням температури котлової води  $99^\circ\text{C}$ . В умовах нашого кліматичного поясу, при зниженні температури навколишнього повітря до  $-20\dots-25^\circ\text{C}$  котельня може не впоратися із створеним навантаженням, а також через досить

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20



(наприклад, температури або тиску в будь-якому трубопроводі) у певний час з метою приведення їх у подальшому до більш оптимального значення.

5. Програмне забезпечення для контролерів Logomatic розробляє та виконує налаштування фірма, яка, не є виробником логічних контролерів.

Ці недоліки ставлять під сумнів доцільність застосування логічного контролера Logomatic. Його заміна на більш поширений аналог дала б змогу позбутися вищевказаних недоліків [9].

### 2.3 Вибір та обґрунтування системи автоматичного керування технологічним процесом

Під час вибору комплексу технічних засобів необхідно врахувати наступні чинники [10]:

- технічні характеристики (в нашому випадку максимальні робочі температури);
- екологічні показники при використанні;
- надійність;
- пожежонебезпека (або вибухонебезпечність);
- вартість.

Перед автоматизованою системою керування висувують наступні завдання:

- автоматична підтримка вказаних параметрів;
- діагностика системи керування;
- вимірювання, контроль та реєстрація параметрів;
- архівування отриманої інформації;
- можливість перегляду архівної інформації за вказаний проміжок часу;

Виконаємо аналітичний огляд контролерів виготовлених фірмою «СПЕКОН» та фірмою «OMRON» [11, 12]:

Технічні характеристики контролера «СПЕКОН» типу СКЗ-01 [11]:

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

Контролер типу СКЗ-01 призначено для керування загальнокотельним обладнанням котельні із паровими та водогрійними котлами на газоподібному та рідкому паливі, керування контролерами типу СК2-01 від 1 до 16 (за кількістю котлів), подання інформації про обсяг споживаного газу, витрату тепла, ГВП, наявності у складі системи відповідно приладів ВКТ та ВКГ [11].

Використовується металевий корпус для навісного монтажу.

Контролер типу СКЗ-01 розрахований на роботу з наступними сигналами:

- уніфікованими струмами (діапазони 0-5, 0-20 або 4-20 мА) - 6 входів;
- термоперетворювачів опору (ТСМ, ТСП, ТСН) - 5 входів;
- двопозиційними (безпотенційними) типу «сухий контакт» - 32 входи.

Контролер може забезпечити формування до 24 вихідних сигналів для керування підключеними виконавчими пристроями:

-виконання типу А - змінного струму не менше 60 мА та не більше 1 А, напругою не нижче 70 В та не вище 250 В, частотою  $50 \pm 1$  Гц;

-виконання типу Б - змінного та постійного струму до 0,4 А напругою до 24 В.

Контролер забезпечує наступні функції:

- формування команд на пуск та зупинку котлів;
- автоматичне регулювання температури прямої води з мережі живлення, відповідно до графіків регулювання залежно від температури повітря навколишнього середовища;
- керування насосами: рідкого палива; мережевої води; рециркуляції мережевої води; ГВП; холодної;
- автоматичним вмиканням резерву насосів;
- аварійний захист та сигналізацію;
- керування іншою електрифікованою загально-котельною арматурою;
- автоматичну самодіагностику та контроль працездатності вимірювальних давачів;

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		23

- керування з клавіатури виконавчими механізмами в режимі реального часу.

Потужність, споживана контролером від мережі змінного струму, не повинна перевищувати 10 ВА. Габаритні розміри контролера типу СКЗ-01 не повинні перевищувати 400x110x240 мм (без встановлених кабельних ввідів). Загальна маса контролера типу СКЗ-01 становить не більше 6 кг. Середнє напрацювання контролера типу СКЗ-01 на відмову за температури повітря навколишнього середовища  $20 \pm 10$  °С не нижче 75000 годин. Повний середній термін служби контролера типу СКЗ-01 не менше 10 років.

Наразі регулювання потужності пальника виконується за двоступеневою схемою: тобто навантаження пальника становить 50 та 100%.

Контролер типу СКЗ-01 надає можливість керувати котлами, обладнаними СК2-01 (до 16 шт.), які, своєю чергою, можуть керувати пальниками в більш якісному режимі та підвищити кількість ступенів горіння до восьми. Таким чином, є можливість задати цілих вісім точок для навантаження пальника, що в свою чергу, надасть змогу зменшити механічні та теплові навантаження на котел і котельне обладнання, більш економічно витратити газ та відповідно, подовжить термін служби обладнання [11].

Характеристики контролера «OMRON» типу CJ1W [12]:

Кількість входів/виходів:

- дискретні входи (DI) – 16;
- аналогові входи (AI) – 32;
- дискретні виходи (DO) – 16;

Об'єм постійної пам'яті – не менше 63 Mb (змінна карта пам'яті).

Наявні інтерфейси:

- основні - RS232C, Ethernet, DeviceNet, USB Controller Link, PROFIBUS-DP, CompoBus/S;
- модулі розширення - CJ1W-AD081-VA (SL) - 8 AI, CJ1W-OD212 - 16 DO, CJ1W-ID211-16 DI.

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

Перешкодостійкість 2 кВ на лінії живлення (відповідає вимогам ІЕС61000-4-4). Вібростійкість 10-57 Гц з амплітудою 0,075 мм, 57-150 Гц із прискоренням  $9,8 \text{ м/с}^2$  у напрямках X, Y та Z протягом 80 хвилин.

Після проведеного аналізу можливостей контролерів, було обрано контролер «СПЕКОН» СКЗ-01 з наступних причин:

- контролер СКЗ-01 призначений спеціально для керування загальнокотельним обладнанням та водогрійними котлами.

- ціна нижча за закордонний аналог, що дає змогу швидко доставити новий контролер у разі виходу з ладу встановленого на котельні;

- на контролер встановлено відповідне його призначенню програмне забезпечення, що значно спрощує його експлуатацію;

- зручний інтерфейс дає змогу технічному персоналу легко працювати із контролером;

- для типових рішень - котли, котельні тощо, де доцільно використовувати об'єктно-орієнтовані контролери та/або децентралізовані розподілені САК, використання контролерів типу СКЗ-01 видається технічно й економічно вигідним. Справедливість цього підтверджує і досвід більшості провідних зарубіжних фірм, які крім сімейств ЕОМ випускають також і контролери, призначені для керування конкретними об'єктами.

Програмне забезпечення для контролерів «OMRON» розробляє та налагоджує інша фірма, яка, як правило, не є розробником та виробником контролерів, а для контролерів «СПЕКОН» програмне забезпечення розробляє безпосередньо виробник [11, 12].

Універсальність даного контролера, сумісність з різними протоколами обміну і багато іншого, що є перевагою під час проектування САК ТП на базі контролера типу СКЗ-01, для рядового споживача, мабуть, не настільки актуальні. Для рядового споживача більш важливі: надійність роботи, ціна, зручність експлуатації, гарантійне та післягарантійне обслуговування, можливість модернізації та подальшого розвитку системи.

									Арк.
									25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ				

Масштабування системи керування за рахунок додавання нових модулів, як видається, знижує надійність роботи самого контролера, оскільки з'являються додаткові модулі та розніми.

Крім того, у фірми виробника «СПЕКОН» додаткові модулі будуть працювати під керуванням, як правило, того самого ЦПУ або він буде замінений на більш потужний.

Додаткове виконання визначається наявністю на платах друкованого монтажу необхідних електронних елементів та відповідним власним алгоритмом.

Параметри надійності в каталогах на персональні комп'ютери, як правило, не вказуються, але в рекламних матеріалах деяких фірм наводиться середній час напрацювання на відмову окремих модулів. Якщо визначити час напрацювання на відмову всього комп'ютера, виходячи з параметра кожного окремого модуля, то він виходить істотно нижчим, ніж будь-якого з модулів, оскільки вихід з ладу одного з модулів не дає змоги комп'ютеру виконувати всі свої функції в необхідному режимі.

Наприклад, комп'ютер складається із модулів ЦПУ, живлення, вхідних двопозиційних сигналів, вхідних аналогових сигналів, вихідних реле (вихідних сигналів), які мають напрацювання на відмову 300000 год - модуль ЦПУ, 200000 год - інші модулі. Напрацювання на відмову за 1000 год цих модулів буде, відповідно, 0,997 та 0,995. Імовірність безвідмовної роботи всього такого контролера - 0,977, що приблизно відповідає напрацюванню на відмову всього контролера - 43500 год, у типу СКЗ-01 - 75000 год. Оскільки модулі повинні приєднуватись на якусь комутаційну плату, шину тощо, то ці комутаційні елементи ще знизять параметри надійності [11].

## 2.4 Висновки до другого розділу

Було розглянуто існуючу схему автоматизації технологічного процесу, після чого проведено її аналіз, знайдено недоліки, які ставлять під сумнів доцільність використання даної системи автоматизації. Було проаналізовано два контролери: виробництва фірми «СПЕКОН» тип СКЗ-01 та виробництва фірми «OMRON» тип CJ1W. Після аналізу даних контролерів за їх технічними характеристиками, ми спинили свій вибір на контролері виробництва фірми «СПЕКОН» тип СКЗ-01.

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

#### 3.1 Математичний опис об'єкта керування

Отримання передаточних функцій моделі з чисельними значеннями.

З метою отримання моделі досліджуваного об'єкта керування, з подальшим її використанням під час синтезу системи керування, а також під час її розрахунку, було застосовано так званий активний експериментальний метод моделювання. Тобто на вхід об'єкта дослідження подавали сигнали певного виду (ступінчасті впливи), і фіксувалися зміни вихідної змінної. Також було проведено апроксимацію експериментальних кривих, і було отримано наступні моделі об'єктів [13, 14].

Модель об'єкта за каналом керування: залежність температури мережевої води на споживача, від витрати котлової води на теплообмінник. Зміна положення регулювального органу на 30% наведено на рисунку 3.1.

