МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота/проєкт

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему « Дослідження ефективності використання енергоресурсів технологічним обладнанням підприємства»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1443
спеціальності _144 Теплоенергетика
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Теплоенергетика
(назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
_____ В.О.Бережний _____
(ініціали та прізвище)

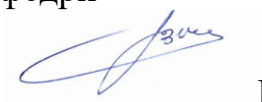
Керівник _доц.,к.т.н. Єрофєєва А.А._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент ст. викл. Таратута В.О. _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____другий (магістерський) рівень_____
Спеціальність __144 Теплоенергетика_____
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика_____
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри



д.т.н., проф. _____ В.Л. Коваленко
«_____»_____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ(СТУДЕНТЦІ)

Бережний Валерій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) «Дослідження ефективності використання енергоресурсів технологічним обладнанням підприємства»
керівник роботи (проєкту) Єрофєєва Аліна Анатоліївна, доц., к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «28» лютого 2024 року № 361-с
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи : характеристики твердопаливних котлів, технічні характеристики теплонакопичувача :потужність – 7,5 кВт; напруга – 220/380 В; висота - 750 мм; ширина - 1200 мм; глибина - 380 мм; вага - 380 кг, внутрішня температура повітря всередині приміщень, $t_в$ = 18°С; температура зовнішнього повітря середня періоду опалення, $t_з$`` = 1,1°С; температура гарячої води $t_{г.в.}$ = 70 °С; температура холодної води взимку $t_{х.в.}$ = 5°С.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Дослідження енергетичної ефективності технологічного обладнання. 2) Аналіз джерел теплозабезпечення підприємства 3) Вибір обладнання системи теплозабезпечення. 4) Техніко-економічне обгрунтування підвищення енергоефективності підприємства.
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) Характеристика твердопаливних котлів.2) Конструкції твердопаливних котлів.

3) Теплонакопичувач. Основні переваги. 4) Статичні та динамічні теплонакопичувачі 5) Принцип роботи теплонакопичувача 6)Технічні характеристики запропонованого теплонакопичувача. 7) Математична модель теплонакопичувача 8) Переваги піролізних двокамерних котлів. 9) Графік зміни температури в опалювальний період. 10) Висновки.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		
Розділ 2	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		
Розділ 3	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		
Розділ 4	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		

5 Дата видачі завдання 24.06.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	01.10.2024	
2	АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА	14.10.2024	
3	ВИБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	10.11.2024	
4	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА	01.12.2024	

Студент _____ В. О.Бережний
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту). _____ А.А.Єрофєєва
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.І.Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

В.О. Бережний. Дослідження ефективності використання енергоресурсів технологічним обладнанням підприємства.

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник А.А. Єрофєєва. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

У кваліфікаційній роботі магістра проведено аналіз ефективності роботи котельного обладнання та теплонакопичувачів, розглянута можливість відмови підприємства від газового опалення шляхом зміни джерела теплопостачання. Запропоновано математичну модель теплонакопичувача. Запропоновано до встановлення твердопаливний котел та локальні теплонакопичувачі. Доцільність впровадження обладнання підтверджено техніко-економічними розрахунками.

Ключові слова: ТВЕРДОПАЛИВНИЙ КОТЕЛ, ЛОКАЛЬНИЙ ТЕПЛОНАКОПИЧУВАЧ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ, ОПАЛЕННЯ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ.

ABSTRACT

V.O. Berezhny. Research on the efficiency of energy resources use by technological equipment of the enterprise.

Qualification final work for obtaining a higher education degree of master in specialty 144 - Heat and Power Engineering, scientific supervisor A.A. Erofeeva. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny. Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

The master's thesis analyzes the efficiency of boiler equipment and heat storage devices, considers the possibility of abandoning gas heating by changing the heat supply source. A mathematical model of a heat storage device is proposed. A solid fuel boiler and local heat storage facilities are proposed for installation. The feasibility of implementing the equipment is confirmed by technical and economic calculations.

Keywords: SOLID FUEL BOILER, LOCAL HEAT STORAGE, MATHEMATICAL MODEL, HOT WATER SUPPLY, HEATING, PAYBACK PERIOD.

ЗМІСТ

ВСТУП……8
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ……. 10
1.1 Аналіз ефективності роботи котельного обладнання та теплонакопичувачів 10
1.2 Моделювання теплових процесів у теплонакопичувачах…… 20
1.3 Математична модель теплонакопичувача…… .21
2 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА 25
2.1 Твердопаливні котли…….. .25
2.1.1 Загальні положення……25
2.1.2 Конструктивні особливості та принцип дії…… …...29
2.1.3 Монтаж обладнання……..31
2.2 Локальні теплоакумулятори……..... 34
2.2.1 Принцип роботи……34
2.2.2 Переваги теплонакопичувачів…….37
2.2.3 Монтаж теплонакопичувачів……37
2.2.4 Визначення загальної необхідної потужності…….39
2.2.5 Вибір теплонакопичувачів……40
3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ …43
3.1 Визначення теплової потужності будівлі…… .43
3.1.1 Розрахунок витрати теплоти на опалення……44
3.1.2 Розрахунок витрати теплоти на вентиляцію……47
3.1.3 Розрахунок витрати теплоти на гаряче водопостачання…….49
3.1.4 Розрахунок теплових втрат через вікна цеху……50
3.1.5 Теплові надлишки від технологічного обладнання, що має електродвигуни ……..54

3.1.6 Теплові надлишки від штучного освітлення ……54
3.1.7 Надходження теплових надлишків від людей…….55
3.2 Вибір твердопаливного котла……..55
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА…… 60
4.1 Обгрунтування вибору варіанту теплопостачання 60
4.1.1 Базовий варіант теплопостачання ….. 60
4.1.2 Встановлення твердопаливних котлів ……61
4.1.3 Встановлення теплонакопичувачів……...63
ВИСНОВКИ…….67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ……..68

ВСТУП

Актуальність роботи. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв, особливо природного газу, та зростаючих вимог до енергоефективності підприємств, впровадження твердопаливних котлів і теплонакопичувачів набуває великої актуальності. Використання твердого палива (дрова, пелети, тирса, відходи деревини чи аграрного виробництва) дозволяє зменшити залежність від імпортного природного газу.

Теплонакопичувачі дозволяють акумулювати надлишкове тепло, що виробляється у періоди пікової потужності котла, і використовувати його під час зниження навантаження. Це знижує витрати на опалення та гаряче водопостачання, а також оптимізує роботу котла, запобігаючи частим увімкненням і вимкненням.

Впровадження твердопаливних котлів та теплонакопичувачів дозволяє підприємствам досягти економії енергоресурсів, підвищити енергонезалежність і зменшити екологічне навантаження. Це особливо важливо в умовах енергетичної кризи та підвищення цін на традиційні енергоносії.

Об'єкт дослідження – теплоенергетичне обладнання.

Предмет дослідження – ефективність використання енергоресурсів технологічним обладнанням підприємства.

Мета роботи - дослідження ефективності використання енергоресурсів технологічним обладнанням підприємства.

Задачі дослідження. Для досягнення зазначеної мети дослідження в магістерській роботі вирішуються такі задачі:

1. Дослідження енергетичної ефективності технологічного обладнання.
2. Аналіз джерел теплозабезпечення підприємства
3. Вибір обладнання системи теплозабезпечення.

4. Техніко-економічне обгрунтування підвищення енергоефективності підприємства.

Методи дослідження - теоретичний, розрахунковий, аналіз і синтез літератури, математичне моделювання, техніко-економічний аналіз.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.2 Аналіз ефективності роботи котельного обладнання та теплонакопичувачів

Твердопаливні котли є одним із популярних джерел тепла в Україні та світі, особливо в регіонах, де газифікація недостатня або вартість газу надто висока. Науковці досліджують ці котли з кількох аспектів:

ККД сучасних твердопаливних котлів може сягати 85–95%, якщо використовуються вдосконалені технології (піролізне спалювання, автоматизоване дозування палива).

Найефективнішими вважаються пелетні котли (на біомасі), адже вони мають автоматизовану подачу палива та стабільне горіння (рис.1.1).

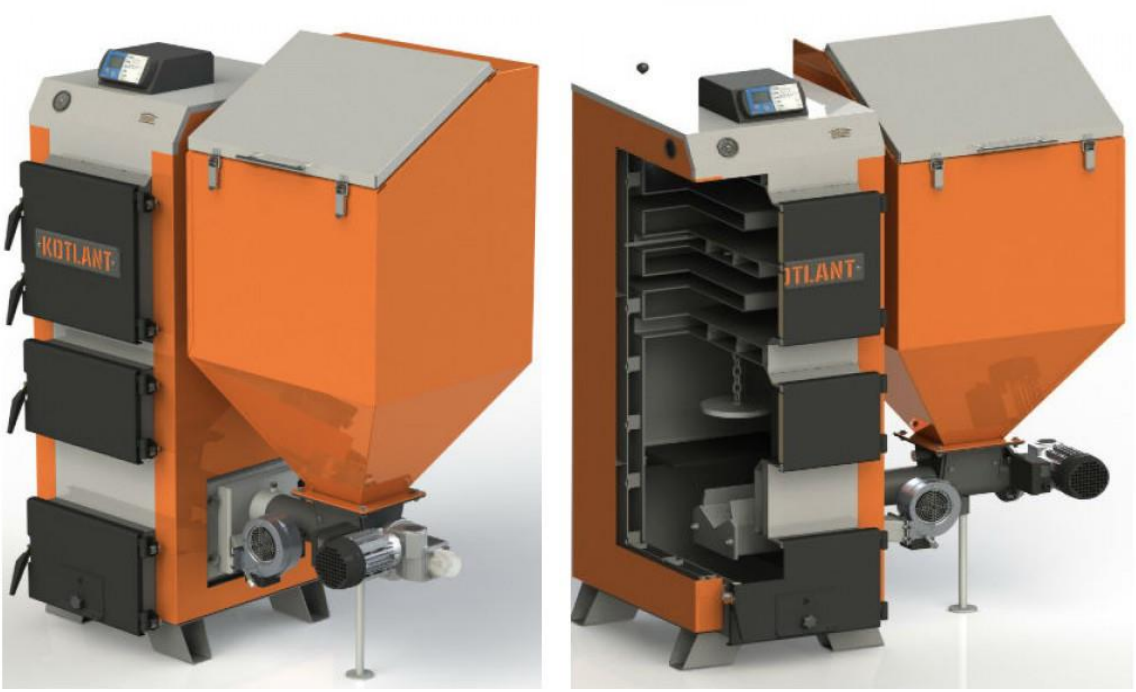


Рисунок 1.1 – Твердопаливний пелетний котел

Котли, що використовують газифікацію деревини, можуть мати навіть вищий ККД, але вони дорожчі у виробництві.

Дослідження Київського політехнічного інституту свідчать, що використання торфу, деревних гранул і лушпиння соняшника може зменшити витрати на опалення на 30–50% у порівнянні з газовими котлами [1,2].

Західноукраїнські вчені рекомендують модернізацію теплообмінників у старих моделях, що може підвищити їх ККД до 10% [3].

Основні проблеми, які виникають при використанні твердопаливних котлів:

- виділення твердих часток (PM2.5, PM10), що шкідливі для здоров'я;
- викиди CO_2 та CO, особливо в традиційних котлах без фільтрації димових газів;
- висока вологість дров зменшує ефективність згоряння та збільшує викиди.

Вирішення цих проблем можливе у випадку застосування фільтрів тонкого очищення (електростатичні або циклонні), які можуть знизити викиди шкідливих речовин; використання сухої деревини або пелет, які мінімізують рівень диму та сажі. Нові розробки котлів на біомасі з газифікацією дозволяють скоротити шкідливі викиди на 80%.

Вчені Національного університету біоресурсів і природокористування України дослідили, що біопаливо (пелети з лушпиння соняшника, агровідходів) може зменшити викиди CO_2 у 2–3 рази порівняно з дровами.

Європейські дослідження довели, що автоматичні котли на пелетах мають у 5–10 разів менші викиди, ніж традиційні печі.

В теперішній час активно досліджуються інноваційні рішення:

- гібридні котли (твердопаливні + тепловий насос або електронагрівальні елементи) для зниження витрат (рис.1.2);
- рекуперація тепла з димових газів, що може підвищити ефективність на 10–15% (рис.1.3).



Рисунок 1.2 – Гібридний котел

У 2023 році українські інженери розробили експериментальний котел, що комбінує піроліз та рекуперацію тепла, збільшуючи ККД до 96%.

