

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут

атомної та теплової енергетики

Кафедра теплової та

альтернативної енергетики

«На правах рукопису»
УДК 66.048.5: 629.7.048

«До захисту допущено»

Завідувачка кафедри

Ольга ЧЕРНОУСЕНКО

_____ (підпис)

_____ (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

“ ____ ” _____ 2024 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: «Покращення еколого-теплотехнічних характеристик котлів шляхом застосування високоефективних технологій спалювання».

Виконала : студентка II курсу, групи ТУ-21мн

Юрчук Вікторія Сергіївна

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник: проф., д.т.н. Абдулін Михайло Загретдинович

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Рецензент _____

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студентка _____

_____ (підпис)

Науковий керівник _____

_____ (підпис)

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря
Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теплової та альтернативної енергетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»,

ОНП «Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій»

«До захисту допущено»

Завідувачка кафедри

_____ Ольга ЧЕРНОУСЕНКО

(підпис)

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студентки
Юрчук Вікторії Сергіївни
(прізвище, ім'я, по батькові)

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

1. Тема дисертації: «Покращення екологічних показників котлоагрегатів малої потужності шляхом використання новітніх процесів спалювання палива», науковий керівник дисертації Абдулін Михайло Загреддинович, проф., д.т.н., затверджений наказом по університету від «26» 03 2024 р. № 1456-с
2. Термін подання студентом дисертації 15.05.2024р.
3. Об'єкт дослідження: котлоагрегати типу ДКВР та КВГМ
4. Предмет дослідження: режимні параметри роботи котлоагрегатів ДКВР та КВГМ при різних значеннях навантаження при використанні струменево-нішевих пальників.
5. Перелік завдань, які необхідно розробити
 - 1) Літературний огляд публікацій щодо проблематики та перспектив енергетики України з врахуванням війни.
 - 2) Огляд публікацій щодо струменево-нішевої технології, дослідження видів пальникових пристроїв.
 - 3) Дослідження котлоагрегатів типу ДКВР та КВГМ та вивчення принципу роботи.
 - 4) Дослідження режимних параметрів котлоагрегатів ДКВР та КВГМ з подальшим розрахунком режимних карт.
 - 5) Побудувати графіки які базуються на зведеній таблиці еколого-теплотехнічних випробувань.
 - 6) Аналіз та дослідження отриманих графіків з поясненням процесів та вагомості впливів на показники економічності та екологічності.
 - 7) Оформлення та подання дисертації.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстраційного) матеріалу:
- 1) Зведені таблиці з розрахунками, які отримані завдяки проведенню еколого-теплотехнічних випробувань для котлоагрегатів ДКВР та КВГМ.
 - 2) Графіки, які демонструють залежність коефіцієнту надлишку повітря, втрат теплоти, коефіцієнту корисної дії від температури відхідних газів та теплопродуктивності для котлоагрегатів ДКВР та КВГМ.
 - 3) Графіки, які демонструють залежність концентрації шкідливих речовин від температури димових газів та теплопродуктивності.
7. Орієнтовний перелік публікацій:
- 1) Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення»(Випуск 72) з публікацією на тему ANALIZA PORÓWNAWCZA EMISJI TLENKÓW AZOTU PODCZAS SPALANIA ANTRACYTU W RÓŻNYCH ELEKTROWNIACH
 - 2) Наукова стаття в міжнародному виданні «Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33(72) №6 на тему Покращення екологічних показників котлоагрегатів КВГМ 100 шляхом модернізації пальникових пристроїв
8. Дата видачі завдання 13.03.2024

Календарний план

№з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Літературний огляд публікацій щодо проблематики та перспектив енергетики України з врахуванням війни.	13.04.2024	
2.	Огляд публікацій щодо струменево-нішевої технології, дослідження видів пальникових пристроїв.	20.04.2024	
3.	Дослідження режимних параметрів котлоагрегатів ДКВР та КВГМ з подальшим розрахунком режимних карт.	27.03.2024	
4.	Дослідження режимних параметрів котлоагрегатів ДКВР та КВГМ.	10.04.2024	
5.	Побудова графіків, які базуються на зведеній таблиці еколого-теплотехнічних випробувань.	17.04.2024	
6.	Аналіз та дослідження отриманих графіків	03.05.2024	
7.	Оформлення та подання дисертації	15.05.2024	

Студентка

_____ (підпис)

Вікторія ЮРЧУК
(ім'я, прізвище)

Науковий керівник

_____ (підпис)

Михайло АБДУЛІН
(ім'я, прізвище)

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

**на тему: «Покращення еколого-технічних характеристик котлів шляхом
застосування високоефективних технологій спалювання»**

Київ – 2024 р.

Анотація

Магістерська дисертація другого (магістерського) рівня вищої освіти на тему «Покращення екологічних показників котлоагрегатів малої потужності шляхом використання новітніх процесів спалювання палива»: пояснювальна записка на сторінки., рис., табл., бібліографічних найменувань.

Мета магістерської дисертації – дослідження впливу струменево-нішевої технології на екологічні, економічні показники та на показник ефективності для парових та водяних котлоагрегатів малої потужності.

В ході даної роботи проведено аналіз екологічних показників та показників ефективності. Виконано дослідження шкідливого впливу на екологію під час процесу спалювання палива та досліджено технологію, яка має позитивний вплив на покращення екологічності на основі реальних досліджень.

Використовуючи реальні, дійсні дані, які отримані шляхом вимірювань розраховано режимні карти на основі яких проведено ряд досліджень, побудовано графічні зображення залежностей, які мають вагомий вплив на загальну оцінку ефективності, екологічності та економічності будь-якого котлоагрегату. На основі отриманих режимних карт надано рекомендації щодо подальшої роботи даних котлоагрегатів, які працюють на природному газі на території України.

Abstract

Master's dissertation of the second (master's) level of higher education on the topic "Improvement of ecological indicators of small capacity boiler units through the use of advanced fuel combustion processes": explanatory note on pages, figures, tables, bibliographic references.

The purpose of the master's dissertation is to study the impact of jet-nozzle technology on the ecological, economic indicators, and efficiency indicators for steam and water boiler units of small capacity.

During this work, an analysis of ecological indicators and efficiency indicators was carried out. A study of the harmful impact on the environment during the fuel combustion process was conducted, and a technology that has a positive impact on improving ecological conditions based on real research was explored.

Using real, actual data obtained through measurements, operational maps were calculated based on which a series of studies were conducted, and graphical representations of dependencies were constructed, which have a significant impact on the overall assessment of efficiency, ecological friendliness, and economy of any boiler unit. Based on the obtained operational maps, recommendations are provided for further work of these boiler units operating on natural gas in the territory of Ukraine.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1.....	12
ПРОБЛЕМАТИКА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СФЕРИ УКРАЇНИ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ.....	12
1.1 Загальна характеристика енергетичної сфери та наявних проблем.....	12
1.2 Шляхи підвищення ефективності енергосистеми.....	14
1.2.1 Види пального пристроїв.....	14
1.2.2 Екологічна проблематика країни.....	20
1.2.3 Струменево-нішева технологія спалювання палива.....	26
РОЗДІЛ 2.....	31
ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
2.1 Котлоагрегати малої потужності.....	31
2.1.1 Різновиди парових котлів.....	37
2.1.2 Котлоагрегати типу КВГМ та ДКВР.....	41
2.1.3 Методика проведення вимірювань температури вихідних газів в котлоагрегатах.....	44
РОЗДІЛ 3.....	47
РОЗРАХУНОК ЕКОЛОГО-ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ПАРОВИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	47
3.1 Мета та задачі випробувань.....	47
3.2 Методика випробувань, вимірів та розрахунків.....	47
3.2.1 Теплотехнічна частина.....	47
3.2.2 Екологічна частина.....	48
3.3 Складення режимних карт для котлоагрегатів.....	51
3.3.1 Режимна карта котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№1.....	51

3.3.2 Режимна карта котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№2	55
3.3.3 Режимна карта котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№3	58
3.3.4 Режимна карта котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№4	61
3.3.5 Режимна карта котлоагрегату КВГМ-20	63
РОЗДІЛ 4.....	68
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЖИМНИХ КАРТ.....	68
4.1 Дослідження зміни економічних показників котлоагрегату від температури відхідних газів.....	68
4.2 Дослідження втрат теплоти з відхідними газами від теплопродуктивності котлоагрегату	77
4.3 Дослідження зміни екологічних показників котлоагрегату від температури відхідних газів та навантаження	81
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	89
Додаток А СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ	97
Додаток Б ПЕРЕВІРКА МАГІСТЕРСЬКОХ ДИСЕРТАЦІЇ НА АКАДЕМІЧНУ ДОБРОЧЕСНІСТЬ.....	99

ВСТУП

Актуальність теми

На сьогоднішній день енергетика є не від'ємною частиною життя майже всіх людей. Енергетична галузь кожного дня піддається дослідження та спробам модернізації та покращення діючих засад функціонування. Вагомий вплив на розвиток має необхідність дотримання екологічних показників, впровадження альтернативних джерел енергії, через неминуче вичерпування природних копалин та підвищення ефективності діючого устаткування.

Так як Україна знаходить в стадії війни для нас особливо важливим є підвищення економічності, екологічності та ефективності діючого обладнання, тому що кожен день енергетика зазнає неймовірної руйнації, а попит на електроенергію тільки зростає.

У зв'язку з цим необхідно впроваджувати новітні технології для підвищення всіх вище зазначених аспектів на вже існуючі агрегати, так як встановлення нового обладнання потребує глобального капіталовкладення.

Об'єкт досліджень – котлоагрегати типу ДКВР та КВГМ з використанням пальників зі струменево-нішевою технологією.

Метою роботи є дослідження котлоагрегатів, які функціонують на реальному підприємстві та пройшли модифікацію з подальшим дослідженням економічної складової роботи даних котлів та вплив на екологію.

Наукова новизна полягає у проведенні розрахунку та подальшому вивченні струменево-нішевої технології, її переваги та недоліки та доказова база, яка ґрунтується на отриманих режимних картах та зображених графічних залежностях.

Практичне значення отриманих результатів є досить вагомим, так як взявши за основу отримані режимні карти та графічне зображення всіх залежностей, які мають вплив на економічні та екологічні показники, є фактичне підтвердження якості такої модернізації. Наукове підтвердження

необхідності та ефективності модернізації в подальшому дасть змогу покращити наявні котлоагрегати по всій країні, вийти на міжнародний ринок та розвивати та досліджувати дану технологію. В ході проведення дослідницької роботи представлено наявне дослідження струменево-нішевої технології, її позитивні та негативні сторони та демонстрація на реальних об'єктах. Також завдяки проведенню розрахунків надано висновки щодо роботи котлоагрегатів, які використовують дану технологію та обґрунтування надійності даної модернізації.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМАТИКА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СФЕРИ УКРАЇНИ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

1.1 Загальна характеристика енергетичної сфери та наявних проблем

Енергетична галузь досить довгий час займає головне місце в нашому житті. В умовах сьогодення людям майже неможливо уявити своє життя без енергетичних ресурсів і всіх можливостей, які ми отримуємо завдяки ним. У зв'язку з тим, що попит на електроенергію зростає кожен день, енергетична система України потребує прогресивного розвитку та модернізації. Ефективність розвитку вимірюється в еквіваленті підвищення енергетичності, ефективності та екологічності.

Зріст споживання енергії призвів до того, що запаси корисних копалин, які має наша планета стрімко зменшуються. Задля видобутку деревини нищяться цілі ліси, які не встигають відновитись. Вже на даному етапі нашого життя ми стикаємось з проблемою, що певні життєво необхідні галузі не мають необхідної сировини для ефективної роботи. Ми знаходимось на тому етапі, що наше існування залежить від того, чи запровадимо ми зміни, які будуть мати ефективний вплив на споживання природних ресурсів.

Так як в нас постає питання обмеженості ресурсів багато сил науковців спрямовані на розробку більш складних енергоносіїв, що призводить до їх подорожчання. При даному розвитку подій використання більшості енергоносіїв стає попросту нерентабельним.

Існують певні шляхи, які спрямовані на вирішення енергетичної та сировинної проблем:

- Проектування та створення маловідходних, а в кращому випадку взагалі безвідходних виробництв;
- Ефективне використання природних копалин;

- Дослідження надр планети для пошуку нових родовищ каустобіолітів;
- Використовувати матеріали, такі як металобрухт, макулатуру та пластмасу повторно;
- Дослідження та подальше впровадження енергозберезувальних технологій;
- Використання замість природних матеріалів синтетичними;
- Використання альтернативних джерел енергії.

Також особливу увагу потребує дослідження негативного впливу енергетичної галузі на стан екосистеми. Згідно статистичних даних близько 30% від всіх твердих частинок, які потрапляють в атмосферу, утворені шляхом господарської промисловості. Якщо порівнювати всі об'єкти промисловості заданим критерієм, то список найбільш екологічно небезпечних підприємств очолюють електростанції та металургічні фабрики.

У випадку, якщо буде зберігатись така тенденція використання енергетики та кількість викидів двоокису вуглецю, то вже в 2025 відбудеться потепління на нашій планеті на 2 °C, що призведе до критичних кліматичних наслідків.

На рівні з підвищенням попиту на електроенергію, в нашій країні постає питання енергетичної безпеки. Дане питання екстримально ставало актуальним з моменту проголошення незалежності України і пікового значення досягла в момент повномасштабного вторгнення Росії на територію України.

В зв'язку з усіма вище наведеними критеріями суспільство потребує стрімкого розвитку реконструкції та модернізації енергетичних об'єктів з впровадженням сучасних технологій, що допоможе підвищити економічні та екологічні показники.

1.2 Шляхи підвищення ефективності енергосистеми

В даний час, враховуючи умови воєнного часу ми потребуємо покращення та модернізацію систем енергопостачання, які є в нашому користуванні, так як проектування і створення нових є надто дорогим.

Тому для ефективної модернізації на мою думку слід зосередити увагу на модернізації наявних котлоагрегатів, наприклад вдосконаленні палиникових пристроїв та впровадження нових технологій для спалювання палива.

1.2.1 Види палиникових пристроїв

На ефективність процесу горіння мають вплив багато аспектів, серед яких склад та якість паливної суміші та якість стабілізації швидкості згоряння палива. Всі ці фактори детально розглянуто в [1-10].

Абсолютно в кожному водогрійному та паровому котлоагрегаті (окрім електричних котлів) є палиниковий пристрій, який є обов'язковим і важливим елементом.

В палиник подається не тільки палива, але й повітря, вміст кисню в якому становить приблизно 20,9% (за обсягом). Розрахункова кількість повітря, яка необхідна для повного згоряння 1 кг (або 1 м³) палива має назву коефіцієнт витрати повітря, в теорії вона рівняється одиниці. Звісно, при практичному застосуванні для забезпечення певної швидкості горіння на останньому етапі процесу через палиниковий пристрій ми вимушені подавати до пристрою більшу кількість повітря. Це пов'язано з тим, що швидкість процесу горіння на пряму залежить від того, яка концентрація повітря в зоні, де відбувається процес горіння. Якщо значення кількості повітря буде рівне теоретичному значенню, то наприкінці топкового процесу швидкість горіння буде критично низьким. Для характеристики надлишку повітря використовують коефіцієнт "α", який являє собою відношення поданого фактично повітря до теоретичного значення. За кордоном для позначення «надлишку повітря» в інструкціях до

котлоагрегату часто використовують поняття перевищення обсягу кількості фактично поданого повітря над теоретично необхідним (у відсотковому значенні). Отже, значення 10% надлишку повітря дорівнює коефіцієнту надлишку повітря " α " 1,1 і так далі.

Пальникові пристрої розділяють на два загальних типи:

1. Інжекційні (атмосферні) газові пальники;
2. Дутьові газові пальники, де камера згоряння закритого типу.

Також існує класифікація пальникових пристроїв в залежності від роботи:

1. Пальники дутьові (вентиляторні, наддувні)

В даних пальниках повітря подається за допомогою вбудованого вентилятора, дана дія є примусовою. Вже всередині пальника відбувається поєднання з будь-яким паливом, після цього суміш, яка була утворена, нагнітається в топку. Такі пальникові пристрої можуть працювати як на газі, так і на рідкому паливі (відпрацьоване масло, дизель). При використанні газу в якості робочого палива наддувні пальники практично не залежать від значення тиску. Навіть при зменшенні значення тиску газового палива, що поступає на 50%, котел буде нагрівати теплоносії. Дутьові пальники зазвичай не являються частиною котлоагрегату, а приєднуються до нього окремо. На рис. 1 зображено вентиляторні пальники.



Рис.1.1 Вентиляторні пальники

2. Пальники проміжного типу та дифузійні пальники

В цій компоновці пальника повітря доставляється з навколишнього середовища напряму до фронту горіння за допомогою процесу дифузії. Для даних пальників характерною є рівномірніша температура по всій довжині факелу. Однак у них є потреба у підвищеному коефіцієнті надлишку повітря, якщо порівнювати їх з інжекційними. Також відбувається створення гірших умов для догорання газу в звостовій частині факелу, що може бути наслідком для неповного згорання палива і нижчої теплової напруги об'єму топки. Зазвичай використовуються в котлах, де потрібне рівномірне значення температури по всій довжині факелу, працюють при низьких та середніх значеннях тиску. На рисунку 2 представлено зображення даних пальникових пристроїв.

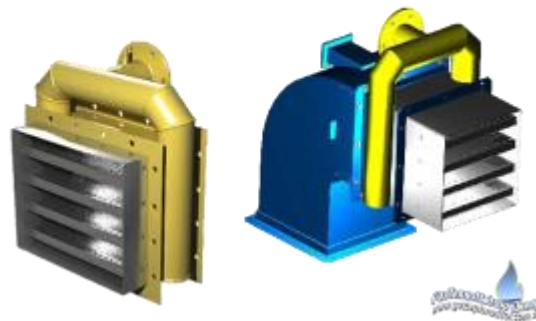


Рис.1.2 Дифузійні пальники

3. Маузні пальники

Як автономні, так і промислові пальники даного типу виробляють теплову енергію шляхом спалювання мазуту. В них використовується механічна система для розпилення палива, при цьому застосовується або пара, або стиснуте повітря. Існує певна модифікація, суть якої полягає в тому, їх оснащують спеціальними соплами низького тиску, що призводить до ефективного використання палива. Також більш сучасні пальники оснащують електрощитами, рухомо-насосною групою для подачі палива та спеціальною системою регулювання. З даними модифікаціями по закінченню роботи відбудеться автоматична очистка сопла, що гарантує зниження технічних витрат. Також використовується система для підігріву

мазуту , щоб підтримувати його постійно у в'язкому стані. Стиснена пара або повітря під тиском приблизно 8 Бар розпорошує пальне.

4. Пило-газові та газо-мазутні пальники.

Використання комбінованих пальників, такі як газо-мазутні та пило-газові доцільне при потребі швидкого переходу з одного типу палива інший, це особливо важливо у зимові місяці, також їх використовують для спільного використання різних типів палива.

Будова даного пальника складається з повітряної, газової та рідинної частин, в свою чергу це забезпечує необхідну кількість мазуту та газу для спалювання палива.

В даних пальниках для спалювання газу подача газу відбувається через отвори в периферії і звідти прямує до центру, під час цього відбувається змішування з закрученим потоком повітря. Також пиле-газовий пальник забезпечується телескопічним пристроєм, щоб приховати трубу, по якій відбувається подача повітряно-пилової суміші в топку, всередину. Даний пристрій також перешкоджає потраплянню пилу в щілини, які є між стаціонарною та пересувною частинами труби.

5. Атмосферні (інжекційні) пальники

В таких пальниках засмоктування повітря, яке необхідне для горіння, відбувається за рахунок енергії від струменю газу, а всередині корпусу пальника відбувається взаємне змішування. В свою чергу інжекційні (атмосферні) пальники розподіляють по наступним критеріям:

1. Низького і середнього тиску (по тиску);
2. Багатофакельні та однофакельні (по виду факела);
3. Односоплові та багатосоплові (за кількість сопел);
4. З розташуванням сопла по центру та з розташуванням на периферії (за розташуванням сопел);

Наступний класифікатор пальникових пристроїв відбувається за способом регулювання:

1. Одноступінчасті пальники

Такі працюють лише в одному, заданому, діапазоні потужності. При їх роботі трапляються часті вмикання та вимкання, регуляція яких відбувається за допомогою автоматики котла.



Рис.1.3 Одноступінчасті пальники

2. Двоступінчасті пальники

Такі пальники оснащені двома ступенями потужності. За рахунок першого ступеня відбувається забезпечення 40% потужностей, другий в свою чергу забезпечує 100%. Перехід між ступенями відбувається за рахунок контрольованого параметра котла (таким слугує температура або тиск пари), а режим ввімкнення/вимкнення має залежність від автоматики котлоагрегату.



Рис.1.4 Двоступінчасті пальники

3. Плавно-двоступінчастий пальник

Даний тип пальника посідає місце між двоступінчастим та модульним пальником. Завдяки даному типу пальника є можливість здійснення плавного переходу з першого на другий ступінь.



Рис.1.5 Плавно-двоступінчастий пальник

4. Модульний пальник

Вони забезпечують безперервне нагрівання котла, за необхідності підвищення або зниження потужності. Діапазон змін режимів горіння може коливатись від 10 до 100% від номінальної потужності.

Дані пальники за принципом роботи модулюючих пристроїв мають градацію на три основні види:

- З механічною системою модуляції;
- З пневматичною системою модуляції;
- З електронною модуляцією.

Пальникові пристрої з електронною модуляцією, на відмінну від двох інших видів, дають змогу досягти максимально можливої точності регулювання, так як вони виключають з роботи пальників механічні похибки.

У таких пальників є ряд переваг:

- є змога зменшити до мінімуму циклічність ввімкнення/вимкнення котлів за рахунок механізму плавного регулювання потужності, в наслідок чого відбувається зниження механічної напруги на стінки і у вузлах котла, що призведе до подовження терміну роботи котла;
- є змога зекономити не менше 5% палива, а при більш логічних налаштуваннях дане значення може сягати вище 15%;
- підвищення ККД котлоагрегату без заміни дорогівартісних котлів, за умови їх справного функціонування.

1.2.2 Екологічна проблематика країни

Приблизні показники показують, що кожен рік в атмосферу планети Земля потрапляють десятки мільйонів тон агресивних газів та пилу з димовими газами від ТЕС, промислової індустрії, котелень та транспорту.

Паливно-енергетична індустрія, транспорт та промисловість, де в основному робочі процеси використовують горіння палива являються основними джерелами антропогенного забруднення атмосфери. Якщо розподілити тип забруднень за фактором масштабування, то можна відокремити локальне, регіональне та глобальне забруднення, всі вони досить щільно пов'язані між собою. Також може відбуватись процес синтезу нових шкідливих інгредієнтів шляхом хімічної взаємодії забруднюючих речовин, вони можуть містити ще більшу небезпеку для людства. На генофонд людини має значний вплив сполук, які утворюються через взаємодію канцерогенних вуглеводів та оксидів азоту.

Надсерйозну екологічну загрозу для людини, а особливо для її здоров'я становить забруднення повітря. Якщо й надалі впроваджувати заходи для зниження рівня показників забруднення повітря країни нададуть нам можливість для зниження розвитку хвороб, які пов'язані з хронічними та респіраторними захворюваннями, раком легень та хвороб серцево-судинної системи. Також в Україні розроблена Енергетична стратегія країни до 2035 року [11-12], основне завдання якої – це здобуття нашої країни статусу енергетичнонезалежної держави.

Асоціація гарних показників здоров'я, як в короткостроковій перспективі, так і в більш тривалій, відбувається з достатньо низькими показниками рівня забруднення навколишнього середовища.

На сьогоднішній день є вже досить критична ситуація з екологією вплив на показники якої впливає швидкозростаюче енергоспоживання та всі відходи, які пов'язані з даною галуззю. Річки, які протікають у густонаселених пунктах виходять з природного стану і стають подібними на каналізаційні системи. Повітряний басейн є забрудненим певним рядом

хімічних сполук, таких як CO₂, поліциклічні ароматичні вуглеводні, CO, NO_x, SO_x, аерозолі та ін. Все це стає наслідком страшних необоротних процесів, таких як руйнація озонового шару, виникнення парникового ефекту та створення льодовикового ефекту.

В 2015 році держави-члени ВООЗ представили резолюцію, а в 2016 дорожню карту, щоб посилити глобальність заходів для зменшення негативного впливу забрудненого повітря на здоров'я.

ВООЗ – це установа, яка займається діяльністю з досягненням трьох провідних показників у рамках «Цілі у сфері сталого розвитку, пов'язані із забрудненням повітря», а саме:

- Смертність від забруднення повітря;
- Доступ до чистих видів палива;
- Якість повітря у містах.

ВООЗ займається розробкою та публікацією рекомендацій, які стосуються якості повітря. Дані які публікуються містять в собі показники гранично допустимих значень концентрації найпоширеніших шкідливих речовин, які забруднюють атмосферу. Рекомендації стосуються, як повітря всередині приміщень, так і атмосферного повітря.

Вони виконують детальні оцінки щодо впливу забруднюючих елементів, які знаходяться в повітрі, на здоров'я людини.