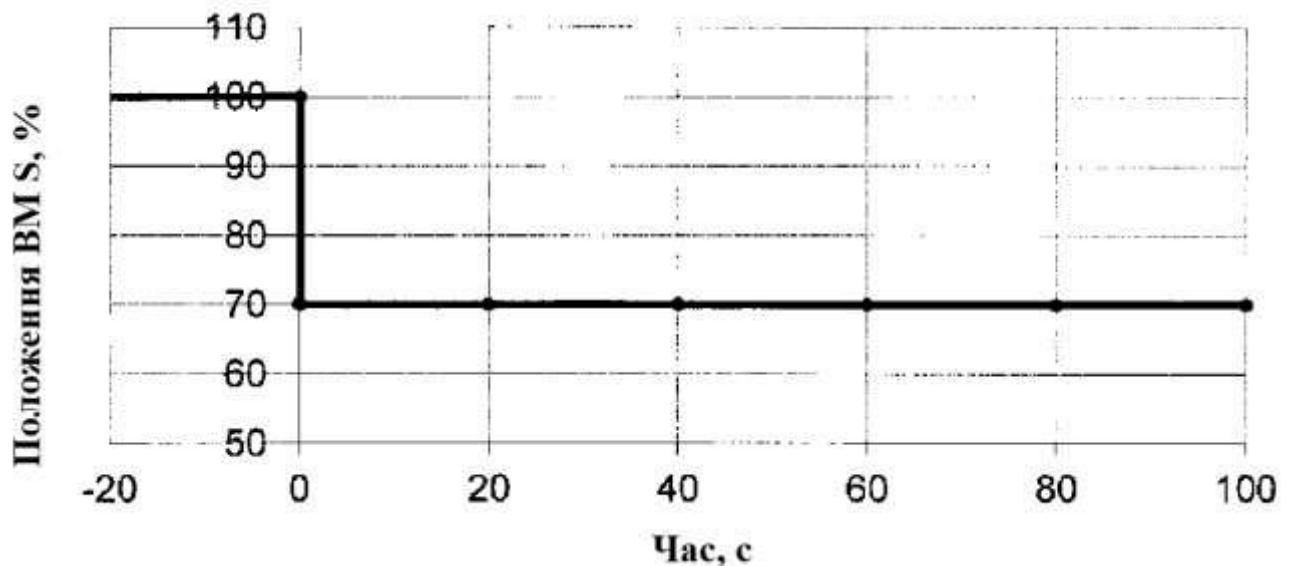


Рисунок 3.1 – Графічна залежність положення регулювального органу при поданні імпульсу величиною мінус 30%

Параметри вхідного впливу (положення виконавчого механізму (ВМ)):

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ

Арк.

28



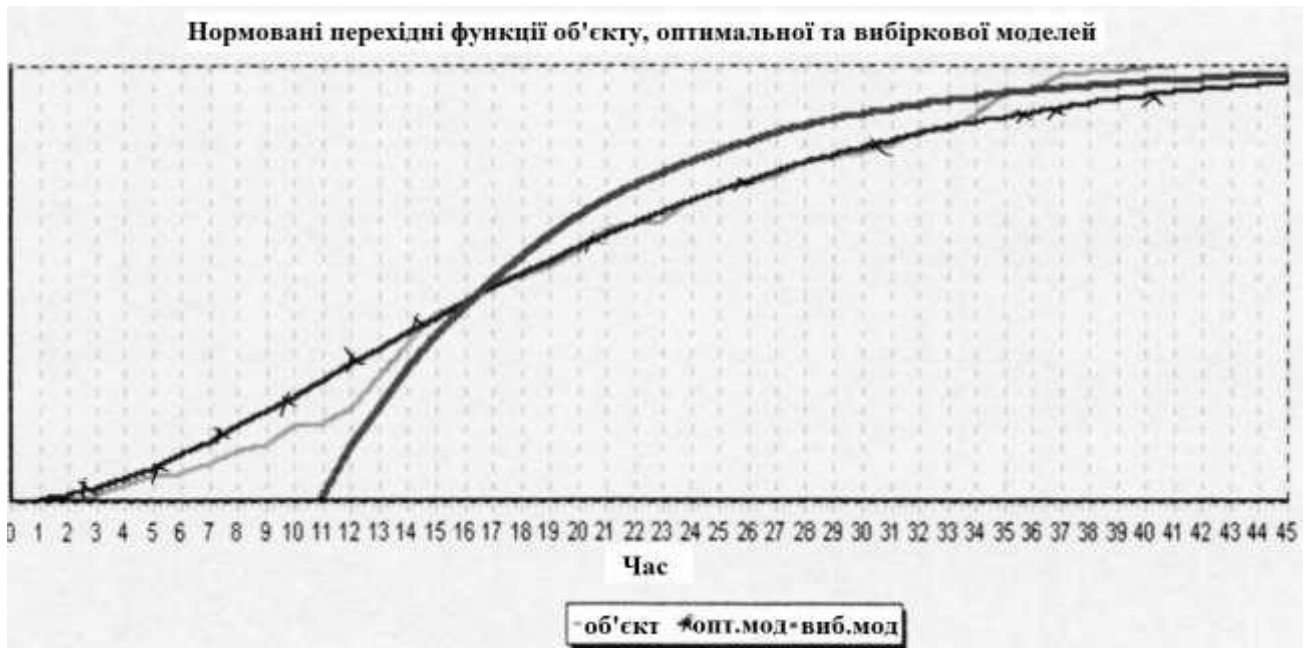


Рисунок 3.3 – Графічні залежності нормованих перехідних функції об'єкта та моделей

Передаточна функція моделі, що апроксимується:

$$W(p) = \frac{K \cdot e^{-p\tau}}{1 + T \cdot p}, \quad (3.1)$$

де  $K$  - передаточний коефіцієнт,  $K = 0,047$ ;  $T$  - постійна часу,  $T = 7,462$ ;  $\tau$  - величина запізнювання,  $\tau = 9,26$ .

Експериментальна крива для температури води представлена на рисунку 3.4.

Параметри вихідного сигналу об'єкта (температури води після теплообмінника): середнє значення вихідного сигналу до експериментального дослідження  $=59,8^\circ\text{C}$ ; сталє середнє значення вихідного сигналу після експериментального дослідження  $=61,2^\circ\text{C}$ .

Змінюємо положення органу регулювання на 30% але вже в інший бік, як показано на рисунку 3.5.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ

Арк.  
30

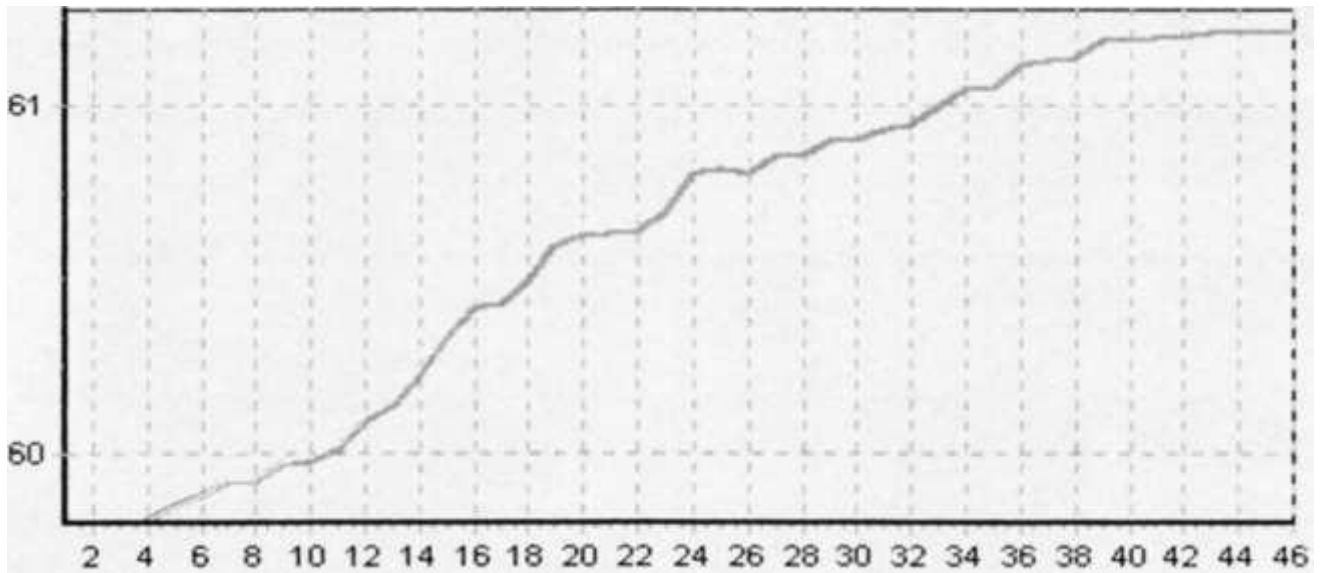


Рисунок 3.4 – Графік експериментальної залежності №2, температури води із мережі, після теплообмінника