Польські та німецькі вчені працюють над котлами із замкнутим циклом газифікації, що майже не виробляють твердих часток.

Сучасні твердопаливні котли мають високий ККД, але потребують правильно підібраного палива.

Екологічні проблеми можна вирішити за допомогою якісного пального та фільтрів.

Перспективні технології (піроліз, рекуперація, воднева плазма) можуть зробити такі котли більш чистими та ефективними.



Рисунок 1.3 - Рекуперація тепла з димових газів

Українські інженери створили котел, який поєднує роботу сервера і нагрівача. Чіпи, що містяться всередині котла, шифрують інформацію для мереж і виробляють велику кількість тепла. Команда українських інженерів спробувала використовувати тепло, яке виділяється в процесі роботи сервера, для обігріву житла. Для цього від котла розробники проводять труби до системи опалення, тепловентиляторів або до джерела гарячого водопостачання. Так, котел стає частиною мережі котлів та інших комп'ютерів по всьому світу.

Також, піролізні котли (рис.1.4) , які працюють за принципом газової генерації, є відомими на ринку опалювального обладнання України. Паливом для них можуть служити дрова будь-якої породи з вологістю до 40%.



Рисунок 1.4 – Твердопаливний піролізний котел

Щодо міжнародних ініціатив, Європейський Союз працює над зменшенням викидів CO_2. Відповідно до поправки до директиви про енергетичну ефективність будівель, з 2030 року нові будинки не можна буде обладнувати газовими котлами, а тим, хто вже опалює будинки газом, з 2027 року будуть нараховувати додаткові оплати.

Існують дослідження, які стосуються підвищення ефективності піролізних котлів та технологій газифікації. Наприклад, у статті "До питання підвищенняконцентрації газу метану та варіація складу синтез-газу при підземній газифікації вугілля" розглядається замкнутий цикл підземної газифікації вугілля, який дозволяє вирішити екологічні проблеми утилізації відходів енергетичних підприємств [4], у статті "Дослідження процесу газифікації низькосортних палив у залежності від температури та швидкості

газифікуючого агента" аналізується процес газифікації як альтернатива спалюванню природного газу та вугілля [5].

Теплонакопичувачі (теплові акумулятори) — це пристрої, які зберігають теплову енергію для подальшого використання. Вони широко застосовуються в різних галузях, зокрема в опаленні, енергетиці, промисловості та побуті. Основна мета їх використання — підвищення енергоефективності, зниження витрат на енергоносії та зменшення навантаження на мережі.

Теплонакопичувачі (рис.1.5) дозволяють зберігати тепло, отримане від котлів, теплових насосів або сонячних колекторів, і використовувати його в періоди пікового навантаження або вночі [15-17] .

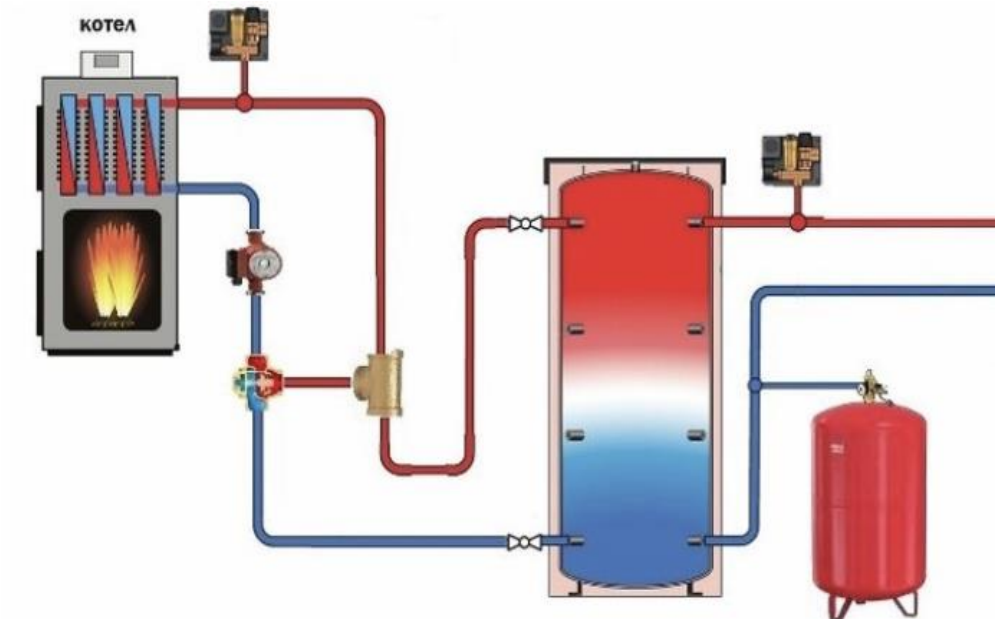


Рисунок 1.5 Принцип роботи теплонакопичувача

У промисловості теплонакопичувачі використовуються для зберігання тепла, яке виробляється під час технологічних процесів (наприклад, у металургії, хімічній промисловості), і подальшого його використання.

Теплонакопичувачі інтегруються в системи з відновлюваних джерел енергії (сонячна, геотермальна) для стабілізації енергопостачання, дозволяють

зберігати надлишкову теплову енергію, яка виробляється в періоди низького попиту, і використовувати її в години пікового навантаження [18-21].

У сонячних теплових електростанціях теплонакопичувачі зберігають тепло, отримане від сонячного випромінювання, для виробництва електроенергії вночі або в періоди недостатньої сонячної активності



Рисунок 1.6 Загальний вигляд теплонакопичувача

Теплонакопичувачі можуть використовуватися для зберігання тепла, яке виділяється під час роботи двигуна або гальмування, і використовувати його для обігріву салону в холодну пору року, також вони інтегруються в побутові прилади, такі як пральні машини, посудомийки, для зниження енергоспоживання.

Отже, теплонакопичувачі дозволяють раціонально використовувати теплову енергію, знижують витрати на енергоносії за рахунок використання дешевшої енергії в нічний час або від відновлюваних джерел, зменшують викиди CO_2 за рахунок зниження споживання традиційних джерел енергії, допомагають збалансувати навантаження на мережі [22-27].

Приклади технологій теплонакопичувачів:

- твердотільні теплонакопичувачі використовують матеріали з високою теплоємністю (наприклад, цегла, бетон).
- рідкісні теплонакопичувачі використовують воду або інші рідини для зберігання тепла.
- фазові теплонакопичувачі використовують матеріали, які змінюють агрегатний стан (наприклад, парафін, солі), що дозволяє зберігати більше енергії.

Теплонакопичувачі є важливим інструментом для переходу до більш енергоефективної та екологічно чистої енергетики. Їх застосування продовжує розширюватися завдяки технологічним інноваціям та зростанню попиту на відновлювані джерела енергії.

Дослідження, спрямовані на оптимізацію використання теплонакопичувачів у промислових процесах, є важливим напрямком у науці та інженерії. Вони зосереджені на підвищенні енергоефективності, зниженні витрат на енергоносії та зменшенні впливу промисловості на навколишнє середовище. Нижче наведено проведений аналіз ключових аспектів таких досліджень .

Основні напрямки досліджень:

- відновлення та зберігання промислового тепла, так як багато промислових процесів (наприклад, металургія, виробництво цементу, хімічна промисловість) генерують велику кількість тепла, яке часто викидається в навколишнє середовище, теплонакопичувачі дозволяють зберігати це тепло для подальшого використання;
- дослідження зосереджені на розробці систем, які можуть ефективно збирати, зберігати та повторно використовувати промислове тепло.

Науковці вивчають, як інтегрувати теплонакопичувачі в існуючі промислові системи без значних змін у технологічних процесах. Для оптимізації параметрів теплонакопичувачів проводяться дослідження,

спрямовані на вибір оптимальних матеріалів, конструкцій та режимів роботи теплонакопичувачів для конкретних промислових застосувань. Аналізуються такі параметри, як теплоємність, теплопровідність, температурний діапазон та тривалість зберігання тепла.

Науковці також оцінюють, наскільки використання теплонакопичувачів може знизити витрати на енергію та зменшити викиди CO_2.

Для моделювання теплових процесів у теплонакопичувачах використовуться програмні засоби, такі як, наприклад, ANSYS, COMSOL.

Дослідження показують, що використання теплонакопичувачів може знизити споживання енергії в промислових процесах на 20-40%.

Наприклад, у металургійній промисловості теплонакопичувачі дозволяють зберігати тепло від розплавленого металу та використовувати його для підігріву нових партій сировини. За рахунок зменшення споживання традиційних джерел енергії (газ, вугілля) теплонакопичувачі допомагають знизити викиди парникових газів.

Впровадження теплонакопичувачів дозволяє стабілізувати температурні режими в промислових процесах, що підвищує якість продукції.

Дослідження показують, що термін окупності теплонакопичувачів у промисловості становить 3-7 років залежно від галузі та умов експлуатації.

У сталеливарному виробництві теплонакопичувачі використовуються для зберігання тепла від розплавленого металу. Це дозволяє знизити витрати на енергію для підігріву печей.

У процесах, де потрібно підтримувати високу температуру (наприклад, синтез аміаку), теплонакопичувачі дозволяють зберігати тепло для повторного використання.

Теплонакопичувачі використовуються для зберігання тепла від відпрацьованих газів, яке потім використовується для підігріву сировини.

Дослідження оптимізації використання теплонакопичувачів у промислових процесах демонструють значний потенціал для підвищення

енергоефективності та зниження витрат. Науковці продовжують розробляти нові матеріали, методи та технології, що робить теплонакопичувачі все більш привабливими для промисловості. У майбутньому їх роль у забезпеченні сталого розвитку та зменшенні впливу на навколишнє середовище буде лише зростати. Опис роботи стичних та динамічних накопичувачів представлено на рисунках 1.7, 1.8 відповідно.

Опис роботи:

1. Передня теплоізоляція.
2. Нагрівальний елемент (ТЕН).
3. Акумуляційний блок.
4. Вихід гарячого повітря. Решітка.
5. Заслінка з автоматичним управлінням.
6. Повітряний канал.
7. Повітряний потік.
8. Теплоізоляція.

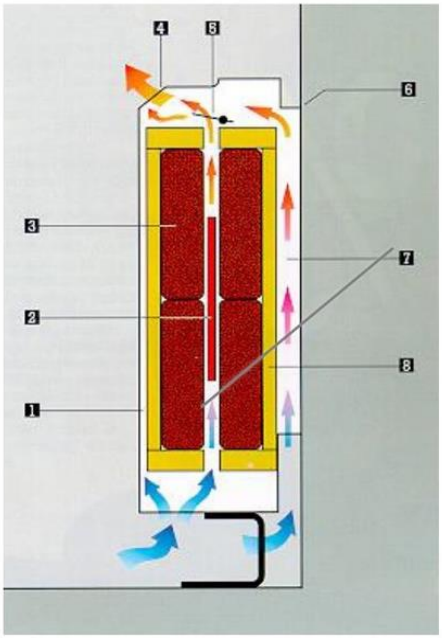
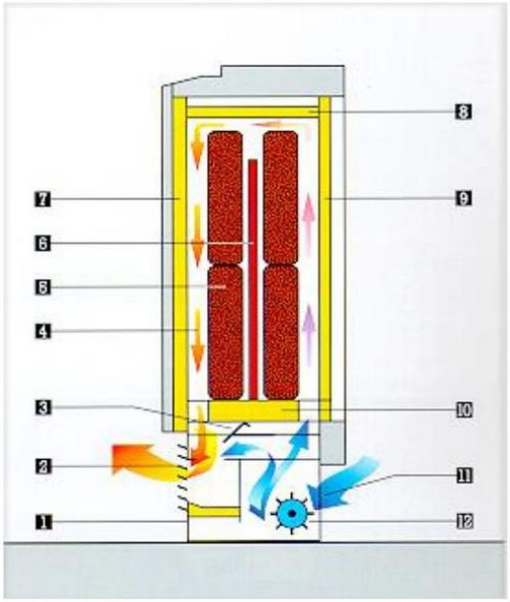


Рисунок 1.7 Статичні теплові накопичувачі



Опис роботи:

1. Ізоляція дна.
2. Вихід горячого повітря. Решітка.
3. Змішувач повітря з термостатом розряду.
4. Потік повітря в акумуляційному блоці.
5. Акумуляційний блок.
6. Нагрівальні елементи (ТЕНи).
7. Передняя теплоізоляція.
8. Верхня теплоізоляція.
9. Тильна теплоізоляція.
10. Нижня теплоізоляція.
11. Вхід холодного повітря.
12. Вентилятор.

