

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет природокористування  
Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра інформаційних технологій

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

«АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ  
ТВЕРДОПАЛИВНОГО КОТЛА ШАХТНОГО ТИПУ»

Виконав: студент групи Акт-41  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

Савчук Б.Є.

Керівник роботи:

Запорожцев С.Ю.

ЛЬВІВ-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній ступінь «Бакалавр» за спеціальністю –  
151 – „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
д.т.н., проф. А.М. Тригуба  
“ ” 202\_р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту  
Савчук Богдан Євгенович

### 1. Тема роботи

«Автоматизація процесу керування роботою твердопаливного котла шахтного типу»

Керівник роботи: Запорожцев Сергій Юрійович, к.т.н., доцент.

затверджена наказом по університету від “ ” 202\_р., № \_\_\_\_\_.

2. Строк подання студентом роботи: 10.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи:

Технологічні вимоги та обмеження для побудови автоматики твердопаливних котлів шахтного типу; ДСТи, СНіПи; документація Logo! Soft Comfort

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Основні принципи роботи твердопаливних котлів

1.2 Типи твердопаливних котлів

РОЗДІЛ 2. ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЛІВ

2.1 Сенсори для автоматизації котла

2.2 Контролери для автоматизації котла

2.3 Робота засобів автоматизації твердопаливних котлів

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОТЛА

3.1 Вибір системи опалення для експериментів

3.2 Аналіз даних та моделювання роботи котла

3.3 Розробка програми та вибір технічних засобів автоматизації

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень):

Цикл роботи котла. Постановка задачі. Моделювання роботи котла. Моделювання з різним часом вимикання. Вибір технічних засобів автоматики.

## 6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Запорожцев С.Ю., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання \_\_ \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	10.02 - 21.03.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування початкових даних</i>	22.03 - 11.04.24	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	12.04 - 11.05.24	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	12.05 - 17.05.24	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	18.05 - 23.05.24	
6.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	24.05 - 10.06.24	

Студент \_\_\_\_\_ Савчук Б.Є.  
(підпис)Керівник роботи \_\_\_\_\_ Запорожцев С.Ю.  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК 004.94 : 644.1

Автоматизація процесу керування роботою твердопаливного котла шахтного типу

Савчук Б. Є. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Кваліфікаційна робота: 50 с. текст. част., 21 рис., 3 табл., 10 арк. ілюстраційного матеріалу, 9 джерел.

Об'єкт дослідження – процесу управління роботою твердопаливного котла.

Мета роботи – розробка системи автоматизації управління твердопаливним котлом шахтного типу.

На основі аналізу предметної області сформульовані та виконані такі задачі дослідження: обраний тип твердопаливного котла; виконані розрахунки змін температури котла; обрані засоби розробки - середовище та безпосередньо мікроконтролер; описані вхідні та вихідні дані; реалізована програма управління температурою котла.

**Ключові слова:** твердопаливний котел шахтного типу, моделювання температурного режиму, контролер котла.

**Keywords:** solid fuel boiler of mine type, simulation of temperature conditions, boiler controller.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	8
1.1 Основні принципи роботи твердопаливних котлів .....	8
1.2 Типи твердопаливних котлів .....	13
РОЗДІЛ 2. ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЛІВ .....	20
2.1 Сенсори для автоматизації котла .....	20
2.2 Контролери для автоматизації котла .....	25
2.3 Робота засобів автоматизації твердопаливних котлів .....	29
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОТЛА .....	31
3.1 Вибір системи опалення для експериментів .....	31
3.2 Аналіз даних та моделювання роботи котла .....	33
3.3 Розробка програми та вибір технічних засобів автоматизації .....	39
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ....	42
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	45
ВИСНОВКИ .....	49
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	50

## ВСТУП

Актуальність теми автоматизації твердопаливних котлів шахтного типу обумовлена сучасними викликами енергетичного сектору та необхідністю забезпечення ефективного та екологічно чистого виробництва теплової енергії. З високою вартістю та обмеженими ресурсами традиційних видів пального, твердопаливні котли шахтного типу залишаються важливим елементом теплогенеруючих систем, особливо у віддалених та регіональних об'єктах.

Наприклад, вартість традиційних видів палива, зокрема вугілля та деревини, значно зросла. Це поставило під загрозу економічну ефективність і фінансову доступність енергетичних рішень. Мета автоматизації твердопаливного котла полягає в тому, щоб максимізувати використання ресурсів і зменшити витрати на пальне.

Збільшення обсягів споживання твердого палива підкреслює, наскільки важливо його використовувати найефективніше. Автоматизація котлів може вплинути на розумне споживання та впровадження більш ефективних технологій обробки палива. У результаті це збільшить використання та доступ до альтернативних джерел твердого палива.

Мета цієї дипломної роботи полягає в тому, щоб розробити та впровадити систему автоматизації для твердопаливного котла шахтного типу для того щоб відповідати сучасним енергетичним і екологічним стандартам. Основна мета полягає в підвищенні ефективності техніки, енергозбереженні та зниженні викидів шкідливих речовин у атмосферу.

Основними завданнями для роботи є:

- аналіз існуючих систем автоматизації котлів;
- дослідження принципів роботи твердопаливного котла;
- вибір і опис сенсорів;
- розробка алгоритмів управління;
- вибір і інтеграція контролера;
- перевірка та аналіз результатів.

Дослідження стосується твердопаливного котла шахтного типу. Об'єкт містить всі фізичні та технологічні частини, необхідні для системи теплогенерації на основі твердого палива. Це включає камеру горіння, систему живлення паливом, вентиляцію, пристрої керування та регулювання, а також інші компоненти, які впливають на його роботу та ефективність.

Предметом дослідження є система автоматизації котла шахтного типу для твердопаливного палива. Розробка та впровадження алгоритмів управління, вибір і інтеграція сенсорів, розробка системи моніторингу, вибір і інтеграція контролера, а також установка та налаштування обладнання є частиною цього. Дослідження має на меті розробити комплексну систему з метою покращення технічних показників, енергоефективності та екологічних характеристик твердопаливних котлів шахтного типу.

Загальна мета дослідження полягає в розробці інноваційної системи автоматизації, яка відповідатиме вимогам сучасності та може бути використана в різних галузях і відповідатиме різноманітним умовам експлуатації твердопаливних котлів шахтного типу.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

#### 1.1 Основні принципи роботи твердопаливних котлів

Твердопаливні котли є теплогенераторами, які працюють на основі термодинаміки. Початок процесу полягає в тому, що тверде паливо, наприклад вугілля чи деревина, завантажується в спеціальну камеру горіння котла.

В камері горіння високі температури та надлишок кисню спричиняють горіння твердого палива. У процесі горіння вуглець та інші речовини палива окислюються, що призводить до вивільнення тепла.

Теплоносій, який може бути водою або теплоносійним маслом, отримує теплову енергію від горіння та циркулює в системі теплопередачі. У процесі вода або теплоносійне масло нагрівається і перетворюється на пар або гарячий теплоносій. Цей теплоносій потім використовується для опалення приміщення або для інших потреб у теплі.

Можливість контролювати виробництво тепла є однією з основних переваг твердопаливного котла. Це досягається за допомогою контролю різних параметрів, включаючи рівень подачі палива та потужність горіння. Регулювання виробництва тепла має вирішальне значення для забезпечення ефективної роботи котла в різних умовах і забезпечення необхідного рівня теплопостачання.

Система виведення відходів горіння, яка складається з димоходів і вентиляційних систем, є важливою частиною. Він розроблений для ефективного виведення газів і диму з камери горіння, забезпечуючи безпеку та екологічну експлуатацію.

Для створення ефективної системи автоматизації, яка максимізує технічну ефективність та енергозбереження твердопаливного котла, важливо знати основні принципи роботи котла, які будуть описані далі.



Почнемо з різноманітних видів палива, які можуть використовуватися в твердопаливних котлах.

Твердопаливні котли шахтного типу можуть працювати з різними типами твердого палива, зокрема: вугілля, дерево та біомаса, відходи, торф, тверде біопаливо, кокс та суміші твердих палив.

Вугілля, таке як антрацит, бітумінозне вугілля та інше, є широко використовуваним через свою високу енергетичну цінність та розповсюдженість. Одним з найбільш часто використовуваних типів твердого палива є деревина, пелети, брикети та інші види біомаси які можна використовувати як тверде паливо, що дозволяє використовувати відновлювальні джерела енергії. Великою перевагою є легкодоступність деревини у більшості регіонах. Деякі твердопаливні котли також можуть використовувати побутові або виробничі відходи у вигляді палива, що дозволяє зменшити вплив відходів на екологію та дає дешеве паливо. У певних регіонах широко застосованим твердим паливом для твердопаливних котлів є торф. Його використання здебільшого пов'язане з його доступністю та економічними вигодами в певному регіоні. Зараз великої популярності набирає тверде біопаливо. Ця категорія включає пелети, брикети та інші стиснуті відходи деревини та біомаси. Через свою високу енергетичну ефективність і екологічну придатність вони стають все більш популярним варіантом. У місцях де проводять термічну обробку вугілля, основним паливом є кокс. Кокс — це продукт термічної обробки вугілля, який має високу тепловіддачу, і його використовують у деяких твердопаливних котлах. Він добре горить і не забруднюється.

Деякі котли шахтного типу також можуть працювати на сумішах твердих палив, що дозволяє оптимізувати вартість палива та гарантувати стабільний режим роботи.

Твердопаливні котли можуть працювати з різними видами твердого палива, що дозволяє адаптувати систему до різних умов і потреб в енергії. При розробці автоматизованої системи управління важливо враховувати

характеристики кожного виду палива, щоб забезпечити максимальну ефективність і безпеку роботи котла.

Не тільки вибір певного виду твердого палива, але й інші характеристики, такі як вологість, зольність і зольні втрати, мають велике значення для ефективності та терміну служби твердопаливного котла.

Наприклад вологість твердого палива значно впливає на роботу та ефективність твердопаливного котла. Ось основні зміни, які варто враховувати, вологе паливо потребує більшої кількості енергії для випаровування води, що зменшує температуру згоряння та ефективність процесу. Таким чином, продуктивність котла знижується, а споживання палива збільшується.

Окрім цього висока вологість може призвести до неякісного згоряння та утворення сажі та нагару, що може погіршити роботу котла та його ефективність. Також волога може сприяти корозії внутрішніх поверхонь котла, що може призвести до пошкоджень і зниження терміну служби пристроїв. Спалювання вологого палива може призвести до утворення більш кислих димових газів, що може мати негативний вплив на навколишнє середовище.

