

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут
ім. акад. І.С. Гулого**

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»
Директор інституту
Блаженко С.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Петренко В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 2021 р.

«__» _____ 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 144 Теплоенергетика
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____

Теплоенергетика та енергоефективні технології

на тему: Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження
високоєфективних пальникових пристроїв

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗТЕ-2М

Галько Юрій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник доц. Філоненко Віталій Миколайович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Рецензент Собченко Віктор Васильович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2021 р.

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 144 Теплоенергетика

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Теплоенергетика та енергоефективні технології

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **ТЕХТ**

проф. Петренко В.П.

"10" листопада 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Галька Юрія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоефективних паливних пристроїв

керівник роботи к.т.н., доц. Філоненко Віталій Миколайович

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від "09" 11.2020 року № 935-кк

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2021 року

3. Вихідні дані до роботи водогрійний котел, який буде використовувати паливо струменево-кільового типу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- 1) Аналіз особливостей процесів горіння у паливних пристроях
- 2) Аналіз існуючих і розроблення нових підходів до створення високоефективних технологій спалювання палива
- 3) Дослідження параметрів експлуатації водогрійних котлів з модернізованим струменево-кільовим паливним пристроєм

5. Перелік графічного матеріалу

- Презентація майстерської роботи (10 слайдів)
- Графічна робота в форматі А1 (5 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

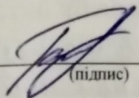
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10.11.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз особливостей процесів сервісу у комерційних підприємствах	12.11.2020	виконано
2	Аналіз існуючих і розроблення нових підходів до проведення високоякісних виїзних та кейсових спостережень	20.11.2020	виконано
3	Дослідження ринку в експлуатації водотрубопроводів, що модернізовані існуючими водопровідними мережами підприємств	10.12.2020	виконано
4	Оформлення звітності	18.12.2020	виконано
5	Формування висновків	14.01.2021	виконано

Здобувач


(підпис)

Галько Ю.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Філоненко В.М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ . . . . .	.7
ВСТУП . . . . .	.10
1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ У ПАЛЬНИКОВИХ ПРИБОРІХ . . . . .	.12
1.1 Параметри фізичних процесів, що відбуваються у пальникових пристроях . . . . .	.12
1.2 Механізми горіння газового палива . . . . .	.16
1.3 Засоби стабілізації процесів горіння . . . . .	.20
2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ І РОЗРОБЛЕННЯ НОВИХ ПІДХОДІВ ДО СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА . . . . .	.28
2.1. Формування основних вимог до пальникових пристроїв . . . . .	.28
2.2. Найбільш поширені газові та газо-мазутні пальникові пристрої . . . . .	.33
3. УЗАГАЛЬНЮЮЧА КЛАСИФІКАЦІЯ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИБОРІВ . . . . .	.50
3.1 Класифікація пальникових пристроїв за газодинамічними системами . . . . .	.50
3.2 Обґунтування положень щодо запропонованих технологій спалювання палива . . . . .	.56
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСЛУАТАЦІЇ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ, ЩО МОДЕРНІЗОВАНІ СТРУМЕНЕВО-НІШОВИМИ ПАЛЬНИКОВИМИ ПРИБОРІМИ . . . . .	.63
4.1 Аналіз та оптимізація розташування елементів пальникового пристрою . . . . .	.63
4.2 Теплотехнічні дослідження параметрів котла КВГМ-20 з пальником СНТ-45 . . . . .	.68

4.3	Теплотехнічні дослідження параметрів котла НІИСТУ-5 модернізованого на основі СНТ . . . . .	.69
4.4	Результати модернізації котлів малої потужності . . . . .	.71
4.5	Вплив робочого процесу струменево-нішових палинкових пристроїв на характеристики котлів КВГМ та ПТВМ . . . . .	.73
5.	ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОТЕЛЬНІ . . . . .	.76
5.1	Вихідні технічні умови . . . . .	.76
5.2	Підбір обладнання та його технічні характеристики . . . . .	.76
5.3	Електроосвітлення . . . . .	.80
5.4	Захисні заходи електробезпеки. Блискавкозахист і заземлення . . . . .	.83
6.	АВТОМАТИЗАЦІЯ КОТЛА КВГМ-20 . . . . .	.83
6.1	Теплотехнічний контроль . . . . .	.83
6.2	Засоби автоматизації . . . . .	.84
6.3	Розміщення засобів автоматизації . . . . .	.86
6.4	Вказівки для системи диспетчеризації на АРМ оператора . . . . .	.87
6.5	Вказівки з експлуатації. Техніка безпеки . . . . .	.86
7.	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕКОНСТРУКЦІЇ . . . . .	.89
7.1	Вихідні дані для розрахунку . . . . .	.89
7.2	Розрахунок капітальних витрат . . . . .	.90
7.3	Визначення економії палива за сезон . . . . .	.92
7.4	Визначення амортизаційних відрахувань . . . . .	.93
7.5	Визначення основних показників економічної ефективності запроектованих заходів . . . . .	.94
8.	ОХОРОНА ПРАЦІ . . . . .	.96
8.1	Мікроклімат і чистота виробничих приміщень . . . . .	.96
8.2	Виробничий шум та вібрація . . . . .	.98
8.3	Освітлення виробничого приміщення . . . . .	.99
8.4	Електробезпека . . . . .	.100
8.5	Пожежна безпека . . . . .	.102

9. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА . . . . .	.105
9.1 Характеристика об'єкта . . . . .	.105
9.2 Правова охорона навколишнього природного середовища у промисловості . . . . .	.106
9.3 Перелік і характеристика потенційних джерел впливу на навколишнє середовище . . . . .	.109
ВИСНОВКИ . . . . .	.114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ . . . . .	.115

АНОТАЦІЯ

Одним із основних напрямків підвищення теплової ефективності даного обладнання є використання нових прогресивних технологій спалювання палива. Серед таких технологій особливо вирізняються технології, основані на використанні струменево-нішових систем. Дані технології і відповідні пальникові пристрої володіють цілим рядом переваг, таких як широкий діапазон стійкого горіння, низький гідравлічний опір по тракту окисника та ін. Розвиток указаних технологій та їх широке впровадження вимагає великого об'єму знань про закономірності протікання теплофізичних і явищ, що за ними сліднують, при реалізації даних технологій спалювання. У зв'язку з цим, актуальним є розробка теплофізичних основ технологій спалювання палива з використанням струменево-нішових систем.

Метою роботи є науково-технічне обґрунтування прогресивних технологій спалювання газоподібних палив на основі струменево-нішових систем та розробка на цій основі відповідних технічних рішень та рекомендацій по їх впровадженню.

Об'єкт дослідження: фізико-хімічні процеси, що протікають в пальникових пристроях при спалюванні газоподібного палива.

Предмет дослідження: закономірності аеротермохімічних процесів в пальникових пристроях зі струменево-нішовою системою сумішоутворення та стабілізації горіння.

В результаті виконання магістерської роботи виявлені основні закономірності протікання робочих процесів систем, що складаються з кількох струменево-нішових модулів; показано, що в даних системах має місце значне скорочення довжини факела у порівнянні з автономним модулем; встановлено факт практичної ідентичності робочих процесів в окремих модулях системи,

					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Галько Ю.О.</i>			<i>Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоефективних пальникових пристроїв</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>								
<i>Керівник</i>		<i>Філоненко В.М.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Петренко В.П.</i>						
						<i>НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м</i> <i>7</i>		

що обумовлює правомірність використання модульного підходу до конструювання пального пристроїв типу, що розглядається.

Для струменево-стабілізаторних пального пристроїв з трапецієвидними нішовими порожнинами встановлені закономірності теплообміну та аеродинаміки в спеціальних системах їх охолодження, котрі характеризуються тим, що в них в якості охолоджуючого агента застосовується природний газ перед його подаванням на спалювання; проведений аналіз теплового стану даних пристроїв і виконана загальна оцінка ефективності їх систем охолодження.

Виконано зіставлення основних характеристик робочих процесів, запропонованих пального пристроїв на основі струменево-нішових систем і традиційних пального у складі вогнетехнічних об'єктів комунальної і промислової енергетики; отримані залежності приросту к.к.д. даних об'єктів (обумовленого заміною штатних пального на розроблені) від їх потужності та теплового навантаження.

Ключові слова: прогресивні технології спалювання палива, високоефективні пального пристрої, науково-дослідницька робота, оцінка ефективності модернізації, висновки.

ANNOTATION

One of the main ways to increase the thermal efficiency of this equipment is the use of new advanced fuel combustion technologies. Among such technologies, technologies based on the use of jet-niche systems stand out. These technologies and suitable burner devices have a number of advantages, such as a wide range of stable combustion, low hydraulic resistance along the oxidant path, and others. The development of these technologies and their widespread implementation requires a large amount of knowledge about the laws of thermophysical and the phenomena that follow them in the implementation of these combustion technologies. In this regard, the development of thermophysical foundations of fuel combustion technologies using jet-niche systems is relevant.

As a result of the master's thesis, the main patterns of work processes of systems consisting of several jet-niche modules are revealed; it is shown that in these systems there is a significant reduction in the length of the torch compared to the stand-alone module; the fact of practical identity of working processes in separate modules of system is established that causes legitimacy of use of the modular approach to designing of burner devices of the considered type.

For jet-stabilizing burner devices with trapezoidal niche cavities, regularities of heat exchange and aerodynamics in special cooling systems have been established, which are characterized by the fact that natural gas is used as a cooling agent before it is fed to combustion; the analysis of a thermal condition of these devices is carried out and the general estimation of efficiency of their cooling systems is executed.

					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Галько Ю.О.</i>				<i>Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоєфективних пальникових пристроїв</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>								
<i>Керівник</i>	<i>Філоненко В.М.</i>					<i>НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м</i> 9		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Петренко В.П.</i>							

The comparison of the main characteristics of the working processes, the proposed burner devices on the basis of jet-niche systems and traditional burners in the composition of fire facilities of municipal and industrial energy; the obtained dependences of the efficiency of the efficiency these objects (due to the replacement of standard burners with the developed ones) from their capacity and heat load.

Key words: advanced technologies of burning fire, highly efficient burner annexes, scientific and preliminaries of a robot, evaluation of efficiency of modernization, conclusions.

ВСТУП

Завдання підвищення теплової та екологічної ефективності теплоенергетичного устаткування на даний час стають усе більш актуальними у зв'язку з неухильним подорожчанням палива і підвищенням вимог, що стосуються стану довкілля. Одним з основних напрямів підвищення теплової ефективності даного устаткування є використання нових прогресивних технологій спалювання палива. Серед таких технологій особливо виділяються технології, засновані на використанні струменево-нішових систем.

Особливий інтерес становить впровадження пальникових пристроїв (ПП) для реалізації ефективних технологій спалювання. При цьому важливим є дослідження гідротермохімічних аспектів робочого процесу таких пальникових пристроїв. Таким чином, тематика магістерської роботи охоплює розроблення теплофізичних засад технологій спалювання палива з застосуванням струменево-нішових систем, і є досить актуальною.

					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження вискоелефективних пальникових пристроїв</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Галько Ю.О.</i>						
<i>Перевір.</i>								
<i>Керівник</i>		<i>Філоненко В.М.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Петренко В.П.</i>						
						<i>НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м</i>		

1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ У ПАЛЬНИКОВИХ ПРИСТРОЯХ

1.1 Параметри фізичних процесів, що відбуваються у пальникових пристроях

Ефективність топкових процесів, як відомо, залежить від організації робочого процесу пальникових пристроїв, який складається з: роздачі горючого у потоці окиснювача, сумішоутворення паливної суміші, займання паливної суміші, стабілізації горіння, умов вигорання паливної суміші, формування полів швидкостей, температури та концентрації продуктів горіння у топковому просторі. Багато уваги в поточному часі приділяється удосконаленню всіх елементів робочого процесу: про це свідчить велика кількість публікацій [1 - 12].

В пальникових пристроях роздавальний процес паливної суміші відбувається струменями газу як вздовж так і поперек потоку окиснювача, і як малою кількістю струменів так і великою кількістю дрібних цівок. На рівномірність розподілу палива впливає кількість цівок. Від цього залежить якість сумішоутворення паливної суміші. Для інтенсифікації продуктів масообміну традиційно застосовують турбулізацію потоку решітками; тілами, що погано обтікаються і завихрювачами. Найбільш поширений спосіб інтенсифікації сумішоутворення – завихрювач потоку окиснювача. Завихрювач потоку також виконує функцію стабілізатора горіння за рахунок розрідження, яке виникло в середині вихрю і підсмоктує гарячі продукти спалювання із топкового простору. Необхідно відмітити, що при швидких обертах паливної суміші виникають значні масові відцентрові сили, які призводять до розподілу суміші у топковому просторі за густиною і це погіршує якість сумішоутворення.

					<i>00MKP144OP TEET 003.010ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Галько Ю.О.</i>			<i>Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоефективних пальникових пристроїв</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>								117
<i>Керівник</i>		<i>Філоненко В.М.</i>				<i>НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Петренко В.П.</i>						

Підготовка паливної суміші ще до сумішоутворення — дуже важливий процес від якого залежить організація механізму горіння.

Основою робочого процесу паливного пристрою є:

- аеродинамічні процеси, які характеризуються структурою течії (розмір вихрових структур, інтенсивність турбулентності, полями швидкостей горючого, окиснювача і продуктів згоряння);

- процеси сумішоутворення, які характеризуються полем концентрації, протяжністю ділянок закінчення сумішоутворення (повна гомогенізація паливної суміші) та процеси хімічної кінетики (вигорання паливної суміші): координати займання і завершення вигорання паливної суміші (розташування факела), концентраційні поля компонентів, що беруть участь у горінні.

Основними характеристиками робочого процесу паливного пристрою є:

- повнота горіння

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{втр}}}{G_z - Q_H^p}, \quad (1.1)$$

де $Q_{\text{втр}}$ – втрати теплоти у паливному пристрої від хімічного недопалу у навколишнє середовище), стійкість горіння (за швидкості потоку окиснювача W_B , за коефіцієнтом надлишку повітря α , за теплової потужності Q_T (що залежить від витрат палива G_T та, таким чином, від тиску палива P_T));

- об'ємна теплонапруженість горіння:

$$q_v = \frac{Q_P^H \times G_T}{V_T}, \quad [\text{МВт}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})], \quad (1.2)$$

де Q_P^H - нижча теплота горіння одиниці палива, V_T – об'єм топкового простору;

- гідравлічний опір (коефіцієнт гідравлічного супротиву)

$$\varphi_{\text{гид}} = \frac{\Delta P_T}{\rho \times \frac{W_B^2}{2}}, \quad (1.3)$$

- ступень нерівномірності температур

$$\delta = \frac{T_G^{\max} - T_G^{\min}}{T_G} \times 100\% \quad (1.4)$$

де T_G^{\max} , T_G^{\min} , T_G - максимальне, мінімальне і середньомасове значення температури потоку, температурний стан елементів пального пристрою $T_G < 400$ °С, емісія токсичних речовин (NO_x , CO, CO_2 та ін.) визначається нормами для кожного виду VO_x та його енергетичними параметрами.

До робочого процесу пального пристрою пред'являють вимоги, що не можуть бути задоволені при реалізації кінетичного і дифузійного механізмів горіння. Так, підвищення термодинамічної ефективності циклу потребує високої інтенсивності горіння, якою відрізняється кінетичне горіння (заздалегідь перемішаної) суміші. Разом з цим, для забезпечення маневреності обладнання, необхідно підтримувати високу ефективність у широких діапазонах складу суміші, що досягається за допомогою дифузійного горіння.

За турбулентною течією газу зона горіння 3 (рис 1.1, б), окрім суміші вихідного газу і продуктів горіння, містить також кисень. У зоні 4, разом з переважаючим вмістом повітря, містяться продукти горіння та газ. Фронт горіння представляє з себе не конусоподібну поверхню, а зону 5, де горіння відбувається з найбільшою інтенсивністю і спостерігається найбільш високий вміст продуктів горіння.

Співвідношення концентрації газу та повітря у зоні 5 близьке до стехіометричного. Незважаючи на це, у зоні 5 встигають прореагувати лише 65-85% горючого, решта 15 - 35% реагують у зоні горіння 4.

Внаслідок недостатньої однорідності суміші процес горіння у зоні 4 може не завершитися і продукти неповного горіння потраплять у низькотемпературні області факелу, для природнього газу це – 700 - 800°С, де горіння стає неможливим. Така ситуація характерна при відсутності підігріву повітря, тому чисто дифузійне спалювання газових струменів у відкритому факелі зазвичай супроводжується деякою втратою тепла від хімічної неповноти горіння.

