

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

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

«На правах рукопису»
УДК 621.22 .

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ В.І.Дешко .
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

спеціалізація «Енергетичний менеджмент та інжиніринг»

на тему: «Аналіз експлуатаційних показників та визначення ефективності роботи піролізного котла промислового призначення»

Виконав: студент VI курсу, групи ОТ – 61м
(шифр групи)

_____ Пабат Михайло Геннадійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., Виноградов – Салтиков О.В
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Нормоконтроль _____ .
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

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

Інститут (факультет) Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра Теплотехніки та енергозбереження
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код і назва)

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та інжиніринг»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.І. Дешко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ___ » _____ **2018 р.**

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Пабату Михайлу Геннадійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Аналіз експлуатаційних показників та визначення ефективності роботи піролізного котла промислового призначення», науковий керівник дисертації Виноградов-Салтиков Володимир Олександрович, к.т.н, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «20» 03 . 2018 р. № 971-с .

2. Строк подання студентом дисертації 16 травня 2018р.

2. Строк подання студентом дисертації 16 травня 2018р.

3. Об'єкт дослідження: Еколого-теплотехнічні показники ефективності експериментального піролізного котла промислового призначення КВГТ-в-м 400 та шляхи їх вдосконалення.

4. Предмет дослідження: Експериментальний піролізний котел промислового призначення КВГТ-в-м 400.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) провести огляд твердопаливних – піролізних котлів; 2) описати конструктивну будову піролізних котлів КВГТ та газогенераторній принцип роботи; 3) провести натурні випробовування котельного агрегату КВГТ-в-м 400 та визначити складові теплового балансу; 4) розробити комп'ютерну модель процесу горіння

піролізних газів в пальниковому пристрої та розподілу теплової енергії в другій камері допалювання; 5) розробити стартап проект.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: *структурна схема горіння піролізного газу; склад вихідної структури деревини; моделювання в програмному забезпеченні ANSYS Fluent.*

7. Орієнтовний перелік публікацій *підготувати матеріали тези доповідей на XVI міжнародну науково – практичну конференцію «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики».*

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 10.03.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Пошук матеріалу на прикладі найкращих практик</i>	<i>10.03.2018 - 02.05.2018</i>	
2	<i>Проведення натурних випробувань котельного агрегату КВГТ-в-м 400</i>	<i>25.03.2018 - 29.03.2018</i>	
3	<i>Розробка режимної карти водогрійного котла</i>	<i>01.04.2018 - 10.03.2018</i>	
4	<i>Розрахунок об'ємів продуктів згоряння</i>	<i>11.04.2018 - 15.04.2018</i>	
5	<i>Моделювання процесу горіння піролізного газу в пальниковому пристрої та розподілу теплової енергії в другій камері догоряння</i>	<i>12.04.2018 - 30.04.2018</i>	
6	<i>Розробка стартап проекту</i>	<i>04.05.2018 - 06.05.2018</i>	
7	<i>Нормативне оформлення магістерської дисертації</i>	<i>06.05.2018 - 16.05.2018</i>	

Студент

_____ (підпис)

М.Г. Пабат
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

В.О. Виноградов-Салтиков
(ініціали, прізвище)

Реферат

Дана магістерська дисертація має 114 сторінок, включає у себе 47 рисунків, 4 таблиці, 1 презентацію.

У роботі розглядаються питання пов'язані з розробками та методиками які були розроблені раніше, але не досліджувались у достатній мірі. Основою роботи є дослідження кафедри теплотехніки та енергозбереження. Робота тісно пов'язана з державними питаннями енергетичної незалежності з використанням місцевих палив, з утилізацією викидної деревини та залишків від перероблення сільгосппродукції для опалення будинків, та використання теплової енергії в технологічних процесах малих підприємств замість природного газу.

Мета роботи: На основі аналізу експлуатаційних показників котла промислового призначення КВГТ-в-м 400 визначити ефективність його роботи, а також дослідити процес утворення та горіння піролізних газів.

Об'єкт дослідження: твердопаливний – піролізний котел КВГТ-в-м 400.

Результати роботи були апробовані та викладені у вигляді тез доповідей на VII Міжнародної науково-практичної конференції молодих дослідників, аспірантів і студентів "Енергетика, екологія, людина" (Збірник наукових праць). – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2015. С.305-312. (Фахове видання).

Подані тези доповіді на XIV Міжнародної наукової конференції «Актуальні наукові дослідження в сучасному світі», 26-27 липня 2016 р . Переяслав-Хмельницький ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди» Випуск 6 (14) частина 2, С. 66-74. (Фахова видання).

Основою даної роботи являються патенти:

- 1) Пат. 106649 Україна, МПК (2016.01), F23B 80/00, F23B 10/00. КОТЕЛ ГАЗОГЕНЕРАТОРНИЙ ТВЕРДОПАЛИВНИЙ / О.М. Афанасьєв, М.Г. Каптуренко, О.С. Козацький, М.Г.Пабат. - u201601222; заявл. 12.02.16; опубл. 25.04.2016, Бюл.№8.

2) Пат. 106650 Україна, МПК (2016.01), F23В 80/00, F23В 10/00, F23G 5/027 (2006.01). КОТЕЛ ГАЗОГЕНЕРАТОРНИЙ ТВЕРДОПАЛИВНИЙ / О.М. Афанасьєв, М.Г. Каптуренко, О.С. Козацький, М.Г.Пабат. - u201601223; заявл. 12.02.16; опубл. 25.04.2016, Бюл.№8.

Ключові слова: твердопаливний котел, піролізний котел, котел марки КВГТ, режимна карта, процес горіння піролізних та розподіл теплової енергії в другій камері догорання, газів, ANSYS Fluent.

Abstract

This master's thesis is made of 114 pages, includes 47 figures, 4 tables, 1 presentation.

The paper deals with issues related to developments and techniques that were developed earlier, but were not explored sufficiently. The basis of the work is the research of the department of heat engineering and energy saving. The work is closely linked to state issues of energy independence with the use of local fuels, the disposal of waste wood and residues from the processing of agricultural products for heating homes, and the use of thermal energy in the processes of small enterprises instead of natural gas.

The aim of the work: On the basis of analysis of operational parameters of the boiler of industrial purpose «KBГТ-В-М 400» to determine the efficiency of its work, as well as to study the process of formation and combustion of pyrolysis gases.

The object of research: solid fuel - pyrolysis boiler «KBГТ-В-М 400»

According to the results of the work were presented theses at in the form of abstracts at the VII International Scientific and Practical Conference of Young Researchers, Postgraduates and Students "Power Engineering, Ecology, Human" (Collection of Scientific Papers). - Kyiv: NTUU "KPI", IEE, 2015. p. 305-312. (Professional Edition).

The thesis is presented at the XIV International Scientific Conference "Actual scientific research in the modern world", July 26-27, 2016. Pereyaslav-Khmelnytsky State Pedagogical University "Pereyaslav-Khmelnytsky State Pedagogical University named after Gregory Skovoroda" Issue 6 (14) Part 2, P. 66-74. (Professional edition).

The basis of this work are patents:

- 1) Pat. 106649 Ukraine, IPC (2016.01), F23B 80/00, F23B 10/00. BOILER HYDROGENERATOR SOLID / O.M. Afanasyev, M.G. Kapturenko, O.S. Kozatsky, M.G.Pabat. - u201601222; stated. 12.02.16; has published April 25, 2016, BUL №8.

2) Pat. 106650 Ukraine, IPC (2016.01), F23B 80/00, F23B 10/00, F23G 5/027 (2006.01). BOILER HYDROGENERATOR SOLID / O.M. Afanasyev, M.G. Kapturenko, O.S. Kozatsky, M.G.Pabat. - u201601223; stated. 12.02.16; has published April 25, 2016, BUL №8.

Keywords: solid fuel boiler, pyrolysis boiler, boiler of the «КБГТ» brand, pyrolysis combustion process and distribution of heat energy in the second chamber of combustion, gases, ANSYS Fluent.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТВЕРДОПАЛИВНИХ – ПІРОЛІЗНИХ ТА ЗВИЧАЙНИХ КОТЛІВ	15
1.1 Ринок твердопаливних котлів України.....	15
1.2 Піроліз як стадія початкового горіння твердого палива.....	17
1.3 Дійсні процеси при зтяжному горінні твердих палив в котельних агрегатах.....	27
1.4. Будова та конструктивні особливості твердопаливних котлів	29
1.5 Показники твердопаливних котлів за видом палива та його калорійністю	30
Висновки до розділу 1	33
РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТИВНА БУДОВА ПІРОЛІЗНИХ КОТЛІВ МАРКИ КВГТ ТА ГАЗОГЕНЕРАТОРНИЙ ПРИНЦИП РОБОТИ	35
2.1 Опис конструкції та основного принципу роботи газогенераторних твердопаливних котлів модельного ряду КВГТ	35
2.2 Структурна схема газогенераторного твердопаливного котла.	42
2.3 Процес згорання піролізних газів в пальниковому пристрої	48
2.4 Запуск котельного агрегату.....	52
2.5 Блок управління піролізним котлом	54
2.6 Вузли безпеки в монтажній схемі піролізного котла	59
Висновки до розділу 2	64
РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ КВГТ-400 З ВИЗНАЧЕННЯМ СКЛАДОВИХ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ.....	66

3.1 Нормативні джерела та настанови по вимірюванню та визначенню складових теплового балансу твердопаливних котлів.....	66
3.2 Обладнання та прилади які застосовувалось для визначення складових теплового балансу та визначення ККД КВГТ-400.	67
3.3 Підготовка котла до роботи та регулювання процесу згоряння піролізних газів.....	76
3.3.1 Підготовка котла до роботи	76
3.3.2 Розпалювання	77
3.3.3 Вимоги до палива.....	78
3.3.4 Регулювання горіння	78
3.3.5 Температурний режим котла	81
3.4 Результати експериментального дослідження.....	81
Висновки до розділу 3	85
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ПІРОЛІЗНОГО ГАЗУ В ПАЛЬНИКОВОМУ ПРИСТРОЇ ТА РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В ДРУГІЙ КАМЕРІ ДОПАЛЮВАННЯ.....	87
4.1 Опис програмного забезпечення ANSYS Fluent.....	87
4.2 Моделювання процесу горіння піролізного газу	88
4.2.1 Вихідні дані	88
4.2.3 Побудова розрахункової сітки.....	91
4.2.4 Підготовка розрахункової моделі пальника.....	93
4.2.5 Обробка та аналіз експериментальних даних	98
Висновки до розділу 4	101
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЕКТУ.....	103
Висновки до розділу 5	106

ВИСНОВКИ.....	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	108
Додаток А.....	110
Додаток Б	114

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

Умовні позначення та символи

$Q_{ном}$ – номінальна теплопродуктивність;

Q_B – теплота згоряння;

ΔT – різниця температур;

α – коефіцієнт надлишку повітря;

W^p – вологість;

A^p – зольність;

B – питома витрата палива;

S_K – ККД котла;

M_{NO_x} , M_{CO} – концентрація шкідливих речовин;

Скорочення

КВГТ – котел водогрійний газогенераторний твердопаливний;

ППС – паливно – повітряна суміш;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ГР – кам'яне вугілля газове рядове;

ЦО – центральне опалення;

ГВП – гаряче водопостачання.

Терміни

Піроліз твердих горючих копалин – розкладання твердих горючих копалин (вугілля, торфу, сланцю) при нагріванні без доступу повітря.

Дегідрогенізація – зневоднення органічної сировини.

Моделювання – це метод дослідження різних явищ і процесів, вироблення варіантів управлінських рішень. Моделювання ґрунтується на заміщенні реальних об'єктів їх умовними зразками, аналогами.

ВСТУП

Проблема досягнення енергетичної незалежності є актуальним завданням енергетичної політики не тільки для держав з перехідною економікою, до яких належить і Україна, але і для багатьох країн світу. За часів Радянського Союзу, Україна мала високий рівень забезпеченості паливно-енергетичними ресурсами, що значною мірою визначило нинішній стан енерговикористання в країні і відносно низький рівень енергетичної безпеки.

Сьогодні Україна є енергодефіцитною країною, запасів нафти і газу якої недостатньо для задоволення потреб економіки. За рахунок власного видобутку держава забезпечує себе лише на 25% газом і на 20% нафтою. Тобто Україна в значній мірі залежить від імпорту енергоносіїв. Але проблема полягає навіть не в цьому (оскільки подібна ситуація є нормальною практично для всіх європейських країн), а в тому, що наша країна отримує основні обсяги вуглеводнів (близько 85%) безпосередньо з одного джерела, Росії, або ж купуються енергоносії потрапляють в Україна транзитом через російську територію. При таких умовах залежність енергетики та економіки України в цілому від імпортних поставок енергетичних ресурсів є критичною.

Актуальність проблеми. До основних завдань енергетичної незалежності та енергетичної ефективності належать проведення єдиної державної політики в сфері використання енергетичних ресурсів та енергозбереження, забезпечення збільшення частки поновлюваних і альтернативних видів палива в енергетичному балансі України.

Можливість використання місцевого твердого палива такого, як торф, буре та кам'яне вугілля, запаси яких на Україні достатні до споживання на сторіччя. І це тільки по розвіданих запасів. Слід також згадати про використання деревини: санітарні рубки, залишки деревообробного виробництва, або використання так званої «енергетичної» верби — посадок верби на заболоченій місцевості річок та очерету. Значними є залишки сільськогосподарської

переробки є доповненням до отримання теплової енергії шляхом спалювання так званої твердої біомаси.

Слід звернути увагу саме на піролізне спалювання палива, та його допалювання з використанням спеціальних пальників, які доводять процес горіння до його оптимальних параметрів: повного згорання горючих елементів та одночасного зниження в продуктах згорання токсичних окислів та створення зручного, с точки зору завантаження, тривалого горіння – 8...24 години.

Аналіз літератури та конструкцій котлів представлених на Міжнародних виставках «Аква Терм» показав, що хоча існує більше ста фірм що виготовляють різноманітне котельне обладнання, існує велика низка не вирішених проблем.

Мета роботи. На основі аналізу експериментальної конструкції та експлуатаційних показників котла КВГТ-в-м 400 промислового призначення дослідити та визначити ефективність його роботи, а також дослідити процес утворення та горіння піролізних газів в пальниковому пристрої та камері догорання.

Задачі дослідження.

1. Провести експериментальне дослідження з доведенням працездатності піролізного котла на базі робочих параметрів та конструкційної компоновки структурних елементів.
2. На основі існуючого обладнання отримати дані для створення режимної карти піролізного котла КВГТ-в-м 400 за допомогою газоаналізатора Unigas 3000 Plus та приладного оснащення котла.
3. Створити комп'ютерну модель процесу горіння піролізного газу на виході з першої камери горіння через пальник до другої камери догорання за допомогою програмного забезпечення Ansys FLUENT.
4. Зробити аналіз отриманих експериментальних результатів та проведення теоретичних розрахунків з визначення основних характеристик ефективності процесу горіння твердого палива з утворення піролізного газу з подальшим його догоранням. Визначити еколого-теплотехнічні показники.

Об'єкт дослідження є еколого-теплотехнічні показники ефективності експериментального піролізного котла промислового призначення КВГТ-в-м 400 та шляхи їх вдосконалення.

Предмет дослідження є експериментальний піролізний котел промислового призначення КВГТ-в-м 400.

Методи дослідження. Експериментальні теплотехнічні випробування водогрійного котла, а також комп'ютерне моделювання процесів горіння піролізного газу в пальниковому пристрої.

Наукова новизна.

1. В розробці конструкції пальникового пристрою.
2. Перевірка роботи пальникового пристрою з визначенням складових процесу догоряння піролізних газів.
3. Визначення еколого-теплотехнічні показників та оцінка ефективності роботи піролізного котла промислового призначення КВГТ-в-м 400.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Одержані експериментальні данні про еколого-теплотехнічні показники роботи піролізного котла промислового призначення КВГТ-в-м 400.
2. Результати моделювання в програмному середовищі Ansys FLUENT дозволять удосконалити конструкцію пальникового пристрою та камери догоряння котла КВГТ-в-м 400 та його прототипів.

Апробація результатів дисертації.

Результати досліджень та їх основні положення були представлені у формі доповіді на науково-технічних конференціях:

1. на VII Міжнародної науково-практичної конференції молодих дослідників, аспірантів і студентів "Енергетика, екологія, людина" 2015 р., м. Київ;
2. на XIV Міжнародної наукової конференції «Актуальні наукові ослідження в сучасному світі», 26-27 липня 2016 р., м. Переяслав-Хмельницький ;
3. на X Міжнародної науково-технічна конференції "Енергетика, екологія, людина" 2018 р., м. Київ.

Публікації:

1. Пат. 106649 Україна, МПК (2016.01), F23B 80/00, F23B 10/00. КОТЕЛ ГАЗОГЕНЕРАТОРНИЙ ТВЕРДОПАЛИВНИЙ / О.М. Афанасьєв, М.Г. Каптуренко, О.С. Козацький, М.Г.Пабат. - u201601222; заявл. 12.02.16; опубл. 25.04.2016, Бюл.№8.

2. Пат. 106650 Україна, МПК (2016.01), F23B 80/00, F23B 10/00, F23G 5/027 (2006.01). КОТЕЛ ГАЗОГЕНЕРАТОРНИЙ ТВЕРДОПАЛИВНИЙ / О.М. Афанасьєв, М.Г. Каптуренко, О.С. Козацький, М.Г.Пабат. - u201601223; заявл. 12.02.16; опубл. 25.04.2016, Бюл.№8

3. Тези доповідей на VII Міжнародної науково-практичної конференції молодих дослідників, аспірантів і студентів "Енергетика, екологія, людина" (Збірник наукових праць). – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2015. С.305-312. (Фахове видання).

4. XIV Міжнародна наукова конференція «Актуальні наукові дослідження в сучасному світі», 26-27 липня 2016 р . Переяслав-Хмельницький ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди» Випуск 6 (14) частина 2, С. 66-74. (Фахова видання).

Структура та об'єм роботи.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, та списку використаних літературних джерел. Повний обсяг дисертації складає 114 сторінок, 47 ілюстрації, 4 таблиці, список використаних джерел.

В роботі виконано:

- огляд твердопаливних – піролізних котлів;
- аналіз конструктивної будови піролізних котлів марки КВГТ та газогенераторний принцип роботи;
- проведення натурних випробувань котельного агрегату КВГТ-в-м 400 з визначенням складових теплового балансу;

- моделювання процесу горіння піролізного газу в пальниковому пристрої та розподілу теплової енергії в другій камері допалювання;
- розроблення стартап проекту на основі ринку пропозицій в Україні.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТВЕРДОПАЛИВНИХ – ПІРОЛІЗНИХ ТА ЗВИЧАЙНИХ КОТЛІВ

1.1 Ринок твердопаливних котлів України

Сучасна популярність твердопаливних водогрійних котлів малої тепловидатності на ринку України обумовлена, як потребою невеликих підприємств так і власників котеджів та багатоповерхових будинків, а також з обставинами пов'язаних з подорожчанням природного газу для комунальних споживачів та малих підприємств. Перевагу в більшості віддають вітчизняним виробникам, які, з відомих побажань користувачів, що до надійності, помірної вартості, простоті в експлуатації, можливості використовувати різні види палива, в першу чергу твердого палива, додають систему автоматичного завантаження палива, сучасну автоматичну систему контролю та регулювання процесів горіння та використання котла не тільки для вироблення води на опалення, а і для ряду технологічних процесів, наприклад для сушки деревини, фруктів та овочів, сушіння зернових тощо. Відповідно пропонують комплекс технологічного обладнання для цих процесів.

Також є актуальною, використання місцевого твердого палива такого, як торф, буре та кам'яне вугілля, призабутого на Україні з використанням у 60-90 роках минулого сторіччя дешевого та зручне при транспортуванні та спалюванні природного газу. Слід також згадати про використання деревини: санітарні рубки, особливо в міській місцевості та повздож залізничних та автомобільних доріг, або використання так званої «енергетичної» верби – осадок верби на заболоченій місцевості та біля річок та очерету. Значні залишки сільськогосподарської переробки у вигляді соломи та зернової переробки у вигляді лузги, кукурудзяних качанів та соняшникового лушпиння, є доповненням до отримання теплової енергії шляхом спалювання так званої твердої біомаси.

На 17-тій міжнародній виставці з опалення та вентиляції, кондиціонування, водопостачання, відновлювальної енергетики – Aqua-therm у 2015 році твердопаливні котли були представлені 80 фірмами та 19 фірмами, що виготовляють пальники для твердопаливних котлів. Порівняно котли на газі були представлені 34 фірмами, а електричні котли представляли 21 фірми. А на останній 19-тій міжнародній виставці Aqua-therm у 2017 році по перше зріс за кількістю відвідувачів з 32 тис. майже 44 тисяч та кількість експонентів зросла з 368 до 535. Твердопаливні та газові котли були представлені 147 фірмами та 36 фірмами, що виготовляють пальники, з них 135 виробляє котельне обладнання промислового призначення. Порівняно котли на газі були представлені 34 фірмами. На виставці, представленою 21 державами, саме зацікавленістю опаленому обладнанню було спрямовано 49% відсотків відвідувачів виставки з них 82% саме приділили котельному обладнанню (твердопаливному, газовому тощо). З них 58% це побутовий сектор та 42% промисловий.[1].

В більшості українські фірми пропонували декілька видів котлів за споживанням енергії тому і на виставці не було чіткого розмежування – тільки твердопаливні та газові котли. Всі ці фірми розглядали котли, типорозміри яких були від 10 до 1000 кВт по виробленню теплової енергії – нагріву води, декілька по виробленню пари низького тиску. Саме такі котли призначені для комунальних споживачей та малих підприємств.

Доволі складною є задача врахувати всі переваги та можливості сучасних твердопаливних котлів та вибрати найліпший, особливо по рекламним проспектам та по бахвальним статтям без опису конструкції та без наведення повної характеристики теплотехнічних випробувань.

1.2 Піроліз як стадія початкового горіння твердого палива

Піроліз твердих горючих копалин (рос. *пиролиз твердых горючих ископаемых*, англ. *pyrolysis of hard combustible minerals*, нім. *Pyrolyse f der harten fossilen Brennstoffe*) – розкладання твердих горючих копалин (вугілля, торфу, сланцю) при нагріванні без доступу повітря [2].

Внаслідок протікаючих при цьому термохімічних перетворень утворюються газо- і пароподібні, а також тверді продукти. У залежності від кінцевої температури нагрівання ППС, в промисловості розрізняють чотири головних процеси піролізу: напівкоксування до 500 – 550 °С; середньотемпературне коксування, кінцева температура 700 – 750 °С; високотемпературне коксування до 900 – 1100°С і графітізація 1300 – 3000 °С (рисунок 1.1). Поведінка кам'яного і бурого вугілля при нагріванні принципово різна.

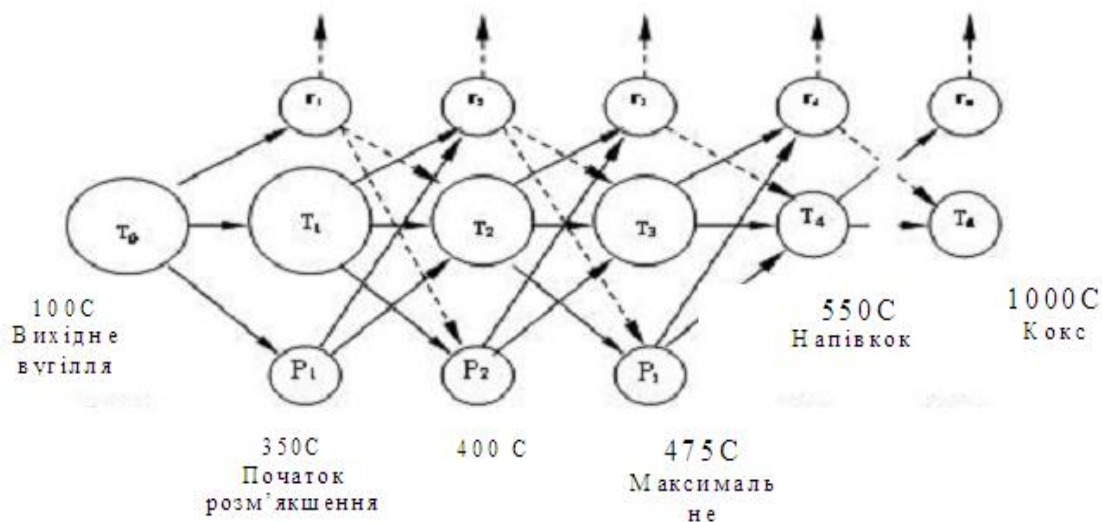
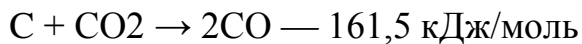
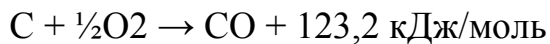
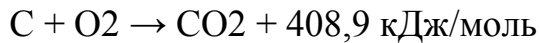


Рисунок 1.1 – Структурна схема процесу піролізу

Сукупність процесів, що протікають в ході газифікації твердих горючих копалин – *піроліз* – неповне горіння, повне окислення – називають *конверсією*:



$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + 42,8 \text{ кДж/моль}$, крім того, утворюються продукти піролізу.

Стадії термічного розкладання вугілля:

а) сушка протікає при кімнатній температурі, інтенсифікується по мірі підвищення температури нагрівання і практично закінчується при 105 – 110 °С;

б) 110 – 200 °С – виділення гігроскопічної і колоїдно – пов'язаної вологи, а також оклюдованих газів, початок термічної деструкції торфу і бурого вугілля;

в) 200 – 300 °С – термічна підготовка. Утворюються газоподібні продукти термічної деструкції (CO_2 , CO , N_2), відбувається відщеплення термічно – нестійких кисневмісних груп;

г) 300 – 500 °С – напівкоксування. Посилення термічної деструкції органічної маси вугілля з інтенсивним виділенням газів і парів, а також зі спікливого вугілля рідкої фази (продукти – напівкокс, первинний газ, смола);

д) 550 – 800 °С – середньотемпературне коксування. Посилення процесів деструкції з одночасною інтенсифікацією процесів синтезу (продукти – кокс, газ, смола);

е) 900 – 1100 °С – високотемпературне коксування з переважанням процесів синтезу (продукти – кокс, газ, смола);

з) 1300 – 3000 °С – графітизація (термографіт, газ).

Піроліз бурого вугілля. Буре вугілля при нагріванні не розм'якшується, при цьому відбувається виділення летких речовин, які частково розкладаються. У залишку утворюється монолітний напівкокс, що зазнав сильної усадки. При напівкоксуванні бурого вугілля розрізняють три температурні зони:

1. зона попереднього нагрівання до 100 °С;
2. зона сушки 100 – 125 °С;

3. зона напівкоксування 225 – 500 °С.

Під час попереднього нагрівання вугілля розширяється, причому дуже швидке нагрівання може привести до розпушення шматків або навіть до руйнування структури напівкоксу. У процесі сушки виділяється вода при одночасній усадці вугілля. Вище за 225 °С відганяються продукти напівкоксування (смола, масло, вода і газ) і відбувається подальша усадка. Вище за 500 °С закінчується утворення напівкоксу.

Піроліз кам'яного вугілля. Кам'яне вугілля середнього ступеня вуглефікації має зону розм'якшення при 350 – 450 °С. При нагріванні вугілля виділяють три температурних зони:

1. Від початку нагрівання до початку розм'якшення вугілля при 350 °С;
2. Пластична зона від 350 до 450 °С;
3. Зона утворення коксу – вище 450 °С.

Механізм процесу. При переході вугілля в пластичний стан посилюється орієнтація ароматичних шарів. Внаслідок відщеплення бічних ланцюгів в ароматичних сполуках відбувається упорядкування паралельних площинних шарів з вирівнюванням відстаней між ними. Цей процес, званий передграфітизацією, протікає неповно внаслідок повторного зміцнення вугільної речовини і обмеження можливості інтенсивного руху молекул. Чим ширша область розм'якшення вугілля, тим інтенсивніше протікає передграфітизація. Предграфітизація жирного вугілля, що має найбільший розм'якшення, протікає інтенсивніше, ніж у кам'яного вугілля з нижчим і високим виходом летких речовин. Нижчий ступінь передграфітизації обумовлює знижену міцність коксу. Внаслідок пластичності вугільної речовини в залежності від умов коксування утворюється пористий, склоподібний, пінистий або спечений **кокс**. Пари і гази термічної деструкції вугілля сприяють протіканню процесів спікання, активізуючи міграцію рідких нелетких продуктів всередині вугільної маси, що нагрівається, і утворення просторово – безперервної пластичної системи. Основну роль в процесах спікання відіграють рідкі нелеткі продукти, що не

видаляються з пластичної системи у вигляді пари і газів. Процес спікання вугілля закінчується при 500 – 550 °С утворенням суцільного тіла напівкоксу. При подальшому нагріві до 1000 °С протікають в основному поліконденсаційні процеси з відщепленням низькомолекулярних продуктів H₂, H₂O, CH₄, CO і упорядкування структури твердого залишку, що приводить до утворення високотемпературного коксу (таблиця 1.1.). Велике значення для коксоутворення має втрата маси, що продовжується при перетворенні напівкоксу в кокс за рахунок газоутворення – до 25 – 30 % маси напівкоксу (майже 50% об'єму загального виходу летючих речовин з початкового вугілля).