ВООЗ збирає наукову інформацію про зв'язок якості повітря з окремими видами захворювань, як на обсязі цілої країни, так і на регіональному та глобальному рівнях.

Також активно ведеться розробка різного роду методичної літератури та інструментів. Серед відомих AirQ+, методика економічної оцінки впливу на здоров'я, інструмент Green+ (даний проєкт використовується для підвищення значущості зелених насаджень), також інструмент комплексного моделювання впливу транспорту на здоров'я.

Організацією ВООЗ було підготовлено цілий комплект матеріалів, які стосуються чистого виду палива та певних технологій для покриття потреб домогосподарства, щоб забезпечити країни, які приймають участь у програмі матеріалами з оцінки або розробки певних заходів політики, які спрямовані на розширення доступу до чистих джерел енергії, це особливо важливо тому, що шкідливі речовини, що потрапляють у повітря через діяльність людства роблять вагомий внесок у забруднення атмосфери.

Розробка CHEST включає модулі оцінки потреб, рекомендації, які стосуються стандартів на побутові прилади та методичні вказівки щодо їх тестування та моніторингу, а також дослідження щодо сектору охорони здоров'я в моменті боротьби із забрудненням повітря та зміцнення сектору.

ВООЗ сприяє в процесі обміну набутої інформації, яка стосується успішних підходів, нововведень та досліджень впливу концентрації забруднення на здоров'я.

В Глобальних рекомендаціях ВООЗ, які були представлені в оновленому форматі в 2021 році, щодо якості повітря представлені результати, які базуються на оцінюванні впливу якості повітря на здоров'я людини, встановлені рекомендовані граничні значення кількості шкідливих речовин в повітрі, які є небезпечними для людства.

За статистичними даними в 2019 році близько 99% всього населення проживало в містах, в яких концентрація шкідливих речовин в повітрі перевищувала граничне значення, яке впроваджено в рекомендаціях ВООЗ.

В 2016 році оцінки якості повітря (поза межами приміщення) продемонстрували, що забруднене повітря було причиною понад 4 мільйонів випадків передчасної смерті, при чому як і в містах, так і в сільській місцевості.

Орієнтовно 91% таких випадків трапився в країнах, де переживає низький та середній рівень доходу.

Кількість завислих частинок часто використовують непрямим показником для рівня забруднення повітря. Разом з іншими шкідливими

речовинами вони мають негативний вплив на здоров'я населення. Нітрати, сульфати, хлорид натрію, аміак є головними компонентами завислих частин. Вони являються сумішшю твердих та рідких неорганічних та органічних сполук, які присутні в повітрі в зваженому стані. Частки, які мають діаметр менше 10 мікрон мають здатність проникати глибоко в наші легені та осаджуватись в них, але частинки менше 2,5 мікрон мають ще більш негативний вплив, так як можуть подолати аерогематичний бар'єр легень та в подальшому потрапити в кровоносну систему.

Вимір забруднення, завислими частинками, повітря відбувається шляхом дослідження середньодобових та середньорічних показників концентрації на метр кубічний об'єму повітря. Зазвичай одиниця виміру забруднення повітря від завислих частинок – це мікрограм на кубічний метр. Вимірювання дрібних частинок відбувається з використанням досить чутливого обладнання.

В Глобальних рекомендаціях ВООЗ окрім гранично допустимих значень кількості шкідливих частинок є додаток щодо проміжних цільових показників для кількісного значення концентрації їх в повітрі.

Очікується, що досягнення цих показників призведе до зниження ризику хронічних та гострих захворювань здоров'я. Звісно кінцева мета – це досягнення рекомендованих значень граничної концентрації.

Вплив забруднення повітря всередині та біля житлових приміщень, в країнах з низьким та середнім показником доходу, який утворюється шляхом спалювання неекологічного палива в традиційних печах в момент приготування їжі, опалення чи освітлення, призводить до підвищення ризику здобування захворювань, які пов'язані з серцево-судинною системою та гострі інфекції дихальних органів.

Не менш шкідливим також є і озон (O₃), двоокис азоту (NO₂) і двоокис сірки (SO₂). Концентрації даних речовин сягають найвищих показників в міських районах де рівень доходу є низьким та середнім.

Озон – це один з провідних факторів, які спричиняють захворювання асти, а в гірших випадках смерть, розвиток астми, ураження бронхів може також провокувати двоокис азоту та двоокис сірки.

Так як термодинамічна ефективність під час перетворення теплової енергії в інші види є досить низькою, відбуваються викиди теплової енергії в навколишнє середовище в великих обсягах. Це є причиною так званого теплового забруднення. Окрім того, існує велика загроза забруднення ландшафту, тому що відбувається вирубка лісів та знищення рослинності, брокон'єрство та інше, постає питання оптичного забруднення в певні сезони року, забруднюються ґрунтових вод викидами від ТЕС та інших об'єктів промисловості, електромагнітне та електростатичне забруднення навколишньої атмосфери.

Всім відомий факт, що спалювання палива в твердопаливному котлі відбувається задля забезпечення приміщень теплом, але варто пам'ятати, що під час цього процесу утворюється шкідливі речовини та чадний газ.

Більша частина котлоагрегатів оснащується автоматичною подачею палива, також мають вдосконалену систему регулювання процесу горіння та потребують паливо стандартної та постійної якості.

Викиди, які утворюються через неповне згорання в основному є результатом недостатнього змішування повітря та палива в топковій камері, через загальний брак наявного кисню, низьких температур, високою концентрацією та малим часом перебування.

Внаслідок неповного згорання в атмосферу потрапляють чадний газ, неметанові леткі органічні сполуки, аміак, тверді частинки, поліциклічні ароматичні вуглеводні та фурані.

Мала кількість аміаку здатна виділитись за рахунок неповного згорання наявних азотовмісних видів твердого палива. Даний процес має місце тоді, коли наявна дуже низька температура згорання.

Кількість викидів в цілому можна зменшити шляхом скорочення кількості продуктів неповного згоряння та за допомогою підвищення ефективності.

Кількість викидів шкідливих речовин при роботі твердопаливного котла залежить від умов спалювання. Для зменшення загальної кількості викидів зважених частинок відбувається оптимізація процесу спалювання твердого палива шляхом встановлення безперервно регульованих умов, таких як автоматизація подачі палива та розподіл повітря горіння.

Котлоагрегати спричиняють досить великий спектр твердих частинок, які потрапляють в навколишнє середовище. Дані викиди розподіляють на фільтровані та конденсовані фракції.

Для зменшення кількості використання атмосферного повітря та потрапляння продуктів повного згоряння потрібно виконувати наступні дії:

- 1) Вироблення теплоти завдяки згорянню меншого значення палива приведе до покращення коефіцієнта корисної дії обладнання;
- 2) Зменшення габаритних показників та металоємність устаткування призведе до економії палива під час виготовлення матеріалів та під час монтажу обладнання;
- 3) Використання менш енергоємних матеріалів в момент виробництва обладнання та під час монтажних робіт.

Відомо, що відсоткове співвідношення кількості забруднення повітря окислами сірки та азоту від діяльності людини становить 7% та 50% відповідно від загального значення. Але найголовніша проблема штучних викидів полягає в тому, що вони нерівномірно розподіляються, внаслідок чого у великих містах та промислових центрах рівні забруднення повітря сягають найвищих показників.

Всі котлоагрегати, що проходять сертифікацію в Україні підлягають перевірці щодо дотримання норм екологічних показників, особливу увагу приділяють концентрації викидів NO_x та CO.

На даний момент виділяють чотири найпоширеніших способи для зменшення кількості шкідливих викидів:

- Очищення палива та окислювача від компонентів внаслідок яких утворюються шкідливі речовини;
- Зменшення концентрації утворення агресивних речовин шляхом придушення;
- Очищення від шкідливих речовин шляхом випалювання;
- Покращення якості димових газів, що утворюються під час процесу спалювання палива.

1.2.3 Струменево-нішева технологія спалювання палива

За допомогою сучасних технологій спалювання палива з'явилась можливість досить старій газовій котельні мати вищі показники обігріву, в той же час відбулась економія до 20% палива. Струменево-нішева технологія спалювання палива започаткована студентами та науковими співробітниками Київського політехнічного інституту Михайлом Абдуліним та Генадієм Дворциним ще на початку 70-х і вже у 80-х світ побачив дисертацію на тему «Струменево-нішева система сумішоутворення та стабілізація полум'я», пізніше дана тема була більш розвинута в докторській дисертації. Є безліч наукових напрацювань, які більш широко розкривають принцип роботи струменево-нішевої технології та процесу горіння загалом [13-30].

Струменево-нішева технологія – це універсальна технологія спалювання газоподібного палива, яка має застосування на всіх типах газоспалюючого обладнання.

Як досліджено в статті [30] співавтором, якої я є, в даній технології відбуваються в широких межах зміни багатьох режимних факторів, а саме: швидкість газу та повітря, значення тиску та температури внаслідок чого відбувається реалізація вихрової структури, яка має досить стійкі та легкокеруючі властивості, має високі показники інтенсивності

турбулентності потоків пального та окиснювача, а також відбувається якісне сумішоутворення за допомогою зони зворотніх потоків де зберігається необхідна кількість концентрації палива і забезпечують надійну аеродинамічну стабілізацію горіння.

Згідно [30] в порівнянні з традиційними вихровими пальниковими пристроями об'єм вихорів сягає менших показників, внаслідок чого їх вплив на пульсації в топці котла та ерозійні показники впливу на амбразу та інші частини котлоагрегату має відносно малий показник та за рахунок менших об'ємів вихорів реалізовується пуск та експлуатація пальникових пристроїв з меншою витратою палива, що дає змогу забезпечити безпечність пуску і відсутність теплових ударів. Завдяки покращенню сумішоутворюючих можливостей пальникових пристроїв досягають кращих показників надійності роботи з умовою досить низького коефіцієнту надлишку повітря, що призводить до підвищення значень середньої температури факелу в топковому просторі.

Підвищення теплосприйняття радіаційної частини та подальшому зниженню температури димових газів, завдяки тому, що кількість тепла, яке передається радіаційним випромінюванням в топці, є пропорційним до температури факелу в четвертому ступені, всі ці показники досягаються за допомогою всіх вищевказаних переваг струменево-нішевої системи.

Внаслідок оптимального сумішоутворення, через підвищення середнього рівня температури та її рівномірності в топковому просторі, відбувається значне зменшення нерівномірності теплових потоків і у висновку ми отримуємо високі показники надійності роботи котлоагрегату.

Також з використанням даної системи є можливість забезпечити самоохолодження елементів пальників завдяки упорядкованій структурі потоку горіння та окиснювача за рахунок підігріву повітря та газу, що є теплообмінними процесами.

До особливостей струменево-нішевої системи відносять малі показники гідравлічного супротиву по трактам горючого та окиснювача, це

дозволяє позитивно вплинути на процес зниження показників тиску газу та повітря в момент використання пальника. Всі ці переваги надають можливість даній технології ефективно працювати в складних аерохімічних схемах вогнетехнічних об'єктах.

На початку 80-х років застосувались результати досліджень в досить перспективних схемах повітря-реактивних двигунів.

Вже в 1986 році було запатентовано один з перших зразків примітивного елементу комбінованого пальникового пристрою з використанням струменево-нішевої системи який було застосовано в основі газотрубних та авіаційних двигунів.

Розпад СРСР повпливав на розвиток та адаптацію технології для її подільшого використання в різних розповсюджених сферах господарської діяльності людини, таких як хлібопекарські печі, котли, підігрівачі газу та інші, бо робота з газотрубними та авіаційними двигунами ставала все менш затребуваними.

Вже перші промислові пальникові пристрої з реалізацією струменево-нішевої технології були на початкових етапах реалізації в 1990-х роках. Звісно конструкція даних горілок першопочатково не була досконалою, але дана розробка дала поштовх для запуску серії пальникових пристроїв, які в подальшому здобули назву мікродифузійні газові пальники і трохи згодом вже мали назву квазікінетичні пальники. Звісно в даних пристроях були недоліки, а саме економічні показники знижувались, а самі пальники були більш вразливі до переходу в пульсаційний режим горіння, як наслідок погіршувались показники стійкості та діапазону роботи пальника, також була присутня недосконала охолоджувальна конструкція пальника, що досить часто призводило до перегріву та повному виходу з ладу.

Струменево-нішові пальники були створені на початку 2000-х років, це вже були більш ідеальні пристрої.

В комунальному господарстві, в будівельній, кондитерській та хімічних індустріях промисловості пальники, які в основі містили

струменево-нішеву технологію спалювання почали користуватись неймовірним попитом.

Однією з найглобальніших переваг СНТ є можливість її реалізації на морально застарілому обладнанні, яке використовується більше ніж 30 років, а не тільки на новому, що дозволяє забезпечити швидку модернізацію наявних пристроїв. За допомогою даної модернізації отримуються високі технічні характеристики, які сягають світових рівнів за показниками економічності, надійності, екологічної безпечності та якості продукту, який отримується.

Така модернізація славиться тим, що термін окупності становить приблизно рік. При цьому значення кількості використаного палива яке використовується для приводу тягодутьових елементів зменшується, а період міжремонтної роботи сягає вищих показників, також відбувається підвищення рівня безпеки.

В умовах сьогодення реалізовано певний перелік покращень пальникових пристроїв, створюють нові пальники, які демонструють роботу на комбінованих видах палива (пальники, які працюють на газовій суміші, газомазутні пальникові пристрої та використання кокосового та доменного палива), за рахунок нових сучасних захисних покриттів відбувається вивід води, що забезпечує самоохолодження, значне покращення ефективності роботи пальників. Невпинно продовжується робота над покращенням ефективності струменево-нішевої технології. Також є ряд досліджень, які пов'язані з використанням плазмових утворень та іонізованого повітряного потоку в процесі горіння в пальниках.

Ряд комплексних методів, які спрямовані на зниження рівня емісій шкідливих речовин в своїй основі містять струменево-нішеву технологію.

Висновки до 1 розділу.

Завдячуючи дослідженню та якісному аналізу літературних джерел, приведено варіанти модернізації наявних котлоагрегатів малої потужності,

які будуть спрямовані на підвищення економічності, екологічності та ефективності і в той саме час, дане покращення не вимагає масштабної дороговартісної реконструкції.

Використання пальникових пристроїв з використанням струменево-нішевою технології демонструють значне покращення процесу горіння. Даний позитивний результат отримано шляхом розташування системи подачі палива перпендикулярно потоку окиснювача з подальшим утворенням вихорів у вигляді нішевої порожнини. Дана технологія забезпечує стійкість вихрової структури в зоні стабілізації горіння. Завдяки гідравлічній взаємодії вихорів у нішовій порожнині, яка розташовується за системою струменів і виникає стійка вихрова структура.

Внаслідок вагомому зменшенню аеродинамічного супротиву потоків відхідних газів досягається зменшення кількості використаної енергії на тягодутеві пристрої, що прихводить до зростання продуктивності системи.

Окрім підвищення економічності необхідно вагому увагу приділити питанню екологічності процесу спалювання та по максимуму зменшити концентрацію агресивних речовин, які потрапляють в атмосферу. Досить важка задача реалізувати покращення всіх показників (ефективність, екологічність та економічність), але попередні дослідження струменево-нішевої технології свідчать про вражаючі показники.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Котлоагрегати малої потужності

В зв'язку з тим, що відбувається зменшення обсягу виробництва в різних сферах, особливої популярності набули водогрійні та парові котли малої потужності. В основному їх купують власники малого та середнього бізнесу, так як фермери, олієпереробні підприємства, підприємства, які займаються харчовою промисловістю і так далі). Насправді про котлоагрегати можна досить багато говорити і вивчати, так як різні компоновки та модернізації окремо вивчаються. У світі існує багато літератури, яка присвячена дослідженню котлоагрегатів. [31-36].

Паровими котлоагрегатами малої потужності називають технологічні пристрої, які шляхом перетворення води на пару, яка в подальшому використовується для того, щоб обігрівати приміщення або при обертанні турбомашини. Парогенератори малої потужності можуть виробити до 20 тон пари за годину і їх використовують їх для технічних та господарських потреб.

Новітні водогрійні котли малої потужності використовуються в умовах індивідуального тепlopостачання квартир та будинків, зазвичай виконуються водотрубними і працюють за принципом проточних та емісійних водонагрівачів.

Дані котлоагрегати виконуються, як з природною, так і з примусовою циркуляцією, камера згоряння є герметичною. Частим випадком є оснащення їх вбудованим насосом, що забезпечує примусову циркуляцію теплоносія, також присутні вбудовані теплообмінники для покриття потреб в гарячому водопостачанні.

Переважає більшість даних котлоагрегатів є автоматизованими і використовують засоби мікропроцесерної техніки. В якості палива в даних котлах використовується природний газ та рідке (пічне) паливо. Також в даних котлах в топках є можливість спалення нетрадиційного палива, таке як відходи сільськогосподарського виробництва, дрова та інше. До не давніх часів великою популярністю користувались водогрійні котли з даним діапазоном

продуктивності, вони мали змогу нагрівати воду до 115 °С, їх тиск не перевищував 0,6 МПа, в свою чергу вони виконувались секційними.

Основним компонентом даних котлоагрегатів являється поверхня нагріву, вона з одного боку підлягає обігріву продуктами згоряння, а іншого відбувається охолодження водою.

Чавунні котлоагрегати в незалежності від марки збираються з окремих секцій, вони з'єднуються між собою за допомогою колекторів: за допомогою колектора, який знаходиться в задній нижній частині, надходить зворотна вода і в подальшому подається для підігріву, а через той, який знаходиться в верхній передній частині відбувається подача гарячої води в систему опалення або в систему гарячого водопостачання. Стінки котлоагрегатів спеціально покриваються теплоізоляцією, яка складається з 70% білої глини та 30% азбестової крихти, вони обмуровуються вогнетривкою та червоною цеглою.

У топках котлів використовують газові пальники. Відбувається підйом продуктів згоряння газу вгору, що призводить до обігріву секції, яка заповнена водою і повертаючись на 180 ° опускається в бічні газоходи, потім через збірний газохід переходить в димову трубу.

В котельнях широкого застосування набули чавунні секційні котли шатрового типу, компоновка відбувається з нижньою топкою.

В приміщеннях такі котли можуть встановлюватись, як навісним так і підлоговим способом.

На рисунку 2.1, який взято з наукового підручника [31] представлені основні компоненти підлогового водогрійного котла потужністю 88 кВт.

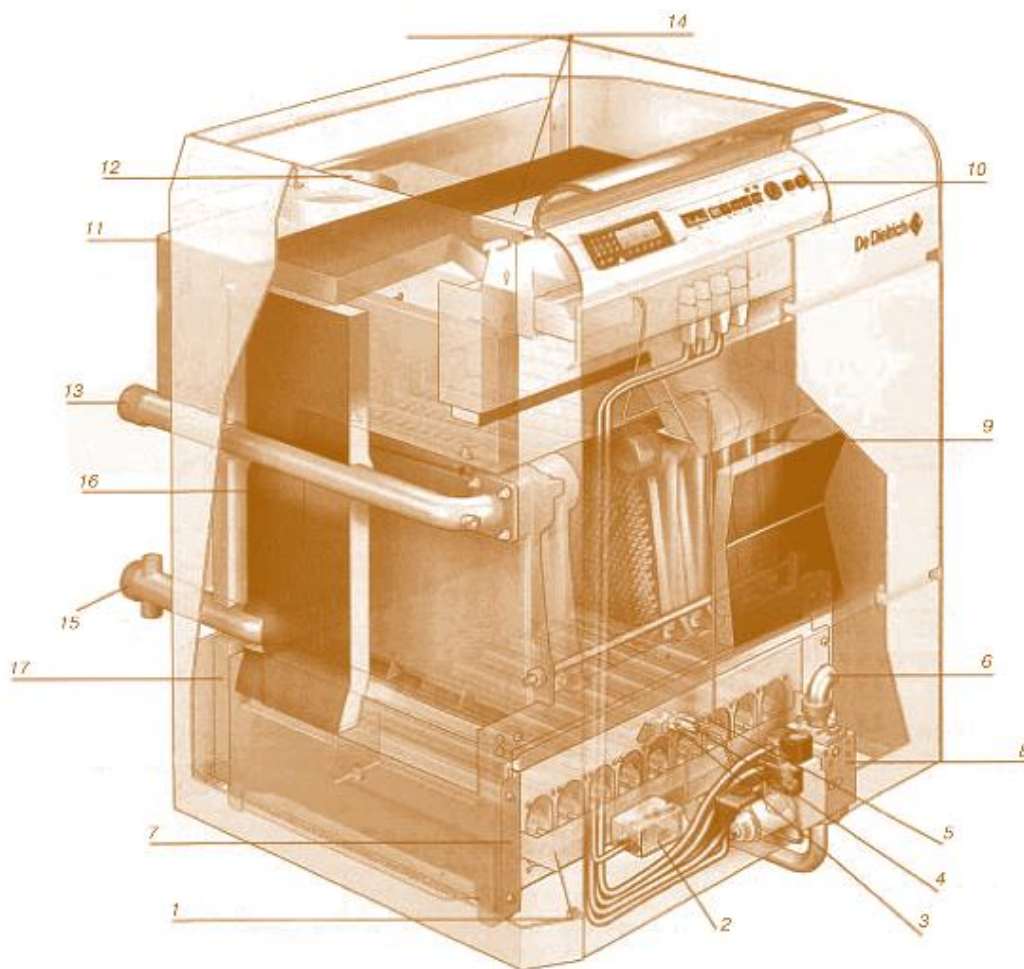


Рис. 2.1. Основні елементи підлогового водогрійного котла потужністю 88 кВт

На даному рисунку 2.1 позначені основні елементи водогрійного котла, де 1 - двоступінчастий пальник із попереднім змішуванням горючої суміші; 2 – запальний трансформатор; 3 – запальний електрод; 4 – запальний пальник; 5 – датчик іонізації; 6 – патрубок підведення газу; 7 – висувний газовий блок; 8 – клапан-регулятор 2 ступенів із реле мінімального тиску; 9 – теплообмінник; 10 – панель керування; 11 - тягопереривник; 12 – патрубок димових газів; 13 - труба, що подає системи опалення; 14 – верхня ізоляція димових газів; 15 – зворотна труба системи опалення зі зливним отвором; 16 – ізоляція теплообмінника, топки та тягопереривача; 17 – задня ізоляція [31].

На рисунку 2.1 представлено конструкцію підлогового водогрійного котлоагрегату, потужність якого становиться 88кВт, він призначений для опалення приміщень з площею понад 1000 м² . Він виконаний з чавуну, в роботі використовує природний газ, компонується з двоступінчастим пальником з попереднім змішуванням горючої суміші, це призводить до того, що відбувається

зниження утворення оксидів азоту. Коефіцієнт корисної дії сягає позначки 93,5%.

Теплообмінник котлоагрегату виконується з евтектичного чавуну, поверхні котла мають оптимальний показник роботи у лінії зворотної мережі до 40 °С та можливість повного охолодження. Топка виконується з охолоджуючими задніми та бічними стінками.

Котлоагрегат оснащується електронною панеллю управління і діалоговою системою регулювання, це призводить до численних експлуатаційних можливостей гарячого водопостачання та системи опалення.

Котлоагрегати маркування KB-200T, КП-300T, КП-500T мають властивість роботи на різних видах палива. На дані котли є можливість встановити твердопаливні пальники, що дає змогу процес роботи котлоагрегату автоматизованим.

Парові водогрійні котли даної марки оснащені зручною та продуманою конструкцією, що дозволяє облегшити обслуговування котельного обладнання протягом всього терміну його експлуатації.

Всім відомий факт, що для підтримки ефективності роботи котлоагрегатів на твердому паливі потрібно виконувати регулярну очистку від золи, шлаку і кіптяви. В даних котлах передбачається три точки доступу для очистки від продуктів згоряння.

Парові котли малої та середньої продуктивності створені для виробництва насиченої та перегрітої пари з параметрами тиску 3,9МПа та температурою орієнтовно до 450 °С. Вони мають широке застосування на підприємствах промислового призначення та для забезпечення технологічних процесів в умовах комунального господарства, а також в системах опалення комунальних та промислових об'єктів.

Вдосконалення конструкцій даних котлоагрегатів відбувалися за рахунок використання поверхонь нагріву, які є більш ефективні, новітні топкові та пальникові пристрої, впровадження нових технологій при виготовленні поверхонь нагріву та елементів котлів. Завдяки впровадженню сучасних напрямків розвитку конструкційних особливостей котлів малої та середньої потужності з'явилась

можливість спалювати сільськогосподарські відходи та відходи промислового виробництва, тому в оснащення даних котлів додали спеціальні топкові пристрої.

Дані котли конструктивно поділяються на: водотрубні та жаротрубні з димогарними трубами. В свою чергу водотрубні котли розділяють на барабанні (які використовують природну і примусову циркуляцію) так і прямоочні.

В котлоагрегатах малої та середньої продуктивності є можливість спалювати всі види органічного палива, в тому числі вугілля, природний газ та різного походження відходи. Шарові топки різних компоновок встановлюють при використанні твердого палива.