Щоб зменшити негативний вплив вологості на роботу твердопаливного котла, важливо використовувати сухе паливо та забезпечувати хорошу вентиляцію та подачу повітря для підтримання оптимальних умов згоряння.

Також на ефективність роботи твердопаливних котлів значною мірою впливає зольність твердого палива. Наприклад низький вміст теплового значення в золі може зменшити ефективність згоряння, що призводить до більш швидкого забруднення котла та більшої витрати палива. Через підвищену зольність може статися утворення нагару та сажі, що може призвести до зниження продуктивності котла та погіршення якості згоряння. Оскільки в золі містяться агресивні речовини, висока зольність може посилити корозію внутрішніх поверхонь котла. Висока зольність може призвести до забруднення димових газів та збільшення в вмісту твердих частинок і шкідливих речовин у димових газах, що негативно впливає на навколишнє середовище. Щоб зменшити негативний вплив високої зольності на роботу твердопаливного

котла, важливо використовувати паливо з нижчим вмістом золи, а також регулярно очищати та обслуговувати котел, щоб уникнути утворення нагару та сажі.

Зольні втрати в твердопаливних котлах є важливою частиною впливу золи на котел. Це втрата палива в формі золи, яка залишається в котлі після згоряння. Ці втрати можуть вплинути на роботу котла та його ефективність. Зола, яка залишається після згоряння палива, остигає та витягує тепло з котла, що призводить до втрати частини теплової енергії та зниження його ефективності. Зольні відкладення можуть призвести до утворення нагару та сажі, що погіршує ефективність згоряння, збільшує витрату палива та зменшує термін служби котла. Щоб зменшити вплив зольних втрат на твердопаливний котел, важливо регулярно видаляти зольні відкладення, стежити за складом палива та якістю палива для зменшення зольності, а також переконатися, що котел налаштований і обслуговується правильно, щоб він працював якнайкраще.

За допомогою сучасних технологій можна оптимізувати процес спалювання твердого палива в котлах. Є декілька методів які дозволяють це зробити. Одним з основних методів є горіння в проміжному шарі.

Метод горіння в проміжному у твердопаливних котлах є інноваційним підходом до оптимізації процесу згоряння твердого палива. Цей метод заснований на створенні додаткового "проміжного" шару в котлі, де відбувається часткове попереднє згоряння палива перед повним згорянням в основному горінні.

Принципи методу горіння у проміжному шарі наступні. У певному місці камери згоряння котла повітря або інший окислювач створює проміжний шар. Цей шар знаходиться між основним шаром палива та верхнім шаром повітря, необхідним для підтримки горіння. Вогонь, що формується в проміжному шарі, сприяє частковому згоранню палива, що потрапляє туди. Це зменшує вміст шкідливих речовин у вихлопних газах, одночасно звільняючи енергію та тепло з палива. Коли паливо частково згоряє в проміжному шарі, воно краще згоряє

в цілому, оскільки частина тепла та енергії вже вилучена до основного горіння палива. Це також зменшує викиди забруднюючих речовин. Метод горіння проміжного шару вимагає ретельного контролю та керування подачею повітря або іншого окислювача в цей шар. Це можна зробити за допомогою автоматичних систем управління та контролю. Метод горіння у проміжному шарі значно підвищує ефективність і екологічну безпеку твердопаливних котлів, що робить його привабливим варіантом для використання в багатьох промислових і комерційних сферах.

Також для оптимізації процесу використовують автоматизацію та контроль. Сучасні автоматизовані системи управління можуть точно контролювати процеси подачі палива, роздування повітря та інших факторів, що впливають на ефективність роботи котла. Це підтримує оптимальний температурний режим і зменшує споживання палива.

Інколи для збільшення ефективності застосовують рециркуляцію димових газів. Завдяки цій технології можна частково використовувати димові гази, що призводить до підвищення теплового коефіцієнта котла та зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Ці технології покращують ефективність, безпеку та екологічні властивості твердопаливних котлів шахтного типу. Їхнє включення в систему автоматизованого управління може значно покращити загальну продуктивність систем опалення.

Для того, щоб твердопаливні котли працювали добре, їх потрібно добре обслуговувати. Це обслуговування включає багато дій, щоб переконатися, що вони працюють добре та безпечно. Регулярне очищення котла від сажі, нагару та зольних відкладень є важливою частиною процесу. Це включає очищення пальника, теплообмінників, димарів та інших місць, де може утворюватися нагар. Час від часу ущільнення необхідно перевіряти та замінити, щоб запобігти витоку повітря, який може знизити ефективність роботи котла. Для забезпечення стабільної роботи котла необхідно правильно налаштувати системи подачі повітря та регулювання тяги, оскільки ці системи є життєво важливими для

ефективної роботи котла. Заміна фільтрів у системі подачі повітря та димовідводу є необхідною для запобігання забрудненню та забезпечення нормальної роботи. Для забезпечення безпеки працівників і виробництва необхідно перевірити котел на наявність витоків газу та перевірити стан електричних компонентів котла.

Крім того, необхідно провести навчання з правильної експлуатації та обслуговування котла, щоб запобігти аваріям. Регулярне обслуговування твердопаливних котлів шахтного типу гарантує безпечну експлуатацію, продовжує їхню ефективність і термін служби.

## 1.2 Типи твердопаливних котлів

Твердопаливні котли можна поділити на 5 основних типів:

### 1. Традиційний твердопаливний котел.

Паливо в цьому котлі практично не контролюється, і його горіння нагадує горіння дров у багатті. У традиційних твердопаливних котлах датчик температури, керований повітряною заслінкою, відповідає за підтримку температури. Коли температура води занадто висока, датчик закриває заслінку; коли температура води низька, він відкриває заслінку.

Такі котли виконуються в двох варіантах:

- з вентилятором;
- без вентилятора.

Будова традиційного твердопаливного котла наведена на рис. 1.1.

Нумерація елементів котла наступна:

1. Ревізійний люк для чистки.
2. Верхні дверцята для загрузки палива.
3. Нижні дверцята для першочергової загрузки палива і очистки.
4. Місце установки горілки.
5. Лючок для видалення золи.

6. Опорна площадка камери згоряння.
7. Приєднання димоходу.
8. Термоізоляційна цегла.
9. Попільник.

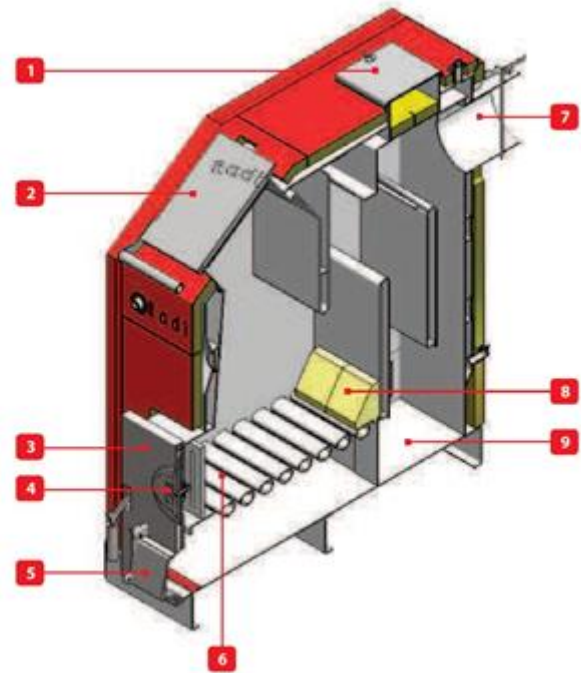


Рисунок 1.1- Традиційний твердопаливний котел

## 2. Піролізний твердопаливний котел.

Піролізні котли (іноді також відомі як газогенераторні котли) є наступним типом твердопаливних котлів, які є подальшим розвитком подібного обладнання

Суть піролізу полягає в тому, що деревина розкладається на твердий залишок і піролізний газ під впливом підвищеної температури та в умовах нестачі кисню. Температура, необхідна для піролізу деревини, коливається від 250 до 750 градусів. Слід пам'ятати, що цей процес є екзотермічним, тобто він викликає виділення тепла, що призводить до підсушування та прогріву палива в котлі. Піроліз — це процес повільного тління сухих дров при низькій

концентрації кисню в твердопаливних котлах. У результаті горючі гази з дров потрапляють в другу камеру через отвір в камері завантаження дров. У цій камері вентилятор подає надмірне повітря, що призводить до загоряння і активного горіння газу.

Є декілька важливих переваг піролізних котлів . Дрова не досягають такої високої температури під час згоряння, як газ, отриманий з них. Для горіння газу потрібно менше вторинного повітря, ніж для горіння дров; як наслідок, температура горіння буде вищою, а також ефективність. Окрім цього піролізний газ простіше контролювати, тому газогенераторний котел може працювати так само, як рідкопаливний або газовий котел. ККД цієї методики значно вище, ніж у звичайних твердопаливних, до 90-92% завдяки особливостям процесу горіння дров і добре виконаним поверхням теплообміну.

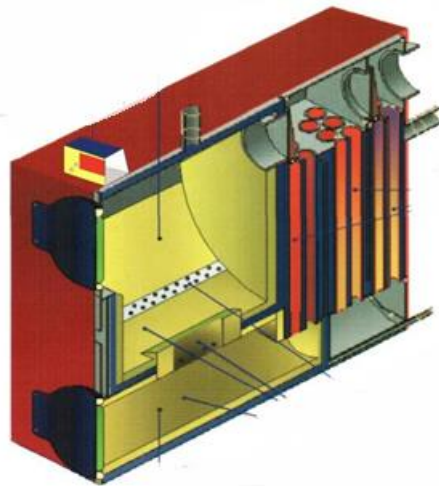


Рисунок 1.2 – Піролізний твердопаливний котел

### 3. Пелетний твердопаливний котел;

Пелетні котли є типом опалювальних пристроїв, які працюють за допомогою спалювання пеллетів, які виробляються з дерева. Пелети — це маленькі гранули, виготовлені з деревної маси, такої як тирса, тріска або відходи деревини. У більшості пеллетних котлів є автоматична система подачі пеллетів у камеру згоряння. Пелети подаються до камери за допомогою механізму, такого

як шнековий транспортер. Котли зазвичай оснащені системою контролю температури та подачі повітря, щоб забезпечити найкращі умови згоряння та ефективну передачу тепла. Оскільки при їх спалюванні виділяється невелика кількість шкідливих речовин, пелети є екологічно чистим видом палива. Пелетні котли зручні у використанні, оскільки їх легко зберігати та завантажувати. Завдяки своїй екологічності, високій ефективності та простоті використання, котли на твердому паливі стають все більш популярними як альтернатива традиційним твердопаливним котлам.