Якщо палик встановити у камеру горіння зі стінками, що не

охладжуються, то схема спалювання газу буде виглядати інакше. Уявимо найпростіший пальник у вигляді двох концентричних труб. До меншої труби подається газ, а за міжтрубним кільцем – повітря, кількість якого можна регулювати (зовнішнє змішування). Зміна співвідношення кількості газу і повітря різко міняє картину горіння (рис. 1.2). При надлишку повітря (рис. 1.2, а) зона 1 має вигляд конуса, заповненого газом. Цей конус оточений зоною 2, в якій рухається суміш газу з продуктами горіння.

Повітряне ядро 6 у вигляді кільця, оточене зоною 4 – суміш повітря і продуктів зрорання, що знаходиться у русі. Інтенсивно газ горить в зоні 3, на границі між 2 і 4 зонами. Характерною особливістю горіння газу у камері є наявність рециркуляційної зони 5, де деяка частина гарячих продуктів горіння вертаються до кореня факелу, в результаті чого повітря, що вступає у реакцію з газом, попередньо прогрівається. Недостача повітря (рис. 1.2, б), що поступає через пальник, призводить до того, що зона 2, у якій знаходиться суміш газу з продуктами горіння, значно збільшується у розмірі, чим визиває невідворотній ріст неповноти горіння.

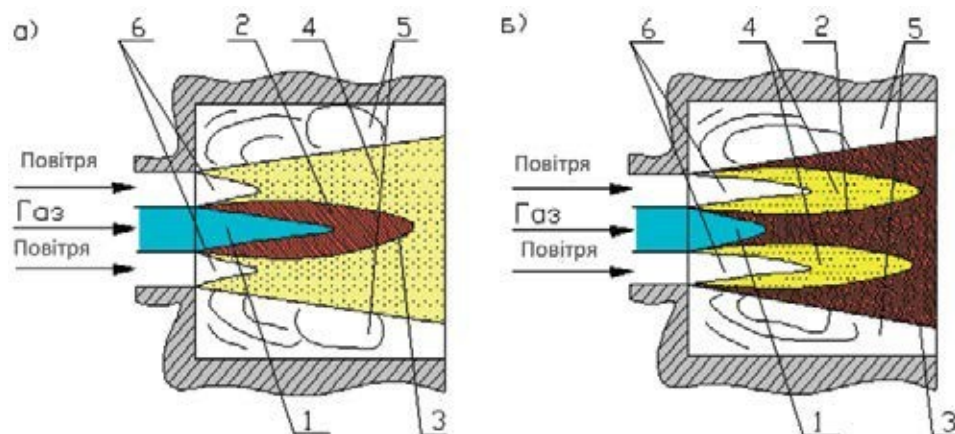


Рис. 1.1. Схема дифузійного горіння газового струменя у топковій камері, при (а) надлишку та (б) недостатчі повітря

В цьому випадку інтенсифікація перемішування газу з повітрям не може призвести до зниження неповноти горіння, так як і при наявності рециркуляційної зони. Полум'я червоного окрасу з темними полосами, свідчить про виділення

сажі. Сам факел стає довшим. Навпаки, при надлишку повітря факел скорочується, полум'я стає блідим, з синім відтінком. Дифузійне полум'я природного газу, що світиться відрізняється рівномірною температурою за всією довжиною зовнішньої поверхні факелу (1000 - 1050°C). Внутрішня частина полум'я має більш високу температуру, що досягає - 1400°C на відстані приблизно 2/3 довжини факелу, рахуючи від устя пальника. Внаслідок того, що факел полум'я світиться і має більшу довжину, спалювання газів за допомогою пальників зовнішнього змішування застосовують в печах, де потрібно підтримувати рівномірну температуру на значній довжині топки чи каналів печі де є великі об'єми, які дозволяють вільно розвиватися факелу, однак не завжди потрібно світіння полум'я.

У топках котлів через велику віддачу теплоти випромінення від факела до поверхні нагріву котла, температура факелу знижується з більшою інтенсивністю, факел видовжується, і горіння може переноситися частково з топки у газоходи. У результаті виникає значна неповнота горіння, температура газів що виходять росте, ККД котла знижується. Особливо сильно ростуть втрати внаслідок неповноти горіння у тому випадку, якщо частина факела що світиться, торкається відносно холодних поверхонь нагріву, що можуть покритися шаром сажі, а при особливо несприятливих умовах навіть прогоріти. Тому у топках котлів при застосуванні дифузійних пальників створюють умови, щоб змішування газу з повітрям проходило на найкоротшому шляху розвитку факела. Найпростішим засобом, що пришвидшує перемішування є надання газу у топку у вигляді великого числа малих струменів під кутом до потоку повітря та інтенсифікація подання повітря до коренів факелів.

1.2 Механізми горіння газового палива

На практиці газопальникові прилади які працюють за принципом вільного струменю витоку палива застосовують рідко. Для того, щоб покращити процес змішування і тим самим збільшити інтенсивність горіння, деколи використовують

коаксіальну (співвісну) подачу газу і повітря, наприклад у топках ВТИ зі струменями, що співударяються. Наглядно механізми спалювання можна спостерігати коли газ горить у довгій трубі (рис. 1.3). Після виходу газової суміші з газового колектору у набігаючий потік повітря, відбувається макророзмішування газу з повітрям при помітній нерівномірності їх густини. При стабілізації горіння у цій області має місце метод дифузійного горіння. При цьому час дифузії набагато більше часу хімічної реакції ($\tau_{\text{диф}} \gg \tau_{\text{х.к}}$). Далі відбувається мікродифузійне змішування і вирівнювання густини потоку. Час дифузії же приблизно дорівнює часу хімічного реагування ($\tau_{\text{диф}} \approx \tau_{\text{х.к}}$). На останньому етапі змішування газового палива у трубі можливе тільки за кінетичним горінням так як час хімічного реагування набагато більший, ніж час дифузії, що прямує до нуля ($0 \approx \tau_{\text{диф}} \ll \tau_{\text{х.к}}$).

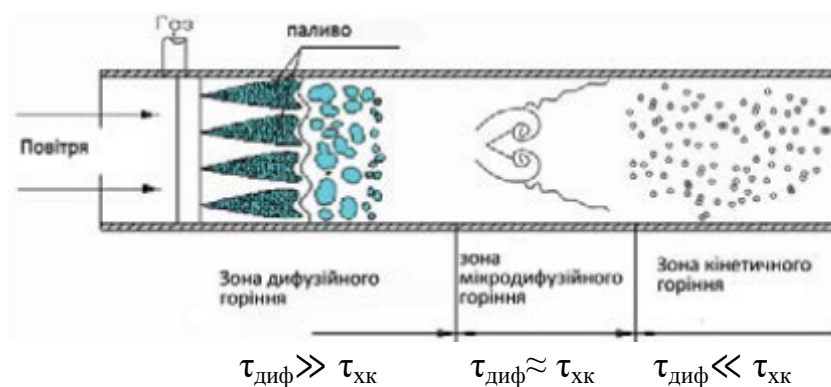


Рис. 1.2. Механізм спалювання газу

Вперше поняття мікродифузійного механізму горіння ввів Д.А. Франк-Камецький [17, 18]. Під мікродифузійним процесом горіння мають на увазі такий тип, коли паливо роздроблене на окремі малі об'єми, які розподілені у потоці повітря (рис 1.2). Ця особлива різновидність турбулентного горіння також представлена у роботах [19 - 14].

У випадку мікродифузійного горіння швидкість протікання реакції визначається процесом мікророзмішування. Час реагування горючого і окиснювача порівняний з часом перемішування до горючих концентрацій. Визначальну роль грає масштаб дроблення (δ), тобто середній розмір тих об'ємів, на які роздроблене горюче в окиснювачі. Структура течії утворюється з комірок горючого і

окиснювача, що роздроблені пульсаціями турбулентної течії. Полум'я переміщується за поверхнею даних комірок. Таким чином, для організації мікродифузійного горіння необхідно мати можливість варіювати співвідношення швидкості дифузійного змішування і швидкості хімічних реакцій. Змінюючи це співвідношення процесу горіння можна досягти таких результатів, які характерні для дифузійного чи кінетичного горіння, причому граничним випадком підвищення інтенсивності горіння є перехід у кінетичну область. Нижче приведені дані експериментального дослідження мікродифузійного процесу горіння (рис. 1.3).

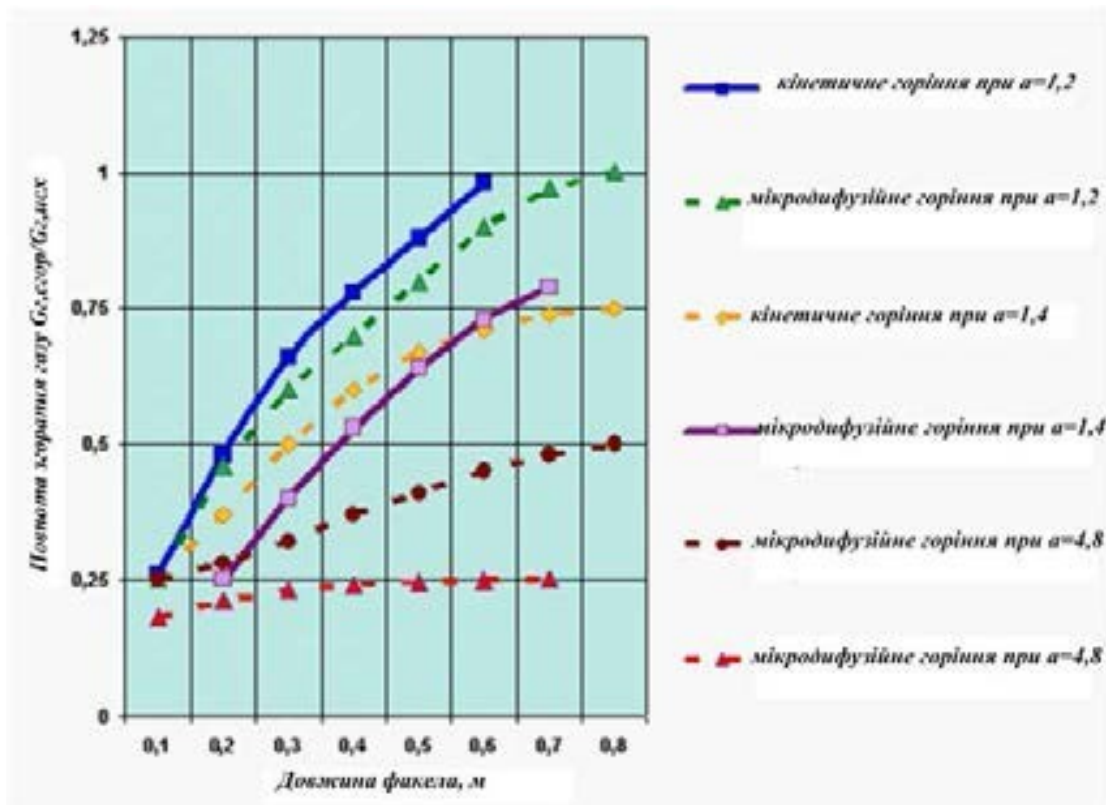


Рис. 1.3. Динаміка горіння газу

При коефіцієнтах надлишку повітря пального $\alpha_{\text{гор}} = 1,2$ і $1,4$ порівнювалася динаміка горіння палива при кінетичному та мікродифузійному горінні. Частка газу, що спаливалась у певному проміжку, визначалася розрахунковим шляхом, а також контролювалася газоаналізом.

У результаті було встановлено, що криві горіння близькі між собою у тій області, де характеристики процесу можна безпосередньо заміряти. Для бідних

сумішей на початковій ділянці зони горіння інтенсивність процесу у мікродифузійному факелі вище, оскільки при коефіцієнті балансу надлишку повітря $\alpha_{гор} = 1,4$ місцевий надлишок характеризується меншим значенням ширини фронту полум'я. Надалі, інтенсивність горіння при мікродифузійному механізмі трохи відстає від інтенсивності горіння при кінетичному механізмі.

Разом з тим, мікродифузійний факел з широтою діапазону горіння за коефіцієнтом надлишку повітря пального $\alpha_{гор}$, значно краще кінетичного. При цьому було встановлено, що у тій самій камері горіння інтенсивність мікродифузійного горіння при α , відповідному концентраційним межам поширення полум'я, близька до інтенсивності кінетичного горіння.

На основі цих даних можна зробити висновок, що проміжний мікродифузійний режим горіння вдало поєднує у собі характеристики процесів дифузійного і кінетичного горіння, найбільш сприятливі умови для забезпечення високої ефективності робочого процесу пального пристрою.

Таким чином для забезпечення високоінтенсивного горіння у широкому діапазоні зміни складу суміші, необхідно організувати ефективне сумішоутворення за об'ємом потоку пальної суміші.

Для реалізації кінетичного механізму горіння у топковий простір подають повністю підготовану газоповітряну суміш, у якій є не тільки теоретично необхідна, але й надлишкова кількість повітря, яка потрібна для забезпечення повного горіння газу. Все це повітря змішується з газом до виходу у топку у спеціальних змішувачах, причому змішування частинок газу з повітрям не тільки грубе молярне, але й молекулярне. Така заздалегідь підготована газоповітряна суміш швидко вигорає з коротким факелом із слабким світінням, при обов'язковій наявності стабілізатора горіння, так як процеси змішування не лімітують загальну швидкість горіння.

При поданні у керамічний тунель газоповітряної суміші, що містить показники близькі до стехіометричних, факел полум'я газу майже ніколи не має видимих меж, особливо на фоні розпечених вогнетривких матеріалів. Саме тому такий метод спалювання деколи називають безполуменим.

Слід відмітити, що проблемами горіння газоповітряних сумішей в умовах великомасштабних турбулентностей потоку, у різні часи, приділялася значна увага. Цій проблемі присвячений ряд теоретичних та експериментальних робіт.

В ЕНДІ на великому лабораторному пальнику проведено дослідження процесу горіння підігрітих сумішей природного газу у повітрі, результати яких свідчать, що найбільші (при інших рівних умовах) об'ємні теплові напруження можна отримати при спалюванні підігрітих сумішей у пальниках з двостороннім підпалюванням газоповітряного потоку. Однак можливість початкового підігріву суміші обмежена температурними рівнями, при яких відбувається її спалахування у змішувачі, а також термічний розпад. Також вивчався вплив початкової температури на основні характеристики процесу горіння однорідної суміші у турбулентному потоці. У результаті дослідження було підтверджено існування впливу початкової температури газоповітряної суміші на швидкість розповсюдження полум'я, довжину факела й час горіння.

Слід зазначити, що пальникові пристрої, які найбільш часто застосовують у промислових вогнетехнічних об'єктів, з точки зору механізмів, що реалізуються у них, часто не можуть бути віднесені до якогось одного з трьох основних, розглянутих вище механізмів горіння, оскільки ці пальникові пристрої, як правило, являються комбінованими. Основна різниця між ними зв'язана зі ступеню підготовки газоповітряної суміші, яка рухає механізм горіння, або у дифузійну, або у кінетичну область.

1.3 Засоби стабілізації процесів горіння

Наявність стійкого полум'я являється дуже важливою умовою надійної та безпечної роботи вогнетехнічних об'єктів любого призначення. При нестійкому горінні, на деяких режимах полум'я може «проскочити» всередину пальника, або відірватися від нього. В обох випадках виникає загроза вибуху газоповітряної суміші при подальшому розпалюванні.

Слід зазначити, що потік суміші, який виходить з устя пальника завжди має

нерівномірне поле швидкостей: чим ближче до стінок, які гальмують потік, тим менше швидкість. Максимальна осева швидкість у центрі потоку може значно перевищувати нормальну швидкість розповсюдження полум'я (яка є складовою загальної швидкості та перпендикулярна фронту горіння). У результаті форма фронту полум'я при круглому усті пальника стає конусоподібною. Друга складова швидкості розповсюдження полум'я направлена вздовж нахиленої поверхні конуса до його вершини, що полегшує гасіння полум'я. Для стійкого існування конусного полум'я доводиться постійно підпалювати газоповітряну суміш неподалік від стінок, де швидкість виходу потоку із устя – мінімальна. Стінки пальника не тільки гальмують потік суміші, але і охолоджують його. Внаслідок цього у місці згину конуса утворюються кільцева зона, де швидкості потоку і розповсюдження полум'я є рівними, тобто утворюється зона зворотних токів (на малюнках 3.3.Г.). Ця зона і слугує постійним вогнищем для підпалу решти конусної поверхні горіння.