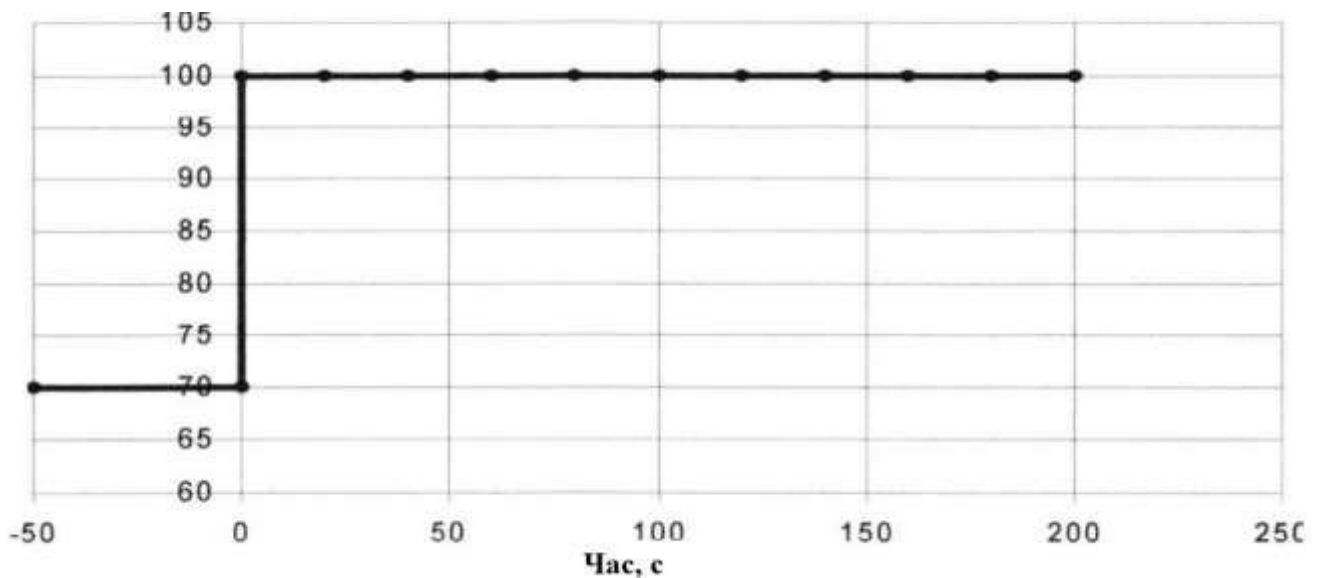
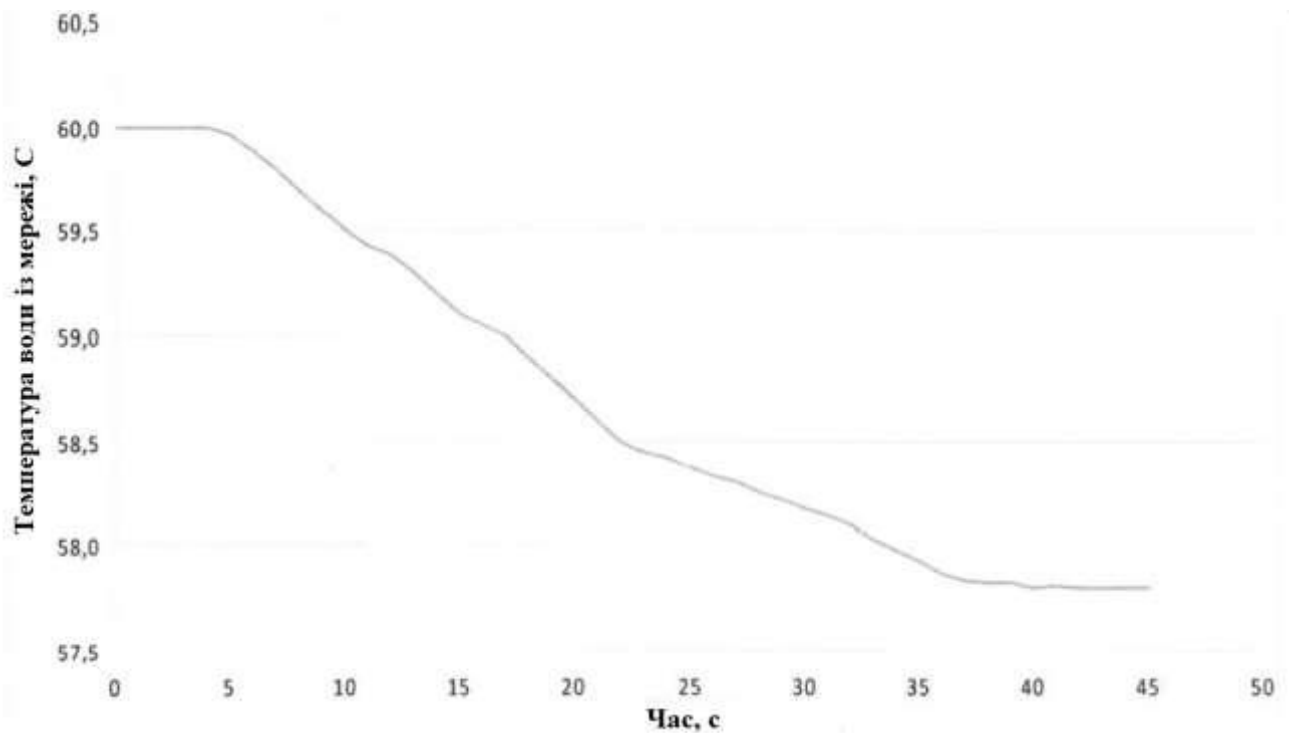


Рисунок 3.5 - Зміна положення органу регулювання, подання імпульсу величиною +30%

Параметри вхідного впливу (положення виконавчого механізму): значення вхідного впливу до експериментального дослідження =70%; значення вхідного впливу після експериментального дослідження =100 %.



Рисунку 3.6 – Графік експериментальна залежність №3, температури води із мережі, після теплообмінника

Графік експериментальної кривої температури води наведено на рисунку 3.6. Параметри вихідного сигналу об'єкта (температури води після теплообмінника): середнє значення вихідного сигналу до виконання експериментального дослідження  $=60^{\circ}\text{C}$ ; сталє середнє значення вихідного сигналу після експериментального дослідження  $=57,8^{\circ}\text{C}$ .

Розрахунок моделі об'єкта. Апроксимація графіку експериментальної кривої була проведена з використанням методу моментів перехідних функцій, із використанням програми IDEN.

На рисунку 3.7, представлені графіки нормованих перехідних функцій об'єкта й моделі, що апроксимується.

Модель об'єкта керування було отримано у вигляді аперіодичної ланки першого порядку із запізнюванням.

Передаточна функція моделі, що апроксимується розраховується згідно формули (3.1) [13, 14]. Де коефіцієнт передачі  $K = 0,06$ ; постійна часу  $T = 8,0475$ ; величина запізнювання  $\tau = 10,03$ .

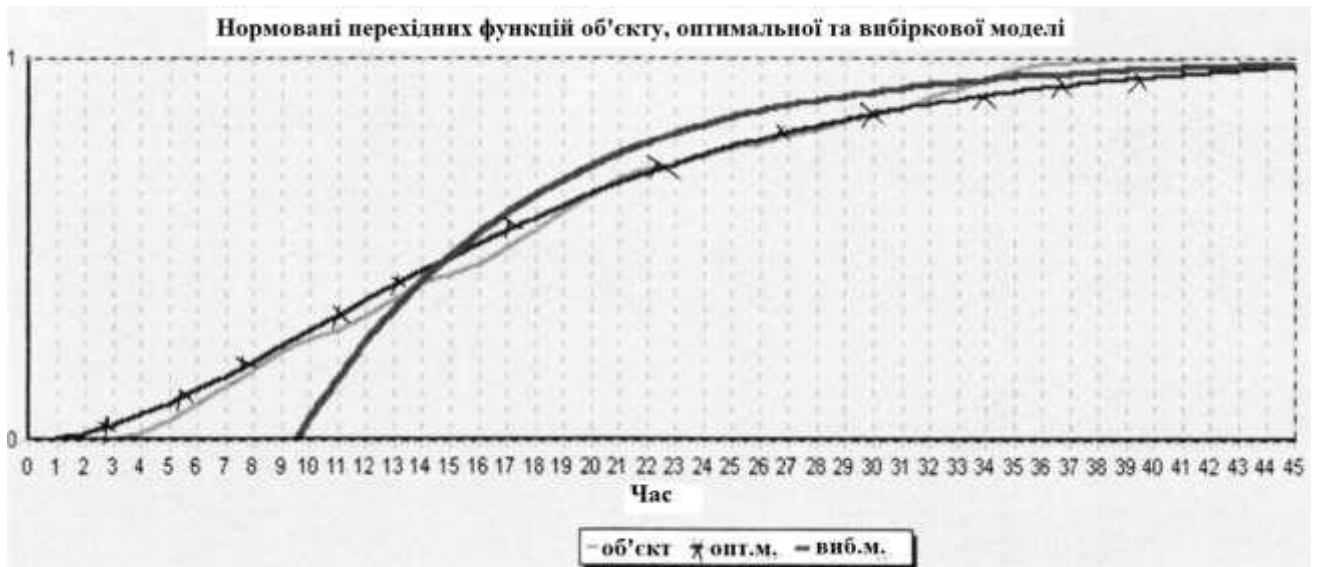


Рисунок 3.7 – Графік нормованих перехідних функцій об'єкта та вибраних моделей

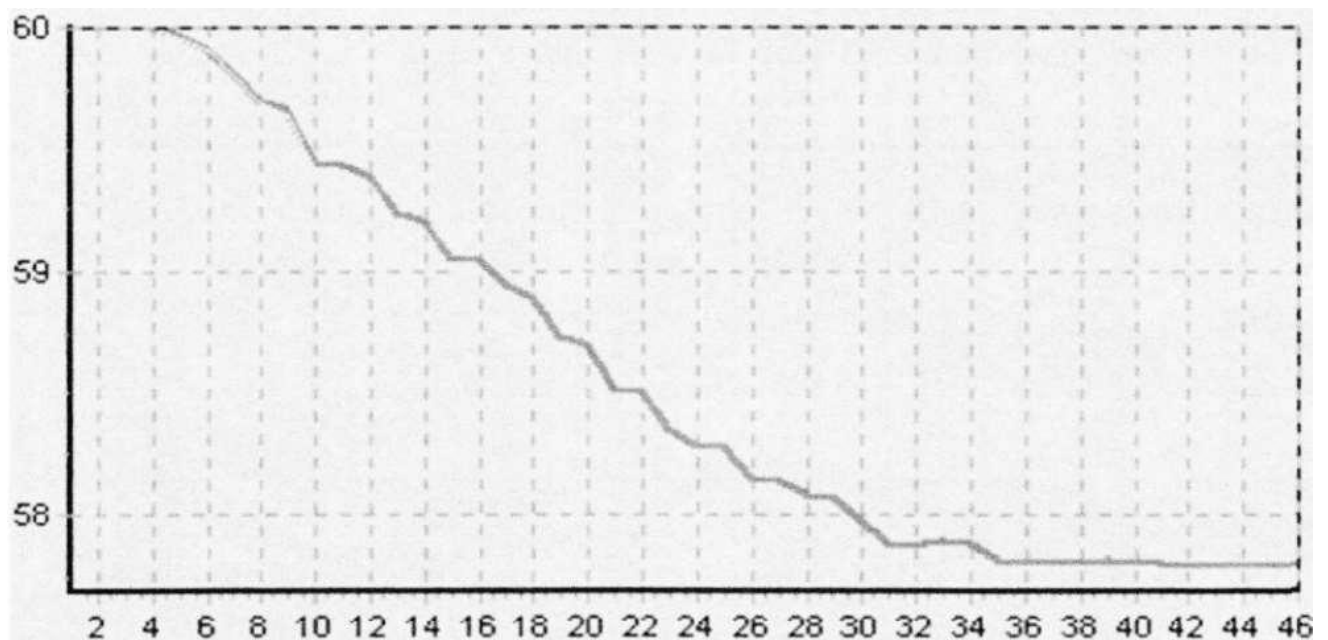


Рисунок 3.8 – Графік експериментальної залежності №3, температури води із мережі після теплообмінника

Графік експериментальної кривої температури води із мережі наведено на рисунку 3.8. Параметри вихідного сигналу об'єкта (температури води із мережі після теплообмінника): середнє значення вихідного сигналу до експериментального дослідження =60°C, сталє середнє значення вихідного сигналу після експериментального дослідження =57,8°C.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ

Арк.  
33

Розрахунок моделі об'єкта. Апроксимацію графіку експериментальної кривої було виконано із використанням методу моментів перехідних функцій, з використанням програми IDEN [13].

На рисунку 3.9 наведено графіки нормованих перехідних функцій об'єкта та моделі, що апроксимується.



Рисунок 3.9 - Графік нормованих перехідних функцій об'єкта та вибраних моделей

Модель об'єкта керування було отримано у вигляді аперіодичної ланки першого порядку із запізнюванням.

Передаточна функція моделі, що апроксимується розраховується згідно формули (3.1) [13, 14]. Де коефіцієнт передачі  $K = 0,073$ ; постійна часу  $T = 8,633$ ; величина запізнювання  $\tau = 10,809$ .

Зведемо значення в таблицю 3.1 та визначимо максимальні, середні та мінімальні параметри моделі об'єкта з усіх трьох розгінних кривих.