Характерними котлоагрегатами даної групи є котли типу Е (ДЕ), вони мають паропроодуктивність на рівні 1- 25 т/год, котли типу Е (КЕ) газомазутні та мають паропроодуктивність 2,5 – 25 т/год та котлоагрегати ДКВР паропроодуктивність яких сягає від 2,5 до 20 т/год, які знайшли найпоширеніше застосування. Такі котли призначені для виготовлення насиченої та перегрітої пари, що застосовується для покриття технологічних потреб промислових підприємств, також використовують у системах опалення та гарячого водопостачання, також у системах опалення.

Парові котлоагрегати малої потужності також виготовляють з жарових та димогарних труб. Дані труби конструктивно встановлюються у водяний об'єм судин, які більші за розміром овальної чи циліндричної форми, саме там і відбувається процес підігріву води і в подальшому випаровування. Представником даної категорії є котли типу КПа-04г, він працює на природному газі, продуктивність становить 400 кг/год, тиск сягає позначки 0,3 МПа, також в даних котлах ККД не сягає менше ніж 90%. Зазвичай встановлення даних котлів відбувається з головною ціллю – опалення, або на підприємствах, де передбачається використання насиченої пари.

На сьогодні багато вітчизняних і закордонних виробників засвоюють випуск жаротрубник-димогарних парових котлоагрегатів, їх паропроодуктивність сягає до 30 т/год та тиск до 1 МПа, використовуючи при цьому новітні технології.

В Україні також існує виробництво парових котлів малої потужності, воно

зосереджене в Монастирищі на ВАТ «ТЕКОМ» та на заводі «Енергетик», який займається котельним обладнанням. Дані підприємства виробляють групу вертикально-водотрубних котлів, вони є автоматизованими і працюють на газі, твердому паливі та мазуті.

Котли середньої продуктивності мають велику гаму типорозмірів з камерними та шаровими топками. В даних котлах зазвичай використовують газоходи, які мають П-подібне компонування, в топкових екранах відбувається природна циркуляція, а хвостові поверхні нагріву розвинені з використанням трубчастих та рекуперативних повітропідігрівачів.

На рисунку 2.2 представлено уніфікований котел ТП-35-У з шахтно-млиновою топкою [31].

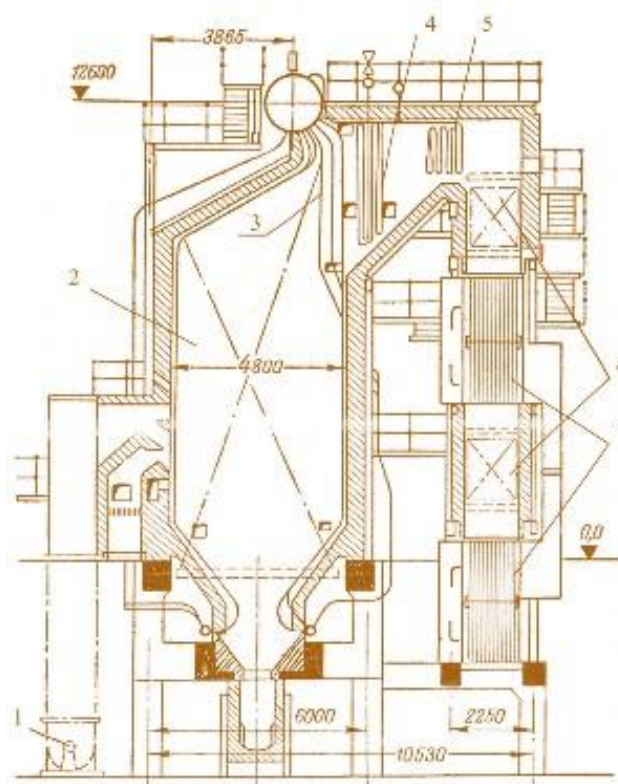


Рис. 2.2. Уніфікований котел ТП-35-У з шахтно-млиновою топкою

На рисунку 2.2 представлені основні елементи уніфікованого котла ТП-35-У, де 1 – шахтні млини; 2 – камерна топка; 3 – трирядний фестон; 4 – перший ступінь пароперегрівача; 5 – другий ступінь пароперегрівача; 6 – водяний економайзер; 7 – повітропідігрівач [31].

Даний котел, який представлено на схемі має паропроductивність 35 т/год і значення тиску пари становить 3,9 МПа, а температура перегрітої пари становить

450°C. Цей котлоагрегат в своїй компоновці містить камерну топку, яка розрахована для спалювання кам'яного вугілля та бурого різних марок. Розміщуються пальники на фронтівій стінці казана. Стінки камери згоряння є повністю екранізованими трубами.

Труби, які розташовані зверху у задньому екрані розводяться у трирядний фєстон у вихідному вікні, за ними розташовуються перші і другі щблї перегрівача вертикальної компоновки. Сталою є поверхня першого ступіня і не змінюється в не залежності від маркування палива, другий ступінь, в свою чергу, може змінюватись. В даному котлоагрегаті конвективні поверхні нагріву – це водяний економайзер та повітропідігрівач, дане устаткування розміщено в опускній шахті.

2.1.1 Різновиди парових котлів

В світі існує чималий різновид парових котлів.

Парові котли РІ. Дані котли є промисловими парогенераторами, вони застосовуються для отримання сухої насиченої пари. Дані парогенератори можуть працювати як на твердому, так і на рідкому вигляді палива. Котел типу РІ-1 має здатність виробляти 100 кг/год та зазвичай використовується для опалення малих за розміром приміщень. Працює на твердому паливі.

Котел РІ-4 має в свою чергу вже має здатність виробляти 300 кг/год і різниця з попередньою модифікацією полягає в тому, що він може працювати з використанням 2 видів палива. Має застосування в процесі опалення, при виробництві пінопласту, для стерилізації продуктів молочної індустрії та інше.

Котел РІ-5 має надзвичайно компактну форму у порівнянні з попередніми і має виробничу здатність 200 кг/год. Часто застосовується на тваринницьких фермах та підприємствах, які займаються сушінням деревини.

Парові котли КДА. Мають розподіл на котлоагрегату типу КДА-400, КДА-500, має незначні відмінності від вище представленої серії РІ в показниках технічних можливостей, а саме здатність працювати з двома видами палива та продукувати 400 кг/год та 200 кг/год пари відповідно.

Парові котли КПА. Парові котли типу кпа-500, кпа-500г та КПА-500Ж

практично не різняться між собою і їх конструктивна схема досить схожа, проте, вони працюють лише на рідкому паливі на відмінну від попередніх груп. Застосовуються при роботі з надлишковим тиском у топці.

Останнім часом все частіше використовують сталеві водогрійні котли. Їх перевага заключається в тому, що вони мають досить велику міцність запасу роботи та ремонті, але є велика схильність до корозії.

Для процесу опалення всіх типів приміщень використовують газові навісні котли, вони виробляються в Україні і за кордоном. Також вони використовуються в повністю автоматизованих дахових котельнях і виготовляються у вигляді окремих окремих модулів, потужність яких становить 9 – 120 кВт, а необхідна теплова потужність досягається за допомогою встановлення потрібної кількості модулів. Такі навісні котли є автоматизованими, досягають високих показників корисної дії та оснащуються всіма видами захисту.

В комунальній енергетиці використовуються водогрійні котли мають потужність від 0,4-0,5 до 10 МВт. Мають здатність працювати за різними теплоаими графіками локальних теплових мереж та забезпечують температуру мережної води показників 90 – 150 °С на виході з котла і тиск 2,2 МПа.

Основним і найпопулярнішим типом котла, що використовується в комунальній енергетиці є котел НДІСТУ-5. В експлуатації на території України знаходиться близько 15 тисячі штук.

Такі котли складаються з середніх та крайніх секцій. Середні секції однакові за будовою і складаються з верхнього колектора, який має діаметр 100 мм, в кількості однієї штуки і двох нижніх колекторів, які мають такі ж самі діаметри, також з трьох лівих та правих екранних труб, які є Г-подібними і їх діаметр становить 76 на 3 мм.

Передня секція, в свою чергу, складається з двох частин, у верхній колектор котла вварені верхні колектори, а для покращення циркуляції з'єднали нижні частини за допомогою перепускних труб з лівим і правим нижнім колекторам відповідно. Між собою верхні та нижні колектори лівої та правої частин з'єднуються за допомогою екранних труб з діаметром 76 на 3 мм.

Склад задньої секції являє собою верхній та нижні колектор, вони з'єднуються між собою за допомогою задніх екранних труб і їх діаметр становить 76 на 3 мм. До верхнього колектора котла приварюють верхній колектор даної секції, а до правого та лівого нижнього колектора відбувається приварення нижнього. До труб, які розташовуються вертикально на бічних екранах приварюють сталеві смуги, вони утворюють газонапрямні перегородки. Такі ж смуги приварюють до екранних труб на задній секції.

Топку розташовують під казаном і використовують для спалення різного палива. Димові гази прямують з димаря котла до димаря.

На рисунку 2.3 представлена схема котла водогрійного НДІСТУ-5 [31].

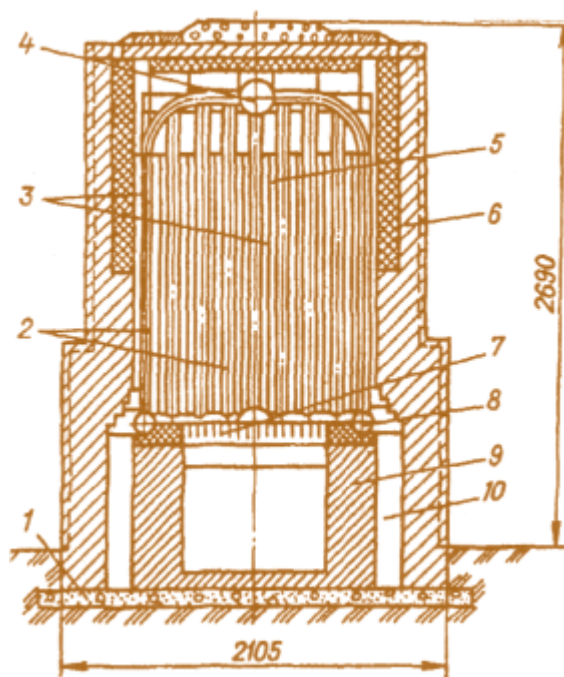


Рис. 2.3. Водогрійний котел НДІСТУ-5

Згідно рисунку 2.3 є позначки основних елементів, де 1 – фундамент; 2 – труби; 3 – газонапрямні перегородки; 4 – верхній колектор; 5 – задня секція; 6 – зовнішня обмуровка; 7 - колосникові ґрати; 8 – нижні колектори; 9 – внутрішні стінки обмуровки; 10 – димові канали [31].

Вдосконалення та модернізація котлоагрегатів тривалий час зацмає провідне місце в науковій роботі енергетиків і триває ще з часів СРСР.

До 1960 року на території СРСР водогрійні котли з потужністю більше ніж 1 Гкал/год не випускались. Вже на початку 1960-х років на Монастирищенському

машинобудівному заводі розпочали серійне виробництво водогрійних котлів типу ТВГ-4, ТВГ-8, ТВГ-8М. Дана конструкція була розроблена Інститутом газу НАН України, керівником проєкту був професор Сігала І. Я. Дані котлоагрегати розраховувались на воду з параметрами температури 150 °С, тиск становить 0,8 МПа і призначались для заміни парових котлоагрегатів типу ДКВР з бойлерами для процесу опалення міських кварталів, в той час досить широко використовувались для отримання гарячої води.

Особливістю даних котлів являється те, що вони застосовують в топковому пристрої двосвітлових екранів для того, щоб спалювати природний газ, кожен екран розташовується між двома пальниками. В цей час довжина пальника рівняється екрану топки. Саме тому в камерній топці вперше досягли однакового навантаження на всі труби екранів.

Машинобудівний завод в Монастирищі випустив близько 400 штук котлоагрегатів типу ТВГ за рік, вони використовувались в процесі теплопостачання в низці міст України.

На рисунку 2.4 містить схема жаротрубного котла, який має потужність рівною 3 МВт.

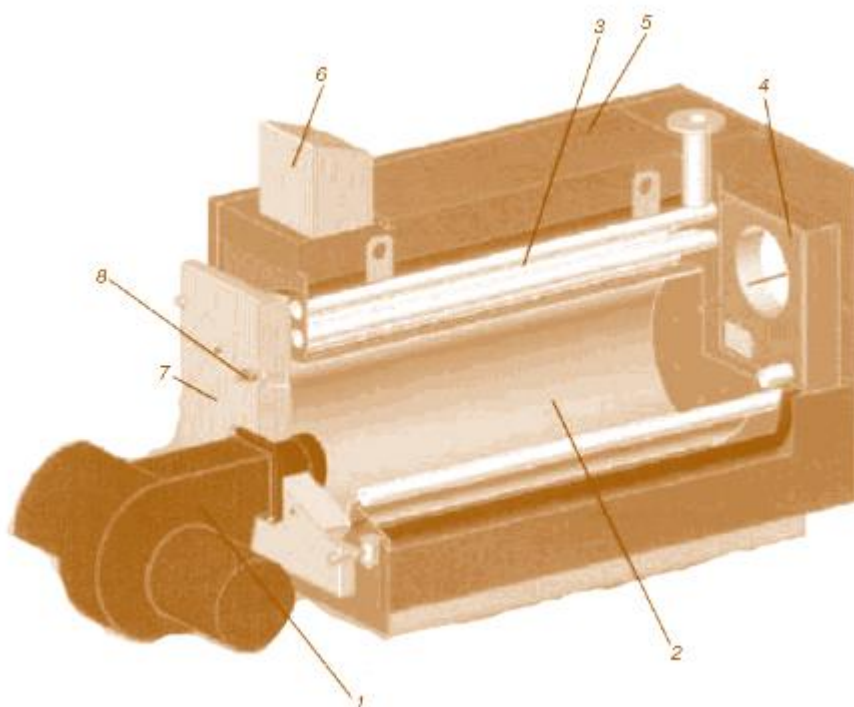


Рис. 2.4. Водогрійний жаротрубний котел потужністю 3 МВт

Згідно рисунку 2.4 зображені основні елементи котла, де 1 – дутий

пальник; 2 – камера згоряння; 3 – димарні труби; 4 – димар; 5 – обшивка; 6 – пульт управління; 7 – вогнетривкі двері; 8 – оглядове вікно [31].

2.1.2 Котлоагрегати типу КВГМ та ДКВР

Паровий котел ДКВР – це дво-барабанний котельний агрегат, в якому виконана реконструкція водотрубною системи конвекції. Дані котлоагрегати виробляють перегріту пару для забезпечення потреб промисловості, для опалювальних систем і для забезпечення гарячою водою.

Котлоагрегат ДКВР є високопродуктивним і являє собою водяні барабани, які з'єднуються водогрійними трубками та системою спалювання та повернення палива. Камера спалювання має розподіл на дві технологічні частини:

- Топка;
- Камера згоряння.

На спеціальній опорній точці нижнього робочого барабану відбувається розміщення всієї конструкції.

Існує досить широкий спектр типів парових котлів ДКВР – 2,5; 4; 6,5; 10; 20, всі вони відносяться до високопродуктивних котлоагрегатів, які володіють високими показниками безпечності експлуатації, також наявна можливість використовувати різні види палива.

Топкова камера у котла ДКВР має два пальника з універсальним призначенням (газ, мазут). Економайзер в залежності від типа палива, яке використовує паровий котлоагрегат типу ДКВР, виконують з чавуну чи сталі.

Наявність розбірної конструкції дає змогу транспортувати паровий котел по частинам і в подальшому виконати збірку на місці експлуатації без порушення стінок та перегородок наявного приміщення.

В таблиці 2.1 наведені технічні характеристики парових котлів серії ДКВР – 2,5; 4; 6,5; 10; 20 [31].

Таблиця 2.1 Технічні характеристики парових котлів типу ДКВР.

Найменування показників	Котел ДКВР 2,5-13 ГМ	Котел ДКВР 4-13 ГМ	Котел ДКВР 6,5-13 ГМ	Котел ДКВР 10-13 ГМ	Котел ДКВР 20-13 ГМ
Паропродукт-ть, т/год	2,5	4,0	6,5	10	20
Тиск пари, МПа	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Температура пари, °С	До 194	До 194	До 194	До 194	До 194
Витрата палива:					
- Газ	280	446	721	1105	2060
- мазут	265	422	684	1450	1960
ККД, %	88	88	87	87	92
Чавунний економайзер	ЕБ2-94І	ЕБ2-142І	ЕБ2-236І	ЕБ2-330І	ЕБ2-646І
Вентилятор	ВДН 8-1500	ВДН 10-1000	ВДН 8-1500	ВДН 11,2-1000	ВДН 12,5-1000
Димосос	ВДН 9-1000	ДН 9-1000	ВДН 10-1000	ДН 12,5-1000	ДН 13-1500
Розміри котла, мм					
-довжина	4180	5518	5780	8850	11500
-ширина	2100	2100	3250	5830	5970
-висота	3983	3985	3990	7100	7660
Маса котла ДКВР, кг	6886	9200	11447	15396	44634

Переваги котлоагрегату ДКВР:

можливість вибору продуктивності в межах 40-120% від номінальної величини;

- можливість використання різних типів палива;
- режим водонагрівання;
- можливість збірки в умовах діючої котельні;
- наявна комплектація автоматикою;
- висока надійність.

Котлоагрегат КВ-ГМ – промисловий водогрійний водотрубний котел, який

використовується для вироблення гарячої води температура якої становить 150 °С, яка використовується під час процесу опалення, вентиляції та постачання гарячої води промдо промислового чи побутового споживача, в тому числі і для покриття технологічної потреби.

Технологічні характеристики котлоагрегату КВ-ГМ-10, КВ-ГМ-20, КВ-ГМ-30 наведено в таблиці 2.2 [31].

Таблиця 2.2 Технологічні характеристики котлоагрегатів типу КВ-ГМ

Найменування показників	Котел КВ-ГМ-10	Котел КВ-ГМ-20	Котел КВ-ГМ-30
Теплопродуктивність, МВт (Гкал/год)	11,63 (10)	23,26 (20)	34,89 (30)
Тиск води, МПа Розрахункове ізб. Мінімальне на виході (абс.)	2,5 1,03	2,5 1,03	2,5 1,03
Температура води, °С На вході (не менше) На виході на мазуті (не менше) На виході на газу (не більше)	70 150 150	70 150 150	70 150 150
Витрата палива: Газ, м ³ /год мазут кг /год	1290 1220	2580 2450	3860 3680
ККД, % На газі На мазуті	92,0 88,0	89,0 87,0	89,7 89,7
Витрата води, т/год	123,5	247,0	370,0
Площа поверхні нагріву, м ² Радіаційна конвективна	73,6 221,6	106,6 406,5	126,9 592,6

Продовження таблиці 2.2.

Температура відхідних газів (газ/мазут)	185/230	190/242	195/250
Об'єм топкової камери, м ³	38,3	61,2	77,6
Розміри котла, мм			
-довжина	6500	9700	11800
-ширина	3200	3200	3200
-висота	7300	7300	7300
Маса котла КВ-ГМ, т	18,400	23,300	32,400

2.1.3 Методика проведення вимірювань температури вихідних газів в котлоагрегатах

Для успішного виконання вимірювань температури димових газів з котлоагрегатів на теплових електричних станціях, паропродуктивність яких становить 75 т/год та вище було розроблено «Методику виконання вимірювання температури вихідних газів в енергетичних котлах». Дана метода встановлює певний ряд вимог до приладів вимірювання, підготовки перед проведенням вимірювання та обробки отриманих результатів спостереження, Використання даної методики забезпечує, щоб точність вимірювання мала достовірні показники при роботі в базисному режимі та перелічує засоби для їх визначення.

Температурою димових газів називають середню вагову за швидкістю газів температуру в балансовому перерізі газоходу, який розташовується за останньою поверхнею нагріву повітропідігрівача.

SO₂, SO₃, NO_x містяться в димових газах під час процесу спалювання сірчистих палив, а велика запиленість та токопровідний пил характерні в процесі спалювання твердого палива.

Для вимірювання температури димових газів застосовують контактний спосіб в поєднанні з методом термоперетворення, базується на вимірюванні електричного супротиву, він утворюється в платиновому термоперетворювачі в момент порушення його теплової рівноваги. Отримана величина електричного

супротиву є пропорційною температурі, яка вимірюється. Отримане значення даного електричного супротиву передається за допомогою чотирьох привідних ліній зв'язку на:

Багатоканальний реєстручий прилад, він в свою чергу перетворює зміни електричного супротиву на значення температури димових газів з подальшим записом на діаграмній стрічці;

Груповий або вимірюваний перетворювач, який слугує для перетворення сигналу в значення уніфікованого від 0 до 5 мА, він перетворюється в числовий код, в подальшому масштабується і на засобах інформації ми отримуємо значення температури димових газів.

Рекомендовано перед початком проведення вимірів провести перевірку всіх термінів чергових повірок всіх складових вимірювальної системи, відповідність вимірювальної системи структурній схемі, наявність механічних ушкоджень та вірність виконання встановлення вимірювальної системи.

Також передбачений технічний опис та інструкція щодо експлуатації всіх компонентів в моменті проведення вимірювання. Основною засадою є відповідність між числовими значеннями, результат вимірювання має відповідати значенню похибки вимірювання по розряду.

Висновки до 2 розділу.

В зв'язку з тим, що відбувається зменшення обсягу виробництва в різних сферах, особливої популярності набули парові та водогрійні котли малої потужності. В основному їх купують власники малого та середнього бізнесу, так як фермери, олієпереробні підприємства, підприємства, які займаються харчовою промисловістю і так далі).

В даній роботі передбачено дослідження проведеної модернізації функціонуючих котлоагрегатів типу ДКВР та КВГМ, які є котлами малої потужності. Метою даного дослідження є вивчення покращення економічних та екологічних показників котла, який оснащений новітньою технологією для покращення абсолютно всіх показників.

В ході проведення дослідження наявних котлоагрегатів, встановлено, що

майже всі пристрої потребують модернізації для збільшення економічності та ефективності, а також для забезпечення допустимої концентрації шкідливих речовин, які містяться в відхідних газах, так як дані норми встановлені на всесвітньому рівні їх просто не можливо ігнорувати.

Встановлено, що дана модернізація є не такою дороговартісною у порівнянні з глобальними реконструкціями. Слід зазначити, що масштабні реконструкції потребують глобальних фінансів та чимало часу, а в нас, на жаль, ні того, ні іншого не має.

Досліджено принцип роботи та складові елементи котлоагрегатів малої потужності типу ДКВР та КВГМ. Наведено переваги та недоліки кожного котлоагрегату, також детально встановлено, що одна з головних складових – це пальниковий пристрій.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ЕКОЛОГО-ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ПАРОВИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

3.1 Мета та задачі випробовувань.

Для створення найбільш економічних та ефективних режимів роботи парових та водогрійних котлоагрегатів проводять режимно-нагальдувальні роботи та балансові випробовування з подальшою розробкою режимних карт, що надає можливість обслуговуючому персоналу котельної зберігати параметри котлів та роботу допоміжного устаткування в максимальних економічних режимах, при різних значеннях навантаження, якісне налаштування автоматики регулювання, захист та сигналізацію котлоагрегатів. Для подальших розрахунків використовувались літературні джерела з описаною методикою проведення вимірів. [37-44].

3.2 Методика випробувань, вимірів та розрахунків.

3.2.1 Теплотехнічна частина

На початку проведення основних режимно-налагоджуваних дослідів проводяться попередні виміри для визначення значень мінімально-стійкого та максимально-фактичного навантаження котла, визначаються основні еколого-економічних показників роботи котлоагрегату при експлуатаційних режимах, складається перелік недоліків та дефектів устаткування, що мають вплив на економічність та кількість валових викидів токсичних елементів.

За допомогою використання загально прийнятої методики випробувань котлоагрегатів [37] та «Методичною вказівкою по проведенню випробувань на котельних установках, які використовують газ, при пуско-налагоджувальних роботах» відбувається визначення технічних та економічних показників роботи котельного агрегату.

Зведення теплового балансу відбувається з використанням методу узагальнено технічних характеристик автором якого є професор Равич М.Б.

За допомогою зворотного балансу визначався коефіцієнт корисної дії брутто:

$$\eta_{к.бр.} = 100 - q_2 - q_3 - q_5 \quad (3.1)$$

q_2 - втрати тепла з відхідними газами визначались для відповідних природному газу приведених значень узагальнених теплотехнічних характеристик по формулі:

$$q_2 = 0,01 \times Z \times (T_{від} - T_{х.п.}) \quad (3.2)$$

$T_{від.}$ - температура відхідних газів в балансовій точці

$T_{х.п.}$ - температура повітря

Z - коефіцієнт об'єму димових газів %

$$q_3 = 3,12 \times CO \times h\% \quad (3.3)$$

CO - об'ємна концентрація окисла вуглецю %

$$q_5 = q_{5ном.} \frac{D_{ном.}}{D_{фак.}} \quad (3.4)$$

$q_{5ном.}$ - втрата тепла при номінальному навантаженні в %;

$D_{ном.}$ - номінальна продуктивність котла т/год;

$D_{фак.}$ - дійсне навантаження котла т/год;

3.2.2 Екологічна частина

Методика складена згідно з "Методикою "Викиди забруднювальних речовин в атмосферу від енергетичних установок " ГКП 34.02305 – 2002 [38]

1. Масова концентрація в відхідних газах оксидів азоту в перерахунку на NO_2 визначається по формулі:

$$C_M = C_{ОБ.} \times 1_{PPM} \quad (3.5)$$

Де: $C_{ОБ}$. - об'ємна концентрація оксидів азоту, яка визначається шляхом аналізу димових газів.

$$1_{PPM} = 1 \times 0,0001\%об. = \frac{M \times NO_2}{22,4} = 2,053 \frac{мг}{м^3} \quad (3.6)$$

M - молекулярна вага.