Потужність кільцевої зони підпалювання, а звідси й стійкість всього факелу пальника значно залежить від складу суміші: чим більше у ній горючого газу, тим надійніше пояс підпалення і менша вірогідність відриву факела. За іншими рівними умовами у випадку, коли з устя виходить тільки газ, найбільшу стійкість має дифузійний факел.

При зростанні теплової потужності пальника і досягненні швидкості потоку якоїсь межі, запалювальної дії зони стає замало тоді спостерігається відрив полум'я. Відрив може бути частковим, коли горіння відбувається на деякій відстані від устя пальника і повним, коли горіння повністю припиняється. Зменшення теплової потужності пальника веде до меншої швидкості потоку і спостерігається менша швидкість поширення полум'я. У такому випадку відбувається проскакування полум'я, в зону сумішоутворення.

При стійкому горінні частково підготовленої суміші, полум'я складається з двох конусів - зовнішнього та внутрішнього. На поверхні внутрішнього конуса вигорає частина горючого, що забезпечена первинним повітрям яке є у суміші. У цій зоні розвивається висока температура і вона виділяється на фоні синюватого

зовнішнього конуса своїм зелено-голубим кольором. Основа внутрішнього конуса розміщується від зрізу устя на відстані, яка приблизно рівна товщині зони горіння, яка утворює поверхню конуса (для суміші метану з повітрям – менше 1 мм). Решта горючого догоряє у зовнішньому конусі за рахунок повітря, що дифундує у нього з атмосфери.

Велика витрата енергії ззовні, що необхідна для розриву чотирьох зав'язків C—H у молекулі метану, визначає його низьку реакційну здібність. Це викликає великі труднощі для ефективного спалювання природного газу, у якого у складі від 70 до 98 % метану. Так, нормальна швидкість розповсюдження полум'я у суміші природного газу і повітря (у зіставлених умовах) у 6-7 раз менше, ніж у гідрогену. При цьому, особлива увага для надійного підпалювання та ефективного горіння приділяється забезпеченню стабілізації горіння.

Швидкість розповсюдження полум'я у різних газів неоднакова. Найбільшу номінальну швидкість розповсюдження полум'я має суміш гідрогену з повітрям (2,1 м/с), а найменшу – метану з повітрям (0,37 м/с). Так як метан є основою природного газу, то природний газ має низьку реакційну здібність. Проведені нами аналізи продуктів горіння показали, що за рахунок цього на виході з топкового простору котлів іноді виявляється метан, що не згорів.

Слід звернути увагу, що вміст у продуктах горіння - 0,5% метану означає втрати теплоти внаслідок хімічної неповноти горіння близько 5% при $\alpha=1$. Проведений нами енерго-аудит котелень допоміг виявити у вихідних газах котлів природний газ який не згорів. Таке явище характерне для пальникових пристроїв з інтенсивною закруткою потоку окиснювача, яка приводить до надлишку горючого в області де температура середовища нижча температури займання.

При збільшенні швидкості потоку суміші і коефіцієнту надлишку повітря відбувається перехід від ламінарної до турбулентної течії потоку, у результаті чого з'являється вихрові рухи і пульсацій, які чітко окреслений конусний фронт полум'я розмивається, його товщина росте, полум'я стає нестійким і прагне відірватися, або проникнути всередину пальника.

Кількість первинного повітря у газоповітряній суміші являється одним з

основних факторів, що впливають на швидкість розповсюдження полум'я. У сумішах в яких вміст газу перевищує верхню границю його займистості (вибуховості), полум'я взагалі не поширюється. Зі збільшенням кількості первинного повітря у суміші швидкість поширення полум'я збільшується, досягаючи найбільшого значення при вмісті повітря близько 90% від теоретично необхідного. З цього випливає, що при збільшенні подання первинного повітря у пальник і наближення складу суміші до стехіометричного, підвищується небезпека проскоку полум'я всередину пальника.

У виробничому процесі неприпустимі як відрив полум'я (частковий і повний), так і його проскок всередину пальника. В першому випадку топка і газоходи, а деколи і приміщення котельні заповнюються газом який не згорів до кінця, утворюється вибухонебезпечна газоповітряна суміш, яка при наявності джерела необхідної температури може привести до вибуху. У другому випадку полум'я, як і при відриві, може згаснути і газ почне виходити у топку, заповнюючи при цьому її газоходи. Якщо горіння буде продовжуватися у пальнику, то через різке збільшення його опору по тракту окиснювача воно буде відбуватися з великим хімічним недопалом і продукти неповного горіння газу, які заповнюють топку і газоходи, також можуть утворити вибухонебезпечні та токсичні (в основному за рахунок закису вуглецю) суміші. Внаслідок перегріву пальник може вийти з ладу. Звідси виходить, що конструкція пальника має забезпечувати стабільність полум'я без його відривання і проскокування у всьому розрахунковому діапазоні регулювання його теплової потужності.

Стійкість факелу у відношенні відриву у пальників, що видають газоповітряну суміш з $\alpha_r \geq 1$, забезпечується установкою спеціальних стабілізаторів. Конструктивно стабілізатори полум'я можуть бути: вбудовані безпосередньо у пальник (наприклад, тіла що мають поганообтічну форму, кільцеві стабілізатори), примикати до нього (керамічні тунелі, підпалюючі факели стаціонарних запальників), або розташовуватися у топці на деякій відстані від пальника (керамічні гірки, решітки, розсікачі). Схема стабілізації полум'я факелом стаціонарного запального пристрою приведена на рис. 1.4, а. Надійність

цього методу залежить, у свою чергу, від стійкості запального факелу. Найбільш поширені у печах і котлах - керамічні тунелі циліндричної, конічної, прямокутної або щілиноподібної форми. У тунель зазвичай поступає підготовлена суміш газу з повітрям з попереднім підгрівом повітря або без нього. У ряді випадків у тунель подають частково підготовану газоповітряну суміш або навіть роздільно газ і повітря, і тоді тунель окрім свого основного призначення – стабілізувати полум'я – виконує функції змішувача. У тунель можна подавати з устя пальника прямолінійний потік газоповітряної суміші, у якому всі лінії токів паралельні вісі пальника або мають невеликий кут (при конфузорному усті). Такі пальники деколи називають прямоструменевими. До них відносять, наприклад, інжекційні пальники середнього тиску. У тунель можна подавати попередньо закручений потік газоповітряної суміші. Пальники з закруткою потоку, що виходить з устя, часто називають вихровими.

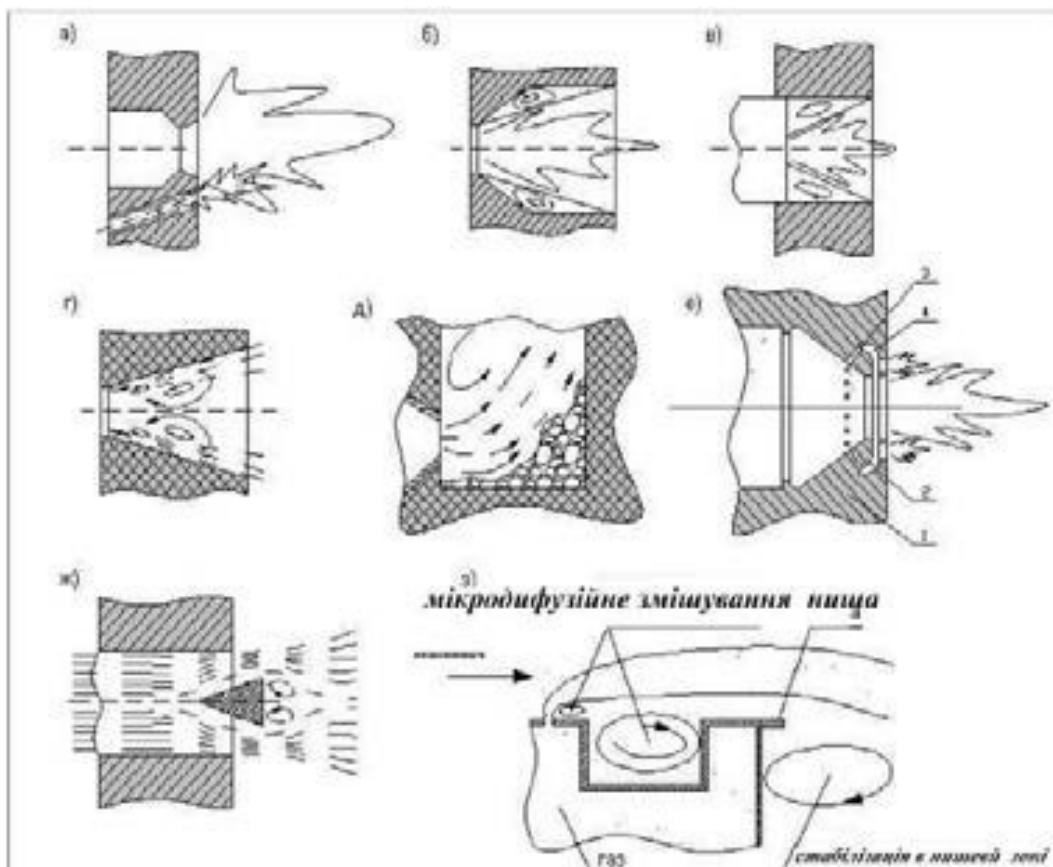


Рис. 1.4. Схеми стабілізуючих пристроїв, що запобігають відриванню полум'я:

Схеми стабілізуючих пристроїв, що запобігають відриванню полум'я: а) пілотний

факел; б) циліндричний тунель з раптовим розширенням; в) циліндричний тунель без розширення; г) конічний тунель; д) керамічна гірка; е) кільцевий стабілізатор (1 – кільце; 2 – зовнішня поверхня вогневого насадку; 3 – бокові отвори; 4 – кільцева порожнина); ж) тіло з поганообтічною формою; з) ніша.

Пальники без закрутки потоку суміші, які мають круглу форму устя, компонуються циліндричними тунелями (рис. 1.4 б). Стабілізація полум'я у них досягається завдяки тому, що у кутовому просторі між стінками тунелю і потоком газоповітряної суміші, що розширюється, відбувається циркуляція частини продуктів горіння. Ці вихрові структури розпечених газів сприяють підігріванню і підпалюванню суміші, що виходить з пальника, у результаті чого досягається інтенсивне горіння і надійна стабілізація полум'ям. Стійкість горіння у тунелях не порушується при швидкості вильоту газоповітряної суміші з пальника, значно перевищуючий - 100 м/с. Для підігрітих газоповітряних сумішей стійкість горіння ще вище. Внутрішній діаметр циліндричного тунелю D_t приймають рівним $\approx 2,5 D_y$, де D_y – діаметр устя. При такому розмірі тунель практично не створює додаткового супротиву потоку гарячої суміші. Стабілізація у тунелі забезпечується при його довжині $L_t \geq D_t$. При $L_t \geq (2,5 - 3)D_t$ горіння газу у тунелі практично закінчується, однак виникаючі при цьому високі температури скорочують строк його служби. Тому досить часто довжину тунелю приймають у межах $L_t \approx (1,5 - 2,5)D_t$, при цьому процес догорання газу виноситься з тунелю у топку. Пальники з закруткою потоку повітря або газоповітряної суміші компонують з циліндричними тунелями рідше. Закрутка веде до різкого розширення кута розкриття потоку, що дозволяє застосовувати укорочені тунелі з $L_t \leq D_t$. При цьому тунелі можуть мати раптове розширення $D_t \approx 2,5 D_y$ (пальники типу ГНП Теплопроекту), $D_t = 1,5 D_y$ (пальники типу ГА Мосгазпроекту), $D_t = 2 D_y$ (пальники ГГВ Мосгазпроекту), виконуються без раптового розширення : $D_t = D_y$ (пальники для котлів ПТВМ) або мають конічну форму (газомазутні пальники всіх типів).

Закручений потік суміші, що виходить у тунель за рахунок відцентрових сил відкидається до стінок тунелю, а на виході з нього на короткому шляху

заповнює камеру горіння. В центральній частині кореню факела створюється зона розрідження, в яку відсмоктуються частина розпечених продуктів горіння. По мірі наближення до устя пальника ці продукти знову захоплюються основним потоком, у яких факел стабілізується у місці раптового розширення тунелю за рахунок вихрової зони, яка утворюється навкруги потоку суміші ззовні нього, у вихрових пальників стабілізація забезпечується зоною рециркуляції продуктів горіння всередині потоку газоповітряної суміші (рис. 1.4, в, г).

Прикладами щілиноподібних тунелів, виконуючих функції не тільки стабілізатора, але й змішувача, можуть слугувати тунелі поширених подових і форкамерних пальників.

У якості стабілізаторів полум'ям можуть використовуватися різного роду розпечені керамічні поверхні (гірки, розсікачі, стовбці, стінки, решітки тощо). У цьому випадку керамічна поверхня розміщується у топці так, щоб її можна було розпекти полум'ям того ж пальника, стійко працюючого при недостатності повітря. Після розігрівання вогнетриву до температури достатньої для підпалювання газу, кількість повітря, яка поступає у пальник збільшується до заданного, і полум'я при відриві від устя пальника стабілізується на поверхні розпеченого до 1000 - 1200°C вогнетриву (рис. 1.4, д). Стабілізатори цього типу відрізняються від інших тим, що розміщені на деякій відстані від устя пальника. Їх стабілізуюча здібність дещо менше, чим у керамічних тунелів.

У останні роки набули широкого застосування стабілізатори у вигляді тіл поганообтічної форми (рис. 1.4, ж). За тілом що має поганообтічну форму, введеним у потік газоповітряної суміші, утворюється зона загальмованого руху суміші газу. При відповідних поперечних розмірах стабілізатора у цій зоні виникають токи гарячих продуктів горіння, тобто створюється зона їх циркуляції. Шари газоповітряної суміші, розміщені на границі з зоною рециркуляції, підігріваються до температури займання і підпалюються, чим стабілізують полум'я в основному потоці. Стабілізуюча здібність тіла поганообтічної форми залежить від його форми і розмірів, наявності і розмірів зони рециркуляції, а також складу суміші (чим ближче до стехіометричної, тим надійніше

стабілізація). Найбільшою стабілізуючою здібністю володіють диски і шайби. Щодо відривних характеристик, то у циліндрів і керамічних тунелів - вони близькі. Правильно сконструйований і розміщений стабілізатор у вигляді тіла поганообтічної форми може виключити відрив полум'я при достатньо високій швидкості суміші, що виходить з устя пальника. Характерним прикладом пальників, у яких використовуються циліндричні і U-подібні стабілізатори, є пальники типу ІГК. Перевагою цих стабілізаторів є простота монтажу і малі габарити пальникового пристрою, так як відпадає необхідність у тунелях, а стабілізатор, як правило, вбудовується у конструкцію пальника.

Такими ж перевагами володіють і кільцеві стабілізатори (рис. 1.4, е), у яких частина газоповітряної суміші (від 5 до 10%) відділяється від основного потоку і спрямовується назовні не через устя, а через бокові отвори 3. Ця частина газоповітряної суміші, виходячи з отворів, потрапляє до кільцевої порожнини 4, яка утворена зовнішньою поверхнею січення кільцевої щілини і значно більше сумарної площі отворів, тобто швидкість у ній зменшується до значення, при якому не може відбутися відрив полум'я. Стійке горіння газу біля кільця забезпечує надійне підпалювання всієї суміші, що виходить з устя пальника з великою швидкістю. Кільцеві стабілізатори можуть компонуватися з пальниками, що видають газоповітряну суміш з $\alpha = 0,2 - 1,1$.

До недоліків кільцевих стабілізаторів і тіл поганообтічної форми можна віднести необхідність застосування у ряді випадків водяного охолодження або жаротривкого матеріалу, а також підвищення аеродинамічного опору через великі значення коефіцієнту загромадження.

Існує також нішова система стабілізації горіння (рис. 1.4, з), заснована на утворенні З.З.Т. у нішевій порожнині. Згідно принципу її роботи високо нагріті продукти горіння вертаються на початку зони горіння і підпалюють паливну суміш. Така система характеризується високою стабільністю горіння, так як має стійку зону зворотних токів у нішевій області.