Рисунок 1.8 Динамічні теплові накопичувачі

1.2 Моделювання теплових процесів у теплонакопичувачах

Моделювання теплових процесів у теплонакопичувачах є важливим інструментом для оптимізації їх конструкції, підвищення ефективності та інтеграції в промислові системи. Воно дозволяє прогнозувати поведінку системи, аналізувати теплові потоки, визначати оптимальні параметри роботи та оцінювати економічну доцільність використання теплонакопичувачів [8,9].

Основні етапи моделювання теплових процесів:

1) визначення цілей моделювання: аналіз теплових потоків, оптимізація геометрії теплонакопичувача, дослідження впливу матеріалів на ефективність, прогнозування поведінки системи при різних умовах експлуатації;

2) вибір математичної моделі: використання рівнянь теплопровідності (наприклад, рівняння Фур'є), моделювання конвективного теплообміну, врахування фазових переходів (для фазозмінних матеріалів, PCM);

3) вибір програмного забезпечення: ANSYS Fluent, COMSOL Multiphysics, SolidWorks Flow Simulation – для чисельного моделювання теплових процесів, MATLAB/Simulink – для створення математичних моделей, OpenFOAM – для моделювання з використанням методів обчислювальної гідродинаміки (CFD);

4) експериментальна перевірка моделей: порівняння результатів моделювання з експериментальними даними, калібрування моделей для підвищення точності.

Основні типи моделей:

-одновимірні моделі: використовуються для спрощеного аналізу теплових процесів, придатні для попередньої оцінки ефективності;

-двовимірні та тривимірні моделі: дозволяють враховувати просторову структуру теплонакопичувача, використовуються для детального аналізу теплових потоків;

-моделі з фазовими переходами:використовуються для теплонакопичувачів на основі фазозмінних матеріалів (PCM), враховують енергію, яка виділяється або поглинається під час зміни агрегатного стану.

Моделювання застосовується з метою оптимізації геометрії теплонакопичувача, дослідження впливу форми та розмірів на теплову ефективність, вибору оптимальної конфігурації теплових трубок або теплообмінників, аналізу теплових потоків, розподілу температури в теплонакопичувачі, визначення теплових втрат, дослідження фазових переходів, прогнозування поведінки PCM під час нагрівання та охолодження, визначення часу зарядки та розрядки теплонакопичувача, взаємодії теплонакопичувача з іншими елементами системи (наприклад, сонячними колекторами або промисловими печами).

Програмні засоби для моделювання:

ANSYS Fluent: використовується для CFD-моделювання теплових процесів, дозволяє враховувати конвекцію, теплопровідність та випромінювання;

COMSOL Multiphysics: підтримує багатофізичне моделювання, включаючи теплові, електричні та механічні процеси;

MATLAB/Simulink: використовується для створення математичних моделей та симуляції динаміки систем;

OpenFOAM: відкрите програмне забезпечення для CFD-моделювання.

1.3 Математична модель теплонакопичувача

Для створення математичної моделі теплонакопичувача необхідно врахувати основні фізичні процеси, такі як теплопередача, збереження енергії та динаміка зміни температури. Нижче наведено спрощену математичну

модель для теплонакопичувача, яка базується на законах термодинаміки та теплопередачі.

1. Основні припущення:

- Теплонакопичувач є ізольованою системою (втрати тепла в навколишнє середовище мінімальні).
- Теплоємність матеріалу теплонакопичувача постійна.
- Температура розподілена рівномірно по всій масі теплонакопичувача (ідеальне перемішування).

2. Математична модель:

а) Рівняння теплового балансу:

Зміна внутрішньої енергії теплонакопичувача описується рівнянням:

$$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q}_{\text{вх}} - \dot{Q}_{\text{вих}} - \dot{Q}_{\text{втр}},$$

де:

Q – запасена теплова енергія (Дж);

$Q^{\cdot}_{\text{вх}}$– потік тепла, що надходить до теплонакопичувача (Вт);

$Q^{\cdot}_{\text{вих}}$– потік тепла, що виходить з теплонакопичувача (Вт);

$Q^{\cdot}_{\text{втр}}$– втрати тепла в навколишнє середовище (Вт).

б) Запасена теплова енергія:

Запасена енергія Q пов'язана з температурою T та теплоємністю C теплонакопичувача:

$$Q = C \cdot T,$$

де:

$C=m \cdot c_p$ теплоємність теплонакопичувача (Дж/К);

m– маса теплонакопичувача (кг);

c_p– питома теплоємність матеріалу (Дж/(кг·К)).

Потік тепла, що надходить:

Потік тепла, що надходить до теплонакопичувача, може бути описаний як:

$$\dot{Q}_{\text{вих}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T - T_{\text{вих}}),$$

де:

$T_{\text{вих}}$ - температура теплоносія на виході (К).

е) Втрати тепла:

Втрати тепла в навколишнє середовище можна описати за допомогою закону Ньютона:

$$\dot{Q}_{\text{втр}} = h \cdot A \cdot (T - T_{\text{зов}}),$$

де:

h– коефіцієнт тепловіддачі (Вт/(м²·К));

A– площа поверхні теплонакопичувача (м²);

$T_{\text{зов}}$– температура навколишнього середовища (К).

3. Диференціальне рівняння для температури:

Підставляючи вирази для Q, $Q^{\cdot}_{\text{вх}}$, $Q^{\cdot}_{\text{вих}}$ та $Q^{\cdot}_{\text{втр}}$ у рівняння теплового балансу, отримуємо:

$$C \cdot \frac{dT}{dt} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\text{вх}} - T) - \dot{m} \cdot c_p \cdot (T - T_{\text{вих}}) - h \cdot A \cdot (T - T_{\text{зов}}).$$

Спрощуючи, отримуємо:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{C} \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}}) - \frac{h \cdot A}{C} \cdot (T - T_{\text{зов}}).$$

Розв'язання рівняння:

це диференціальне рівняння можна розв'язати чисельно (наприклад, методом Ейлера або Рунге-Кутта) або аналітично (для стаціонарних умов).

а) Стаціонарний режим:

У стаціонарному режимі dTdt=0, тому:

$$0 = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{C} \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}}) - \frac{h \cdot A}{C} \cdot (T - T_{\text{зов}}).$$

Звідси можна знайти стаціонарну температуру T.

б) Динамічний режим:

Для динамічного режиму необхідно використовувати чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь.

Математична модель дозволяє прогнозувати поведінку теплонакопичувача в різних умовах експлуатації. Вона може бути використана для оптимізації параметрів системи, таких як маса теплонакопичувача, витрата теплоносія та коефіцієнт тепловіддачі.

2 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДПИЄМСТВА

2.1 Твердопаливні котли

2.1.1 Загальні положення

Твердопаливний котел – основний пристрій системи опалення, який генерує тепло при спалюванні твердого виду палива. У цьому випадку використовуються відходи меблевого виробництва. Твердопаливні котли розрізняються за видом використовуваного енергоносія, принципом спалювання (традиційні, тривалого горіння, піролизні, комбіновані), способом теплопередачі (повітряний, паровий, водяний - найпоширеніший) і матеріалом виготовлення (сталь, чавун).

Твердопаливні котли надійні й економічні. Повністю можуть працювати без електрики й мають можливість повної автоматизації системи опалення. Сучасні твердопаливні котли не потребують безперервного дозавантаження палива, вони можуть в автоматичному режимі підтримувати задану температуру для опалення приміщення (рис. 2.1) [29-33].



Рисунок 2.1 – Твердопаливний котел DEFRO OPTIMA PLUS MAX

Переваги та параметри роботи моделі:

- ККД - 86%;

- час роботи на одному завантаженні палива до 24 годин;

- багатоступінчастий вертикальний теплообмінник зі збільшеною площею теплообміну;

- робота на дровах і вугіллі;

- подача повітря в камеру згоряння через колосники і отвори в бічних стінках, що дозволяє ефективно допалювати газоподібні продукти, підвищувати виділення тепла і знижувати обсяг шкідливих викидів в атмосферу;

- електронний контролер з PID-алгоритмом, датчиком температури відводяться в димар газів, контролем роботи вентилятора нагнітання повітря в топку і двох насосів системи; центрального опалення і гарячого водопостачання;

- рухливі колосники з механічною системою очищення від шлакової кірки (при натисненні педалі висуваються зубці, що руйнують кірку);

- готовність до роботи в системах опалення багатоповерхових будинків.

За способом спалювання палива твердопаливні котли діляться на традиційні та піролізні (газогенераторні). Принцип роботи традиційних котлів простий і зрозумілий: згоряє тверде паливо – нагрівається вода – теплоносій за допомогою радіаторів віддає тепло приміщенню. У випадку ж піролізних котлів відбуваються трохи інші процеси.

В основу роботи котла покладений принцип піролізного спалювання (або сухої перегонки) палива. Під дією високої температури в умовах нестачі кисню суха деревина розкладається на летку частину (так званий піролізний газ) і твердий залишок - деревне вугілля (кокс).

В таблиці 2.1 наведені характеристики твердопаливних котлів.

Таблиця 2.1 – Характеристики твердопаливних котлів

		DEFRO OPTIMA PLUS MAX	ПОЖ ІНКА 250	"Мотор Сич" МС-250	Wichlacz 230 КВт KW-GSN
Принцип спалювання палива	-	традиційний	піролізний	піролізний	традиційний
Номінальна потужність	кВт	250	250	250	230
Площа обігріву	м ^{2}	1600...2000	1000...2900	900...2500	1800...2000
ККД	%	86-90	90-92	89-91	82-89
Максимальний тиск води в котлі	МПа	-	0,6	0,6	0,51
Обсяг одноразового завантаження палива	$м^3$	0,6	0,6	0,6	0,6
Використовуване паливо	-	дрова, вугілля, брикет, тріска	тріска, тирса, торф, ДСП, ДВП, МДФ	тирса, торфобрикети, ДСП, МДФ, ДВП	дрова, вугілля, тріска
Вага	кг	2860	4000	5700	4700
Габарити	мм·мм·мм	2648·1749·1553	2600·2400·1680	2680·2445·1700	1911·1530·1100
Вартість	грн	67 350	70 000	92 000	66 770

На даний момент на ринку представлений дуже різноманітний асортимент котлів різної потужності (від 8 кВт до 1 МВт), тому можна без

проблем підібрати котел, що відповідає будь-яким вимогам. Наприклад, ще один твердопаливний котел Wichlacz 230 КВт KW-GSN (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Твердопаливний котел Wichlacz 230 КВт KW-GSN

Переваги такого обладнання:

- застосовано принцип омивних колосників - колосники виконані у вигляді товстостінних труб, в яких циркулює вода (котел максимально захищений від прогорання).

- гвинтові підтискання ручки на котлі дають змогу легко і максимально щільно закривати дверцята котла.

- широкі похилі дверцята топки зручні для обслуговування і завантаження насипного палива, і дров великих розмірів.

- в комплект поставки котла входить: котел, автоматика, вентилятор подачі повітря, поворотне димохідне коліно (що дозволяє встановити димохід з будь-якого боку котла, тільки для котлів до 65 кВт).

- за необхідності котел комплектується додатково бойлером непрямого нагріву гарячої води для побутового та промислового використання, контрольований автоматикою.

Піролізні котли рекомендується топити як можна більш сухою деревиною, тоді забезпечується робота котла на максимальній потужності і тривалий термін його служби. Тому бажано разом із котлом встановлювати сушилку для деревини. Різниця для споживача полягає в тому що, у випадку використання піролізного котла, час між завантаженнями, на відміну від звичайного казана збільшується в 2 рази та більше. Слід зазначити, що піролізний газ у процесі згоряння взаємодіє з активним вуглецем, у результаті чого димові гази на виході з котла практично не містять шкідливих домішок і є більшою частиною сумішшю вуглекислого газу й водяної пари. CO_2 такий котел буде викидати в атмосферу до 3-х разів менше, ніж звичайний дров'яний і, тим більше котел що працює на вугіллі. Отже, піролізні котли більш экологічні. Також у процесі піролізного горіння утворюється мінімальна кількість сажі й золи, тому котел рідше, ніж звичайний, потребує чищення. Завдяки своїм перевагам, піролізні котли значно дорожче ніж котли із традиційним спалюванням палива.