Рисунок 1.3 – Пелетні твердопаливні котли

#### 4. Котел тривалого горіння.

Котел тривалого горіння (КТГ) — це тип опалювального пристрою, який має здатність зберігати робочу температуру та обігрівати приміщення протягом тривалого часу після повного горіння палива. Такі котли працюють, щоб максимально використовувати тепло, що виділяється під час згоряння палива. Спеціальна конструкція КТГ гарантує, що навіть після припинення подачі палива гарячі гази максимально віддають тепло до нагрітого середовища (вода або повітря). Для тривалого горіння котли використовують теплоаккумулятори, які нагріваються під час роботи котла і потім поступово віддають тепло навколишньому середовищу. Це дозволяє котлам працювати тривалий час без подачі палива. Завданням КТГ є забезпечення постійної тяги. Це зазвичай



досягається за допомогою спеціальних пристроїв регулювання повітряного потоку.

КТГ мають високу ефективність, оскільки вони максимально використовують тепло, що виділяється при згорянні палива. Це дозволяє зменшити витрату палива та забезпечити рівномірний і тривалий процес опалення. Порівняно з традиційними способами опалення, котли тривалого горіння вважаються більш безпечними для навколишнього середовища завдяки більш повному згорянню палива та меншим викидам шкідливих речовин. Котли тривалого горіння можуть забезпечувати опалення без припинення подачі палива. Вони працюють на твердому паливі (здебільшого на дровах) і використовуються в місцях, де зазвичай немає постійного джерела електроенергії.

Але варто пам'ятати, що КТГ потребує правильної експлуатації та постійного обслуговування, яке включає очищення та перевірку стану нагрівальних елементів.

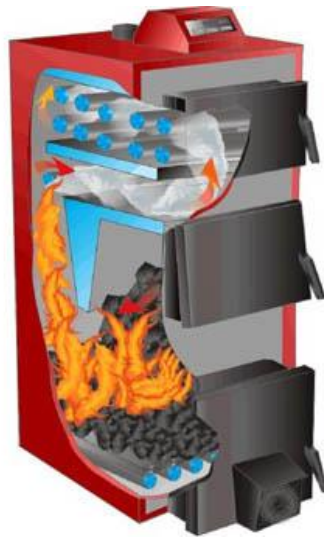


Рисунок 1.4 – Котел тривалого горіння

Більшість котлів належать або до одного з цих видів, або до поєднання декількох видів між собою. Як приклад, традиційний твердопаливний котел, який може мати пелетний пальник.

Більш детально розглянемо твердопаливні котли шахтного типу(рис1.1).

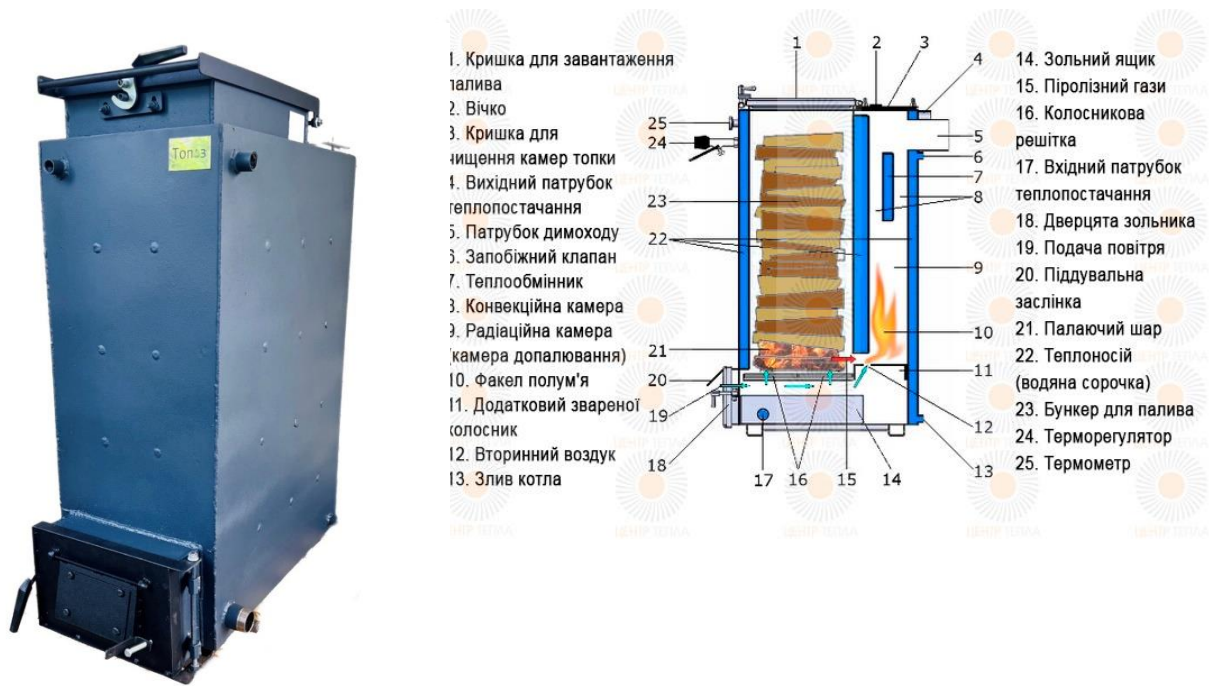


Рисунок 1.5 – Схема твердопаливного котла

Твердопаливні котли шахтного типу є особливим видом котлів, призначених для спалювання твердого палива, такого як вугілля чи дерево, в умовах, які нагадують технологічні процеси, які використовуються в шахтах для видобутку вугілля. Усі їхні особливості роблять ці котли ідеальними для використання в шахтах або промислових зонах.

Котли шахтного типу мають спільну топку, в якій утворюється твердопаливне ліжко. Це ліжко є місцем горіння твердого палива. Механізм працює таким чином, що тверде паливо горить на поверхні твердопаливного ліжка. Гази, що утворюються під час спалювання, проходять через ліжко, надаючи тепло твердому паливу. Оскільки горіння відбувається на поверхні ліжка, твердопаливний котел шахтного типу дозволяє більше повністю використовувати паливо. Це сприяє найкращій передачі тепла.

Багато сучасних твердопаливних котлів шахтного типу мають системи автоматизації, які регулюють подачу палива, розпалювання, аеродинаміку горіння та інші фактори, що впливають на ефективність роботи. Після завершення горіння відпрацьовані гази виводяться через димоходи, що

дозволяє видалити відпрацьовані гази з системи. Промисловість часто використовує котли шахтного типу, особливо там, де є великі запаси твердого палива, такого як вугілля. Вони також можуть бути корисними в місцях, де є технічні та фінансові можливості для їх використання.

Ці котли ефективно використовують тверде паливо, що призводить до їх популярності в певних галузях, особливо там, де доступність і вартість твердого палива роблять їх привабливим вибором.

Твердопаливні котли шахтного типу працюють на основі ефективного використання теплової енергії, отриманої від спалювання твердого палива. Нижче наведено основні етапи та кроки цього процесу:

- Завантаження твердого палива: паливо, яке може бути деревиною чи вугіллям, завантажується в топку твердопаливного котла. Автоматизовані системи дозволяють точно регулювати подачу палива.

- Розпалювання палива: процес починається з розпалювання верхнього шару твердого палива в топці.

- Утворення вугільного ліжка: під час горіння твердого палива утворюється вугільне ліжко, активна зона, де відбувається процес спалювання.

- Процес спалювання: при високій температурі тверде паливо перетворюється на гази. Ці гази виробляють тепло.

- Теплообмін: теплові гази проходять через теплообмінник, де вони передають свою теплову енергію теплоносію, яка потім використовується для опалення приміщень або нагрівання води.

- Випаровування димових газів: відпрацьовані гази виводяться через димоходи.

Твердопаливні котли шахтного типу працюють на основі ефективного контролю подачі палива, процесу горіння та передачі теплової енергії.

## РОЗДІЛ 2

### ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЛІВ

#### 2.1 Сенсори для автоматизації котла

Залежно від системи керування твердопаливні котли шахтного типу можуть використовувати різні сенсори для автоматики. Для якісної автоматизації твердопаливного котла потрібні зібрати різні дані, для забезпечення безпеки, ефективності та зручності управління. Зокрема необхідно отримувати дані про температуру та рівень води в котлі, тиск в системі та дані про рівень кисню в камері згорання. Окремим елементом є системи для забезпечення безпеки роботи котла, які слідкують за показниками котла.

Для контролю над температурою використовують датчики температури (рис.2.1). Температурні датчики широко використовуються в автоматизації твердопаливних котлів для контролю та регулювання температури різних компонентів і процесу згорання. Є декілька типів термометрів, які найчастіше використовуються.

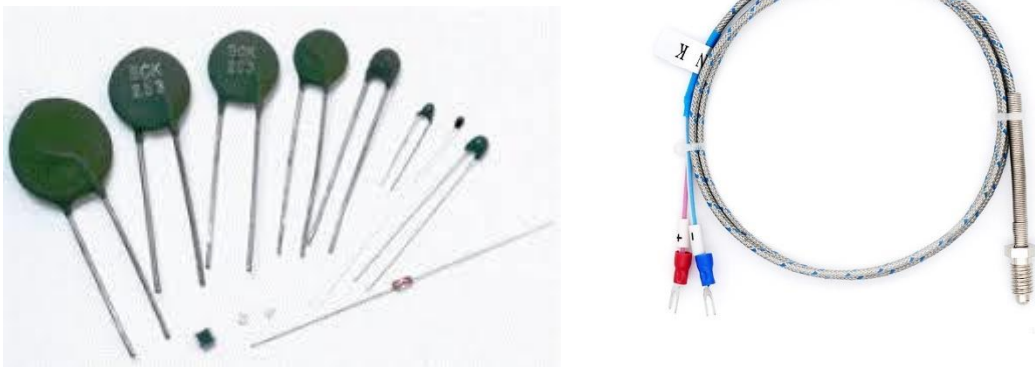


Рисунок 2.1 – Датчики температури

Одним з найбільш поширених рішень є використання термопар. Термопари складаються з двох провідників різних типів, з'єднаних на кінцях.