Таблиця 1.1 – Середній склад газу при автотермічній газифікації

Спосіб газифікації	Вид дуття	Теплота згоряння Q _в , МДж/м ³	Склад, % об'ємні				
			CO	H ₂	CO ₂	CH ₄	N ₂
Стационарний шар	Пароповітряний	5,2	27,8	12,4	3,6	0,2	56,0
"-	Парокисневий	10,6	40,0	41,0	16,5	0,9	1,6
"-	Кисневий (рідкий шлак)	11,8	64,6	28,7	5,7	-	1,0
Псевдозріджений шар	Парокисневий	12,3	48,2	35,2	13,8	1,8	0,9
Пилоугільний факел	Парокисневий	11,2	57,2	30,7	10,5	0,1	1,2
Пил над розплавленим шлаком	O ₂ + CO ₂	10,8	56,8	28,0	14,0	0,2	-
"-	Повітря	4,0	22,8	8,0	5,1	-	64,1

Характерні реакції при піролізі – розщеплення вуглецю – вуглецевих зв'язків. Розщеплення складних органічних сполук відбувається при високій температурі під час відсутності кисню або киснево – *дефіцитній атмосфері*, щоб уникнути окислення і горіння (операції не виробляють полум'я). Піролізу

переходить до процесу *дегідрогенізація* – зневоднення органічної сировини. Коли тепло використовується в описаних вище умовах для розриву складних органічних ланцюгів молекули і це відбувається у воді, то це називають "тепловою деполімеризацією", а не піролізом.

Піроліз не варто плутати із *піросинтезом* – утворення нових полук під дією тепла. Піроліз не слід плутати з "згоранням" (або спалюванням) – процеси окислення-відновлення досягнуті в присутності кисню; та "*газифікацією*", яка являє собою процес, який перетворює вуглецеві матеріали або органічні в синтез-газ, що складаються в основному з окису вуглецю (CO) і водню (H₂).

З XVIII сторіччя операціями піролізу називали "суху перегонку", карбонізацію, коксування, крекінг, дегазацію, дегідрогенізацію, полімеризацію, ізомеризацію та конденсацію виконані в промисловості для отримання вугілля з деревини, коксу з вугілля, вугілля торфу з торфу, сланців, або штучного газу (в першу чергу вугільного газу (який намагались отримувати), з дерева — деревного газу; вуглеводневий газ з високим вмістом неграничних вуглеводнів, етилен, пропілен, бутилен і бутадиєн і ін.), смоли (що містять моно- і поліциклічні арили (бензол, толуол, ксилоли, нафталін, антрацен і ін.)), газойлю і ін. Також вважали, що сировиною для піролізу є газоподібні вуглеводні (етан, пропан, бутан і їх суміші). Вважали, що з тонни тирси можна отримувати шляхом піролізу 700 кг рідкого палива. Ці операції повинні бути більш точно описані. Називати "піроліз" "сухою перегонкою" є дещо невірним, оскільки "перегонка" означає "процес поділу компонентів суміші температура кипіння яких відрізняється". У піролізу матеріал руйнується.

Всі складні органічні тіла складаються з ланцюгів молекул (полімерів, наприклад, пластмаси, гума, дерево, папір тощо). Тепло допомагає зруйнувати цей ланцюжок і створюються менші органічні молекули.

Коли тіла тверді, наприклад, дрова, це часто відбувається таким чином:

1. Можливе випаровування вологи (зневоднення).
2. Тепло полум'я зменшує молекули і матеріал стає легшим.

3. Метан з'єднується з киснем повітря та спалюється вуглеводень.

Насправді, в цьому прикладі описано поєднання і піролізу і згоряння газу. Піроліз підтримує горіння до зникнення органічного тіла. Велику частину часу займає сам піроліз – розкладання матеріалу теплом полум'я, але не в полум'ї.

Суха перегонка деревини – один з перших процесів хімічної технології. Починаючи з XII ст. її широко використовували для вироблення соснової смоли (служить для просмолювання дерев'яних суден і просочення канатів). Цей промисел носив назву смолокуріння. З розвитком металургії виник інший промисел, також заснований на сухій перегонці деревини, вугілля печінням з отриманням деревного вугілля (рисунок 1.2). Початок промислового застосування піролізу деревини відноситься до XIX в. Сировиною була тільки деревина листяних порід, головним продуктом – оцтова кислота [3].

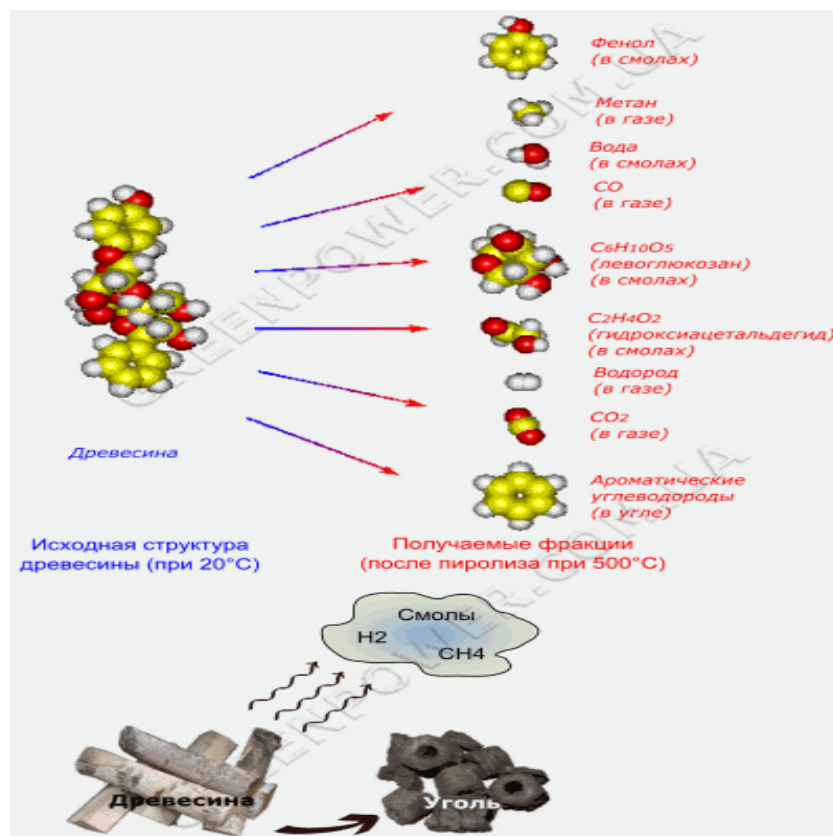


Рисунок 1.2 – Вихідна структура деревини

Для здійснення процесу в даний час зазвичай застосовують деревину листяних порід (напр., берези), рідше (головним чином при комплексній переробці сировини) – деревину хвойних порід. При піролізі деревини берези (вологість 10-15%) отримують 24 – 25% деревного вугілля, 50 – 55% рідких (так звана жижка) і 22 – 23% газоподібних продуктів. Чим більше розмір шматків деревини, взятої для піролізу, тим крупніше твердий залишок, хоча в результаті нерівномірної усадки сировини і бурхливого виділення летких продуктів відбувається розтріскування, обвуглювання матеріалу і утворюється до 20% дрібного вугілля з розміром частинок менше 12 мм. Отримане деревне вугілля після сортування за розміром шматків направляють безпосередньо споживачу або на переробку [3].

При зберіганні і переробці жижки відстоюється деревна смола (7 – 10%) і одночасно протікають численні перетворення її компонентів; зі смоли виділяють широкий асортимент цінних продуктів. Відстоюана жижка має щільність 1,025 – 1,050 г/см³ і містить 6 – 9% по масі оцтової кислоти та її гомологів, 2,5 – 4,5% метанолу, 5 – 6% з'єднань різних класів (альдегідів, кетонів, складних ефірів і т.д.), 4,5 – 14% розчинної деревної смоли і 67 – 81% води. Оцтову кислоту витягують з жижки найчастіше екстракцією і шляхом ректифікації і хімічного очищення переробляють в харчовий продукт [3].

Газоподібні продукти (неконденсовані гази) включають діоксид (45 – 55% за об'ємом) і оксид (28 – 32%) вуглецю, водень (1 – 2%), метан (8 – 21%) та інші вуглеводні (1,5 – 3, 0%). Склад неконденсованих газів залежить від кінцевої температури піролізу, швидкості і способу нагрівання (з внутрішньої або зовнішньої циркуляцією теплоносія – зазвичай топкових газів, одержуваних при спалюванні палива і неконденсованих газів), теплота їх згоряння коливається від 3,05 до 15,2 МДж/м³ [3].

Перераховані фактори, а також порода, якість і вологість деревини визначають вихід продуктів її піролізу. З підвищенням температури зростають виходи деревної смоли і газів, але знижуються виходи деревного вугілля, оцтової

кислоти і спиртових продуктів; вугілля утворюється з більш високим вмістом вуглецю. Середній вихід основних продуктів піролізу деревини становить (в розрахунку на суху деревину): оцтова кислота 5 – 7%, деревна смола 10 – 14%, деревне вугілля (з розрахунку на нелетких вуглець) 23 – 24% [3].

В основі піролізу деревини лежать вільнорадикальні реакції термодеструкції гемицеллюлоз, целюлози та лігніну, що протікають відповідно при 200 – 260, 240 – 350 і 250 – 400 °С; співвідношення констант швидкостей при 320 °С становить 10:1:0,25. Кінетичні характеристики піролізу деревини та її компонентів, знайдені різними авторами, помітно різняться. Реакції розпаду деревини, гемицеллюлози, целюлози та лігніну мають перший порядок, а енергії активації цих реакцій змінюються в значних межах; для згаданих компонентів деревини відповідно 70 – 80, 135 – 210 і 55 – 110 кДж/моль. Константа швидкості піролізу деревини вище, ніж у целюлози, і, наприклад, при 350 °С для різних порід знаходиться в діапазоні $(2,8 - 8,3)10^{-3}c^{-1}$. Піроліз деревини – екзотермічний процес, при якому виділяється велика кількість теплоти (1150 кДж/кг) [3].

Принципова технологічна схема піролізу деревини: оброблення сировини на шматки (тюльку); сушка розпиленої деревини; власне піроліз в спеціальних печах або ретортах; охолодження вугілля і його стабілізація (для запобігання самозапалювання); конденсація парів летких продуктів. Найбільш тривала і енергоємна стадія – сушіння деревини з вологістю 45% до вологості 15% [3].

Техніка піролізу деревини різноманітна, але більшість застосовуваних у світовій практиці печей і реторт застаріло і не відповідає сучасним вимогам. Найбільш досконала технологія піролізу деревини з використанням безперервно діючого устаткування. В останні, порціями завантажують деревину і періодично вивантажують вугілля [3].

Переходячи до режимних факторів, ми розглянемо залежність процесу від швидкості обвуглювання, тиску в апараті, кінцевої температури і середовища, що оточує елемент деревини [4].

Швидкість. На підставі лабораторних дослідів можна зробити висновок, що швидкість процесу справляє помітний вплив в основному на стадію розпаду, що проходить в інтервалі температур 260 – 290 °С. Інтенсивна подача тепла в цей час при подрібненої деревині веде до підвищення виходу смоли і зниження виходу вугілля при практично не мінливих виходах низькомолекулярних продуктів: кислоти, метанолу, альдегідів. Можна припустити, що при повільному нагріванні частина смоли коксується на поверхні вугілля, збільшуючи його вихід і, одночасно, кисень, що знаходиться в деревині, асимілюється з воднем, даючи воду, і з вуглецем – CO₂ [4].

При швидкій гонці різко збільшується вихід газів і зменшується вихід вугілля і рідких дистилатів. Великий вплив на виходи надає підвищений тиск, що утворюється при інтенсивному нагріванні всередині апарату. Ще сильніше впливає в цьому випадку швидкість виведення продуктів піролізу зі сфери реакції. Чим швидше виводиться смола, тим більше її вихід [4].

Тиск в апараті. Має великий вплив на хід процесу термічного розпаду. Наприклад, при зміні тиску від 200 атм до 5 мм рт.ст., виходи (на абсолютно суху листяну деревину) вугілля та метанолу падають від 34 до 20% і від 3,1 до 1,2% відповідно, але зростає вихід оцтової кислоти і смоли [4].

Одночасно при вакуумі різко змінюється склад жижки: у ній з'являється велика кількість редуруючих речовин та абсолютно відсутню осадову смолу.

Ці залежності в апаратах промислового типу не використовуються, оскільки економічний ефект від їх здійснення не окупить технічні ускладнення, що виникають при організації високотемпературного процесу в металевих апаратах в умовах тиску або вакууму [4].

Кінцева температура процесу. Продукти, що виділяються при піролізі деревини, утворюються в широкому діапазоні температур. Кожен з продуктів має певну температуру початку утворення, свій максимум і кінець утворення. Максимуми переважного числа продуктів термічного розпаду деревини відносяться до температурного інтервалу, відповідного екзотермічної реакції

(виділення надлишкового тепла) [4]. При цьому існують важливі температурні точки:

- 260 °С – коли деревина стає бурою, віддавши конституційну і деяку кількість реакційної вологи, CO₂, мурашиної та оцтової кислот.
- 400 °С – коли відділення основної маси рідких продуктів вже закінчено.

Подальше підвищення температури процесу (прогартує) призводить до відділення невеликої кількості (1,5 – 2%) тяжких смол [4], значно збільшує вихід неконденсованих газів і дає вугілля з підвищеним вмістом вуглецю - до 90 – 95%.

Середовище. Хід і результати піролізу в значній мірі залежать від середовища, в якому знаходиться деревина що нагрівається. Звичайною, найбільш частим середовищем що зустрічається на практиці є газове, або, точніше, парогазове. В реторті деревина піддається пірогенному розпаду в слабкому струмі завдяки природній конвекції продуктів її ж розпаду [4].

В установках спеціального типу деревина нагрівається димовими газами, вміст кисню в яких сильно знижений, гази проходячи через товщу деревини віддають тепло до початку екзотермічної реакції, після чого важливим критерієм є недопущення кисню в піролізну камеру під уникнення перегріву і руйнування печі [4].

Трохи відокремлено стоять процеси піролізу, що протікають в середовищі перегрітої водяної пари, водної і висококиплячих нейтральних рідин. Розкладання деревини в струмі перегрітої водяної пари приводить до відщеплення метоксильних груп, різкого підвищення виходу летких кислот і альдегідів, появи в дистиляті речовин вуглеводного характеру, зниження виходу вугілля і повній відсутності осадової смоли. Такі технології використовуються переважно для вивчення хімічних процесів [4].

1.3 Дійсні процеси при зтяжному горінні твердих палив в котельних агрегатах

Основним завданням та метою дослідження є розібратися в існуючих пропозиціях виробників, що до порівняння різних марок котлів, розглянути їх вади і переваги та визначити складові показників їх енергоефективності.

Одним з рекламних ходів є назва котла «піролізний», який в минулому мав назву – котел тривалого (зтяжного) горіння, або з газифікацією. Піролізом називають «суху перегонку», карбонізацію, коксування, крекінг, дегазацію, дегідрогенізацію, полімеризацію, ізомеризацію та конденсацію виконані в промисловості для отримання вугілля з деревини, коксу з вугілля, вугілля торфу з торфу; штучного газу (в першу чергу вугільного газу), зі сланців та деревини – деревного газу; вуглеводневий газ з високим вмістом неграничних вуглеводнів, етилен, пропілен, бутилен і бутадієн і ін., смоли – бензол, толуол, ксилоли, нафталін, антрацен і ін.; газойлю і ін. Тобто, отримання сировини для хімічної промисловості, а не її спалювання. Тепло допомагає зруйнувати ланцюжок молекул полімерів і створюються менші органічні молекули. Піроліз підтримує горіння до зникнення органічного тіла. Велику частину часу займає сам піроліз – розкладання матеріалу теплом полум'я, але не в полум'ї.

Процес піролізу, що до хімічних технологій, суттєво відрізняється від того що відбувається в котлі зтяжного горіння:

1) час протікання процесу піролізу в котлах значно розтягнуто в порівнянні, для деяких хімічних технологій, в яких час розігріву сировини в печах дорівнює секунди та долі секунди;

2) температура процесу піролізу в хімічних виробництвах сягає 870 – 900 °С, а температура процесу тління палива в котлах на рівні 140 – 500 °С, особливо для дров'яних котлів де найвища температура полум'я не перевищує 750 °С.

Газифікацією є процес перетворення вуглецевих або органічних матеріалів в синтез – газ, що складається в основному з окису вуглецю (CO) і водню (H₂). Та його згоряння – процесу високотемпературного окислення горючих елементів що відбувається в присутності надлишку повітря. Це відбувається при двохстадійному процесі поєднанні піролізу і згоряння газу. Перша стадія – високотемпературне нагріванні палива при недостатній кількості окислювача (кисню повітря) без горіння, за рахунок тління самого палива та вироблення синтез – газу. В другій стадії, що відбувається у додатковій камері в яку подається із зовні повітря (додатковий окислювач), за рахунок розігріву синтез – газу відбувається його займання, горіння та повне згоряння. В деяких випадках в хімічній промисловості газифікацію розглядають за температурою вище за 1000 °С для вироблення синтез – газу.

Температура газифікації для деревини та залишків сільгоспвиробництва починається з 140° та її можливе протікання при температурі 500°С без доступу повітря. В залежності від кінцевої температури нагрівання твердих горючих компонентів торфу, камяного вугілля, антрациту в промисловості розрізняють чотири головних процеси піролізу:

- 1) Напівкоксування до 500 – 550 °С;
- 2) Середньотемпературне коксування 700 – 750 °С;
- 3) Високотемпературне коксування до 900 – 1100°С;
- 4) Графітизація 1300 – 3000 °С.

При цьому поведінка кам'яного і бурого вугілля при нагріванні принципово різна, це особливо пов'язано з градацією цих палив за вмістом літких речовин. Загалом, температура горіння для твердопаливних котлів не бажано щоб була вищою за 1000 °С це пов'язано з деформаційними напруженнями металу котла та вигорянням колосникових решіток. Дані дві технології є основою в будові піролізних котлів.

1.4 Будова та конструктивні особливості твердопаливних котлів

Для більшості твердопаливних котлів розглядається двокамерне згоряння палива. В першій камері або саме топці, в яку завантажуються паливо, відбувається процес запалювання та горіння палива на початковому етапі для «піролізних», або для основного етапу для звичайних котлів. В цій же камері відбувається тління палива – піроліз за недостатню кількість повітря – процес виділення газів з палива, для «піролізних» котлів це основний режим їх роботи. Ця камера призначена для завантаження, тому основні розміри котлів якраз і виходять згідно об'єму (кількості) одночасного завантаження палива, розрахованого на час тривалого горіння. В другій камері для піролізних газогенераторних котлів відбувається процес згоряння синтез – газу та відбирання більшої частини цієї теплоти. Для деяких конструкцій котлів розглядається третя камера або утилізатор (економайзер) для відбирання теплоти відхідних газів, температура яких більша за 200 °С. Такий самий процес утилізації теплоти відхідних газів відбувається в другій камері для звичайних котлів.

В більшості твердопаливних котли мають зовнішню водяну оболонку для першої та другої (для деяких котлів ще й третьої) камер. В другій (та третій) камері всередині встановлено додаткові поверхні нагріву у вигляді димогарних труб, зовні яких знаходиться вода, або коробка в середині яких знаходиться вода, які з'єднані із зовнішньою водяною оболонкою. По своїй будові — це жаротрубні котли з димогарними трубами або ступінчастими поворотними димовими каналами, яку можливо розглядати, як спрощену конструкцію жаротрубних паровозних та судових котлів у горизонтально – вертикальному конструктивному виконанні.

Міцність та надійність конструкції обумовлена виготовленням котла із котлової сталі товщиною 4 – 6 мм, невідомо саме якої та чи вона розрахована на температури вище за 1000°С та на взаємодію зі сіркою та ванадієм, які містять у

своєму складі вугіллі. Важливо що виробники котлів дають гарантію на роботу свого обладнання на 2 – 3 роки.

Для більшості твердопаливних котлів, як доповнення є автоматизований дозатор – бункер для палива, який відповідно до закладеної програми періодично підсипає або одноразово завантажує паливо.

Котельне обладнання для малої теплоенергетики було орієнтовано на спалювання газового палива і як резервного рідкого палива, для яких була розроблена система автоматичного контролю, регулювання та подачі палива. Для твердопаливних котлів таке регулювання здійснюється вручну за певного практичного досвіду експлуатації.

Більшість твердопаливних котлів на ринку України мають регулювання подачі повітря, як в першу камеру загоряння та тління, так і в камеру догоряння, що здійснюється дуттьовим вентилятором. Це забезпечує контроль процесів горіння та автоматичне його регулювання, а саме використання пальникових систем з подачею палива та вихід на оптимальні режими роботи котлів. Нажаль інформація про роботу для оптимальних режимів обмежена та полягає ще в їх дослідженнях.

Перелічені особливості конструкцій котлів та процесу повільного тління та горіння палива в подальшому мабуть будуть доповнені в назві котлів.

1.5 Показники твердопаливних котлів за видом палива та його калорійністю

Тепловидатність водогрійних котлів зазвичай визначають за кількістю води, яка проходить через котел та за кількістю теплової енергії, яку вона отримала при спалюванні палива в середині котла. При зміні виду палива обов'язково потрібно враховувати на скільки змінилась його теплотворна здатність (калорійність, теплота згоряння) порівняно до розрахункового палива. Бо при розрахунках котельного обладнання виробники розглядають конкретний

вид палива та розраховують для нього топку та конвективні поверхні нагріву. Крім того паливо розрізняється по місцю видобутку та відповідно вмісту горючих елементів та баласту.

Виробники котельного обладнання також обов'язково розглядають резервне паливо близьке за калорійністю до розрахункового, інакше тепловидатність буде нижче або вище показників тепловидатності котла. При спалюванні більш калорійного палива потрібно враховувати температуру піролізу – зтяжного горіння, та температуру полум'я (догорання), які будуть вищими. При цьому підвищення температури може привести до напруженню метала та його прогорання. Наприклад при спалюванні дров температура горіння 750 – 850 °С, а кам'яного вугілля вище 1000 °С.

При заміні вугілля на дерев'яне паливо потрібно враховувати зменшення тепловидатності, як мінімум на 30 – 50%, бо калорійністю дров є меншою за вугілля. Та за кількістю дерев'яного палива потрібно вдвічі більше.

Слід не забувати, що навіть для одного виду палива, потрібно враховувати склад горючих елементів, вологість, зольність та вихід летких речовин тощо.

Вадодою для більшості з приведених енергетичних паливних ресурсів є їх використання в дрібному стані та спалювання насипом, що призводить до втрат при транспортуванні, зберіганні та спалюванні, які потребують гранулювання, або краще брикетування – можливість створення збагачення за рахунок сполучених елементів та композиції різних палив.

Для твердопаливних котлів резервним передбачено теж тверде паливо – з більшою або меншою калорійністю, використання газу чи рідкого палива не передбачається.

ККД котла. Діапазон ефективності для дров'яних та кам'яновугільних котлів 76 – 91%. Менше значення рекомендовано для дров'яних котлів. Це зменшення криється в меншій калорійності дров'яного палива (за рахунок вологи, порожнистості) та наявності меншої температури горіння

(жаровидатності), навіть збагаченої у вигляді брикетів та пелет (позбавлених порожнин та частково вологи) твердої біомаси, порівняно з вугіллям. Збільшення значення ККД до 90% для деревини можливо розглядати тільки в кінцевій стадії піролізу палива, коли закінчився вихід основних летких речовин та проходить піроліз дров'яного вугілля, а саме вуглецю.

Однією з вад для котлів «піролізних» є подача додаткового повітря в камеру догорання (камеру горіння синтез газу). Ця величина по надлишку повітря складає від 1,25 – 1,6, тобто 20 – 55% повітря нагрівається до температури займання та викидається в димову трубу з температурою близькою до 200°C це 3 – 4% втрат теплоти та зниження ККД.

Для котлів зтяжного горіння тривалість їх роботи обумовлена кількістю завантаженого палива, або періодичністю поповнення новою порцією палива. Час роботи запропонований виробниками 2 – 8 (4 – 12, 8 – 24) годин. Стандартне визначення показників роботи котла у робочому режимі, коли котел прогрівся та більше двох годин працює з визначеною кількістю палива. Для котла з зтяжним горінням важко визначити скільки палива згоріло за годину, тому ефективність роботи котла потрібно визначати для різних періодів його роботи, пов'язаних як із загрузкою палива, так і часом роботи котла.

Вимоги до води загалом не розглядаються. Це обумовлено малим водняним об'ємом та значними поверхнями нагріву на яких не може утворитись суцільна корка накипу. Але забруднення можливе, яке в подальшому потрапить у систему тепlopостачання, а також сам котел матиме сольові відкладення в нижніх частинах водяної сорочки.

Екологічні аспекти. Виробники розглядають екологічну чистоту піролізних котлів та особливо підкреслюють чистоту спалювання твердої біомаси. В дійсності, при роботі котлів малої тепловидатності вміст забруднюючих речовин менший ніж у промислових агрегатів це пов'язано з меншою кількістю палива, що спалюється, меншою температурою горіння палива на рівні 700 – 1000 °C та меншим виділенням окислів азоту, та мабуть най

головне відсутність контролю та незнання і впевненість, що спалювання екологічно чисте.

В проспектах, на сайті фірм виробників та на виставці при спілкуванні з фахівцями не було інформації щодо викидів та засобів, що до їх утилізації, виключно при спілкуванні на деяких фірмах пропонують циклони для утилізації зольних залишків, як додаткове обладнання. Якщо розглядати котел тепловидатність 1000 кВт то для спалювання необхідно 250 кг/год дров'яного палива, зольність якого не більше 1%. В залишках залишатися 2,5 кг золи за годину, при спалюванні зернових залишків ця величина може збільшитись у декілька разів. Для тривалого горіння ця частка буде меншою, бо більша частина буде падати у золоприймач, але не слід забувати про винос за рахунок роботи дугтьового вентилятора, а це на рівні 0,1 – 0,3% складатиме близько 180– 540 кг за місяць.

В складі бурого та кам'яного вугілля зольність знаходиться в межах 10 – 25%, а також вони містять сірку на рівні 0,4...4,3 %. Є деякі пропозиції до спалювання будь – якого палива можливість спалювання побутових відходів з наявністю значної кількості хімічних складових. На наш погляд не вистачає екологічного та санітарного контролю та обмежень стосовно таких пропозицій без реалізації заходів з нейтралізації забруднюючих речовин.

Висновки до розділу 1

1. Значна частина інформації о твердопаливних піролізних котлах має яскраво виражений рекламний характер, тому сформувані об'єктивне уявлення та визначити переваги одного перед іншим доволі важко.

2. Назва «піролізний» котел не зовсім відповідає процесам, що відбуваються при спалюванні твердого палива в даних котлах та потребує доповнення, а можливо уточнення до назви.

3. На Україні немає стандартів по якості дров'яного палива, в тому числі пелет та брикетів, теж саме відноситься до реалізації торфу, кам'яного вугілля та іншого палива через комерційні структури. Тому значення теплотворної здатності палива, ККД котла потребують додаткових досліджень за участю покупців котельного обладнання.

4. Різноманіття форм твердопаливних котлів, їх компонування та широкий вибір типорозмірів наявність додаткового допоміжного обладнання потребує систематизації та більш чіткому визначенню у висвітленні основних параметрів котельного обладнання.

РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТИВНА БУДОВА ПІРОЛІЗНИХ КОТЛІВ МАРКИ КВГТ ТА ГАЗОГЕНЕРАТОРНИЙ ПРИНЦИП РОБОТИ

2.1 Опис конструкції та основного принципу роботи газогенераторних твердопаливних котлів модельного ряду КВГТ

Котел водогрійний газогенераторний твердопаливний містить топку з піролізною камерою, зольником та колосниковою решіткою, яка розділяє піролізну камеру від зольника, засоби утилізації тепла продуктів згорання піролізних газів, що виконані в вигляді системи жарових труб, розміщених в водяній сорочці жаротрубного блока, пальниковий пристрій, вхід якого сполучений з виходом піролізної камери, а вихід – з вхідною ділянкою системи жарових труб, вентилятор тяги, встановлений на виході системи жарових труб, засоби подачі первинного повітря в піролізну камеру і вторинного повітря в пальниковий пристрій [5]. Пальниковий пристрій виконаний в вигляді об'ємної камери згорання з засобами подачі вторинного повітря в камеру згорання, всередині якої закріплені завихрювачі, що виконані з можливістю завихрення газоповітряної суміші навколо центральної частини камери згорання, у вхідному вікні камери згорання розміщений каталізатор горіння, що виконаний у вигляді пластинчастої решітки, а у вихідному вікні камери згорання встановлене сопло з завихрювачами газоповітряної суміші в каналі сопла та з каталізатором горіння, що виконаний в вигляді конічної перфорованої обичайки на вихідній ділянці сопла [5].

Дана модель належить до пристроїв для спалювання твердого палива, зокрема до твердопаливних котлів газогенераторного типу (рисунок 2.1), в яких паливо піддається піролізу з наступним спалюванням піролізних газів для отримання теплової енергії [5]. На рисунках 2.2 – 2.4 зображені креслення котла.