2.1.2 Конструктивні особливості та принцип дії

Розглянемо влаштування твердопаливного котла. Конструктивно топка піролізного котла являє собою дві самостійні камери, розділені колосниками. У верхній камері, що газифікує, при високій температурі й дефіциті кисню піролізується паливо. Відводу тепла з верхньої камери перешкоджає паливо на колоснику, крізь шар якого зверху вниз проходить слабкий потік первинного повітря.

Генераторний газ, що виділяється в процесі, одночасно з потоком вторинного повітря надходить у нижню камеру згоряння, нижня частина якої є форсункою з термостійкої кераміки — шамоту.

Топка цього типу опалювальних котлів відрізняється підвищеним аеродинамічним опором, а тому в ній використовується примусова тяга, реалізує яку не вентилятор, а димосос.

Структурну схему твердопаливного піролізного котла наведено на рисунку 2.3.

Тривалість роботи газогенераторних котлів на одному завантаженні залежить від температури на вулиці й у приміщенні, якості теплоізоляції приміщення, виду палива і його вологості, грамотного проектування опалювальної системи, але за інших рівних умов їх робота з порівняння із традиційними твердопаливними аналогами набагато ефективніше.

2.1.3 Монтаж обладнання

Монтаж твердопаливних котлів складається не тільки з установки й налагоджування самого котла, але й підключення всіх основних частин системи опалення (група безпеки, розширювальний бак на систему ГВП і на систему опалення, насосна група і т.д.).

Монтаж твердопаливних котів вимагає дотримання всіх необхідних запобіжних заходів:

- Не можна запускати котел без приєднання димоходу. Необхідно перевірити, щоб у димоході була забезпечена достатня тяга, й він був герметичний.

- Треба видаляти з димоходів котла сажу й смолисті відкладання, як зазначено у паспорті. Чищення димоходу повинне виконуватися при дотриманні правил протипожежної безпеки.

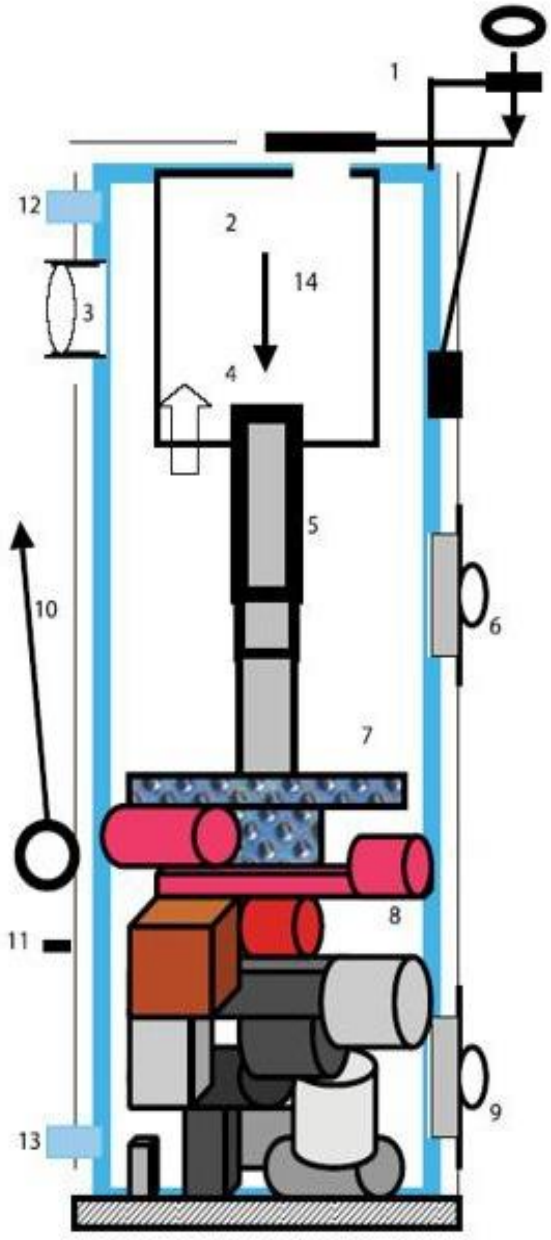


Рисунок 2.3 – Твердопаливний піролізний котел

1 – повітряна заслінка, 2 – камера нагрівання повітря, 3 – отвір для видалення диму, 4 – заслінка перемикання, 5 – труба подачі повітря, 6 – дверці для завантаження пального, 7 – розподільник повітря, 8 – пальне, 9 – дверці для

видалення попелу, 10 – трос з кільцем для підняття розподільника повітря, 11 – гачок, 12 – труба для нагрітої води, 13 – труба для зворотної води, 14 – отвір для установки термометра

-
- У приміщенні, де встановлений котел, повинна бути вентиляція, щоб забезпечувати постійний доступ свіжого повітря.
- Якщо монтаж твердопаливних котлів здійснюється в закриту опалювальну систему із закритою (мембранною) розширювальною посудиною, то його об’єм повинен бути не менше 10% усього об’єму опалювальної системи (з котлом).
- Монтаж твердопаливних котлів повинен виконуватися в гідравлічній системі, що забезпечена приладами безпеки й відповідно пунктам інструкції, що поставляється разом з котлом.
- Не можна робити дренаж системи опалення у випадку можливості промерзання системи. Рекомендується просто додати в систему 15% розчин антифризу.
- Виконуючи монтаж твердопаливних котлів, необхідно виключити можливість потрапляння холодної води на сильно нагріті частини котла. Це може призвести до утворення тріщин.
- Заборонено запалювати котел з відкритими передніми дверцятами. Якщо котел оснащений вентилятором, не можна відкривати дверцята, поки вентилятор не буде вимкнений.
- Система опалення, у яку здійснюється монтаж твердопаливних котлів, повинна бути спроектована таким чином, щоб різниця температур вхідної й вихідної води не перевищувала 20^{o} С.
- Будь-які сторонні електричні схеми повинні бути вилучені з котельні.
- Періодично необхідно перевіряти тиск води в системі опалення та вчасно усувати витоки.

- Здійснюючи монтаж твердопаливних котлів слід враховувати, що якість води також має велике значення. Рекомендована твердість води: 1-3 моль/м^3, PH: 8-9,5.

  Підбір місця для установки твердопаливного котла це ще один важливий етап при монтажі системи:
- Приміщення, у якому передбачається монтаж твердопаливних котлів, повинне обов'язково бути обладнане вентиляційними отворами. Один з них необхідно розташувати не нижче 40 см від стелі, друге не вище 50 см від підлоги. Вентиляційні отвори завжди повинні залишатися відкритими, щоб забезпечувати постійний доступ свіжого повітря.
- Мінімальний розмір верхнього отвору: 40х40 см, нижнього 30х30 см.
- Монтаж твердопаливних котлів необхідно робити на бетонному постаменті висотою 5 см. Це забезпечить нормальну роботу котла при потраплянні води в приміщення, де встановлений казан.
- Монтаж твердопаливних котлів заборонений у приміщеннях, де є вибухонебезпечні речовини або існує небезпека загоряння.
- Проектування системи опалення, а також усі підключення повинні здійснюватися тільки представниками організацій, що мають дозвіл і ліцензію на виконання такого виду робіт.

І це лише невелика частина норм і правил яких потрібно дотримуватися, при проведенні монтажу твердопаливних котлів. Правильна робота системи опалення й забезпечення всіх необхідних параметрів залежить від розрахунків і підбору обладнання для кожного приміщення окремо, і звичайно – від правильної його установки.

Бажано, щоб монтаж твердопаливних котлів і налаштування системи опалення виконувала та ж компанія, яка дану систему й проектувала, щоб уникнути помилок і несумісності обладнання. Важливим моментом, який вимагає монтаж твердопаливних котлів, є дотримання всіх діючих нормативів

і стандартів, і робота у точній відповідності із проектом – усе це прямо впливає на безпеку системи опалення.

2.2 Локальні теплоакумулятори

Електроенергія споживається протягом доби нерівномірно. Використовувати нічні провали споживання дозволяють системи опалення із акумуляцією тепла, які споживають електроенергію в автоматичному режимі тільки вночі, а опалюють приміщення цілодобово. Теплонакопичувачі (теплоакумулятори) отримали широке розповсюдження в Німеччині у 70-тих роках як один з елементів вирівнювання графіка навантаження в енергосистемі. Практика застосування теплонакопичувачів показала високу економічність для споживачів такого виду опалення, а системи опалення з акумуляцією тепла одержали велику популярність в Європі. Розміри щомісячних платежів порівнянні тільки з витратами на газове опалення.

2.2.1 Принцип роботи

Принцип роботи теплоакумулятора (теплонакопичувача) (рис. 2.4) полягає в наступному. Прилад складається з теплоізольованого, найчастіше сталевого, корпусу, теплоакумулюючого ядра й системи вентиляції для нагрівання припливного повітря і, як правило, з'єднаний з давачем температури повітря в приміщенні. Прилад працює в нічний час доби, перетворюючи електричну енергію в теплову, і накопичує її в ядрі. Протягом

доби холодне повітря проганяється крізь нагріте ядро й подається вже нагрітим назад у приміщення. Прилад включається автоматично, коли температура в приміщенні падає нижче певної відмітки. Крім того, прилад облаштований автоматом, що робить живлення від мережі в денний час неможливим. Для більш детального опису процесу розглянемо рисунок.

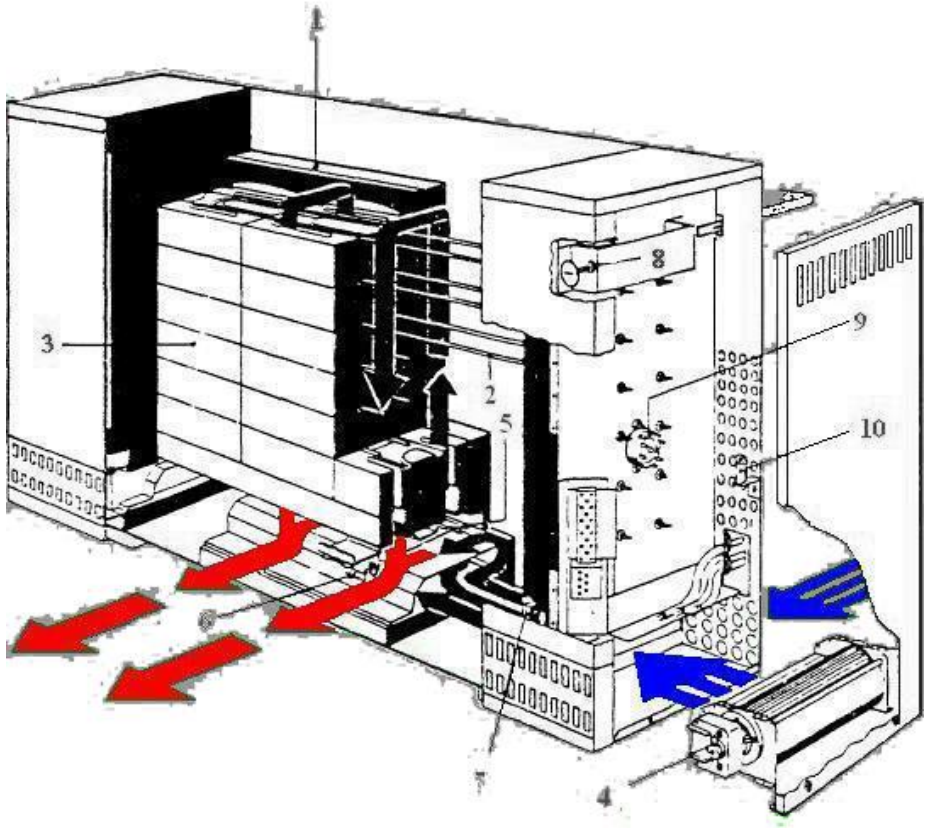


Рисунок 2.4 – Теплонакопичувач

У сталевому лакованому корпусі знаходяться теплоємні елементи 3 із вбудованими нагрівачами 2, закриті теплоізолюючим шаром 1. Віддачу тепла в приміщення забезпечує вентилятор 4, з якого частина повітря направляється в канали накопичувача, а частина – безпосередньо до місця виходу. Змішування повітряних потоків забезпечується заслінкою 5, яка разом з біметалічною спіраллю 6 забезпечує постійну температуру вихідного повітря незалежно від ступеня зарядки апарата. Зарядка апарата теплом проводиться під час дії низького тарифу на електроенергію (у нічний час) за допомогою

автоматики. При роботі без автоматичної зарядки ступінь заряду визначається положенням головки регулятора 8.