Таблиця 3.1 – Параметри моделей об'єкта з усіх трьох розгінних кривих

Параметр	min	середні	max
Передаточний коефіцієнт $K$	0,047	0,06	0,073
Постійна час $T$	7,462	8,0475	8,633
Запізнювання $\tau$	9,26	10,03	10,809

Передавальна функція об'єкта за каналом керування розраховується згідно (3.1).

Для розрахунку налаштувань регулятора дискретної САК ТП в котельні використовували [15] автоматизовану систему імітаційного моделювання ASIM LIN, яка дає змогу побудувати область стійкості одноконтурної дискретної системи керування в площині параметрів ПІ-регулятора, вибрати необхідні налаштування регулятора, що забезпечують вказаний запас стійкості всієї системи. Запас стійкості всієї системи керування визначається в програмі за заданим значенням коливальності системи.

Параметри моделі об'єкта керування. Середні параметри моделі об'єкта наступні: постійна часу  $T = 8,0475$ ; коефіцієнт передачі  $K = 0,06$ ; запізнювання  $\tau = 10,03$ .

Параметри елементів системи: передаточний коефіцієнт давача  $= 1,000$ ; передаточний коефіцієнт виконавчого пристрою  $= 1,000$ .

Розрахунок області стійкості (лінії рівного запасу стійкості) лінійної цифрової системи наведено на рисунку 3.10 [15].

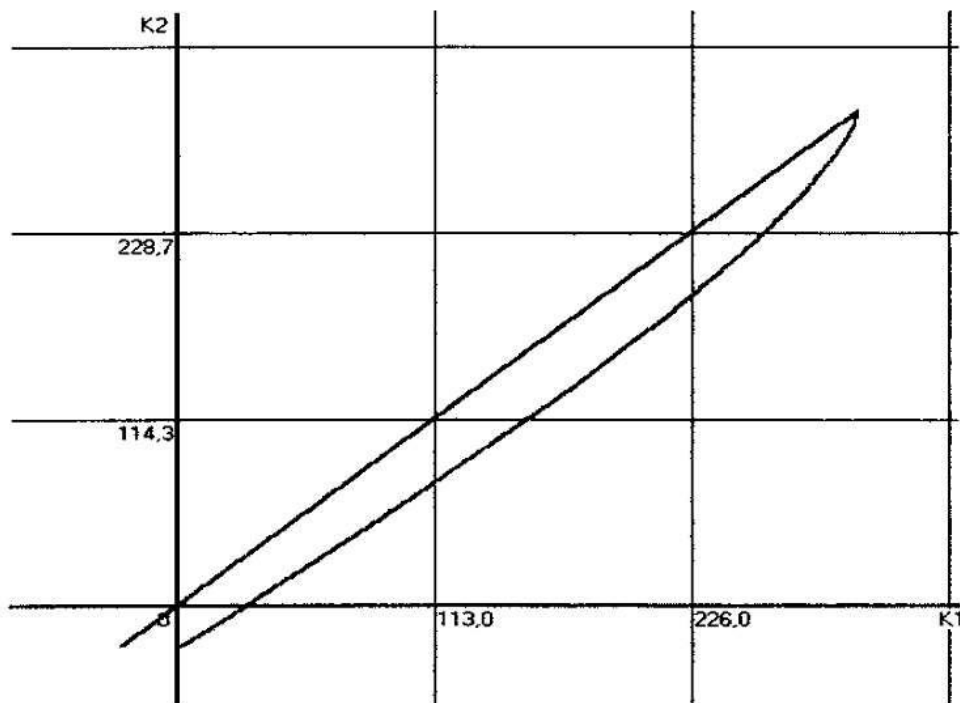


Рисунок 3.10 - Область стійкості в площині K1-K2

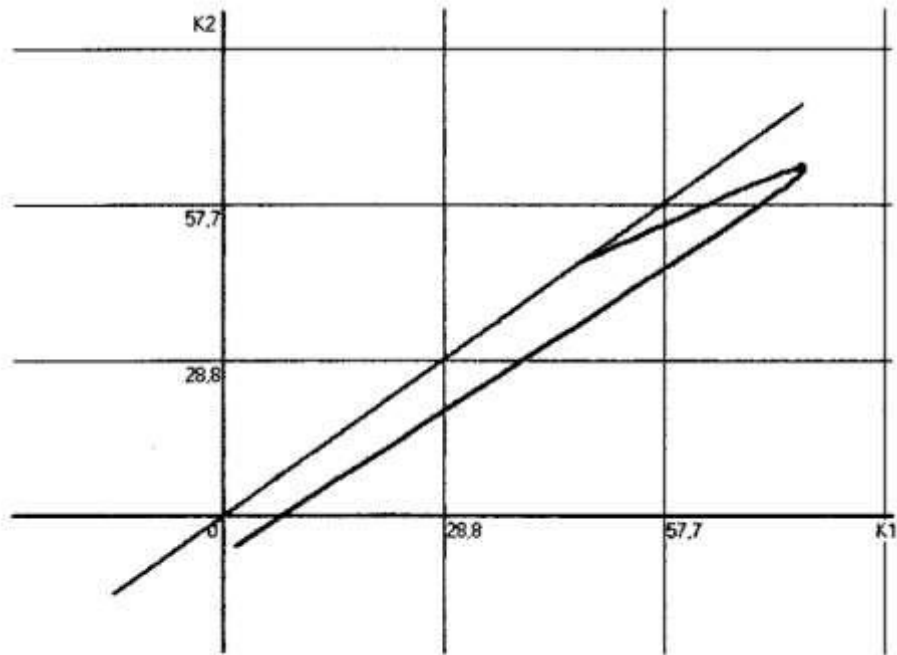


Рисунок 3.11 – Графік коливальної межі рівного запасу стійкості

При ступені коливальності  $M = 0,90$  рекомендовано наступні параметри регулятора:

налаштування -  $K1 = 75,6945$ ;

налаштування -  $K2 = 63,8314$ .

Перехідний процес за задаючим впливом наведено на рисунку 3.12.

Задаючий ступінчастий вплив = 30,0000.

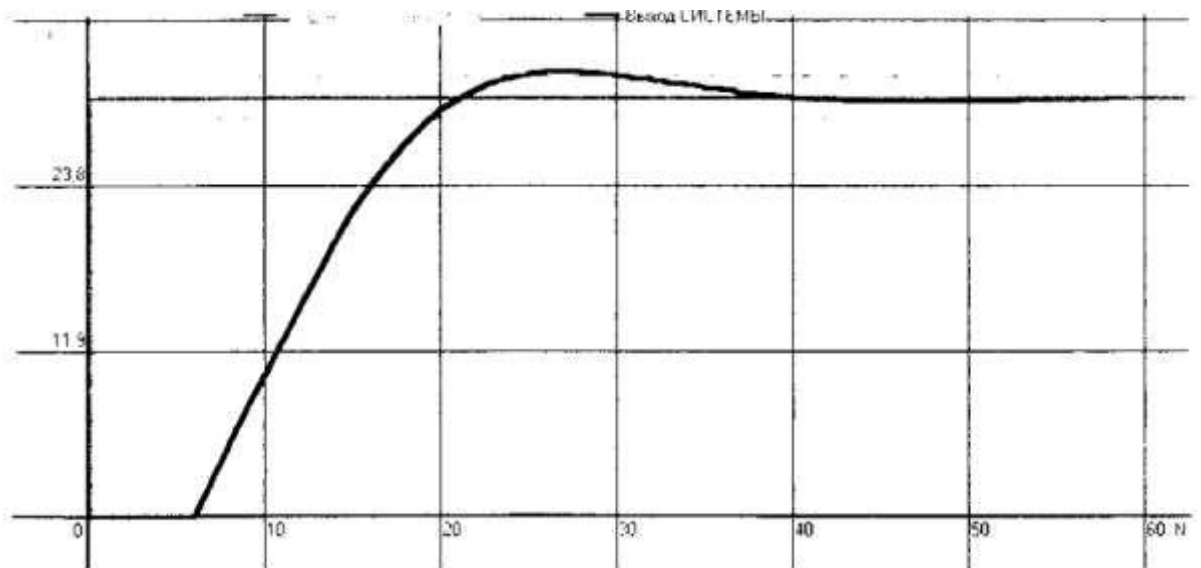


Рисунок 3.12 – Графік перехідного процесу

Візьмемо рекомендовані параметри регулятора  $K_1$  та  $K_2$  для середніх значень параметрів моделей об'єктів, за  $\min$  та  $\max$  параметрів.

Надалі наводимо тільки графічні залежності перехідних процесів, оскільки всі представлені системи є стійкими [14, 15].

Мінімальні параметри моделі об'єкта - коефіцієнт передачі  $K = 0,047$ ; постійна часу  $T = 7,462$ ; запізнювання  $\tau = 9,258$ .

Параметри елементів системи керування: коефіцієнт передачі датчика  $= 0,1000$ ; коефіцієнт передачі виконавчого пристрою  $= 0,1000$ ; ступінь коливання  $M = 0,90$ .

Параметри регулятора, які необхідно вказати:

налаштування -  $K_1 = 75,69$ ;

налаштування -  $K_2 = 63,83$ .

Перехідний процес за задаючим впливом представлений на рисунку 3.13.

Задаючий вплив ступінчастий  $= 30,0000$ .

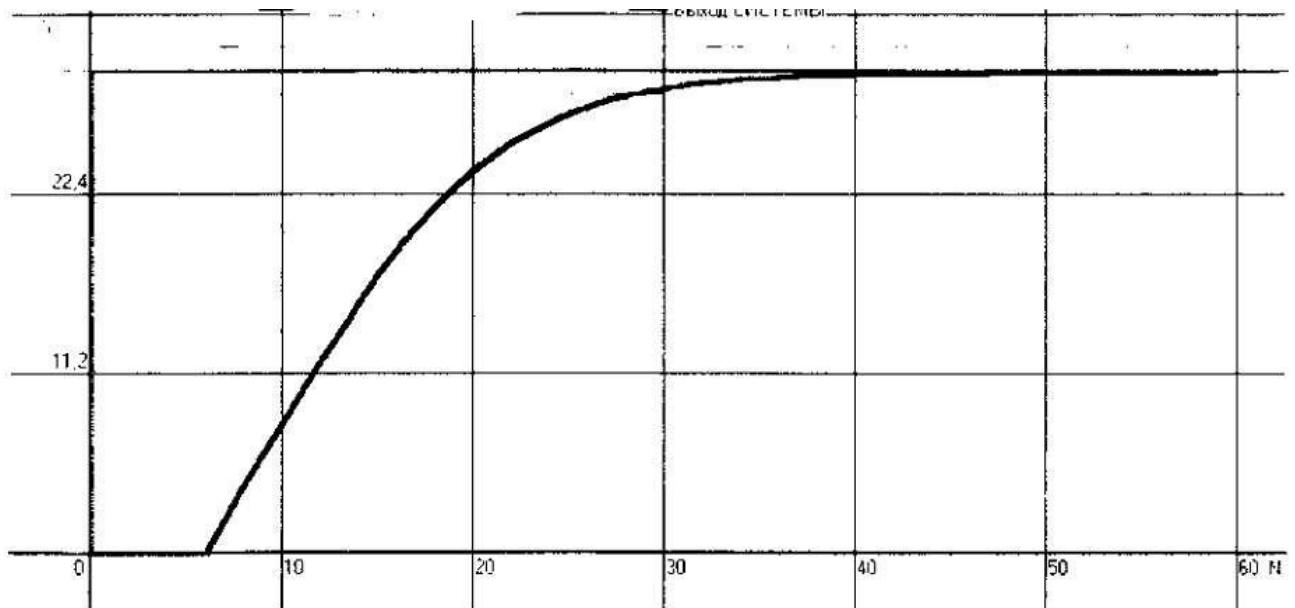


Рисунок 3.13 – Графік перехідного процесу

Максимальні параметри моделі об'єкта - коефіцієнт передачі  $K = 0,073$ ; постійна часу  $T = 8,633$ ; запізнювання  $\tau = 10,809$ .