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ І РОЗРОБЛЕННЯ НОВИХ ПІДХОДІВ ДО СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА

2.1. Формування основних вимог до пальникових пристроїв

На основі аналізу теоретичних робіт і значного об'єму практичних даних з використання різних вогнетехнічних установок з пальникових пристроїв можна сформулювати до них основні вимоги, виконання яких має сприяти їх надійності, економічності і мінімально екологічно шкідливості. Перш за все, конструкція пальникового пристрою повинна забезпечувати можливість впливу на всі стадії робочого процесу (сумішоутворення пального і окиснювача, займання паливної суміші, стабілізацію процесу горіння і формування необхідної якості продуктів горіння). В даному випадку під терміном «якість продуктів горіння» мається на увазі їх поля температури, концентрації і швидкості.

Відомо, що у багатьох видів пальникових пристроїв забезпечуються не всі стадії робочого процесу. Так доволі поширені подові пальники, які функціонально являються пристроями для змішування, оскільки при їх використанні стійкість горіння забезпечується шляхом використання особливостей топкового простору – розпеченої цегляної кладки вогнетехнічного пристрою або вихрової течії у топці. У таких випадках пальникові пристрої представляють з себе топки з подовим змішувачем і у кожному конкретному випадку доводиться налагоджувати взаємозв'язок пальникового пристрою з аеродинамікою топки.

Іншою доволі важливою характеристикою пальникового пристрою є надійність розпалювання при мінімально можливій витраті газу.

					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоєфективних пальникових пристроїв</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Галько Ю.О.</i>						
<i>Перевір.</i>								
<i>Керівник</i>		<i>Філоненко В.М.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Петренко В.П.</i>					<i>28</i> <i>НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м</i>	

Конструкція найбільш поширених пальникових пристроїв типу ГМ, ГМГ та інших забезпечує надійне займання і розпал при витратах газу, складаючих не менше 20 - 30% від витрат, які відповідають номінальній потужності. У дійсних вогнетехнічних об'єктах ця потужність досягає декількох МВт. Запуск вогнетехнічних об'єктів на такому рівні потужності приводить до «хлопків» та інших небезпечних явищ (термічні «удари», стрибки тиску у топці тощо). Внаслідок цих явищ доволі часто виникають нештатні ситуації: швидке розкриття або закриття шиберів на вентиляторах або димососах, що призводить до зміни швидкості потоку, витрати повітря, тобто зростання коефіцієнту надлишку повітря і в кінці-кінців - погашення факела пальникового пристрою, оскільки у подібних випадках автоматика безпеки не завжди встигає вчасно спрацювати.

Сучасні пальникові пристрої повинні забезпечувати стійке горіння і при різких коливаннях тиску і (відповідно) витратах газу. У ряді випадків пальникових пристроїв типу ГМ, ГМГ потрібно забезпечити можливість ефективної роботи у широкому діапазоні потужностей при коефіцієнті робочого регулювання $K_p > 5$ ($K_p = N_{\text{опт}}/N_{\text{min}}$) і коефіцієнті надлишку повітря $\alpha > 10$. До подібних ситуацій можна віднести: роботу котлів при змінному відпуску пари на технологічні процеси; зміну температурного режиму у печах різного призначення; забезпечення сушки футеровки вогнетехнічного об'єкта після ремонтних робіт тощо. Вище наведені конструкції пальникових пристроїв нездатні забезпечити ефективну роботу при глибокому регулюванні, і тому у випадках підтримки неперервного горіння факела К.К.Д. вогнетехнічного об'єкту падає, на 20 - 30%. Тому, наприклад, сучасні котли ПТВМ після перекладання футеровки сушать за допомогою спалювання деревини і цей процес може відбуватися протягом декількох тижнів.

Для досягнення ефективного регулювання потужності вогнетехнічних об'єктів, а також при пуску інколи використовують прийом, який передбачає відключення кількох пальників. Однак такий спосіб обов'язково тягне за собою погіршення газодинаміки топки, що являється причиною неприпустимих температурних нерівномірностей у топковому просторі. При цьому для

охолодження відключених пальникових пристроїв через них доводиться пропускати повітря, у зв'язку з цим збільшується як температурна нерівномірність, так і коефіцієнт надлишку повітря у топковому просторі.

Виходячи з необхідності досягнення максимальної енергетичної ефективності і екологічної безпеки щодо викидів CO, сучасні пальникові пристрої повинні забезпечувати повне спалювання паливної суміші у топковому просторі до її охолодження нижче температури займання у зоні максимальної тепловіддачі радіаційної частини, або у конвективній частині пальникового об'єкта. Для метану це значення температури знаходиться у межах 700 - 750 °C. У всьому діапазоні навантажень вогнетехнічного об'єкта їх пальникові пристрої повинні забезпечувати допустимий рівень емісії токсичних речовин (NO_x, CO, SO₂ тощо). Пальникові пристрої повинні забезпечувати можливість регулювання довжини і світимості факелу для досягнення необхідної інтенсивності і рівномірності розподілу теплових радіаційних потоків за топковим простором, що дуже важливо у печах різного призначення. Також пальникові пристрої повинні допускати управління аеродинамічною і концентраційною структурою течії продуктів горіння, що диктуються типом вогнетехнічного об'єкту. Так, наприклад, у мартенівських печах необхідний так званий - «жорсткий» факел, у камерах згоряння газотурбінних двигунів необхідна особлива форма профіля швидкостей потоку, що набігає на лопатки турбіни. При цьому в одних вогнетехнічних об'єктах необхідно створювати окиснювальне середовище, а в інших відновлююча.

До числа важливих характеристик пальникових пристроїв можна віднести їх аеродинамічний опір: як за трактом окиснювача, так і за трактом пального. З метою зниження витрат електроенергії на привід тягодуттєвих засобів аеродинамічний опір за трактом повітря слід мінімізувати. Малий опір дає можливість забезпечити розпал пальникових пристроїв без примусового наддуву, тільки за рахунок розрідження у топковому просторі. При підсмоктуванні повітря у топковий простір через пальникову амбразуру досягається максимально можлива рівномірність його течії, що дозволяє мінімізувати витрати газу на

розпал пального пристрою і підвищити рівень стійкості горіння на малих режимах. В той же час мінімізація опору за трактом пального дозволяє пальному пристрою працювати при межево низьких тисках газу, що особливо актуально у теперішніх умовах. З метою підвищення ступеня автоматизації функціонування і забезпечення безпеки конструкції і організації робочого процесу пальному пристрою повинні гарантувати простоту і надійність регулювання всіх робочих параметрів і змін режимів роботи. Багато видів пальникових пристроїв з часом у процесі експлуатації погіршують свої характеристики. Так, у подових пальниках газовий колектор деформується під дією термічних напружень, внаслідок чого порушується оптимальна геометрія повітряних каналів і рівномірність розподілу горючого у потоці окиснювача. К.К.Д. вогнетехнічного об'єкта при цьому може зменшитися на 5 - 20%. У пальному пристрої типу ГМ, ГИМГ, ГА та інші з часом у процесі експлуатації обгорають повітряні реєстри, що призводить до змін аеродинаміки течії і погіршення робочих характеристик.

Доволі шкідливу дію на надійність роботи пальному пристроїв має також наявність у їх складі керамічної футеровки, що застосовується для захисту металевих нагрівальних елементів. Внаслідок різної інтенсивності прогріву та коефіцієнтів термічного лінійного розширення металу і кераміки елементи футеровки періодично руйнуються і потребують оновлення. Подібний небажаний ефект може бути нівельований завдяки самоохолодженню пальному пристроїв потоками пального і окисника. При цьому відбувається термічна підготовка пального, що поліпшує його реакційну здатність. У результаті поліпшуються пускові характеристики пальному пристроїв і розширюються межі стійкості горіння.

За рахунок достатньо великих значень аеродинамічного опору робота сучасних пальному пристроїв супроводжується достатньо потужними звуковими коливаннями з широким спектром випромінювання. З метою зменшення шкідливої дії на навколишнє середовище, рівень шуму може бути знижений шляхом зменшення потужності вихорів, що є активними джерелами

шуму. Крім того, вихорі підвищеної потужності провокують пульсаційні і вібраційні резонансні явища, що дуже небажані у топкових процесах.

Конструкція пальникових пристроїв повинна забезпечувати модульність, що дозволить забезпечити необхідну потужність за рахунок необхідної кількості автономних модулів. Такий підхід значно спрощує їх розрахунок і виготовлення, а також дозволяє уникнути додаткових витрат за місцем на регулювання пальникових пристроїв різної потужності. До пальникових пристроїв застосовують вимоги технологічності і простоти виготовлення, низької матеріалоемності, необхідності у дорогих і спеціальних матеріалах.

На основі вищевказаного, можна зробити висновки, що сучасні пальникові пристрої повинні забезпечувати виконання наступних основних вимог:

1. Можливість впливу на всі стадії робочого процесу (сумішоутворення пального і окиснювача, займання паливної суміші, стабілізацію процесу горіння і формування необхідної якості продуктів горіння).

2. Надійність розпалу і стійкість горіння за мінімально можливою витратою газу.

3. Відсутність перевищень дозведеного рівня емісії токсичних речовин (NO_x , CO , SO_2 тощо) у всіх діапазонах навантажень вогнетехнічного об'єкта.

4. Можливість широкого регулювання довжини і світимості факела.

5. Можливість управління аеродинамічною і концентраційною структурою течії продуктів горіння.

6. Мінімальний аеродинамічний опір як за трактом окиснювача, так і за трактом пального.

7. Простота і надійність регулювання всіх робочих параметрів і зміни режимів роботи.

8. Самоохолодження пальникових пристроїв потоками пального і окисника.

9. Низький рівень шуму, пульсацій і вібрацій.

10. Модульність, технологічність і простота виготовлення, низька металоємність, відсутність необхідності у дорогих та спеціальних матеріалах.

2.2. Найбільш поширені газові та газо-мазутні пальникові пристрої

В зв'язку з тим, що Україна успадкувала значний парк теплогенеруючого обладнання від СРСР, нижче приведений аналіз пальникових пристроїв починаючи з виготовлених на пострадянському просторі, оскільки переважна їх більшість цього покоління ще знаходиться в експлуатації.

Найпростіший дифузійний пальник (рис. 2.1) – це металева труба з просвердленими в ній отворами двома рядами під кутом $60^\circ - 90^\circ$ один до одного. Стабілізація, в даному випадку, здійснюється циркуляційною течією високонагрітих продуктів горіння за (ЗЗТ) уступами.

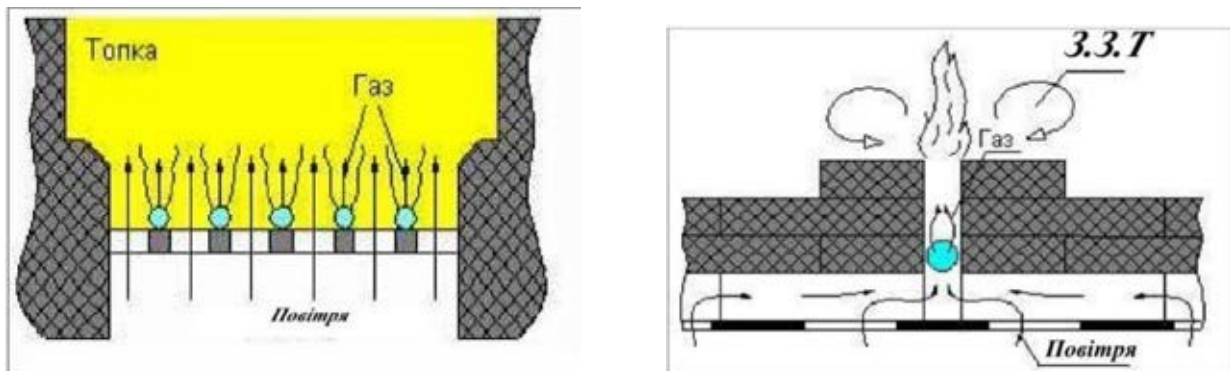


Рис. 2.1. Дифузійні пальники З.З.Т. – зони зворотних течій

Перевагами таких пальників є простота у виготовленні, безшумність роботи, висока стійкість горіння. В них неможливий проскок полум'я. У порівнянні з пальниками з попередньо підготованою сумішшю, довжина факела у них більша (до 1600 мм), теплові навантаження топкового об'єму низькі.

Характерною особливістю інжекційних пальників є залежність коефіцієнта витрати первинного повітря від розрідження (протитиск) у топці. Ця залежність мінімальна при тиску газу перед соплом більше $0,04 - 0,05$ МПа.

Недоліки інжекційних пальників: обмежений діапазон регулювання при $\alpha \approx 1$, високий рівень шуму при використанні середнього і високого тиску газу, залежність інжекційної здатності від ступеню розрідження у топці, складність у

використанні підігрітого повітря, можливість проскоку полум'я у змішувач, необхідність водного охолодження.

Найбільш поширеними є інжекційні пальники середнього тиску «Стальпроект» (рис. 2.2), що принципово не відрізняються від конструкцій «Теплопроект», «Легіпроінжпроект», «Мосгазпроект» та інших організацій.

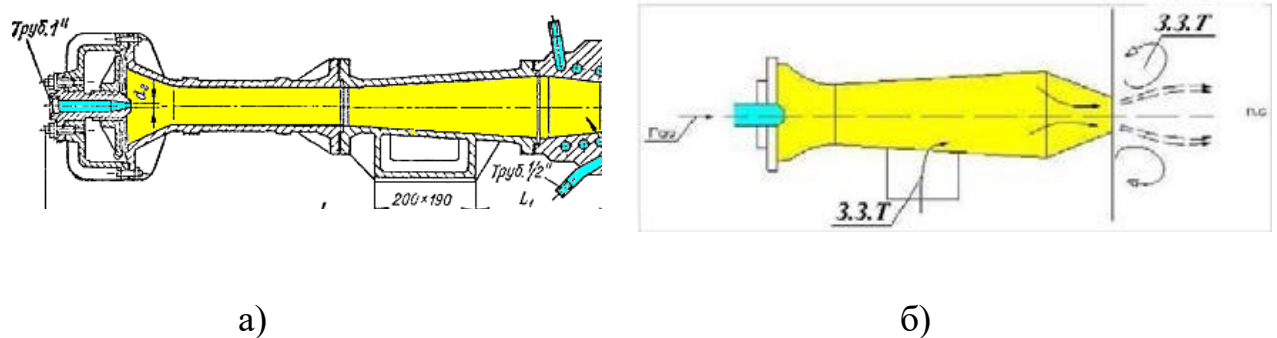


Рис. 2.2. Інжекційний пальник конструкції «Стальпроект» (а) і його газодинамічна схема (б).

Експлуатаційні межі роботи цих пальників скорочуються зі збільшенням їх продуктивності і вони можуть бути рекомендовані до експлуатації тільки на агрегатах з дуже малими коливаннями навантаження. Більш широке застосування мають такі пальники з номінальною витратою газу до $50 \text{ м}^3/\text{год}$.

Блочні інжекційні пальники середнього тиску (БІГ), «Променергогаз» з периферійною видачою газу призначені для котлів паропроductивністю до $10 \text{ т}/\text{год}$. Їх досягнення – малі габаритні розміри. Пальник не тільки не виступає за кладку агрегату, але і навіть розташовується у ніші. Такі пальники мають дуже вузький діапазон регулювання потужності і потребують постійного регулювання конструктивних та режимних факторів при експлуатації. Інжекційні безполум'єві пальники (рис. 2.3) застосовуються там, де необхідний рівномірний розігрів великих поверхонь.

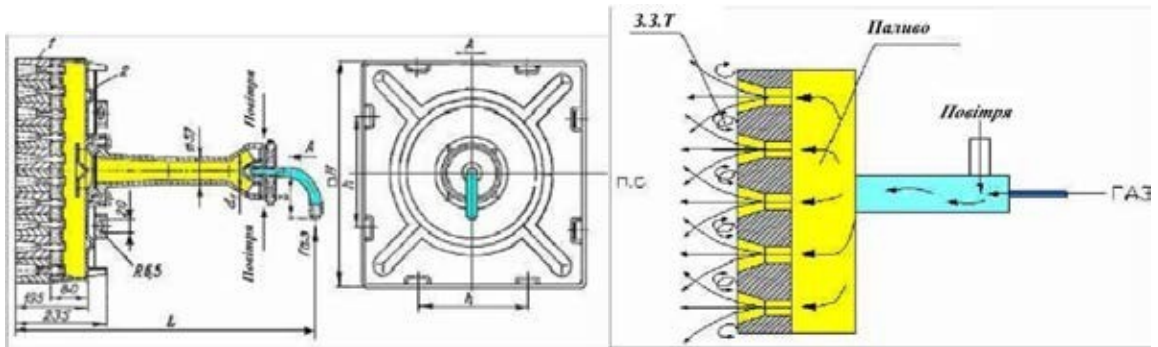


Рис. 2.3. Схема інжекційного пальника ГБПШ конструкції ВНИИ «Нефтьмаш» та його газодинамічна схема: 1 – керамічна насадка (стабілізатор горіння); 2 – змішувач.