Ядро теплонакопичувача зазвичай виготовляється з магнезиту. Магнезитові блоки можуть нагріватися до температури 650°С. У пасивному режимі корпус приладу частково перешкоджає мимовільному відтоку накопиченого тепла. Габарити й вага приладу визначаються параметрами теплового ядра, які, у свою чергу, вибираються з розрахунку заданої теплоємності.

Теплонакопичувачі діляться на локальні й центральні. Локальні, у свою чергу, можуть бути динамічними (із системою повітрообміну й без) і статичними. Локальні теплонакопичувачі залежно від розміру мають потужність від 0,85 до 5 кВт.

Динамічні теплонакопичувачі мають вбудовані вентилятори, які включаються за командами кімнатних терморегуляторів і мають більш високий рівень тепловіддачі. Для систем опалення з динамічними теплонакопичувачами характерні низька інерційність, висока точність підтримки заданих температур.

Відмінною рисою статичних теплонакопичувачів є вироблення регульованого тепла без вентилятора. Віддача тепла теплонакопичувачем проводиться за допомогою природньої конвекції і м'якого випромінювання з поверхні теплонакопичувача. Статичні теплонакопичувачі мають у порівнянні з динамічними більш низький рівень тепловіддачі, більш низьку точність підтримки заданих температур.

Вентилятори динамічного теплонакопичувача виробляють певний шум, але його рівень не перевищує 30 дб. Проте, використання приладу в тихому приміщенні небажане. У цьому випадку логічніше використовувати статичний теплонакопичувач, хоча у відсутності примусової циркуляції повітря тепловіддача відбувається менш інтенсивно, ніж в динамічному

приладі. Крім того, динамічний прилад має більш розгалужену систему щілинних повітропроводів у магнезитових блоках.

2.2.2 Переваги теплонакопичувачів

Рішення про встановлення теплонакопичувачів буде не тільки сприяти енергозбереженню за рахунок можливості акумулювати тепло й зберігати природні ресурси, але й заощаджувати гроші споживачів, тому що живлення від мережі відбувається тільки в нічний час, а введення спеціальних "нічних" тарифів на електроенергію здатне ще більш знизити ці витрати. При цьому теплонакопичувачі здатні значно скоротити навантаження на електричну мережу, тому що не будуть живитися від мережі в періоди пікового навантаження. Крім того, такий спосіб обігріву екологічно чистий і безпечний.

Основні переваги теплонакопичувачів**:**

- економічність;
- екологічна чистота;
- мала інерційність;
- гнучкість системи опалення – можливість змінювати конфігурацію системи;
- простота монтажу без зварювання й труб.

2.2.3 Монтаж теплонакопичувачів

Перед установкою теплонакопичувачів необхідно перевірити міцність підлоги й стінної перегородки, тому що прилади мають значну масу. Прилад

розміщають на рівній поверхні. При встановленні на підлогу з килимовим або іншим м'яким покриттям необхідно використовувати додаткову основу. Прилад повинен бути надійно (міцно) прикріпленим до стіни.

Прилад не повинен використовуватися в приміщеннях, де можлива поява вибухонебезпечного або пожежонебезпечного пилу, газів, пари. Під час виконання робіт із застосуванням розпилювачів, наприклад, при вкладанні або циклюванні підлоги, обробці стін і стель, прилад не повинен перебувати в зарядженому стані й повинен бути чим-небудь захищений. Не можна допускати використання приладу в душових і інших приміщеннях, де можливе потрапляння води на поверхню й всередину приладу.

Усередині приладу висока температура, тому забороняється перекривати зону перед приладом для випуску прогрітого повітря. Не допускається, щоб горючі або теплоізолюючі матеріали знаходилися в контакті з приладом.

При монтажі на місці експлуатації необхідно витримувати наступні відстані від приладу, не менш:

- до предметів, розташованих над приладом (підвіконня з каменю): 50 мм;
- до підвіконня з горючих матеріалів (дерево): 100 мм;
- перед випускними ґратами: 300 мм;
- до аналогічного приладу збоку: 30 мм.

Збірку, підключення й ремонт теплонакопичувача повинен робити кваліфікований фахівець, що має право на експлуатацію й ремонт електричних установок напругою до 1000 В.

При введенні приладу до експлуатації необхідно тричі зарядити й розрядити його повністю. Для цього необхідно регулятор рівня зарядки приладу встановити в крайнє праве положення (заводська установка «Зима»), а при наявності блоку керування – відключити його. Це забезпечить повну зарядку приладу за ніч. Після зарядки прилад розряджається вентилятором по

команді терморегулятора. Під час перших трьох процесів зарядки й розрядки приміщення необхідно добре провітрювати.

2.2.4 Визначення загальної необхідної потужності

Визначимо алгебраїчну суму всіх витрат теплоти та тепловиділень у приміщенні для встановлення необхідної потужності опалювальних приладів:

$$\sum Q = Q_0^{\text{макс}} + Q_{\text{вент}}^{\text{макс}} + Q_{\text{г.в.}}^{\text{макс}} + Q_{вік}^{max} - Q_{маш} - Q_{осв} - Q_{л}, \text{ кВт} \qquad (2.1)$$

Цех №1:

$$\sum Q_1 = 149{,}140 + 130{,}210 + 15{,}160 + 22{,}96 - 52{,}96 - 9{,}60 - 0{,}0289 = 254{,}881 \text{кВт.}$$

Цех №2:

$$\sum Q_2 = 149{,}140 + 130{,}210 + 17{,}490 + 22{,}96 - 68{,}16 - 9{,}60 - 0{,}033 = 242{,}007 \text{кВт.}$$

Склад:

$$\sum Q_c = 60{,}410 + 31{,}970 = 92{,}380 \text{ кВт.}$$

Загальна кількість теплоти, що потребує підприємство дорівнює:

$$\sum Q = \sum Q_1 + \sum Q_2 + \sum Q_c, \quad (2.2)$$

$$\sum Q = 254{,}881 + 242{,}007 + 92{,}380 = 557{,}268 \text{ кВт}.$$

Таким чином, необхідно підібрати обладнання для теплопостачання, що буде повністю покривати потребу підприємства у тепловій енергії, тобто його потужність має бути більше за $\sum Q$, або дорівнювати їй.

2.2.5 Вибір теплонакопичувачів

Визначимо кількість теплонакопичувачів, що буде встановлено у кожному приміщенні. Для цеху №1:

$$N_1 = \sum Q_1 / Q_{тн}, \text{ од.} \quad (2.3)$$

де $Q_{тн}$ – потужність одного теплонакопичувача, $Q_{тн} = 7{,}5$ кВт,

$$N_1 = 254{,}881/7 = 33{,}98 \text{ од.}$$

Для цеху №2:

$$N_2 = \sum Q_2 / Q_{тн}, \text{ од.}, \quad (2.4)$$

$$N_2 = 242{,}007/7 = 31{,}57 \text{ од.}$$

Для складу:

$$N_c = \sum Q_{\text{с}} / Q_{\text{тн}}, \text{ од.}, \quad (2.5)$$

$$N_c = 92{,}380/7 = 14{,}19 \text{ од.}$$

За підрахунками приймаємо, що необхідно встановити 34 теплонакопичувачі у цеху №1, 32 у цеху №2 та 15 у складському приміщенні

Найбільш оптимальним з варіантів виявились теплонакопичувачі ТА-75 виробництва фірми «Техенерго» м. Львів (рис.2.6).



Рисунок 2.6 - Теплонакопичувач ТА-75

Динамічний теплоакумулятор ТА використовує теплоакумулюючі властивості магнезитової цегли, накопичує тепло до 650ºС протягом дії нічного тарифу та протягом доби автоматично віддає накопичене тепло за допомогою тепловипромінювання, а у разі підвищеної потреби за допомогою вмонтованого вентилятора.

Застосування теплонакопичувачів цієї серії особливо вигідно, якщо необхідно одержати якнайбільшу теплову потужність, а простір для установки обмежено. Високоякісна теплоізоляційна технологія забезпечує високий ступінь збереження тепла. Вона опікується про те, щоб система опалення віддавала тепло саме тоді, коли це необхідно. Для керування

температурою в приміщенні до теплонакопичувача можливо підключити регулятор кімнатної температури. Вбудований безшумний вентилятор рівномірно розподіляє тепло по всьому приміщенню. Керування зарядкою теплонакопичувача відбувається або в ручному режимі, або централізовано через систему керування. Завдяки своїй компактній конструкції, теплоаккумулятор не займає багато місця й дуже зручний при монтажі й технічному обслуговуванні.

Технічні характеристики:

- потужність – 7,5 кВт;
- напруга – 220/380 В;
- висота - 750 мм;
- ширина - 1200 мм;
- глибина - 380 мм;
- вага - 380 кг.

3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Визначення теплової потужності будівлі

Вихідні дані:

$$V = a \cdot b \cdot h, \text{ м}^3 , \tag{3.1}$$

$$V_{цех} = 40 \cdot 12 \cdot 6 = 2880 \text{ м}^3,$$

$$V_{склад} = 20 \cdot 10 \cdot 5 = 1000 \text{ м}^3.$$

Загальний об’єм для розрахунку буде дорівнювати:

$$V = 2 \cdot V_{цех} + V_{склад}, \text{ м}, \tag{3.2}$$

$$V = 2 \cdot 2880 + 1000 = 6760 \text{ м}^3.$$

Температуру гарячої води в місцях водорозбору приймають не вище 75°С для будь-яких систем ГВП і не нижче 55°С для систем централізованого ГВП, приєднаних до відкритих систем теплопостачання, і систем місцевого гарячого водопостачання; не нижче 50°С для систем централізованого гарячого водопостачання, приєднаних до закритих систем теплопостачання. Тому $t_{гв}$ приймаємо 70°С. Температуру холодної води за відсутності даних приймають взимку: $t_{хв}$ = +5°С, влітку: $t_{хв}$ = +15°С.

Підприємство складається з двох цехів та складського приміщення. Оскільки цехи мають однакові параметри, тобто площу, висоту та кількість вікон, то розрахунки витрати теплоти на опалення та вентиляцію відрізнятися не будуть. При цьому для складу відсутні розрахунки гарячого

водопостачання, тепловиділення від людей та від обладнання. Також не має сенсу розраховувати тепловиділення від світильників оскільки більшу частину часу вони вимкнені.

3.1.1 Розрахунок витрати теплоти на опалення

Максимально-годинна витрата теплоти на опалення:

$$Q_0^{макс} = q_0^{(-30)} \cdot \alpha \cdot V_з(t_в - t_з), \text{МДж/год}, \quad (3.3)$$

де $q_0^{(-30)}$ – питома витрата теплоти на опалення, МДж/(год·м^3·°С),

$q_0^{(-30)} = 0{,}55$;

$t_в$ – внутрішня температура повітря всередині приміщень, $t_в = 18$°С;

$t_з$ – температура зовнішнього повітря як середня найбільш холодних п’яти днів, $t_з = -15$°С;

$V_з$ – зовнішній будівельний об’єм будівлі, м^3;

α – коефіцієнт переліку – поправочний коефіцієнт, за допомогою якого ураховується вплив розрахункової температури $t_з$ зовнішнього повітря даного географічного пункту, α = 1,096;

$$Q_0^{макс} = 0{,}55 \cdot 1{,}096 \cdot 2880\ (18 + 15) = 536{,}90 \text{ МДж/год},$$

або $Q_0^{макс} = 149{,}14$ кВт.

Для складу:

$$Q_0^{макс} = 0{,}76 \cdot 1{,}096 \cdot 1000\ (15 + 15) = 217{,}48 \text{ МДж/год},$$

або $Q_0^{макс} = 60{,}41$ кВт.

Середньогодинна витрата теплоти на опалення найбільш холодного місяця:

$$Q_0^{х.м.} = Q_0^{макс} \cdot \left(\frac{t_в - t_з\prime}{t_в - t_з}\right), МДж/год , \quad (3.4)$$

де $t_з$' – температура зовнішнього повітря як середня найбільш холодного місяця, °С, $t_з$' = -3°С.

$$Q_0^{х.м.} = 572{,}90 \cdot \left(\frac{18+3}{18+15}\right) = 364{,}57 МДж/год,$$

або $Q_0^{х.м.} = 101{,}27$ кВт.

Для складу:

$$Q_0^{х.м.} = 249{,}89 \left(\frac{15+3}{15+15}\right) = 149{,}93 МДж/год,$$

або $Q_0^{х.м.} = 41{,}65$ кВт.