Параметри елементів системи керування: коефіцієнт передачі датчика

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

*КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ*

Арк.  
37

$= 0,1000$ ; коефіцієнт передачі виконавчого пристрою  $= 0,1000$ ; ступінь коливання  $M = 0,90$ .

Параметри регулятора, які необхідно вказати:

налаштування -  $K1 = 75,69$ ;

налаштування -  $K2 = 63,83$ .

Перехідний процес за задаючим впливом представлений на рисунку 3.14.

Задаючий вплив ступінчастий  $= 30,0000$ .

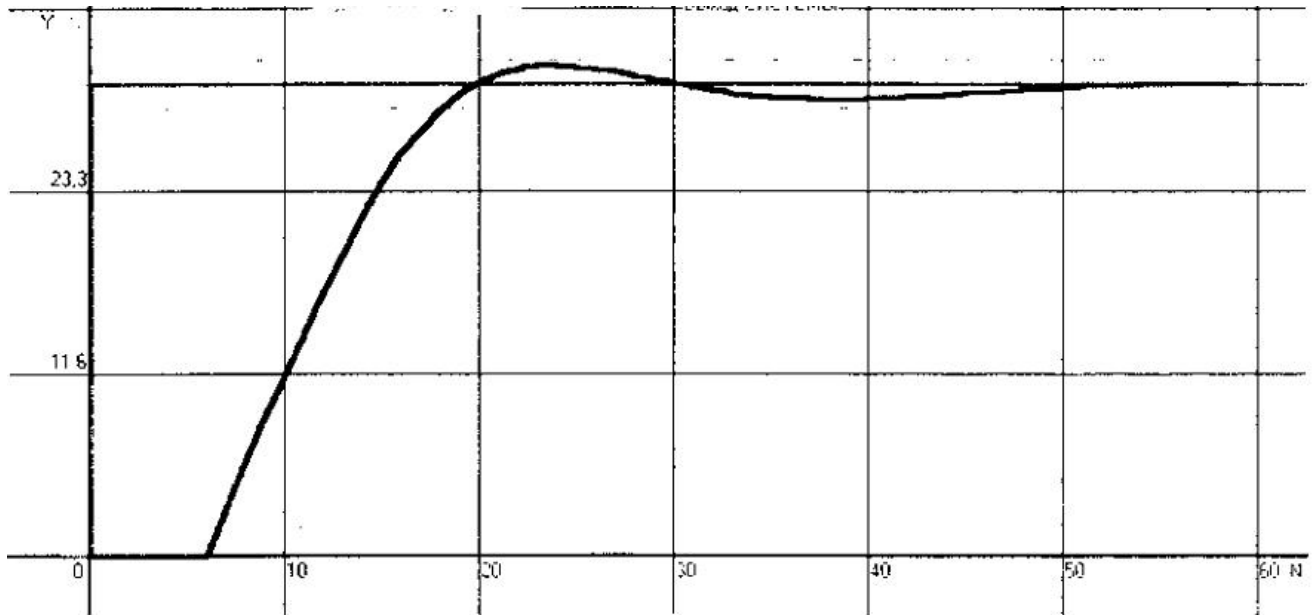


Рисунок 3.14 – Графік перехідного процесу

За видами перехідних процесів можна сказати, що за різних налаштувань параметрів об'єкта керування найкращі характеристики у мінімальних налаштувань параметрів. Поміняємо параметри регулятора в обидва боки та перевіримо перехідні процеси за мінімальних налаштувань параметрів моделі об'єкта [13, 14].

Мінімальні параметри моделі об'єкта - коефіцієнт передачі  $K = 0,047$ ; постійна часу  $T = 7,462$ ; запізнювання  $\tau = 9,258$ .

Параметри елементів системи керування: коефіцієнт передачі датчика  $= 0,1000$ ; коефіцієнт передачі виконавчого пристрою  $= 0,1000$ ; ступінь коливання  $M = 0,90$ .

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ

Арк.

38

Параметри регулятора, які необхідно вказати:

налаштування -  $K1 = 75,69$ ;

налаштування -  $K2 = 63,83$ .

Змінимо налаштування регулятора  $K1$  та  $K2$ , і перевіримо графіки перехідних процесів представлені на рисунках 3.15-3.17.

Мінімальні параметри регулятора, рис.3.15:

налаштування -  $K1 = 73,99$ ;

налаштування -  $K2 = 63,28$ .

Перехідний процес за задаючим впливом представлений на рисунку 3.15.

Задаючий вплив ступінчастий = 30,0000.

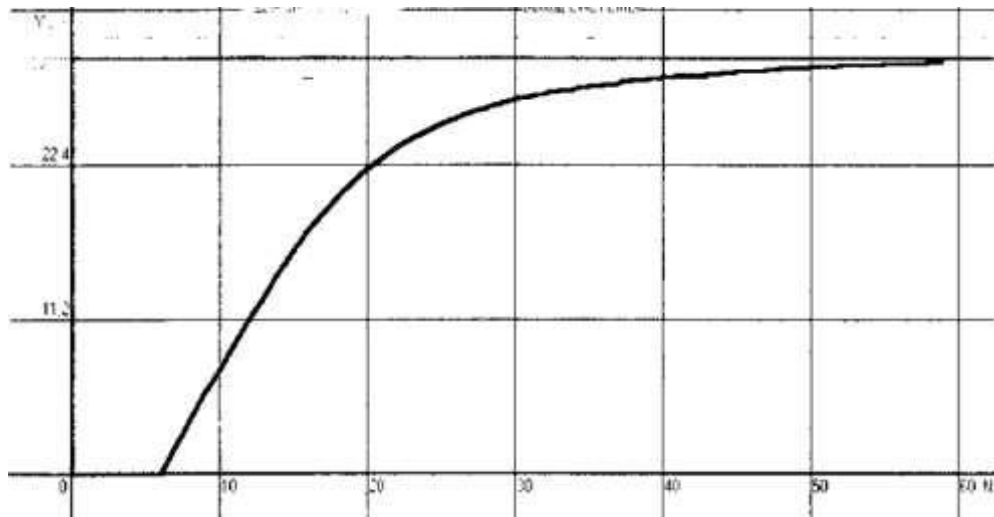


Рисунок 3.15 – Графік перехідного процесу при мінімальних параметрах

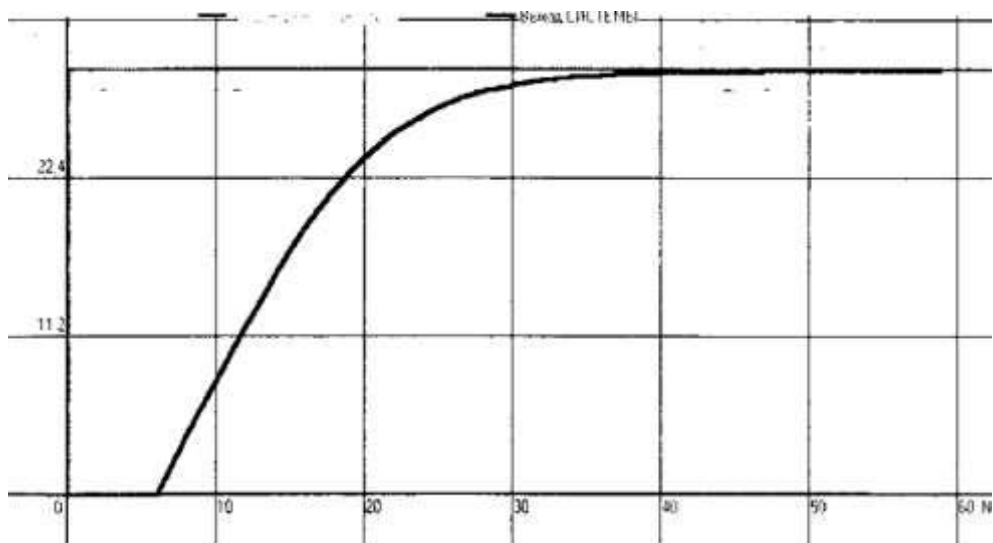


Рисунок 3.16 – Графік перехідного процесу при максимальних параметрах

Середні параметри регулятора, рис.3.17:

налаштування -  $K1 = 75,69$ ;

налаштування -  $K2 = 63,68$ .

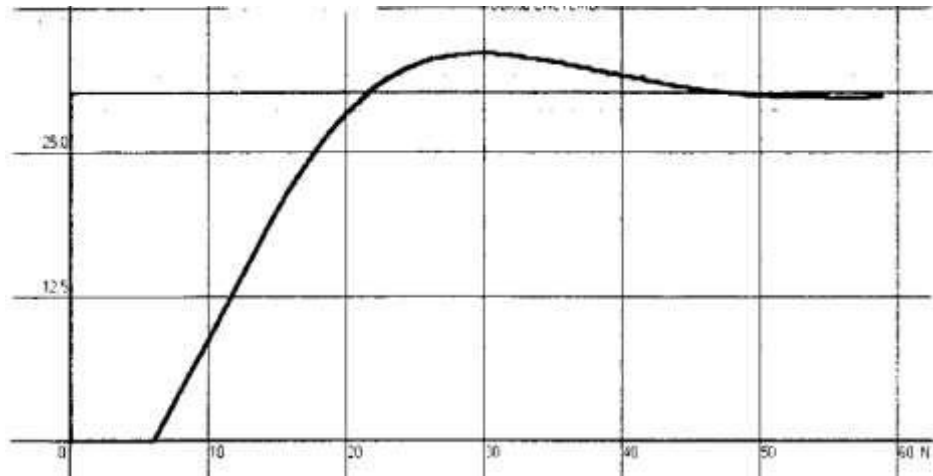


Рисунок 3.17 – Графік перехідного процесу при середніх параметрах

Проаналізуємо отримані графічні залежності. За результатами роботи системи керування можна судити про те, що зміна налаштувань регулятора за незмінного завдання веде до зміни властивостей системи: швидкодії системи, стійкості та точності. Максимальні налаштування параметрів не є найкращими, оскільки вони дають більше пере налаштування для системи. За мінімальних налаштувань параметрів зменшується швидкодія системи керування [13-15].