Потенціал змінюється пропорційно різниці температур між двома кінцями, коли один із них нагрівається.

Для вимірювання високих температур у камері згоряння зазвичай використовуються термопари. Найпоширенішим типом термопар, який добре підходить для широкого діапазону температур (від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+1372^{\circ}\text{C}$ ) є Тип К (Хромель-Алюмель).

Для більшої точності використовують терморезистори (RTD), які змінюють свій опір відповідно до температури. Платина є найпоширенішим матеріалом RTD, але також можуть використовуватися мідь, нікель та інші матеріали. РТТ використовуються для вимірювання температури води, повітря та інших середовищ.

Для того щоб уникнути контакту з гарячими елементами котла використовують інфрачервоні температурні датчики, які вимірюють інфрачервоне випромінювання, коефіцієнт якого пропорційний температурі об'єкта.

Автоматизація котла часто включає використання цифрових термопар або датчиків температури, які підключаються до контролера, де дані обробляються та використовуються для регулювання процесу згоряння та загального функціонування котла.

Для контролю та регулювання тиску повітря та інших газових середовищ у системі опалення використовують датчики тиску. Є два найпоширеніших типи датчиків тиску (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Датчики тиску

Перший тип це датчики тиску, які базуються на опорі: ці датчики змінюють опір залежно від тиску. Деформаційний датчик — це тип, який часто використовується, оскільки його опір змінюється під впливом тиску на його компоненти. Після цього вимірюється зміна опору та перетворюється на відповідне значення тиску.

В інших випадках можуть застосовувати п'єзоелектричні датчики тиску: Ці датчики працюють за допомогою ефекту п'єзоелектричного тиску, коли матеріал змінює полярність під впливом тиску. Тиск вимірюється за допомогою цієї зміни полярності. Датчики тиску зазвичай використовуються для регулювання тиску повітря в системі подачі повітря для горіння, щоб забезпечити найкращі умови згоряння палива та ефективну роботу котла.

Для стабільно функціонування твердопаливного котла та запобігання аварійним ситуаціям використовують датчики рівня для контролю рівня палива або води. Ось деякі види датчиків рівня, які можуть бути використані (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Датчики рівня

Датчики які використовують поплавець, який змінює рівень рідини. Поплавець підключений до механізму, який змінює положення контакту або магнітне поле, щоб визначити рівень рідини.

Капацитивні датчики рівня ці датчики визначають зміну ємності за допомогою рівня рідини. Щойно рідина наближається до датчика, її ємність змінюється, і це дає нам можливість визначити рівень.

Найбільш безпечним для вимірювання води в котлі є ультразвукові датчики рівня які вимірюють рівень рідини за допомогою ультразвукових хвиль.

Датчики рівня контролюють рівень палива або води в котлі, що дозволяє йому працювати найкраще та запобігати перегріву або нестачі палива.

Датчики витрати використовуються для автоматизації твердопаливних котлів для вимірювання кількості палива або повітря, що витрачається на їхню роботу. Для забезпечення ефективного згоряння та роботи котла вони допомагають контролювати та оптимізувати подачу палива та повітря.

Для цього можуть використовуватися турбінні датчики, які працюють з турбіною, елементом, що обертається, який обертається під впливом потоку рідини або газу. Щоб визначити витрати, частота обертання турбіни пропорційна витраті.

Також поширеним способом є використання датчиків витрати на основі вимірювання тиску, ці датчики визначають витрату, вимірюючи різницю тиску між двома точками в системі. Розбіжність тиску збільшує витрату.

Існують ультразвукові датчики які фіксують витрати. Ці датчики вимірюють час проходження ультразвукових імпульсів через рідина чи газ. Швидкість потоку та, отже, витрата можна визначити за допомогою вимірювання часу.

Датчики витрати точно вимірюють споживання палива та повітря, що допомагає оптимізувати роботу котла, підвищуючи його ефективність і економічність.

Для правильної роботи котла важливо підтримувати потрібний рівень кисню, що дозволяє керувати процесом згоряння та створювати найкращі умови для роботи котла. Для цього використовують датчики кисню. Є декілька видів датчиків які здатні виміряти рівень кисню.

Електрохімічні датчики кисню це пристрої містять електрод, покритий матеріалом, який реагує з киснем. У результаті взаємодії з киснем відбувається зміна струму чи напруги, пропорційна його вмісту. Зазвичай для вимірювання рівня кисню в газовому середовищі використовуються електрохімічні датчики.

Оптичні датчики кисню ці датчики можуть вимірювати поглинання світла киснем або використовувати флуоресцентні властивості матеріалів, які змінюються в залежності від того, скільки кисню в них міститься.

П'єзоелектричні датчики кисню реагують на зміни тиску, які виникають, коли кисень взаємодіє з матеріалом, який має п'єзоелектричний ефект. З цієї зміни тиску виходить сигнал, який дозволяє визначити вміст кисню.

Датчики кисню є життєво важливими для підтримки оптимального вмісту кисню в газах, що допомагає забезпечити ефективне згоряння палива та знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Окрім вимірювання кисню, важливо також знати вміст відпрацьованих газів, які виникають в процесі спалення. Для цього існують датчики CO/CO<sub>2</sub>.

Ці датчики вимірюють вміст оксиду вуглецю (CO) і вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) у відпрацьованих газах. Ці датчики є важливими для безпеки та ефективності роботи котлів. Ось кілька типів датчиків CO/CO<sub>2</sub>, які можуть бути використані. Інфрачервоні датчики CO/CO<sub>2</sub> для вимірювання вмісту газів ці датчики використовують метод поглинання інфрачервоного випромінювання газами. У результаті того, що різні гази поглинають інфрачервоне випромінювання з різними довжинами хвиль, ми можемо виділити CO і CO<sub>2</sub>.

Також застосовують електрохімічні датчики CO. Ці датчики вимірюють сигнал за допомогою електрохімічної реакції окислення CO на електроді. Кількість вуглекислого газу, який згорає, пропорційна концентрації вуглекислого газу в газі.

Датчики CO та CO<sub>2</sub> регулюють концентрацію цих газів у газах, що гарантує безпеку роботи котла та високу продуктивність процесу згоряння. Вони також можуть використовуватися для виявлення витоків газів і моніторингу якості повітря.



## 2.2 Контролери для автоматизації котла

Є три основні типи контролерів:

- прості контролери підтримують задану температуру, регулюючи подачу повітря;

- програмовані контролери дозволяють задавати графік роботи котла, включати/вимикати насоси, регулювати температуру в приміщенні;

- GSM-контролери керують котлом через мобільний телефон.

Для нашого завдання найкраще підходять програмовані контролери.

При виборі та інтеграції контролерів для автоматизації твердопаливних котлів важливо враховувати фактори та особливості роботи.

Контролери повинні бути багатофункціональними та забезпечити набір функцій, необхідних для ефективного керування котлом. Вони мають мати можливість налаштування та програмування, а також вміти контролювати температуру, тиск, рівень, витрати та інші необхідні параметри.

Контролер повинен бути сумісним з іншими частинами системи автоматизації, такими як виконавчі пристрої та датчики. Якщо використовується, сумісність із існуючими системами також має бути врахована.

Важливим фактором є надійність контролерів та гарантії того, що система працює правильно. Для систем, таких як опалення, це особливо важливо.

При цьому контролер повинен бути простим у використанні, встановленні та налаштуванні. Інтерфейс повинен бути простим для оператора.

Варто зазначити що контролер має мати розумну ціну та не виходити за межі бюджету проекту.

Коли контролер інтегрується, важливо враховувати, як він підключений до датчиків, виконавчих пристроїв і інших компонентів системи. Забезпечення правильного налаштування та програмування контролера для забезпечення оптимальної роботи котла є ще одним важливим завданням.

Можна використати контролери Siemens для автоматизації твердопаливного котла. Для різних галузей і додатків вона пропонує різноманітні контролери для автоматизації, включаючи промислові, програмовані логічні контролери (PLC) і контролери числового програмного управління (CNC). Є багато лінійок різноманітних контролерів, які призначені для виконання різних завдань. Залежно від потреб та завдань потрібні контролери різної потужності, розмірів та способу налаштування. Найбільш популярними контролерами Siemens є SIMATIC S7 — це лінійка промислових контролерів, призначених для автоматизації машин і управління виробничими процесами. Вони можуть бути корисними в багатьох галузях, таких як виробництво, енергія, автомобілі та інші. Залежно від бюджету та потрібної роботи можна обирати від більш простих та дешевих контролерів типу SIMATIC S7-200 та SIMATIC S7-400 до найбільш дорогих та потужних SIMATIC S7-1500 які призначені для складних систем автоматизації та керування.

Контролери Siemens LOGO застосовуються для керування різними операціями. Вони можуть керувати тиском, рівнем, температурою та витратою. Контролери Siemens LOGO! – це сімейство програмованих логічних контролерів (ПЛК), призначених для автоматизації різноманітних процесів у різних сферах, включаючи побут, промисловість і будівництво. Контролери LOGO! мають невеликі розміри, що робить їх легко вбудовувати в панелі керування та розподільні щити. Система LOGO! є модульною, що дозволяє додавати додаткові модулі, такі як модулі живлення, комунікаційні модулі та додаткові входи та виходи. Програмне забезпечення LOGO! Soft Comfort, яке має простий у використанні графічний інтерфейс, використовується для програмування контролерів.

Воно дозволяє створювати та налагоджувати програми за допомогою функційних блоків, що робить розробку логічною та зрозумілою. Контролери LOGO! підтримують багато різних функціональних блоків, таких як лічильники, тригери, таймери, математичні функції, логічні операції та багато

іншого. Це робить їх універсальними для багатьох типів автоматизованих завдань. Сучасні моделі LOGO! підтримують кілька протоколів зв'язку, включаючи Ethernet, що дозволяє їх інтегрувати в мережу та використовувати для віддаленого керування та моніторингу. Контролери можуть мати можливість підключати периферійні пристрої, такі як клавіатури та дисплеї, що полегшує керування та моніторинг системи на місці.

Завдяки простоті програмування та налаштування контролерів LOGO! дозволяє швидко впроваджувати зміни, коли це потрібно. Вони можуть працювати навіть у складних умовах завдяки високій якості виробництва та надійності контролерів. Завдяки своїй багатофункціональності та довговічності використання LOGO! зменшує витрати на обладнання та його обслуговування.