Середньогодинна витрата теплоти за період опалення:

$$Q_0^{п.о.} = Q_0^{макс} \cdot \left(\frac{t_в - t_з\prime\prime}{t_в - t_з}\right), \frac{МДж}{год}, \quad (3.5)$$

де $t_з$`` – температура зовнішнього повітря середня періоду опалення, $t_з$`` = 1,1°С;

$$Q_0^{п.о.} = 572{,}90 \cdot \left(\frac{18-1{,}1}{18+15}\right) = 293{,}39 МДж/год,$$

або $Q_0^{\text{п.о.}} = 81{,}50$ кВт.

Для складу:

$$Q_0^{\text{п.о.}} = 249{,}89 \cdot \left(\frac{15-1{,}1}{15+15}\right) = 115{,}78 \text{ МДж/год},$$

або $Q_0^{\text{п.о.}} = 32{,}16$ кВт.

Річна витрата теплоти на опалення будівлі:

$$Q_0^{\text{рік}} = Q_0^{\text{п.о.}} \cdot n_0 \cdot n_g, \text{МДж}, \quad (3.6)$$

де n_0 – тривалість періоду опалення, 189 діб;

$n_д$ – тривалість роботи опалення будівлі, 24 год/діб;

$$Q_0^{\text{рік}} = 293{,}39 \cdot 189 \cdot 24 = 1330817 \text{ МДж},$$

або $Q_0^{\text{рік}} = 369671{,}4$ кВт.

Для складу:

$$Q_0^{\text{рік}} = 115{,}78 \cdot 189 \cdot 24 = 525189 \text{ МДж},$$

або $Q_0^{\text{рік}} = 145885{,}8$ кВт.

.1.2 Розрахунок витрати теплоти на вентиляцію

Максимально-погодинна витрата теплоти на вентиляцію:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{макс}} = q_{\text{вент}}\alpha(t_{\text{в}} - t_{\text{з}})V_{\text{з}} \text{ , МДж/год ,} \quad (3.7)$$

де $q_{\text{вент}}$ – питома витрата теплоти на вентиляцію, МДж/(год·м^3·°С);

$$Q_{\text{вент}}^{\text{макс}} = 0{,}45 \cdot 1{,}096 \cdot (18 + 15) \cdot 2880 = 468{,}74 \text{ МДж/год,}$$

або $Q_{\text{вент}}^{\text{макс}} = 130{,}21$ кВт.

Для складу:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{макс}} = 0{,}35 \cdot 1{,}096 \cdot (15 + 15) \cdot 1000 = 115{,}08 \text{ МДж/год,}$$

або $Q_{\text{вент}}^{\text{макс}} = 31{,}97$ кВт.

Середньогодинна витрата теплоти на вентиляцію найбільш холодного місяця:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{х.м.}} = Q_{\text{вент}}^{\text{макс}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{з}\prime}}{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}}, \text{МДж/год ,} \quad (3.8)$$

$$Q_{\text{вент}}^{\text{х.м.}} = 468{,}74 \cdot \frac{18+3}{18+15} = 298{,}29 \text{ МДж/год,}$$

або $Q_{\text{вент}}^{\text{х.м.}} = 82{,}86$ кВт.

Для складу:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{х.м.}} = 115{,}08 \cdot \frac{15+3}{15+15} = 69{,}05 \text{ МДж/год},$$

$$\text{або } Q_{\text{вент}}^{\text{х.м.}} = 19{,}18 \text{ кВт}.$$

Середньогодинна витрата теплоти за період опалення:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{п.о.}} = Q_{\text{вент}}^{\text{макс}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}''}{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}}, \text{МДж/год}, \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{вент}}^{\text{п.о.}} = 468{,}74 \cdot \frac{18-1{,}1}{18+15} = 240{,}05 \text{ МДж/год},$$

$$\text{або } Q_{\text{вент}}^{\text{п.о.}} = 66{,}68 \text{ кВт}.$$

Для складу:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{п.о.}} = 115{,}08 \cdot \frac{15-1{,}1}{15+15} = 53{,}32 \text{ МДж/год},$$

$$\text{або } Q_{\text{вент}}^{\text{п.о.}} = 14{,}81 \text{ кВт}.$$

Річні витрати на вентиляцію:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{рік}} = Q_{\text{вент}}^{\text{п.о.}} \cdot n_0 \cdot n_{\text{д}}, \text{МДж/год} \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{вент}}^{\text{рік}} = 240{,}05 \cdot 189 \cdot 24 = 1088867 \text{ МДж/год},$$

$$\text{або } Q_{\text{вент}}^{\text{рік}} = 302463 \text{ кВт}.$$

Для складу:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{рік}} = 53{,}32 \cdot 189 \cdot 24 = 241861{,}3 \frac{\text{МДж}}{\text{год}},$$

або $Q_{\text{вент}}^{\text{рік}} = 67184$ кВт.

3.1.3 Розрахунок витрати теплоти на гаряче водопостачання

Середньогодинна витрата теплоти на гаряче водопостачання:

$$Q_{\text{г.в.}} = \frac{m*a*(t_{\text{г.в.}} - t_{\text{х.в.}})}{24} \cdot 4{,}19\ , \text{МДж/год}\ , \qquad (3.11)$$

де m – кількість мешканців у житловому будинку або робітників в зміну в цеху;

a – норма витрати гарячої води при температурі 70 °С на одну людину, л/діб;

$t_{г.в.}$ – температура гарячої води ($t_{\text{г.в.}}$ = 70 °С);

$t_{х.в.}$ – температура холодної води взимку ($t_{\text{х.в.}}$ = 5°С).

$$Q_{\text{г.в.}} = \frac{13*37*(70-5)}{24} \cdot 4{,}19 = 54{,}58 \text{ МДж/год},$$

або $Q_{\text{г.в.}} = 15{,}16$ кВт.

Максимально-погодинна витрата теплоти на гаряче водопостачання:

$$Q_{\text{г.в.}}^{\text{макс}} = 2{,}4 \cdot Q_{\text{г.в.}}, \frac{\text{МДж}}{\text{год}}, \qquad (3.12)$$

$$Q_{\text{г.в.}}^{\text{макс}} = 2{,}4 \cdot 54{,}58 = 131 \text{ МДж/год},$$

$$\text{або } Q_{\text{г.в.}}^{\text{макс}} = 36{,}39 \text{ кВт}.$$

Витрати теплоти за рік на гаряче водопостачання за період опалення:

$$Q_{\text{г.в.}}^{\text{п.о.}} = 24 Q_{\text{г.в.}} \cdot n_0, \text{МДж/год}, \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{г.в.}}^{\text{п.о.}} = 24 \cdot 54{,}58 \cdot 189 = 2475945 \text{ МДж/год},$$

$$\text{або } Q_{\text{г.в.}}^{\text{п.о.}} = 68776 \text{ кВт}.$$

В літній період:

$$Q_{\text{г.в.}}^{\text{л}} = 24 Q_{\text{г.в.}} \frac{(t_{\text{г.в.}} - t_{\text{х.в.}}^{\text{л}})}{(t_{\text{г.в.}} - t_{\text{х.в.}})} \cdot \beta (350 - n_0), \frac{\text{МДж}}{\text{год}}, \quad (3.14)$$

де $t^{л}_{х.в.}$ – температура холодної води в літній період ($t^{л}_{х.в.}$=15°С);

350 – розрахункова кількість діб за рік роботи системи гарячого водопостачання;

β – коефіцієнт, за допомогою якого ураховують зменшення середньогодинної витрати води на гаряче водопостачання у літній період по відношенню до періоду опалення, β = 1,0.

$$Q_{\text{г.в.}}^{\text{л}} = 24 \cdot 54{,}58 \frac{(55 - 15)}{(55 - 5)} \cdot 1 (350 - 189) = 178462{,}3 \frac{\text{МДж}}{\text{год}},$$

$$\text{або } Q_{\text{г.в.}}^{\text{л}} = 49572{,}86 \text{ кВт}.$$

Загальна витрата теплоти за рік на гаряче водопостачання житлових і промислових будівель:

$$Q_{г.в}^{рік} = Q_{г.в.}^{п.о.} + Q_{г.в.}^{л}, МДж\ , \quad (3.15)$$

$$Q_{г.в}^{рік} = 247595 + 178462{,}3 = 426057{,}3\ МДж,$$

$$або\ Q_{г.в}^{рік} = 11834{,}92\ кВт.$$

Проведемо аналогічні розрахунки витрати теплоти на гаряче водопостачання для цеху №2:

$$Q_{г.в.} = \frac{15 \cdot 37 \cdot (70-5)}{24} \cdot 4{,}19 = 62{,}98 \frac{МДж}{год},$$

$$або\ Q_{г.в.} = 17{,}49\ кВт.$$

$$Q_{г.в.}^{макс} = 2{,}4 \cdot 62{,}98 = 151{,}14\ МДж/год,$$

$$або\ Q_{г.в.}^{макс} = 41{,}98\ кВт.$$

$$Q_{г.в.}^{п.о.} = 24 \cdot 62{,}98 \cdot 189 = 285686{,}4\ МДж/год,$$

$$або\ Q_{г.в.}^{п.о.} = 79{,}36\ кВт.$$

$$Q_{г.в.}^{л} = 24 \cdot 62{,}98 \frac{(55-15)}{(55-5)} \cdot 1(350-189) = 205918 \frac{МДж}{год},$$

$$або\ Q_{г.в.}^{л} = 57199{,}44\ кВт.$$

$$Q_{г.в}^{рік} = 285686{,}4 + 205918 = 491604{,}4\ МДж,$$

або $Q_{г.в}^{рік} = 136556{,}78$ кВт.

3.1.4 Розрахунок теплових втрат через вікна цеху

У цеху розташовано 10 вікон достатньо великої площі, що вагомо позначиться на кількості теплових втрат.

Теплотехнічний розрахунок проводимо згідно ДБН В.2.6-31:2016. Приведений опір теплопередачі існуючих огороджуючих конструкцій повинен бути не менше його нормативного мінімального значення, який визначається з умови санітарно-гігієнічних вимог по енергозбереженню.

$$R_{\sum пр} \geq R_{qмін} \ , \tag{3.16}$$

де $R_{qмін}$– мінімально допустиме значення опору огороджуючи конструкцій будівлі визначається з ДБН В.2.6-31:2016 в залежності від температури зон експлуатації будівлі та тепловологого режиму приміщень та теплової інерції огороджуючих конструкцій.

$$D = \sum_{i=1}^{n} R_i \cdot S_i, \tag{3.17}$$

де R_i – термічний опір і-го шару конструкції.

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} \ , \tag{3.18}$$

де δ_i- товщина і-го шару конструкції;

λ_i- теплопровідність матеріалу і-го шару конструкції;

S_i- коефіцієнт теплоусвоєння матеріалу в розрахункових умовах експлуатації;

n – кількість шарів за напрямом руху теплового потоку;

$\mathcal{L}_в, \mathcal{L}_з$- коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхні огороджуючої конструкції.