Їх відмінна здібність складається у тому, що газоповітряна суміш на номінальному режимі повністю згоряє на керамічній насадці 1 і розпалює її, створюючи при цьому рівномірно випромінюючу поверхню.

Істотним недоліком таких пальників є частий просок полум'я (після розігріву керамічних насадок) через трубки - ніпелі у змішувач 2, що визиває короблення корпусу пальників і вихід їх з ладу. До того ж класу пальників можна віднести пальники ГВП (рис. 2.4), у яких довжина факела регулюється ступенем закрутки потоку, що задається поворотом лопаток завихрювача.

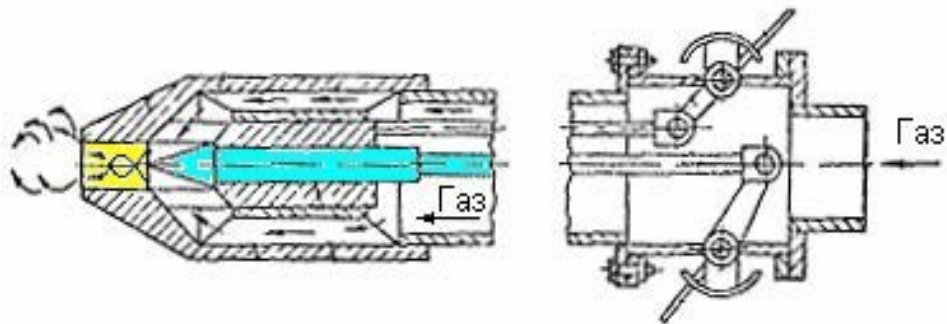


Рис. 2.4. Схема пальника ГВП

На рис. 2.5 представлений пальник пристрій для спалювання газу у скловарних печах. Особливістю таких пристроїв є висока температура повітря, що подається на горіння (500 - 900°C). Тому їх конструкція максимально спрощена. Інколи для збільшення дальності факела за віссю пальника надають стиснуте повітря.

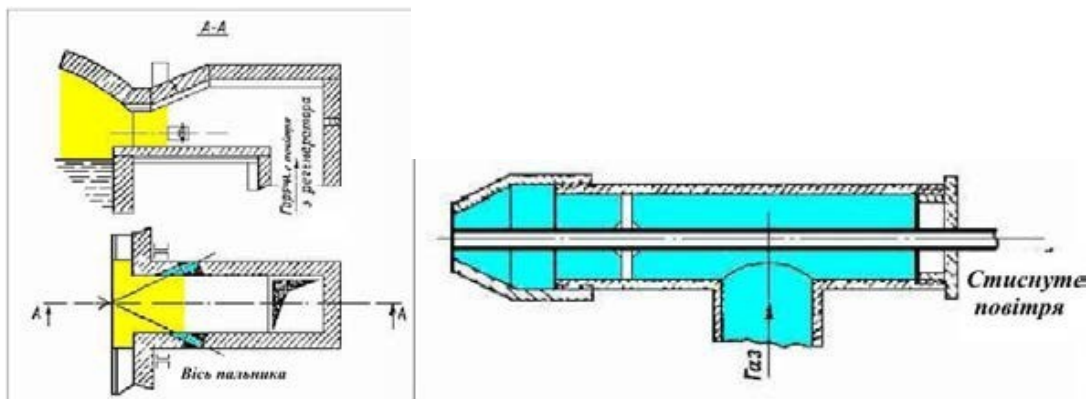
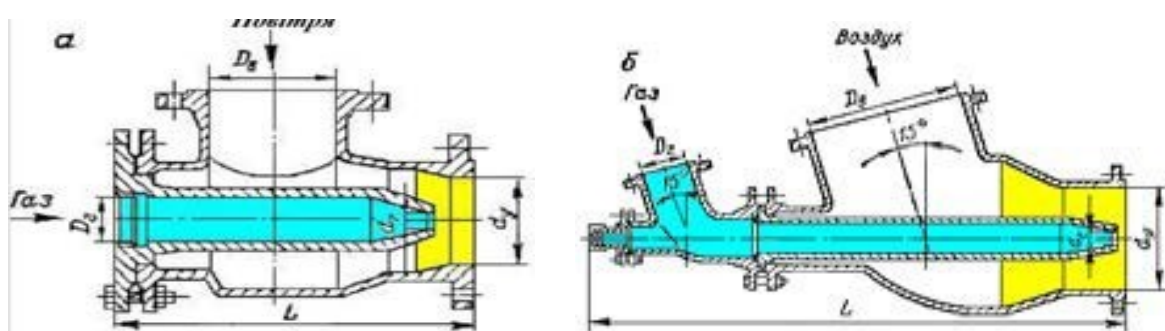


Рис. 2.5. Пальниковий пристрій для спалювання газу у скловарних печах

У пальниках з примусовою подачею повітря (двопроводних) процеси змішування і горіння поєднуються у факелі. Ці пальники мають набагато більший діапазон можливостей регулювання характеристик робочого процесу не тільки пальникових пристроїв, а і всього вогнетехнічного об'єкта у цілому. Крім того, такі пальники дозволяють значно підвищувати надійність роботи.

Найбільш простими з них є пальники типу «труба у трубі» ДВС і ДВВ, розроблені інститутом «Стальпроект» (рис. 2.6).

Пальники призначені для нагрівальних печей, у яких потрібен довгий факел з можливістю регулювання. Пальники працюють з $\alpha=1,05$, в діапазоні витрати газу від 40 до 2280 м³/год і потребують тиску газу близько 600 мм вод. ст.



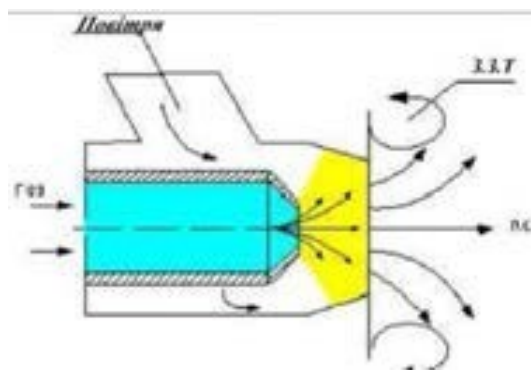
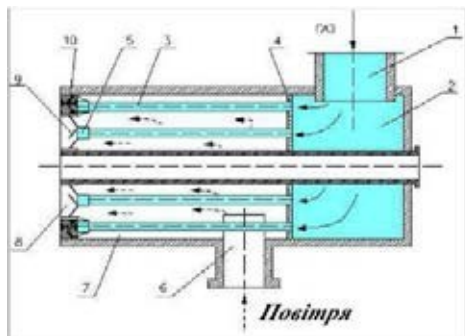


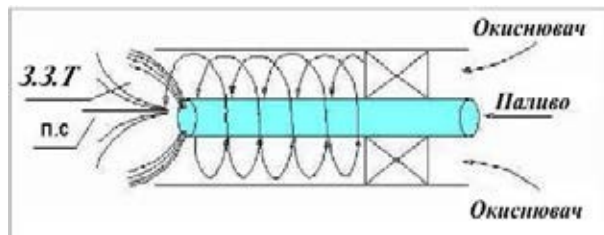
Рис. 2.6. Пальники ДВС(а) і ДВВ(б) «Стальпроект» і їх газодинамічна схема

Пальники з примусовою подачею повітря і попередньою підготовкою суміші найбільш поширені у топковій техніці. Вони перекривають діапазон витрат від часток до десятків тисяч м³ газу у годину. Підготовка суміші у них забезпечується подачею газу через ряд отворів або щілин під різним кутом до потоку повітря. Якщо газ надається від центру до периферії пальника, то така роздача називається центральною. При наданні газу від периферії до центру пальника роздача називається периферійною. Потік повітря у більшості випадків закручується за допомогою лопаток, або корпусу равликopodobної форми, або шляхом тангенціального надання повітря у циліндричний корпус. Ступінь змішування палива з окиснювачем у пальниках різний. Підготовка паливної суміші може починатися тільки у пальнику, а закінчуватися разом з процесом горіння. Деколи суміш повністю готується у пальнику. Змішувальні камери, як правило, мають невеликий об'єм, а швидкість витікання суміші з устя пальника складає 10...50 м/с.

Пальник ГНП конструкції «Теплопроект» відрізняється від інших пальників типу «труба у трубі» наявністю завихрювача і багат шаровим наданням газу. Пальники ГА конструкції «Мосгазпроект» (рис. 2.7) призначені для спалювання газу низького та середнього тиску. Потужність пальника набирається кількістю паливоподаючих елементів 3. Кожен елемент являється самостійним приладом, в якому відбувається змішування струй газу, що виходять з кінцевого елемента під кутом до повздовжньої вісі, з закрученим потоком повітря. Такі типи пальникових пристроїв зустрічаються всюди і зокрема на території України.



а)

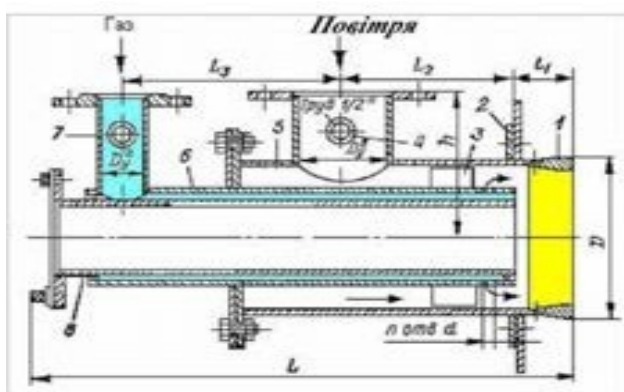


б)

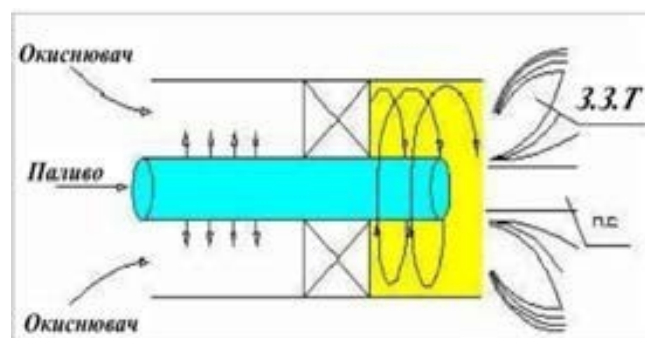
Рис. 2.7. Пальник ГА конструкції «Мосгазпроекту» (а) і його газодинамічна схема (б) 1 – вхідний патрубок; 2 – газорозпридільна камера; 3 – трубки подачі газу; 4 – трубна дошка; 5 – газові сопла; 6- патрубок для повітря; 7 – циліндрична камера; 8 – амбразура; 9 – лопаті для закрутки повітряного потоку; 10 – футеровка вогнетривкою масою. — потік газу
 - - - - - — потік повітря.

Відмінною особливістю пальників ГА є дрібність факелу на 12 - 18 маленьких закручених факелів зі структурою течії, аналогічною течії у газомазутному пальнику (ГМП) і наявністю футеровки – керамічного тунелю з раптовим розширенням, який оберігає торець пальника від перегріву і коли він розпечений, то поліпшує стабілізацію горіння. Передня частина пальника між елементами футерується шамотом або жаротривким бетоном.

Пальники ГА достатньо складні у виготовленні і мають велику масу. Крім того погано охолоджуються елементи пальникового пристрою між соплами. Хоча ці пальникові пристрої забезпечують високий рівень повноти згорання їх стали заміняти пальниками ПГВ (рис. 2.8).



а)



б)

Рис. 2.7. Пальник ПГВ конструкції «Мосгазпроекту» (а) і його газодинамічна схема (б): 1 – керамічний тунель (вогневий насадок) для стабілізації горіння; 2 – кріплення; 3 – лопатки; 4 – отвір для подачі повітря; 5 – змішувач; 6 – отвори в газовому колекторі; 7 – отвори для подачі газу.

Газ через отвори у газовому колекторі 6 поступає перпендикулярно потоку повітря у змішувач 5. Повітря закручується лопатками 3 встановленими під кутом 45° . Стабілізатором горіння слугує керамічний тунель з раптовим розширювачем. Підвищенню стійкості сприяє режим потоку за допомогою вогневого насадку 1. Необхідно відмітити, що стабілізація горіння за допомогою керамічних насадок приводить до частого їх виходу з ладу.

Плоскополумеві пальники ППП конструкції «Теплопроекту» і Інституту газу НАН України (рис. 2.8) відносяться до класу вихрових пальникових пристроїв, у яких реалізується ефект Коанда, який полягає у безвідривному обтіканні ультрадифузорного пальникового тунелю і спряженої з ним поверхні футеровки. При цьому у пічному просторі створюється складна течія з двома основними зонами: пристінковою і об'ємною.

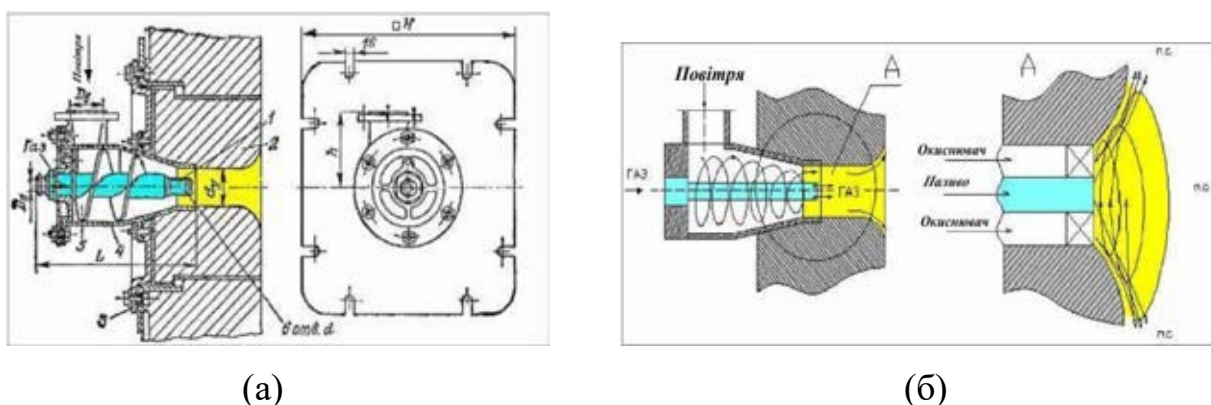


Рис. 2.8. Пальник ППП конструкції «Теплопроекту» і Інституту газу НАН України (а) і його газодинамічна схема (б)

Закрутка потоку повітря забезпечується гвинтом 5. Газ із внутрішньої порожнини гвинта через отвір у соплі 1 поступає перпендикулярно у потік повітря. Підпалена пристінна зона факелу розігріває поверхню стіни робочої камери у плоскому розімкненому факелі течії високонагрітих газів з топки. Пальники потребують високого тиску газу до 10000 мм вод. ст. Такі пальники відрізняються великою масою футеровки і потребою у частому ремонті.

Наступний клас пальникових пристроїв – комбіновані газомазутні, що представляють з себе комплекс з газового пальника і мазутної форсунки. Вони призначені для роздільного або спільного спалювання газового і рідкого палива.

Найбільше поширення в котельних установках України отримали короткофакельні газомазутні пальники ГМГ, ГМГм, ГМГА, ГМГБ, що були розроблені у ЦКТІ і виготовляються на заводі «Ільмарін». Часто їх використовують при спалюванні природного газу у котлах ДКВР, ДКВ, ДЕ, що розміщені у великих містах пострадянського простору. Їх доля на цьому ринку складає 60%, частка газомазутних пальникових пристроїв інших конструкцій не перевищує 5%; доля газових дугтьових пальників МО ЦКТІ, «Мосгазпроекту», «Укрпромгаз» складає біля 25%, а решта представлена інжекційними пальниковими пристроями.