Контролери Siemens LOGO! є надійними, гнучкими та простими у використанні рішеннями, які дозволяють автоматизувати різноманітні процеси. Перевагою контролерів Siemens LOGO! є їх компактний дизайн та невелика вага, що робить його ідеальним для місць, таких як панелі котла. Він є зручним в використанні, а його система програмування LOGO!Soft Comfort має простий інтерфейс і дає можливість створювати програми за допомогою блок-схем або текстових команд. Одним з плюсів LOGO! є можливість легко підключати додаткові модулі розширення, щоб додати введення/виведення та інші потрібні функції. Окрім того контролер легко інтегрується з іншими системами автоматизації Siemens, а також з різними протоколами зв'язку. Також варто зазначити, що контролер Siemens LOGO! відомий своєю надійністю та довговічністю, тому його можна використовувати в промислових умовах, таких як автоматизація твердопаливних котлів.



Рисунок 2.4 – Контролери Siemens LOGO!

Програмне забезпечення LOGO! Soft Comfort (рис. 2.5) спеціально розроблено для роботи контролерів Siemens LOGO!. Його графічний інтерфейс дозволяє створювати програми за допомогою блок-схеми, що робить програмування простим і простим для розуміння. Програмування в LOGO! Soft Comfort здійснюється шляхом з'єднання функціональних блоків, які представляють різні дії та умови, що спрощує процес створення програми.

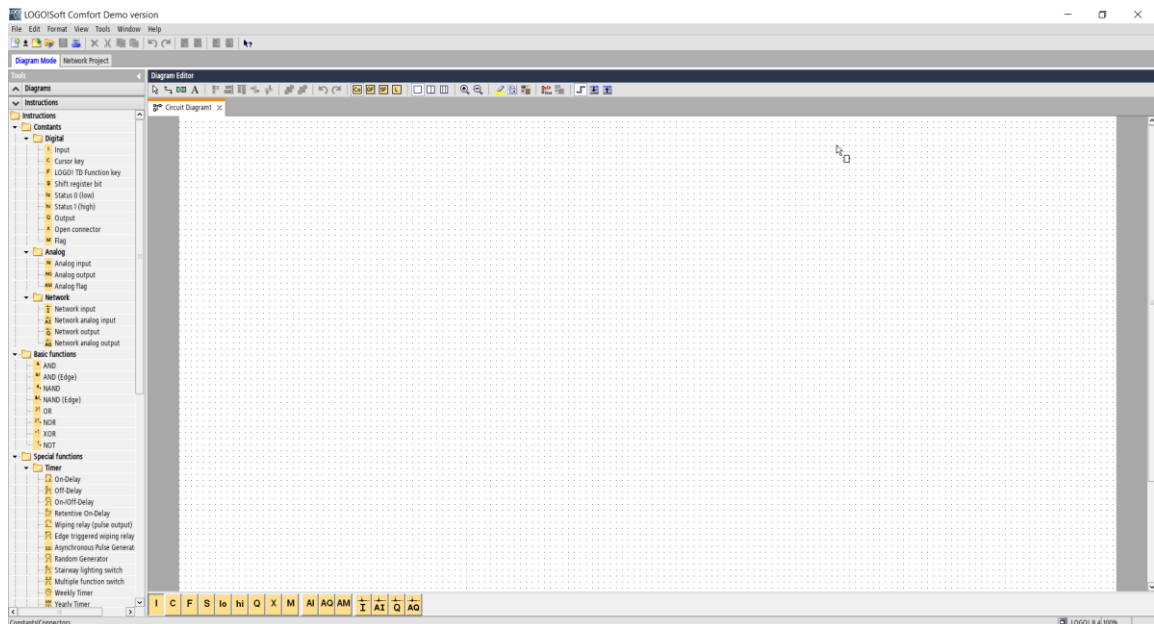


Рисунок 2.5 – Вікно програми LOGO! Soft Comfort

Програмне забезпечення має велику бібліотеку функціональних блоків, яка містить стандартні функції та операції, такі як логічні оператори, арифметичні операції та керування часом. Великою перевагою є те, що симулятор програми: LOGO! Soft Comfort дозволяє створити програму, перш ніж її завантажити на контролер, щоб перевірити її коректність і працездатність. Для досвідчених користувачів крім блочного програмування, LOGO! Soft Comfort підтримує текстове програмування мовою програмування FBD (Function Block Diagram). Також за допомогою вбудованої клавіатури та дисплея LOGO! можна виконувати прості завдання на місці без підключення до комп'ютера.

Програмне забезпечення LOGO! Soft Comfort для контролерів Siemens LOGO! забезпечує простоту, гнучкість і надійність при створенні програм для автоматизації різних систем і процесів.

### 2.3 Робота засобів автоматизації твердопаливних котлів

Система автоматизації котла - це комплекс пристроїв, які автоматизують процес горіння та регулюють температуру теплоносія.

Основні компоненти системи автоматизації:

#### 1. Датчики:

- датчик температури теплоносія;
- датчик температури димових газів;
- датчик тиску повітря;
- датчик витрати палива.

#### 2. Виконавчі механізми:

- заслінка подачі повітря;
- вентилятор;
- циркуляційний насос.

#### 3. Контролер:

- простий контролер з термостатом;

- програмований контролер;
- GSM-контролер.

Принцип роботи системи автоматизації достатньо простий, Датчик температури теплоносія вимірює температуру води в котлі. Контролер порівнює виміряну температуру з заданою та відправляє сигнал виконавчим механізмам (заслінка, вентилятор) для регулювання подачі повітря та інтенсивності горіння. Циркуляційний насос забезпечує циркуляцію теплоносія в системі опалення.

Можна виділити основні функції системи автоматизації:

- підтримка заданої температури теплоносія;
- регулювання подачі повітря;
- захист від перегріву;
- автоматичний розпал та затухання котла;
- дистанційне керування.

Перевагами використання системи автоматизації є економія палива за рахунок оптимального регулювання горіння. Система може підтримувати комфортну температуру в приміщенні. Важливою перевагою є те, що система автоматизації захищає котел від перегріву та інших аварійних ситуацій. Також автоматизація може значно продовжити термін експлуатації котла та інших складових системи опалення.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОТЛА

#### 3.1 Вибір системи опалення для експериментів

Для експериментів треба було обрати котел та систему опалення. Звісно, обрати великий об'єкт та спробувати експериментувати з ним в опалювальний сезон - не є найкращою ідеєю. Тому було обрано невеликий приватний будинок з наступними параметрами:

- будинок зроблено з використанням енергозберігаючих технологій (газоблок, утеплення, двокамерні енергозберігаючі вікна);
- загальна площа опалювання - 120 м<sup>2</sup>;
- прибор теплогенерації - твердопаливний котел шахтного типу КСТШ-12 від українського виробника;
- система опалення - змішана (радіатори та система “тепла підлога”);
- додатково підключений бойлер непрямого нагріву для гарячого водопостачання (ємність бойлеру - 100 л);
- котловий контролер Euroster 11WB;
- час проведення експериментів - квітень 2024 року, кінець опалювального сезону.

Така конфігурація системи дозволяє автоматично підтримувати встановлену температуру подачі теплоносія та контролювати її за допомогою датчика та цифрового термометра на дисплеї контролера. Кінець опалювального сезону дозволяє спостерігати режими роботи обладнання в умовах, коли є найбільша різниця між потужністю котла та необхідною потужністю споживання в системі опалення. Взимку така різниця невелика - тому, звісно, режими роботи будуть відрізнятися.

Наведемо основні технічні характеристики опалювального обладнання.

Котел КСТШ-12 (рис. 3.1) має наступні характеристики:

- теплова потужність - 12 кВт;
- опалювальна площа - до 120 м<sup>2</sup>;
- всі види палива - дрова, вугілля, тирса, брикети та горючі відходи;
- ККД - до 95%;
- об'єм топки - 85 л;
- товщина металевих стінок - 4 мм;
- кількість контурів - 1;
- вага - 165 кг;
- час роботи на одному повному завантаженні палива:
  - дрова - до 12 годин;
  - вугілля - до 5 діб.



Рисунок 3.1 - Твердопаливний котел шахтного типу КСТШ-12

Вигляд контролера Euroster 11WB показано на рис. 3.2. Регулятор температури Euroster 11WB необхідний для управління і контролю твердопаливних котлів з припливною вентиляцією, з баком-накопичувачем гарячої води. Особливості контролера:

- вимірює температуру котла та бака-накопичувача гарячої води;
- регулює потік повітря в топку котла;



- регулює роботу насосів контурів центрального опалення та гарячого водопостачання;
- має систему Антистоп (періодичне короткочасне вмикання насосів в неопалювальний період);
- високоякісний дисплей;
- 3 виносних датчика температури (2 вимірювальних, 1 аварійний);
- напруга живлення 230 В.



Рисунок 3.2 - Контролер Euroster 11WB

### 3.2 Аналіз даних та моделювання роботи котла

При вимірюванні температурного режиму котла виявилось, що він працює в циклічному режимі. При цьому безпосередній нагрів (включення турбіни і набір потужності) здійснюється в дуже обмежений проміжок часу.

Загалом період циклу дорівнює приблизно 700 с. З них робота турбіни займає близько 60 с (менше, ніж 10% часу). Весь інший залишок часу котел працює по інерції. Тобто, саме інерційна робота котла є основною в процесі теплогенерації.

Характеристики теплового режиму залежать від багатьох факторів і мають досить випадковий характер, який залежить від інтенсивності згоряння палива, його вологи, можливої зміни потужності споживачів (нагрів системи гарячого водопостачання та ін.). Візуально це виражається в трохи різних значеннях

температури та часу. Тому для досліджень і моделювання було прийнято рішення вимірювати показники декілька разів (наразі дані отримані з 5 вимірювань) та потім усереднювати показники.

Для моделювання неважливі абсолютні показники температури. Так, температура включення турбіни може бути різною. Спеціалісти рекомендують встановлювати її по температурі “обратки”, яка в твердопаливних котлах повинна бути досить гарячою (рекомендується тримати її не менше, ніж  $60^{\circ}\text{C}$ , для запобігання утворенню конденсату на внутрішній стінках котла). Тому температура подачі можна встановлювати  $65-75^{\circ}\text{C}$  - принципової різниці в графіках не спостерігалось.