Рисунок 2.1 – Котельня з введеними до експлуатації котлами марки КВГТ

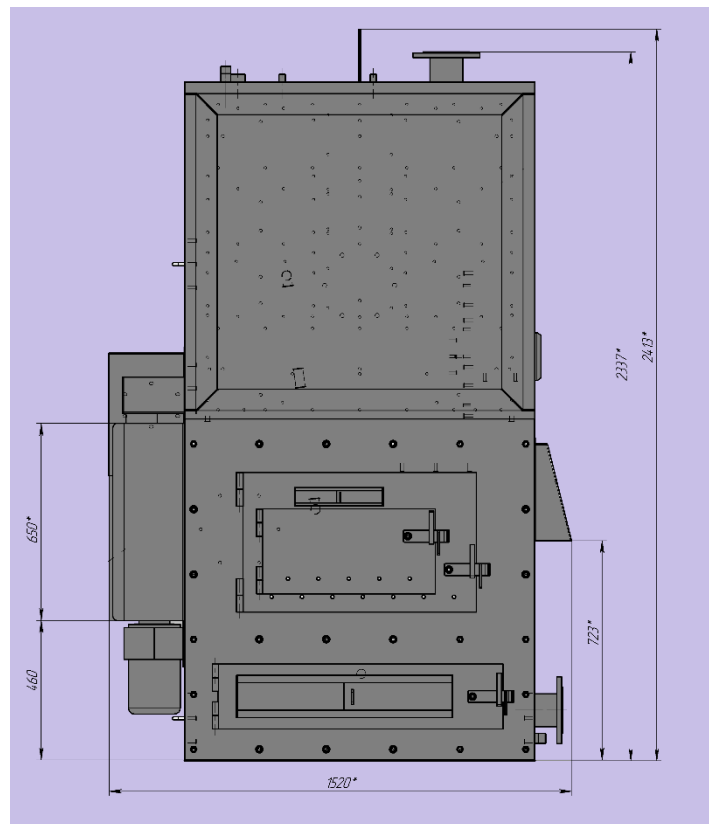


Рисунок 2.2 – Фронтальний вид топкової камери та камери допалювання

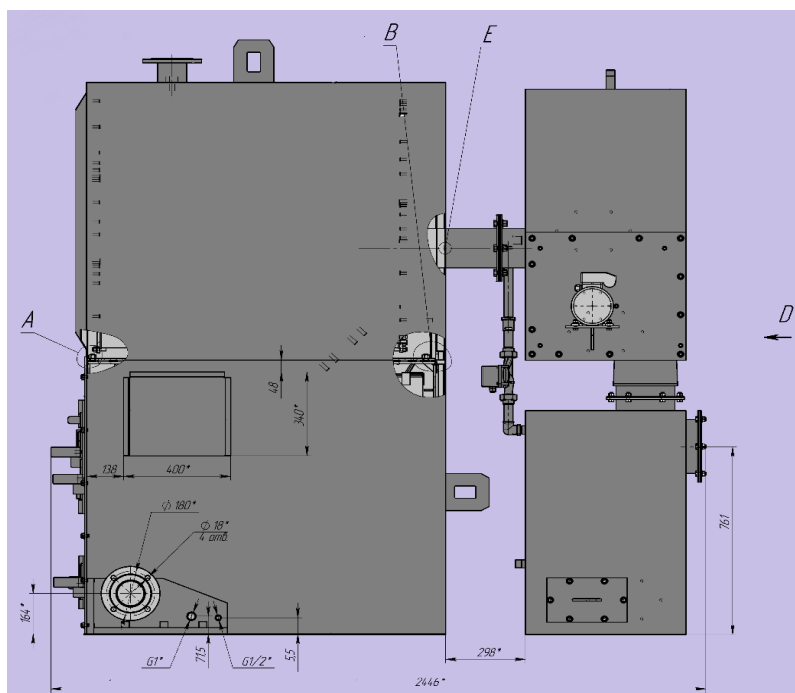


Рисунок 2.3 – Боковий вид котельного агрегату та економайзера

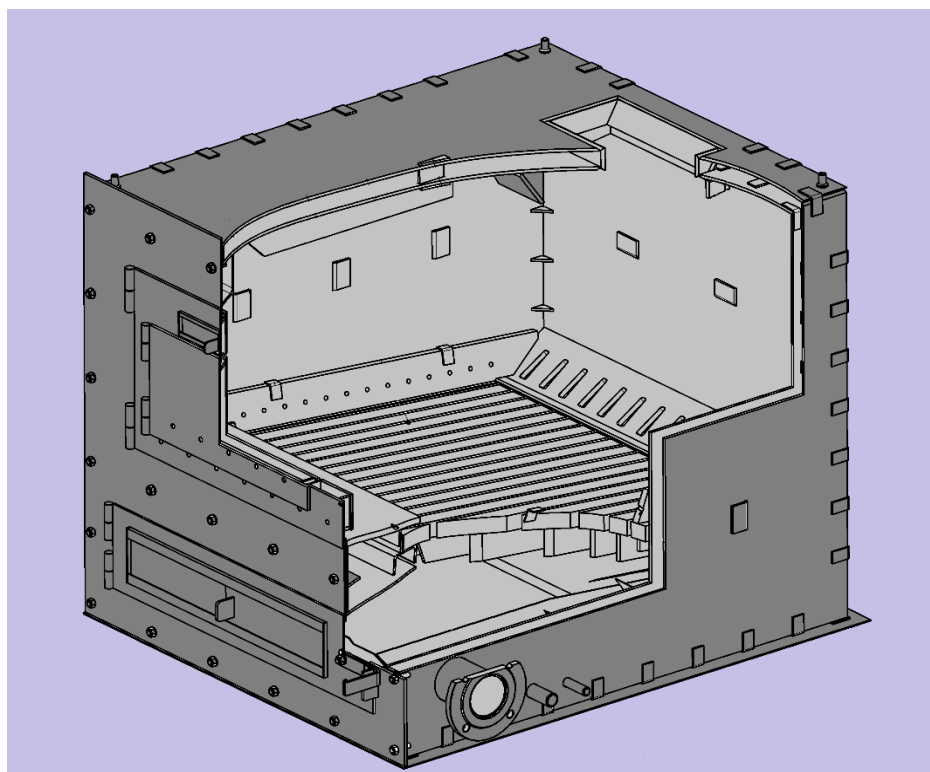


Рисунок 2.4 – Аксонометрія топкової камери.

В даний час газогенераторні твердопаливні котли є альтернативою твердопаливним котлам з традиційною схемою прямого спалювання палива. В основу роботи газогенераторного твердопаливного котла покладено процес піролізу (або сухої перегонки) твердого органічного палива з отриманням піролізних газів, подальшим їх спалюванням і утилізацією теплової енергії згорання піролізних газів [5].

Піроліз твердого органічного палива відбувається в діапазоні температур 200 – 800 °С в умовах нестачі кисню. Процес екзотермічний, тобто проходить з виділенням тепла, за рахунок якого здійснюється прогрівання і підсушування палива, відбувається підігрів повітря, що надходить в зону горіння. В умовах піролізу органічне паливо розкладається на летучу частину - піролізний газ і твердий залишок - золу. Склад піролізного газу багатокomпонентний. Летуча частина (парогазова суміш) складається з газів, які є сполуками вуглецю, водню, кисню (CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_4 , O_2 , H_2), парів смол, оцтової кислоти (CH_3COOH), води та інше. Змішування піролізного газу з повітрям при високій температурі викликає процес горіння піролізного газу з отриманням теплової енергії [5].

Головними агрегатами відомих газогенераторних твердопаливних котлів є: топка з піролізною камерою (камерою газифікації палива), з засобами завантаження палива і подачі первинного повітря; пальниковий пристрій з засобами подачі вторинного повітря, в якому згорають піролізні газы, засоби утилізації тепла продуктів згорання піролізних газів. В топці здійснюється спалювання (газифікація) відповідного палива в умовах утворення піролізних газів, які згорають в пальниковому пристрої. Теплова енергія продуктів згорання піролізних газів утилізується (передається робочому теплоносію) в засобах утилізації тепла продуктів згорання [5].

Прикладом газогенераторних твердопаливних котлів (аналогом корисної моделі, що заявляється) є твердопаливний газогенераторний котел ОВСГДВД піролізного типу [6]. Переважним паливом для котла служить дерево (дрова,

обрізки), відходи деревини (тріски, стружка, тирса) вологістю до 60 %, а також пілети, брикети тирси і частково торф. Котел призначений для систем центрального водяного опалювання виробничих приміщень, цехів і індивідуальних житлових будинків [5].

Котел містить піролізну камеру (газогенератор) з дверцятами для завантаження палива та решіткою для нагнітання повітря, камеру згорання піролізного газу і утилізатор тепла, виконаний у вигляді водяної сорочки, яка охолоджує розжарені гази і відбирає тепло продуктів згорання. У піролізну камеру повітря подається за допомогою вентилятора надування повітря. Між піролізною камерою і камерою згорання встановлений пальниковий пристрій у вигляді сопла. Сопло, через яке проходить піролізний газ в камеру згорання, нагріваючись від жару спалювання палива, інтенсифікує запалювання піролізного газу, тобто виконує роль свічки запалювання. Факел полум'я направлений в камеру згорання, в якій відбувається згорання піролізного газу. Котел виготовляється відповідно до ТУУ 25.2 – 2466607016.001 – 2002. Котел працює наступним чином [5].

Паливо через дверцята завантажують у піролізну камеру і запалюють при відкритому клапані, що з'єднує піролізну камеру з витяжним каналом. При цьому через решітку відбувається природний доступ повітря у піролізну камеру (проходить прямий процес горіння палива). Після розпалювання палива до утворення жарового шару піролізну камеру довантажують паливо, закривають зазначений клапан та дверцята і подають первинне повітря у піролізну камеру через повітряні канали та решітку. Паливо спалюється з виділенням піролізного газу, який в нагрітому жаром соплі загорається і проходить у камеру, де згорає і виділяє тепло, яке використовують для опалення. Продукти згорання виходять через витяжний канал. Утилізація тепла здійснюється водяною сорочкою, яка охолоджує розжарені гази і відбирає тепло продуктів згорання для подальшого використання [5].

Зазначений котел (з урахуванням його конструктивних особливостей) призначений для роботи на традиційних видах палива – дерево (дрова, обрізки), відходи деревини (тріски, стружка, тирса), а також пілети, брикети тирси, торф, тобто є критичним до видів палива. При використанні нетрадиційних видів палива, наприклад гуми, пластмас та інших органічних відходів, котел не може забезпечити ефективний режим спалювання палива з максимальним ККД при мінімальних шкідливих викидах в навколишнє середовище [5].

Промислова серія водогрійних котлів потужністю (таблиця 2.1) – 110, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000кВт (опалення об’єктів площею від 1000 до 10000 м²).

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики котлів марки КВГТ

Параметр	Один. вимір	КВГТ-110	КВГТ - 200	КВГТ - 300	КВГТ - 400	КВГТ - 500	КВГТ - 600	КВГТ - 700	КВГТ - 800	КВГТ - 900	КВГТ - 1000	
Види палива		Пелети, деревина, тріска, буре та кам’яне вугілля, та інш. тверде паливо										
Номінальна теплопродуктивність	МВт	0,06-0,11	0,12 - 0,2	0,1 - 0,3	0,24 - 0,4	0,3 - 0,5	0,36 - 0,6	0,42 - 0,7	0,48 - 0,8	0,54 - 0,9	0,6 - 1	
Діапазон теплової потужності	Гкал	0,05-0,095	0,1 - 0,17	0,46-0,77	0,206 - 0,344	0,26-0,43	0,301 - 0,52	0,36 - 0,602	0,41 - 0,69	0,46 - 0,77	0,52 - 0,86	
Коефіцієнт надлишку повітря		1,2 – 1,7										
Температура відхідних газів ном/мін не більше	°С	160 - 120		170 - 120		180 - 120		190 - 120		200 - 120		220 - 120
Викиди шкідливих речовин (мах)	NO	400										
	CO	3000										
Гідравлічний перепад по воді за збільшенням температури	кПа	30										
Максимальна температура води	°С	95										
Мін/ Макс продуктивність вентилятора дугтя	м ³ / час	0 - 120	0 -160	0 - 180	0 - 230	0 -280	0-300	0 - 320	0 - 430	0 - 520	0 - 600	
Поверхня нагріву котла водогрійного	м ²	5,4	6,2	8	8,9	10	12,3	14,6	16	17,3	18,3	
Об’єм водогрійного котла	м ³	0,45	0,57	0,7	0,8	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	

Продовження таблиці 2.1

Аеродинамічний опір	Па	Не більше 300											
Масова витрата відхідних газів	м ³	270 – 180	450 – 270	800 – 480	900 – 600	1200 – 720	1500 – 900	1800 – 1080	1950 – 1170	2250 – 1350	2550 – 1530		
Мін. температура води на вході в котел	°С	40											
Діапазон роботи регулятора температури	°С	30 – 95											
ККД котла	%	82 – 92											
Максимальний робочий тиск по воді	кПа	600											
Перевірочний тиск	кПа	900											
Вага котла	т	2,4	2,7	3	3,4	3,8	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3		
Розміри приєднувальних патрубків по газ. тракту	мм	89 – 159		108 - 219		114 - 270		133 - 277	133 - 300	133 - 400			
Електроживлення	В	~3х380											
Ступінь електрозахисту		ІР 20											
Встановлена потужність токоприймачів	кВт	1,1	1,3	1,5	1,7	2,7		3		4			
Підливний клапан	м ²	0,05		0,075		0,08		0,09	0,1				
Клапан підливний (2шт.)	мм	ДУ 25	ДУ 32	ДУ 40		ДУ 50	ДУ 63	ДУ 63		ДУ 75			
Очищення димових газів двоступеневим міні вакуумно-гравітаційним циклоном	%	60-85											
Габаритні розміри	довжина	мм		2230	2330	2430	2530	2630	2730	2830	2930	3030	3130
	ширина	мм		2268	2368	2468	2568	2668	2768	2868	2968	3068	3168
	висота	мм		1324	1424	1524	1624	1724	1824	1924	2024	2124	2224
Діаметр витяжної труби	мм	159	190	219		270		300		400			
Висота від виходу з котла	м	6								9			
Витрати паливо кг/год розрахунковий за ДСТУ при калорійності 5000 к / кал	кг	18	30	52	66	80	100	120	130	150	170		
Фактичний за рахунок принципу спалювання і ККД	кг	12	18	32	40	48	60	72	78	90	102		

2.2 Структурна схема газогенераторного твердопаливного котла.

На рисунках 2.5 – 2.8 наведені головні складові елементи котельного агрегату та їх функціональні призначення.

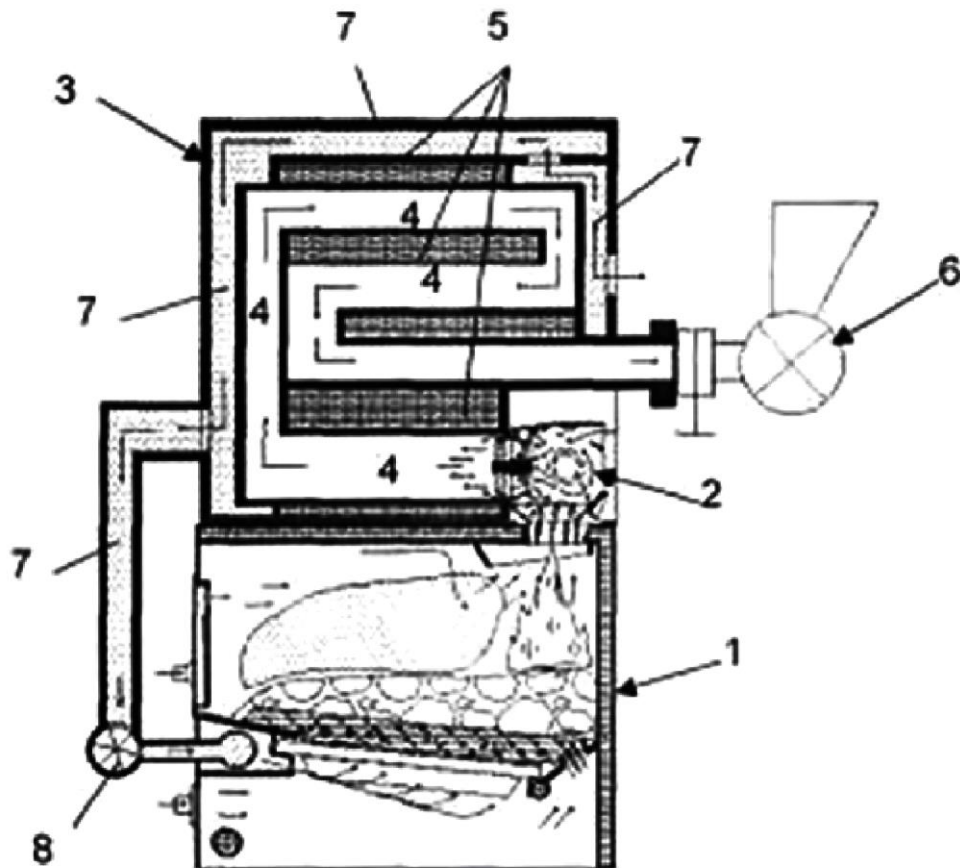


Рисунок 2.5 – Складові елементи котельного агрегату та їх функціональні призначення: 1 – Топка; 2 – Пальниковий пристрій; 3 – Жаротрубний блок; 4 – Система жарових труб; 5 – Водяна сорочка жаротрубного блоку; 6 – Вентилятор; 7 – Канал Первинного повітря.

Топка – призначена для завантаження палива та його спалювання з утворенням піролізного газу; пальниковий пристрій – забезпечує згорання піролізного газу, утвореного в процесі спалювання палива в топці. Жаротрубний блок містить систему жарових труб, по яких протікають продукти згорання

піролізних газів, розміщені в проточній водяній сорочці жаротрубного блока. Крізь стінки водяної сорочки передається теплова енергія продуктів згорання піролізного газу до води чи іншого теплоносія [7].

Вентилятор забезпечує примусову тягу протікання газових потоків в процесах спалювання палива, згорання піролізного газу та передачі теплової енергії. Вентилятор наддуву подає первинне повітря в топку з каналу подачі первинного повітря, яке під час роботи підігрівається в жаротрубному блоці та подається в топку [7].

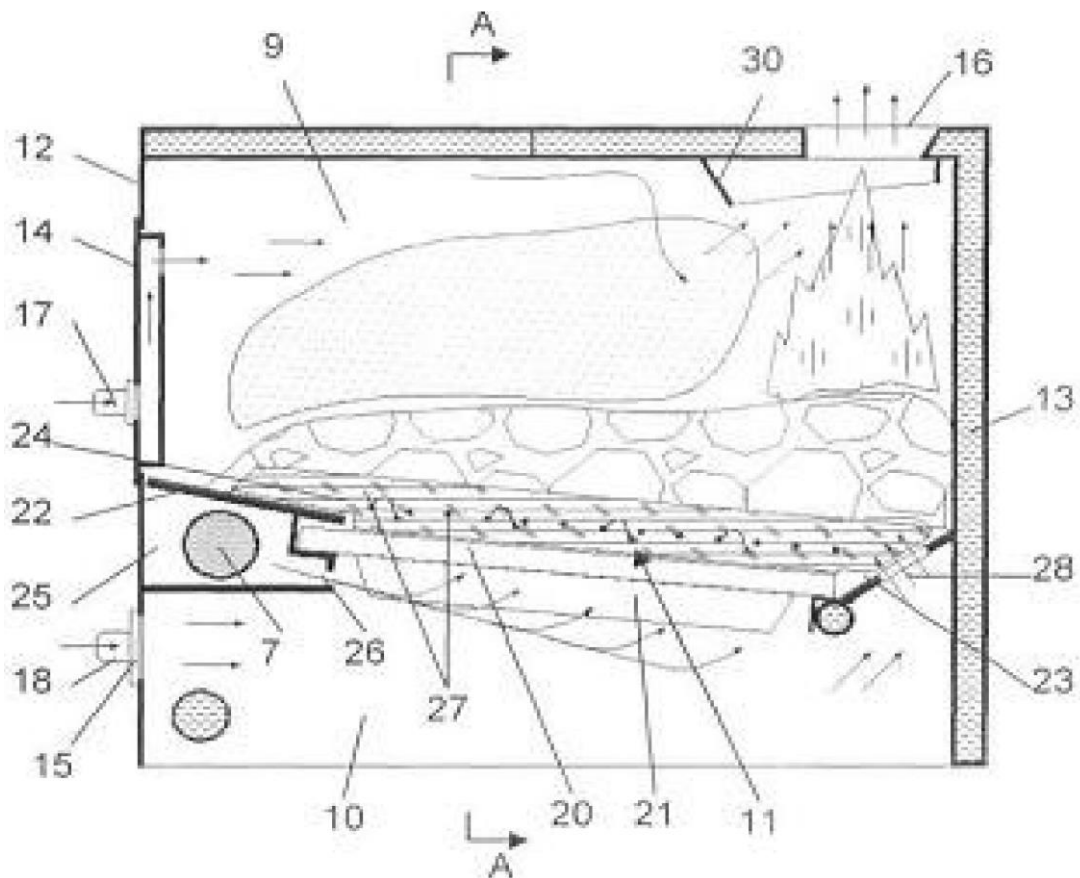


Рисунок - 2.6 Повздовжній переріз топки.

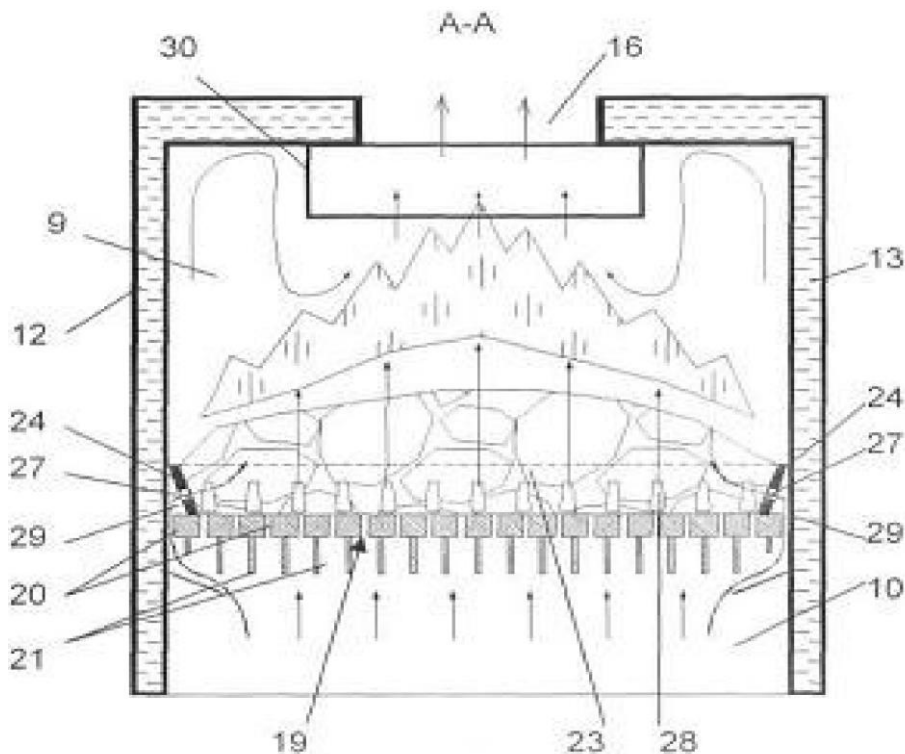


Рисунок 2.7 – Поперечний переріз топки: 9 – Піролізна камера; 10 – Зольник; 11 – Колосникова решітка; 12 – Корпус топки; 13 – Водяна сорочка; 14 – Дверцята піролізної камери; 15 – Дверцята зольника; 16 – Вихідне вікно; 17 – Регульований канал для подачі первинного повітря в піролізну камеру; 18 – Регульований канал для подачі первинного повітря в зольк; 19 – Днище; 20 – Колосники; 21 – Направляючі для золи; 22 – Передня плита; 23 – Задня плита; 24 – Бокова плита; 25 – Порожнистий короб; 26 – Щілинне сопло;

Топка містить піролізну камеру та зольник, які розділенні колосниковою решіткою і розміщені в єдиному корпусі з водяною сорочкою. Схема топки показана на рисунку 2.6 (поздовжній переріз топки) та на рисунку 2.7 (поперечний переріз топки). В передній частині топки (в передній стінці корпусу) виконані дверцята піролізної камери та дверцята зольника [7].

В верхній частині піролізної камери виконано вихідне вікно, через яке піролізні гази та факел горіння палива підводяться з піролізної камери до пальникового пристрою. В дверцятах піролізної камери та в дверцятах зольника

виконані регульований канал для подачі первинного повітря в піролізну камеру та регульований канал для подачі первинного повітря в зольник безпосередньо з зовнішнього середовища [7].

Колосникова решітка виконана в вигляді реторти, що утворена плоским днищем в вигляді колосників з радіаторами (направляючими для золи), передньою плитою, задньою плитою та боковими плитами. Днище виконано похилим в напрямку від передньої плити до задньої плити; передня плита, задня плита та бокові плити виконані похилими в бік днища. Передня плита виконана у вигляді порожнистого короба, що з'єднаний з каналом нагнітання первинного повітря, з щільним соплом, розташованим в підколосниковому просторі зольника [7].

В бокових плитах виконані отвори, через які первинне повітря подається у надколосникову зону піролізної камери. В задній плиті виконані отвори, через які первинне повітря подається у зону факелу горіння палива на задній плиті. Між боковими плитами та водяною сорочкою топки (боковими стінками топки) виконані зазори, які забезпечують термічну ізоляцію палива від холодної водяної сорочки, та доступ первинного повітря до отворів в бокових плитах. Вихідне вікно обрамлене обичайкою, яка виступає в бік піролізної камери [7].

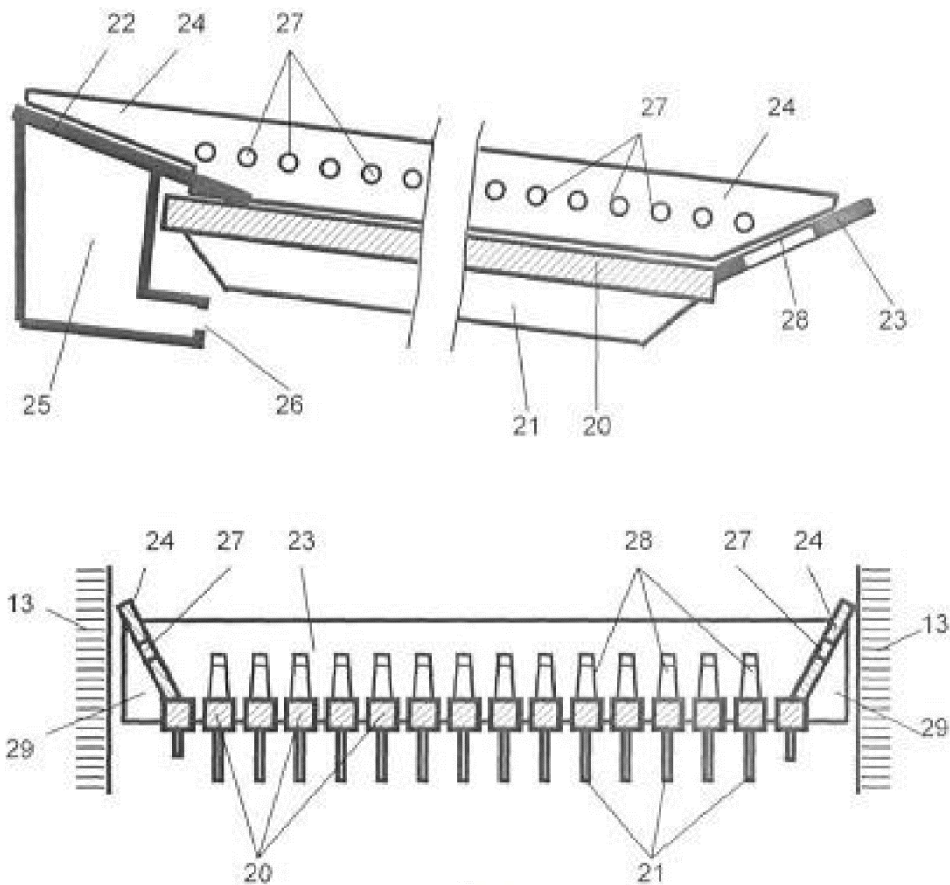


Рисунок 2.8 – Опис конструкції колосникової решітки: 27, 28 – Отвори подачі первинного повітря; 29 – Зазори для забезпечення термічної ізоляції.

Виконання колосникової решітки в вигляді реторти, що утворена плоским похилим днищем, передньою плитою, задньою плитою та боковими плитами забезпечує рівномірне розподілення та рівномірне вигорання палива на колосниковій решітці, концентрацію більшої маси палива в зоні задньої плити (де паливо згорає в режимі утворення факела з витратами палива в два три рази більше, ніж на основній колосниковій частині решітки), балансування витрат палива по всій площі колосникової решітки в процесі його спалювання [7].

Первинне повітря нагрівається в каналі до температури 70-80 °C та подається до порожнистого короба і далі через щілинне сопло в підколосниковий простір зольника. Далі, частина первинного повітря обтікає радіатори колосників, додатково нагрівається, охолоджуючи колосники, та через зазори

між колосниками в нагрітому стані надходить в зону спалювання та газифікації палива в піролізній камері. Частина підігрітого первинного повітря через зазори та отвори в бокових плитах подається в безпосередньо в пористий коксовий (жаровий) шар горіння палива. Частина підігрітого первинного повітря через отвори в задній плиті подається в зону горіння палива на задній плиті, де горіння відбувається з утворенням факелу, який подається на вхід пальникового пристрою [7].