У конструкції пальників ГМГА; ГМГБ-5,6; ГМ-10 присутній кільцевий периферійний газороздавальний колектор із якого газ під кутом 90° поступає у поперечний потік повітря, закручений лопатковим завихрювачем. При роботі на чистому газі стабілізатор мазутного полум'я забирається за межі лопаткового завихрювача. Стабілізація газового полум'я забезпечується керамічним тунелем і зворотною течією високотемпературних газів із топки.

Пальники цього типу мають деякі відмінності. Так у ГМГА застосовується багаторядковий розподіл газу. У ГМГБ-5,6 є повітрянаправляючий пристрій, виконаний у вигляді тангенціального лопаткового апарату, що дозволяє міняти ступінь закрутки потоку у залежності від виду палива та навантаження, і тим самим забезпечує спалювання газу у короткому факелі. У ГМ-10 порівняно новим елементом є застосування комбінованих амбразур, які складаються з кінцевої і циліндричною частин.

Конструктивно схоже рішення мають газомазутні пальники «Оргенергогазу» і «Ленінпроінжпроекту». До цього ж класу пальників відносяться пальники типу Г-1,0, Г-0,4 конструкції МО ЦКТІ з рухомим кільцевим регістром і плоскими направляючими лопатками.

У газомазутних пальниках ГМПм (рис. 2.9) первинне повітря закручується за допомогою лопаткового апарату з прямими лопатками, встановленими під кутом 45° (2). Вторинне повітря закручується лопатками (1).

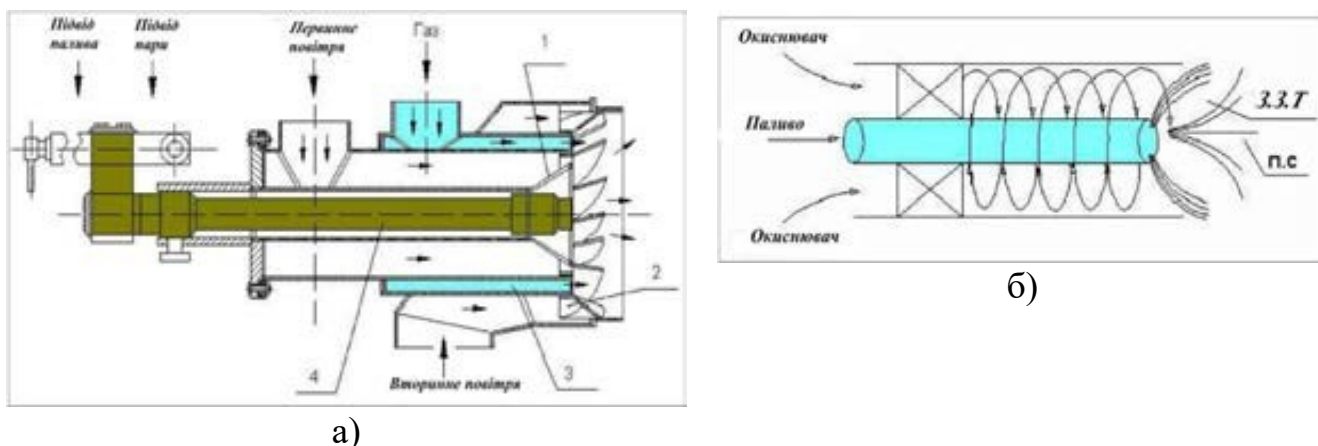


Рис. 2.9. Принципова схема газового пальника типу ГМП(м) ЦКТІ (а) і його аеродинамічна схема (б), де: 1 – завихрювач вторинного повітря; 2 - завихрювач первинного повітря; 3 - підвід газу; 4 - підвід мазуту.

Права або ліва закрутка повітря вибирається у залежності від компонування пальників. Газ розподіляється попутно у закручений потік через колектор, що має отвори по колу.

Незважаючи на тривалу експлуатацію пальникових пристроїв що були наведені вище, процес їх вдосконалення продовжується. Однак при цьому характеристики пальників що були заявлені, не завжди підтверджуються в експлуатаційних умовах. Так, наприклад, досвід використання найпоширеніших пальників типу ГМГ показує, що для повного спалювання газу вони потребують коефіцієнт надлишку повітря у розмірі $1,15 \dots 1,25$, що значно знижує ефективність роботи котла. Крім того, проблемою є температурні нерівномірності у топках котлів. Для котлів ДКВР нараховують багато причин аварійних зупинок, які можна навести відповідно рейтингу: перепал труб фронтального екрану - 45%, деформація і розрив бокових екранів - 37%, перепал пароперегрівників - 7%, вібрації котлів - 7%, пошкодження футеровки, обмурування, обшивки - 4%. Із цього випливає, що більше 80% аварійних зупинок котлів зв'язані з перегрівом екранних труб. Причина таких перегрівів у високому рівні локальних теплових потоків від факела (рис. 2.10).

Для зменшення максимального температурного рівня факелу раніше був запропонований перехід від попереднього перемішування до здійснення дифузійного механізму горіння. Такий перехід досягається шляхом зменшення кута впровадження струменів газу у потік повітря від 90° до 0° . Застосування пальникових пристроїв з торцевим наданням газу попутно потоку повітря дозволило зменшити максимальні теплові потоки на бокові екрани у 1,25... 1,3 рази, завдяки цьому число аварій котлів через перепал екранних труб значно зменшився.

Однак застосування такої схеми газорозподілу при навантаженнях, які перевищують номінальне приводить до виникнення істотного 0,9...3,5% хімічного недопалу (при відсутності ретельної налашки 5,4...9,5%). Тому більша частина котлів ДКВР і ДКВ з пальниками ГМП і НГМП працюють у діапазоні навантажень 60...100% від номінальної, не дивлячись на можливість форсування цих котлів до 140...150%.

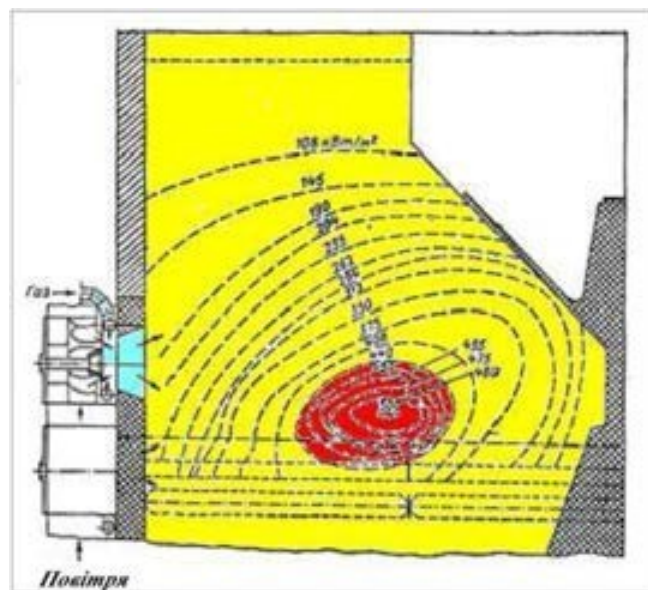


Рис. 2.10. Розподіл теплових потоків у топці котла ДКВР-20-13 з трьома пальниками ГМГВ-5,6, що працюють на газі.

Для того, щоб вирішити задачу одночасного «пом'якшення» теплових потоків на екрани і збереження високого ступеню вигорання газу було задіяно комбіноване сумішоутворення. У цьому випадку газ надавався попутно первинному повітрю і перпендикулярно вторинному.

Харківським філіалом ЦКБ «Главенергоремонту» разом з ВТІ і ТКЗ розроблений газомазутний пальник для котлів, що спалюють паливо з малим надлишком повітря (рис. 2.11).

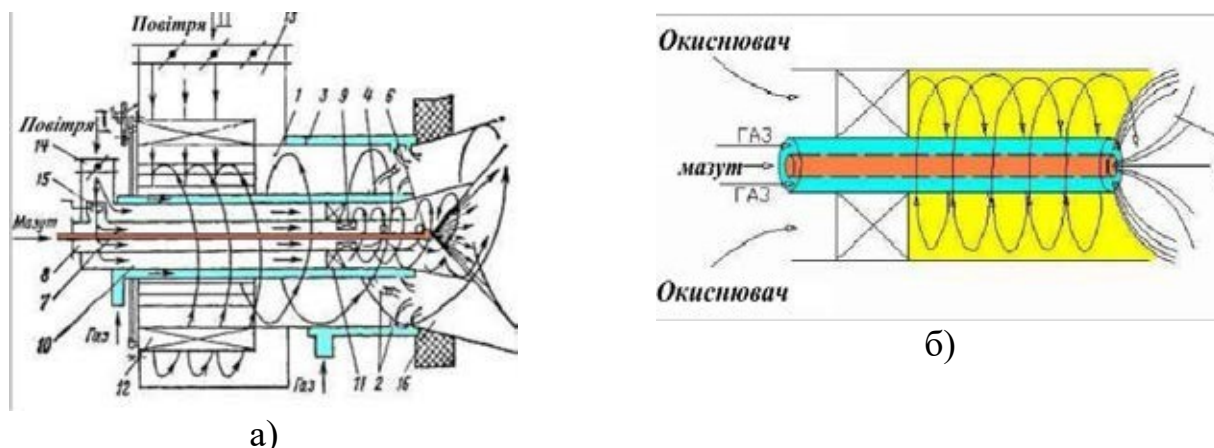


Рис. 2.11. Принципова схема пальника ХФ ЦКБ-ВТІ конструкції Харківського філіалу ВТІ (а) і його аеродинамічна схема (б)

Пальник має равликово-тангенціальний завихрювач вторинного повітря (13) аксіальний – первинний (11). Струменева багаторядна подача газу що здійснюється через газовипускні отвори з периферійного колектора (2), центральні труби (4) та спеціальні патрубки (5). Ступінь закрутки основного потоку повітря регулюється зміною кута нахилу рухомих лопаток тангенціального реєстру (12). Розрахункова витрата газу 500...5000 м³/год. Гідравлічний опір пальника 196 Па.

В Інституті газу НАН України розроблені пальникові пристрої для двоступеневого спалювання палива за межами пальника у топковому об'ємі. Конструкція пальника і показники її роботи приведені на рис. 2.12. Усе повітря у пальнику розділяється на два потоки – первинний і вторинний. Первинний закручується лопатковим завихрювачем 3. Вторинний надається за віссю цього потоку коловим струменем. Закрутка первинного повітря забезпечує розрідження біля устя пальника і притік у цю частину топкових газів. подача газу - периферійна із колектора 5. Пальник має дещо знижений гідравлічний опір за рахунок ліквідації осьового зустрічного потоку. Коефіцієнт надлишку первинного повітря підтримується у проміжках 0,8...0,9. В основному для таких пальникових пристроїв зберігаються усі особливості розглянуті для ПП ГМГ.

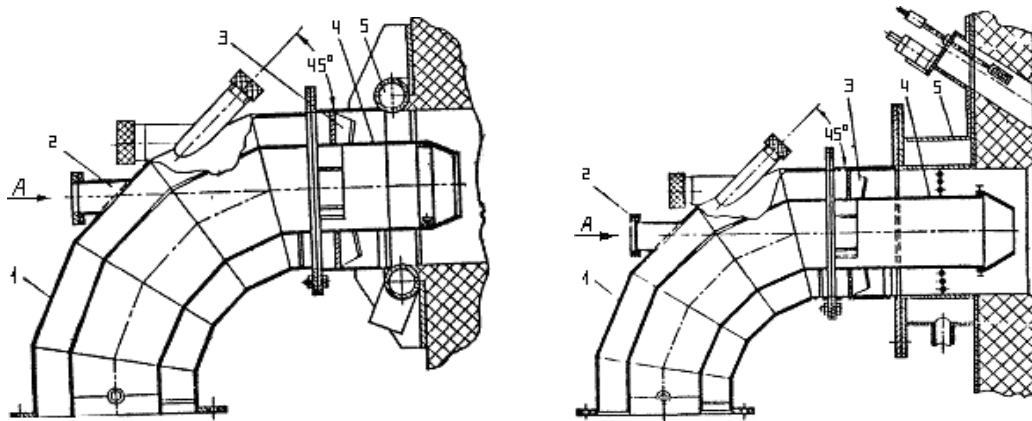


Рис. 2.12 Пальники двоступеневого спалювання Інституту газу НАН

України

Останнім часом увага розробників цього пальникового пристрою концентрувалася на зниженні гідравлічного опору шляхом установки аксіальних лопаток з кутом відхилення що змінюється і за рахунок зменшення швидкісної нерівномірності по перетину повітряно потоку у коліні повітропроводу перед пальником. У результаті модернізації основні експлуатаційні характеристики котлів не змінились, а емісія NO_x зменшилась на 40%.

Значним кроком у розвитку пальникового пристрою став прямоточний струменево-стабілізаційний пальник з роздільним наданням газу та повітря, що був розроблений у Київському політехнічному інституті під керівництвом професора В.А. Хриistica по газодинамічній схемі «поганообтічне тіло» - куткок який пройшов державні випробовування. Як показано на (рис. 2.13) (верхній лівий), газ надається через отвори у насадці 1 і розподіляється у вигляді окремих струй вздовж кутових стабілізаторів 2. Повітря поступає у зону горіння через радіальні щілини між стабілізаторами. За кожним стабілізатором створюється газоповітряна суміш і невеликий факел палива, що горить. При цьому тут утворюються циркуляційні токи продуктів горіння, що забезпечують запалювання газу і стійку роботу пальника. Розділення сумарної зони горіння на велике число палаючих струменів газу обумовлюється інтенсифікацією процесу горіння і зменшення довжини факелу. На рис. 2.13 пальник стійко працює у широкому діапазоні змінення коефіцієнту надлишку повітря. Але при $\alpha \leq 2$ для цих пальникових пристроїв характерне погіршення вигорання, так як струмінь газу,

що входить у тіньову область при великих витратах газу (тобто великих потужностях) знищує зону зворотних потоків і «перенасичує» область стабілізації горіння.

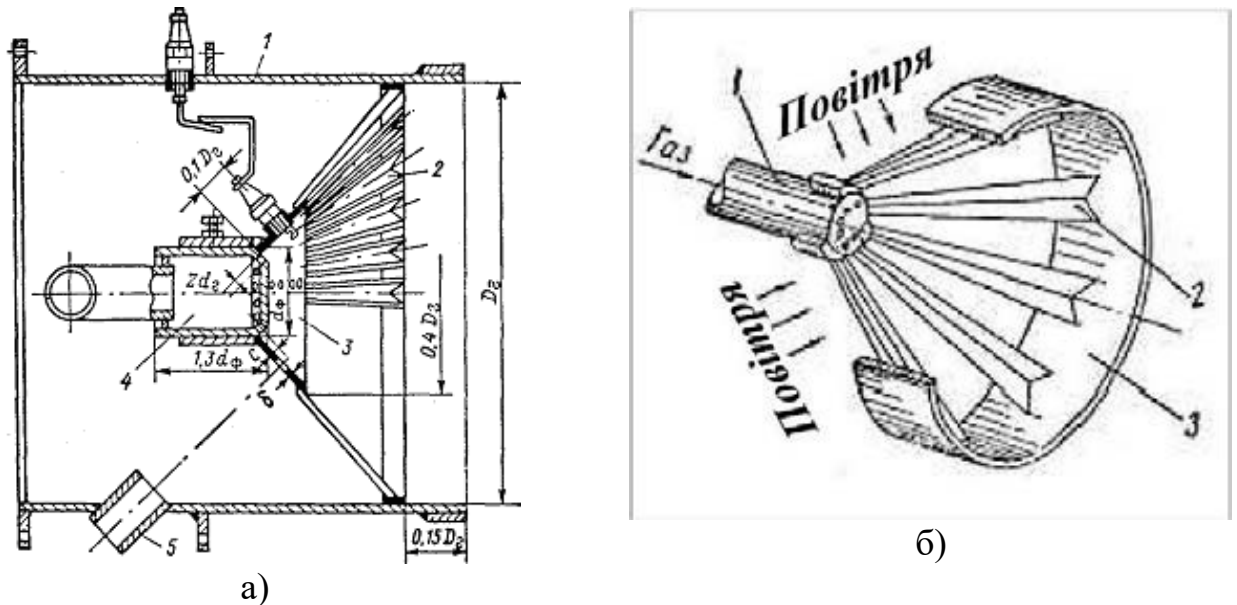


Рис. 2.13. Струменево-стабілізаторний пальник конструкції КПІ (а), і його газодинамічна схема (б)

В теперішній час аеродинамічна схема з поганообтічними тілами поступово починають використовуватися і виробниками пальників з ближнього зарубіжжя. Так, наприклад молдавська фірма DAVA розробила, виготовляє та успішно впроваджує їх на вогнетехнічних об'єктах Румунії, Болгарії, Угорщини, Молдови, Росії і України з комбінованою аеродинамічною схемою «поганообтічне тіло» + «закрутка потоку окиснювача», показане на рис. 2.14. Поганообтічними тілами виступають металеві шайби, показані на (рис. 2.15).