Тому було вирішено працювати з відносними температурами. За умовний відлік “нульової” точки була обрана температура, коли контролер включає турбіну. Відповідно, всі інші температури обраховуються від цієї початкової точки.

Розглянемо отримані результати у вигляді графіків. Перша діаграма - графік усередненої відносної температури котла. На рис. 3.3 показаний один цикл роботи.

Фактично він являє відображення двох режимів - нагрівання та охолодження.

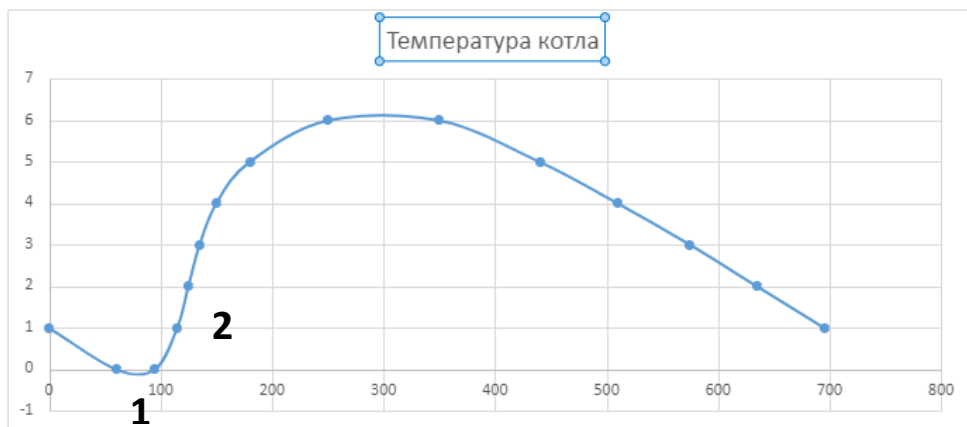


Рисунок 3.3 – Графік відносної температури котла

Вісь X - час в секундах, вісь Y - перевищення температури котла від точки включення нагріву в градусах.

Вимірювання температури відбувалось по показанням цифрового контролера котла. Після 5 вимірювань показники усереднювались.

Момент часу 0 обрано для спрощення моделювання нагріву котла після включення турбіни.

Як було сказано вище, нульовий рівень температури відповідає точці 1 включення нагріву котла (включення вентилятора повітряної турбіни). Фактично - це температура спрацьовування цифрового контролера від датчика. Вона залежить від налаштувань контролера і є тимчасовою константою. Тому всі показники температури були відповідно зменшені на дану константу.

В результаті включення турбіни відбувається в точці 1 (перший дотик до температури 0 на 60-й секунді). Виключення турбіни відбувається приблизно на 110-115 секунді (точка 2).

Однак твердопаливний котел являє собою дуже інерційну систему. Наростивши потужність, котел швидко нагріває теплоносій (практично лінійна залежність приблизно до 130-140 секунди). Потім в зв'язку з тим, що повітря не вистачає, котел поступово починає втрачати потужність, і відповідно, швидкість зростання температури.

Нагрів поступово продовжується, поки не досягне максимуму, де ми маємо перерегулювання температури в даному випадку приблизно на 5 градусів (від точки виключення турбіни). Це відбувається приблизно на 300 секунді.

Після цього котел продовжує втрачати потужність, поки не залишиться якась дрібна її частка завдяки невеликому надходженню повітря в котел через технологічні щілини. Різниця між залишковою потужністю та потужністю приладів обігріву при цьому близька до константи. Тому в кінці циклу ми бачимо так само майже лінійне падіння температури.

Ідея роботи полягає в тому, щоб не чекати, поки котел набере повну потужність і, відповідно, не зможе різко її знизити. Якщо промоделювати поведінку котла, то можна вимикати його турбіну трохи раніше. Відповідно, це призведе до меншого перерегулювання і зменшення додаткових втрат енергії.

Для моделювання знадобилось розглядати роботу котла окремо в режимах включеної (рис 3.4) і виключеної (рис 3.5) турбіни.

При цьому вісь X також дещо масштабували (на наступних рисунках вона показує десятки секунд)

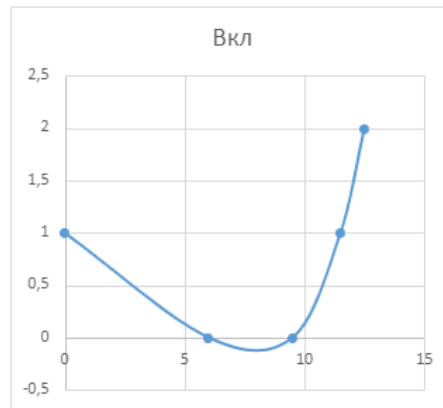


Рисунок 3.4 – Графік температури в режимі набору потужності

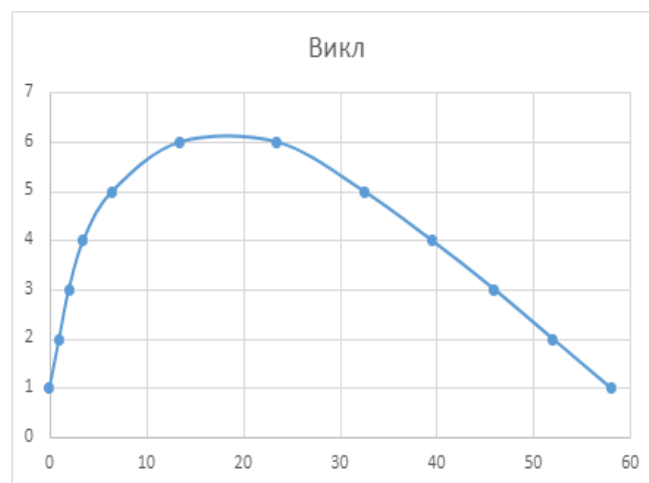


Рисунок 3.5 - Графік температури в режимі зменшення потужності

Легко помітити, що ці два графіки фактично являють собою криві другого порядку - гіперболи. Загальне рівняння для кривих 2-го порядку:

$$Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F = 0$$

Взагалі цією формулою можуть бути описані криві першого (лінії) і другого порядків (параболи, гіперболи та еліпси).

Для моделювання використовувався табличний процесор MS Excel. Для підбору параметрів гіпербол вирішено застосувати вбудований пакет Пошук рішень. Шукали коефіцієнти рівнянь методом загального градієнту так, щоб отримати мінімум суми квадратів відхилень (помилки). В результаті отримані коефіцієнти загального рівняння для обох режимів з дуже високою точністю (сума квадратів відхилень при цьому менше, ніж  $10^{-5}$ ). Знайдені значення коефіцієнтів для обох режимів наведені в табл. 3.1-3.2.

Таблиця 3.1 - Коефіцієнти для режиму набору потужності

A	B	C	D	E	F
-0,00061085	0,001678369	-0,00244291	0,009467711	0,03313647	-0,034815001

Таблиця 3.2 - Коефіцієнти для режиму зменшення потужності

A	B	C	D	E	F
9,12626E-05	3,41661E-06	0,000436053	-0,005717429	0,004785566	-0,005187193

Використовуючи знайдені коефіцієнти, були створені графіки температурного режиму в залежності від часу вимикання (рис. 3.6).

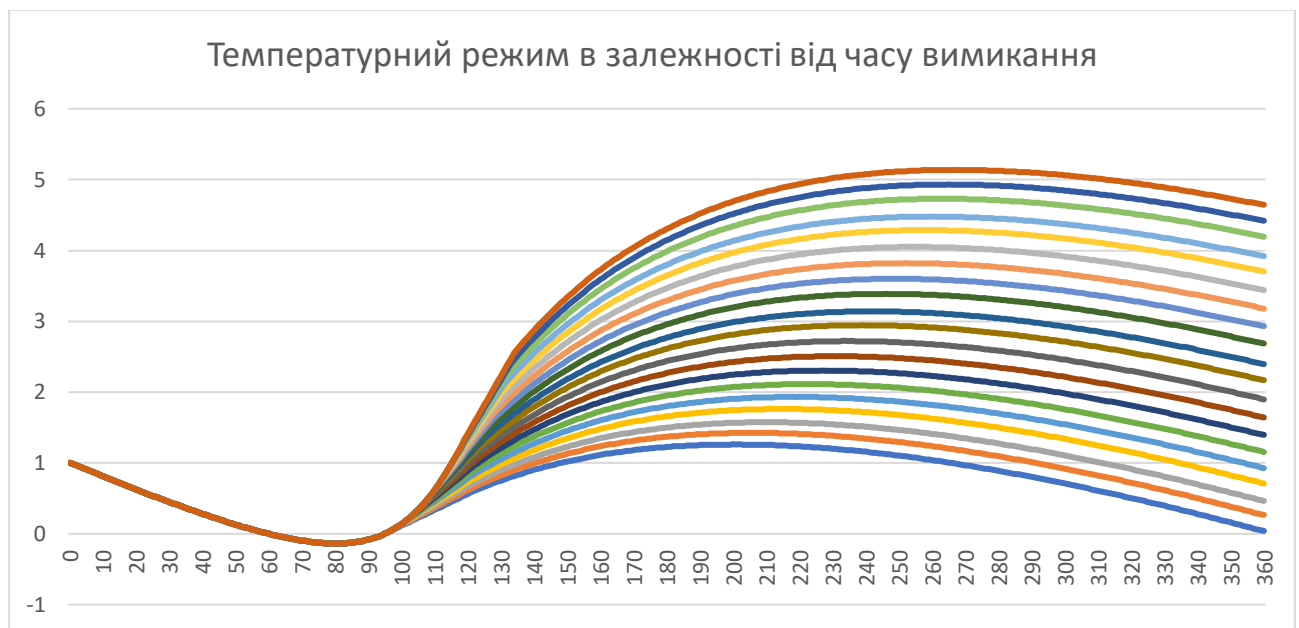


Рисунок 3.6 - Графік температурного режиму в залежності від часу вимикання

Для більшої зручності використання графіка було взято кожне 18 значення та створено об'ємну поверхневу діаграму (рис. 3.7).

На даних графіках можна побачити різницю графіку температури в залежності від часу вимкнення турбіни твердопаливного котла. Оператор системи опалення може задати кількість градусів, на які може відхилитися система від заданої температури, і в залежності від цих даних система буде обирати найкращий час для виключення турбіни (табл. 3.3).