Виконання вихідного вікна з обичайкою, що виступає в бік піролізної камери, попереджує попадання охолоджених піролізних газів, що контактують з холодною водяною сорочкою топки, на вхід пальникового пристрою [7].

Пальниковий пристрій містить корпус, який утворює об'ємну камеру згорання з завихрювачами потоку газів. Об'ємна камера згорання виконана звуженою у верхній частині і опуклою в задній частині [7].

У нижній частині камери згорання виконано забірне (вихідне) вікно, яке розташоване над факелом горіння палива в піролізній камері. У обичайці забірного вікна встановлено ґратчастий пластинчастий каталізатор горіння піролізних газів. У корпусі пальникового пристрою (рисунок 2.9) виконані канали фіксованої подачі вторинного повітря у вигляді каліброваних отворів, розташованих по периметру камери згорання, і канал регульованої подачі вторинного повітря, виконаний в передній частині камери згорання. Канал регульованої подачі вторинного повітря оснащений забірником повітря, шторкою і регулятором положення шторки (рисунок 2.9) [7].

У передній частині камери згорання встановлено сопло пальникового пристрою. Вхідна частина сопла, що сполучена з камерою згорання, виконана у вигляді забірника і ділянки з завихрювачами потоку газів, яка розширюється в напрямку потоку газів (рисунок 2.9). Вихідна частина сопла, що сполучена з камерою допалювання, виконана з каталізатором горіння у вигляді кільцевої обичайки із жаростійкої хромонікелевої сталі, яка звужується в напрямку потоку

газів та виконана з отворами. У центральній частині сопла встановлений металокерамічний розсікач полум'я [7].

Виконання камери згорання звуженою у верхній частині і опуклою в задній частині, виконання і розташування завихрювачів, а також каналів, подачі вторинного повітря в камеру згорання, дозволяє утворити і утримувати плазмову кулю горіння піролізного газу в центральній частині камери згорання. У результаті тягового зусилля, що забезпечується вентилятором тяги, в камері згорання створюється розрідження відносно центру камери за рахунок чого плазмова куля відривається від пластинчастого каталізатора в обичайці забірного вікна і утримується у центрі камери згорання (рисунок 2.9). Вторинне повітря, що подається через регульований канал і калібровані отвори, розташовані по периметру камери згорання, взаємодіючи з завихрювачами, створює турбулентність, яка сприяє обертанню плазмової кулі, активному насиченню газів киснем повітря [7].

2.3 Процес згорання піролізних газів в пальниковому пристрої

Поздовжній розріз пальникового пристрою показано на рисунку 2.9 – 2.10. Утворені в піролізній камері газу, попередньо збагачені киснем первинного повітря, надходять у забірне (вхідне) вікно камери згорання, що розташоване над факелом горіння палива в піролізній камері. У обичайці забірного вікна піролізні газу взаємодіють з пластинчастою решіткою (каталізатором горіння), де факел горіння піролізних газів багаторазово роздвоюється. Роздвоєння факела приводить до підвищення температури в каналах решітчастого каталізатора. У піролізних газу, що проходять через високотемпературні зони в каналах решітчастого каталізатора, відбувається перетворення двоокису вуглецю в окис вуглецю, водяної пари – в водень. Частина легкозаймистих газів згорає одразу, підвищуючи температуру і сприяючи розкладанню більш складних складових компонентів піролізного газу, таких як пари смол, кислот, сполук сірки та інше [8].

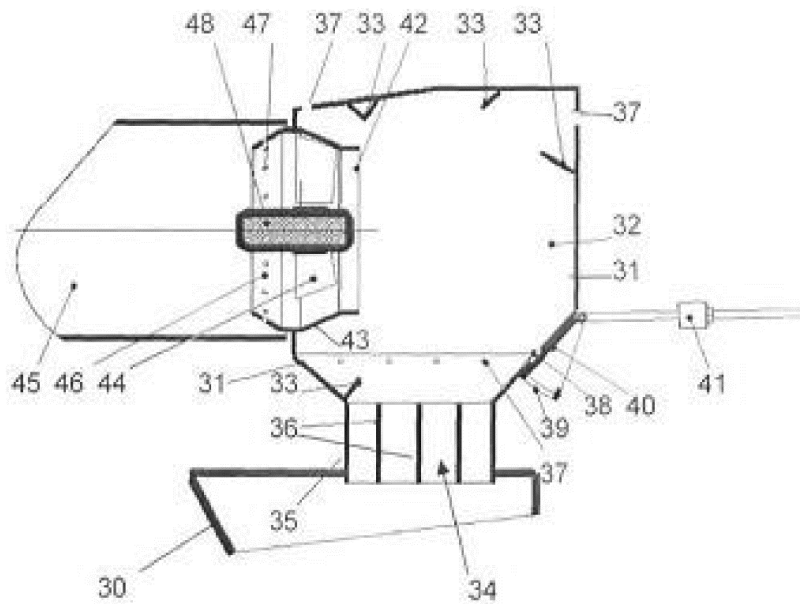


Рисунок 2.9 – Сопло пальникового пристрою в камері допалювання:

31 – Корпус пальникового пристрою; 32 – Камера згоряння; 33 – Завихрювачі;
 34 – Забірне вікно; 35, 30 – Обічайка 36 – Гратчастий пластинчатий каталізатор;
 37 – Отвори для подачі вторинного повітря; 38 – Регульований канал подачі
 вторинного повітря; 39 – Забірник повітря; 40 – Шторка; 41 – Регулятор;
 42, 43 – Забірник; 44 – Завихрювачі потоку газів; 45 – Камера допалювання;
 46, 47 – Обічайка із хромонікелевої сталі з отворами; 48 – Розсікач полум'я.

Згорання піролізних газів відбувається в камері згорання в плазмовій кулі. Максимально висока температура утворюється у верхніх шарах плазмової кулі. Тяговим зусиллям газу відводяться в сопло пальникового пристрою. Металокерамічний розсікач полум'я, що встановлений у центральній частині сопла, попереджує утворення небажаної високотемпературної голки факела полум'я. Таким чином гаситься сам факел полум'я, температура газів більш рівномірно розподіляється по об'єму газового потоку, що сприяє процесу допалювання газів в камері допалювання у разі неповного згорання деяких компонентів, наприклад парів сполук сірки [8].

Конструкція пального пристрою забезпечує два режими згорання піролізних газів. У першому режимі піролізні гази, що утворені при спалюванні традиційних видів палива, переважна частина яких представлена займистими, легко спалюваними складовими, практично повністю згорають в камері згорання в плазмовій кулі. Незначна частина піролізних газів допалюється в камері допалювання практично без утворення факелу горіння в зазначеній камері. Оптимальні параметри такого режиму згорання піролізних газів задаються шляхом регулювання подачі вторинного повітря через регульований канал [8] (рисунок 2.10).

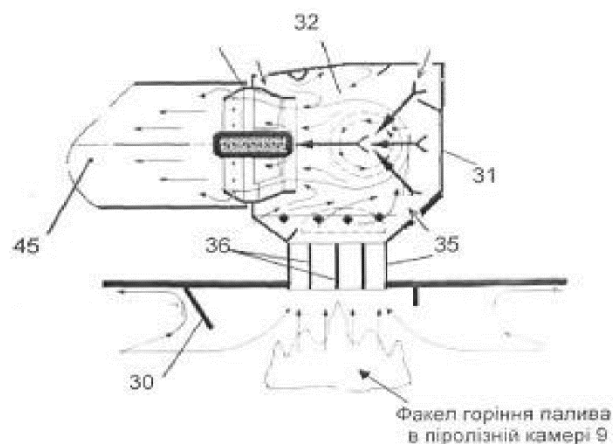


Рисунок 2.10. – Схема згорання піролізних газів традиційних видів палива

У другому режимі піролізні гази, що утворені при спалюванні пластмас, гуми та інших нетрадиційних видів палива, в яких значну частину піролізного газу складають важко спалюваними компоненти, частково згорають в камері згорання в плазмовій кулі. Незгоріла частина піролізних газів допалюється в камері допалювання з утворення факелу горіння в зазначеній камері. Оптимальні параметри такого режиму згорання піролізних газів також задаються шляхом регулювання подачі вторинного повітря через регульований канал [8] (рисунок 2.11).

Засоби утилізації тепла продуктів згорання являють собою теплообмінник, що виконаний по відомій схемі жаротрубного блока. Жаротрубний блок містить систему жарових труб, по яких протікають продукти згорання піролізних газів,

розміщених в проточній водяній сорочці жаротрубного блока. Вода виконує функції теплоносія [8].

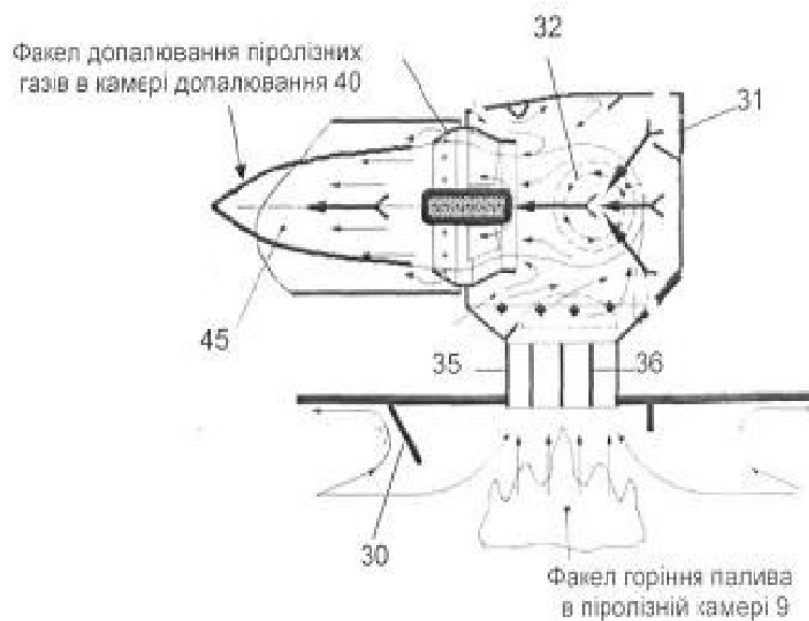


Рисунок 2.11 – Схема згорання піролізних газів нетрадиційних видів палива.

Засоби подачі первинного повітря в топку містять канал, що проходить через нагріту зону жаротрубного блока, з вентилятором наддуву, коробом, що з'єднаний з каналом та виконаний з щільним соплом, розташованим в підколосниковому просторі зольника; отвори, що виконані в бокових плитах, через які первинне повітря подається у жаровий (коксівий) шар горіння палива; отвори, що виконані в задній плиті, через які первинне повітря подається у зону факелу горіння палива на задній плиті [8].

Засоби подачі вторинного повітря містять канали фіксованої подачі вторинного повітря у камеру згорання в вигляді каліброваних отворів, розташованих по периметру камери згорання, і канал регульованої подачі вторинного повітря, виконаний в передній частині камери згорання та оснащений засобами регулювання витрат вторинного повітря. Котел газогенераторний твердопаливний, що заявляється, працює наступним чином [8].

2.4 Запуск котельного агрегату

Для запуску котла в роботу в піролізну камеру завантажують кускове паливо на $2/3$ від максимального об'єму завантаження. Паливо рівномірно розподіляють по всій площі колосникової решітки. Вмикають вентилятор тяги, розпалюють паливо. Подача первинного повітря відбувається через підколосниковий простір зольника через колосники, отвори, в бокових та задній плитах в надколосниковий простір. Обмежена кількість первинного повітря подається через дверцята піролізної камери. Регулюючи продуктивність вентилятора тяги встановлюють необхідне розрідження в топці. На цьому етапі відбувається утворення коксового (жарового) шару, розігрівається пальниковий пристрій і система підігріву повітря. Завантажувати паливо для піролізу можна тільки після отримання стабільного коксового (жарового) шару [8].

Під впливом високої температури коксового шару починається процес газифікації палива. Котел налаштовують на спалювання конкретного палива. Для того, щоб створити необхідне розрідження для забору газів і сформувати необхідний факел полум'я поступово збільшують продуктивність вентилятора тяги до моменту впевненого стабільного забору газоповітряної суміші. Оскільки надходження первинного повітря обмежено, то газоповітряна суміш сильно збагачена піролізними газами. Поступово додають первинне повітря через регульований канал в дверцятах піролізної камери до моменту появи білого факела полум'я на вході в пальник [8].

Для виведення котла на повну потужність активізують процес піролізу вмиканням вентилятора наддуву підігрітого первинного повітря. Частина підігрітого первинного повітря збільшує підпір в підколосниковому просторі, друга частина первинного повітря подається через отвори в похилих плитах безпосередньо в пористий коксовий шар горіння палива, частина повітря через отвори задньої плити в зону утворення факела в піролізній камері [8].

Регулюючи продуктивність вентилятора наддуву встановлюють бажаний режим газифікації. У разі спалювання палива з високою вологістю або з великим вмістом летучих речовин, таких як гума, пластик, недостачу первинного повітря компенсують додатковою подачею повітря через регульований канал в дверцятах зольника. Правильним налаштуванням режиму можна вважати утворення синього полум'я на вході пальника [8].

Колосникова решітка здатна працювати в кульовому, змішаному і піролізному режимах спалювання палива. При спалюванні якісних видів палива таких як антрацит, брикети, суха кускова деревина, вміст піролізних газів швидко зменшується, процес спалювання переходить в режим кульового горіння. Змішаний і піролізний режими спалювання виникають при спалюванні палива з підвищеною вологістю, палива дрібної фракції з великим вмістом піролізних газів, а також при спалюванні гуми, пластиків, інших органічних речовин, як нетрадиційних видів палива [8].

Піролізні газы, збагачені киснем первинного повітря, разом з факелом полум'я подаються на вхід пальникового пристрою, де газоповітряна суміш взаємодіє з ґратчастим пластинчастим каталізатором горіння. Під впливом високої температури відбувається відновлення двоокису вуглецю в окис вуглецю, а водяної пари в водень, протікають інші хімічні процеси в залежності від складу палива. В камері відбувається згорання піролізних газів. Недостачу кисню компенсують подачею вторинного повітря в камеру згорання через отвори [8].

При спалюванні палива з великим вмістом піролізних газів додаткову кількість вторинного повітря подають в камеру згорання через регульований канал, переводячи його в положення максимальної подачі повітря. Незгоріла частина піролізних газів допалюється в камері допалювання, яка являє собою вхідну ділянку системи жарових труб жаротрубного блока [8].

Продукти згорання піролізних газів подаються в першу трубу системи жарових труб жаротрубного блока, послідовно протікають по жарових трубах,

розміщених в проточній водяній сорочці жаротрубного блока. Протікання продуктів згорання по жарових трубах забезпечується тягою, яку створює вентилятор тяги. В результаті теплова енергія продуктів згорання піролізних газів передається до води (теплоносія), що протікає через водяну сорочку, з подальшим її використанням споживачами [8].

2.5 Блок управління піролізним котлом

Для того, щоб звести до мінімуму роботу по обслуговуванню котла і автоматизувати контроль процесу горіння, піролізний котел оснащуються мікропроцесорним блоком управління БАУ – ТП – 1 «АЛЬФА – М ХХІ» (рисунок 2.12), циркуляційним насосом і відцентровим вентилятором для нагнітання повітря в зону горіння [10].



Рисунок 2.12 - Блок управління котлом БАУ – ТП – 1 «АЛЬФА – М ХХІ»

Працюючи як єдина система, ці блоки забезпечують:

- 1) високий ККД котельної установки;
- 2) зменшення відхилень температури теплоносія від заданої споживачем;
- 3) економію у витраті палива;
- 4) можливість застосування твердого палива різних видів.

Головними функціями мікропроцесорного контролера являються:

- 1) наявність регулювання обертів вентилятора в ручному і автоматичному режимі з ПД – алгоритмом;
- 2) продування і перерва між продуваннями, в режимі очікування;
- 3) управління насосом опалення (СО);
- 4) функцію антизамерзання;
- 5) можливість управляти насосом гарячого водопостачання (ГВП);
- 6) доданий датчик вимірювання температури ГВП;
- 7) можливість підключення датчика температури відхідних газів.

Важливим фактом є збільшення часу горіння одного завантаження на 25-35% за рахунок можливості установки температурного гистерезиса котла, паливо при цьому не перевитрачаються. Також програмування роботи твердопаливних котлів дозволяє регулювати температуру теплоносія на виході з котла [10].

Мікропроцесорну регулювання температури теплоносія доцільно використовувати для досягнення наступних цілей:

- 1) зменшення впливу людського фактора в процесі роботи і контролю котла;
- 2) підтримання стабільної температури, що дозволяє економити паливо;
- 3) зниження ризиків критичних підвищень температури і тиску.

Отже, блок управління твердопаливним котлом (програмактор) здійснює контроль підтримки заданої температури виходного теплоносія двома методами. Програмактор включає і відключає вентилятор, а також регулює частоту його обертів. Крім цього він управляє циркуляційними насосами опалювальної системи. Від швидкості обертання вентилятора залежить інтенсивність нагнітання повітря в зону горіння, що призводить до посилення або зменшення

процесу горіння. Ще більшим плюсом роботи вентилятора є періодична продування камери згоряння, що запобігає займанню газів в котельній камері. Автоматика запрограмована таким чином, що таке продування відбувається в режимі підтримки температури теплоносія або, іншими словами, в режимі очікування програматора [10].

Розглянемо принцип управління вентилятором в автоматичному і ручному режимах. У першому випадку регулятор температури автоматично підбирає швидкість обертання вентилятора відповідно до обраного в програмі виду палива і показань датчика температури. Швидкість обертання вентилятора може змінюватися від 0% до 100% з кроком 10%. Коли встановлена температура котла досягнута, програматор підтримує її за рахунок плавного регулювання потужності роботи вентилятора (рисунок 2.13). А коли температура перевищує задане значення на 5 °С, вентилятор повністю відключається. У разі зниження температури виходить теплоносія нижче заданого значення, програматор включає вентилятор, а потім здійснює плавне регулювання його потужності, перешкоджаючи зниженню температури. Таким чином, досягається стабільність встановленої температури теплоносія.

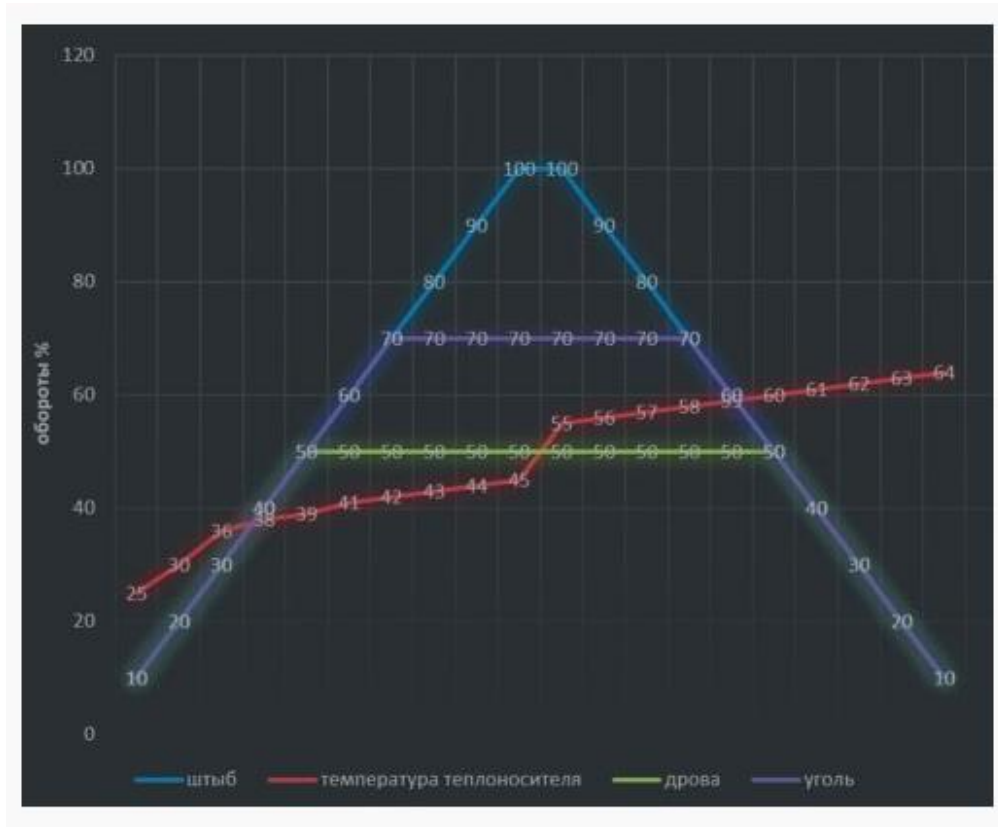


Рисунок 2.13 – Графік роботи вентилятора в автоматичному режимі

За допомогою програматора можна задати вид використовуваного палива – це допомагає більш ефективно витратити паливо. При топці дровами, дерев'яними брикетами, пелетами необхідно вибрати функцію «Дрова»; торф'яні брикети, буре або кам'яне вугілля – «Вугілля»; «Штиб» – вибирається при топці антрацитом (дрібне вугілля). Специфіка роботи програматора в ручному режимі відображена в графіку (рисунок 2.14). Вентилятор з постійною потужністю в діапазоні від 0 до 100% нагнітає повітря в камеру згоряння. Необхідну потужність можна виставити з кроком 10% в меню вибору програм. Автоматика вимикає вентилятор, коли встановлена температура досягнута. Коли температура в котлі опускається нижче встановленої на величину гістерезису, вентилятор автоматично включається. В цьому режимі автоматика запрограмована на періодичний «продув» котла. В меню регулятора можна

задати тривалість і періодичність цієї функції. Також вона корисна в разі підключення нестандартних систем опалення.



Рисунок 2.14 – Графік роботи вентилятора в ручному режимі

В ручному режимі затування котла здійснюється за допомогою відключення вентилятора за умови зниження температури нижче заданого значення, так як програматор визначає це як повне вигорання палива і подальша робота вентилятора недоцільна.

Циркуляційний насос. Насос центрального опалення включається, коли теплоносій досяг заданої за допомогою програматора температури. У момент часу, коли температура котла знижується на величину гістерезису насоса, автоматика спрацьовує, і циркуляційний насос вимикається. З метою запобігання опалювальної системи від замерзання, насос центрального опалення включається, коли температура в котлі опускається нижче + 5 °С.

Аварійний режим. Для попередження аварій при перегріванні котла вище + 95 °С або поломки датчика температури передбачено виведення звукового сигналу і індикатора аварії. В цьому випадку автоматика вимикає вентилятор, а циркуляційний насос продовжує безперервно працювати для охолодження теплоносія, проганяючи його через опалювальну систему. Коли причина аварії

усунена, автоматику необхідно перевести в нормальний режим роботи натисканням кнопки «Вихід». Звуковий і світловий сигнали, що оповіщають про аварію доцільно встановлювати, коли обслуговуючого персонал знаходиться у видаленні від котла або теплогенератор встановлений в шумному місці, наприклад, в заводських приміщеннях [10].

2.6 Вузли безпеки в монтажній схемі піролізного котла

В першу чергу, при монтажі піролізного котла враховуються питання безпечної експлуатації. Відомо, що котлом на твердому паливі складніше управляти і контролювати його роботу, ніж, наприклад, газовим або електричним котлом. Це визначається інерційністю процесів горіння твердого палива, яке довше розпалюється і горіння якого складно швидко припинити. Даний фактор створює передумови до того, що в разі деяких позаштатних ситуацій, особливо пов'язаних з припиненням циркуляції теплоносія, навіть слабе горіння або тління палива може викликати різке підвищення тиску в системі опалення, кипіння теплоносія (води) в теплообміннику котла з подальшими неприємними наслідками - аж до пошкодження системи опалення [11]. Для того, щоб не допустити цих явищ і знизити небажані їх наслідки, в обов'язці піролізного котла передбачаються різні технічні рішення, що розглядаються нижче. Так звана "група безпеки" - обов'язковий елемент в системах опалення, побудованих не тільки на основі піролізних котлів, але і в системах на інших видах палива / енергії. Основне призначення групи безпеки - забезпечити скидання підвищеного тиску і виключити утворення повітряних пробок в котловому контурі системи опалення.

Група безпеки – це комплект обладнання, як правило, складається з запобіжного клапана, автоматичного повітрявідводчика і манометра, змонтованих на спеціальному колекторі (рисунок 2.15). Незважаючи на поширений термін "група безпеки", зовсім не означає, що її елементи повинні

бути обов'язково об'єднані. Мало того, часто більш ефективно і коректно перераховані вище пристрої працюють окремо, коли встановлюються в системі з урахуванням особливостей їх роботи. Наприклад, запобіжний клапан - в безпосередній близькості до котла на подачі; відведення повітря – на ділянці, спеціально організованому для ефективного воздухоотвода; манометр - в безпосередній близькості від розширювального бака [11].



Рисунок 2.15 – Група безпеки котла опалення

Запобіжний клапан – основний елемент групи безпеки (рисунок 2.16). Запобіжний клапан призначений для скидання теплоносія при підвищенні тиску в системі опалення вище норми. Зазвичай, заводська настройка клапана становить 3 бари. При монтажі запобіжного клапана або групи безпеки не допускається встановлення запірної арматури між ним і котлом. Автоматичний, як випливає з назви, призначений для збору і видалення повітряних бульбашок, які утворюються в процесі роботи системи опалення. Елементи групи безпеки можуть бути змонтовані в котлі в якості штатного обладнання, а також встановлюватися автономно, без об'єднання в єдиний вузол. Група безпеки (або її елементи) встановлюється на прямому трубопроводі в безпосередній близькості від котла (не далі 1 м) [11].

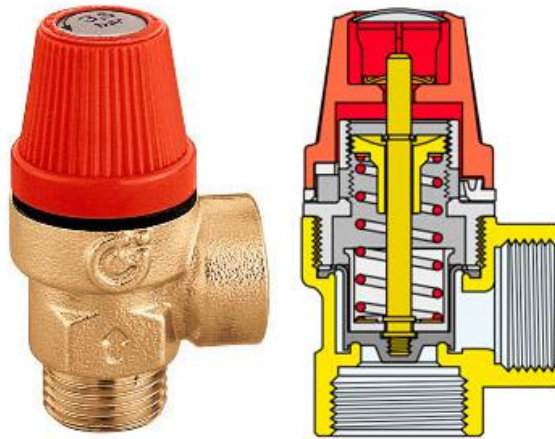


Рисунок 2.16 – Запобіжний клапан

Перегрів теплоносія в котлі – один з найбільш значущих ризиків, які характерні для піролізного котла. Випадковий перегрів котла може виникнути з різних причин: не припинено приплив повітря, в разі нагрівання теплоносія до заданої температури; не штатне відключення циркуляційного насоса і т.п. Для недопущення перегріву твердопаливного котла найчастіше служать клапани теплового скидання (рисунок 2.17). Даний спосіб захисту котла від перегріву заснований на скиданні перегрітого теплоносія і заміні його підживлюваною водою. Клапан теплового скиду встановлюється на прямому трубопроводі в безпосередній близькості до котла. Клапан управляється, як правило, вбудованим температурним датчиком. Температурний датчик може бути і виносним, що встановлюються також на прямому трубопроводі або безпосередньо в теплообміннику котла. При надходженні сигналу від датчика про перевищення заданої температури, клапан відкривається і проводиться злив теплоносія в каналізацію [11].

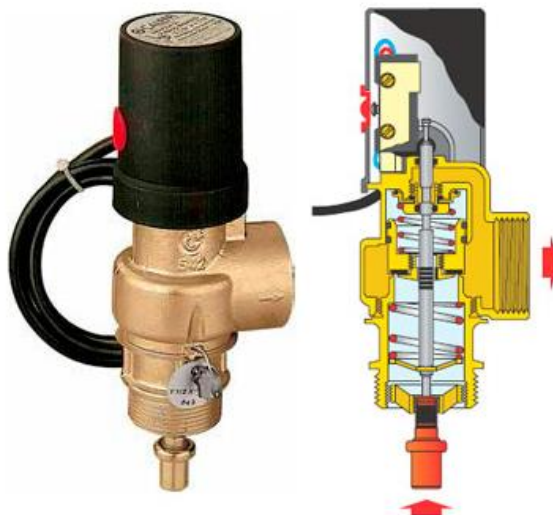


Рисунок 2.17 – Клапан теплового скидання

Антиконденсаційні вузли підмішування. Як випливає з назви, даний вид обладнання призначений для запобігання утворенню конденсату на поверхні теплообмінника піролізного котла. У продуктах згоряння утворюється досить велика кількість водяної пари – 15 – 35% маси всіх продуктів згоряння. Додатково до пари, що утворюється в результаті згоряння палива, виділяється велика кількість вологи, яка також перетворюється в пар. При недостатньо розігрітому теплообміннику температура димових газів, що омивають його поверхню, може знизитися до температури нижче точки роси, внаслідок чого відбудеться конденсація водяної пари з продуктів згоряння на поверхні теплообмінника. Разом з вологою осідають вогнетривкі вуглеводні, сажа і т.п., внаслідок чого на теплообмінних утворюються сажа і дьоготь (рисунок 2.18), що істотно знижує (згодом) тягу і ефективність теплообміну і, як наслідок ККД котла. Крім того, випадання конденсату може викликати корозію теплообмінника, що знижує термін експлуатації котла, а дьоготь може становити небезпеку через свою займистість. Для запобігання утворення конденсату, як правило, використовуються триходові термостатичні клапани або змішувальні насосні групи. І в тому і в іншому випадку, може застосовуватися затримка

включення циркуляційного насоса до досягнення мінімальної температури теплоносія ($\sim 50-55^{\circ}\text{C}$) в теплообміннику котла [11].