Приведений опір:

$$R_{\sum пр} = \frac{1}{\mathcal{L}_в} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\mathcal{L}_з}, \quad (3.19)$$

$$R_{\sum пр} = \frac{1}{8} + \quad \frac{0{,}03}{0{,}76} + \frac{1}{23} = 0{,}172.$$

Сумарний розрахунок теплових втрат через огороджувальну конструкцію:

$$Q_{ок} = \frac{F_{огр}}{R_{\sum пр}} \cdot (t_в - t_з), \text{ Вт}, \quad (3.20)$$

де $F_{вік}$ – розрахункова площа поверхні вікон;

$t_в$ – температура у середині будівлі;

$t_з$ – температура зовнішнього повітря.

$$F_{вік} = (3 \cdot 4) \cdot 10 = 120\, м^2.$$

Для даного випадку: $t_в = 18℃;\ t_з^{max} = -15℃;\ t_з^{ср} = -3℃.$

$$Q_{вік}^{max} = \frac{120}{0{,}172} \cdot (18 + 15) = 22{,}96 \text{ кВт};$$

$$Q_{вік}^{ср} = \frac{120}{0{,}172} \cdot (18 + 3) = 14{,}61 \text{ кВт.}$$

3.1.5 Теплові надлишки від технологічного обладнання, що має електродвигуни:

$$Q_{маш} = n_{спр} \cdot n_в \cdot \sum N\text{эл} \cdot n, \text{ кВт,} \quad (3.21)$$

де Nэл - встановлена потужність електродвигунів одиниці обладнання, кВт;

n – кількість обладнання даного типу, од.;

$n_{спр}$ - коефіцієнт попиту електроенергії;

$n_в$ - коефіцієнт, що враховує фактичне потрапляння тепла у приміщення.

$$Q_{маш} = 0{,}8 \cdot 1 \cdot (2+3+13{,}8+1{,}5+12{,}9+14+19) \cdot 1 = 52{,}960 \text{ кВт.}$$

Для цеху №2:

$$Q_{маш} = 0{,}8 \cdot 1 \cdot ((2+3+13{,}8+1{,}5+12{,}9+14) \cdot 1+19 \cdot 2) = 68{,}160 \text{ кВт.}$$

3.1.6 Теплові надлишки від штучного освітлення:

$$Q_{осв} = 1000\ N_{осв}\ F_n\ b, \text{ кВт,} \quad (3.22)$$

де $N_{осв}$ – питома електрична потужність на освітлення, кВт/м^2;

F_n - площа цеху, м^3;

b – коефіцієнт, що враховує фактичне потрапляння тепла від світильників у приміщенні.

$$Q_{осв}=1000\cdot0.05\cdot480\cdot0.4=9600 \text{ кВт.}$$

3.1.7 Надходження теплових надлишків від людей:

$$Q_л = q_1^n \cdot m, \qquad (3.23)$$

q_1^n - повне тепловиділення однією людиною, що приймається рівним 222 Вт;

m – число людей, що одночасно працює в цеху в одну зміну.

$$Q_л = 222\cdot13 = 2{,}89 \text{ кВт.}$$

Для цеху №2:

$$Q_л = 222\cdot15 = 3{,}33 \text{ кВт.}$$

3.2 Вибір твердопаливного котла

Найбільш оптимальним варіантом за функціональністю та екологічністю виявилися твердопаливні котли ПОЖ ІНКА виробництва м. Харків (рис.3.1).

Котел на твердому паливі для водяного опалення ПОЖ ІНКА призначений для спалювання будь-яких відходів, працює за принципом газогенерації. У первинній камері паливо (біомаса) газифікується при температурі 600-900 °С, а у вторинній відбувається повне згоряння при додаванні вторинного повітря.



Рисунок 3.1 – Твердопаливний котел ПОЖ ІНКА

Слід зазначити різноманітний асортименти вибору й значно більш низькі ціни в порівнянні із закордонними аналогами. Також дані котли мають один з найвищих ККД і відносно невеликі габаритні розміри й вагу при аналогічній потужності.

В таблиці 3 наведені основні показники піролізних двокамерних котлів.

Таблиця 3.1 – Характеристики піролізних двокамерних котлів ПОЖ ІНКА

Номінальна потужність	кВт	100	250	500	1500
1	2	3	4	5	6
Діапазон регулювання потужності	кВт	80...128	200...280	400...590	1200...1750
Площа обігріву	м ^{2}	800...1290	1000...2900	4000...5600	12000...17500
ККД	%	89-91	89-91	89-91	89-91

Продовження таблиці 3.1

1		2	3	4	5	6
Діапазон регул. t° води		0°С	70...95	70...95	70...95	70...95
Максимальний тиск води		МПа	0,6	0,6	0,6	0,6
Обсяг одноразового завантаження палива		$м^3$	0,3	0,6	0,6	1,8
Розміри	труби	мм	51х4	51х4	51х4	133х4
	фланш труби	мм	160	160	160	160
	розміри димоходу	мм	200х200	290х290	490х490	590х590
Тяга в топці		Па	20	20	20	20
		мм H_2	2,0	2,0	2,0	2,0
Труба димова, рекомендовані розміри	діаметр	мм	200	300	500	600
	висота	м	10	15	15	25
Потік диму, що викидається (вологість палива 30%)		$м^3$/год	432	532	1032	7532
		(кг/с)	(0,15)	(0,15)	(0,15)	(0,15)
Аеродинамічний опір		Па	185	185	185	185
Вага		кг	2500	4000	6000	14000
Вартість		грн	40 000	63 000	93 000	245 000

ККД котла ПОЖ ІНКА 90-92 %**.** Котел має в своєму складі бункер - накопичувач ємністю від 1 до 100 $м^3$, який дозволяє подавати тверде паливо

Котел ПОЖ ІНКА має контроль і керування, яке проводиться із щита управління АСУ котла.

За допомогою автоматики управляються наступні процеси:

- робота бункера-накопичувача по подачі палива в котел,
- контроль рівня палива в бункері-накопичувачі (опція),
- вентиляторів первинного й вторинного повітря,
- димососа для підтримки стабільних параметрів роботи котла,
- протипожежна система безпеки накопичувального бункера,
- захист від збільшення температури теплоносія за котлом.

Автоматика комплектується надійними комплектуючими й блоками відомих фірм-виробників. Програмний блок керування забезпечений можливістю підключення до комп'ютера (опція).

Треба зауважити, що твердопаливні котли з піролізним спалюванням деревини мають досить великий ККД (до 92%) і при роботі в них майже не утворюється сажа й з'являється мінімальна кількість золи. До недоліків піролізних твердопаливних котлів можна віднести необхідність електроживлення й більш високу, у порівнянні із традиційними паливними котлами, ціну.

Відмітні переваги даних котлів:

- сировиною модульної твердопаливної котельні є будь-яка біомаса (тріска, ошурки, кореневища, гілки, солома, торф і т.д.) і відходи меблевого виробництва ДСП, ДВП, МДФ;
- топка котла виготовлена із жароміцної цегли, що втримує температуру 1750 ^{o}C, що дозволяє спалювати паливо підвищеної вологості (до 60%);
- в систему автоматизації котла входять давачі температури, давач контролю тяги в котлі, регулятор обертів вентиляторів первинної й вторинної камери, тепловий лічильник, водяний витратомір, автоматика рівномірної подачі палива в котел. З використанням АСУ ТП котла на базі

комп'ютера користувач зможе постійно контролювати на екрані монітора ККД котла, витрата палива й вироблене тепло;

- високий ККД котла досягається за рахунок використання 2-камерної топки;
- мінімальний вміст у димових газах шкідливих речовин;
- тривалий термін служби - не менш 15 років;
- високий рівень автоматизації, що дозволяє забезпечити безаварійну експлуатацію котелень без обслуговуючого персоналу (контроль роботи котелень може здійснюватися з вилученого диспетчерського пульта через мережу Internet).

Для забезпечення необхідної теплової потужності слід установити котел на 500 кВт для двох цехів і складу готової продукції.

Котел працює підчас опалювального сезону та має спеціальний бак для забезпечення гарячого водопостачання протягом усього року.

Також до комплексу теплопостачання входять дробарка і сушарка для деревини. Дробарка призначена для переробки деревних відходів (некондиційних шматків, великих обрізків, відходів меблевого виробництва, відходів деревообробки і т.д.) у дрібне обпилювання; її вартість складає 52000 грн. Сушарка необхідна для висушування пиломатеріалів, що надає їм більшої якості та збільшує інтенсивність їх спалювання у котлі.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

4.1 Обгрунтування вибору варіанту теплопостачання

4.1.1 Базовий варіант теплопостачання

Визначення кількості газу, що спалюється при базовому варіанті теплопостачання:

$$G_{газ} = 1{,}15 \cdot G_1 \cdot k \cdot 24 \cdot n / 1000, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.1)$$

де G_1 – годинна витрата палива, м^3/год;

k = 0,5 – коефіцієнт залежний від температурного режиму будинку (середньозважений);

n = 189 – число діб в опалювальному сезоні (для м. Запоріжжя).

$$G_{газ} = 1{,}15 \cdot 20{,}7 \cdot 0{,}5 \cdot 24 \cdot 189 / 1000 = 55{,}71, \text{ тис.м}^3$$

Вартість газу, що спалюється протягом опалювального періоду:

$$B_{т/п} = G_{газ} \cdot C_{газ}, \text{ грн} \quad (4.2)$$

де $C_{газ}$ - вартість газу. Вартість 1000 м^3 газу для підприємств складає 16706 грн без транспортування, загальна вартість - 18000 грн.

$$B_{т/п} = 55{,}71 \cdot 18000 = 1002780 \text{ грн}$$

4.1.2 Встановлення твердопаливних котлів

Капітальні вкладення на встановлення на фабриці твердопаливних котлів:

$$К_к = В_к + В_{др} + В_{суш} + К_{тр} + К_м + К_{ПНР}, \text{ грн} \quad (4.3)$$

де $В_к$ – вартість одного котла;

$В_{др}$ – вартість дробарки для деревини;

$В_{суш}$ – вартість сушарки для деревини;

$К_{тр}$ – витрати на транспортування;

$К_м$ – витрати на монтажні роботи, для одного котла;

$К_{ПНР}$ – витрати на пуско-налагоджувальні роботи;

$К_к = 186000+156000+63030+0,05 \cdot 186000+ 6300 + 0,1 \cdot 186000 = 439230$ грн.

Амортизаційні відрахування знаходимо за формулою:

$$С_{ам} = В_к/Т_{ск}, \text{ грн}, \quad (4.4)$$

де $Т_с$ – розрахунковий термін служби твердопаливного котла, $Т_с$ приймають 15 років;

$$С_{ам} = 186000/15 = 12400 \text{ грн}.$$

Кошти, що витрачаються щорічно на ремонт обладнання:

$$С_{рем} = 0,1 \cdot С_{ам}, \text{ грн}, \quad (4.5)$$

$$С_{рем} = 0,1 \cdot 12400 = 1240 .$$

Експлуатаційні затрати складають:

$$С_е = С_{ам} + С_{рем} + n_{оп} \cdot З, \text{ грн,} \quad (4.6)$$

де $n_{оп}$ – кількість місяців в опалювальному періоді, $n_{оп} = 6$;
З – місячна заробітна плата робітника, що обслуговує встановлені котли.

$$С_е = 12400 + 1240 + 6 \cdot 20000 = 133640 \text{ грн.}$$

Щорічна економія витрат при встановленні твердопаливного котла:

$$Е_к = В_{т/п} – С_е, \text{ грн,} \quad (4.7)$$

$$Е_к = 1002780-133640 = 869140 \text{ грн}$$

Простий термін окупності знаходимо за формулою:

$$Т_{ок(к)} = К_к/Е_к \text{ ,років} \quad (4.8)$$

$$Т_{ок} = 439230/869140 = 0,51 \text{ року.}$$

4.1.3 Теплонакопичувачі

Капітальні вкладення на встановлення на підприємстві теплонакопичувачів:

$$К_{тн} = n_{тн} \cdot В_{тн} + В_{дл} + В_{кл0,38} + В_{кл} + В_{б} + К_{тр} + К_{м}, \text{ грн}, \quad (4.9)$$

де $n_{тн}$ – кількість теплонакопичувачів, $n_{тн} = 81$;

$В_{тн}$ – вартість одного теплонакопичувача, $В_{тн} =$ 17340 грн;

$В_{дл}$ – вартість дифлічильника електроенергії, $В_{дл} =$ 23180 грн;

$В_{кл0,38}$ – вартість проводів, що з'єднують теплонакопичувачі з електромережею;

$В_{кл}$ – вартість проводів, що з'єднують цехи з джерелом електроенергії;

$В_{б}$ – вартість промислового електронагрівача (бойлера) для потреб гарячого водопостачання, $В_{б} =$ 10056грн;

$К_{тр}$ – витрати на транспортування, $К_{тр} = 0,02В_{к}$;

$К_{м}$ – витрати на монтажні роботи, для одного теплонакопичувача: $К_{м} = 0,015В_{к}$.

$$В_{кл0,38} = (l_{ц1} + l_{ц2} + l_{с}) \cdot Ц_{кл0,38}, \text{ грн} \quad (4.10)$$

де $l_{ц1}$, $l_{ц2}$, $l_{с}$ – довжина проводу для першого цеху, для другого та для складу відповідно;

$Ц_{кл0,38}$ – ціна 1м проводу марки ВВГ 3х2,5, $Ц_{кл0,38} = 48,17$грн.

$$В_{кл0,38} = (108 + 107,2 + 57,2) \cdot 48,17 = 13121,508 \text{ грн.}$$

Для забезпечення необхідної потужності необхідно прокласти 4 кабелі КГ-ХЛ 3х120+1х35.

$$В_{кл} = L \cdot 4 \cdot Ц_{кл} \quad (4.11)$$

L – довжина кабелю, що з'єднує цехи з джерелом живлення, L = 100м;

$Ц_{кл}$ – ціна 1м проводу марки, $Ц_{кл}$ = 1189 грн/м.