Виходячи з цього, вибираю оптимальні налаштування регулятора на наступному рівні:  $K1 = 75,69$ ;  $K2 = 63,68$ . За даних налаштувань перерегулювання відсутнє, а також знижується час перехідного процесу (див. рис. 3.13). Для регулювання контуру будемо використовувати ПІ-закон регулювання. Це в свою чергу, надасть змогу підвищити точність регулювання, знизити час відпрацювання задаючого впливу, звести статичну помилку до нуля.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

*КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ*

Арк.  
40

### 3.2 Аналіз впливу збурення на систему керування

На рисунку 3.18 представлено функціональну схему технологічного об'єкта керування потоком води по лінії температури води із мережі [13, 14].

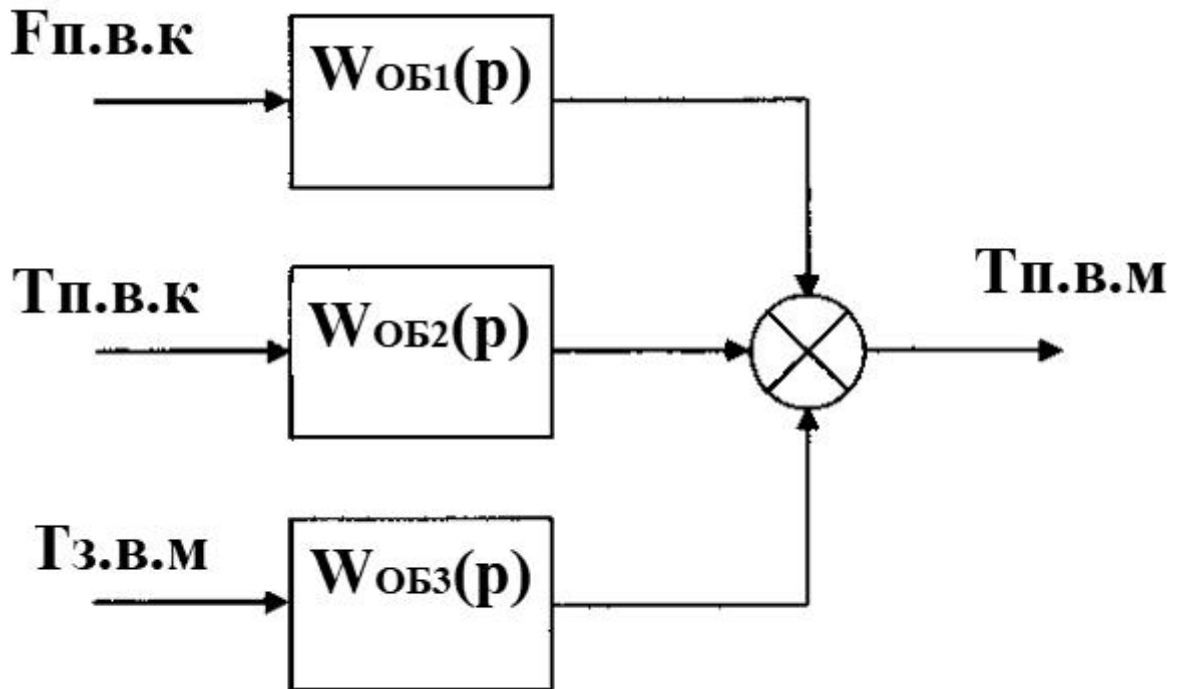


Рисунок 3.18 - Функціональна схема технологічного об'єкта керування:

$T_{п.в.м}$  - температура прямого потоку води із мережі;  $T_{з.в.м}$  - температура зворотного потоку води із мережі;  $T_{п.в.к}$  - температура прямого потоку води із котла;  $F_{п.в.к}$  - витрата води із котла через теплообмінник;  $W_{об1}(p)$  - передаточна функція за витратою води із котла;  $W_{об2}(p)$  - передаточна функція за температурою прямого потоку води із котла;  $W_{об3}(p)$  - передаточна функція за температурою зворотної води із мережі

Оскільки динамічні характеристики параметрів впливів збурення не схожі з характеристиками нашого регульованого параметра (значно триваліші в часі), впливи збурення не будемо враховувати.



- автоматичне регулювання температури зворотного потоку води із мережі (температури води перед котлами);
- керування насосами: води із мережі; гарячого водопостачання; холодної; рециркуляції води із мережі; рідкого палива;
- автоматів вводу резерву насосів;
- аварійний захист та сигналізацію;
- автоматичну самодіагностику та контроль працездатності вимірювальних давачів;
- керування рештою електрифікованої загальнокотельної арматури;
- керування з клавіатури виконавчими механізмами в режимі реального часу.

Контролер типу СКЗ-01 забезпечує спільну роботу з наступними давачами:

- температури прямого та зворотного потоку води із мережі, прямого та циркуляційного потоку води на гаряче водопостачання, повітря навколишнього середовища;
- тиску прямого та зворотного потоку води із мережі, прямого та циркуляційного потоку води на гаряче водопостачання;
- витрати прямого потоку води.

Вихідні ланцюги двопозиційних сигналів контролера типу СКЗ-01 забезпечують комутацію навантаження:

- виконання А - змінного струму не нижче 60 мА, але не вище 1 А, напругою не нижче 70 В і не вище 250 В, частотою  $50 \pm 1$  Гц;
- виконання Б - змінного та постійного струму не вище 0,4 А, напругою не вище 24 В.

Контролер типу СКЗ-01 забезпечує перетворення сигналів давачів у показання параметрів вимірюваного середовища, вивід інформації про параметри середовища та роботу котельні на табло, архівування вказаної інформації та вивід її на зовнішні пристрої за інтерфейсами RS232 та RS485;

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк. 43
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Контролер типу СКЗ-01 призначений для використання в наступних робочих умовах:

- температура повітря навколишнього середовища в діапазоні від мінус 10°С до +50°С;
- відносна вологість повітря не вище 95% при температурі 35°С;
- атмосферний тиск у діапазоні від 84 до 106,7 кПа;
- механічна вібрація частотою 10-55 Гц та амплітудою зміщення не вище 0,15 мм;
- змінне магнітне поле частотою 50 Гц напруженістю не вище 400 А/м.

Ступінь захисту корпусу контролера типу СКЗ-01 від проникнення пилу і води - IP44.

Живлення контролера типу СКЗ-01 здійснюється від мережі струму змінного частотою 50 Гц з номінальною напругою 220 В.

Основні технічні характеристики [11].

Значення границь похибки перетворення вхідних аналогових сигналів у показання параметрів вимірюваного середовища наведено в таблиці Г.3, Додаток Г.

Потужність, що споживається контролером типу СКЗ-01 від мережі змінного струму, не повинна перевищувати 10 В А.

Габаритні розміри контролера не більше 400x110x240 мм (без під'єднаних кабельних вводів). Маса контролера типу СКЗ-01 становить не більше 6 кг.

Регулювання температури прямого потоку води із мережі.

Регулювання  $T_{п.в.к}$  підмішуванням зворотного потоку води із котла в прямий потік полягає у зміні положення регулювального клапана на лінії підмішування -  $PВ_{пс}$  залежно від температури прямого потоку води, температурного графіка та температури повітря навколишнього середовища.

Регулювання температури води на гаряче водопостачання.

Регулювання  $T_{г.в.к}$  полягає у зміні положення регулювального клапана

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$P_{B_{гр}}$  на підводі гарячої води до підігрівача в залежності від температури води на гаряче водопостачання, відповідно до заданої уставки.

Регулювання тиску води із мережі.

1. У разі зростання тиску води із мережі нижче  $P_{осв} > P_{const} - \Delta P_{осв1}$  та якщо тиск води  $P_{осв} < P_{под}$  вмикається в роботу скидний клапан (починає відкриватися). По досягненню рівня  $P_{осв} > P_{const} + \Delta P_{осв2}$  клапан починає закриватися - надходить сигнал про аварію за тиском. У разі зниження рівня тиску  $P_{осв} < P_{const} + \Delta P_{осв1}$ .

$P_{const}$  - уставка регулювання;  $\Delta P_{осв1}$  - задане значення відхилення від вимірюваної уставки вгору 1 уст;  $\Delta P_{осв2}$  - задане значення відхилення від вимірюваної уставки вгору 2 уст.

2. У разі падіння тиску зворотного потоку води із мережі нижче рівня  $P_{осв} < P_{const} - \Delta P_{осв2}$  - і якщо тиск води  $P_{осв} > P_{под}$  тоді вмикаються в роботу насос подачі холодної води  $M_{хв}$  (запускається насос) та регулятор підживлення  $P_{B_{под}}$  (починає відкриватися). По досягненню рівня  $P_{осв} > P_{const} + \Delta P_{осв2}$  регулятор починає закриватися, після закриття регулятора відключається насос подачі холодної води.

При падінні тиску зворотного потоку води із мережі нижче нижньої уставки  $P_{осв} > P_{осв.нижн}$  вмикається в роботу регулятор підживлення  $P_{B_{п}}$  (при умові  $P_{гвп} > P_{осв}$  регулятор підживлення  $P_{B_{п}}$  - закритий).

Регулювання температури води внутрішнього контуру.

Регулювання температури води внутрішнього контуру  $T_{вк}$  позиційний ступінчастий режим регулювання. Регулювання  $T_{вк}$  за рахунок зміни продуктивності котла (переведення з режиму  $V_{г}$  - великого горіння на  $M_{г}$  - мале горіння та навпаки) забезпечується контролером типу СК3-01.

Якщо  $T_{вк} - d_2 < T_{const}$ , вмикається перший котел на режим  $M_{г}$ .  $T_{вк}$  - виміряне значення температури внутрішнього контуру,  $T_{const}$  - уставка регулювання,  $d_2$  - задане значення відхилення від вимірюваної уставки вниз, де  $d_2 = (0 - 15)^\circ C$

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45

вказується в меню «Налаштування регуляторів». Після закінчення часу прогрівання системи  $t_{уст.вк} = (0 - 300) \text{ с}$ , що вказується в меню «База констант», якщо  $T_{вк} - d_2 < T_{const}$ , котел вмикається на режим  $V_r$  [1-4].