Рисунок 2.18 – Результат утворення конденсату в теплообміннику котла

Для підвищення температури зворотної лінії часто використовується триходовий термостатичний клапан, причому можуть використовуватися як спеціальні клапана для піролізних котлів, так і універсальні триходові термостатичні клапани (рисунок 2.19). У стандартній схемі клапан розміщується поблизу котла «в розріз» зворотної магістралі. На середній штуцер клапана

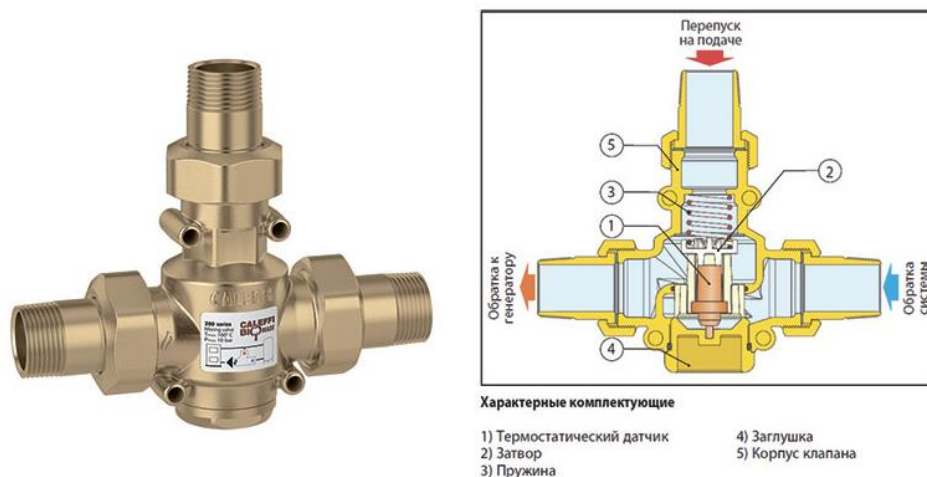


Рисунок 2.19 – Влаштування триходового термостатичного клапана

підводиться теплоносій з прямого трубопроводі. Принцип роботи триходового термостатичного клапана на вузлі змішування піролізного котла наступний: датчик клапана відстежує температуру теплоносія в бік котла через клапан і, в залежності від її значення, регулює змішання потоків теплоносія з боку зворотної магістралі системи опалення і з боку подачі [11].

На початковому етапі роботи котла, циркуляція всього теплоносія здійснюється по малому контуру через триходовий клапан. Після прогріву теплоносія до мінімальної температури (~ 50 °C), клапан відкривається і відбувається підмішування холодного теплоносія з облатки системи опалення. Після досягнення температури теплоносія, що надходить з облатки СО необхідного значення, клапан перекриває підмішування з подачі, і система починає працювати в заданому гідравлічному режимі [11].

Висновки до розділу 2

1) Особливості виконання котла газогенераторного твердопаливного, що заявляється, забезпечують йому виконання функцій як теплового агрегату (генератора теплової енергії), так і утилізатора відходів таких як гума, пластмаси,

органічні побутові відходи, органічні відходи промислового та сільськогосподарського виробництва, біомаси.

2) Завдяки такому типу конструкції, котельне обладнання має універсальний характер, що дає можливість використання різних типів палива з високим ККД, а також піролізний котел можна використовувати для різних енергетичних потреб.

3) Наявність блоку автоматичного керування котельним агрегатом, також несе позитивний внесок щодо коректної роботи котла, та надає можливість контролювати процес спалювання палива.

4) Вузли безпеки в монтажній схемі дозволяють захистити котел від зайвого гідравлічного навантаження, перегріву та утворення шкідливого конденсату, що безумовно підвищує безпеку користуванням та збільшує термін експлуатації обладнання.

РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ КВГТ-400 З ВИЗНАЧЕННЯМ СКЛАДОВИХ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ

3.1 Нормативні джерела та настанови по вимірюванню та визначенню складових теплового балансу твердопаливних котлів.

Значна кількість стандартів, технічних умов за рубрикою «Котли опалювальні водогрійні» «Паливо та його показники – маркування» є – Міждержавними стандартами, в минулому республік Радянського союзу які, за винятком, підтримують дружні відносини та економічні, наукові, технічні взаємовідносини. А саме котельне та пічне обладнання малої тепловидатності до 10 Гкал/год має на даний час найбільшу актуальність з переходом на індивідуальне опалення будинків та котеджів, а також малих підприємств для потреб опалення та виробничих потреб. Особливо останнє набуває популярності з точки зору економічності та автономності, та переважно котельне обладнання на спалюванні деревини, залишків деревообробних цехів та підприємств, відходів сільгосп- виробництва та переробки, а також бурого та кам'яного вугілля місцевих родовищ і місцево близько розташованих до залізниці. Спільні проблеми – спільне рішення даних проблем – тому і вимоги записані в стандартах повинні бути сучасними до можливостей контролю та визначенню складових ефективності, екологічності та безпеки котельного обладнання. Крім цих вимог обов'язково розглянуто відповідність до Європейських стандартів, що зазначено написом скорочень ISO, EN [12, 13, 14].

3.2 Обладнання та прилади які застосовувались для визначення складових теплового балансу та визначення ККД КВГТ-400.

Основним приладом для вимірювання складових відхідних газів, тиску розрідження та температури в точках вимірювань був газоаналізатор UniGas 3000+

Загальний опис. Газоаналізатор – це компактний, багатофункціональний переносний мікропроцесорний прилад, що складається з аналізатора газів і індикатора який відображає параметри вимірюваного середовища. Два вбудованих електрохімічних датчика вимірюють вміст кисню (O₂) і концентрацію монооксиду вуглецю (CO). Під час проведення аналізу вимірюється температура відхідних газів, температура навколишнього повітря, а також обчислюються: концентрація діоксиду вуглецю (CO₂), надлишок повітря, теплові втрати q₂ і ефективність горіння. Третій і четвертий вбудовані електрохімічні датчики дають можливість виміряти концентрацію монооксиду азоту (NO) або діоксиду азоту (NO₂), а також діоксиду сірки (SO₂). Якщо встановлений датчик NO, але не встановлено датчик NO₂, то концентрація оксидів азоту (ppm) відображається на дисплеї у вигляді NO_x = NO + NO₂. При цьому концентрація NO₂ приймається в розмірі 3% від виміряної концентрації NO. За допомогою додаткових зовнішніх датчиків (опція) можуть бути виконані вимірювання: температури і вологості навколишнього повітря (T + OB%), вмісту CO в навколишньому повітрі, а також виявлення витоків природного газу в газових мережах. Прилад комплектується датчиком тиску розрідження, вбудованим принтером, внутрішньою пам'яттю для збереження результатів вимірювання та серійним інтерфейсом USB / RS 232.

Газоаналізатор складається з міцного і компактного корпусу, материнської плати з усіма головними функціональними схемами і електрохімічними

вимірювальними осередками, головного насоса для відбору проб димових газів, насоса для продувки датчика CO, клавіатури, дисплея на рідких кристалах, блоку

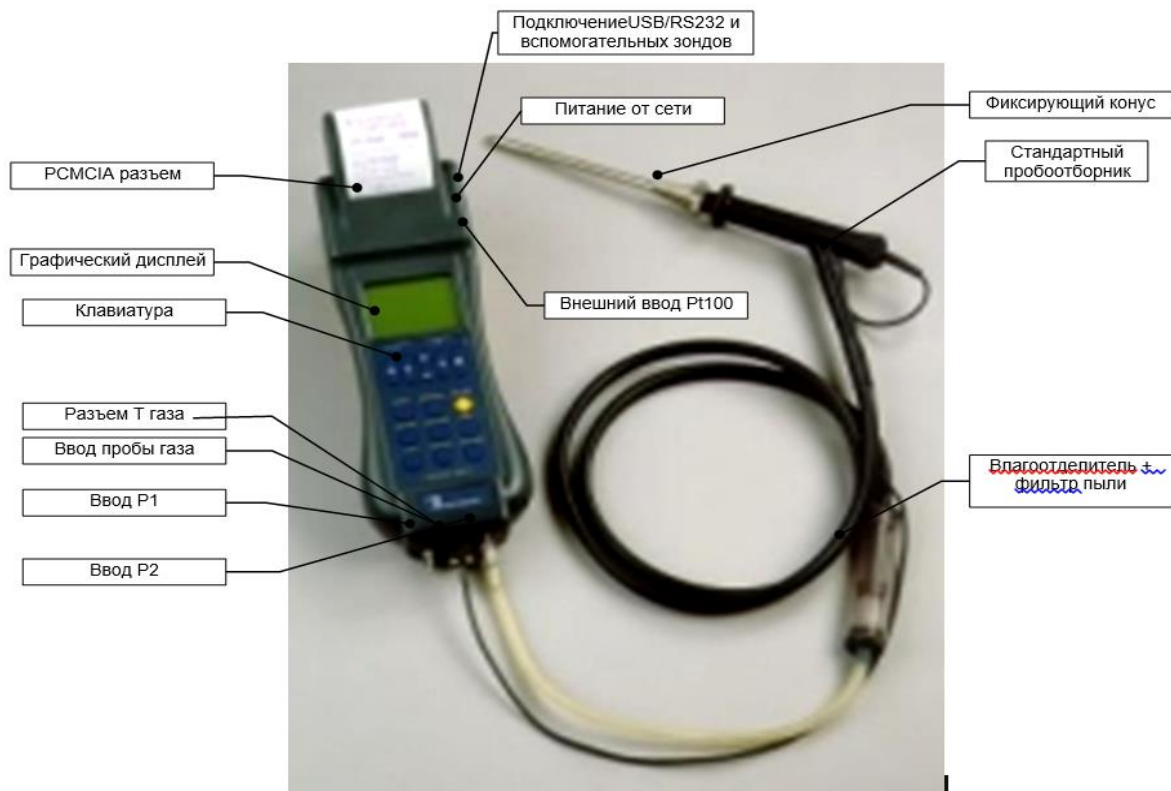


Рисунок 3.1 – Влаштування газоаналізатора UniGas 3000+

Li-ion акумуляторних батарей і матричного принтера, який встановлюється на вибір замовника. Корпус складається з двох частин з'єднаних 8-ю гвинтами. Вимірювальні осередки, головний насос і пневматичний контур розміщені в тильній частині корпусу приладу і закриті кришкою, яка кріпиться 2-ма гвинтами. Акумулятори і продувний насос розміщені на платі у верхній частині приладу. Друковану стрічку і паперову стрічку для принтера можна замінити, відкривши кришку принтера у верхній частині приладу (рисунок 3.1).

У нижній частині газоаналізатора знаходяться роз'єми: вхід проби газу (INLET), вхід (P1) для вимірювання тиску / розрідження, гніздо термопари (Tgas) для вимірювання температури відхідних газів і вхід (P2) для вимірювання диференціального тиску.

Справа боку верхньої частини приладу розташовані роз'єми:

1. підключення допоміжних зондів, а також підключення USB / RS232 (додаткове програмне забезпечення слід використовувати для конфігурації пристрою або передачею даних),
2. підключення зарядного пристрою;
3. підключення віддаленого датчика температури повітря Pt100.

Інтерфейс користувача знаходиться на лицьовій частині приладу і складається з дисплея високої чіткості має функцію «Збільшення» для зручності зчитування даних і 14-ти клавіатурі. Найбільш часто проводяться операції (визначення складу газів, завмер розрідження або тиску, визначення концентрації сажі і роздрукування результатів вимірювання) можуть бути обрані користувачем натисненням всього однієї клавіші.

Принцип роботи. Проба відхідних газів відбирається з газоходу і прокачується через пробовідбірник за допомогою головного мембранного

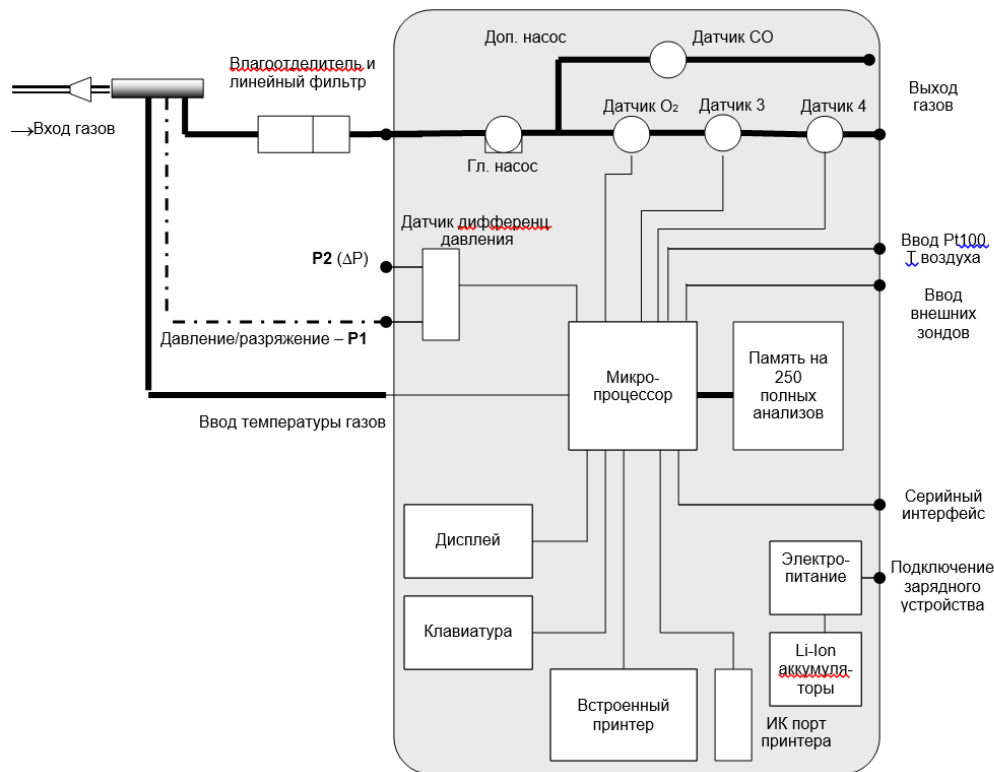


Рисунок 3.2 – Структурна схема газоаналізатора UniGas 3000+

насоса (рисунок 3.2) . Щоб встановити пробовідбірник, потрібно просвердлити в газоході отвір діаметром 11 – 16 мм, вставте в отвір металевий зонд пробовідбірника і щільно з'єднаєте фіксує конус зонда зі стінкою газоходу. Гвинт в конусі дозволяє легко фіксувати кінець зонда в середині потоку відхідних газів, яка зазвичай відповідає центру поперечного перерізу газоходу. Котел і газоходи перед проведенням випробувань перевіряються на газощільність і, якщо це необхідно, негерметичні місця ущільнюються. Датчик O_2 являє собою електрохімічний елемент з сухим електролітом і двома електродами. Дія датчика подібна до дії звичайної батареї і його чутливість з часом знижується. Середній термін служби датчика не пов'язаний з часом роботи і становить близько 2-х років. Для вимірювання вмісту токсичних газів (CO , NO , NO_2 або SO_2) використовуються електрохімічні датчики яка відслужила вже близько 3-х років. Застосування електрохімічних елементів гарантує отримання точних результатів протягом приблизно 60 хв. безперервної роботи після включення приладу. Дрейф «нуля» автоматично коригується при кожному включенні приладу. При цьому в якості еталону, використовується чистий навколишнє повітря. Ця операція виконується тоді, коли зонд знаходиться поза газоходу або коли шланг пробовідбірника не поєднаний з газоаналізатором.

При роботі приладу протягом тривалого часу слід періодично виконувати процедуру автокалібровки «нуля», тобто на короткий час вимикати прилад. Датчик тиску/розрідження працює за принципом дії розширюється метричного вимірювального моста. При включенні приладу також проводиться калібрування каналу тиску/розрідження. На цей час роз'єм P2 (ΔP) повинен залишатися відкритим. Результати вимірювання і розрахункові параметри виводяться на екран графічного дисплея, забезпеченого автоматичним підсвічуванням для полегшення зчитування показань при поганому освітленні.

Пробовідбірник складається з зонда, який виконаний з жароміцної, нержавіючої сталі, рукоятки з термостійкого матеріалу і шланга (рисунок 3.3). Утримує конус дозволяє закріпити зонд в газоході. Температура газу

визначається за допомогою вбудованої в зонд термопари типу К, яка через компенсуючий провід пропущений через шланг підключається до розйому Тс в нижній частині приладу.

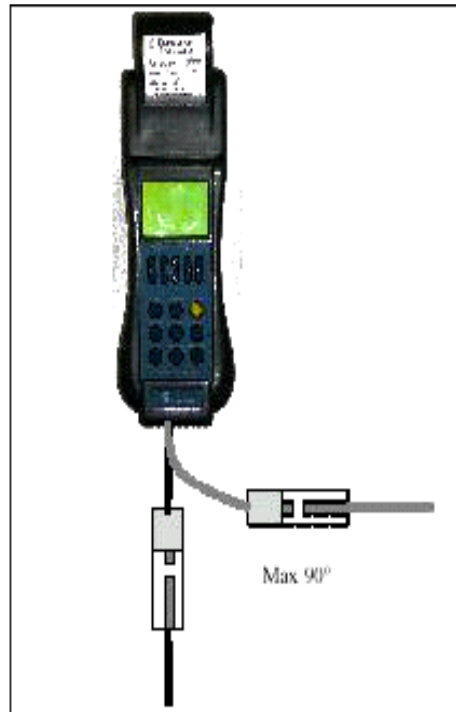


Рисунок 3.3 – Під'єднання зовнішніх шлангів до газоаналізатору

Гази проходять через комбінований вологовідділювач проточний фільтр для запобігання попадання конденсату і зважених твердих частинок в аналізуючу частину приладу. Цей вузол являє собою ударостійкий прозорий циліндр, що складається з двох частин: вологовідділювача і лінійного фільтра від пилу. Вхідним патрубком він підключається до шлангу, а вихідним, через 15см силіконову трубку, до приладу. При установці вологовідділювача стрілка, нанесена на його корпус, повинна бути спрямована на вхід в прилад. Вологовідділювач працює за принципом раптового розширення потоку прокачується проби: швидкість газу всередині циліндра сповільнюється, газ остигає, волога, що міститься в газах конденсується, а тверді частинки осідають.

Щоб уникнути попадання вологи в аналізуючу частину приладу вологовідділювач слід періодично осушувати. Для цього необхідно витягнути

пробку, що закриває зливний отвір в нижній частині вологовідділювача і легким струшуванням видалити накопичився конденсат. Лінійний фільтр розташований після вологовідділювача і захищає прилад від потрапляння дрібних твердих частинок. Змінний картридж виконаний з пресованого пористого матеріалу, і якщо він забився пилом, його можна акуратно промити мильною водою і просушити. Ніколи не застосовуйте спирт або розчинник. Перед промиванням картриджа видаліть його з циліндра. Для просушування фільтру можна використовувати стиснене повітря з невеликим напором.

У газоаналізаторі застосовуються датчики з тривалим терміном служби. Вони не вимагають спеціального обслуговування, але повинні бути замінені після закінчення терміну служби. Газові датчики являють собою електрохімічні елементи з двома електродами (анод і катод) і розчином електроліту. Проба відхідних газів проходить через селективну дифузионну мембрану, реакція окислення викликає вихідний електричний сигнал пропорційний концентрації газу, сигнал посилюється, перетворюється в цифровий, обробляється мікропроцесором і видається на дисплей. Результат друкується принтером з дозволом 0,1. Гази, що йдуть не повинні перебувати під тиском або розрідженням здатним вивести датчики з ладу. Вимірювання завжди починають проводити при відсутності тиску/розрідження, тобто без встановлення зонд пробовідбірника в газохід.

Кожен датчик має свій час швидкодії:

O ₂	20 сек. для 90% вимірів
CO (з компенсацією H ₂)	50 сек. для 90% вимірів
CO	50 сек. для 90% вимірів
NO	40 сек. для 90% вимірів
NO ₂	50 сек. для 90% вимірів
SO ₂	40 сек. для 90% вимірів

При отриманні датчиками токсичних газів надмірної концентрації (більше 150% повної шкали) можливий дрейф точності показань $\pm 2\%$ і потрібен тривалий

час для відновлення їх працездатності з допустимою похибкою. У цих випадках рекомендується перед вимиканням аналізатора прокачувати чисте повітря до тих пір, поки свідчення не знизяться хоча б до 20 ppm.

Прилад оснащений двома вводами для вимірювання температури відхідних газів і температури повітря надходить для горіння газу. Термопара типу К (хромель-алюмель) для вимірювання температури відхідних газів вбудована в зонд пробовідбірника. Ця термопара придатна для постійних вимірювань температури до 600 °С і короткочасних вимірювань до 800 °С. Вбудоване термоопір типу Pt 100 використовується для компенсації температури холодного спаю. Ті ж роз'єми можуть використовуватися для вимірювання температури прямої або зворотної мережної води. Для цього на трубопроводі накладаються відповідні термопари (поставляються на замовлення). Для вимірювання температури повітря при примусовій подачі його на пальник, застосовується зовнішній датчик Pt 100 з двох метровим кабелем (опція). Це вимір важливо для точного розрахунку ефективності горіння.

Зміст сажі в продуктах згорання характеризує повноту спалювання, що особливо важливо при спалюванні мазуту в повністю екранованих невеликих за обсягом топках. Для визначення концентрації сажі застосовується експрес-метод Бахараха. Пробу газу засмоктують з газоходу спеціальним поршневым насосом, який одночасно дозує порцію газу. У процесі відбору газ пропускають через фільтрувальну папір. Ступінь потемніння фільтра порівнюють з еталонною шкалою, за якою визначають число Бахараха, яке може змінюватися від 1 до 9.

Газоаналізатор може зберегти до 3-х результатів виміру, розрахувати середнє значення і відобразити його, якщо це необхідно, в роздруківці. В таблиці 3.1 зазначені все діапазони вимірювань і межі похибки газааналізатора.

Таблиця 3.1 – Діапазони вимірювань і межі похибки

Параметр	Тип датчика	Діапазони	Роздільна здатність	Похибка
O ₂	Електрохімічний	0 – 25% об'ємн.	0,1%	± 0,1% об'ємних
CO (компенсація H ₂ до 1000 ppm)	Електрохімічний	0 – 8000 ppm	1 ppm	±10ppm<300ppm ±4% показаний до 2000 ppm ±10% показаний > 2000 ppm
CO	Електрохімічний	0 – 20000 ppm	1 ppm	±10ppm<300ppm ±4% показаний до 2000 ppm ±10% показаний > 2000 ppm
CO%	Електрохімічний	0 – 10%	0.01%	± 0,01%<0.2% ±4% показаний >0.2%
NO	Електрохімічний	0 – 4000 ppm	1 ppm	±5ppm<125ppm ±4% показаний >125ppm
NO ₂	Електрохімічний	0 – 1000 ppm	1 ppm	±5ppm<125ppm ±4% показаний >125ppm
NO _x	Розраховується	0 – 5000 ppm	1 ppm	
SO ₂	Електрохімічний	0 – 4000 ppm	1 ppm	±5ppm<125ppm ±4% показаний >125ppm
CO ₂	Розраховується	0 – 100%	0,1%	

Продовження таблиці 3.1

Т повітря	Pt100	-10... +100°C	0,1°C	±(0,2% показаний +0,15°C)
Т ух. газів	Термопара К	0...+600°C	0,1°C	±(0,3% показаний +0,3°C)
ΔТ	Розраховується	0...+600°C	0,1°C	
Т пряма	Термопара К	0...+100°C	0,1°C	±(0,3% показаний +0,3°C)
Т зворотна	Термопара К	0...+100°C	0,1°C	±(0,3% показаний +0,3°C)
Тиск, ΔР	П'єзое – лектричний вимірювальний міст	+2000 мм.в.ст	1мм.в.ст.	± 5мм.в.ст. до 500мм.в.ст ±1% > 500мм.в.ст
Розрідження		- 400мм.в.ст.	0,1мм.в.ст	± 0,3мм.в.ст. до 300мм.в.ст ±1% > 300мм.в.ст
Надлишок повітря, α	Розраховується	от 1.00	0,01	
Швидкість газу	Розраховується	0 - 100м/сек	0,1м/сек	
ККД	Розраховується	0 - 100%	0,1 %	
Концентрація сажі	Зовнішній насос	0 - 9		

Нормативи і закони про захист навколишнього повітря описує процедура:
DIN51402, 2116, 2117 і 2297 VDI директиви, ASTM D 2156-63 Т та ін.

Крім газоаналізатора використовувалася апаратура та прилади розташовані безпосередньо на котлі та виведена на пульт керування, а саме:

1. Витрата води через котел;
2. Тиск води перед котлом та на виході;
3. Тиск повітря під колосниковою решіткою;
4. Розрідження в топці котла;
5. Розрідження за котлом;
6. Температура повітря біля котла;
7. Температура нагрітого повітря після вентилятора;
8. Температура піролізних газів за топкою;
9. Температура відхідних газів за котлом;
10. Температура відхідних газів за утилізаторами;
11. Температура мережної води на вході та виході з котла;

Данні по складу палива отримані від постачальника палива з Сертифікату на вугілля.

3.3 Підготовка котла до роботи та регулювання процесу згоряння піролізних газів

3.3.1 Підготовка котла до роботи

Перед початком роботи котла необхідно (рисунок 3.4):

- переконатися в справності електрообладнання шляхом включення і відключення споживачів в межах котла;
- заповнити систему опалення підготовленою водою, і проконтролювати рівень води в розширювальному системі або в розширювальному бачку;
- відкрити вентилі підведення і відбору води, заповнити теплообмінник котла водою, випустити з нього повітря за допомогою клапана; видалити повітря з системи опалення;

- включити циркуляційні насоси котла і системи опалення;
- відрегулювати робочий тиск котла;
- переконатися у відсутності витоків теплоносія в межах котла;
- всі регулятори режиму горіння поставити в середнє положення;
- вимикач вентилятора піддуву поставити в положення "Вимкнено";
- в топку завантажити сухі дрова, приблизно на 2/3 від загального обсягу піролізної камери;
- включити витяжний вентилятор і перевірити наявність тяги в котлі.



Рисунок 3.4 – Підготовка котла перед запуском

3.3.2 Розпалювання

1. Для розпалювання котла застосовують легкозаймисті матеріали (папір, стружка, тріска, кора). Горіння розпалювального матеріалу має бути достатнім для нагріву колосників і горілчаного пристрою і утворення стійкого шару спека по всій площі колосникової решітки для створення оптимальних умов піролізу основного палива. При необхідності додати кускове паливо більш великої фракції (бажано сухе) для досягнення кращого результату.

2. Після виконання розпалювання зробити завантаження топки основним топковим матеріалом. У разі застосування об'ємного сипучого матеріалу (стружка, тирса, лушпиння соняшнику і т.п.) завантажити паливо не більше ніж

на 2/3 від загального обсягу топки, з урахуванням витрат палива кг/год в залежності від потужності котла).

3.3.3 Вимоги до палива

1. Технологія спалювання палива дозволяє спалювати будь-яке тверде паливо, що виділяє горючі піролізні гази, в тому числі тирсу, солому, торф, вугільний шлам, відходи сільського господарства, брикети, пілети, різні побутові відходи, дрова, буре та кам'яне вугілля, а також поєднання наведених нижче матеріалів.

Переважною вологістю палива є вологість близько 40%. Допускається застосування палива з підвищеною вологістю до 70%, однак це знижує працездатність і збільшує теплову інертність котла (при цьому не варто плутати вологе паливо з мокрим паливом!).

2. В котлах з автоматичним завантаженням застосовується паливо фракцією від 0,1 до 50мм. В котлах з ручним завантаженням можливе застосування палива фракцією, яка не перевищує розміри топкового отвору і довжини топки.

3. Забороняється використання вибухонебезпечних, легкозаймистих речовин (бензин, гас, масла і т.п.), а також їх використання в якості добавки до палива.

4. Застосування палива з підвищеним вмістом золи призводить до зниження ККД і збільшення витрати палива.

3.3.4 Регулювання горіння

1. Завантажене паливо, вступивши в контакт з високотемпературним шаром спека, починає активно виділяти горючі гази у вигляді рясного диму. На цьому етапі роботи котла необхідно відрегулювати оптимальну тягу за допомогою спеціальних регуляторів.

2. Слід повністю відкрити топкові дверцята, і за допомогою регулятора продуктивності витяжного вентилятора домогтися відсутності викиду газів в

приміщення котельні, не допускаючи надмірного зриву потоку піролізних газів до пального пристрою. Дверцята закрити.

3. Спостерігаючи через оглядове вікно, розташоване на топкової дверцятах, за допомогою регулятора подачі первинного повітря піддувала, візуально домогтися темно – червоного кольору потоку піролізних газів входять в пальною пристрій.

4. За допомогою регулятора, розташованого на пальною пристрій, регулюють подачу вторинного повітря, до повної відсутності викидів диму (про це може свідчити специфічний шум в пальною пристрій схожий на шум роботи паяльної лампи).