2. Масова концентрація в відхідних димових газах шкідливих речовин приведена до нормальних умов (0 °С, 760 мм.рт.ст..) при коефіцієнті надміру повітря $\alpha = 1$:

$$C_{CO} \alpha = 1 = 446,4 \times M \times Y \times h \quad (3.7)$$

Де: Y - об'ємна концентрація окисла вуглецю, оксидів азоту.

h - коефіцієнт розбавлення продуктів горіння.

M - молекулярна вага окисла вуглецю, оксидів азоту.

$$h = \frac{21}{21 - Q_2} \quad (3.8)$$

3. Питомі викиди оксидів на 1 Гкал виробленого тепла визначається по формулі:

$$B = \frac{3,6 \times C_{\alpha} = 1 \times 100}{a \times \eta_{БР.}} \frac{мг}{Гкал} \quad (3.9)$$

Де: $\eta_{БР.}$ - ККД котлоагрегата %;

a - відношення нижчої теплоти горіння палива до об'єму сухих продуктів горіння $Мдж/м^3 = 4,187$

4. Максимальний секундний викид оксидів від агрегата:

$$C_{сек.} = \frac{B_{МАХ} \times Q_{Г.}}{3600} \frac{г}{сек} \quad (3.10)$$

Де: $Q_{Г.}$ - тепло вироблене агрегатом Гкал/год;

$B_{МАХ}$ - максимальний викид оксидів мг/Гкал

6. Температура димових газів на виході з димаря:

$$T_{TP}^{//} = T_{TP}^/ - \Delta T_{TP} - \Delta T_{ДХ}. \quad (3.11)$$

Де: $T_{TP}^/$ - температура димових газів на виході з труби °С;

ΔT_{TP} - падіння температури газів на 1 м. димаря °С;

$\Delta T_{ДХ}$ - падіння температури від димососа до димаря °С;

$$T_{mp}^/ = \frac{B_{T1} \times \alpha_{vX1} \times T_{vX1} + B_{T2} \times \alpha_{vX2} \times T_{vX2} \dots}{B_{T1} \times \alpha_{vX1} + B_{T2} \times \alpha_{vX2} \dots} \quad (3.12)$$

Де: B_T - витрата натурального палива м³/год

α_{vX} - надлишок повітря за димососом кожного котла;

T_{vX} - температура газів за димососом кожного котла °С;

$$\Delta T_{TP} = \Delta t_{TP} \times H_{TP}. \quad (3.13)$$

Де: Δt_{TP} - падіння температури газів по висоті димаря °С;

H_{TP} - висота труби м ;

$$\Delta t_{TP} = 0,4 \sqrt{D} \quad (3.14)$$

Де: D - еквівалентна величина:

$$\sqrt{D} = \frac{\sqrt{Bm \times Q_{P.H.}}}{822} \quad (3.15)$$

7. Визначення секундного об'єму димових газів на виході з гирла:

$$V_{TP} = \frac{\sum Bn [V_G^0 + V_{п.}^0 (\alpha'_{vX} - 1)] \times \rho_H}{3600} \times \frac{273 + T_{TP}^{//}}{273} \times \frac{760}{P_B} \frac{m^3}{сек.} \sin^{-1} \theta \quad (3.16)$$

Де: V_G^0 , $V_{п.}^0$ - об'єми продуктів згорання та необхідні об'єми повітря

для спалювання 1кг палива м³/кг

ρ_H - густина сухого природного газу при нормальних умовах
кг/м³

8. Визначення швидкості викидів шкідливих речовин з гирла димаря :

$$W_{TP.} // = \frac{V_{TP.}}{f_{ГПР.}} \quad (3.17)$$

Де: $f_{ГПР.}$ - площа живого перетину гирла димаря м²

3.3 Складення режимних карт для котлоагрегатів

Для детального вивчення впливу струменево-нішевої технології на параметри котлоагрегату було проведено ряд досліджень. В якості основи дослідницької роботи на тепловій електричній станції ТОВ «Призма-14», яка розташована в Київській області та в КП «Житомиртеплокомуненерго», яке розташоване в місті Житомир було проведено вимірювання параметрів котлоагрегату ДКВР-14-21 з пальниковим пристроєм СНТ-45, де в якості палива використовують природний газ та котла КВГМ-20 з пальниковим пристроєм типу СНТ-67. Опираючись на отримані дані було розроблено режимні карти.

3.3.1 Режимна карта котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№1

В ході дослідницької роботи було отримано вихідні показники при роботі в момент різних показників навантаження котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№1 . Після обробки отриманих даних та проведення відповідних розрахунків, отримані результати занесені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Зведена відомість результатів еколого-теплотехнічної наладки парового котла ДКВР-14-24 ст.№1.

№	Найменування величин	Позначення	Од. виміру	Навантаження %			
				54	61	75	90
ТЕПЛО							
1	Теплопродуктивність котла	Qк	Гкал/год	7,15	7,99	9,89	11,90
ВОДА ТА ПАРА							
2	Тиск пари та живильної води:						
	- пари в барабані	P'е	кг/см ²	21,5	21,5	21,5	21,5
	- живильної води	P"е	кг/см ²	30,5	30,5	30,5	30,5

Продовження таблиці 3.1.

3	Температура:						
	- живильної води	T'e	°C	100	100	100	100
	- перегрітої пари	T''e	°C	358	365	370	375
ПАЛИВО							
4	Марка палива	M	Природний газ				
5	Теплотворна здібність палива	Q _{нр}	ккал/м ³	8171	8171	8171	8171
6	Витрати палива котлом приведені до н.у.	W _{нг}	нм ³ /год	955	1068	1320	1590
7	Тиск газу в колекторі котла	P _{гк}	кг/см ²	0,05	0,1	0,15	0,2
8	Тиск повітря за вентилятором	P _{п.вент.}	кПа	0,12	0,3	0,49	0,71
9	Тиск повітря за приладом автоматки	P _{па}	кПа	0,11	0,48	1,2	1,55
10	Тиск повітря на пальники (щит):						
	П1	P _{п1}	кПа	0,12	0,29	0,48	0,7
	П2	P _{п2}		0,12	0,29	0,48	0,7
11	Температура повітря	T _п	°C	22	22	22	22
12	Розрідження в топці	S _т	мм.в.ст.	3	3	3	3
РЕЗУЛЬТАТИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ЗА КОТЛОМ							
13	Вміст двоокислу вуглецю	CO ₂	%	7,0	7,2	7,2	7,4
14	Вміст кисню	O ₂	%	8,5	8,3	8,1	7,8
15	Вміст окислу вуглецю	CO	ppm	29	32	35	39
17	Вміст оксидів азоту	NO _x	ppm	98	103	107	112
18	Коефіцієнт надлишку повітря	α	-	1,68	1,65	1,63	1,59
19		Z		6,1	6,05	6	5,85
20	Температура димових газів	T''	°C	122	128	134	142
ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС				54 %	61 %	75 %	90 %
21	Втрати тепла з відхідними газами	q ₂	%	6,10	6,41	6,72	7,02
22	Втрати тепла з хімічним недопалом	q ₃	%	0,02	0,02	0,02	0,02
23	Втрати тепла в навколишній простір	q ₅	%	2,22	1,96	1,60	1,33
24	ККД котла брутто за зворотнім балансом	η _{зв.}	%	91,66	91,60	91,66	91,63
25	Середньозважений ККД	η _с	%	91,64			
26	Питома витрата натурального палива на 1Гкал виробленого тепла	b _{н.п.}	м ³ /Гкал	133,5	133,6	133,5	133,6
27	Питома витрата умовного палива на 1Гкал виробленого тепла	b _{у.п.}	кг/Гкал	155,8	155,9	155,8	155,9

Продовження таблиці 3.1.

28	Масова концентрація при $\alpha=1$:						
	- оксида вуглецю	C _{co}	мг/м ³	53	56	61	66
	- оксида азоту	CNO _x	мг/м ³	289	299	306	313
29	Умовний викид на 1Гкал:						
	- оксида вуглецю	B _{co}	г/Гкал	57,3	60,8	66,7	71,6
	- оксида азоту	BNO _x	г/Гкал	316	326	334	341
30	Умовний викид на 1000 м3 палива:						
	- оксида вуглецю	B _{co}	кг/т.м ³	0,43	0,46	0,50	0,54
	- оксида азоту	BNO _x	кг/т.м ³	2,36	2,44	2,50	2,56
31	Секундний викид:						
	- оксида вуглецю	M _{co}	г/сек	0,114	0,135	0,183	0,237
	- оксида азоту	MNO _x	г/сек	0,627	0,724	0,918	1,129

Для визначення якості паливної суміші використовують коефіцієнт надлишку повітря, він відображає відношення кількості повітря й палива в суміші.

Струменево-нішева технологія досягає стабільність горіння та високих показників ефективності саме за рахунок якісного сумішозмішування.

Тому основним показником для дослідження даної технології є дослідження саме коефіцієнту надлишку повітря, на рисунку 3.1 продемонстровано відношення між коефіцієнтом надлишку повітря та теплопродуктивністю котла.

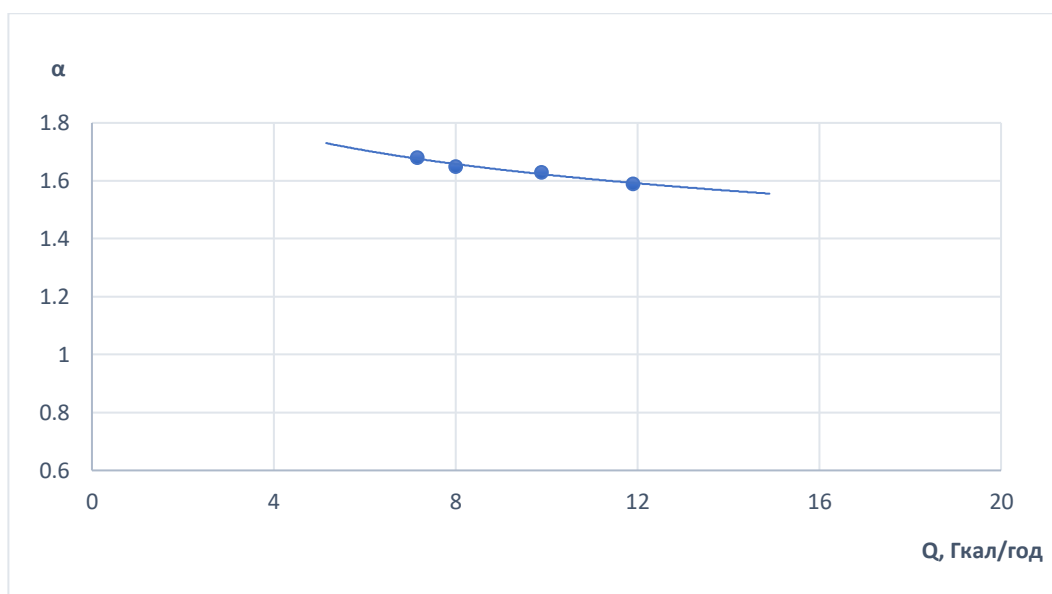


Рис.3.1 Залежність теплопродуктивності котла від коефіцієнту надлишку повітря для ДКВР-14-24 ст.№1

Згідно з даним графіком видно, що зі зменшенням коефіцієнту надлишку повітря збільшується теплопродуктивність котла.

Окрім показників ефективності важливим фактором є значення кількості викидів шкідливих речовин внаслідок роботи котла.

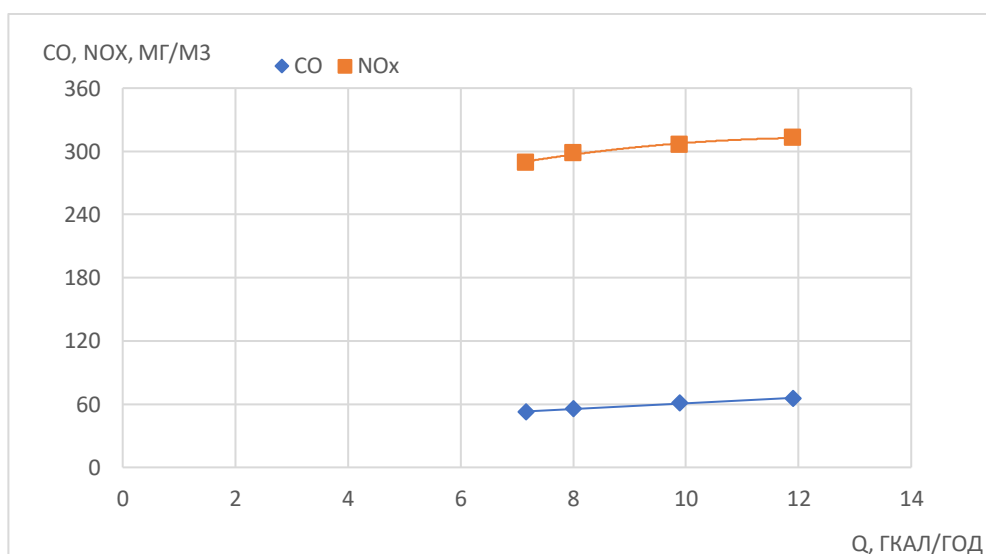


Рис.3.2 Залежність кількості шкідливих викидів від теплопродуктивності котла для ДКВР-14-24 ст.№1

На даному графіку відображена зміна викидів CO та NOx зі зростанням теплопродуктивності котельного агрегату.

3.3.2 Режимна карта котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№2

В ході дослідницької роботи було отримано вихідні показники при роботі в момент різних показників навантаження котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№2 . Після обробки отриманих даних та проведення відповідних розрахунків, отримані результати занесені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Зведена відомість результатів еколого-теплотехнічної наладки парового котла ДКВР-14-24 ст.№2.

№	Найменування величин	Позначення	Од. виміру	Навантаження %			
				67	75	85	98
ТЕПЛО							
1	Теплопродуктивність котла	Q _к	Гкал/год	6,15	6,84	7,80	9,01
ВОДА ТА ПАРА							
2	Тиск пари та живильної води:						
	- пари в барабані	P' _е	кг/см ²	22	22	22	22
	- живильної води	P'' _е	кг/см ²	30,5	30,5	30,5	30,5
3	Температура:						
	-живильної води	T' _е	°С	100	100	100	100
	- перегрітої пари	T'' _е	°С	358	365	370	375
ПАЛИВО							
4	Марка палива	М	Природний газ				
5	Теплотворна здібність палива	Q _{нр}	ккал/м ³	8325	8325	8325	8325
6	Витрати палива котлом приведені до н.у.	W _{нг}	нм ³ /год	805	895	1020	1180
7	Тиск газу в колекторі котла	P _{гк}	кг/см ²	0,05	0,07	0,1	0,138
8	Тиск повітря за вентилятором	P _{п.вент.}	кПа	0,22	0,3	0,45	0,63
9	Температура повітря	T _п	°С	21	21	21	21
10	Розрідження в топці	S _т	мм.в.ст.	3	3	3	3
РЕЗУЛЬТАТИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ЗА КОТЛОМ							
11	Вміст двоокислу вуглецю	CO ₂	%	7,2	7,4	7,7	7,8
12	Вміст кисню	O ₂	%	8,3	7,8	7,3	7,1
13	Вміст окислу вуглецю	CO	ppm	30	32	34	41
14	Вміст оксидів азоту	NO _x	ppm	98	101	107	113
15	Коефіцієнт надлишку повітря	α	-	1,65	1,59	1,53	1,51
16		Z		6,05	5,85	5,675	5,62
17	Температура димових газів	T''	°С	123	129	136	142

Продовження таблиці 3.2.

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС				67 %	75 %	85 %	98 %
18	Втрати тепла з відхідними газами	q ₂	%	6,17	6,32	6,53	6,80
19	Втрати тепла з хімічним недопалом	q ₃	%	0,02	0,02	0,02	0,02
20	Втрати тепла в навколишній простір	q ₅	%	2,09	1,87	1,65	1,43
21	ККД котла бруто за зворотнім балансом	η зв.	%	91,72	91,80	91,81	91,75
27	Середньозважений ККД	η _с	%	91,77			
22	Питома витрата натурального палива на 1Гкал виробленого тепла	бн.п.	м ³ /Гкал	131,0	130,9	130,8	130,9
23	Питома витрата умовного палива на 1Гкал виробленого тепла	бу.п.	кг/Гкал	155,8	155,6	155,6	155,7
Масова концентрація при α=1:							
24	- оксида вуглецю	C _{co}	мг/м ³	52	54	56	66
	- оксида азоту	CNO _x	мг/м ³	284	282	288	300
Умовний викид на 1Гкал:							
25	- оксида вуглецю	V _{co}	г/Гкал	56,9	58,5	60,7	72,3
	- оксида азоту	VNO _x	г/Гкал	310	307	313	327
Умовний викид на 1000 м ³ палива:							
26	- оксида вуглецю	V _{co}	кг/т.м ³	0,43	0,45	0,46	0,55
	- оксида азоту	VNO _x	кг/т.м ³	2,37	2,35	2,39	2,50
Секундний викид:							
27	- оксида вуглецю	M _{co}	г/сек	0,097	0,111	0,131	0,181
	- оксида азоту	MNO _x	г/сек	0,529	0,584	0,679	0,818

Так само як для котла ДКВР-14-24 ст.№1 побудована зведена таблиця розрахункових даних. На її основі представлено два графіки для дослідження ефективності та екологічності та представлено на рисунках 3.3 та 3.4 відповідно.

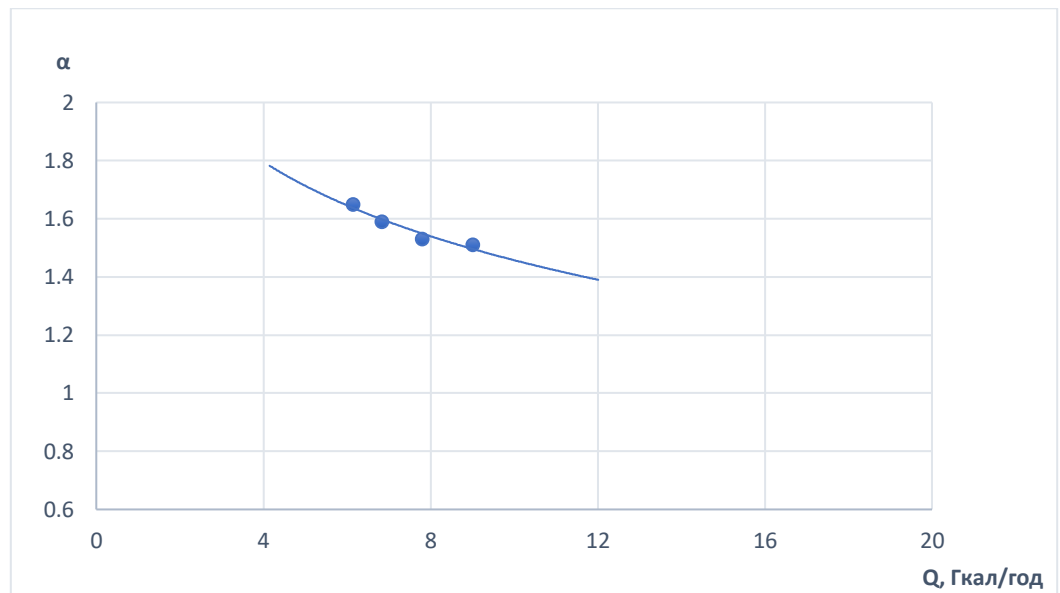


Рис.3.3 Залежність теплопродуктивності котла від коефіцієнту надлишку повітря для ДКВР-14-24 ст.№2

Так само як і в попередньому випадку зі зменшенням коефіцієнту надлишку повітря відбувається приріст теплопродуктивності котла.

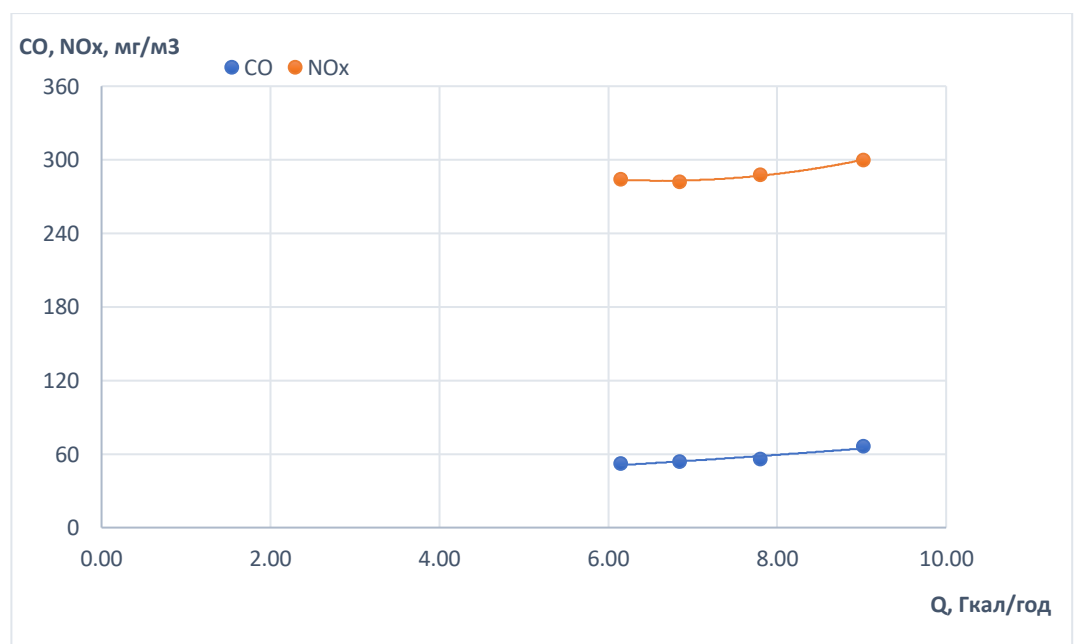


Рис.3.4 Залежність кількості шкідливих викидів від теплопродуктивності котла для ДКВР-14-24 ст.№2

Як видно відбувається приріст кількості шкідливих елементів при збільшенні теплопродуктивності, але дане збільшення є в порівнянні не значним.

3.3.3 Режимна карта котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№3

В ході дослідницької роботи було отримано вихідні показники при роботі в момент різних показників навантаження котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№3 . Після обробки отриманих даних та проведення відповідних розрахунків, отримані результати занесені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Зведена відомість результатів еколого-теплотехнічної наладки парового котла ДКВР-14-24 ст.№3.

№	Найменування величин	Позначення	Од. виміру	Навантаження %			
				63	80	92	100
ТЕПЛО							
1	Теплопродуктивність котла	Q _к	Гкал/год	5,90	7,51	8,64	9,45
ВОДА ТА ПАРА							
2	Тиск пари та живильної води:						
	- пари в барабані	P'e	кг/см ²	21,2	21,2	21,2	21,2
	- живильної води	P''e	кг/см ²	30,5	30,5	30,5	30,5
3	Температура:						
	-живильної води	T'e	°C	100	100	100	100
	- перегрітої пари	T''e	°C	350	352	356	359
ПАЛИВО							
4	Марка палива	M	Природний газ				
5	Теплотворна здібність палива	Q _{нр}	ккал/м ³	8390	8390	8390	8390
6	Витрати палива котлом приведені до н.у.	W _{нг}	нм ³ /год	760	965	1110	1215
7	Тиск газу в колекторі котла	P _{гк}	кг/см ²	0,04	0,07	0,1	0,127
8	Тиск повітря за вентилятором	P _{п.вент.}	кПа	0,18	0,33	0,49	0,65
9	Тиск повітря на пальники (щит):						
	П1	P _{п1}	кПа	0,12	0,29	0,48	0,7
	П2	P _{п2}		0,12	0,29	0,48	0,7
10	Температура повітря	T _п	°C	21	21	21	21
11	Розрідження в топці	S _т	мм.в.ст.	3	3	3	3
РЕЗУЛЬТАТИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ЗА КОТЛОМ							
12	Вміст двоокислу вуглецю	CO ₂	%	8,9	9,0	9,1	9,3
13	Вміст кисню	O ₂	%	5,2	5,0	4,8	4,5
14	Вміст окислу вуглецю	CO	ppm	21	26	30	34
15	Вміст оксидів азоту	NO _x	ppm	90	95	98	100
16	Коефіцієнт надлишку повітря	α	-	1,33	1,31	1,3	1,27

Продовження таблиці 3.3.