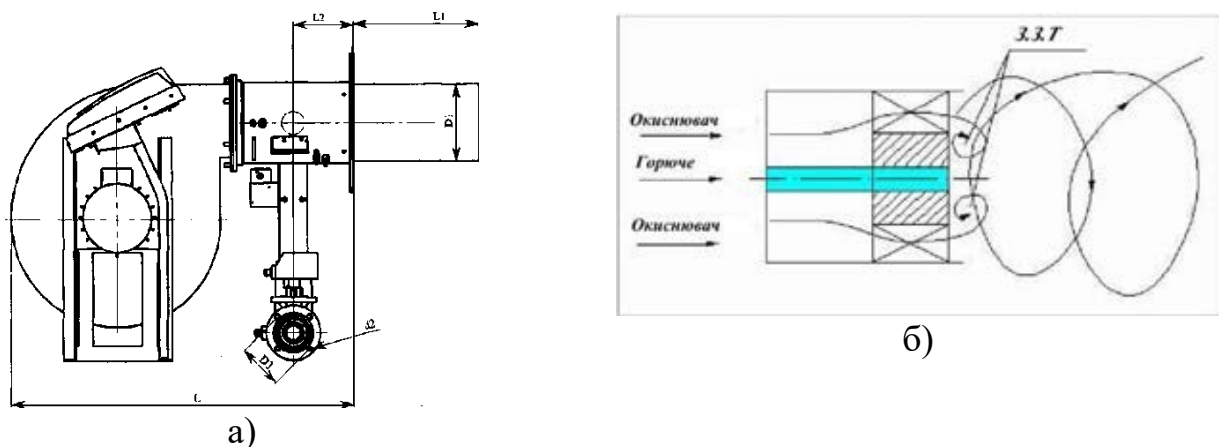


Рис. 2.14. Габаритна (а) і газодинамічна (б) схеми пальника фірми DAVA

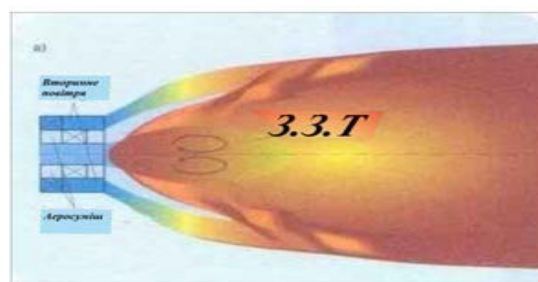


Рис. 2.15. Металеві завихрювачі, що використовує фірма DAVA

На ринку України все частіше стали з'являтися іноземні компанії, це дало можливість власникам і експлуатаційниками вогнетехнічних об'єктів обирати пальникові пристрої «нового покоління» у яких закрутка потоку працює разом з поганообтічним тілом. Слід відмітити, що у переважній більшості ці пальникові пристрої мають закручений вихровий факел, що показаний на рис. 2.16.



а)



б)

Рис. 2.16. Фотографія (а) і схема (б) закрученого факела

Слід відмітити, що багаточисельні натурні випробовування пальників на котлах і промислових установках, стендові випробовування в умовах, близьких до натурних, а також довгий досвід експлуатації широкого спектру пальникових пристроїв не дозволили дотепер сформувати однозначні підходи до організації робочих процесів пальникових пристроїв. Ряд технічних питань, пов'язаних як і з аеродинамічними схемами, так і з конструкціями пальникових пристроїв, до теперішнього часу можна вважати відкритими. На питання які пальникові пристрої кращі? Вихрові або прямоточні, з центральною подачею газу чи

периферійною, чи дозволяє метод багатоструменевої подачі газу отримати бажаний факел, чи є вимоги до факелу достатньо визначеними? Різних відповідей за останні 40 років на ці запитання давалося багато, рекомендації неодноразово мінялися на протилежні.

Відомий ряд безуспішних спроб поліпшення методу розрахунку багатоструменевого надання газу, запропонованого Івановим Ю.В. Разом з тим, всі ці висновки, думки і рекомендації основані на дорогих, працезатратних і довгих дослідженнях. Усі вони доступні і сенсу їх розглядати у цій роботі немає. Існує ряд основних факторів, вплив яких на характеристики факелу для горіння різних конструкцій є визначальним. До таких можемо віднести: 1) ступінь закрутки повітря; 2) довжину ділянки попереднього змішування; 3) форму амбразури; 4) форму і розміри газових отворів; 5) число рядів газових отворів; 6) вихідну швидкість газу; 7) теплосприйняття поверхні нагріву при факелі що світиться або не світиться.

З приводу цих факторів існують різноманітні думки. Приведемо висновки за результатам роботи ЦКТІ.

Для пальників з центральною і периферійною подачею газу закрутка повітря, що подається у всіх випадках інтенсифікує вигорання природного газу (а отже, інтенсифікує також процес сумішоутворення палива з повітрям), причому величина хімічного недопалу знижується, а теплове навантаження поверхні нагріву росте зі збільшенням ступеню закрутки. При цьому дальnobійність факела зменшується, а гідравлічний супротив пальника збільшується (у порівнянні з прямоточним пальником у 3 - 4 рази).

Застосування того чи іншого реєстру має впроваджуватися потребою дальnobійності факела, яка визначається співвідношенням ширини і глибини топкової камери, прийнятої схеми компоновки пальників і поверхні нагріву екранів і пароперегрівача.

Розвиток факела, що утворюється пальником з завихрюваем повітря, відбувається з утворенням зони зворотних токів. Роль цих зворотних токів дуже велика. Повертаючись до кореня факела, вони прогрівають його і забезпечують

раннє займання паливно-повітряної суміші та подальший сприятливий розвиток процесу горіння.

Найкращим для топкових приладів з високим об'ємним теплонапруженням є пальник з периферійною роздачою газу.

Конструктивними прикладами із створенням газового пальника з коротким і прозорим факелом є: 1) периферійна роздача газу, 2) закрутка повітря, 3) можливо більше заглиблення пальника (внутрішнє сумішоутворення).

Позитивний ефект від закрутки повітря і збільшення ділянки попереднього змішування тим сильніше, чим менша ідеальна конструкція пальника.

Поширена думка про те, що тепловіддача полум'я, що світиться, отримано за рахунок поганого змішування газу з повітрям, і тепловіддача вища, ніж у полум'я яке не світиться - даними дослідів ця теза не підтверджується. Згідно досліджень високофорсованої камери теплове навантаження поверхні нагріву при полум'ї що не світиться у всіх випадках помітно вище.

Теплонапруження топкового об'єму при роботі на природному газі для сучасних котлів, яке приймається до розрахунків насправді сильно занижено. Повне випалювання природного газу навіть при роботі на холодному повітрі може бути отримане у топці з теплонапруженням у 2106 ккал/(м³·год).

Для парових котлів вибір оптимального теплонапруження топки при роботі на природному газі визначається не процесом спалювання, а теплообміном і розташуванням поверхні нагріву.

Результати аналізу работ того ж часу, проведеного Харківським філіалом ЦКБ «Главенергостроймеханізація», значно відрізняються. При випробовуваннях пальникових пристроїв котлоагрегатів електростанцій різних типів найбільша увага була прикута на найважливішому факторі – величині втрат тепла з хімнедопалом. Випробовування проводилися при теплонапруженості топкового об'єму від 57000 до 160000 ккал/(м³·год). В якості основних висновків можна привести наступні:

Застосування газовипускних отворів різних діаметрів у газопроточній частині пальникового пристрою дозволяє отримати різну дальнобійність

і таким чином поліпшити змішування газу з повітрям.

Застосування зміщеного кроку газовипускних отворів дозволяє здійснити розмив кожного окремого струменю газу своїм потоком повітря і отримати на виході із амбразури рівномірну газоповітряну суміш.

При вузьких щілинних амбразурах можлива організація глибокого проникнення газових струй у повітряний потік і повного його насичення газом. Однак газові струмені утворюють на шляху повітряних потоків газову решітку, що має більший опір, для подолання якого може бути потрібним – підвищений напір дугтьових вентиляторів.

Застосування при конструюванні пальників методики розрахунку, розробленої Івановим Ю.В. - ефективна; бажано розвивати її у подальшому.

Потрібна широка експериментальна перевірка отриманих результатів на промислових котлах, а також для визначення при розрахунках опорів пальників як із повітряній, так і із газовій стороні.

При конструюванні газопальникових приладів необхідно приділяти більше уваги розмірам і розміщенню газовипускних отворів, що вводять газ у потік повітря.

В наступні роки типи і конструкції пальникових пристроїв за суттю не помінялися. На основі вже отриманого досвіду увага розробників була прикута до створення пальників для котлів великої потужності і на розробку пальників різних типів для промислових установок. Проведені до цього часу дослідження у галузі аеродинаміки процесів спалювання газу, теорії горіння і теплообміну при спалюванні газу не надали можливостей дослідникам упорядкувати накопичений досвід і розробити конкретні рекомендації з удосконалення методів проектування пальників з метою поліпшення їх техніко-економічних показників. На практиці все визначається рівнем якості доведення, наладки і експлуатації пальників.

Також не удосконалена методика розрахунку надання струменів газу у потік повітря, що зносить. Єдиного підходу у прийнятті рішень немає, без спорів, на сьогоднішній день, приймається принцип необхідності раціонального розподілу палива у потоці окиснювач.

3. УЗАГАЛЬНЮЮЧА КЛАСИФІКАЦІЯ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ

3.1 Класифікація пальникових пристроїв за газодинамічними системами

Дослідження основних компонентів робочого процесу пальникового пристрою (аеродинаміки палива, окиснювача, процесів теплопередачі), проведені різними авторами, зокрема у КПІ, виявили визначну роль аеродинамічних процесів. Результати цих дослідів, а також вищеперечислений аналіз пальникових пристроїв дозволили класифікувати їх типи за декількома газодинамічними схемами надання палива і окиснювача, приведених на рис. 3.1.

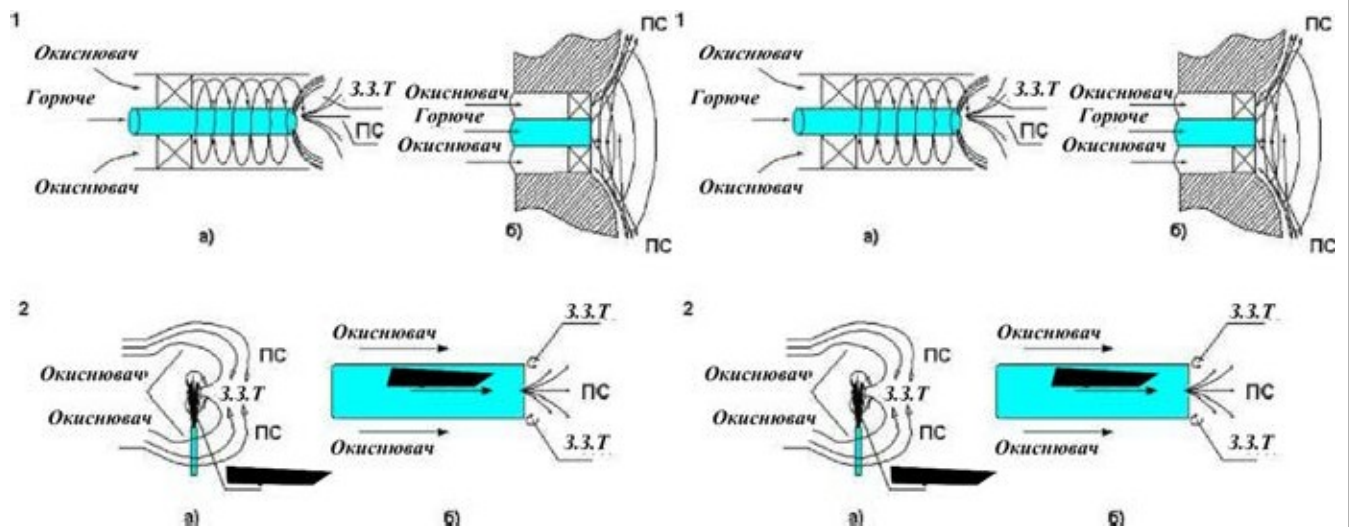


Рис. 3.1. Класифікація пальникового пристрою за газодинамічною схемою

1. Закрутка потоку окиснювача: а) вихрового пальникового пристрою; б) плоскополум'євого пальникового пристрою. 2. Зона зворотних токів (3.3.Т) за поганообтікаючими тілами: а) за кутком; б) прямоточним пальником. 3. Подові пальникові пристрої. 4. Інжекція потоку окиснювача потоком палива. 5. Щілинні пальникового пристрою.

					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Галько Ю.О.			Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високо ефективних пальникових пристроїв	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Керівник		Філоненко В.М.						50
Н. Контр.						НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м		
Затверд.		Петренко В.П.						

Схеми 1 а) і б) являються найбільш поширеними у газопальниковій практиці у пальникових пристроях з наддувом (регістрові пальники), вони широко використовуються у печах, топках котлів, камерах горіння газотурбінних двигунів. Паливо з форсунок роздається супутньо або під кутом у потік окиснювача, що звихрюється лопатковим апаратом, для створення паливної суміші. Внаслідок закрутки потоку у З.З.Т виникає потужна зворотна течія високонагрітих продуктів горіння з топкового простору до устя факелу, цим і забезпечується стабілізація полум'я.

Проведений аналіз робочого процесу пальникового пристрою з закруткою потоку у лабораторних умовах, а також в умовах практичної експлуатації на вогнетехнічних об'єктах показав, що їм властиві певні недоліки, а саме: інтенсивна закрутка, яка визиває стратифікацію паливної суміші, під дією відцентрової сили, у відповідності з густиною.

Нерівномірність концентраційного поля у зоні стабілізації і вигорання паливної суміші призводить до суттєвого підвищення критичних значень коефіцієнту надлишку повітря ($\alpha_{кр}$).

Для переважної більшості пальникових пристроїв $\alpha_{кр} \geq 1,15 \dots 1,25$. Ці параметри знижують економічні показники вогнетехнічних об'єктів за витратам палива і електроенергії на привід тягодуттьових засобів.

У пальникового пристрою з закруткою потоку окиснювача конструктивно закладена нерівномірність швидкісного та концентраційного полів паливної суміші що невідворотно призводить до нерівномірності температурних полів у топковому просторі вогнетехнічного об'єкту.

Крім того, наявність концентраційної нерівномірності в об'ємі топкового простору часто призводить до пульсаційного горіння і вподальшому до змін швидкості поширення полум'я. Широкий спектр пульсацій горіння і пульсацій турбулентної течії викликаних інтенсивною закруткою, викликає потужні резонансні явища. Тому, при експлуатації багатьох вогнетехнічних об'єктів, для того щоб уникнути руйнівних вібрацій, доводиться вибирати режим роботи не на

номінальному навантаженню.

Циркуляційна зона з ЗЗТ, як стійке вихроутворення, існує у певних границях швидкостей потоку окиснювача. Це відповідає потужності пальникового пристрою $<(0,2...0,3) N_{\text{ном}}$. Внаслідок падіння витрат, і відповідно, швидкості окиснювача ЗЗТ стає менш стійкою і не забезпечує надійну стабілізацію горіння. Таким чином, розпал вогнетехнічного об'єкта проводиться у режимах підвищених теплових навантажень, це призводить до небажаних наслідків:

- необхідність у високих тисках і, відповідно, при пуску більших швидкостях газу, що викликає небезпеку виникнення «хлопків» і навіть вибухів у топковому просторі;

- при пуску із холодного стану відбувається термічний «удар» (швидкий розігрів): волога, яка завжди існує у футеровці, швидко вскипає і порушує її цілісність;

- пуск вогнетехнічного об'єкта з декількома пальниковими пристроями треба проводити з почерговим включенням для досягнення необхідної потужності; при цьому через непрацюючі пальникові пристрої продувають повітря для їх охолодження, що призводить до порушення температурної рівномірності у топковому просторі;

- більший об'єм циркуляційної зони, що досягає декількох кубічних метрів, призводить до «накиду» факела на екранні поверхні котлів і визиває локальний перегрів;

- потужна вихрова циркуляційна зона являється джерелом акустичних коливань, які часто викликають резонансні явища у топковому просторі і значно звужують робочий діапазон пальникового пристрою і вогнетехнічного об'єкту у цілому.