5. За допомогою регулятора компенсатора топкових дверцят, відкоригувати якість газоповітряної суміші (показником цього є повна відсутність ударів і пульсацій в пальною пристрій).

6. При досягненні температури теплоносія + 40°C на виході з котла бажано підкорегувати процес роботи котла за допомогою нижче перерахованих елементів регулювання.

7. Наступні завантаження палива визначаються для об'ємного палива в разі потреби; для щільного кускового палива з тимчасового режиму в кг/год.

8. За бажанням замовника, крім стандартного ручного режиму спалювання палива, застосовується додаткова технологія з використанням електронного перетворювача частоти. Такий пристрій дозволяє економити електроенергію і паливо мінімум на 30% і виробляти плавне регулювання процесу спалювання палива. Управляти потужністю котла в великому діапазоні. Управління частотним регулятором робиться додатковим пультом, який виконує наступні функції:

- 1) Плавне регулювання обертів двигуна вентилятора димососа.
- 2) Запуск і вихід із максимальних обертів двигуна (за необхідністю).
- 3) Візуальний контроль температури відхідних газів.

Практично робота в даному режимі проводиться в наступному порядку: перемикач роду робіт ручного регулювання встановлюють в положення КР (керований режим). Перемикачем ПУСК включають частотний регулятор.

Двигун вентилятора запуститься, на електронному табло регулятора висвітяться фактичні обороти двигуна. Ручкою регулятора обертів встановлюють необхідні обороти двигуна (тяга), що забезпечують ефективно спалювання палива.

Діапазон обертів встановлюється фахівцем при налагодженні котла, як правило мінімальні обороти – 1500 об/хв, максимальні – 3200 об/хв, за умови, що фактичні обороти двигуна становлять 2800 об/хв.

Бажана потужність котла визначається двома параметрами: температурою теплоносія і температурою відхідних газів. Для того, щоб ККД котла було максимальним, температура відхідних газів на максимальній потужності не повинна перевищувати 1600 – 1800 °С, а при мінімальній потужності котла – не нижче 1200 °С.

Наприклад: бажана температура теплоносія має становити 700 °С, при цьому температура відхідних газів 1700 °С, обороти двигуна 2500 об/хв. Якщо температура теплоносія утримується стабільно, значить режим обраний правильно, в разі підвищення температури, обороти двигуна потрібно зменшити, а при зниженні збільшити, в межах + (-)200 – 300 об/хв.

Для проведення робіт пов'язаних з черговою завантаженням палива або ж чищенням колосникових решіток, перш ніж відкрити великі дверцята необхідно включити перемикач на максимальні оберти (МО). Такий режим виключає викиди диму і пилу в котельню. Після завершення робіт відновити робочий режим.

На практиці температура відхідних газів і обороти двигуна димососа по відношенню до температури теплоносія вибираються оператором індивідуально, залежно від якості і виду застосовуваного палива.

3.3.5 Температурний режим котла

Оптимальна температура теплоносія на вході та виході з котла встановлюється електронними терморегуляторами, встановленими на пульті управління. Контроль температури по подачі здійснюється першим терморегулятором.

Наприклад, задана температура подачі + 85°C, різниця + 5°C. При досягненні температури + 90°C датчик відключить вентилятор димососа, що призведе до значного зменшення тяги і до зниження активності процесу горіння (режим очікування). При зниженні температури до + 85°C вентилятор димососа знову включиться, і процес горіння відновиться.

Контроль температури на виході з котла здійснюється другим терморегулятором. Наприклад, задана температура + 75°C, різниця + 5°C. У разі зниження температури нижче + 75°C, датчик включить вентилятор піддуву, і процес піролізу різко активізується, потужність котла зросте. При підвищенні температури до +80 °C вентилятор піддуву відключиться.

Температура відхідних газів після витяжного вентилятора контролюється спеціальним електронним або механічним термометром, встановленим на витяжній трубі, і повинна бути в межах + 120 – 220 °C.

При необхідності, можна регулювати процес горіння за допомогою ручного режиму, також передбаченого на пульті управління.

3.4 Результати експериментального дослідження

Дослідження проводились з фахівцями Державного підприємства «ПКЦ Рембуд» інженером-енергетиком по налазці Бондаренко В.І. та представником фірми виробника ООО «Гермес» м. Біла Церква. Зразки було відібрано за методикою [13,14] з відповідною установкою приладів та обладнання, а також збором даних за час досліджень.

Випробування проводились на котлах КВГМ-в-м-400, котел №1 – заводський № 004, котел №2 – заводський № 005 встановлених в випробувальній котельні у місті Бородянка. Результати еколого-теплотехнічних випробувань двох водогрійних котлів занесені в зведену відомість результатів випробувань. Водогрійні котли КВГТ-в-м-400, працювали в діапазоні 40% - 100% від $Q_{ном}$ згідно [13,14] Втрати теплоти з відхідними продуктами згорання за котлом за розрахунками [13,14].

Склад палива та розрахунки об'ємів продуктів згорання. Об'єми, ентальпії повітря і продуктів згорання визначають у розрахунку на 1 кг твердого і рідкого палива або на 1 м^3 газоподібного палива.

$$\alpha_m = 1,4,$$

$$\alpha_{від} = 1,6,$$

$$\Delta\alpha_{вк} = 0,1.$$

ГР- кам'яне вугілля газове рядове

$W^p = 12$, $A^p = 13,2$, $S^p_k S^p_o = 0,3$, $C^p = 58,7$, $H^p = 4,2$, $N^p = 1,9$, $O^p = 9,7$, $Q^p_n = 22,8$ МДж/кг, летких $V = 42\%$.

Теоретична кількість повітря для твердого палива:

$$V_n = 0,0889 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) + 0,265 \cdot H^p - 0,0333 \cdot O^p;$$

$$V_n = 0,0889 \cdot (58,7 + 0,375 \cdot 0,3) + 0,265 \cdot 4,2 - 0,0333 \cdot 9,7 = 6,66 \text{ м}^3.$$

Теоретичні об'єми продуктів згорання:

а) Трьох атомних газів:

$$V_{RO_2} = 0,0186 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p);$$

$$V_{RO_2} = 0,0186 \cdot (58,7 + 0,375 \cdot 0,3) = 1,094 \text{ м}^3.$$

б) Двоатомні гази:

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot V_n + 0,008 \cdot N^p;$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 6 + 0,008 \cdot 1,9 = 5,277 \text{ м}^3.$$

в) Водяної пари:

$$V_{H_2O} = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V_n;$$

$$V_{H_2O} = 0,111 \cdot 4,2 + 0,0124 \cdot 12 + 0,0161 \cdot 6 = 0,787 \text{ м}^3.$$

г) Об'єм водяної пари :

$$V_{H_2O} = V_{H_2O} + 0,0161 \cdot (\alpha_{\text{від}} - 1) \cdot V_n;$$

$$V_{H_2O} = 0,787 + 0,0161 \cdot (1,6 - 1) \cdot 6,66 = 0,851 \text{ м}^3.$$

д) Об'єм продуктів згорання:

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + V_{H_2O} + (\alpha_{\text{від}} - 1) \cdot V_n^o;$$

$$V_r = 1,094 + 5,277 + 0,851 + (1,6 - 1) \cdot 6,66 = 11,218 \text{ м}^3.$$

Випробування котлів проводилися при чистих поверхнях нагріву. Паспортна температура вихідних продуктів згорання за котлом - 175 С °, при спалюванні Донецького вугілля марки «ГР» – кам'яне вугілля газове рядове на номінальному навантаженні.

Втрати тепла від хімічної неповноти згорання палива. Вугілля марки «ГР» згоряє з хімічним недожогом на всіх досліджених навантаженнях, в продуктах згорання присутні СО в допустимих межах 0,0020 – 0,0060 %. Сорт вугілля, що використовується для даного типу котлів, виділяє NO_x, СО, SO і золу. Досягнуті наступні коефіцієнти надлишку повітря за котлами:

$$\text{Котел №1 } q_2 = 8,0\% - 11,2\% - 48,0\% - 101\% \text{ від } Q_{\text{ном}};$$

$$\text{Котел №2 } q_2 = 7,4\% - 11,0\% - 41,0\% - 102\% \text{ від } Q_{\text{ном}}.$$

$$\text{Котел №1 } L = 2,11 - 1,8, \text{ відповідно } 48,0\% - 101\% \text{ від } Q_{\text{ном}};$$

$$\text{Котел №2 } L = 2,06 - 1,76, \text{ відповідно } 102\% \text{ від } Q_{\text{ном}}.$$

Втрати тепла з механічним не догорання палива: зі шлаком, провалом, унесенням:

$$\text{Котел №1 } q_4 = 0,017 - 0,017\%, \text{ відповідно } 48,0\% - 101\% \text{ від } Q_{\text{ном}};$$

$$\text{Котел №2 } q_4 = 0,017 - 0,017\%, \text{ відповідно } 41,0\% - 102\% \text{ від } Q_{\text{ном}}.$$

Втрати тепла в навколишнє середовище. Втрати тепла в навколишнє середовище від огорожувальних поверхонь водогрійного котла типу

КВГТ-в-м-400 на номінальному навантаженні, згідно теплового графіка, складають – 1,8%. Втрати тепла безпосередньо залежать від теплової продуктивності котлів і складають:

Котел №1 $q_5 = 3,6 - 1,7\%$; відповідно 48,0% -101% від $Q_{ном}$;

Котел №2 $q_5 = 4,3 - 1,7\%$; відповідно 41,0% -102% від $Q_{ном}$.

Коефіцієнт корисної дії котлів. В результаті проведеної наладки, були досягнуті наступні ККД котлів при роботі на мінімальній і максимальній навантаженнях:

Котел №1 $S_K = 83,3\% - 87,0\%$, відповідно 48,0% -101% від $Q_{ном}$;

Котел №2 $S_K = 88,2\% - 87,3\%$, відповідно 41,0% -102% від $Q_{ном}$.

Паспортний ККД котла типа КВГТ-в-м 400 = 82,0 – 92,0%

Питомі витрати умовного палива на вироблену 1 Г кал тепла при роботі на номінальному навантаженні, складають:

Котел №1 – $B = 164,2$ кг.у.п./Гкал;

Котел №2 – $B = 163,8$ кг.у.п./Гкал.

Тяга і дуття. Аеродинамічний опір газового тракту котлів в межах норми:

Котел №1 – 40 – 140 Па;

Котел №2 – 50 – 160 Па;

Паспортний опір газового тракту котла «топка – димосос» на номінальному навантаженні – до 300 Па.

Встановлені димососи і вентилятори забезпечують номінальне навантаження котлів. Претензій до роботи тягодутьєвих машин не було.

Автоматика. Автоматика безпеки і регулювання працює задовільно, претензій до її роботи не було.

Всі данні занесені до таблиць що увійшли до режимних карт котлів (рисунок А1 та рисунок А2). Для порівняння екологічних показників досліджених котлів та вимоги [13] для твердопаливних котлів, де межі допустимих забруднюючих речовин наведені на рисунку 3.9.

За [13] вміст оксидів азоту (в перерахунку на NO_2) і оксиду вуглецю в сухих нерозбавлених (в перерахунку на коефіцієнт надлишку повітря, що орівнює одиниці, і нормальні фізичні умови: 760 мм рт. ст. і 0°C) вихідних газах не повинно перевищувати значень (Додаток А).

Як видно з рисунку Б1 (Додаток Б) показники котлів по викидам CO на порядок менші за допустимі, а по NO_x , які не регламентуються, всього в два рази вищі за газові котли, що свідчить про добрий рівень організації процесу горіння.

Висновки до розділу 3

1) Економічні показники, отримані при проведенні еколого-теплотехнічних випробувань двох водогрійних котлів типу КВГТ-в-м-400 ст.№ 1,2 відображені в зведеній відомості (рисунок 3.7 – 3.8).

2) Коефіцієнт корисної дії котлів по зворотному балансу на номінальному навантаженні:

Котел №1: – 87,0%;

Котел №2: – 87,3%.

3) ККД котлів при роботі на номінальному навантаженні вище паспортного: $S_K = 85 - 95\%$.

4) Втрати тепла, коефіцієнт надлишку повітря, температура вихідних продуктів згоряння за котлами на номінальному навантаженні на рівні паспортних величин:

$q_2 = 12,0\%$;

$q_5 = 1,8\%$;

$T_{\text{yx.z.}} = 180^\circ\text{C}$.

5) Концентрація шкідливих речовин приведена до нормальних умов і $L = 1,0$ у вихідних продуктах згоряння при роботі котлів на номінальному навантаженні.

Котел №1: $M_{\text{NO}_x} = 351,6 \text{ мг/м}^3$, $M_{\text{CO}} = 131,9 \text{ мг/м}^3$, $M_{\text{SO}_2} = 104,0 \text{ мг/м}^3$.

Котел №2: $M_{NOx} = 268,9$ мг/м³, $M_{CO} = 106,2$ мг/м³, $M_{SO2} = 207,4$ мг/м³.

Рекомендовані - не більше: $M_{NOx} = 750$ мг/м³, $M_{CO} = 1100$ мг/м³, M_{SO2} - не нормується. У нашому випадку в межах норми.

б) Топки котлів КВГТ-в-м-400 в комплекті з колосниковими решітками працюють задовільно на всіх режимах з допустимим хімічним дожогом палива в межах - $CO = 0,0020\% - 0,0060\%$ і $q_3 = 0,019\% - 0,034\%$;

7) Підвищений коефіцієнт надлишку повітря за котлами спостерігається при роботі котлів в режимі - 40 - 60% від $Q_{ном.}$ і $L = 2,06-2,11$ з підвищеним ККД котлів, $S_K = 88,2\% - 88,3\%$ за рахунок низьких температур димових газів.

РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ПІРОЛІЗНОГО ГАЗУ В ПАЛЬНИКОВОМУ ПРИСТРОЇ ТА РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В ДРУГІЙ КАМЕРІ ДОПАЛЮВАННЯ

4.1 Опис програмного забезпечення ANSYS Fluent

Обмеженість ресурсів викопного палива диктує необхідність пошуку більш економічних способів його спалювання, а масштаби промислового виробництва такі, що проблема утворення шкідливих речовин при горінні виходить на перший план. Вирішення цих питань неможливе без детального дослідження процесу горіння. Тому все більшого поширення в промисловості отримують методи обчислювальної гідродинаміки. Вони дозволяють прискорити процеси проектування і доведення виробу, знижуючи при цьому фінансові витрати на проект. При цьому частково відпадає необхідність в дорогих експериментах, оскільки з'являється можливість оптимізувати конструкцію виробу на основі його віртуального прототипу. Програмний модуль ANSYS Fluent має широкий спектр можливостей моделювання течій рідин і газів для промислових завдань з урахуванням турбулентності, теплообміну, хімічних реакцій. У Fluent моделюють такі завдання як, горіння в печах, течію всередині барбатажної колони, зовнішнє обтікання нафтовидобувних платформ, течію в кровоносній системі, конвективне охолодження збірки напівпровідника, вентиляцію в приміщеннях, моделювання промислових стоків [15].

Комплексне моделювання хімічних реакцій, особливо в умовах турбулентності, з самого початку було відмінною рисою ANSYS Fluent. Принцип розсіювання вихору, перенесення функцій розподілу ймовірності (PDF), моделі хімічних реакцій з кінцевою швидкістю в сукупності з основними компонентами технології ANSYS Fluent, такими як моделі фракцій рівноважних сумішей, дифузного полум'я, горіння заздалегідь змішаних компонентів, є необхідними при виконанні розрахунків горіння газоподібного, рідкого палива,

вугілля. Моделі реакцій між газами і твердими поверхнями, прогнозування утворення NO_x, SO_x та інших забруднювачів також широко використовуються і є налаштованим. В ANSYS Fluent моделі реакцій можуть бути використані спільно з моделями турбулентності великих вихорів (LES-модель) і ізольованих вихорів (DES-модель). При об'єднанні цих нестационарних моделей турбулентності з моделями хімічних реакцій з'являється можливість прогнозувати стабілізацію полум'я і гасіння [15].

4.2 Моделювання процесу горіння піролізного газу

4.2.1 Вихідні дані

Після проведення натурних випробувань котла та отримання корисних даних щодо режимної карти, було вирішено розробити модель другої стадії роботи котла, а саме стадії горіння піролізного газу. Для цього були використані первинні фізичні дані:

- 1) Температура зовнішнього повітря $t_{нов} = 22^{\circ}\text{C}$;
- 2) Температура піролізних газів $t_{nip} = 800^{\circ}\text{C}$;
- 3) Швидкість вторинного повітря $V_{нов1} = 0,1109 \text{ м}^3/\text{с}$ та $V_{нов2} = 0,0236 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 4) Температура відхідних газів $t_{відх} = 175^{\circ}\text{C}$;
- 5) Сумарна швидкість відхідних газів $V_{\Sigma Г} = 0,2361 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 6) Швидкість піролізних газів на вході до пальника $V_{nip} = 0,07319 \text{ м}^3/\text{с}$.

Також, для утворення корисної моделі в програмному забезпеченні ANSYS FLUENT, потрібно задати процентне співвідношення швидкостей хімічних частин піролізного газу, а саме:

- 1) Об'ємна витрата частки вуглекислого газу $V_{CO_2} = 0,015073 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 2) Об'ємна витрата частки чадного газу $V_{CO} = 0,010049 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 3) Об'ємна витрата частки азоту $V_{N_2} = 0,100487 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 4) Об'ємна витрата частки кисню $V_{O_2} = 0,03967 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 5) Об'ємна витрата частки метану $V_{CH_4} = 0,002644 \text{ м}^3/\text{с}$.

Подача вторинного повітря складає 44% від 100 кількості повітря, що поступає до котла. На пальниковий пристрій догорання піролізних газів поступає 10% повітря через нерегульовані отвори та до 34% подається через регульовану засувку. За розрахунками процесу горіння було визначені можливі співвідношення горючих елементів та продуктів згорання на вході в пальниковий пристрій та на виході після догорання. Загальну схему горіння у топці та розподіл продуктів горіння наведено на рисунках 4.1, 4.2 для процесу розпалювання і саме для процесу піролізного горіння. Розподіл складових повітря та відхідних газів наведено на рисунку 4.3.

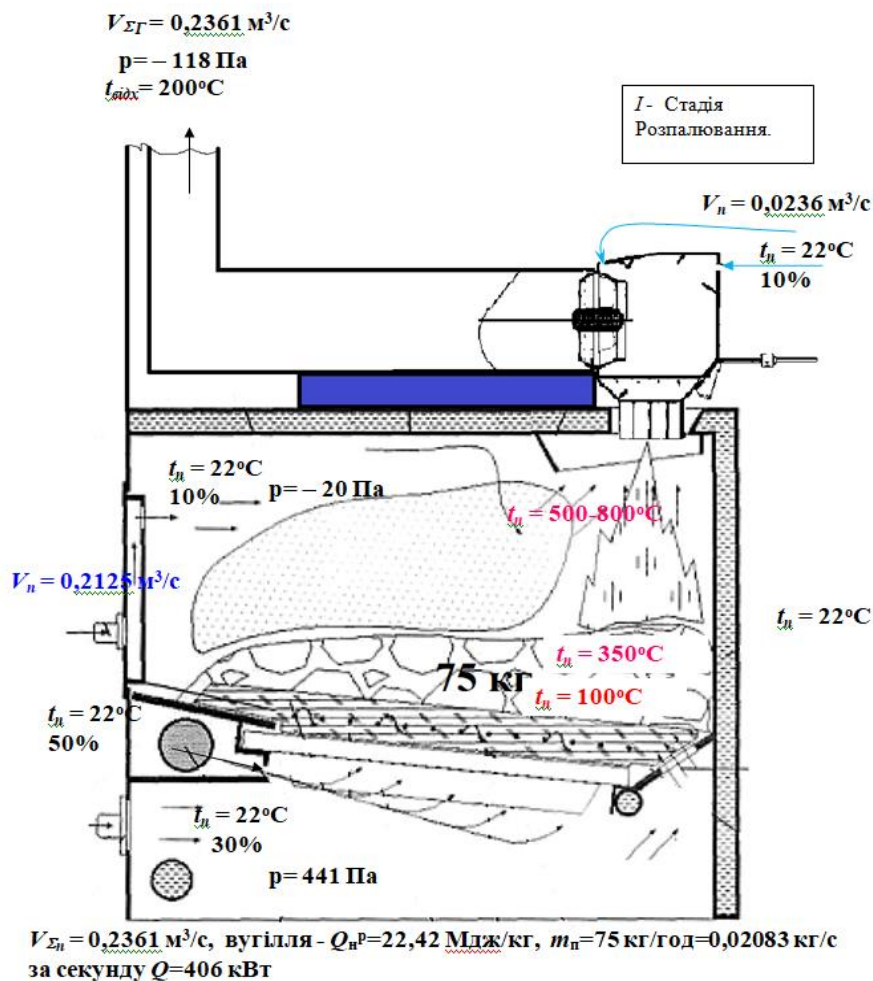


Рисунок 4.1 – I стадія розпалювання

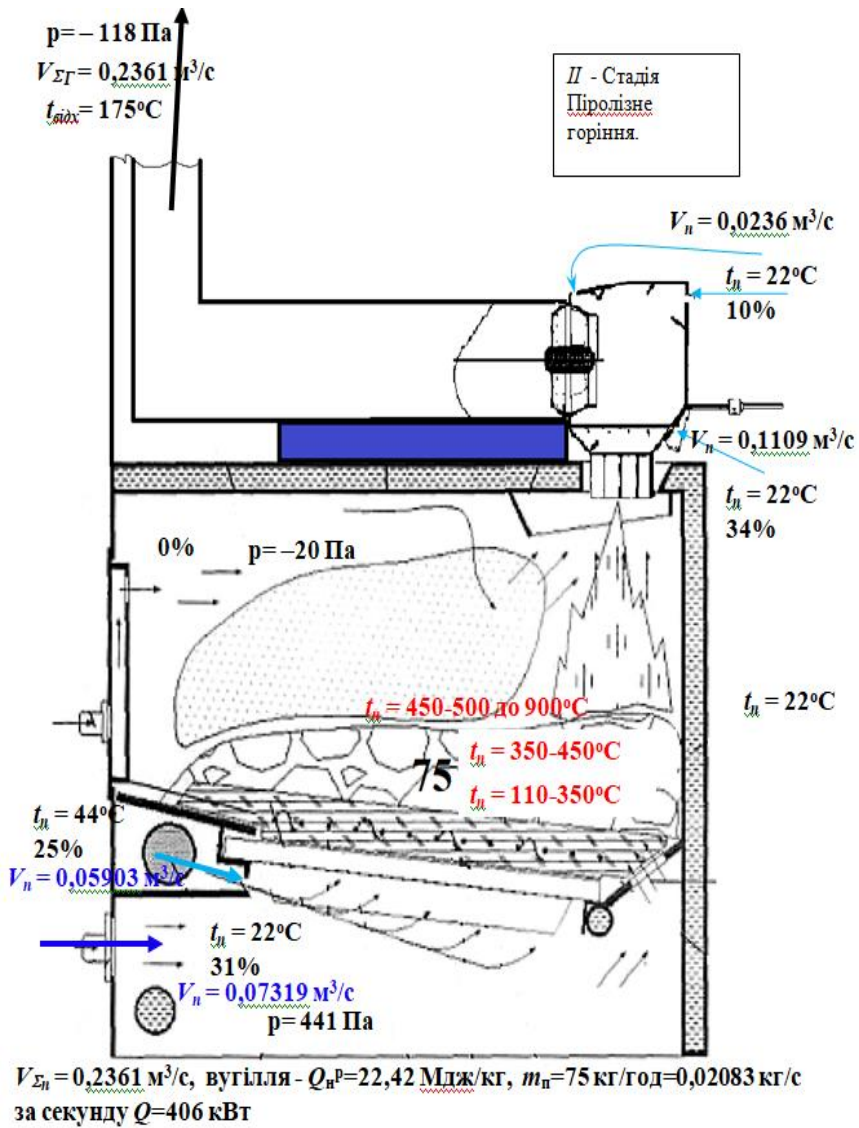


Рисунок 4.2 – II стадія піролізне

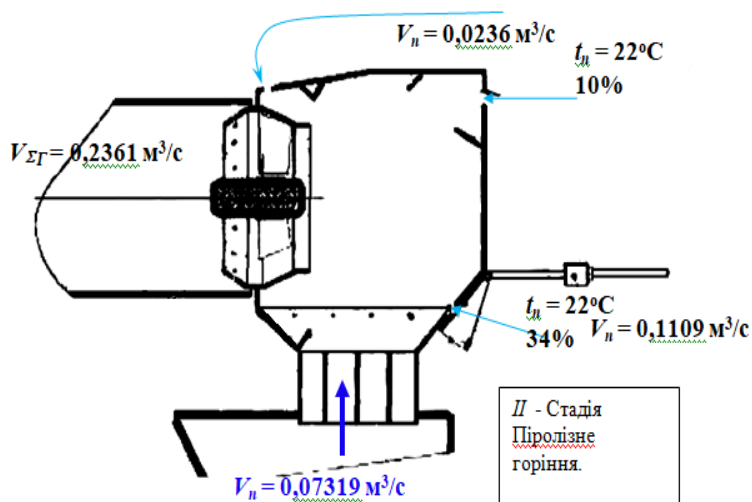


Рисунок 4.3 – складові повітря та відхідних газів в палинковому пристрої.

4.2.2 Геометричне моделювання енергетичної моделі

Геометрична модель - це математична модель, що

Основне призначення геометричній моделі в програмних комплексах інженерного аналізу – опис меж розрахункової області.

Для побудови пальникового пристрою в 2D моделі за існуючими фізичними розмірами, використовувалися такі інструменти як:

- 1) From Plane – побудова моделі на основі існуючої площини;
- 2) Режим Sketching – Малювання (Draw), Перетворення (Modify), Розміри (Dimensions), Установки (Settings), Обмеження (Constraints);
- 3) Design Modeler – побудова геометричної моделі;

На рисунку 4.4 відображена структура геометричної моделі:

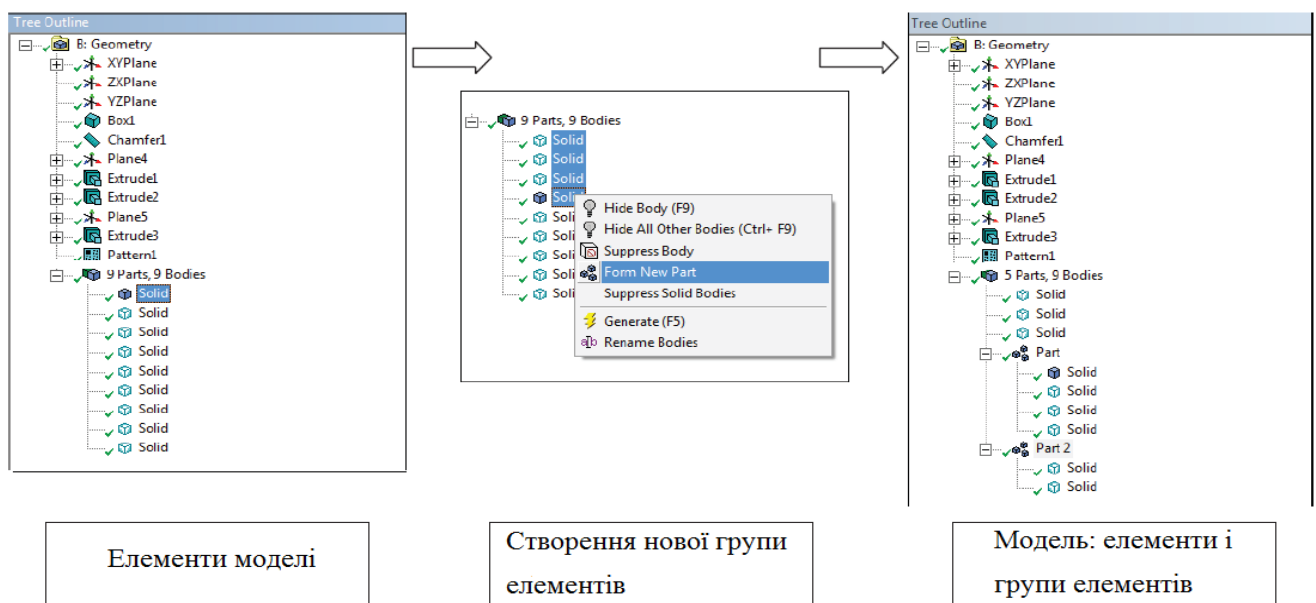


Рисунок 4.4 – Структура геометричної моделі

4.2.3 Побудова розрахункової сітки

При заміні дискретними аналогами диференціальних рівнянь в частинних похідних, що описують поведінку суцільного середовища, виникають нові параметри – тимчасової і просторові кроки розрахункової сітки. Побудова просторової сітки – один з найважливіших етапів у вирішенні завдань суцільного

середовища методами скінченних об'ємів і кінцевих елементів. Якісна розрахункова сітка в більшості випадків є одним з ключових аспектів отримання достовірних результатів чисельного рішення. Більш того, розрахунок на сітці, яка недостатньо добре відповідає конкретній задачі, може привести до зниження точності рішення, відсутності збіжності, виникнення різного роду нестійкостей і руйнування чисельного рішення [15].

Структура. Структура сітки визначається законами, які встановлюють взаємозв'язок між формою і розташуванням окремих елементів сітки відносно один одного [15].