17		Z		5,13	5,075	5,03	4,93
18	Температура димових газів	T"	°C	122	129	134	140
ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС				63 %	80 %	92 %	100 %
19	Втрати тепла з відхідними газами	q2	%	5,18	5,48	5,68	5,87
20	Втрати тепла з хімічним недопалом	q3	%	0,02	0,02	0,02	0,02
21	Втрати тепла в навколишній простір	q5	%	2,22	1,75	1,52	1,40
22	ККД котла бруто за зворотнім балансом	η зв.	%	92,58	92,75	92,77	92,71
27	Середньозважений ККД	ηс	%	92,70			
24	Питома витрата натурального палива на 1Гкал виробленого тепла	вн.п.	м ³ /Гкал	128,7	128,5	128,5	128,6
25	Питома витрата умовного палива на 1Гкал виробленого тепла	бу.п.	кг/Гкал	154,3	154,0	154,0	154,1
Масова концентрація при α=1:							
26	- оксида вуглецю	Cco	мг/м ³	30	36	42	46
	- оксида азоту	CNOx	мг/м ³	210	219	224	224
Умовний викид на 1Гкал:							
27	- оксида вуглецю	Bco	г/Гкал	32,3	38,6	45,5	49,6
	- оксида азоту	BNOx	г/Гкал	227	236	241	242
Умовний викид на 1000 м3 палива:							
28	- оксида вуглецю	Bco	кг/т.м ³	0,25	0,30	0,35	0,39
	- оксида азоту	BNOx	кг/т.м ³	1,76	1,83	1,88	1,88
Секундний викид:							
29	- оксида вуглецю	Mco	г/сек	0,053	0,080	0,109	0,130
	- оксида азоту	MNOx	г/сек	0,373	0,492	0,579	0,634

Для даного котлоагрегату так само проведено вивчення та досліджено таблицю та побудовано графіки залежностей.

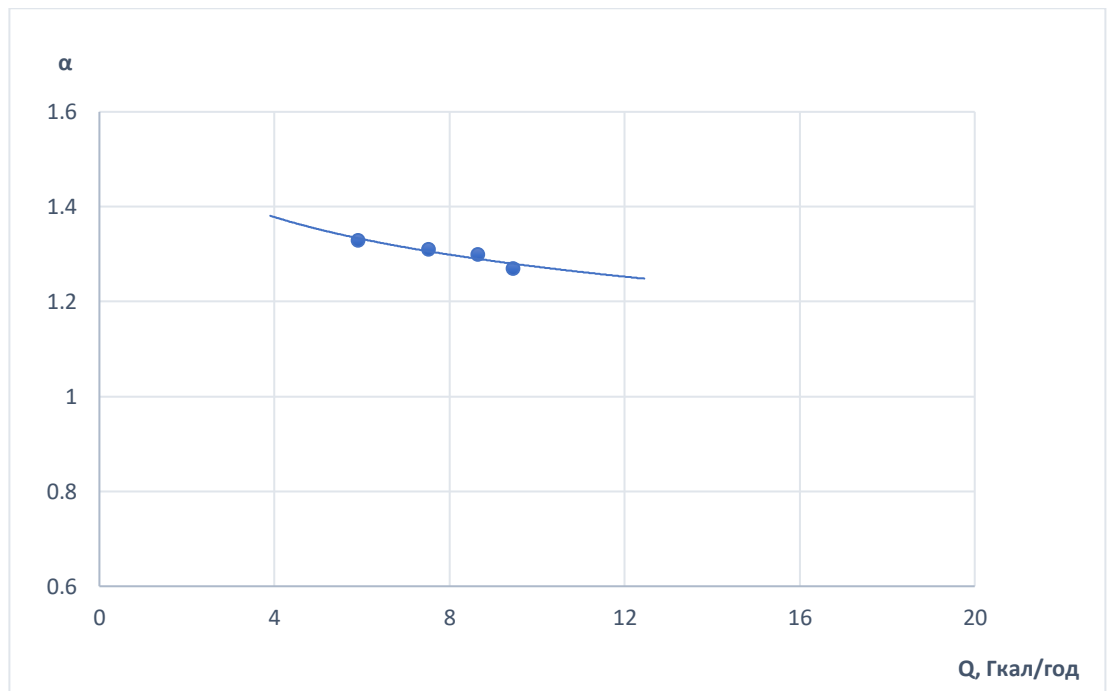


Рис.3.5 Залежність теплопродуктивності котла від коефіцієнту надлишку повітря для ДКВР-14-24 ст.№3

Завдяки оптимізації термодинамічних та аеродинамічних процесів в котлоагрегатах було отримано менший показник коефіцієнту надлишку повітря і саме даний показник має вагомий вплив на ефективність, екологічність та економічність.

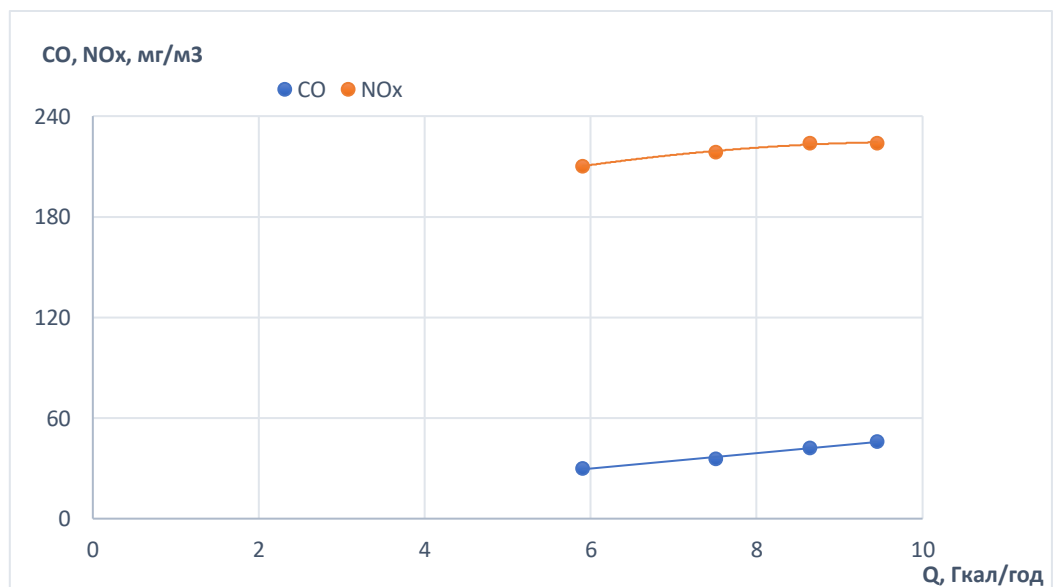


Рис.3.6 Залежність кількості шкідливих викидів від теплопродуктивності котла для ДКВР-14-24 ст.№3

3.3.4 Режимна карта котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№4

В ході дослідницької роботи було отримано вихідні показники при роботі в момент різних показників навантаження котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№4 . Після обробки отриманих даних та проведення відповідних розрахунків, отримані результати занесені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Зведена відомість результатів еколого-теплотехнічної наладки парового котла ДКВР-14-24 ст.№4.

№	Найменування величин	Позначення	Од. виміру	Навантаження %			
				58	71	83	98
ТЕПЛО							
1	Теплопродуктивність котла	Q _к	Гкал/год	5,29	6,53	7,67	9,05
ВОДА ТА ПАРА							
2	Тиск пари та живильної води:						
	- пари в барабані	P'e	кг/см ²	21,4	21,4	21,4	21,4
	- живильної води	P''e	кг/см ²	30,5	30,5	30,5	30,5
3	Температура:						
	-живильної води	T'e	°C	100	100	100	100
	- перегрітої пари	T''e	°C	338	355	368	371
ПАЛИВО							
4	Марка палива	M	Природний газ				
5	Теплотворна здібність палива	Q _{нр}	ккал/м ³	8320	8320	8320	8320
6	Витрати палива котлом приведені до н.у.	W _{нг}	нм ³ /год	690	850	1000	1180
7	Тиск газу в колекторі котла	P _{гк}	кг/см ²	0,04	0,07	0,1	0,147
8	Тиск повітря за вентилятором	P _{п.вент.}	кПа	0,11	0,29	0,49	0,72
9	Тиск повітря на пальники (щит):						
	П1	P _{п1}	кПа	0,12	0,29	0,48	0,7
	П2	P _{п2}		0,12	0,29	0,48	0,7
10	Температура повітря	T _п	°C	20	20	20	20
11	Розрідження в топці	S _т	мм.в.ст.	3	3	3	3
РЕЗУЛЬТАТИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ЗА КОТЛОМ							
12	Вміст двоокислу вуглецю	CO ₂	%	8,1	8,3	8,4	8,6
13	Вміст кисню	O ₂	%	6,5	6,2	6,0	5,8
14	Вміст окислу вуглецю	CO	ppm	29	32	35	39
15	Вміст оксидів азоту	NO _x	ppm	96	104	117	128
16	Коефіцієнт надлишку повітря	α	-	1,45	1,42	1,4	1,38

Продовження таблиці 3.4.

17		Z		5,45	5,35	5,3	5,27
18	Температура димових газів	T''	°C	118	127	135	141
ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС				58 %	71 %	83 %	98 %
19	Втрати тепла з відхідними газами	q ₂	%	5,34	5,72	6,10	6,38
20	Втрати тепла з хімічним недопалом	q ₃	%	0,02	0,02	0,02	0,02
21	Втрати тепла в навколишній простір	q ₅	%	2,41	1,97	1,69	1,43
22	ККД котла бруто за зворотнім балансом	η зв.	%	92,23	92,28	92,20	92,17
27	Середньозважений ККД	η _с	%	92,22			
24	Питома витрата натурального палива на 1Гкал виробленого тепла	вн.п.	м ³ /Гкал	130,3	130,2	130,4	130,4
25	Питома витрата умовного палива на 1Гкал виробленого тепла	бу.п.	кг/Гкал	154,9	154,8	154,9	155,0
26	Масова концентрація при α=1:						
	- оксида вуглецю	C _{co}	мг/м ³	45	48	53	57
	- оксида азоту	CNO _x	мг/м ³	245	259	288	309
27	Умовний викид на 1Гкал:						
	- оксида вуглецю	B _{co}	г/Гкал	49,1	51,9	56,9	61,8
	- оксида азоту	BNO _x	г/Гкал	265	281	312	335
28	Умовний викид на 1000 м ³ палива:						
	- оксида вуглецю	B _{co}	кг/т.м ³	0,38	0,40	0,44	0,47
	- оксида азоту	BNO _x	кг/т.м ³	2,04	2,16	2,39	2,57
29	Секундний викид:						
	- оксида вуглецю	M _{co}	г/сек	0,072	0,094	0,121	0,155
	- оксида азоту	MNO _x	г/сек	0,390	0,510	0,665	0,843

В аналогії з попередніми випадками представлено графічне зображення відношення коефіцієнту надлишку повітря та кількості викидів CO та NO_x від теплопродуктивності котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№4 та представлено на рисунка 3.7 та 3.8 відповідно.

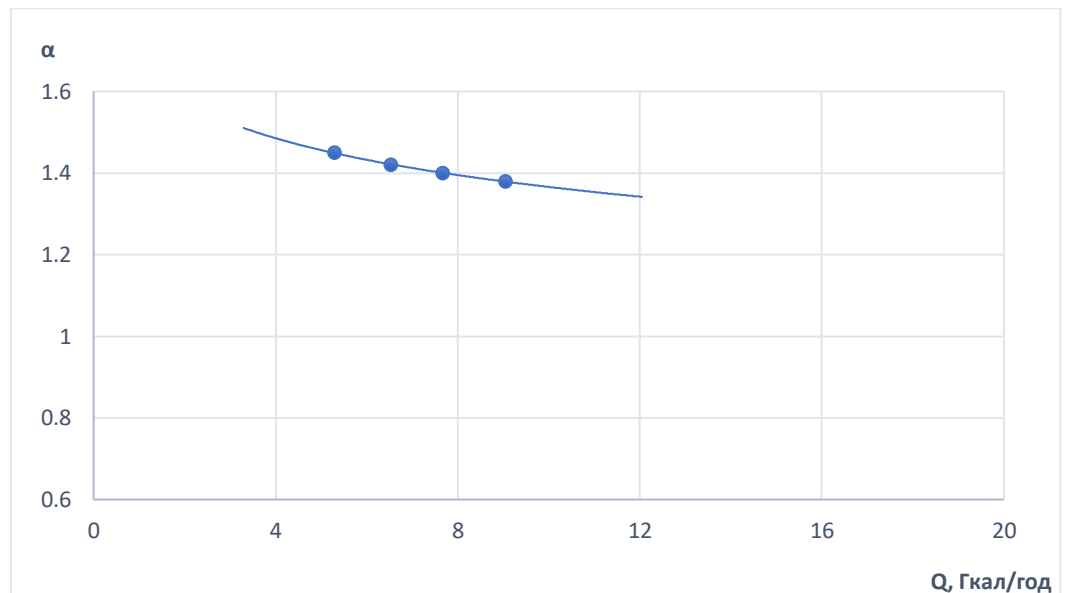


Рис.3.7 Залежність теплопродуктивності котла від коефіцієнту надлишку повітря для ДКВР-14-24 ст.№4

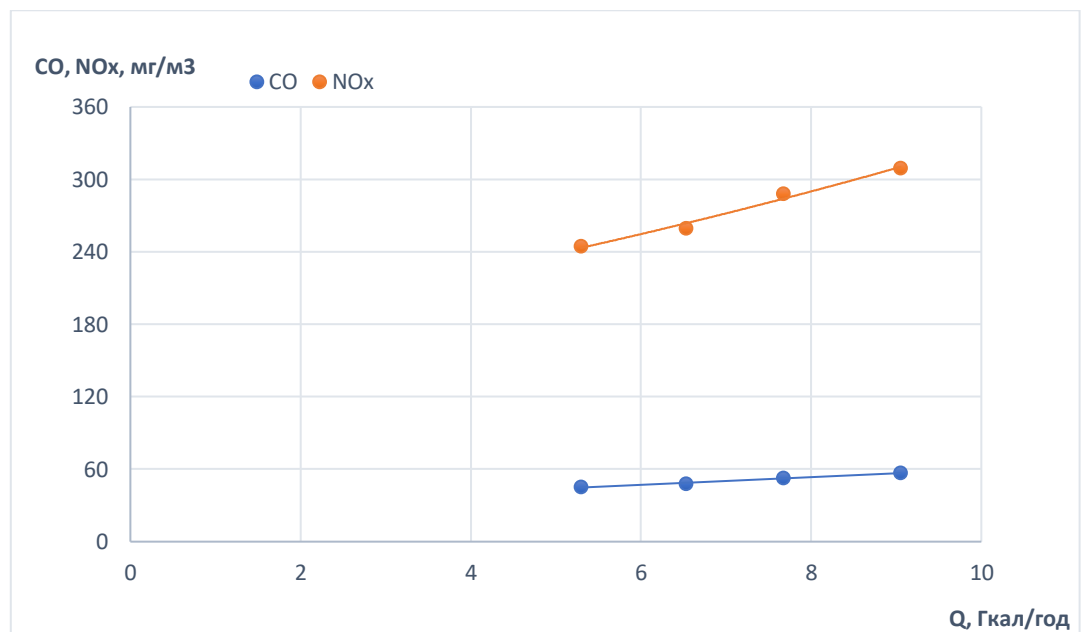


Рис.3.8 Залежність кількості шкідливих викидів від теплопродуктивності котла для ДКВР-14-24 ст.№4

3.3.5 Режимна карта котлоагрегату КВГМ-20

В ході дослідницької роботи також було досліджено котлоагрегат КВГМ-20 та отримані вихідні показники при його роботі при різних показниках навантаження. Після обробки отриманих даних та проведення відповідних розрахунків, отримані результати занесені в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Зведена відомість результатів еколого-теплотехнічної наладки парового котла КВГМ-20.

№	Найменування величин	Позначення	Од. виміру	Навантаження %			
				28	45	74	85
ТЕПЛО							
1	Теплопродуктивність котла	Qк	Гкал/год	5,65	9,02	14,72	16,98
2	Витрата води через котел	D	м3/год	240	240	240	240
ВОДА							
3	Тиск води:						
	- до котла	P'e	кг/см ²	10,5	10,5	10,5	10,5
	- після котла	P''e	кг/см ²	8,0	8,0	8,0	8,0
4	Температура:						
	- на вході в котел	T'e	°C	51	51	52	53
	- на виході з котла	T''e	°C	75	90	116	129
ПАЛИВО							
5	Марка палива	M	Природний газ				
6	Теплотворна здібність палива	Qнр	ккал/м ³	8171	8171	8171	8171
7	Витрати палива котлом приведені до н.у.	WнГ	нм ³ /год	750	1190	1970	2290
8	Тиск газу в колекторі котла	Pгк	кг/см ²	0,015	0,05	0,11	0,135
9	Тиск газу за приладом автоматики	Pга	Кпа	1,6	3,8	10,5	14
10	Тиск газу на пальники:						
	Г1	Pг1	кПа	0,6	2,2	5,8	6,4
	Г2	Pг2					
11	Тиск повітря за вентилятором	Pп.вент.	Кпа	0,12	0,35	0,8	1,45
12	Тиск повітря за приладом автоматики	Pпа	Кпа	0,11	0,48	1,2	1,55
13	Тиск повітря на пальники (щит):						
	П1	Pп1	кПа	0,12	0,34	0,97	1,44
	П2	Pп2					
14	Температура повітря	Tп	°C	12	12	12	12
15	Розрідження в топці	St	мм.в.ст.	4	4	4	4
РЕЗУЛЬТАТИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ЗА КОТЛОМ							
16	Вміст двоокислу вуглецю	CO ₂	%	9,3	9,8	10,5	10,5
17	Вміст кисню	O ₂	%	4,5	3,5	2,3	2,3
16	Вміст окислу вуглецю	CO	ppm	32,8	42	42	60
19	Вміст оксидів азоту	NO _x	ppm	79	96	105	114

Продовження таблиці 3.5.

20	Коефіцієнт надлишку повітря	α	-	1,27	1,2	1,12	1,12
		Z		4,97	4,75	4,5	4,5
21	Температура димових газів	T"	°C	94	116	171	190
ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС				28 %	45 %	74 %	85 %
22	Втрати тепла з відхідними газами	q2	%	4,08	4,94	7,16	8,01
23	Втрати тепла з хімічним недопалом	q3	%	0,01	0,01	0,01	0,01
24	Втрати тепла в навколишній простір	q5	%	3,68	2,29	1,39	1,21
25	ККД котла бруто за зворотнім балансом	η зв.	%	92,24	92,76	91,44	90,77
27	Середньозважений ККД	η с	%	91,80			
28	ККД котла бруто за прямим балансом	η пр.	%	92,03	93,38	91,26	92,57
29	Розбіжність балансів	$\Delta\eta$	%	-0,21	0,62	-0,18	1,80
				0,98	0,97	0,96	0,95
26	Питома витрата натурального палива на 1Гкал виробленого тепла	вн.п.	м ³ /Гкал	132,7	131,9	133,8	134,8
27	Питома витрата умовного палива на 1Гкал виробленого тепла	бу.п.	кг/Гкал	154,9	154,0	156,2	157,4
28	Масова концентрація при $\alpha=1$:						
	- оксида вуглецю	Cco	мг/м ³	45	54	50	72
	- оксида азоту	CNOx	мг/м ³	176	202	206	224
29	Умовний викид на 1Гкал:						
	- оксида вуглецю	Bco	г/Гкал	48,4	58,2	55,1	79,3
	- оксида азоту	BNOx	г/Гкал	191	218	225	247
30	Умовний викид на 1000 м ³ палива:						
	- оксида вуглецю	Bco	кг/т.м ³	0,36	0,44	0,41	0,59
	- оксида азоту	BNOx	кг/т.м ³	1,44	1,65	1,68	1,83
31	Секундний викид:						
	- оксида вуглецю	Mco	г/сек	0,076	0,146	0,225	0,374
	- оксида азоту	MNOx	г/сек	0,300	0,547	0,920	1,166

Для даного котлоагрегату так само представлено графіки для відображення відношення між коефіцієнтом надлишку повітря, кількістю викидів та теплопродуктивністю котлоагрегату.

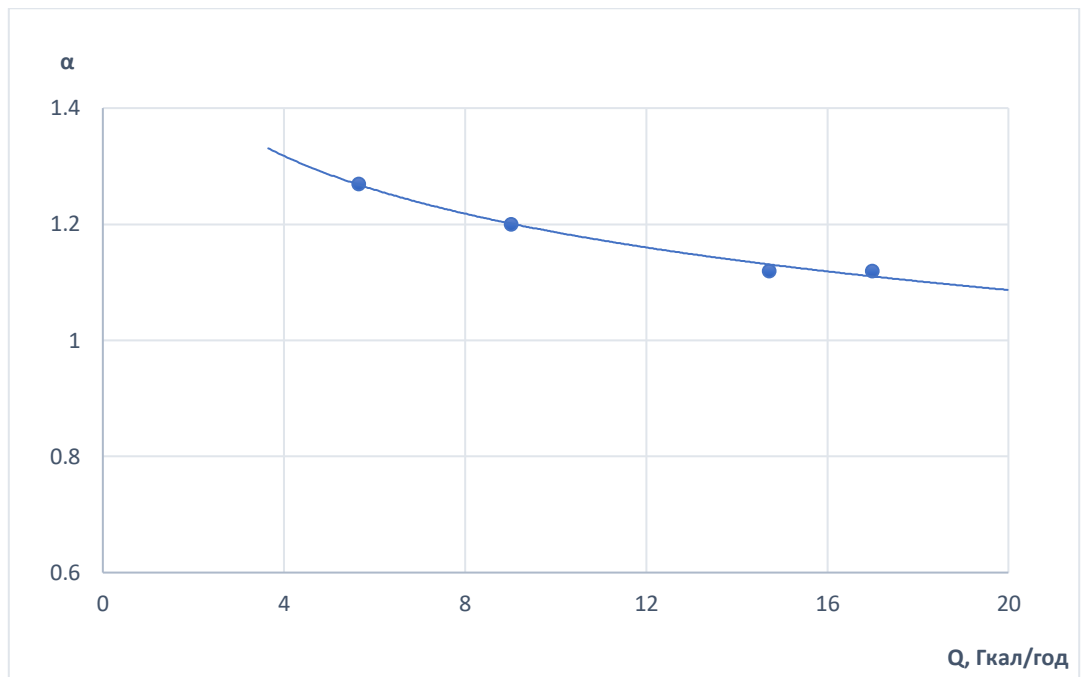


Рис.3.9 Залежність теплопродуктивності котла від коефіцієнту надлишку повітря для КВГМ-20

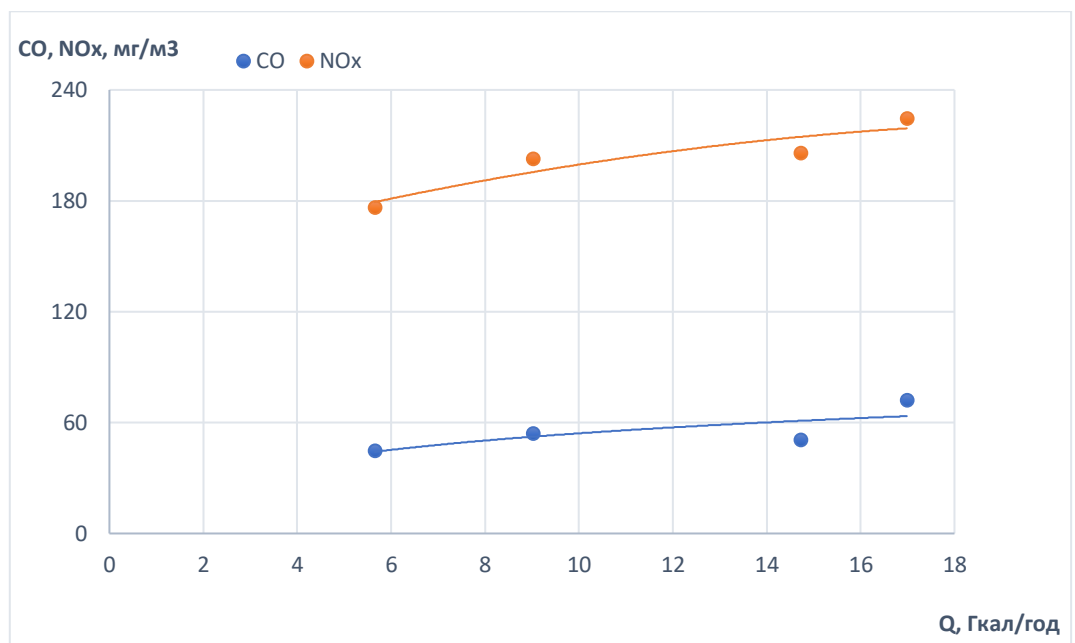


Рис.3.10 Залежність кількості шкідливих викидів від теплопродуктивності котла для КВГМ-20

Висновки до розділу 3.