У нашій системі керування використовуються такі сигнали:

Вхідні сигнали контролера типу СКЗ-01: температура повітря навколишнього середовища (1 шт.); температура зворотного потоку води із мережі (1 шт.); положення триходового клапана; температура прямого потоку води із мережі (1 шт.).

Вихідні сигнали контролера типу СКЗ-01: керування триходовим клапаном; керування температурою води із котла.

До складу комплексу технологічного рівня АСК входять: первинні перетворювачі, контролер типу СКЗ-01, а також виконавчі механізми, регулювальна та запірна арматура.

Коротка характеристика засобів вимірювання.

Первинні прилади, що використовуються для контролю та сигналізації, а також первинні прилади, що використовуються в контурах регулювання пропонується зберегти наявні (імпортні, виробництва фірм Німеччини, Швейцарії та вітчизняного виробництва).

Виконавчі механізми пропонується зберегти наявні (двоходові та триходові клапани в трубопроводах води).

Регулювальну арматуру, використовувану в контурах регулювання, пропонується зберегти наявну. Запірну арматуру, що використовується в лініях подачі газу, води із мережі, також пропонується зберегти наявну.

Верхній рівень - це рівень диспетчеризації.

Наявна система - це розподілена система автоматизації, яка реалізує виконання наступних функцій:

- збирання та обробка вимірної інформації, одержуваної від технологічного процесу;
- збирання та обробка даних про стан виконавчих механізмів;

- спостерігання та керування технологічним процесом;
- керування як окремими електродвигунами, так і групами електродвигунів та клапанів, які повинні забезпечувати необхідні блокування;
- послідовне керування;
- логічні операції;
- накопичення отриманих статистичних даних та представлення їх в електронному вигляді;
- здійснення аварійного опрацювання отриманих даних.

У системі, яка пропонується всі перераховані функції повинні бути збережені.

Діюча система керування технологічним процесом побудована наступним чином: на верхньому рівні знаходиться центральна диспетчерська станція, куди надходить сигнал про будь-яку аварійну ситуацію на блок-модульній котельні. Ця станція не має пріоритету над нижнім рівнем, тобто не дозволяє людині-оператору втручатися в технологічний процес на котельні для зміни чи коригування роботи обладнання, а дозволяє лише отримувати інформацію про параметри роботи котельні.

Це унеможливило вплив людини-оператора на роботу котельні та не дає змоги втручатися в роботу автоматики. Станція пов'язана з нижнім рівнем за допомогою телефонного зв'язку, передача даних здійснюється за допомогою використання модему. За допомогою програмного забезпечення модем дає змогу викликати на людино-машинний інтерфейс робочі параметри котельної установки, температурні характеристики всієї системи.

У диспетчерський пункт також передається наступна інформація: сигнали аварійних ситуацій у технологічній частині котельні та несправності обладнання;

- сигнал спрацьовування охоронної сигналізації;
- сигнали загазованості котельні за CH<sub>4</sub> та CO;
- сигнал про положення відсічного клапана на введенні газу в котельню;
- сигнал пожежі в котельні.

Особливістю контролера типу СКЗ-01 є те, що він не призначений для керування обладнанням усієї котельні, тобто він формує завдання на роботу котлів залежно від заданого режиму роботи, а також в залежності від температури повітря навколишнього середовища регулює температуру води в котлі. Крім того, контролер типу СКЗ-01 виконує керування триходовим змішувальним клапаном, та усіма встановленими насосами. Також особливістю контролерів всієї серії контролерів СКЗ є можливість встановлення SCADA пакета для них на основі системи Master SCADA виробництва фірми «Теплоком». Таким чином, використання контролерів типу СКЗ-01 дасть можливість поліпшити наявну систему диспетчеризації, покращити людино-машинний інтерфейс на пункті диспетчера: параметри котельні будуть виводитися на екран не просто у вигляді таблиці, а у вигляді графічного відображення всієї котельні, де у відповідному місці буде виводитись значення контрольованих параметрів [11].

### 3.4 Технологічні системи автоматичного захисту об'єкта керування

Технологічні захисти, встановлені на котельні, мають призначення запобігти руйнуванню або пошкодженню котельного обладнання та котлів у разі порушення технологічного процесу або під час аварійної ситуації.

Автоматична сигналізація - повинна сповіщати людину-диспетчера: про несправності в схемі захисту та аварійної сигналізації; про відхилення параметрів від норми і непередбачене відключення окремих елементів обладнання; про спрацьовування локальних захистів.

Автоматичний захист - має забезпечити збереження обладнання і безпеку експлуатації в разі аварійних відхилень параметрів або несправності окремих елементів обладнання. Введення та виведення захистів повинне відбуватись автоматично відповідно до алгоритму роботи системи керування котлом. У разі перевищення максимального тиску води із мережі можлива деформація, і навіть

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

прорив трубопроводів із гарячою водою. У разі зниження тиску, а також у разі недостатнього рівня води насоси працюватимуть на, так званому, «сухому» ходу, що призведе до сильного зносу або ж повного виходу з ладу.

Опис наявних захистів.

Котельня обладнана загальнокотельними засобами захисту, які реалізовані на локальних засобах (реле, датчики), що повинні спрацьовувати у аварійних ситуаціях.

Для захисту технологічного персоналу від ураження електричним струмом усі металеві неструмоведучі частини та установки контролю та автоматики повинні бути заземлені відповідно до відповідно до ПУЕ [16]. Існуючу схему системи автоматичного захисту котла виконано на пресостатах типу 143A001 а також термостатах виробництва фірми «SAUTER», (країна Швейцарія) [17].

Пресостати DSA - це електромеханічні реле зі змінним диференціалом, призначені для регулювання відповідних параметрів (тиску і температури) рідких та газоподібних середовищ, а також сигналізації в різних промислових установках [17]. Пресостати можуть використовуватися у вузлах підживлення опалювальних та інших систем тепlopостачання будівель. Пресостат DSA забезпечений однополюсним перемикачем, положення якого залежить від налаштування пресостата та відповідного тиску на давачі. До контактів перемикача може безпосередньо підключатися електродвигун змінного струму потужністю до 2 кВт.

Встановлені засоби захисту повинні припинити подачу газу на котельню у разі неприпустимих значень контрольованих параметрів, наведених у таблиці Г.4 додатку Г.

Давачі захисту контролюють вказані параметри і в разі їх неприпустимих зміни, що перевищують допустимі значення, передають імпульс в електричну схему захисту (див. табл. Г.4, Додаток Г). На світловому табло висвічується аварійний параметр, лунає звуковий сигнал, і знеструмлений клапан-відсікач негайно припиняє подачу газу в котельню, вмикається захисний вентилятор.

Значення уставок спрацьовування захисту повинні відповідати параметрам, зазначеним у звіті пусконаладжувальної організації.

3.4.1 Опис системи автоматичного захисту за максимальним тиском в контуру мережі

За автоматичну підтримку заданого рівня тиску в контурі відповідає система скидних клапанів, що реалізована на локальній автоматичній. Контроль рівня тиску та його стабільності виконуються за допомогою одного давача тиску.

У разі наявності сигналу від давача рівня тиску щодо перевищення уставки (за замовчуванням 5 бар) відбувається відкриття скидних клапанів. Якщо рівень тиску продовжує зростати та досягає певного значення (5,5 бар) безпосередньо в самій котельні на щиті вмикається відповідний світловий сигнал про аварію, вимикаються повністю котли і на пульт людини-диспетчера за допомогою модему також пересилається сигнал про аварію за максимальним рівнем тиском.

У разі зниження рівня тиску в контурі нижче ніж заданий рівень (4,5 бар) закривається скидний клапан.

3.4.2 Вибір комплексу технічних засобів системи автоматичного захисту

Оскільки контролер типу СКЗ-01 відповідає всім вимогам, які встановлені для систем автоматичного захисту, має підвищену надійність, швидкодію, тривалий термін працездатності та може виконувати автоматичне вимкнення, тому саме на його базі ми побудуємо наступні системи захистів [11]:

- аварія в мережі живлення;
- зниження рівня тиску води в мережевому контурі (рівень 3 бар);
- загазованість згідно із СН4 та СО;
- підвищення рівня тиску води в мережевому контурі (рівень 5,5 бар);
- пожежна сигналізація;
- злом входних дверей;

Встановимо типи та кількість сигналів, з якими працюватиме контролер

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		50

типу СК3-01:

Кількість вхідних аналогових сигналів:

- рівень тиску води в контурі мережі;

Разом: один аналоговий сигнал.

Вихідних аналогових сигналів немає.

Кількість вхідних дискретних сигналів:

- сигнал про аварію в мережі живлення;

- сигнал про пожежу;

- сигнал про загазованість;

- сигнал про злом дверей.

Разом: чотири дискретні вхідні сигнали.

Кількість вихідних дискретних сигналів:

- керування клапаном для скидання тиску;

- керування клапаном для відсічення газу;

- керування захисним вентилятором.

Разом: 3 дискретні вихідні сигнали.

Для створення даних захистів використовуються наступні давачі:

- газоаналізатор фірми Honeywell MultiRAE Lite [18];

- пожежна сигналізація фірми Ajax FireProtect 2 SB (Heat/Smoke/CO) [19];

- охоронна сигналізація фірми Ajax [20];

- давач для вимірювання рівня тиску, виробництва фірми «SAUTER»

Швейцарія. Модель DSU110F001, вихідний сигнал в межах 4..20 мА [17].

### 3.4.3 Розроблення технічної структури

Система автоматичного захисту за максимальним рівнем тиску води з мережі будується на базі контролера типу СК3-01. На контролер типу СК3-01 надходить сигнал від давача рівня тиску, у разі підвищення рівня тиску вище (5,5 бар), контролер типу СК3-01 створює сигнал керування на тип СК2-01 про припинення подачі газу до котлів, а також на сигнал про аварію за

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51



## ВИСНОВКИ

Встановлено технічні характеристики об'єкта автоматизації, проведено аналітичний огляд технологічний процес, охарактеризовано основне обладнання, що використовується, проаналізовано технологічний процес як об'єкта автоматизації, а також охарактеризовано комплекс технічних засобів наявної системи.

Було розглянуто існуючу схему автоматизації технологічного процесу, після чого проведено її аналіз, знайдено недоліки, які ставлять під сумнів доцільність використання даної системи автоматизації. Було проаналізовано два типи контролерів: виробництва фірми «СПЕКОН» тип СКЗ-01 та виробництва фірми «OMRON» тип CJ1W. Після аналізу даних контролерів за їх технічними характеристиками, ми спинили свій вибір на контролері фірми «СПЕКОН» модель СКЗ-01.

Було розроблено та запропоновано систему керування: отримали модель об'єкта - залежність температури води із мережі на споживача, від витрати води із котла на теплообмінник, тобто зміною положення триходового клапана регулюємо температуру води для споживача. Було обрано закон регулювання та прораховано оптимальні коефіцієнти налаштування регуляторів, обрано комплекс технічних засобів для системи керування.