Розміри сітки і сіткових елементів. Під розміром розрахункової сітки мається на увазі кількість вузлів і / або елементів цієї сітки, а розмір сіткового елемента визначається максимально довгою гранню осередки. Зі зменшенням розмірів елементів сітка більш точно апроксимує геометрію розрахункової області, що дозволяє отримати більш точне рішення вихідної задачі. Для побудови розрахункової сітки був використаний препроцесор ANSYS Meshing, завдяки якому можливо відтворювати структуровані і неструктуровані сітки на основі гекса-, тетра- і призматичних елементів. Для 2D-областей генератор дозволяє будувати сітки на основі чотирьох – і трикутних елементів. Перевагою сіткового препроцесора Meshing є його тісна інтеграція в середу Workbench. На рисунку 4.5 відображені вікна запуску ANSYS Meshing[15].

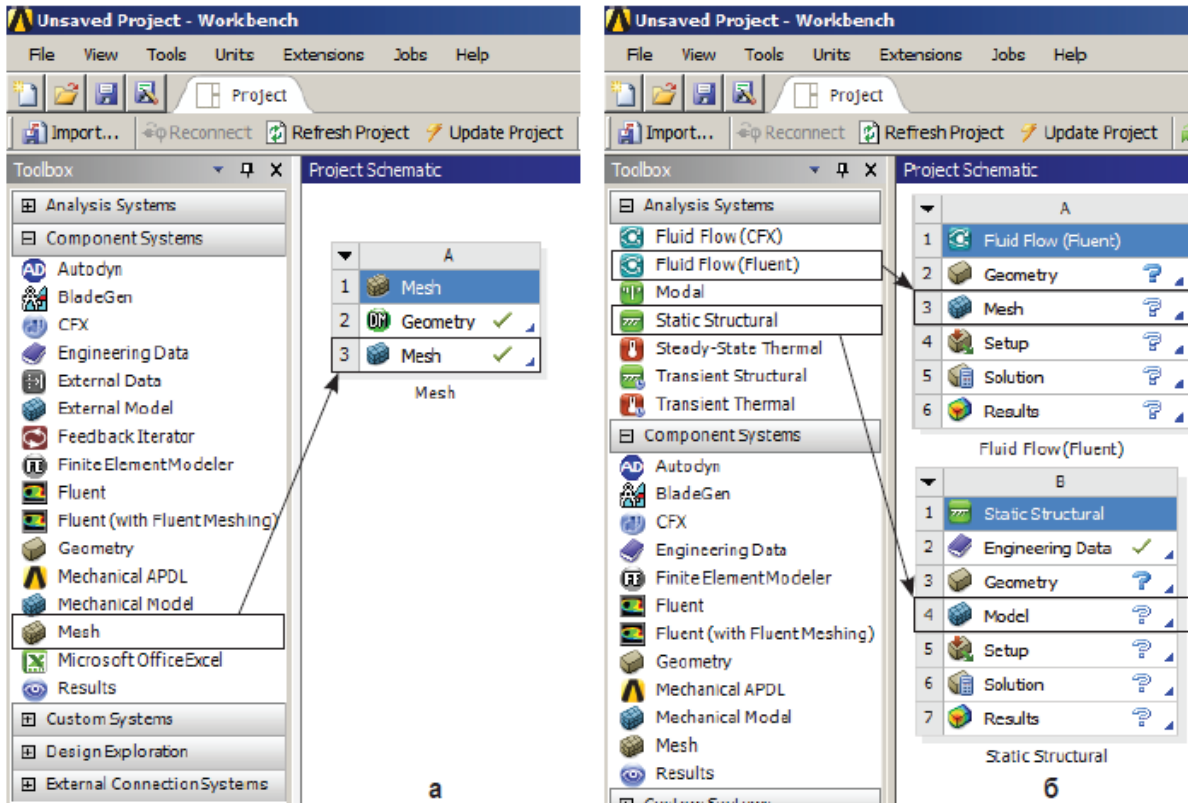


Рисунок 4.5 – Вікна запуску ANSYS Meshing

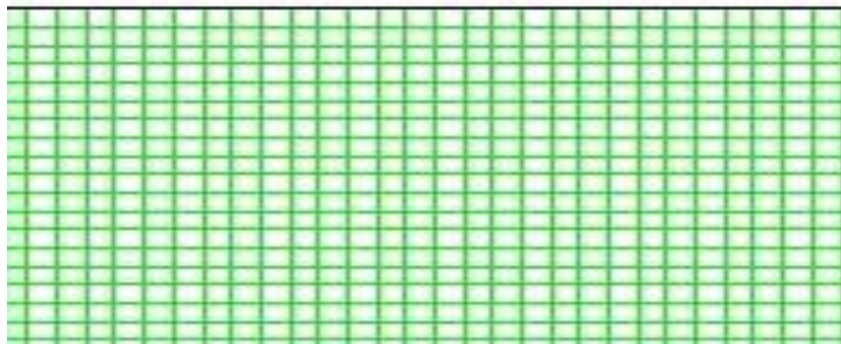


Рисунок 4.6 – Розрахункова сітка пальника

4.2.4 Підготовка розрахункової моделі пальника

Перш ніж почати розрахунок гідродинамічної задачі, необхідно визначити мету дослідження, вибрати потрібну математичну модель і метод наближеного рішення. Вирішувачі ANSYS CFD засновані на МКО (метод кінцевих об'ємів), в якому розрахункова область розбивається на безліч локальних елементів

(розрахункових осередків). Для кожного локального елемента записується система законів збереження маси, імпульсу і енергії в інтегральній формі, яка потім перетворюється до системи алгебраїчних рівнянь щодо шуканих величин - щільності, швидкості, температури та ін [15].

У загальному вигляді закони збереження можна записати так:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi U dA = \oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi dA + \int_V S_\phi dV \quad (4.1)$$

де V – об'єм комірки;

A – її поверхня; U – швидкість;

$\phi = 1$ для закону збереження маси,

$\phi = U_i$ для закону збереження моменту імпульсу в i -м напрямку,

$\phi = h$ (ентальпія) для закону збереження енергії.

У лівій частині рівняння (4.1) стоять члени, що описують нестационарність і конвективний перенос, в правій – дифузію і джерела або масові сили [16].

Наступним етапом моделювання являється задання параметрів Species Model (Види Моделі) рисунок 4.7.

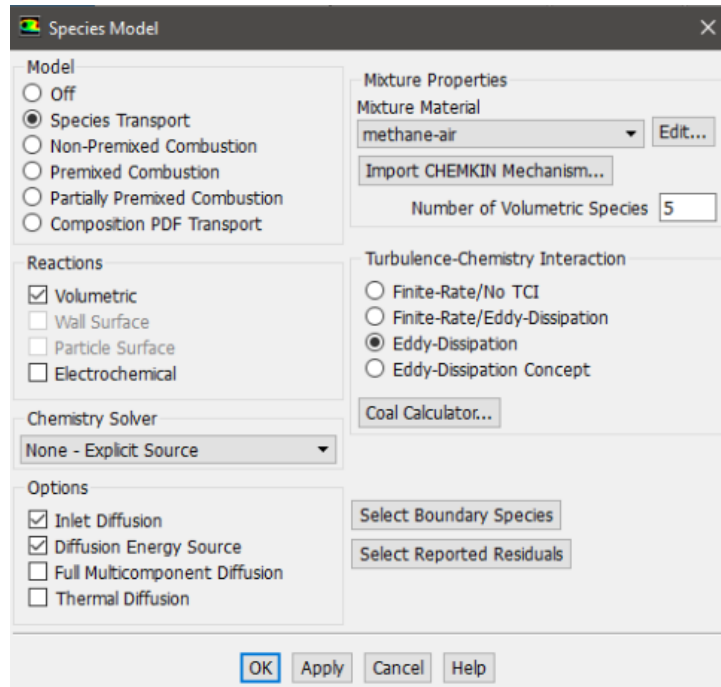


Рисунок 4.7 – Завдання параметрів Species Model

У діалоговому вікні Viscous Model слід вказати модель в'язкості рисунок 4.8.

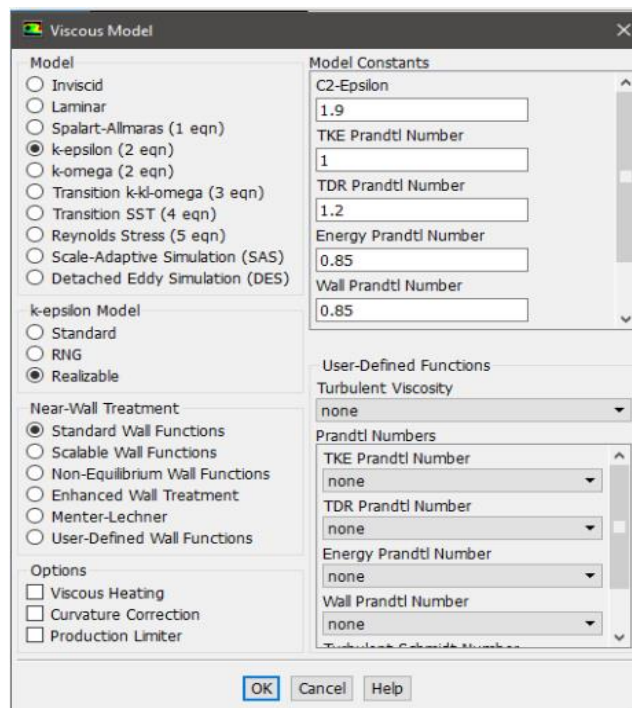


Рисунок 4.8 – Модель в'язкості

Для коректного моделювання потрібно задати граничні умови (рисунок 4.9, 4,10, 4,11) Завдання граничних умов дозволяє виділити єдине рішення з безлічі всіх рішень диференціальних рівнянь, що описують рух середовища. Для цього необхідно задати шукані (залежні) змінні на кордонах розрахункової області, наприклад визначити потоки маси, моменту, енергії.

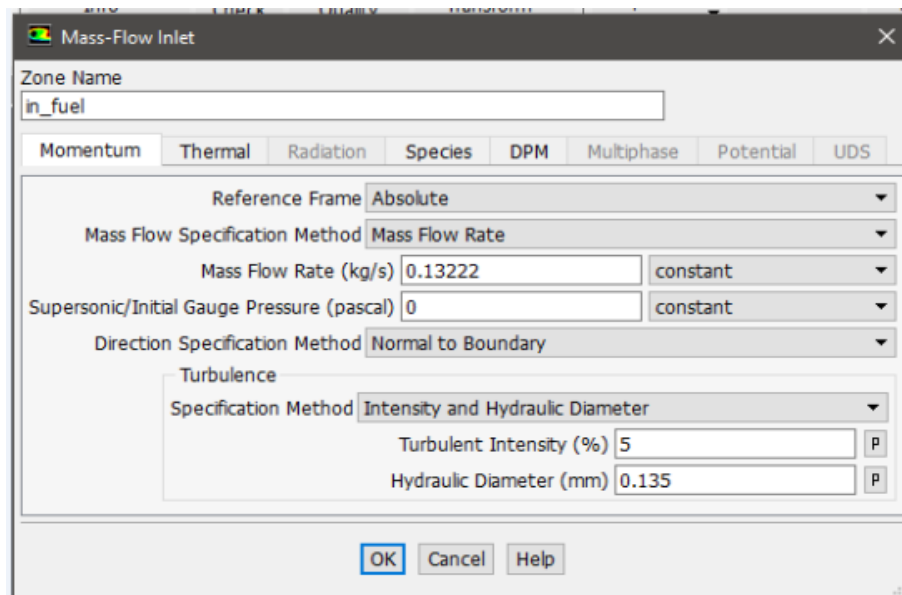


Рисунок 4.9 – Граничні умови

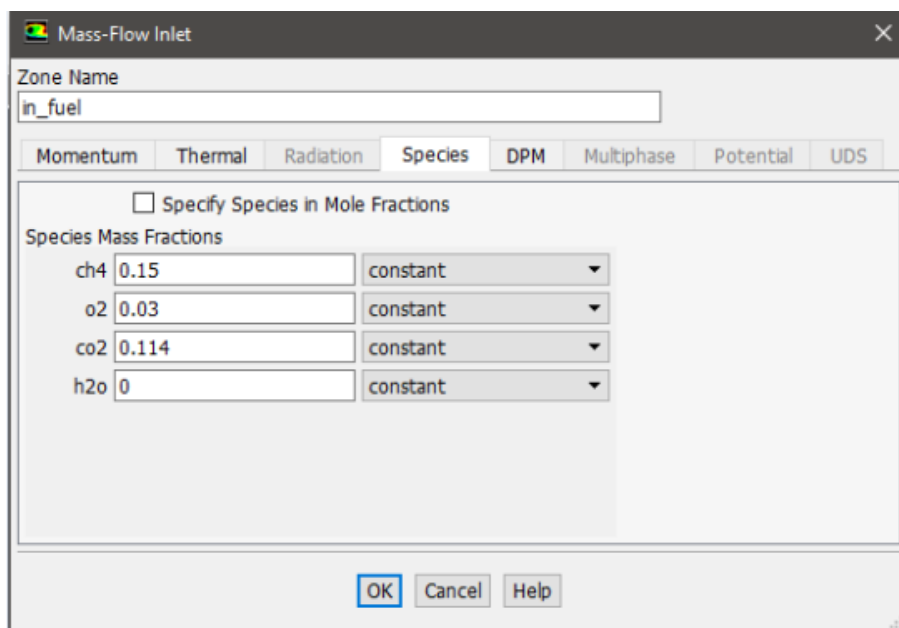


Рисунок 4.10 – Граничні умови

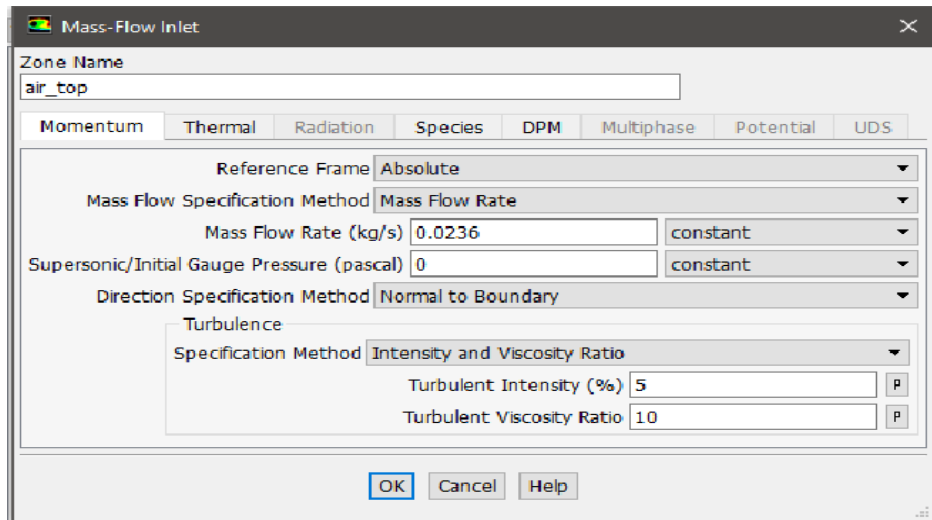


Рисунок 4.11 – Граничні умови

Після задання граничних умов потрібно запустити процес моделювання у вікні Task Page (рисунок 4.12).

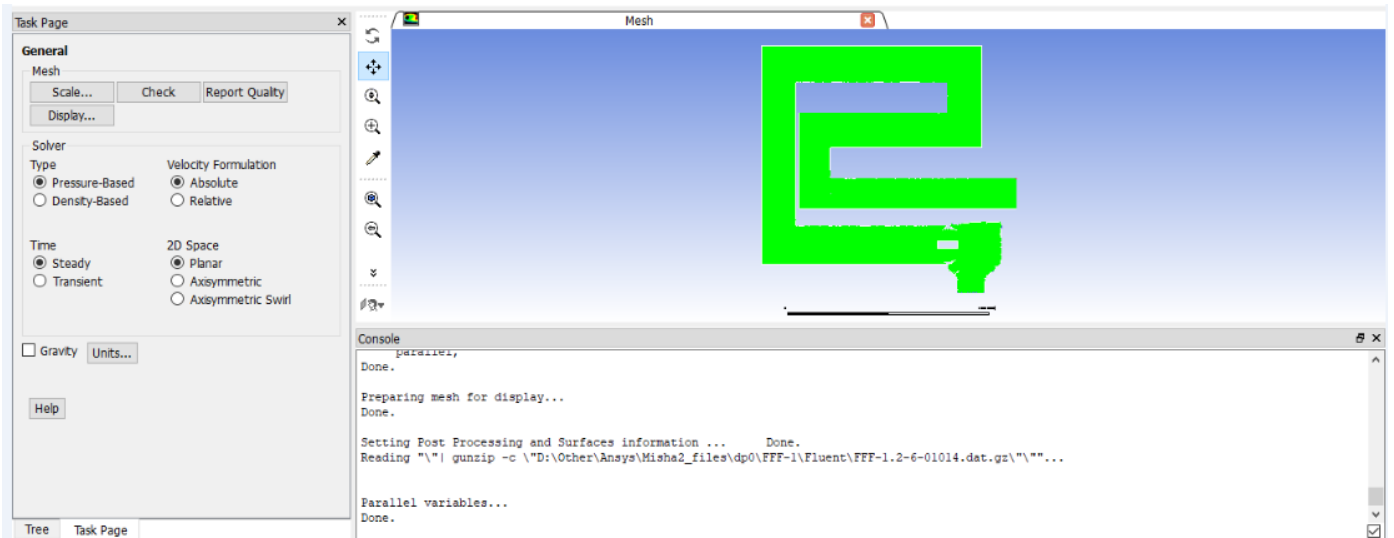


Рисунок 4.12 – Запуск процесу моделювання

4.2.5 Обробка та аналіз експериментальних даних

Першим результатом розрахунків в програмному забезпеченні ANSYS Fluent ми можемо спостерігати розподілення масової частки окислювача піролізного газу – кисню O_2 (рисунок 4.13).

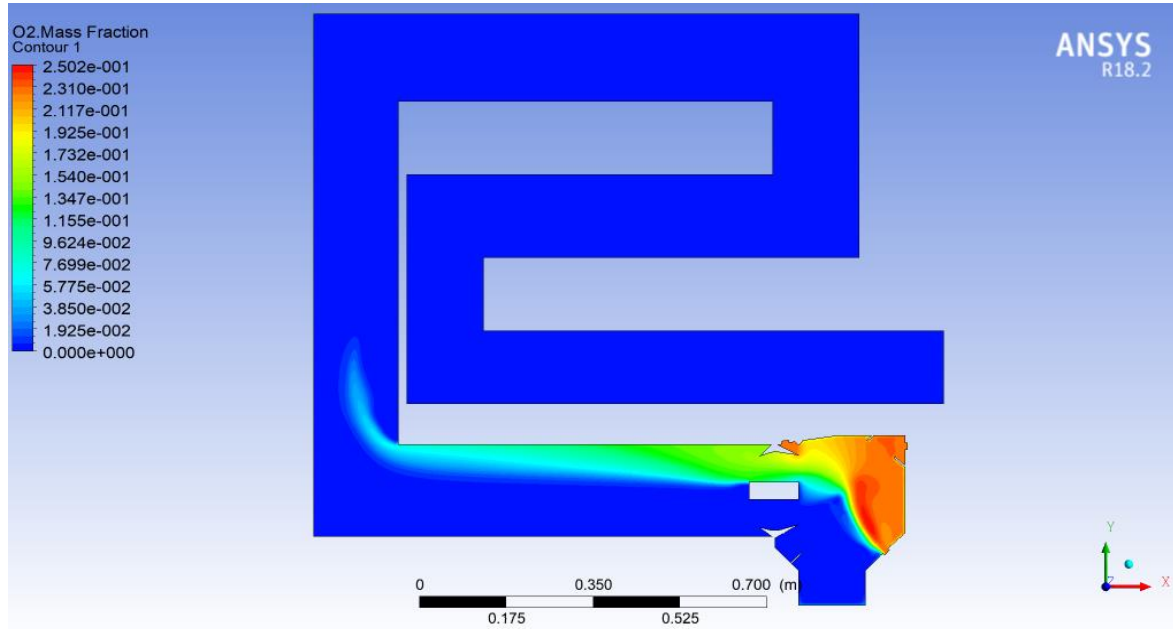


Рисунок 4.13 – розподілення масової частки кисню O_2

На основі розподілення окислювача, ми отримуємо розподіл температури в другій камері догорання, а також ми можемо наочно побачити факел горіння піролізного газу при додаванні вторинного повітря – окислювача (рисунок 4.14). Завдяки зображенню процесу горіння, видно утворення факелу горіння, який обтікає розсікач полум'я. Також спостерігається довжина факелу та зростання температури димових газів.

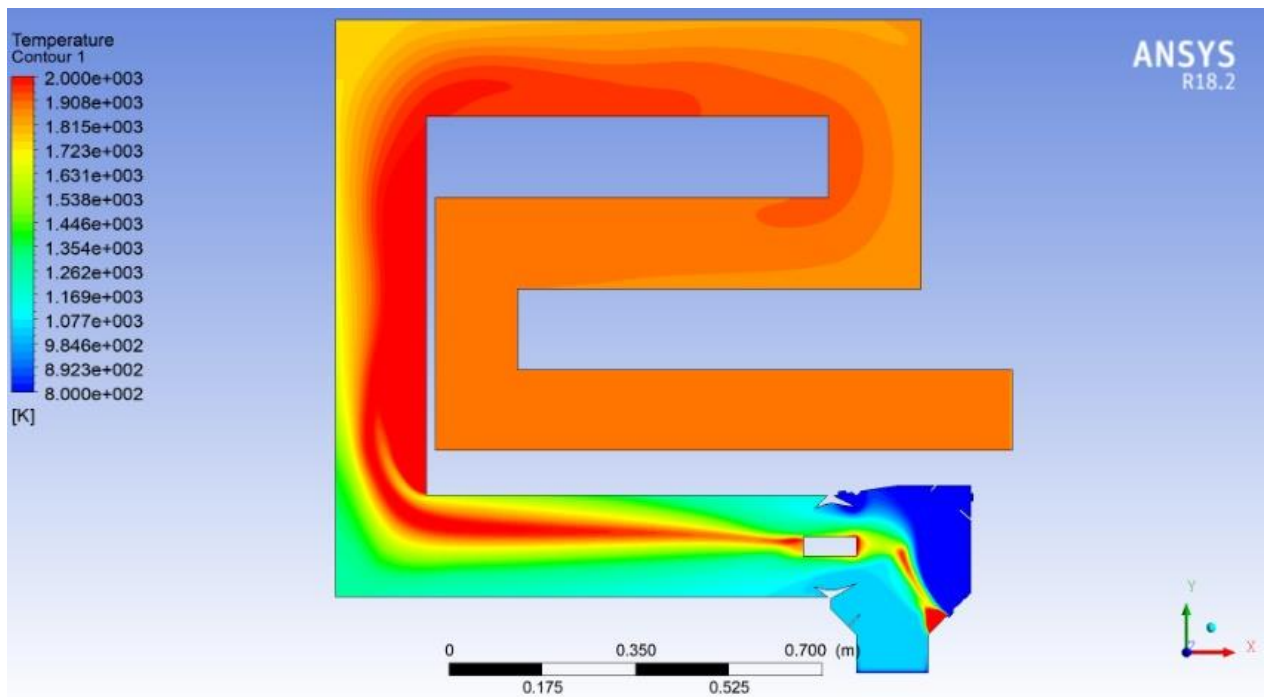


Рисунок 4.14 – Розподіл температури в другій камері догорання.

Наступним результатом моделювання, отримуємо розподіл векторів швидкостей потоку горючих та димових газів (рисунок 4.15). Завдяки цьому ми можемо спостерігати змішування горючих газів з киснем, а також турбулізацію потоку в пальниковій зоні другої камери піролізного котла.

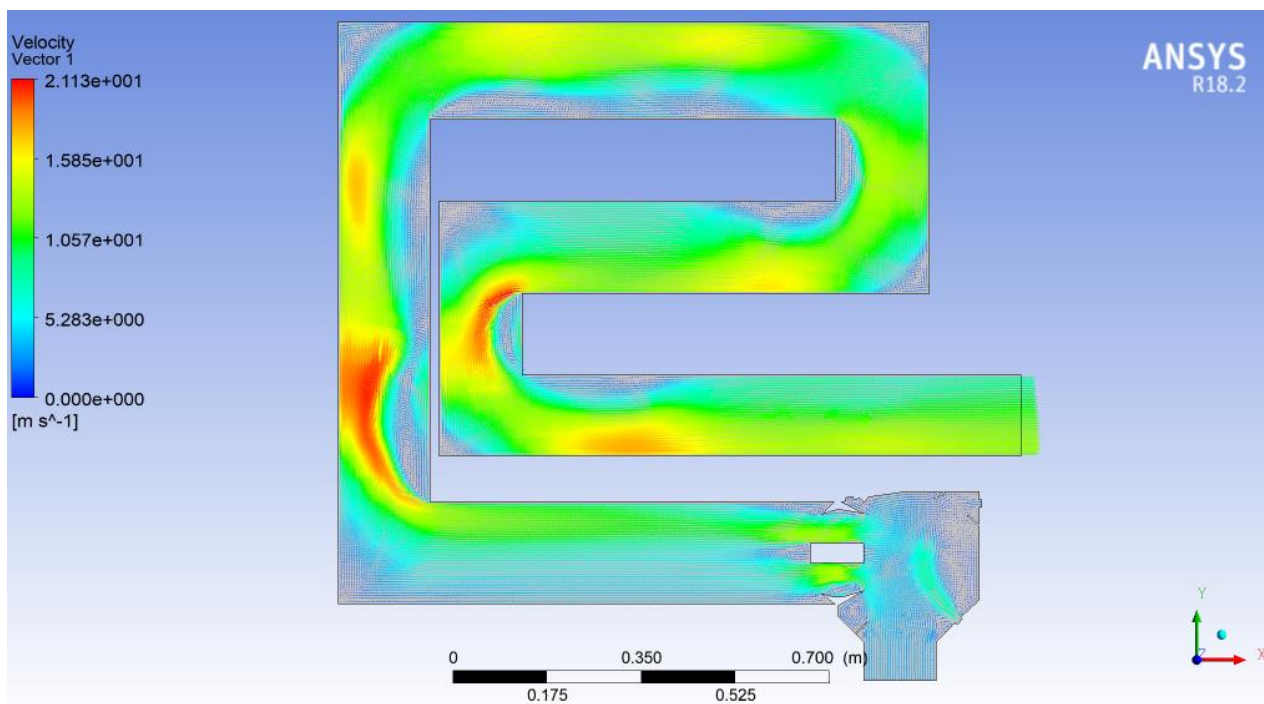


Рисунок 4.15 – Векторний розподіл горючих та димових газів

За результатами розрахунку процесу горіння в пальниковій зоні та камері догорання, на базі розрахункового комплексу, ми отримали зображення моделі розподілу масової частки вуглекислого газу CO_2 (рисунок 4.16) та масової частки азоту N_2 (рисунок 4.17).