Згідно з отриманими режимними картами для котлоагрегатів типу ДКВР-14-24 та КВГМ-20 можна зробити наступні висновки:

1. Згідно даних, які занесені в режимні карти слідує, що котлоагрегати можуть працювати в режимі робочих навантажень та підтримувати надійність та економічність експлуатації.
2. Згідно з нормативними вимогами, які представлені ГОСТ 21563-93 кількість шкідливих речовин, які потрапляють в повітря внаслідок роботи котлоагрегатів не досягає граничних умов, що демонструє високий екологічний рівень.
3. При встановленні пальників типу СНТ досягнуто високі економічні показники, високий рівень надійності для обраних робочих навантажень, також відсутній наднормативний хімічний недопал палива.
4. Для справної роботи котлоагрегатів необхідно контролювати параметри основного та допоміжного обладнання відповідно до режимної карти.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЖИМНИХ КАРТ

В розділі 1 представлено ряд аспектів, які мають суттєвий вплив на показники екологічності, економічності та ефективності котлоагрегатів. Дані, які наведено свідчать про те, що значення коефіцієнту надлишку повітря, температури димових газів та кількісним показникам концентрації агресивних речовин приділяють істотну увагу і вони вважають найбільш актуальними.

Для детального вивчення впливу струменево-нішевої технології на параметри котлоагрегату було проведено ряд наукових досліджень. В якості основи дослідницької роботи на тепловій електричній станції ТОВ «Призма-14», яка розташована в Київській області та в КП «Житомиртеплокомуненерго», яке розташоване в місті Житомир було проведено вимірювання параметрів котлоагрегату ДКВР-14-21 з пальниковим пристроєм СНТ-45, де в якості палива використовують природний газ та котла КВГМ-20 з пальниковим пристроєм типу СНТ-67. Опираючись на отримані дані було розроблено режимні карти, при аналізі та дослідженні отриманих режимних карт було побудовано та досліджено графіки. Досліджені дані, які представлені на графіках, мають вагомий вплив як на економічність, ефективність, так і на екологічність.

4.1 Дослідження зміни економічних показників котлоагрегату від температури відхідних газів

Температура димових газів є досить вагомим важелем впливу на різні техніко-економічні показники котлоагрегату. Саме тому в даному розділі продемонстровані графіки залежностей важливих показників, таких як коефіцієнт надлишку повітря, питома витрата, концентрація шкідливих речовин від температури димових газів.

Одним з основних факторів впливу на температуру відхідних газів є забезпечення коефіцієнту надлишку повітря, що є складовою організацією топкового режиму. Доказовою базою в даному питанні виступає

залежність температури продуктів згорання природного газу від коефіцієнту надлишку повітря при різних значеннях температури повітря, які змінюється в діапазоні від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, показана на рисунку 4.1, яка була продемонстрована в науковій роботі [45].

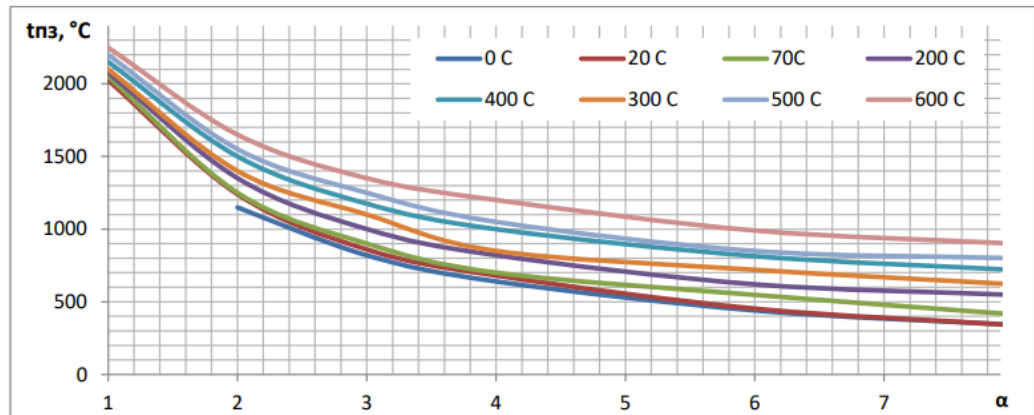


Рис.4.1 Залежність температури продуктів згорання від коефіцієнту надлишку повітря при різних температурах повітря ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $600\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Згідно даної залежності [45] прослідковується, що до зростання температури продуктів згорання призводить зниження показника коефіцієнту надлишку повітря. Дана залежність особливо помітна при досить малих значеннях, коли $\alpha < 2,5$. Для існуючих пальників притаманне значення показника критичного надлишку повітря дорівнює приблизно 1,15-1,25, зменшення даного показника до рівня 1,01-1,02 уможлиблює збільшення температури димових газів в топковому просторі орієнтовно на $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

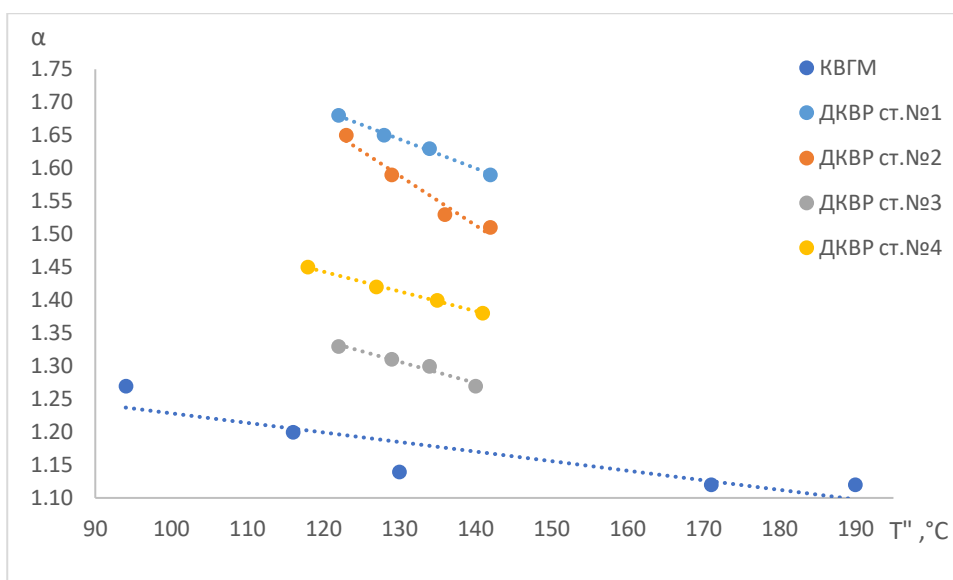


Рис.4.2 Взаємозв'язок коефіцієнту надлишку повітря і температури димових газів для котлів типу ДКВР та КВГМ при спалюванні природного газу

Даний рисунок демонструє, що зі зниженням коефіцієнту надлишку повітря, як для котлоагрегату типу ДКВР так і для котлоагрегату КВГМ пвідбувається зниження температури відхідних газів. Для кожного зниження температури відхідних газів на 1 0C характерне зниження коефіцієнту надлишку повітря. Даний спад становить 0,15 для котла КВГМ-20, 0,09 для котлоагрегату ДКВР ст.№1, 0,14 для котла ДКВР ст.№2, 0,06 для котла ДКВР ст.№3 та 0,07 для котла ДКВР ст.№4.

Коефіцієнт надлишку повітря має вагомий вплив на енергоефективність обладнання, так як це свідчить про кількість повітря, яке надходить до пристрою для процесу спалювання повітря.

Зменшення значення коефіцієнту надлишку повітря свідчить про те, що показники роботи котла досягають оптимального значення коефіцієнту надлишку повітря і внаслідок цього відбувається повне спалювання палива і досягнення гарних показників ККД.

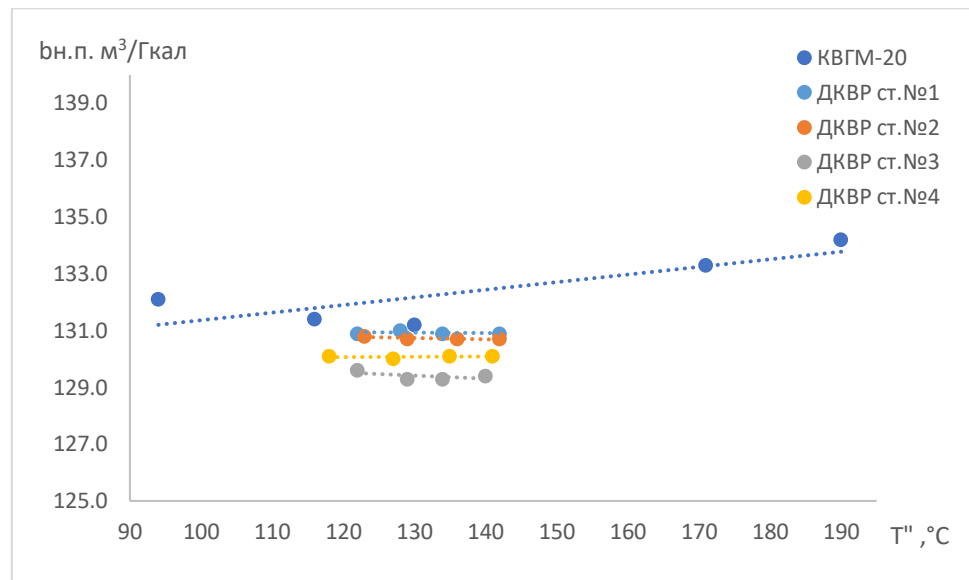


Рис. 4.3 Взаємозв'язок питомої витрати від температури димових газів для котлів типу ДКВР-14-24 та КВГМ-20 в процесі спалювання природного газу

Питома витрата натурального палива тісно взаємопов'язана з коефіцієнтом корисної дії котлоагрегату, тому як наслідок є те, що з приростом температури відхідних газів відбувається зростання значення питомої витрати палива.

З даного рисунку видно, що питома витрата палива для котла типу КВГМ-20 має більший діапазон приросту при підвищенні температури димових газів в порівнянні з котлами типу ДКВР-14-24, даний приріст становить $2,1 \text{ м}^3/\text{Гкал}$, але слід зауважити, що даний котел має більше значення росту температури. В свою чергу для котлоагрегатів типу ДКВР зміна питомої витрати натурального палива становить $0,01 \text{ м}^3/\text{Гкал}$ і на відмінну від показників для котла КВГМ-20 зменшується.

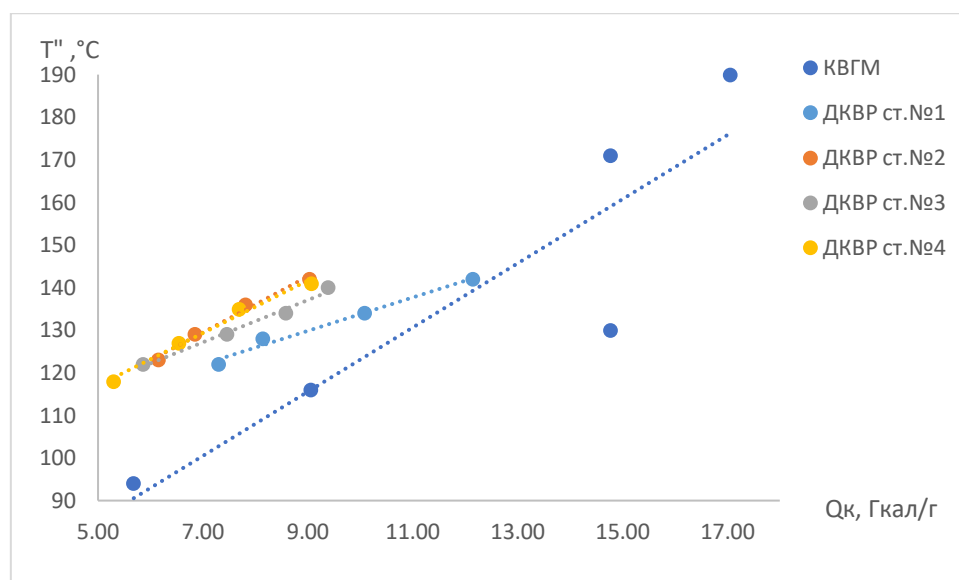


Рис.4.4 Залежність температури димових газів від навантаження котла з урахуванням модернізації пальниками струменево-нішевої технології

Для котла КВГМ-20 при навантаженні на рівні 28% значення температури димових газів становить 94°C , а при позначці навантаження на рівні 85% температура сягає 190°C . Для котлоагрегату ДКВР-12-21 ст.№1 температура димових газів становить 122°C при навантаженні 54% і 142°C при досягненні навантаження у 90%, для котла ДКВР-14-24 ст.№2 рівню навантаження 67% відповідає температура у 123°C і 142°C при навантаженні 98%, дані показники для котла ДКВР-14-24 ст.№3 при навантаженні 63% і 100% значення температури димових газів становить 122 і 140°C відповідно, для котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№4 показники потужності сягають 58% і 98%, а температура димових газів 118°C та 141°C відповідно.

На рисунку 4.5 представлено графічне зображення залежності втрат з димовими газами від температури вихідних газів для котла КВГМ-20 та ДКВР-14-24.

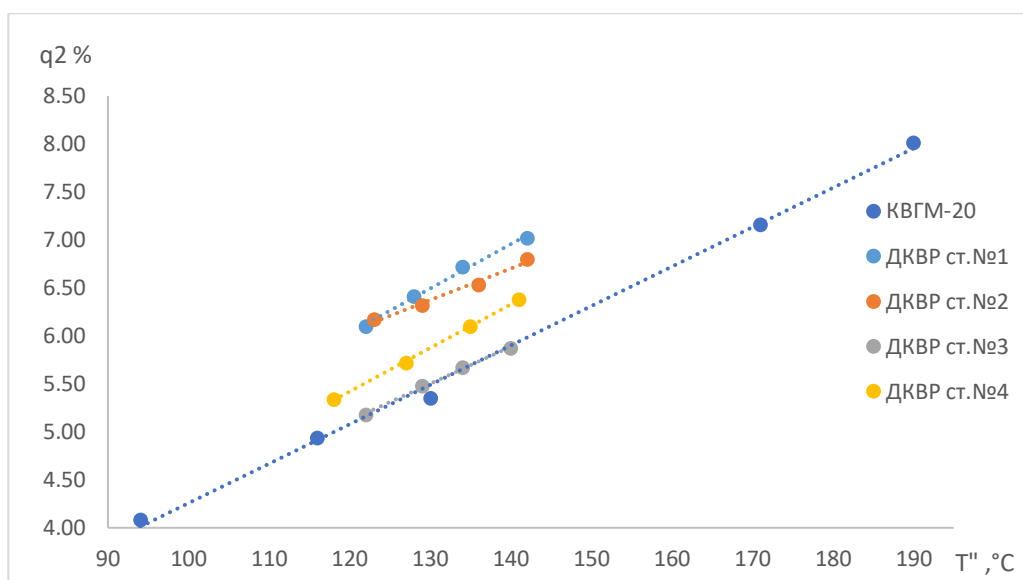


Рис.4.5 Залежність втрат з димовими газами від температури вихідних газів при модернізації пальниками, які базуються на струменево-нішевій технології

Відповідно до отриманого графіка ми бачимо, що при зростанні значення температури димових газів відбувається зростання втрат теплоти з димовими газами. Дане зростання для котлоагрегату КВГМ-20 становить 0,04 % на 1 °С, для котла ДКВР-14-24 ст.№1 зріст становить 0,046%, для ДКВР-14-41 ст.№2 отримане значення становить 0,033 % на 1 °С, для ДКВР-14-21 ст.№3 0,038 % на 1 °С, а для ДКВР 14-21 СТ.№4 в свою чергу на кожен 1 °С відбувається зростання на 0,045%.

При збільшенні температури димових газів відбувається зростання кількості втрат з вихідними газами, що в свою чергу впливає на коефіцієнт корисної дії котла. Так як струменево-нішева технологія сприяє зниженню температури димових газів показники втрат теплоти і в свою чергу коефіцієнт корисної дії має кращі показники, що свідчить про ефективність та економічність процесу.

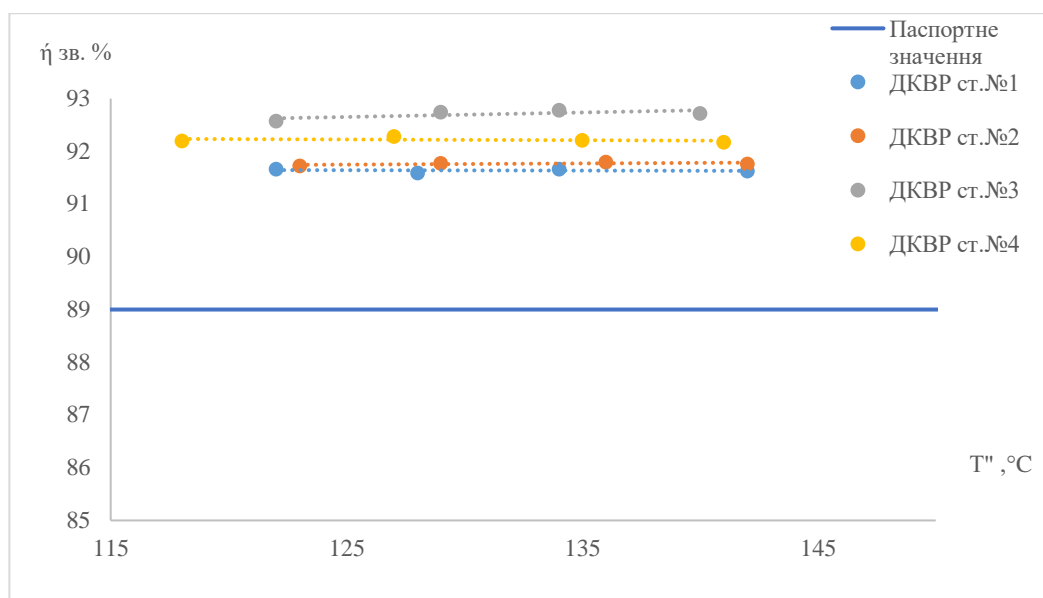


Рис. 4.6 Зв'язок ККД котлоагрегатів типу ДКВР-21-14 від температури відхідних газів

Всім відомий факт, що коефіцієнт корисної дії є досить залежним від кількості втрат теплоти з димовими газами, які в свою чергу на пряму залежать від температури димових газів і збільшуються з її зростанням. Слід зазначити, що котлоагрегати типу ДКВР-14-24 з використанням струменево-нішевих пальників демонструють стабільність коефіцієнту корисної дії.

Так як для котлоагрегату типу КВГМ-20 ситуація дещо відрізняється, для більш детального аналізу залежності коефіцієнту корисної дії від температури димових газів побудовано окремий графік, який представлено на рисунку 4.7.

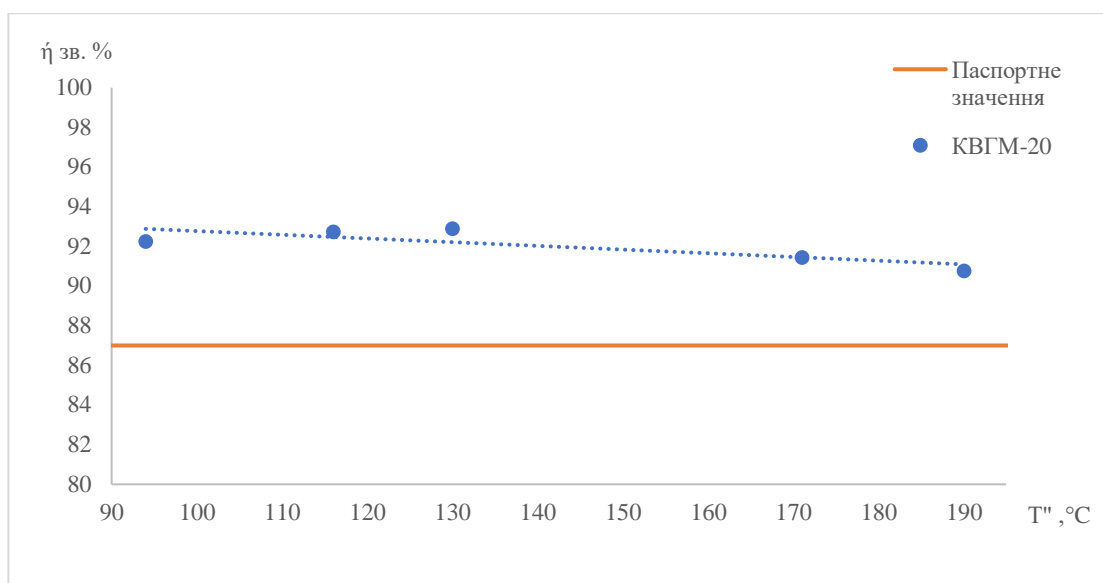


Рис. 4.7 Взаємозв'язок коефіцієнту корисної дії котла типу КВГМ-20 від температури димових газів

Для котлоагрегату типу КВГМ-20 встановлено, що коефіцієнт корисної дії з підвищенням температури димових газів спочатку зростає і досягає свого максимуму на рівні 92,89% при значенні температури димових газів 130 °C і в подальшому знижується до позначки в 90,78%. Отже для котлоагрегату КВГМ-20 для забезпечення максимальної ефективності слід забезпечувати підтримання значення температури димових газів на рівні 110-130 °C (температура не має досягати значень точки роси). Підтримка даної температури забезпечить максимальне значення коефіцієнту корисної дії та екологічну безпеку атмосфери.

Не менш важливою характеристикою є теплопродуктивність та паропроодуктивність котла. Для графічного відображення та аналізу зміни даних параметрів представлено рисунки 4.8 та 4.9.

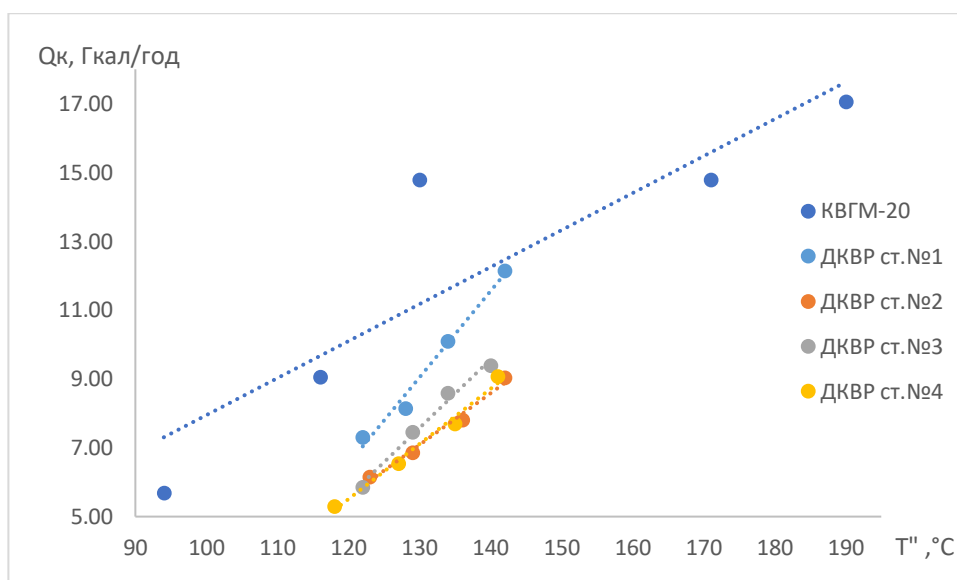


Рис. 4.8 Залежність теплопродуктивності котлоагрегатів КВГМ-20 та ДКВР-14-24 від температури димових газів

Згідно даного графіку видно, що під час зростання температури димових газів відбувається зростання теплопродуктивності котла. Для котла типу КВГМ-20 теплопродуктивність збільшується на 11,38 Гкал/годину. Для котлоагрегатів ДКВР-14-24 ст.№1, ДКВР-14-24 ст.№2, ДКВР-14-24 ст.№3, ДКВР-14-24 ст.№4 теплопродуктивність збільшується на 4,85 Гкал/год., 2,88 Гкал/год., 3,53 Гкал/год. та 3,77 Гкал/год. відповідно.