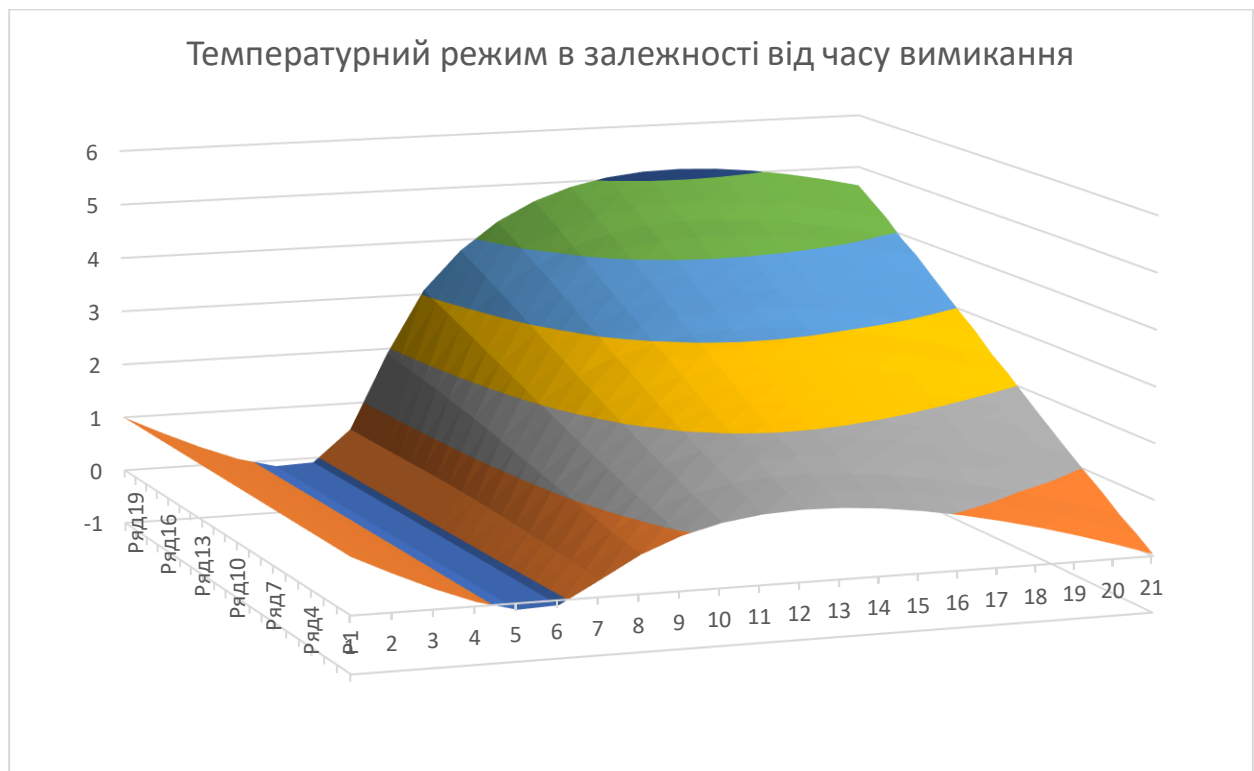


Рисунок 3.7 – Тривимірний графік температурного режиму в залежності від часу вимикання

Таблиця 3.3 - Залежності перегулювання від часу вимкнення

t, c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\Delta T, C^{\circ}$	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5

З кожним наступним циклом система може підлаштовуватися під умови роботи і самостійно коригувати час вимкнення в залежності від різних факторів.

### 3.3 Розробка програми та вибір технічних засобів автоматизації

Для розробки програми по автоматизації контролю температури твердопаливного котла шахтного типу можна використати програмне середовище Logo Soft Comfort. Середовище дозволяє розробити та протестувати програми для ПЛК, а використовувати їх можна і для інших контролерів. Таким чином, в Logo Soft Comfort була створена програма для контролю роботи турбіни в залежності від температури котла та заданого оператором можливого перегріву. Програму можна побачити на рис. 3.8.

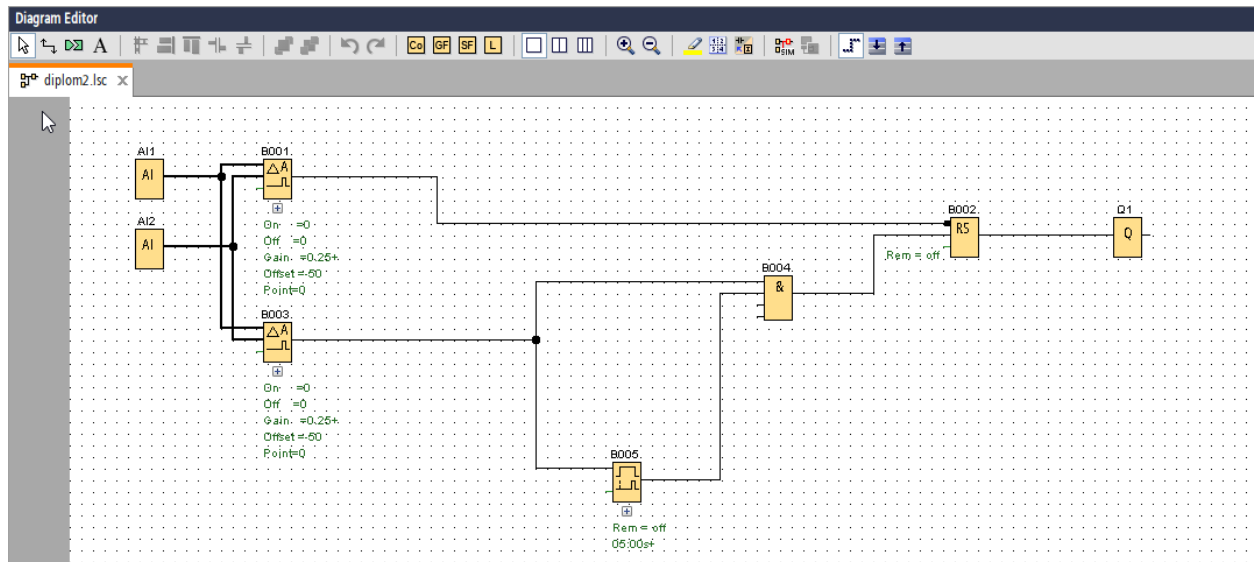


Рисунок 3.8 – Вікно програми Logo!Soft Comfort

На рис. 3.8 використані такі умовні позначення: AI1- сенсор який вимірює температуру котла; AI2 – стала температура при якій вмикається турбіна; B001, B003 – контролери які зчитують зміни температури; B005 - таймер, який вимірює час; Q1 – сигнал включення турбіни.

Принцип роботи програми: коли температура опускається нижче контрольної точки, то вмикається турбіна. Далі, коли температура починає підійматися та доходить до контрольної точки, вмикається таймер і після закінчення таймера вимикається турбіна.

Відхилення температури котла залежить саме від налаштування таймера, чим більше буде затримка на таймері тим більше розігріється котел і тим більше буде відхилення від заданої температури. Для того щоб обрати час для таймера, можна скористатися табл. 3.3.

В якості технічних засобів для автоматизованої системи керування котлом можна використати елементи системи "Розумний дім". Керування здійснюється центральним контролером. На котлі мусить стояти температурний датчик та реле включення турбіни. Тоді зв'язок краще здійснювати по популярній в Інтернеті речей бездротовій технології Zigbee, що цілком достатньо для приватного будинка.

В якості сенсора для відстеження температури теплоносія був обраний бездротовий Zigbee датчик температури Tempensor Vlebox (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 - Датчик температури Tempensor Vlebox

В якості виконавчого пристрою для вмикання та вимикання турбіни було обране бездротове реле Sonoff Zigbee ZBMINI-L2 (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 - Бездротове реле Sonoff Zigbee ZBMINI-L2



Ну, і в якості центрального контролера було обрано модуль керування розумним будинком через пристрої Android Aqara LLKZMK11LM (рис. 3.11) також зі зв'язком Zigbee.



Рисунок 3.11 - Модуль керування розумним будинком Aqara LLKZMK11LM

Таким чином, всі задачі роботи виконані. Систему автоматизації керування твердопаливним котлом шахтного типу побудовано.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Робота з твердопаливними котлами вимагає ретельного дотримання правил техніки безпеки, щоб уникнути аварійних ситуацій, пошкоджень обладнання та травмування персоналу. Ця інструкція містить основні вимоги і рекомендації для безпечної експлуатації твердопаливних котлів, які повинні дотримуватися всі працівники, які мають відношення до обслуговування, ремонту та експлуатації цього обладнання.

Перш за все, важливо зазначити, що до роботи з твердопаливними котлами допускаються лише особи, які пройшли відповідне навчання і інструктаж з техніки безпеки, а також мають відповідні дозволи та допуски. Перед початком роботи кожен працівник повинен ознайомитися з технічною документацією котла та інструкцією з його експлуатації.

Приміщення, в якому встановлено твердопаливний котел, повинно відповідати певним вимогам. Воно має бути окремим, добре вентиляваним, із забезпеченням як природної, так і механічної вентиляції. Важливо, щоб підлога в котельній була виготовлена з негорючих матеріалів. Забороняється зберігати горючі матеріали та рідини в котельній, оскільки це може призвести до виникнення пожежі.

Перед початком роботи з котлом необхідно провести ретельну підготовку. Слід перевірити стан самого котла, димоходу, вентилів, наявність та справність засобів пожежогасіння, а також стан електричних мереж та заземлення. Особливу увагу слід приділити очищенню топки та димоходу від залишків попелу та шлаку. Важливо перевірити наявність достатньої кількості палива та його правильність зберігання. Підготовка включає також наявність захисних засобів, таких як рукавиці, окуляри та спецодяг.

Процес розпалювання котла повинен здійснюватися з використанням лише дозволених засобів для розпалювання, таких як папір та дрібна деревина.

Забороняється використовувати легкозаймисті рідини для розпалювання, оскільки це може призвести до вибуху або пожежі. Під час експлуатації котла необхідно ретельно слідкувати за температурним режимом і не допускати його перегріву. Регулювання подачі повітря повинно здійснюватися таким чином, щоб забезпечити оптимальний процес горіння.

Під час роботи з котлом слід підтримувати чистоту. Регулярно видаляйте золу та шлак з топки, щоб забезпечити ефективне горіння палива та запобігти засміченню димоходу. Очищення димоходу від сажі має здійснюватися не рідше ніж раз на три місяці, щоб запобігти його закупорці та забезпечити нормальний відвід димових газів.