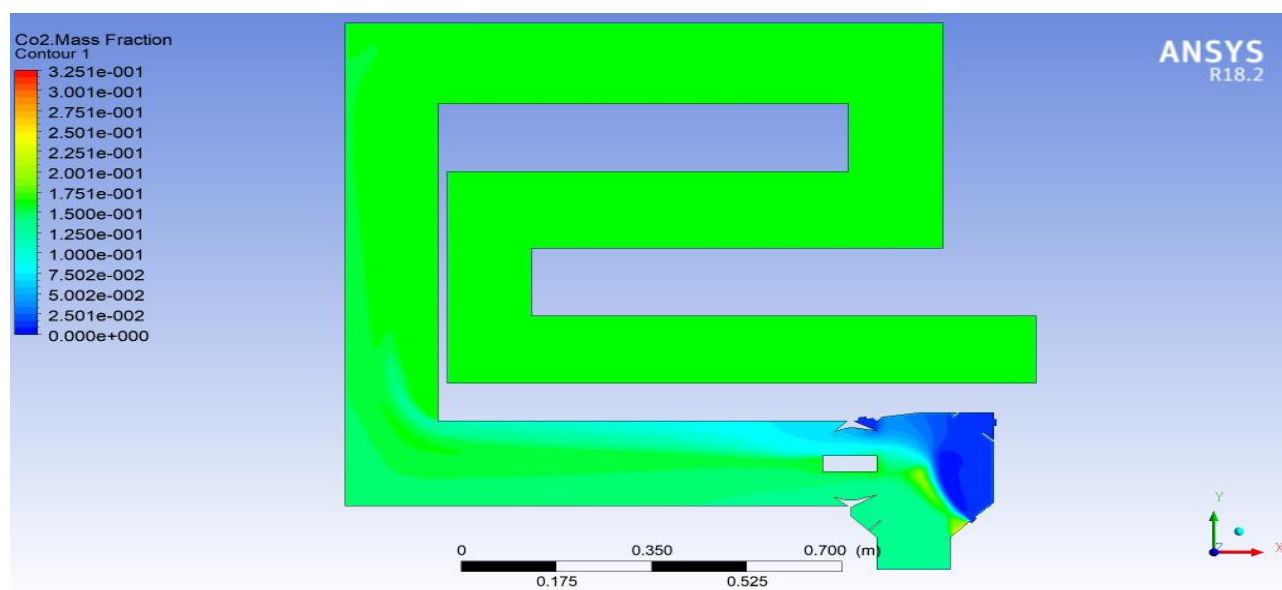


Рисунок 4.16 – Розподіл масової частки CO_2

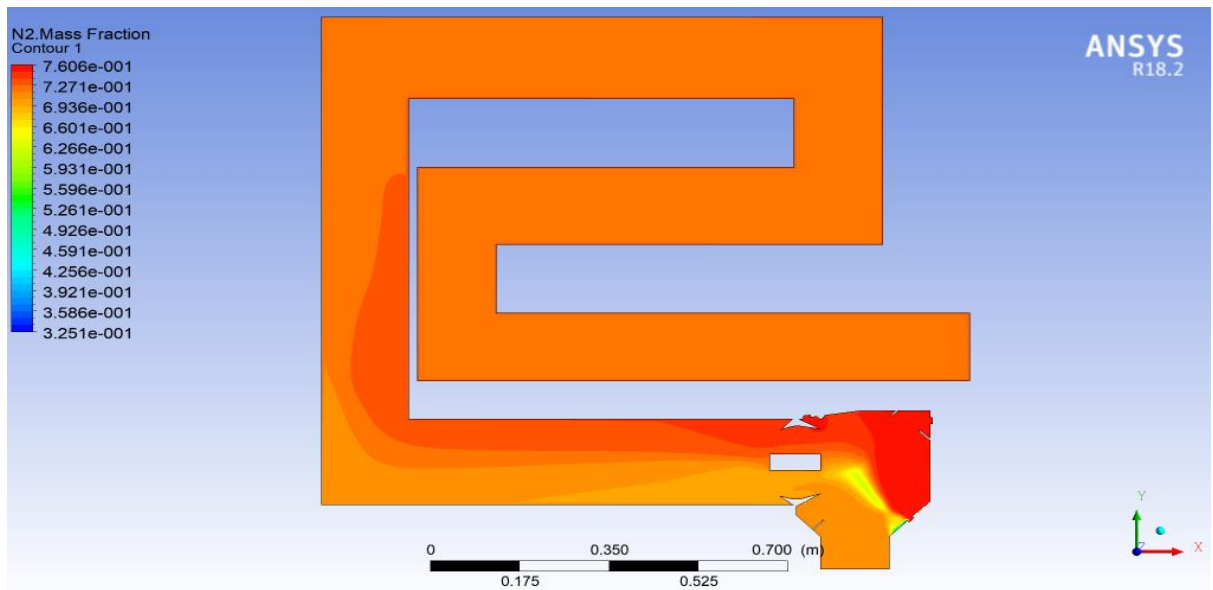


Рисунок 4.17 – Розподіл масової частки N_2

Висновки до розділу 4

1. За результатами чисельного моделювання процесу горіння в піролізній установці отримано розподіл температури в характеристичних площинах, що дозволяє оцінити ефективність конструкції камер спалювання і допалювання.

2. Побудована модель процесу горіння дозволяє розглянути весь процес спалювання горючих газів: від початкового надходження повітря в пальниковий пристрій, займання та утворення полум'яного факелу, до процесу догорання піролізних газів. Особливості процесу горіння та догорання розглянуто через повноту процесу згорання піролізних газів, за розподілом температури в камері згорання і рівень температури в камері допалювання, а також швидкості потоку відхідних газів та зміну тиску.

3. Отримані результати моделювання дозволяють констатувати, що процес спалювання відбувається повно завдяки температурному розпаду та часу горіння, що забезпечує протяжність та простір камери догорання. Кількістю подаючого повітря можливо зниженням температури факелу та отримати

мінімальну кількість токсичних газів таких як: CO, SO_x та NO_x в продуктах згоряння.

4. Отримані результати чисельного моделювання розподілу температур, швидкості та тиску показав переваги обраного підходу до проектування, а також дозволив зробити висновки по вдосконаленню розробленої конструкції піролізної установки, а саме:

а) вторинне повітря обов'язково повинно підігріватись, таким чином ми збільшимо початкову температуру займання піролізних газів, покращимо перемішування та якість реакції горіння;

б) кількість вторинного повітря можливо зменшити, за рахунок попереднього заходу на половину, та досягти збільшення ККД за рахунок зменшення кількості відхідних газів;

в) можливо змінити конфігурацію камери догоряння установленням спрямовуючих поверхонь на шляху полум'я та димових газів це – дозволить зняти температурне напруження з поверхонь камери догоряння, шляхом зниження температури, та прибрати небажані гідравлічні опори та застійні зони.

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЕКТУ

Необхідність пошуку шляхів ефективного використання енергетичних ресурсів виводить на передній план інноваційність рішень традиційних завдань, до числа яких належить виробництво теплової енергії. Як підвищити віддачу традиційних видів палива, як перейти від дорогого до більш доступного і дешевого палива не втрачаючи досягнутого рівня енергоефективності і не завдаючи шкоди навколишньому середовищу. Як убезпечити себе від цінових потрясінь – це питання повсякденного життя для керівників великих і маленьких підприємств будь-якої галузі і будь-якої форми власності. Це, в кінцевому рахунку, питання економічної ефективності, а іноді і виживання конкретних господарюючих суб'єктів. Замислюючись про те, як маючи непідйомні ціни на газ обігріти виробниче приміщення, теплицю, склад, лікарню, школу або офіс керівники підшуковують відповідні для конкретних умов варіанти зниження витрат на опалення. Вибір, звичайно, є, але він не такий вже й великий, особливо якщо підприємство не володіє безмежними фінансовими можливостями. Наша пропозиція допоможе визначитися з вибором.

В якості стартап – проекту пропонується енергетичне обладнання для виробництва теплової енергії у вигляді водогрійних котлів марки КВГТ. Дане котельне обладнання має ряд переваг, таких як:

- 1) Економічність – витрати твердого палива на одиницю теплової енергії можуть бути практично вдвічі менше в порівнянні з традиційними способами спалювання (залежить від виду і вологості палива);
- 2) Надійність – конструкція та матеріали конструкції котла дозволяють експлуатувати обладнання при належному та своєчасному обслуговуванні не менш ніж 20 років.
- 3) Універсальність – унікальна технологія спалювання дозволяє використовувати будь-яке тверде паливо, яке може виділяти горючі піролізні гази, в т.ч. вугілля будь-яких марок і сортності, торф, дрова будь

- яких порід, розміру і вологості, тріска, тирса, солома, відходи сільського господарства та побутові відходи;
- 4) Простота в обслуговуванні – котел оснащений сучасними системи контролю та захисту, не вимагає складної системи підготовки обслуговуючого персоналу;
 - 5) Екологічність – викиди шкідливих речовин знаходяться в межах існуючих норм навіть при спалюванні різних відходів, в тому числі і гумових;
 - 6) Утилізація – особливості конструкції котла дають можливість спалювати будь – яке паливо повністю, аж до стану плавлення золи, що істотно знижує утворення сажі та запобігає налипанню смол. Крім того, це дозволяє використовувати котел для утилізації різних відходів, тим самим домагаючись відчутної економії, як процесу утилізації, так і отримання теплової енергії.
 - 7) Середній строк окупності 2 – 3 роки.

У твердопаливних котлах КВГТ реалізовані інноваційні технології так званої газогенерації – регенерації, що дає можливість підсилити переваги і подолати недоліки традиційних піролізних котлів. Котли КВГТ мають діапазон потужностей від 0,1 до 1 МВт. Конструкція котлів орієнтована на важкі умови експлуатації і забезпечує найвищий рівень конкурентоспроможності в вітчизняних умовах. Найбільш примітними конструктивними особливостями є наступні:

- Реалізовано принцип газогенерації – регенерації з верхнім горінням, що дозволяє спалювати органічне паливо практично будь-якої вологості і зольності, каліброваного і некаліброваного, а також нестандартне паливо;
- Котел складається з трьох блоків послідовно пов'язаних між собою по водяному і газового трактах, що дає можливість ефективно регулювати діапазон потужностей (від 30 до 100%), а також гнучко підходити до компонування котла (вертикально або горизонтально);

- Вбудований міні циклон з'єднаний регульованою фланцевої засувкою з димососом, що дозволяє ефективно регулювати робочу тягу всього котла, а також досягати найвищих параметрів екологічної безпеки;
- Конструктивне виконання забезпечує ремонтпридатність, а також можливість оперативної ревізії і очищення всіх теплових і газових каналів.

Розрахунок економічної ефективності. Виходячи з спрощених передумов, то можна сказати що на 1 м² опалювальної площі потрібно 1 кВт котлової потужності. Таке співвідношення з'явилося не на порожньому місці, а враховує багаторічний досвід розрахунків необхідної теплової потужності в різних умовах (середня зовнішня температура, теплоізоляційні можливості об'єкта, стан опалювальних мереж і т.п.). Однак, при цьому потрібно враховувати, що для виробничих приміщень зі значними тепловими втратами (високі стелі, велика площа застарілого скління, відсутність належної теплоізоляції) будуть потрібні спеціальні розрахунки і, очевидно, співвідношення може скласти 1,2 – 1,5 кВт на 1 м². Розглянемо варіант використання котла потужністю 400 кВт, який в змозі обігріти приміщення (виходячи з передумови) площею 4000 м². Протягом опалювального сезону котел функціонує в середньому 3000 годин, хоча ця цифра може варіюватися від 2000 до 4000 годин, в залежності від погодних умов і супутніх чинників. Таким чином, працюючи 3000 годин на рік котел повинен зробити 1200 МВт теплової енергії. Для отримання такої кількості енергії на котлах традиційної конструкції необхідно:

- Природного газу – 97000 м³;
- Кам'яного вугілля – 80000 кг;
- Бурого вугілля або торфу – 250000 кг;
- Сухої деревини – 360000 кг (554 м³);
- Тріски – 470000 кг.

Відповідно проведемо простий розрахунок витрати коштів на паливо згідно тарифного плану на природний та ціни на кам'яне вугілля, буре вугілля, сухої деревини та тріски таблиця 11.

Таблиця 11 – Розрахунок ціни на різні види палива

Вид палива	Один вимірювання	Ціна за паливо (грн)	Необхідна кількість палива	Кінцева ціна (грн)
Природний газ	1000 куб. м	10041	97	973977
Суша деревина	м3	750	554	415500
Тріска		290	730	211700
Кам'яне вугілля	кг	5,8	80000	464000
Буре вугілля		1,1	235000	258500

З таблиці 11 видно, що найдорожчий вид палива це природний газ, який в свою чергу являється основним видом споживаного палива багатьма підприємствами в нашій країні.

Висновки до розділу 5

- 1) Використання будь – якого з приведених видів твердого палива з установкою котла КВГТ (У) має абсолютно очевидну економічну вигоду;
- 2) Посилення економічного ефекту можна досягти шляхом формування власної сировинної бази: вирощування швидкорослих дерев и чагарників, а також подрібнення будь-яких деревинних відходів и т.п.
- 3) Будь – який з перерахованих видів твердого палива незалежно від його якісних параметрів може використовуватися як самостійно, так і в найрізноманітніших співвідношеннях;
- 4) Проведення супутніх заходів що до зменшення теплових втрат та економії теплової енергії дає можливість зменшити час роботи котельного обладнання, а значить досягти ще більш вражаючих результатів;

ВИСНОВКИ

1. Сучасна ситуація в енергетиці потребує заміни застарілого теплоенергетичного обладнання на нове – ефективне та енергозберігаюче. Через це було розглянуто теплотехнічне устаткування – твердопаливний – піролізний котел, який має можливість забезпечити споживача гарячою водою та опаленням. Також, слід зауважити, що котли марки КВГТ мають промислове призначення, завдяки чому їх можна використовувати для забезпечення потреб на промисловому рівні.
2. Конструктивні особливості котельного агрегату марки КВГТ, надають можливість економити паливні ресурси на високому рівні. Також, слід зазначити, що даний котел має можливість працювати на різних видах палива: кам'яне вугілля, буре вугілля, торф, тріска та інші. Не менш важливим критерієм являється здатність піролізного котла працювати в режимі утилізації неліквідного палива. Значною перевагою теплотехнічного устаткування є його екологічність відносно навколишнього середовища.
3. Економічні показники, отримані при проведенні еколого-теплотехнічних випробувань двох водогрійних котлів типу КВГТ-в-м-400 свідчать про високу ефективність їх роботи – ККД=88% та екологічність: значення забруднюючих речовин (таких як CO, NO_x в 10 разів менші за допустимі значення для твердопаливних котлів.
4. Завдяки комп'ютерному моделюванню в програмному забезпеченні ANSYS Fluent , була побудована модель пальникового пристрою. Дана модель дала можливість наочно побачити весь процес спалювання піролізних газів та утворення полум'яного факелу в другій камері догорання. Також моделювання дозволило побачити температурний розподіл відхідних газів та розподіл масових часток O₂, CO₂ та N₂.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міжнародна виставка з опалення та вентиляції, кондиціонування, водопостачання, відновлювальної енергетики [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.aqua-therm.kiev.ua>
2. Піроліз твердих горючих копалин [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Піроліз>
3. Гордон Л. В., Скворцов С. О., Лисов В. І., Технологія і устаткування лісохімічних виробництв, 5 изд., М., 1988. А. Н. Зав'ялов
4. Піроліз деревини та режимні фактори процесу піролізу [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.greenpower.com.ua>
5. Пат. 94800 Україна, МПК (2011.01), F23B 80/00, F23B 10/00, C10J 3/20 (2006.01) ГАЗОГЕНЕРАТОРНИЙ ТВЕРДОПАЛИВНИЙ / О.М. Афанасьєв, Ю.А. Афанасьєва, А.С. Лимаренко - а200910266; заявл. 10.06.2011, Бюл.№ 11, 2011р.
6. ПІРОЛІЗНИЙ котел ОВСГДВД [Електронний ресурс]: – Режим доступу: http://aom.at.ua/index/kotel_ovsgdvd/0-45
7. Пат. 106649 Україна, МПК (2016.01), F23B 80/00, F23B 10/00. КОТЕЛ ГАЗОГЕНЕРАТОРНИЙ ТВЕРДОПАЛИВНИЙ / О.М. Афанасьєв, М.Г. Каптуренко, О.С. Козацький, М.Г.Пабат. – u201601222; заявл. 12.02.16; опубл. 25.04.2016, Бюл.№8
8. Пат. 106650 Україна, МПК (2016.01), F23B 80/00, F23B 10/00, F23G 5/027 (2006.01). КОТЕЛ ГАЗОГЕНЕРАТОРНИЙ ТВЕРДОПАЛИВНИЙ / О.М. Афанасьєв, М.Г. Каптуренко, О.С. Козацький, М.Г.Пабат. – u201601223; заявл. 12.02.16; опубл. 25.04.2016, Бюл.№8
9. Блок управління котельним обладнанням БАУ – ТП – 1 «АЛЬФА – М ХХІ» [Електронний ресурс]: – Режим доступу: [http://www.diprom.zp.ua/\(a21\)/a21.htm](http://www.diprom.zp.ua/(a21)/a21.htm)
10. Автоматизація процесу горіння піролізного котла [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://aw-therm.com.ua/avtomatika-upravleniya-tverdoplivnymi-kotlami-v-kaskade/>

11. Узлы безопасности при монтаже пиролизного котла [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://akrosystems.ru/info/tverdotoplivnyye-kotly/skhema-tverdotoplivnogo-kotla.html#Bezopasnost>
12. ГОСТ 33016–2014 (EN303-5:2012 MOD) Міждержавний стандарт (6 держав). Котли опалювальні для твердого палива з ручним та автоматичним завантаженням номінальною тепловою потужністю до 500 кВт. Термінологія, вимоги, методи випробувань та маркування. 53 с.
13. ГОСТ 30735-2001. Міждержавний стандарт (12 держав). КОТЛЫ ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ВОДОГРЕЙНЫЕ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ от 0,1 до 4,0 МВт. Общие технические условия.
14. ДСТУ ISO 10012:2005, ІДТ. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання. 26 с.
15. Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.: ил.
16. Самарский А. А. Разностные методы решения задач газовой динамики: учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский, Ю. П. Попов. М.: Наука, 1992. 424 с.

Додаток А

	Наименование параметров	Размерность	41,0%	102%
1	Теплопроизводительность котла	Гкал/час	0,142	0,350
2	Давление сетевой воды перед котлом.	кгс/см ²	1,6	1,6
3	Давление сетевой воды на выходе из котла.	кгс/см ²	1,5	1,5
4	Давление воздуха под колосниковой решеткой	мм вод.ст.	45	45
5	Температура горячего воздуха после вентилятора	°С	33	44
6	Разрежение в топке котла	мм вод.ст.	2	2
7	Разрежение за котлом	мм вод.ст.	10	12
8	Состав уходящих продуктов сгорания за котлом:			
	RO ₂	%	9,0	10,6
	O ₂	%	11,0	9,2
	CO	%	0,0032	0,0048
	NO _x	%	0,0049	0,0068
	SO ₂	%	0,0028	0,0041
9	Коэффициент избытка воздуха за котлом	-	2,06	1,76
10	Температура уходящих продук. сгорания за котлом	°С	120	192
11	Температура сетевой воды на входе в котёл	°С	41	54
12	Температура сетевой воды на выходе из котла.	°С	55	88
13	Часовой расход каменного угля	кг/ч	30	75
14	Теплота сгорания каменного угля	ккал/кг	5351	5351
15	КПД котла (по обратному балансу).	%	88,2	87,3
16	Удельный расход условного топлива на выработку 1Гкал	$\frac{\text{кг.у.т.}}{\text{Гкал}}$	161,5	163,8
17	Концентрация вредных веществ в уходящих продуктах сгорания:			
	оксидов азота	мг/м ³	100,4	139,4
	оксидов углерода	мг/м ³	40,0	60,0
	диоксида серы	мг/м ³	79,9	117,2
18	Концентрация вредных веществ приведённая к нормальным условиям и L=1,0:			
	оксидов азота	мг/м ³	228,7	268,9
	оксидов углерода	мг/м ³	83,6	106,2
	диоксида серы	мг/м ³	166,9	207,4
19	Массовый выброс вредных веществ в атмосферу:			
	оксидов азота	г/сек	0,010	0,031
	оксидов углерода	г/сек	0,004	0,013
	диоксида серы	г/сек	0,008	0,047
	твёрдых частиц	%	0,8	2,04

Рисунок А1 – Табличні результати режимної карта котла №2

	Наименование параметров	Размерность	48,0%	101%
1	Теплопроизводительность котла	Гкал/час	0,165	0,349
2	Давление сетевой воды перед котлом.	кгс/см ²	1,8	1,8
3	Давление сетевой воды на выходе из котла.	кгс/см ²	1,7	1,7
4	Давление воздуха под колосниковой решеткой	мм вод.ст.	45	45
5	Температура горячего воздуха после вентилятора	°С	31	42
6	Разрежение в топке котла	мм вод.ст.	2	2
7	Разрежение за котлом	мм вод.ст.	12	14
8	Состав уходящих продуктов сгорания за котлом:			
	RO ₂	%	8,8	9,8
	O ₂	%	11,2	10,1
	CO	%	0,0028	0,0055
	NO _x	%	0,0041	0,0082
	SO ₂	%	0,0012	0,0019
9	Коэффициент избытка воздуха за котлом	-	2,11	1,89
10	Температура уходящих продук. сгорания за котлом	°С	125	182
11	Температура сетевой воды на входе в котёл	°С	46	53
12	Температура сетевой воды на выходе из котла.	°С	62	86
13	Часовой расход каменного угля	кг/ч	35	75
14	Теплота сгорания каменного угля	ккал/кг	5351	5351
15	КПД котла (по обратному балансу).	%	88,3	87,0
16	Удельный расход условного топлива на выработку 1Гкал	$\frac{\text{кг.у.т.}}{\text{Гкал}}$	162,1	164,2
17	Концентрация вредных веществ в уходящих продуктах сгорания:			
	оксидов азота	мг/м ³	84,0	168,0
	оксидов углерода	мг/м ³	35,0	68,7
	диоксида серы	мг/м ³	34,2	54,2
18	Концентрация вредных веществ приведённая к нормальным условиям и L=1,0:			
	оксидов азота	мг/м ³	195,9	351,6
	оксидов углерода	мг/м ³	74,9	131,9
	диоксида серы	мг/м ³	73,2	104,0
19	Массовый выброс вредных веществ в атмосферу:			
	оксидов азота	г/сек	0,010	0,041
	оксидов углерода	г/сек	0,004	0,016
	диоксида серы	г/сек	0,004	0,013
	твердых частиц	%	0,9	2,04

Рисунок А2 – Табличні результат режимної карти котла №1

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЕ ВЕЛИЧИН	Размерность	Значения			
			Котел №1		Котел №2	
<u>1. ТОПЛИВО.</u>						
1.	Низшая рабочая теплота сгорания угля.	ккал/кг	5351	5351	5351	5351
		МДж/кг	22,420	22,420	22,420	22,420
2.	Влажность рабочая.	%	5,6	5,6	5,6	5,6
3.	Зольность рабочая.	%	27,2	27,2	27,2	27,2
4.	Содержание серы горючей.	%	3,2	3,2	3,2	3,2
5.	Влажность топлива приведенная.	%	1,04	1,04	1,04	1,04
6.	Зольность топлива приведенная.	%	5,08	5,08	5,08	5,08
7.	Содержание летучих на горючую массу.	%	40	40	40	40
8.	Расход топлива.	кг/час	35	75	30	75
9.	Уд. теплоемкость твердого топлива – уголь.	кДж/кг*К	1,26	1,26	1,26	1,26
<u>2. ВОЗДУХ И ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ.</u>						
1.	Температура горячего воздуха после вентилятора.	°С	31	42	33	44
2.	Температура окружающего воздуха.	°С	22	22	23	23
3.	Давление воздуха под колосниковой решеткой.	кгс/м ²	45	45	45	45
4.	Разрежение в топке котла.	кгс/м ²	2	2	2	2
5.	Разрежение за котлом после шиберя.	кгс/м ²	12	14	10	12
6.	Содержание в ух.продуктах сгорания за котлом:					
	RO ₂	%	8,8	9,8	9,0	10,6
	O ₂	%	11,2	10,1	11,0	9,2
	CO	%	0,0028	0,0055	0,0032	0,0048
	NO _x	%	0,0041	0,0082	0,0049	0,0068
	SO ₂	%	0,0012	0,0019	0,0028	0,0041
7.	Коэффициент избытка воздуха за котлом (α).	-	2,11	1,89	2,06	1,76
8.	Температура продуктов сгорания за котлом.	°С	125	182	120	192
9.	Коэффициент разбавления сухих продуктов сгорания за котлом (Z).	-	7,80	7,05	7,65	6,56
10.	Коэффициент разбавления сухих продуктов сгорания за котлом (h).	-	2,14	1,92	2,09	1,77
11.	Объем продуктов сгорания за котлом.	м ³ /час	463	883	386	818
<u>3. СЕТЕВАЯ ВОДА.</u>						
1.	Температура сетевой воды на входе в котел.	°С	46	53	41	54
2.	Температура сетевой воды на выходе из котла.	--/--	62	86	55	88
3.	Подогрев воды в котле.	--/--	16	33	14	34
4.	Давление сетевой воды на вход в котел.	кгс/см ²	1,8	1,8	1,6	1,6
5.	Давление сетевой воды на выходе из котла.	--/--	1,7	1,7	1,5	1,5
6.	Расход воды через котел (по обр. балансу).	м ³ /ч	10,3	10,5	10,2	10,3
7.	Теплопроизводительность котла	Гкал/час	0,165	0,349	0,142	0,350
8.	Процент тепловой нагрузки котла от номин.	%	48,0	101,0	41,0	102,0
<u>4. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЛА.</u>						
1.	Потери тепла в окружающую среду действит q ₃	%	3,6	1,7	4,3	1,7
5.	Номинальная расчетная величина потерь тепла в окружающую среду q ₃	%	1,8	1,8	1,8	1,8
3.	Потери тепла с уходящими газами действит q ₂	%	8,0	11,2	7,4	11,0
4.	Потери тла с химнедожегом q ₃	%	0,019	0,034	0,021	0,027
5.	Потери тепла с мехнедожегом q ₄	%	0,017	0,017	0,017	0,017
6.	Потери тепла с физической теплотой шлака q ₆	%	0,003	0,005	0,002	0,003

Рисунок А3 – Табличні результати узагальнених еколого – теплотехнічних випробувань котлів №1 та №2

1	2	3	4	5	6	7
7.	КПД котла номинальный (паспорт).	%	85-95	85-95	85-95	85-95
8.	КПД котла фактический (по обр.балансу).	%	88,3	87,0	88,2	87,3
9.	Удельный расход усл. топлива на выработку 1Гкал тепла.	кг.у.т/Гкал	162,1	164,2	161,5	163,8
10.	Содержание горючих в шлаке $\Gamma_{\text{шк}}$.	%	12,0	11,8	11,9	12,0
11.	Содержание горючих в уносе $\Gamma_{\text{ун}}$.	%	12,7	13,2	12,6	12,8
12.	Содержание горючих в провале $\Gamma_{\text{пр}}$.	%	15,3	15,0	15,5	15,2
<u>5. ЭКОЛОГО-ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ КОТЛА</u>						
13.	Концентрация вредных веществ фактическая: - оксидов азота - оксидов углерода - сернистого ангидрида	мг/м ³ мг/м ³ мг/м ³	84,0 35,0 34,2	168,0 68,7 54,2	100,4 40,0 79,9	139,4 60,0 117,2
14.	Концентрация вредных веществ приведенная к нормальным условиям и $\alpha = 1,0$: - оксидов азота - оксидов углерода - сернистого ангидрида	мг/м ³ --/-- --/--	195,9 74,9 73,2	351,6 131,9 104,0	228,7 83,6 166,9	268,9 106,2 207,4
15.	Массовый выброс вредных веществ в атмосферу: - оксидов азота - оксидов азота - оксидов углерода - оксидов углерода - сернистого ангидрида - сернистого ангидрида - твердые частицы	г/сек кг/час г/сек кг/час г/сек кг/час %	0,010 0,038 0,004 0,016 0,004 0,015 0,9	0,022 0,081 0,017 0,064 0,005 0,020 2,04	0,010 0,038 0,004 0,015 0,008 0,030 0,8	0,031 0,114 0,013 0,049 0,047 0,169 2,04
16.	ВСЕГО: NO _x + CO + SO ₂ Ожидаемый годовой выброс вредных веществ (при работе котла 4000 час в год) : - оксидов азота - оксидов углерода - сернистого ангидрида	кг/час кг/год кг/год кг/год	0,069 152,0 64,0 60,0	0,165 592,0 240,0 184,0	0,122 152,0 60,0 120,0	0,332 456,0 196,0 676,0
17.	ВСЕГО: NO _x + CO + SO ₂ Удельный выброс вредных веществ на выработку 1Гкал тепла: - оксидов азота - оксидов углерода - сернистого ангидрида	кг/год г/Гкал --/-- --/--	276,0 230,3 97,0 90,9	1016,0 424,0 171,9 131,8	332,0 267,6 105,6 211,2	1328,0 325,7 140,0 125,2
18.	Удельный выброс вредных веществ на 1000 кг сжигаемого угля: - оксидов азота - оксидов углерода - сернистого ангидрида	г/1000кг --/-- --/--	1085 457 1314	1973 800 613	1266 500 1000	1520 653 2253

Рисунок А4 – Табличні результати узагальнених еколого – теплотехнічних випробувань котлів №1 та №2

Додаток Б

Вид топлива и топливосжигающего устройства	Номинальная теплопроизво- дительность, МВт	Содержание вредных веществ в сухих неразбавленных уходящих газах, мг/м ³					
		Оксид углерода (CO)			Оксиды азота в пересчете на NO ₂ (NO _x)		
		Класс I	Класс II	Класс III	Класс I	Класс II	Класс III
Котлы для твердого топлива с ручной топкой							
Антрацит и каменный уголь	Св. 0,1 до 0,3	3600	7200	24000			—
с выходом летучих веществ $V^{daf} < 10\%$	» 0,3 » 0,5	3000	6000	24000			—
	» 0,5 » 0,8	2500	5000	24000			—
Каменный уголь с выходом летучих веществ $V^{daf} > 10\%$	Св. 0,1 до 0,3	4500	9000	24000			—
	» 0,3 » 0,5	3600	7200	24000			—
	» 0,5 » 0,8	3000	6000	24000			—
Бурый уголь	Св. 0,1 до 0,3	5000	10000	24000			—
	» 0,3 » 0,5	4500	9000	24000			—
Древесина, торф	Св. 0,1 до 0,3	5000	10000	24000			—
Котлы для твердого топлива с механической топкой							
Антрацит и каменный уголь	Св. 0,1 до 0,5	2000	3600	12000			—
	» 0,5 » 1,0	1200	2000	8000			—
	» 1,0 » 4,0	750	1500	6000			—
Бурый уголь	Св. 0,1 до 0,5	2500	4000	24000			—
	» 0,5 » 4,0	2000	3200	24000			—
Древесина, торф	Св. 0,1 до 0,5	2500	4200	24000			—
	» 0,5 » 1,0	2200	3700	24000			—
	» 1,0 » 4,0	2000	3300	24000			—
Природный газ							
Атмосферные горелки			160		100	160	250
Дутьевые горелки	Св. 0,1 до 4,0		130		80	120	200
Легкое жидкое топливо	Св. 0,1 до 4,0		130		160	250	300
Тяжелое жидкое топливо	Св. 0,1 до 4,0		160		250	300	400

Рисунок Б1 – Табличні значення вмісту шкідливих речовин відносно виду
палива