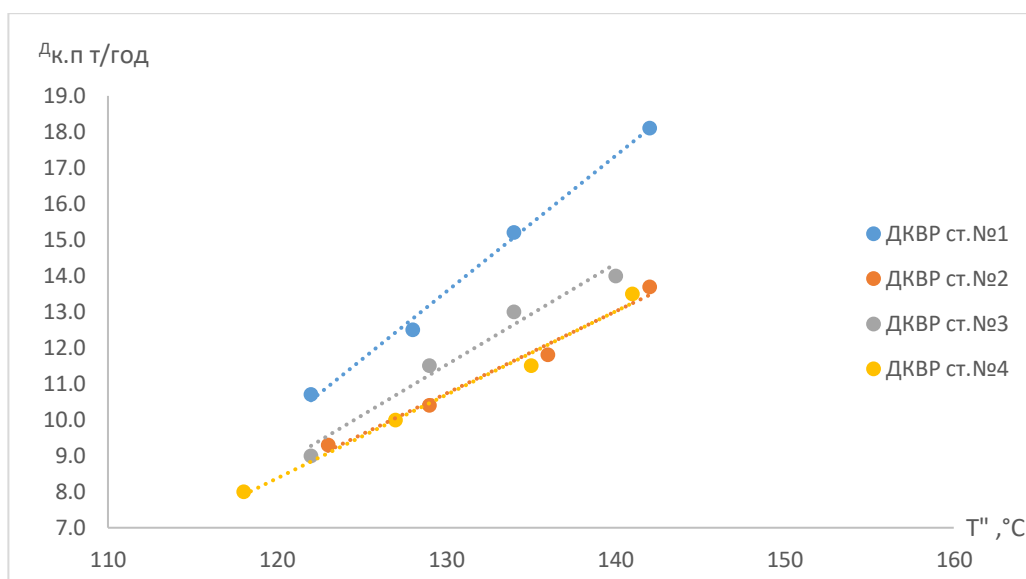


Рис. 4.9 Залежність паропроодуктивності котлоагрегатів ДКВР-12-24 від температури димових газів

Для котлоагрегатів типу ДКВР-14-24 побудовано графік залежності паропроодуктивності котла в залежності від температури димових газів. Згідно даного графіку ми бачимо, що в момент зростання температури димових газів котла ДКВР ст.№1 в момент зміни температури зі 122 до 142 °С відбувається зростання його паропроодуктивності з позначки у 10,7 т/год до 18,1 т/год, для котлоагрегату ДКВР-14-24 ст.№2, коли температура змінюється від 123 °С до 142 °С відбувається зростання паропроодуктивності з 9,3 т/год до 13,7 т/год, в момент коли котлоагрегат ДКВР-14-24 ст.№3 має діапазон температури від 122 °С до 140 °С його паропроодуктивність змінюється від 9 т/год до 14 т/год відповідно, для котла ДКВР-14-21 ст.№4 показник паропроодуктивності змінюється від 8 до 13,5 т/год, коли температура димових газів зростає з 118 до 141 °С.

Підвищення температури димових газів при збільшенні навантаження на котел свідчить про те, що більше палива спалюється для задоволення підвищеного теплового попиту. Це може бути результатом збільшення обсягу робочого процесу в котлі або підвищення температури суміші пального-повітря. Такий ефект корисний для підвищення ефективності котла, але до певних меж які визначаються здебільшого конструктивними характеристиками котла, тому водночас потребує відповідного контролю та налагодження, оскільки занадто велике навантаження може негативно вплинути на роботу котла та його ефективність.

4.2 Дослідження втрат теплоти з відхідними газами від теплопродуктивності котлоагрегату

Для дослідження та аналізу ефективності котлоагрегатів побудовано графік залежності суми всіх витрат тепла (з вихідними газами, хімічним недопалом та втрати тепла в навколишнє середовище) від теплопродуктивності та представлено на рисунках 4.9 – 4.13 для кожного котлоагрегату.

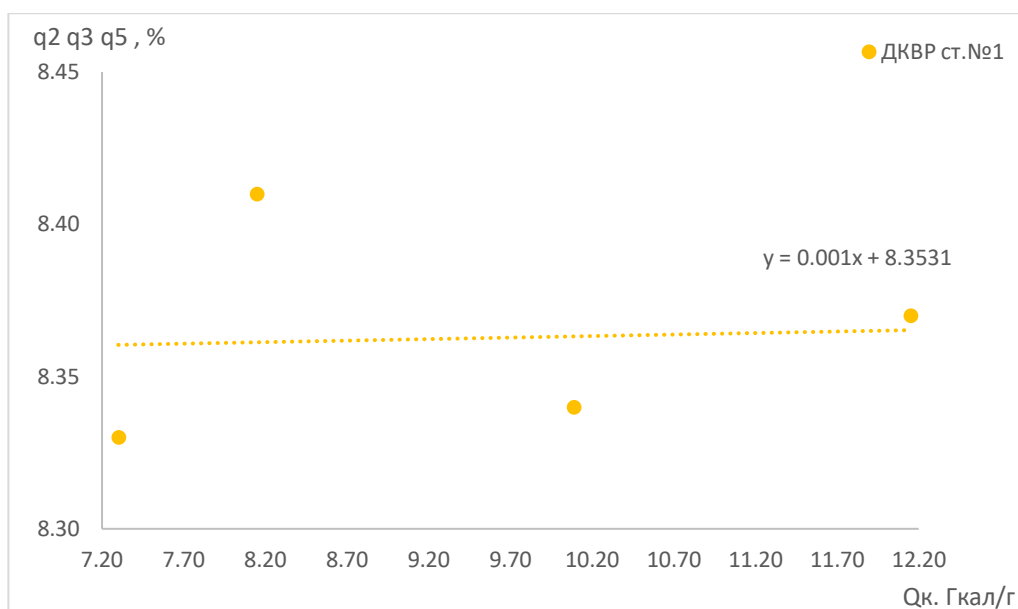


Рис. 4.10 Залежність суми всіх витрат тепла (з вихідними газами, хімічним недопалом та втрати тепла в навколишнє середовище) від теплопродуктивності для котла ДКВР-12-24 ст.№1

Згідно даного графіку видно, що максимальне значення витрат тепла 8,41 % досягається при роботі котла ДКВР-12-24 ст.№1 при теплопродуктивності на рівні 8,2 Гкал/год.

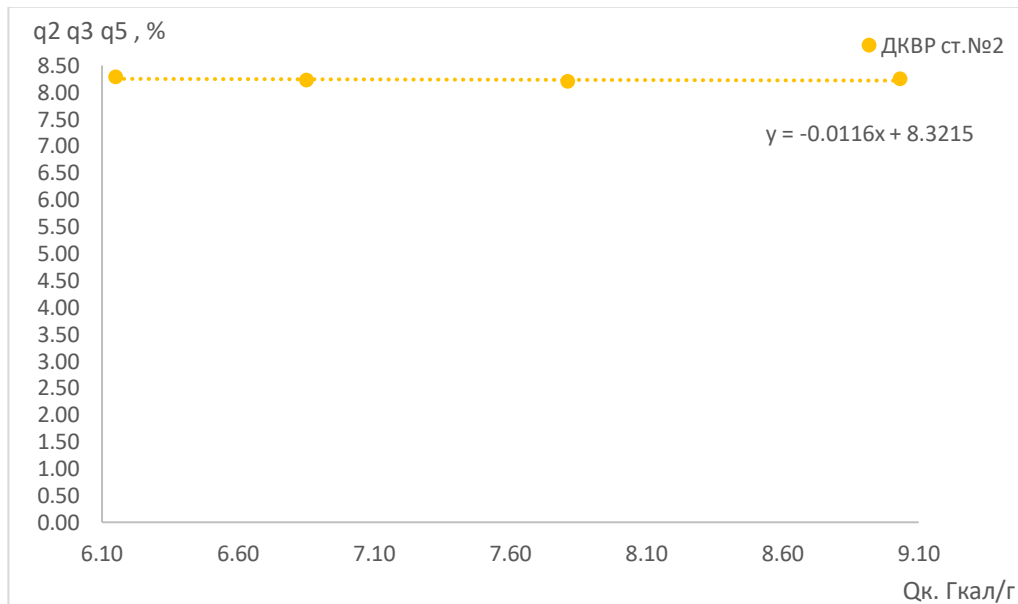


Рис. 4.11 Залежність суми всіх витрат тепла (з вихідними газами, хімічним недопалом та втрати тепла в навколишнє середовище) від теплопродуктивності для котла ДКВР-12-24 ст.№2

На даному графіку видно, що максимальне значення суми витрат, яке дорівнює 8,28 %, досягається при значенні теплопродуктивності на рівні 6,15 Гкал/год після чого втрати тепла зменшують досягають свого

мінімуму (8, 2% при теплопродуктивності у 7,81 Гкал/год) і в подальшому зростають.

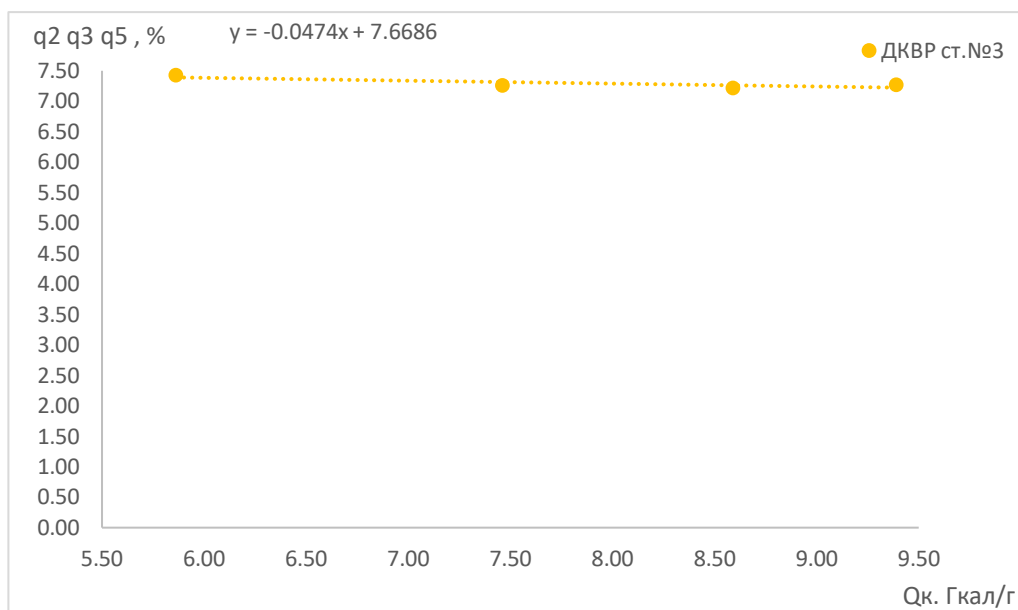


Рис. 4.12 Залежність суми всіх витрат тепла (з вихідними газами, хімічним недопалом та втрати тепла в навколишнє середовище) від теплопродуктивності для котла ДКВР-12-24 ст.№3

Згідно даного графіку при значенні теплопродуктивності 5,3 Гкал/год маємо максимальну суму витрат тепла з димовими газами, хімічним недопалом та втрат в атмосферу, а саме 7,43%, після чого відбувається зниження втрат і вже в діапазоні зміни теплопродуктивності від 8,59 Гкал/год до 9,39 Гкал/год відбувається зростання суми витрат.

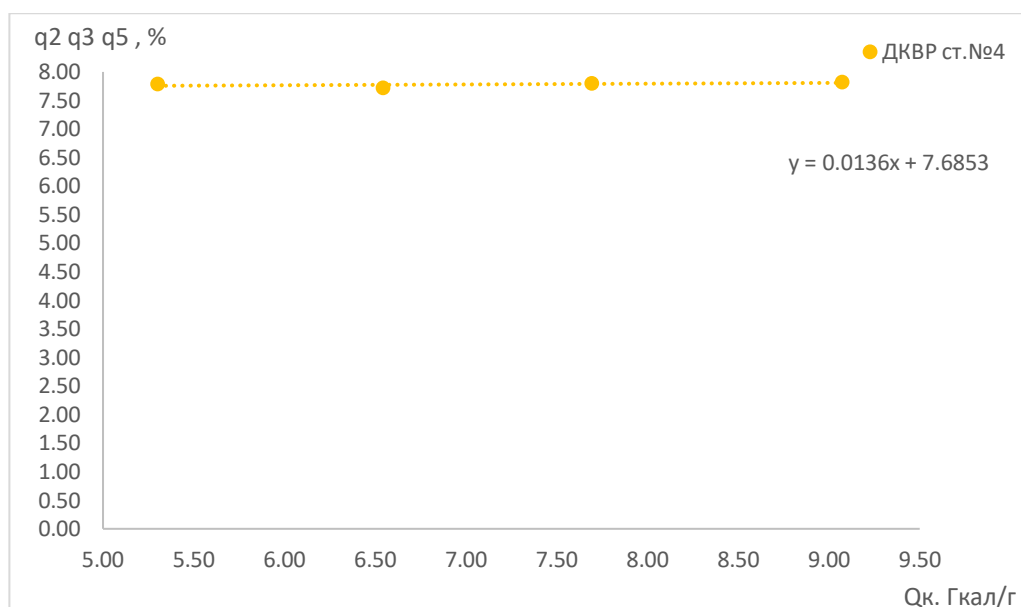


Рис. 4.13 Залежність суми всіх витрат тепла (з вихідними газами, хімічним недопалом та втрати тепла в навколишнє середовище) від теплопродуктивності для котла ДКВР-12-24 ст.№4

Для котла ДКВР-12-24 ст.№4 мінімальне значення витрат тепла отримане при роботі з теплопродуктивністю на рівні 6,54 Гкал/год, а максимальне значення при теплопродуктивності 9,07 Гкал/год і дорівнює 7,82%.

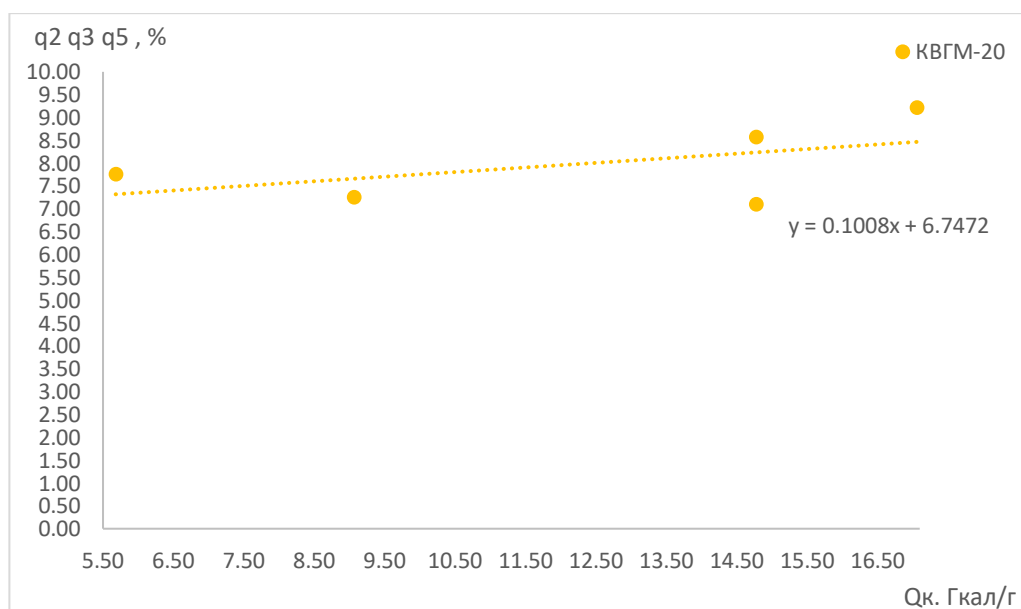


Рис. 4.14 Залежність суми всіх витрат тепла (з вихідними газами, хімічним недопалом та втрати тепла в навколишнє середовище) від теплопродуктивності для котла КВГМ-20

Для котла КВГМ-20 максимальне значення витрат теплоти відповідає максимальній теплопродуктивності котла і дорівнює 9,22%.

мінімальне значення отримане при роботі котла з теплопродуктивністю у 13,5 Гкал/год та дорівнює 7%.

Причиною такої тенденції є те що вісь ординат представляє суму q_2 , q_3 , q_5 , де q_3 – лишалась незмінна. q_2 – росла адже це втрата з вихідними газами температура яких в умовах збільшення теплового навантаження не може не зростати, а q_5 – втрата теплоти в навколишнє середовище падала. Це результат кращого спалювання палива при високих температурах та збільшеного використання внутрішньої енергії палива для теплового процесу. І не менш важливо це зниження коефіцієнту надлишку повітря, при певному значенні надлишку повітря відбувається повне згорання палива, але певна частина теплоти йде на підігрів надлишкової кількості повітря.

4.3 Дослідження зміни екологічних показників котлоагрегату від температури вхідних газів та навантаження

Слід пам'ятати, що крім покращення економічної ефективності постає питання зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Утворення NO_x відбувається саме за рахунок термічного механізму, тому як наслідок є те, що зростання температури призводить до підвищення концентрації шкідливих елементів. В свою чергу СНТ розроблено таким чином, що відбувається значне зменшення кількості вільного повітря, також важливою складовою є те, що кисень має рівномірний розподіл, саме тому сукупність цих факторів призводить до гальмування процесу утворення NO_x . В ході дослідження та аналізу даних з'ясовано, що струменево-нішева технологія забезпечує вкрай необхідний баланс між показниками ефективності та екологічності. Ефективність досягається за рахунок зменшення значень температури димових газів, а екологічність шляхом зменшення концентрації NO_x . Слід зазначити, що в момент зниження рівня концентрації NO_x відбувається підтримка в нормативних межах рівня концентрації CO . Це досягається

завдяки покращенню сумішеутворення та підвищенню показників температури в топковому просторі.

Залежність вмісту оксидів азоту та оксидів вуглецю від навантаження для котлоагрегатів ДКВР-14-24 та КВГМ-20 продемонстровано на рисунках 3.14 та 3.15.

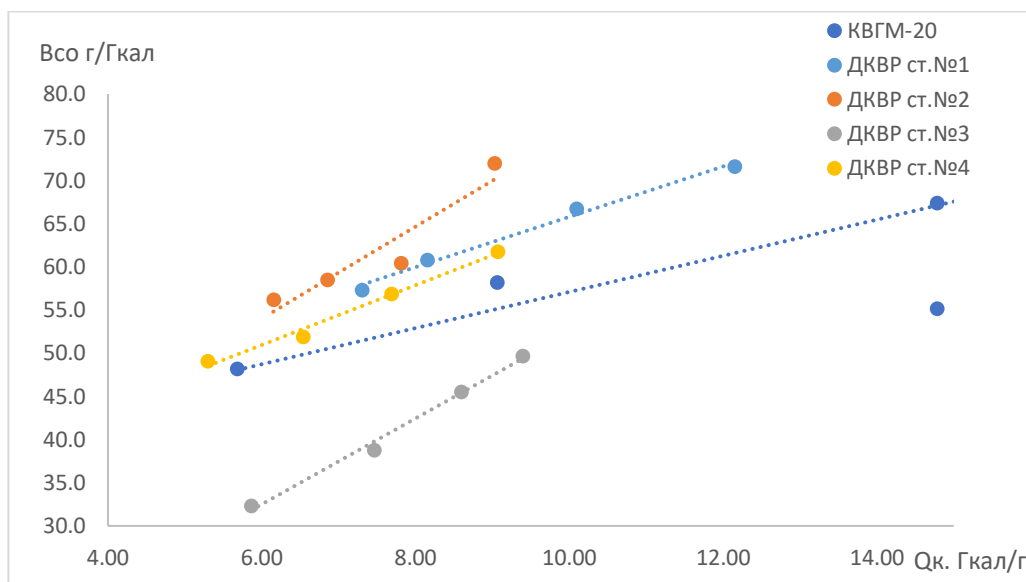


Рис.4.15 Залежність концентрації оксидів вуглецю в відхідних газах від навантаження котлоагрегату з паливними СНТ

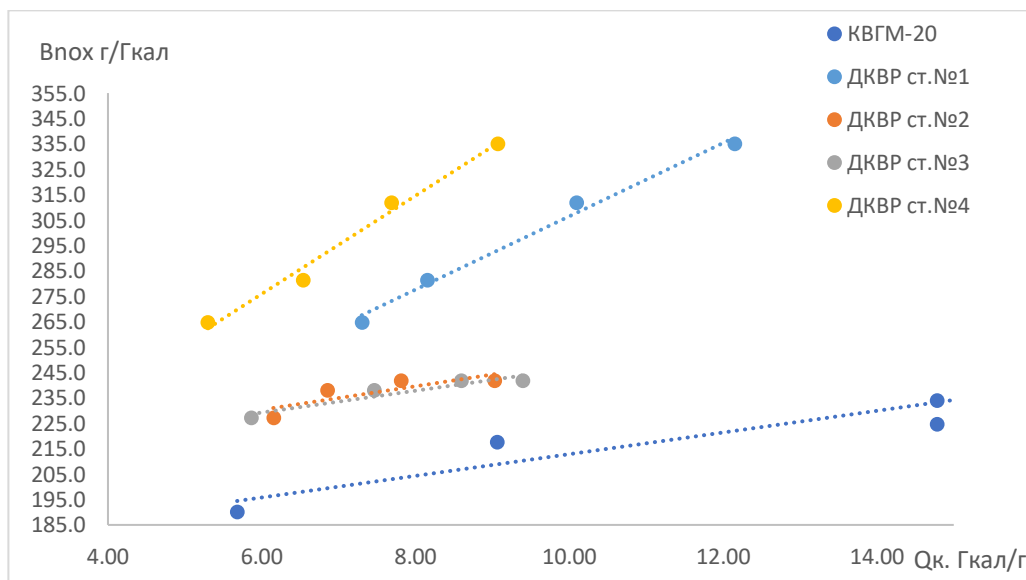


Рис.4.16 Залежність концентрації оксидів азоту в відхідних газах від навантаження котлоагрегату з паливними СНТ

Спостерігається збільшення викиду NOx на 1 Гкал виробленого тепла тому що збільшується теплове навантаження, збільшується витрата

палива на годину, а отже збільшується температури в зоні горіння і концентрації реагуючих речовин що на пряму впливає на цей показник.

Спостерігається збільшення викиду оксидів вуглецю на 1 Гкал виробленого тепла. Причиною може бути погіршення сумішоутворення, або зростанням нерівномірності розподілу температури в топці.

На екологічні показники котлоагрегату впливає склад димових газів. Саме тому нижче представлено та проаналізовано графіки 4.16 - 4.17, які демонструють залежність вмісту окислу вуглецю та оксидів азоту від температури димових газів.

Під час процесу спалювання природного газу чи будь-якого іншого палива перше місце займають оксиди азоту NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$). Через наявність в атмосфері NO_2 погіршується прозорість повітря та зменшується кількість ультрафіолетового випромінювання, яке потрапляє на Землю, що в свою чергу призводить до утворення смогів. Тому велику увагу слід звернути на вміст даних речовин в димових газах, та зосередити увагу на зменшенні кількості концентрації даних речовин. На рисунку 3.16 продемонстровано залежність вмісту оксидів азоту від температури димових газів для котлів ДКВР-14-24 та КВГМ-20.

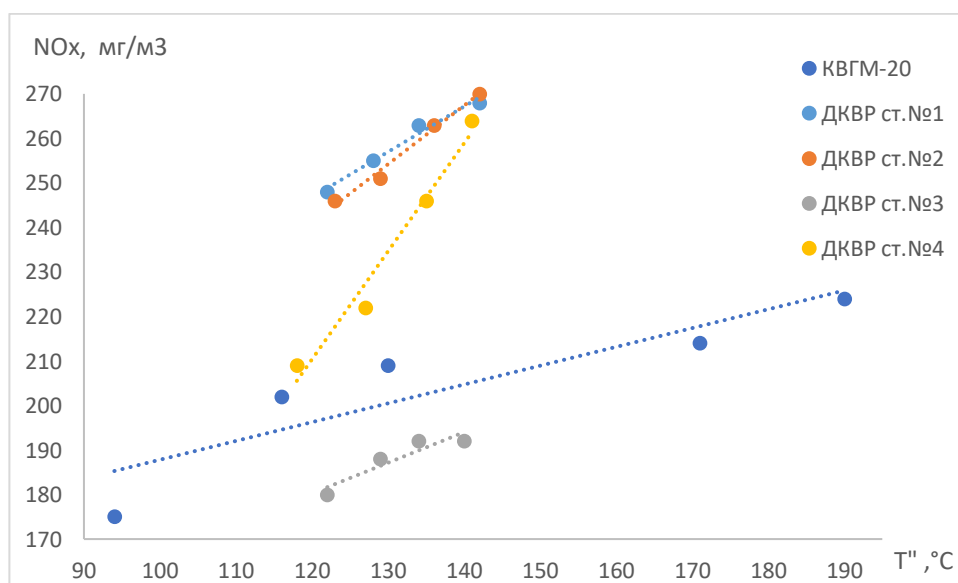


Рис.4.17 Залежність вмісту оксидів азоту від температури димових газів котла КВГМ-20 та ДКВР-14-24

Згідно отриманого графіку видно, що з ростом температури димових газів відбувається зростання вмісту оксидів азоту. Для котла КВГМ-20 даний зріст становить $0,52 \text{ мг/м}^3$ на $1 \text{ }^\circ\text{C}$, для котла типу ДКВР-14-24 ст.№1 даний приріст становить 1 мг/м^3 на $1 \text{ }^\circ\text{C}$, для ДКВР-14-24 ст.№2 даний показник на 10°C становить $1,26 \text{ мг/м}^3$, котлоагрегат ДКВР-14-24 ст.№3 демонструє приріст вмісту оксидів на $0,67 \text{ мг/м}^3$, в свою чергу при роботі котла ДКВР-14-24 відмічається приріст вмісту оксидів азоту на кожен градус на $2,39 \text{ мг/м}^3$, що є найбільшим показником серед досліджених котлоагрегатів.