Окрему увагу необхідно приділяти заходам безпеки під час експлуатації котла. Категорично забороняється залишати працюючий котел без нагляду, оскільки це може призвести до аварійної ситуації. Забороняється відкривати дверцята топки під час горіння, оскільки це може спричинити вихід гарячих газів або полум'я назовні, що може призвести до опіків.

Також слід уникати перегріву котла. Перегрів може призвести до пошкодження обладнання та виникнення аварійної ситуації. Регулярно перевіряйте показники температури та тиску, щоб запобігти критичним ситуаціям. При виявленні будь-яких несправностей або підозрілих змін в роботі котла негайно зупиніть його та повідомте відповідального фахівця.

Під час експлуатації котла важливо також дотримуватися правил пожежної безпеки. Забезпечте наявність у приміщенні котельної засобів пожежогасіння, таких як вогнегасники, пісок, вода. Всі працівники повинні бути ознайомлені з місцезнаходженням цих засобів та вміти ними користуватися. При виникненні пожежі негайно зупиніть котел, використовуйте засоби пожежогасіння та викликайте пожежну службу.

Захисні засоби також є важливим елементом безпеки. Під час роботи з котлом використовуйте рукавиці для захисту рук від опіків, захисні окуляри для захисту очей від попадання гарячих частинок та спецодяг, що захищає від

високих температур. Після завершення роботи з котлом завжди перевіряйте стан захисних засобів та замінійте їх у разі потреби.

При виконанні ремонтних робіт або технічного обслуговування котла необхідно дотримуватися особливої обережності. Перед початком робіт зупиніть котел і переконайтеся, що всі його частини охололи до безпечної температури. Використовуйте тільки справні інструменти та обладнання. Після завершення робіт перевірте всі вузли та з'єднання на наявність можливих витоків або несправностей.

Регулярне технічне обслуговування котла є важливою умовою його безпечної експлуатації. Планові огляди та обслуговування слід проводити у відповідності до рекомендацій виробника. Вчасно виявляйте та усувайте несправності, щоб забезпечити безперебійну та безпечну роботу котла.

Дотримання цих рекомендацій та правил техніки безпеки є запорукою безпечної та ефективної роботи з твердопаливними котлами. Кожен працівник повинен усвідомлювати свою відповідальність за дотримання цих правил і неухильно виконувати їх у своїй щоденній діяльності.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Впровадження системи "розумний дім" у приватні будинки набуває дедалі більшої популярності завдяки можливості значного зниження витрат на енергоресурси, підвищенню комфорту і безпеки. Для оцінки економічної ефективності впровадження такої системи в будинок площею 120 квадратних метрів потрібно врахувати початкові витрати, потенційне зниження витрат на енергоресурси та інші економічні вигоди.

Розпочнемо з початкових витрат на встановлення системи "розумний дім". Ці витрати включають в себе вартість обладнання та монтажні роботи. Для будинку площею 120 квадратних метрів стандартна система може включати центральний контролер, датчики температури, вологості, руху, смарт-термостати, смарт-розетки та вимикачі, систему керування освітленням та систему безпеки, що складається з камер, датчиків руху та сигналізації. Припустимо, що вартість такого обладнання становить приблизно 75 000 - 150 000 гривень. Вартість монтажних робіт та налаштування може додати ще 30 000 - 75 000 гривень до загальної суми. Таким чином, загальні початкові витрати можуть становити від 105 000 до 225 000 гривень. Для подальших розрахунків візьмемо середню вартість, що дорівнює 165 000 гривень.

Основна економія від впровадження системи "розумний дім" досягається за рахунок оптимізації використання енергоресурсів. Розглянемо основні джерела такої економії. Опалення та кондиціонування є однією з найбільш витратних статей енергоспоживання в приватних будинках. Смарт-термостати дозволяють знизити ці витрати приблизно на 15-20% завдяки автоматичному регулюванню температури в залежності від присутності мешканців та часу доби. Припустимо, що річні витрати на опалення та кондиціонування становлять 36 000 гривень. Таким чином, річна економія складе приблизно 5 400 гривень.

Ще одним важливим аспектом є освітлення. Автоматичне регулювання освітлення, що включає в себе смарт-розетки та вимикачі, дозволяє знизити витрати на електроенергію приблизно на 10-15%. При річних витратах на освітлення у 12 000 гривень економія складатиме приблизно 1 200 гривень на рік. Додатково, смарт-розетки та вимикачі допомагають знизити витрати на електроенергію за рахунок відключення невикористовуваних пристроїв. Це може дати додаткову економію у 5-10%. При річних витратах на побутові прилади у 15 000 гривень, економія складатиме приблизно 750 гривень на рік.

Окрім зниження витрат на енергоресурси, система "розумний дім" забезпечує додаткові економічні вигоди. Однією з таких вигод є підвищення безпеки. Система безпеки, що включає в себе камери та датчики руху, знижує ризик крадіжок і псування майна. Це може зменшити витрати на страхування майна або запобігти великим збиткам у випадку інцидентів.

Також важливим фактором є підвищення ринкової вартості будинку. Наявність системи "розумний дім" підвищує ринкову вартість будинку, що може бути важливим при його продажу або оренді. Потенційні покупці або орендарі можуть бути готові заплатити більше за будинок, який має впроваджену систему "розумний дім", оскільки це підвищує рівень комфорту та безпеки.

Щоб оцінити повернення інвестицій, необхідно порівняти початкові витрати з річною економією. Загальна річна економія від впровадження системи складає 5 400 гривень на опалення та кондиціонування, 1 200 гривень на освітлення та 750 гривень на побутові прилади. Таким чином, загальна річна економія становить приблизно 7 350 гривень на рік. При початкових витратах у 165 000 гривень, період окупності складатиме приблизно 22 роки. Це може здатися довгим періодом, але слід враховувати додаткові вигоди, такі як підвищення вартості майна та зниження витрат на страхування, які можуть зменшити цей період.

Окрім фінансових аспектів, важливо враховувати також підвищення якості життя та зручності для мешканців. Система "розумний дім" дозволяє

автоматизувати багато процесів, що робить життя більш комфортним. Наприклад, автоматичне регулювання температури дозволяє підтримувати оптимальний мікроклімат у будинку без необхідності постійно вручну налаштовувати термостати. Автоматичне освітлення забезпечує зручність, оскільки світло вмикається і вимикається залежно від присутності людей у приміщенні. Система безпеки забезпечує спокій, оскільки будинок постійно знаходиться під наглядом, і мешканці завжди можуть бути впевнені у своїй безпеці.

Крім того, система "розумний дім" може допомогти знизити вплив на довкілля за рахунок ефективного використання енергоресурсів. Зниження споживання енергії означає зменшення викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, що сприяє збереженню навколишнього середовища. Це може бути важливим фактором для тих, хто піклується про екологію і хоче зробити свій внесок у збереження планети.

Таким чином, впровадження системи "розумний дім" є економічно доцільним, особливо якщо врахувати всі можливі вигоди та потенційне зростання вартості майна. Окрім фінансової складової, важливо також враховувати підвищення якості життя та зручності для мешканців, що є значним аргументом на користь інвестицій у такі технології. Незважаючи на високі початкові витрати, довгострокові економічні вигоди та підвищення комфорту роблять систему "розумний дім" вигідною інвестицією.

Для більш детального аналізу, можна розглянути приклади з інших джерел. Досвід впровадження систем "розумний дім" у різних країнах показує, що економія на енергоресурсах може досягати навіть вищих показників, ніж зазначено в даному аналізі. Крім того, постійне вдосконалення технологій призводить до зниження вартості обладнання, що робить такі системи доступнішими для широкого кола споживачів.

Враховуючи все вищезазначене, можна зробити висновок, що впровадження системи "розумний дім" у будинку площею 120 квадратних метрів є вигідним як з економічної, так і з екологічної точки зору. Незважаючи

на значні початкові витрати, довгострокові вигоди від зниження витрат на енергоресурси, підвищення безпеки, комфорту та ринкової вартості майна роблять цю інвестицію обґрунтованою та вигідною.



## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі було розглянуто роботу та автоматизацію твердопаливних котлів. В роботі ми ознайомилися з процесом роботи твердопаливних котлів, їх типами та типами твердого палива яке може застосуватися для отримання теплової енергії. Було розглянуто відмінності різних типів котлів, їх переваги та недоліки. Більш детально ознайомилися з особливостями твердопаливних котлів шахтного типу.

Під час написання даної роботи було проаналізовано актуальні можливості для автоматизації роботи котла, розглянуто різні типи датчиків та контролерів, які можуть бути застосовані для автоматизації.

При проведенні експерименту були виявлено, що котел має сильну інерцію і це може спричинити відхилення від бажаної температури. Проаналізувавши графік температури та скориставшись методом загального градієнту, ми отримали графік залежності температури від часу вимкнення котла та створили табличку співвідношення часу роботи турбіни до допустимого відхилення температури.

Далі було створено програму, яка автоматично контролює часу роботи турбіни в залежності від заданого оператором допустимого відхилення.

Завдяки цій системі автоматизації можна більш ефективно використовувати паливо, що в свою чергу зменшить забруднення повітря. А також це допоможе збільшити час експлуатації котла та системи опалення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. С. А. Гольцман. Прилади контролю і автоматики теплових процесів. Вища школа. 2016 р.
2. Герасименко І.Е., Герасименко А.І., Герасименко В.І. Довідник інженера по пуску, наладки і експлуатації котельних установок. – К.: Техніка, 2016.
3. Камінський В. М. Монтаж систем автоматизації котельних. – К.: Енергія, 2017.
4. Автоматика и автоматизация технологических процессов: Підручник / Т.Б. Головка, К.Г. Рего, Ю.О. Скрипник. - К.: Лебідь, 2017.
5. Єдина система конструкторської документації: Довідник. – М.: Вид-во стандартів, 2016.
6. ТермоКІПконтрол – компоненти систем автоматизації. URL: <https://termokip.com.ua/regulirovanie-razryazheniya/>.
7. Картамишева Е. С., Іванченко Д. С. Промислова автоматизація: проблеми і їх вирішення // Молодий вчений. - 2016. - №28.
8. Трегуб, В. Г. Проектування систем автоматизації: [Текст]: навчальний посібник. / В. Г. Трегуб; К. : Видавництво Ліра-К, 2015.
9. LOGO: Web Based Trainings. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109757017/logo!-web-based-trainings?dti=0&lc=en-UA>.