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Газовий паровий котел жаротрубний Buderus Logano SHD815 – Режим доступу:

<https://vest-m.com.ua/uk/otopleniye/kotel-gazovyj/buderus-60511657/buderus-logano-shd815.html>

2. Інструкція з експлуатації для користувача Твердопаливний котел Logano. – Режим доступу:

[https://img.ukr.bio/data/bio/models/img/167/buderus\\_loganog221a\\_ua\\_instr.pdf](https://img.ukr.bio/data/bio/models/img/167/buderus_loganog221a_ua_instr.pdf)

3. Продукція Weishaupt. Пальники високої потужності – Режим доступу:

<https://www.teplotech.biz/weishaupt/>

4. Weishaupt – Режим доступу:

<https://tetan.ua/brands/weishaupt/>

5. Горобець В.Г. Когенераційні установки. - Київ. –ЦП «Компринт». 2016. – 300 с.

6. Теплотехніка / [упор. Б.Х.Драганов, О.С.Бессараб, А.А.Долінський та ін.] ; під ред. Б.Х. Драганова. – [2-е вид.]. – Київ: в-во «Фірма «ІНКОС», 2005. – 400 с.

7. Теплообмінники Alfa Laval - каталог теплообмінного обладнання – Режим доступу:

<https://www.alfalaval.ua/products/heat-exchanger/alfa-laval/>

8. Пластинчастий теплообмінник Alfa Laval СВ 52 - Режим доступу:

<https://teplobezgaza.com.ua/ua/plastinchatyj-teploobmennik-alfa-laval-sv-52/>

9. Инструкция по эксплуатации. Системы управления Logamatic 4311/4312. 6302 2526 – 09/2002 RU – 60 с.

10. В. М. Локазюк. Мікропроцесори та мікроЕОМ у виробничих системах. Видавн.центр “Академік”, Київ 2002. -234с.

11. ТЕПЛОКОМ - прилади обліку енергоресурсів - Режим доступу:

<https://sv-engin.com.ua/ua/g2436682-teplokom-pribory-ucheta>

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54



21. Кучеренко, О. К. Волоконно-оптичні датчики для автоматизованих інформаційних та інтелектуальних систем [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи та технології», спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні системи і технології» / О. К. Кучеренко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 113 с. – Назва з екрана.

22. Matsuo's temperature control devices contribute to energy saving for the future of our global environment. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.matsuo-ele.com/pdf/E\\_TPS\\_2A.pdf](http://www.matsuo-ele.com/pdf/E_TPS_2A.pdf).

23. Measuring resistor with the Pt100-sensor referring to DIN EN 60751 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

[https://m.reissmann.com/fileadmin/templates/\\_media/produkte/pdf/st\\_pt\\_100\\_en.pdf](https://m.reissmann.com/fileadmin/templates/_media/produkte/pdf/st_pt_100_en.pdf).

24. O'Dwyer A. Handbook of PI and PID controller tuning rules. 3rd edition. Ireland : Imperial College Pres, 2009. – 623 p.

25. Åström K. J., Hägglund T. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. 2 edition. Instrument Society of America: Research Triangle Park. 1995, - 344 p.

26. Мехатроніка. Підручник. / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Крушельницький В.В. – К.: Видавництво НУБіП, 2020. – 404 с.

27. Конспект лекцій з дисципліни «Котельні установки промислових підприємств» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 144 – Теплоенергетика очної та заочної форм навчання / Укл. Глущенко О.Л., – Кам'янське: ДДТУ, 2019 – 103 с.

28. О.П. Губарев. Мехатроніка: Циклічно-модульний підхід до вирішення практичних задач автоматизації / Губарев О.П., Ганпанцурова О.С. // К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 160 с.

29. Береза А. М. Основи створення інформаційних систем: навч. посіб. / А. М. Береза. – 2 вид., перероб. і доп. – К.: КНЕУ, 2001. – 214 с.

									Арк.
									56
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ				



технології» / уклад.: Ю.В. Форкун, Г.І. Радельчук, І.В. Форкун, А.С. Каштальян,  
В.В. Мартинюк. Хмельницький : ХНУ, 2020. – 50 с.

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

**ДОДАТКИ**

					<i>КВРАКІТ.2020038.01.06.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		59







## Додаток Г

### Технічні характеристики обладнання

Таблиця Г.1 – Режимна карта котельні із встановленими котлами типу  
Logano S815

№	Показники	Розмірність	Навантаження, %	
			більше 50	100
1	Теплова продуктивність	МВт	1,3	2,48
		Гкал/год	1,12	2,14
2	Розхід води крізь котел	т/год	159,74	164,58
3	Тиск води в котлі	кг/см <sup>2</sup>	3,5-4,2	3,5-4,2
4	Температура води за котлом	°С	85	95
5	Температура води перед котлом	°С	78	82
6	Мінімальна робоча теплота згоряння палива при t =20°С	Ккал/м <sup>3</sup>	7998	7998
7	Температура палива перед пальником	°С	11	11
8	Розхід палива	м <sup>3</sup> /год	151,29	289,47
9	Тиск палива перед лічильником	мБар	1200	1200
10	Число пальників, що працюють	шт	1	1
11	Тиск палива на пальнику	мБар	112	105
12	Втрати тепла			
	з вихідними газами	%	6,5	7,8
	від хімічного недоспалення	%	0	0
	в навколишнє середовище	%	0,19	НД
13	ККД котлоагрегату	%	93,31	92,1
14	Розхід умовного палива на вироблення 1Гкал	кг у.п./Гкал	153,1	155,11

Таблиця Г.2 - Значення нормованих перехідних функцій об'єкта і моделі

Час	Об'єкт	Модель
0	0,000	0
1	0,000	0
2	0,000	0
3	0,014	0
4	0,036	0
5	0,057	0
6	0,064	0
7	0,086	0
8	0,114	0
9	0,129	0
10	0,171	0
11	0,179	0,022
12	0,214	0,129
13	0,286	0,224
14	0,357	0,309
15	0,429	0,385
16	0,450	0,452
17	0,493	0,512
18	0,514	0,565
19	0,536	0,613
20	0,571	0,655
21	0,621	0,693
22	0,636	0,727
23	0,643	0,757
24	0,693	0,783
25	0,714	0,807
26	0,729	0,828
27	0,743	0,847
28	0,779	0,864
29	0,786	0,879
30	0,800	0,892
31	0,814	0,828
32	0,850	0,843
33	0,850	0,857
34	0,886	0,870
35	0,936	0,882
36	0,943	0,894
37	0,979	0,904
38	0,986	0,914
39	0,986	0,923
40	0,993	0,931
41	1,000	0,938
42	1,000	0,945
43	1,000	0,951
44	1,000	0,957
45	1,000	0,962

Таблиця Г.3 - Значення границь похибки контролера типу СКЗ-01

Параметр	Границі похибки	Примітка
Температура прямого та зворотного потоків води, вихідних газів, рідкого палива	$\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$	Абсолютна похибка
Тиск пару, води, повітря, палива, у топці, рівень у барабані.	$\pm 0,5 \%$	Приведена похибка
Розхід води	$\pm 0,5\%$	Відносна похибка

Таблиця Г.4 – Параметри, які контролюються

Назва величини	Розмірність	Граничне значення	Дія
CH <sub>4</sub>	%	0,5	попередження
CH <sub>4</sub>	%	1,0	негайне вимкнення
CO	мг/м <sup>3</sup>	1 ПДК (20)	попередження
CO	мг/м <sup>3</sup>	5 ПДК (більше 100)	негайне вимкнення

Ім'я користувача:  
Кафедра АКІТІТК

Дата перевірки:  
05.06.2023 20:11:07 EEST

Дата звіту:  
05.06.2023 20:29:11 EEST

ID перевірки:  
1015441775

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005862

Назва документа: Запарнюк

Кількість сторінок: 59 Кількість слів: 10059 Кількість символів: 76846 Розмір файлу: 990.71 KB ID файлу: 1015102420

1084 слова позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

## 1.19% Схожість

Найбільша схожість: 0.71% з Інтернет-джерелом (<https://studfile.net/preview/5155054/page:3>)

1.08% Джерела з Інтернету 62 ..... Сторінка 61

0.11% Джерела з Бібліотеки 1 ..... Сторінка 61

## 0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

## 0.04% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

0.01% Вилучення з Інтернету 1 ..... Сторінка 62

0.04% Вилученого тексту з Бібліотеки 17 ..... Сторінка 62

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 31

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 3,08%

Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибки в документгах: 9%

ID: 115002 Название: БКР Система академического кураторства биомедицинской компании Добавлено в БД: 2023-06-06 Авторы: Захаров В. Руководитель: Мадьян П.С. Место издания: Оренбург.	Документ		Суммарное совпадение по базе данных	
	Словари	Лексемы	Словари	Лексемы
	58773	882	3672 (5%)	42 (5%)

### Источники плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Словари	Лексемы

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Запарінок Владислав Олександрович

Тема: Система автоматичного керування блок-модульної котельні

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 59

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: створено систему автоматизованого керування блок-модульної котельні

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналітичний огляд в результаті якого розроблено та запропоновано систему автоматичного керування газопостачанням котельень для суттєвого зниження споживання палива на одиницю виробленої теплової чи електричної енергії. Встановлено необхідні технічні характеристики об'єкта автоматизації, виконано аналітичний огляд технологічного процесу постачання палива, дано коротку характеристику основного обладнання, що використовується, проаналізовано технологічний процес. У другому розділі розроблено та запропоновано систему автоматичного керування; отримано математичну модель об'єкту - залежність температури води із мережі, від витрати води із котла на теплообмінник, тобто за зміною положення триходового клапана буде виконуватись регулювання температури води для споживача. У третьому розділі було вибрано закон регулювання та прораховано оптимальні коефіцієнти налаштування обраних регуляторів, вибрано комплекс технічних засобів для системи автоматичного керування.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

---

---

---

5. Негативні сторони роботи: деталізувати програмну частину роботи

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,25/В)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

Юлія Сергіївна Соколан, кандидат технічних наук, доцент, кафедра Будівництва та цивільної безпеки, Хмельницький національний університет

"07" 06 2023 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР  
д-ру техн.наук. проф. Мартинюку В.В.

Запарнюк В.О.

ІІІІІ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи АКІТс-20-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

06.06.23

дата



підпис

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Система автоматичного керування блок-модульної котельні \_\_\_\_\_

Автор: Запарнюк Владислав Олександрович \_\_\_\_\_

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології \_\_\_\_\_

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» \_\_\_\_\_

Науковий керівник: Майдан Павло Сергійович, кандидат технічних наук, доцент \_\_\_\_\_

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 1,19% і адресується до 63 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 06.06.23

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

Гарант освітньої програми \_\_\_\_\_

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_


Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Павло МАЙДАН