Згідно досліджень попередніх років з'ясовано, що при роботі котлів малої потужності в момент спалювання природного газу сягають високих показників, якщо провести порівняння при роботі великих котлоагрегатів. Тому на рисунку 4.18 представлено залежність вмісту окислів вуглецю від температури димових для подальшого аналізу даного показнику.

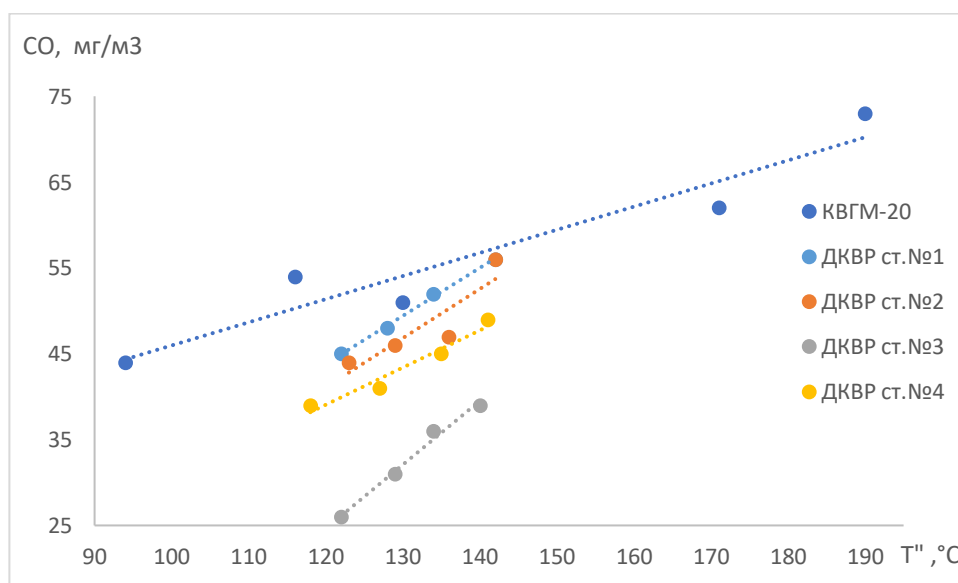


Рис.4.18 Залежність вмісту окислів вуглецю від температури димових газів котлів КВГМ-20 та ДКВР-14-24

На даному рисунку видно, що, як і в попередній залежності, зберігається приріст показників вмісту окислу вуглецю від температури димових газів. Для зниження показнику вмісту окислів вуглецю необхідно забезпечити якісне сумішоутворення та рівномірний розподіл

температури в топці, а саме ці переваги фігурують в принципі роботи струменево-нішевої технології.

На рисунку 4.18 представлено залежність вмісту двоокислу вуглецю від температури димових газів для котлоагрегатів ДКВР-14-24 та КВГМ-20. Варто зазначити, що при концентрації двоокису вуглецю більше ніж 5% є надзвичайно шкідливий вплив на здоров'я людини, тому що повітря легше ніж газ, а отже газ накопичується в нижчих прошарках, саме там де живе людина.

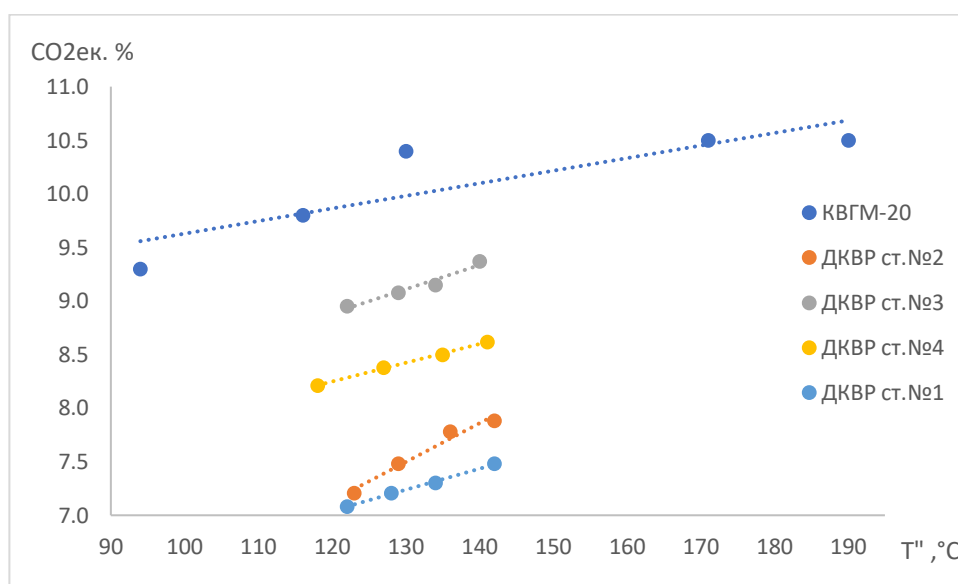


Рис.4.19 Залежність вмісту двоокислу вуглецю від температури димових газів котлів КВГМ-20 та ДКВР-14-24

Згідно даного графіку видно, що максимальне значення концентрації двоокислу вуглецю досягається при максимальній позначці температури газів, що відповідає роботі котлоагрегату на максимальній потужності.

Подібного роду дослідження активно розвиваються і у світі є досить багато наукових напрацювань, які на меті мають дослідження впливу температури димових газів на еколого-теплотехнічні показники котлоагрегату, що призводить до покращення наявних технологій та розвитку нових, більш сучасних [45-64].

Вагомий вплив на показники шкідливих викидів має рециркуляцію. Зміна концентрації NO та CO продемонстрована на рисунку 4.20

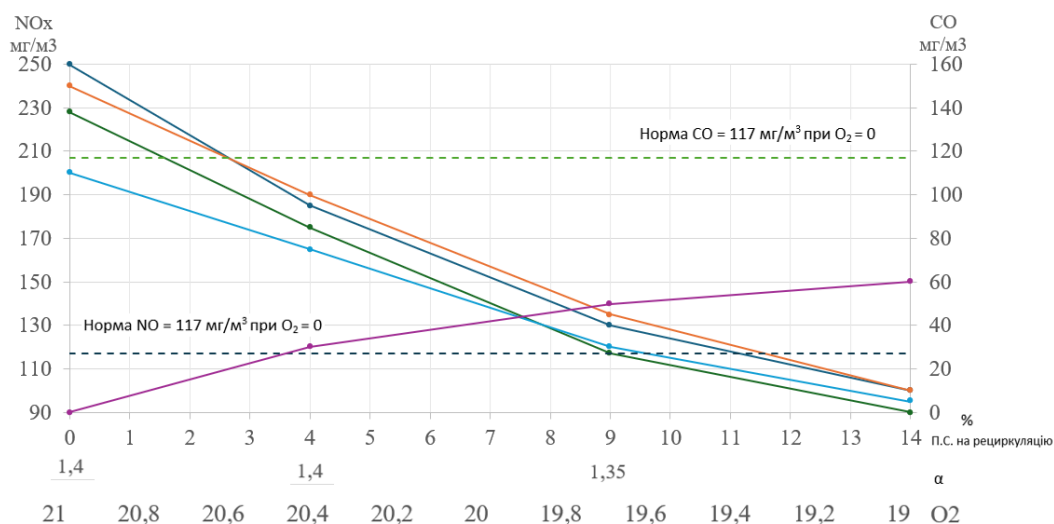


Рис.4.20 Вплив рециркуляції на показники NO та CO

Висновки до 4 розділу.

Графіки, які представлені в даному розділі спрямовані на графічне зображення впливу температури димових газів на техніко-економічні показники, дане поняття включає в себе питому витрату палива, коефіцієнт корисної дії, витрати тепла з газами, що відходять. Окрім показників ефективності фігурує дослідження впливу температури димових газів на екологічну складову процесу горіння котлоагрегатів ДКВР та КВГМ (враховані показники емісії оксидів азоту та концентрація вуглецю).

В ході проведення дослідження встановлено, що зі зниженням коефіцієнту надлишку повітря, як для котлів типу ДКВР так і для котлоагрегату КВГМ пвдбувається зниження температури відхідних газів. Для кожного зниження температури відхідних газів на 1 0С характерне зниження коефіцієнту надлишку повітря. Даний спад становить 0,15 для котла КВГМ-20, 0,09 для котлоагрегату ДКВР ст.№1, 0,14 для котла ДКВР ст.№2, 0,06 для котла ДКВР ст.№3 та 0,07 для котла ДКВР ст.№4.

Встановлено, що зі зростанням температури димових газів підвищується концентрація шкідливих речовин, але даний приріст в

порівнянні з котлоагрегатами, за таких умов роботи, але без модернізації, менший.

Окрім покращення екологічних та економічних показників котла за допомогою СНТ вдалось досягнути покращення надійності котла, так як завдяки меншому об'єму вихорів є змога виконувати пуск котла з меншою витратою палива, і як наслідок отримано забезпечення безпечного пуску і кількість теплових ударів прямує до нуля.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Метою даної роботи було дослідження можливості та якості покращення еколого-теплотехнічних характеристик котлоагрегатів малої потужності при використанні новітніх технологій, а саме струменево-нішева технологія.

В ході проведення дослідження встановлено, що впровадження даної модернізації дає змогу зменшити концентрацію агресивних речовин, які містяться в відхідних газах, відбувається підвищення рівня енергетичної ефективності котлоагрегату та відбувається зменшення кількості спожитого палива, що впливає на економічні показники.

Зниження кількості шкідливих речовин досягається за допомогою оптимізації процесу згорання палива та досконалому розподілу теплового потоку в котлі, завдяки цим аспектам відбувається повне згорання і має абсолютний позитивний вплив на концентрацію шкідливих речовин.

Отже, результати отриманих даних свідчать про те, що дана технологія є перспективною, а саме головне ефективною. Струменево-нішева технологія спрямована на покращення якості теплогенерації та досягнення допустимої норми концентрації шкідливих елементів, що призведе до покращення життя людей.

Окрім описаних вище факторів, слід пам'ятати, що дана технологія є унікальною і потребує менших капіталовкладень. Завдяки ній ми можемо проводити модернізацію наявних котлоагрегатів.

Якщо наукові дослідження в даній галузі будуть продовжені в скорому майбутньому ми зможемо досягти ще кращих показників екологічності, ефективності та економічності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Khedia K.S., Ghoniem A.F. Mechanisms of stabilization and blowoff of a premixed flame downstream of a heat-conducting perforated plate// Combustion and Flame. Elsevier 2012. Vol. 159, №3. P. 1055-1069 DOI:10.1016/j.combustflame.2011.10.014.
2. Привалова К.А. Дослідження, розрахунок і примінення прямоточних периферійних газових пальників.- В кн.: Теорія та практика спалювання газу. Л., Недра, 1964, с. 490-501.
3. Гідродинаміка і теорія потоку палива. Під ред. Б.В.Канторовича, М., 1971.- 430с.
4. Красницький В.П., Філімонов М.Л., Фрост В.А. Математичні описання тербулентного горіння. – В кн.: Питання теорії горіння. М., 1970, с. 7-17.
5. Вилунов В.Н., Дік І.Г. Про вплив турбулентності на теплообмін, структуру і хімічне реагування в полум'ї. – ФГВ, 1977. ІЗ,№3, с.359-366.
6. Зімонт В.Л. До розрахунку турбулентного горіння частково перемішаних газів.- В кн.: Горіння гетерогенних та газових систем. Чорноголовка, ОІХФ АН ССРСР, 1997, с.76-80.
7. Гідродинаміка і теорія потоку палива. Під ред. Б.В.Канторовича, М., 1971.- 430с.
8. Поляцкин М.А., Афросимова В.Н. Експерименталне дослідження роботи пальникових пристроїв на ізотермічних та гарячих моделях. – В кн.: Досвід спалювання газу та мазуту на електростанціях. М., Енергія, 1968, с.100-115.
9. Ахмедов Р.Б. Цирюльников Л.М. Технології спалювання газу та мазуту в парогенераторах.- Л.; Недра, 1976- 272 с.
10. Узмалян Д.М., Каган Я.А. Теорії горіння ітопкові установки.- М. “Енергія”, 1976р. 487с.
11. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>

12. Энергетична стратегія України на період 2035р «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». р. від 18 серпня 2017 р. № 605-р Київ : Розпорядження // Кабінет міністрів України. – 2017. – С. 75

13. Некоторые аспекты повышения экономичности и экологической безопасности горелочных устройств//Абдулин М.З./ Энергетика, экономика, технология.2000. №4 -С.65-68

14. Абдулін М.З., Ібрагім Джамал. Дослідження пальникового пристрою з поперечною подачею струменів палива. // Екологія та ресурсозбереження, 1997, - №2, с.70-71.

15. Абдулин М.З Струйно-нишевая система смесеобразования и стабилизации пламени: Автореферат дис. – Киев.: КПИ. - 1986. - 16с

16. Абдулін М.З., Джамал І. Дослідження пальникового пристрою з поперечною подачею струменів палива. Экотехнологии и ресурсосбережение. Киев. №2. 1997. С. 68-69.

17. Абдулін М.З. РОЗРОБКА ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГІЙ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА ТА ВИКОРИСТАННЯ СТРУМЕНЕВО-НИШОВОХ СИСТЕМ Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – «Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика». 2019

18. Абдулін М.З. Дослідження гідродинамічного стабілізатора полум'я з поперечною подачею палива / М.З. Абдулін, О.А. Сірій // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів. - НТУУ «КПІ», Київ, 21-24 червня 2014 р.– С. 101.

19. Абдулин М.З. Струйно-нишевая технология сжигания топлива – основа надежной работы огнетехнического оборудования / М.З. Абдулин, Г.Р. Дворцин, А.М. Жученко, Ю.А. Кулешов, Е.И. Милко, О.А. Тихонова // Третья Международная научно-практическая конференция «Энергоэффективность крупного промышленного региона». Сборник научных трудов. – Донецк, 2008. – С. 18–24.

20. Абдулін М.З. Енергоефективні технології на вогнетехнічних об'єктах України та аспекти їх впровадження / М.З. Абдулін, О.А. Сірий // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики. Материалы XXIII международной конференции. – Ялта, 2013, – С. 63–65.

21. Абдулін М.З. Современное состояние технологий сжигания / М.З. Абдулін, М.В. Гребінна, О.А. Сірий // Матеріали XIII Всеукраїнської науковопрактичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених, Київ, 21–23 травня 2015. – С. 101–103.

22. Абдулин М.З. Повышение эффективности энергетического оборудования / М.З. Абдулин, М.В. Гребинная, А.А. Серый // Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених, Київ, 21 – 23 травня 2015. – С. 103–106.

23. Абдулин М.З. Технология сжигания – определяющий фактор эффективности огнетехнических объектов / М.З. Абдулин, Г.Р. Дворцин, А.М. Жученко // Научно-технический журнал «Новости теплоснабжения». М : 2009. – С. 23–27.

24. Абдулин М.З. Опыт внедрения струйно-нишевой технологии сжигания топлива на объектах промышленной и коммунальной энергетики / М.З. Абдулин, В.Н. Петренко // Комплексное решение проблем энергосбережения в промышленной и коммунальной энергетике. (Крым, Ялта): Сб. докл.- 2009. – С. 28–30.

25. Абдулин М.З. Струйно-нишевая технология сжигания топлива – основа надежной работы огнетехнического оборудования / М.З. Абдулин // Энергоэффективность крупного промышленного региона. (Украина, Донецк) : Сб. научн. тр., 2008. – С. 18–24.

26. Абдулин М.З. Малозатратная модернизация существующего топливоиспользующего оборудования на основе применения струйно-нишевой технологии сжигания топлива / М.З. Абдулин // Энергосбережение, экология, 172 эффективность. Пути снижения энергозависимости Украины. Материалы международной конференции. Киев. – 2007. – С. 18–22.

27. Абдулин М.З. Научно-технический опыт апробации струйно-нишевой технологии сжигания топлива на объектах промышленной и коммунальной энергетики / М.З. Абдулин, Н.М. Фиалко, Н.О. Меранова, Г.Р. Дворцин, А.М. Жученко // Материалы V Международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники», Киев. – 2007. – С. 31–36.

28. Малозатратна модернізація існуючого паливовикористовуючого обладнання на основі використання струйно-нішевих технологій згорання палива / М.З. Абдулін // Матеріали ІХ конференції «Енергозбереження: технології та інвестиції», Одеса. – 2006. – С. 31–35

29. Абдулин М.З. Универсальная технология сжигания – это реальность / М.З. Абдулин, Г.Р. Дворцин, А.М. Жученко, О.В. Доманский, С.Ф. Порхун // Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем: Сб. научн. тр., М.: НИУ МЭИ, 2010. – С. 29–32.

30. Абдулін М.З. Покращення екологічних показників котлоагрегатів КВГМ 100 шляхом модернізації пальникових пристроїв /Шелешей Т.В, Беднарська І.С., Юрчук В.С., Будя Ю. С.// Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33 №6, Видавничий дім «Гельветика» - 2022. – С. 130-135.

31. Парові і водогрійні котли /Зиков А.К. – К., 2017. – 128 с.

32. Марченко, О.М., і М.О. Рябіков. Теоретичні аспекти проектування котлів малої потужності. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки 1.3 - 2017.- С.20-24.

33. Шевченко, С.А. Енергетичні характеристики котлів малої потужності з автоматичним регулюванням робочого процесу. / І.М. Сімонов// Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки 3.87. – 2017.- С.31-36.

34. Білозір, О.М., і О.М. Горпинченко. "Аналіз конструкційних рішень котлів малої потужності." Енергетика: економіка, технології, екологія (2018): 32-36.

35. Климчук, В.А., і Г.В. Белоус. "Експериментальне дослідження ефективності котлів малої потужності." Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 58 (2016): 81-87.

36. Голуб, Л.М., і Л.С. Галушак. "Особливості експлуатації котлів малої потужності в системі автономного опалення." Енергетика: економіка, технології, екологія (2017): 41-45.

37. РД153-34.1-26.303-98 Методические указания по проведения эксплуатационных испытаний котельных установок для оценки качества ремонта, – М.: – ОРГРЭС, 2000. – 35 с.

38. ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднюваних речовин у атмосферу вид енергетичних установок, методика визначення. – Чинний від 01.07.2002.

39. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы / В.П. Преображенский. – М. : Энергия, 1978. – 704 с

40. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче: Учеб. Пособие для вузов / Е.А. Краснощеков, А.С. Сухомел. – М. : Энергия, 1980. – 288 с.

41. Бабичев А.П. Физические величины:Справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковсий и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова.- М. :Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

42. Эстеркин Р.И. Методы теплотехнических измерений и испытаний при сжигании газа / Р.И. Эстеркин, А.С. Иссерлин, М.И. Певзнер. – Л. :Недра, 1972. – 376 с.

43. Трёмбовля В.И. Теплотехнические испытания котельных установок / В.И. Трёмбовля, Е.Д. Фингер, А.А. Авдеева – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.

44. Landman M.J., Effect of combustion air dilution by water vapor on nitrogen by NOx emission in a premixed turbulent natural gas flame: an experimental study / M.J. Landman, M.A.F. Derksen, J.B.W. Kok // Combustion Science and Technology. Pittsburgh, USA. – 2006. – vol. 178. – P. 623.

45. Шелешей Т. В. Дослідження факторів впливу на підвищення теплової ефективності енергетичного обладнання ТЕС. /Абдулін М.З.// КП, Київ – 2021. – с.171.

46. Zhao D. Behavior and effect on NO_x formation of OH radical in methane-air diffusion flame with steam addition / D. Zhao, H. Yamashita, K. Kitagava, N. Arai, T. Furuhashi // Combustion and Flame. – 2002. – vol. 130. – P. 352.

47. Л.О. Кєсова, Т. В. Шелешей Залежність температури відхідних газів котлів від зміни електричного навантаження ТЕЦ. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування., Харків : НТУ «ХП», 2017., № 11 (1233)., С.15-21

48. Т.В. Шелешей Вплив зміни теплового навантаження на температуру відхідних газів котлів газомазутних ТЕЦ. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків

49. Т.В. Шелешей ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ТЕМПЕРАТУРИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕЦ. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків: НТУ «ХП», 2018. № 11. С. .32-35.

50. Т.В. Шелешей РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ СТОСОВНО ПОНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ДИМОВИХ ГАЗІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ НА НИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, 2019. Том 30(69) № 2. – С. .48-54.

51. Т.В. Шелешей ЗВ'ЯЗОК ТЕМПЕРАТУРИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ І ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ ПІД ЧАС СПАЛЮВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, 2019. Том 30(69) № 6. – С. .221-225.

52. Chantasinwan 8. The improvement of energy efficiency of cogeneration system by replacing desuperheater with steam-sir preheater. Energy Rep 2020:6:752-7. – P. 112

53. Yang, Weifeng, et al. Research on the influence of flue gas temperature on boiler economic operation: 2016 IEEE International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP) IEEE, 2016. – P.328
54. Bilgili, Mehmet, and Tanay Sıdkı Uyar. Exergoeconomic analysis of a steam boiler :Energy Conversion and Management 66, 2013. - P.235-241.
55. Кириленко, О. М. Вплив температури відхідних газів на техніко-економічні показники котлів/ Г. В. Кириленко. - : Наукові праці ДонНТУ. Серія: енергетика. Випуск 2, 2015. – 431 с.
56. Петров, О. В. Дослідження впливу температури відходячих газів на роботу котлів/ С. С. Литвин.-: Наукові праці Національного гірничого університету. Випуск 36, 2014. - 102-107 с.
57. Кравченко, А. В. Техніко-економічні показники котлів та їх залежність від температури відхідних газів. /В. М. Дорошенко.-: Енергозбереження, енергоефективність та енергетична аудиторія ,2020. -81-86с.
58. Горобець, О. В. Вплив температури відхідних газів на ефективність роботи котлів. /О. Л. Черненко. -:Енергетика та автоматика , 2018. - 43-47с.
59. Лазаренко, О. М. Дослідження впливу температури відхідних газів на економічні показники котлів. / Л. В. Чепель. -: Науковий вісник Національного гірничого університету , 2017: 81-86с.
60. Михайленко, В. А. Вплив температури димових газів на концентрацію оксидів азоту в відхідних газах котлів. /А. А. Кацалап. -:Екологія та промисловість , 2017. - 54-58с.
61. Коваль, С. О. Експериментальне дослідження впливу температури димових газів на концентрацію сірковуглецю. /О. І. Лисенко. -:Вісник Київського національного університету технологій та дизайну ,2015. - 164-168с.
62. Данилов, Д. В. Зміна концентрації оксидів вуглецю в димових газах при зміні температури котлових установок. / О. В. Литвин. -:Вісник Дніпропетровського університету ,2016. - 147-152с.
63. Павлов, В. В. Вплив температури димових газів на концентрацію твердих часток в котлових установках. /О. О. Кравець.-: Наукові записки

Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2018. - 105-110с.

64. Іванов, М. М. Екологічна безпека роботи котлових установок та зміна концентрації оксидів азоту в димових газах при зміні температури. /В. І. Петренко. -: Екологічна безпека та збалансоване природокористування, 2017. - 123-127с.

Додаток А
СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
Юрчук Вікторії Сергіївни

№ з.п	Найменування праць	Рукописні або друковані	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	2	3	4	5	6
1	Екологічні показники водогрійних та парових котлів малої потужності.	Друк.	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали ХІХ Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ., м. Київ, 25–28 квіт. 2023 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. – Т. 1. – 167 с.	2 с	Абдулін М.З. Шелешей Т.В.
2	Показники викиду окислу вуглецю та оксидів азоту котла КВГМ-20 при використанні струменево-нішевої технології	Друк.	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали ХІХ Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ., м. Київ, 23–26 квіт. 2024 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2024. – Т. 1. – 141 с.	3 с	Абдулін М.З. Шелешей Т.В.
3	Покращення екологічних показників котлоагрегатів КВГМ 100 шляхом модернізації пальникових пристроїв	Друк.	Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33(72) №6, - Київ: Вид-чий дім «Гельветика», 2022. – 130-135 с.	5 с	Абдулін М.З. Шелешей Т.В. Беднарська І.С. Будя Ю.С.
4	Improvement of environmental performance of kvgm 100 boiler units by	Друк.	Міжнародний конкурс студентських наукових робіт		Будя Ю.С.

№ з.п	Найменування праць	Рукописні або друківані	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
	modernization of burner devices		«Black Sea Science», - м. Одеса, 2023		
5	ANALIZA PORÓWNAWCZA EMISJI TLENKÓW AZOTU PODCZAS SPALANIA ANTRACYTU W RÓŻNYCH ELEKTROWNIACH	Друк.	Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 72): матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції, (м. Тернопіль, Україна – м. Переворськ, Польща, 15-16 листопада 2022 р.) / [редкол. : О. Патряк та ін.] ; ГО “Наукова спільнота”; WSSG w Przeworsku. – Тернопіль : ФО-П Шпак В.Б. – 166 с.	2 с	Шелешей Т.В Беднарська І.С.

Додаток Б
ПЕРЕВІРКА МАГІСТЕРСЬКОХ ДИСЕРТАЦІЇ НА АКАДЕМІЧНУ
ДОБРОЧЕСНІСТЬ