$$В_{кл} = 100 \cdot 4 \cdot 1189 = 475600 \text{ грн.}$$

$$К_{тн} = 81 \cdot 17340 + 23180 + 13121{,}508 + 475600 + 10056 + 0{,}02 \cdot 81 \cdot 17340 + 0{,}15 \cdot 81 \cdot 17340 = 2165269{,}31 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування знаходимо за формулою:

$$С_{ам} = В_{тн}/Т_{стн}, \text{ грн.} \quad (4.12)$$

де $Т_{стн}$ – розрахунковий термін служби теплонакопичувача, $Т_{стн}$ приймають 30 років.

$$С_{ам} = 17340/30 = 578 \text{грн,}$$

$$С_{рем} = 0{,}1 \cdot 578 = 57{,}80 \text{ грн .}$$

Експлуатаційні затрати складають:

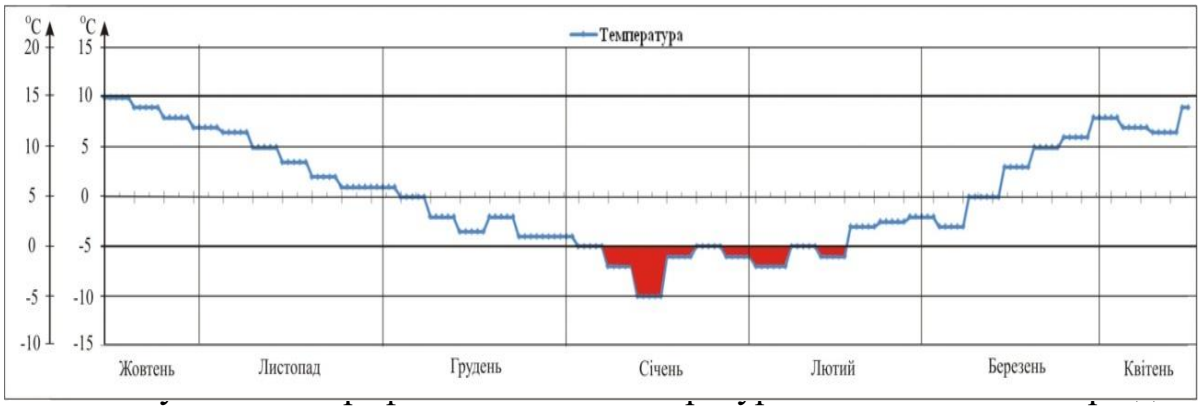
$$С_{е} = n_{тн}(С_{ам} + С_{рем}) + \Delta В, \text{ грн,} \quad (4.13)$$

де ΔВ – додаткові річні витрати електроенергії на теплонакопичувачі.

$$\Delta В = n_{о} \cdot \Delta В, \text{ грн ,} \quad (4.14)$$

де $n_{о}$ – тривалість опалювального періоду, діб.

Розглянемо графік змінення температур в опалювальний період, який має досить нерівномірну структуру у різні проміжки часу (рис.4.1).



Проаналізувавши дані графіка можна визначити, що теплонакопичувачі будуть працювати максимально протягом 97 діб (замість 189 діб опалювального періоду). Отже приймемо $n_o = 97$.

Знаходимо експлуатаційні затрати:

$$C_e = 81(578+ 57,80) + 67702,12 = 119201,92 \text{ грн.}$$

Щорічна економія витрат при встановленні теплонакопичувачів:

$$E_{тн} = B_{т/п} – C_e, \text{ грн,} \qquad (4.15)$$

$$E_{тн} = 1002780–119201,92= 883578,08 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності знаходимо за формулою:

$$T_{ок(тн)} = K_{тн}/E_{тн} \text{ , років,} \qquad 4.16)$$

$$T_{ок(тн)} = 2165269,31 /883578,08= 2,45 \text{ років.}$$

Як бачимо, термін окупності при встановленні на підприємстві локальних теплонакопичувачів дещо більший, ніж при встановленні твердопаливних піролізних котлів. Перехід до дифтарифу значно зменшує витрати на електроенергію. При встановленні локальних теплонакопичувачів переплата за електроенергію зовсім незначна, та при цьому отримуємо істотну економію порівняно із базовим варіантом теплопостачання, цей варіант є доцільним. Також прийнято рішення встановити твердопаливний котел потужністю 500 кВт ПОЖ ІНКА 500 виробництва м. Харків.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі досліджено заходи щодо підвищення енергоефективності підприємства.

Проведено аналіз ефективності роботи котельного обладнання та теплонакопичувачів, розглянута можливість відмови підприємства від газового опалення шляхом зміни джерела теплопостачання.

Запропоновано математичну модель теплонакопичувача. Запропоновано до встановлення твердопаливний котел та локальні теплонакопичувачі. Паливом для котла є відходи ДСП та МДФ, яких завжди на підприємстві в достатній кількості, відсутні витрати на електроенергію. Також до комплексу теплопостачання входять дробарка та сушарка, що підготовлюють паливо, роблять його більш якісним, внаслідок чого підвищується ККД котла.

Доцільність впровадження обладнання підтверджено техніко-економічними розрахунками. Щорічна економія витрат при встановленні твердопаливного котла складає 869140грн., термін окупності 0,51 року. Щорічна економія витрат при встановленні теплонакопичувачів складає 883578,08 грн, термін окупності 2,45 років.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1.Олійник Б.В. Підвищення ККД кожухопластинчастих теплообмінників та зниження їх гідравлічного опору за допомогою поверхнево-активних речовин [Електронний ресурс] / Б.В. Олійник, П.О. Барабаш // Магістерська дисертація. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41150/1/Olijnik_magistr.pdf (дата звернення: 05.02.2025).

2.Єзгор А.В. Розробка перспективних родовищ торфу з подальшою рекультивацією порушених земель [Електронний ресурс] / А.В. Єзгор // Автореферат дисертації. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – Режим доступу: https://geobud.kpi.ua/wp-content/uploads/Автореферат-Єзгор-А.В..pdf (дата звернення: 05.02.2025).

3.Кириллова С.О. Дослідження лушпиння соняшникового пресованого гранульованого [Електронний ресурс] / С.О. Кириллова // Тези доповідей. – Харків: ХДУХТ, 2019. – С. 56. – Режим доступу: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/52260/1/Tezy_dop_Tovaroznavcha_nauka_2019_56.pdf (дата звернення: 05.02.2025).

4. Дичковський Р. О., Фальштинський В. С., Табаченко М. М., Лозинський В. Г., Саїк П. Б. До питання підвищення концентрації газу метану та варіація складом синтез-газу при підземній газифікації вугілля // Форум гірників – 2015: матеріали міжнар. конф., 30 вересня – 3 жовтня 2015 р. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – Т. 1. – С. 48–57.

5. Лис М. П., Копей Б. І., Копей І. Б. Аналіз експериментальних досліджень процесу газифікації низькосортних палив // Наук. вісн. НЛТУ України. – 2015. – Т. 25, № 2. – С. 136–141.

6. Сіропятова, Т. Є. Ефективність електроопалення із застосуванням теплонакопичувачів [Електронний ресурс] / Т. Є. Сіропятова // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в регіонах України». – 2009. – С. 238–240. – Режим доступу: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/14690/2/Conf_2009v1_Siropiatova_T-Efektyvnist_elektroopalennia_238.pdf.

7. Козлов, В. В. Визначення необхідної потужності електричних теплоакумуляційних обігрівачів [Електронний ресурс] / В. В. Козлов, О. В. Козлова // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Теорія і практика будівництва. – 2015. – № 813. – С. 127–132. – Режим доступу: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4128/21222.pdf.

8. Аналіз температурного режиму в опалюваному приміщенні при використанні теплонакопичувача [Електронний ресурс] // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси і обладнання. – 2017. – № 29 (1241). – С. 45–50. – Режим доступу: Теплофізика та теплоенергетика [Електронний ресурс] // Видавничий дім «Академперіодика». – Режим доступу: https://akademperiodyka.org.ua/uk/journals/теплофізика-та-теплоенергетика/.

9. Вербовський В.С. Математична модель і результати розрахунку енергетичних показників теплообмінника утилізації теплового акумулятора (ТА) двигуна внутрішнього згоряння [Електронний ресурс] // Наукові розробки. – Режим доступу: https://diser.ntu.edu.ua/VerbovskiyVS_dis.pdf. – Дата звернення: 20.10.2024.

10. Лисак О. В. Визначення необхідної потужності електричних теплоакумуляційних обігрівачів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 127–132.

11. Мандрика А. С. та ін. Енергоефективні технології: навчальний посібник / за заг. ред. А. С. Мандрики. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – 330 с.

12. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.

13. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: навч. посіб. – Львів: «Магнолія 2006», 2008. – 188 с.

14. Ковальов І. О., Ратушний О. В. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії України: навч. посіб. – Суми: СумДУ, 2016. – 201 с.

15. Теплонакопичувачі: принципи роботи та застосування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energozarada.com.ua/teplonakopychuvachi/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 21.10.2024.

16. Теплові акумулятори для опалення: переваги та недоліки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eco-teplo.com.ua/teplovi-akumulyatory/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 21.10.2024.

17. Теплонакопичувачі: принципи роботи та застосування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energozarada.com.ua/teplonakopychuvachi/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 20.10.2024.

18. Теплові акумулятори для опалення: переваги та недоліки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eco-teplo.com.ua/teplovi-akumulyatory/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 20.10.2024.

18. Гончаренко В. М., Сидоренко Л. П. Використання теплоакумуляторів у системах опалення з альтернативними джерелами енергії // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика та теплотехніка. – 2018. – № 45. – С. 56–62.

19. Теплоакумулятори в системах опалення: принципи роботи та вибір [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://teplo.gov.ua/teploakumulyatory/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 21.10.2024.

20. Іванов П. В., Ковальчук М. І. Ефективність використання теплоакумуляторів у комбінованих системах опалення // Енергетика та енергозбереження. – 2021. – № 4. – С. 78–85.

21. Теплоакумулятори для приватних будинків: огляд ринку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://domoteplo.com.ua/teploakumulyatory/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 21.10.2024.

22. Петренко О. В., Бойко В. І. Оптимізація параметрів теплоакумуляторів для локальних систем опалення // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика. – 2020. – № 312. – С. 112–118.

23. Теплоакумулятори в системах теплових насосів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://teplo-nasosy.com.ua/teploakumulyatory/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 21.10.2024.

24. Ковальчук О. В., Лисак М. П. Дослідження ефективності теплоакумуляторів у системах з відновлюваними джерелами енергії // Вісник Львівської політехніки. Серія: Енергетика. – 2019. – № 5. – С. 45–52.

25. Теплоакумулятори: вибір, монтаж, експлуатація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://teplo-ua.com.ua/teploakumulyatory/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 21.10.2024.

26. Сидоренко С. М., Кравченко О. В. Енергозберігаючі технології в системах опалення з теплоакумуляторами // Енергетика та автоматика. – 2022. – Т. 3, № 55. – С. 23–29.

27. Теплоакумулятори в системах сонячного опалення: практичний досвід [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://solar-heating.com.ua/teploakumulyatory/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 21.10.20

28. Мельник, В. П., & Лисенко, О. Г. *Ефективність використання твердопаливних котлів у промислових умовах* [Текст] / В. П. Мельник, О. Г.

Лисенко // Енергетика та автоматика. – 2021. – № 4. – С. 45–52. – ISSN 2312-1234.

29. Кравченко, В. І., & Бондаренко, С. В. *Технологічні аспекти роботи твердопаливних котлів*[Текст] / В. І. Кравченко, С. В. Бондаренко // Вісник НТУУ "КПІ". Серія: Енергетика. – 2020. – № 5. – С. 67–75. – ISSN 2311-1234.

30. Ткачук, М. І., & Гончаренко, О. В. *Екологічні аспекти використання твердопаливних котлів*[Текст] / М. І. Ткачук, О. В. Гончаренко // Енергоефективність та енергозбереження. – 2019. – № 2. – С. 34–41. – ISSN 2312-4567.

31. Лисенко, В. В., & Шевчук, О. М. *Оптимізація роботи твердопаливних котлів* [Текст] / В. В. Лисенко, О. М. Шевчук // Науковий вісник НЛТУ України. – 2022. – № 3. – С. 56–63. – ISSN 2312-5678.

32. Гончар, О. І., & Ковальчук, В. П**.** *Сучасні тенденції розвитку твердопаливних котлів* [Текст] / О. І. Гончар, В. П. Ковальчук // Енергетика: економіка, технології, екології. – 2023. – № 1. – С. 78–85. – ISSN 2312-7890.