- високому рівню гідравлічних опорів за трактом окиснювача внаслідок зміни тиску потоку.

У схемі 2 реалізований принцип дії струменево-стабілізаторних пальників з більш упорядкованою структурою течії, ці пальникові пристрої мають властивість

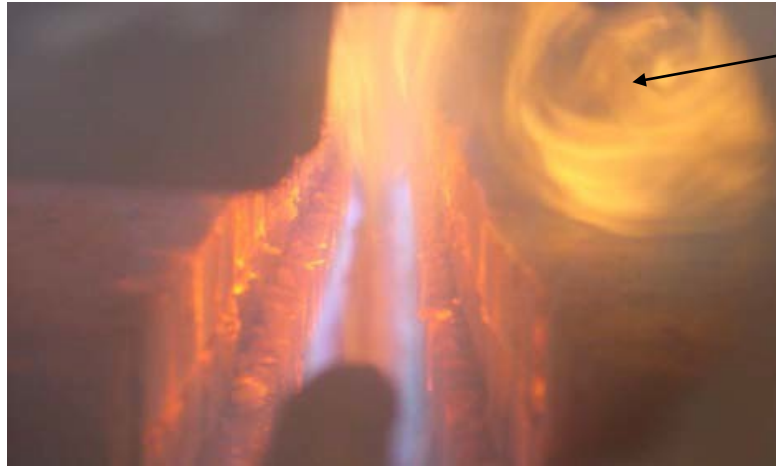
саморегулювання сумішоутворення за довжиною стабілізатора. Вони відрізняються широким діапазоном регулювання потужності і не перегріваються у процесі експлуатації. Слід відмітити, що при такій схемі значно погіршується повнота горіння при коефіцієнтах надлишку повітря, близьких до стехіометричних, внаслідок зміни структури течії зворотних потоків і локального «перезбагачення» паливної суміші.

При реалізації схеми 2 зі супутньою подачею палива струмені горючого у значній ступені впливають на структуру течії за стабілізатором полум'я, що може привести до нестійкого горіння і значного подовження факелу при малих коефіцієнтах надлишку повітря.

У відповідності зі схемою 3 повітря до місця горіння поступає за рахунок розрідження у топці і частково за рахунок конвекції. Горюче подається під кутом 30 - 45° до потоку повітря. Паливна суміш змішується і підпалюється у тунелі, де стабілізація горіння забезпечується розпеченим тілом. На виході з тунелю відбувається додаткова стабілізація зворотними течіями розпечених продуктів горіння (рис. 3.1). В такій схемі неможливий проскок полум'я. Довжина факелу від 1600 мм, теплові напруження топкового об'єму низькі. Коефіцієнт надлишку повітря більше 1 і значно залежить від розрідження у топці. Зниження $\alpha < 1,15$ визиває сажеутворення.

Схема 4, в якій горюче інжектують необхідну кількість окиснювача, дозволяє організувати високоефективне горіння за коефіцієнтами надлишку повітря $\alpha \approx 1$, що можливо лише у дуже низькому діапазоні зміни потужності при високому тиску газу. У цих пальникових пристроях завжди існує небезпека проскоку полум'я всередину пальникових пристроїв, особливо при розігріві камери згорання або топки.

При реалізації схеми 5 допускається, що стабілізація горіння відбувається у топковому просторі за рахунок ЗЗТ і нагріву топкового каналу (рис. 3.2). Пальникові пристрої з такою схемою можуть бути високоефективними, але в умовах експлуатації не завжди вдається витримати жорсткі потреби до їх геометрії через перегрів елементів і пошкодження амбразур.



З.З.Т.

Рис. 3.2. Фотографія полум'я подового пальникового пристрою

Розглянемо робочий процес пальникового пристрою з точки зору необхідності додержання основних вимог, пред'явлених до них. В теперішній час із усього різноманіття пальникових пристроїв тільки інжекційні і струменево-стабілізаційні пальники забезпечують всі стадії робочого процесу, решта для стійкого горіння потребує наявності амбразури, або розпеченої кладки, або додаткового кожуху, які мають обмежувати вихрову течію паливної суміші.

Легкий і надійний розпал при мінімально можливій витраті газу $G_r < 0,1 G_r^{\text{ном}}$ з холодного стану можуть забезпечити струменево-стабілізаційні пальникові пристрої або пальникові пристрої, які розраховані на мінімальну потужність $N_1 < (0,5 \dots 1)$ МВт. При збільшенні потужності більше 1 МВт практично всі типи пальникових пристроїв запалюються тільки при великих витратах газу. З усіх пальникових пристроїв пальники струменево-стабілізаційні (ССП) мають найбільш широкий діапазоном стійкої роботи без зриву факела, при коливанні тиску газу та повітря. Що стосується регулювання потужності K_p , то жоден з розглянутих сучасних пальникових пристроїв не має необхідного ширинного діапазону. Однак одним із важливих показників, що характеризують якість робочого процесу є критичний коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{кр}$ не нижче 1,15... 1,25. Однак пальники ССП значно уступають іншим типам пальникових пристроїв за показниками $\alpha_{кр}$. Їх ефективна робота можлива тільки при $\alpha > 1,15$, що суттєво знижує спектр їх застосування, виключаючи з нього практично всі

типи котлів.

Приклад ССП дуже характерний для ситуацій, що склалися на ринку пальникових пристроїв. По сукупності показників жоден з розглянутих пальникових пристроїв не задовольняє всіх необхідних вимог. Недоліки організації робочого процесу проявляються при застосуванні пальникових пристроїв у різних вогнетехнічних об'єктах. При можливості вільного розвитку факела (в умовах розпеченої кладки печі) повнота горіння палива може приближатися до 100%. При загромадженні факелу у радіаційній частині топки трубами з водою або паром температури умови горіння різко погіршуються, на виході з топки з'являються продукти хімічного недопалу, а деколи і паливо, що згоріло не до кінця. Така ситуація характерна для всіх цих типів пальникових пристроїв. Основна причина - це недостатня якість змішування пального і окиснювача. Найбільш поширені пальникові пристрої з закруткою потоку мають нерівномірне поле швидкостей у великих об'ємах З.З.Т., що відповідають за стабілізацію факела. Але при змінах витрат палива змінюється склад паливної суміші, об'єм З.З.Т. змінюється мало, виходячи деколи за концентраційні границі займання. Крім того, ЗЗТ стійко існує у вузькому діапазоні витрат

Для покращення якості сумішоутворення робляться спроби збільшити швидкість пального і окиснювача за рахунок збільшення аеродинамічного супротиву за трактам пального та окиснювача. При цьому швидкості не зростають, і якість суміші істотно не покращується. Можливі деякі успіхи у вузькому діапазоні біля оптимальних навантажень, але при цьому незначне покращення в якості горіння нівелюється невиправданим зростанням споживання електроенергії на привід тягодуттьових засобів (приблизно у 1,5 - 2 рази).

Рівень емісії токсичних речовин також залежить напряду від якості сумішоутворення. Тому картина змін емісії NO_x , CO , SO_2 аналогічна вищенаведеній за хімічнодопалом. Причому слід відмітити, що рівень сумішоутворення не тільки сприяє повноті горіння, але і може знизити рівень NO_x (за рахунок гранично низьких α створюються умова нестачі кисню для окиснення азоту).

На основі приведенного аналізу можна зробити висновок, що можливість регулювання довжини і світимості факелу знаходиться у прямій залежності від можливості створювати стійкі керовані аеродинамічні структури з малими за об'ємом вихроутвореннями, в яких підтримуватиметься оптимальна концентрація паливної суміші. Із аналізу також виходить, що покращення елементів робочого процесу пальникових пристроїв може сприяти вирішенню основної проблеми – створення високоефективної технології спалювання палива, що сукупно забезпечує покращення таких показників, як економічність, екологічна безпека і надійність.

3.2 Обгунтування положень щодо запропонованих технологій спалювання палива

Аналіз робочого процесу у різних пальникових пристроях, що реалізують сучасні технології спалювання палива, показав, що основними причинами недостатньої ефективності пальникових пристроїв є :

- нестійкість циркуляційних зон високонагрітих продуктів горіння і паливної суміші, за рахунок яких забезпечується необхідна якість сумішоутворення, аеротермічна стабілізація факела і формування необхідних полів температури, швидкості і концентрації. Така картина характерна насамперед, для режимів, відмінних від номінальних. Так, при зменшенні потужності пальникових пристроїв на 20...30% течія у ЗЗТ, як правило, стає настільки в'ялою, що не може забезпечувати надійну стабілізацію горіння;

- порушення рівномірності розподілення горючого у потоці окиснювача. У цій ситуації сумарний коефіцієнт надлишку повітря відносно всього об'єму паливної суміші, що проходить через пальниковий пристрій, може бути оптимальною, однак при цьому мають місце локальні зони з перебагаченною, або бідною паливною сумішшю. Дане явище супроводжується нерівномірною світимістю різних областей факелу внаслідок термічного

розкладання палива без доступу кисню;

- на деяких режимах, відмінних від номінальних, вихід середньої концентрації паливної суміші в області стабілізації горіння за концентраційні границі займання. Дійсно, при зміні потужності практично у всіх пальникових пристроях міняється середній рівень концентрації паливної суміші і виходить за границі діапазону займання, який для метану достатньо вузький і становить 5... 15%;

- високий коефіцієнт загромождження потоку $k_f=0,6...0,8$, який призводить до підвищення опору повітряного тракту, що зумовлює значне навантаження на тягодуттєві засоби.

- великий аеродинамічний опір за трактом пального, який породжує необхідність подавати газ підвищеного тиску для стійкої роботи пальникового пристрою;

- широкий спектр пульсацій вихрів у циркуляційній зоні (як за частотою, так і за амплітудою), який може привести до небажаних резонансних явищ, що породжують вібрації вогнетехнічних об'єктів. Об'єм пульсуючих вихрових зон іноді складає декілька м³;

- недостатня ступінь самоохолодження пальникового пристрою паливом і окиснювачем.

Підхід до створення нових технологій спалювання палива, що приведений у цій роботі є орієнтованим на розробку таких технологій, що були би вільні від вищевказаних недоліків.

Основні положення передбачуваного підходу стосуються, головним чином, двох аспектів, а саме, механізму горіння і особливостей реалізації основних елементів робочого процесу пальникового пристрою (сумішоутворення, займання, стабілізації горіння, горіння паливних сумішей і формування необхідних польових характеристик продуктів горіння).

Відмічені основні положення можуть бути сформовані таким чином:

1. Забезпечення в якості домінуючого механізму горіння так названого

проміжного або мікродифузійного механізму. Який поєднує в собі у більшій мірі найкращі якості кінетичного і дифузійного механізмів. А саме, у випадку проміжного механізму має місце висока інтенсивність горіння, яка властива кінетичному механізму, і можливість організації горіння у широкому діапазоні змін коефіцієнту надлишку повітря паливної суміші, що характерно для дифузійного механізму горіння.

2. Організація високоефективного сумішоутворення горючого з окиснювачем за рахунок попереднього раціонального розподілення палива у потоку окиснювача за допомогою системи поперечних струменів, які змішуються з потоком окиснювача.

3. Забезпечення стабілізації горіння за рахунок організації циркуляційних течій у нішовій порожнині, яка розміщується внизу за потоком за системою струменів. Даний спосіб призначений для забезпечення :

- надійної стабілізації горіння у широкому діапазоні навантажень;
- високої повноти горіння у широких границях потужностей пальникового пристрою;
- низького аеродинамічного опору пальникового пристрою за повітряним і газовим трактах у порівнянні з традиційними аналогами;
- зниження вірогідності виникнення вібрацій вогнетехнічного обладнання за рахунок пульсацій тисків потоків паливної суміші і продуктів горіння.

4. Забезпечення необхідної ефективності горіння палива і необхідних польових характеристик продуктів горіння за рахунок ефективної організації робочого процесу пальникового пристрою у широкому діапазоні зміни коефіцієнту надлишку повітря шляхом регулювання глибини проникнення струменів газу у сформований потік окиснювача і їх взаємодії з циркуляційною течією у нішовій порожнині.

Таким чином, більшість недоліків сучасних пальникових пристроїв з закруткою потоку визначаються його газодинамічними характеристиками. Основними характеристиками є стійкість і об'єм вихрової структури ($V_{\text{вц}}$). Однак

практика створення і експлуатації пальникових пристроїв на основі методики Іванов Ю.В. показала нестабільність отриманих результатів. Іванов Ю.В. вніс великий вклад у дослідження прямоточних пальникових пристроїв. Його роботи присвячені дослідженню розвитку системи струй пального у потоку окиснювача, що їх зносить, дозволили сформувавши важливий принцип організації робочого процесу пальникових пристроїв. Це - принцип раціональної роздачі пального у потоку окиснювача. Іншими словами, для того, щоб забезпечити необхідну якість сумішоутворення необхідно правильно роздати паливо в потоці окиснювача (рис.3.3).

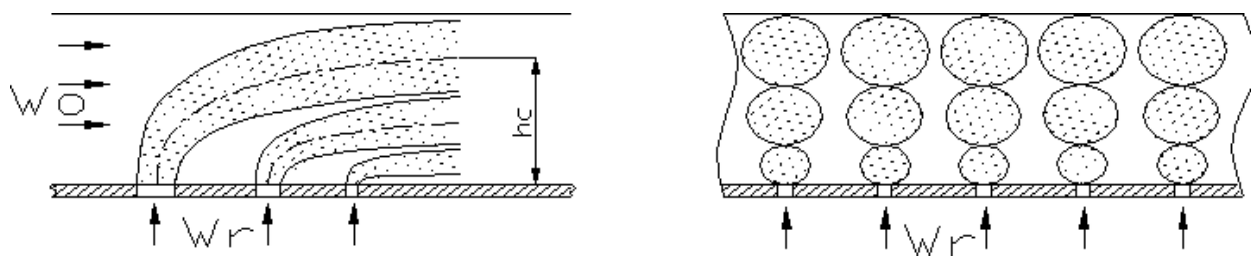


Рис. 3.3. Схема багаторядної роздачі струменів

Вибір діаметрів отворів що роздають газ, відбувається з урахуванням рівності витрат палива, варіантів надання газу. Діаметр отворів приймається з умови $d_2 \leq 0,5d_1$ для забезпечення необхідної величини дальності струменів і раціонального розподілення палива у потоку окиснювача. Значення величини дальності можна визначити за формулою.

На основі розрахунку дальності струменів

$$h_c = k_c \cdot \sin\beta \cdot d \cdot \sqrt{q} \quad (3.1)$$

де k_c – коефіцієнт, що враховує крок розміщення отворів, β – кут вводу струменів палива у повітряний потік, d – діаметр отворів, що надають газ;

гідродинамічний параметр

$$q = \frac{p_z w_z^2}{p_s w_s^2} \quad (3.2)$$

Відстань між рядами отворів для всіх варіантів, що розглядаються обирався із умов розвитку струменів, ззовні області гідродинамічної тіні.

На основі досліджень Іванова Ю.В. була розроблена методика розрахунку пальникових пристроїв, яка отримала назву «методика Іванова».

Розробки Христича В.А. і Любчика Г.Н. показали, що прямоточна схема позбавлена багатьох недоліків, які присутні у вихрових пальникових пристроїв за рахунок саморегуляції складу паливної суміші в області стабілізації факела. Однак такі пальникові пристрої працюють з великим коефіцієнтом загромождження потоку, великим гідравлічним опором та обмеженим за ефективністю значенням коефіцієнта надлишку повітря

α

$$\alpha = \frac{G_{\epsilon}}{G_2 \cdot L_0} > 1,5, \quad (3.3)$$

де G_v і G_r – дійсні витрати повітря і газу відповідно, L_0 – стехіометричний коефіцієнт.

Використовуючи принципи організації горіння за допомогою системи струменів палива у зносящому потоку окиснювача і закономірностями роздачі струменів за методом Іванова Ю.В. у КПІ розвивалася дослідженнями прямоочної схеми пальникових пристроїв. Роботи Л.С. Бутовського, проведені для різних способів надання палива відносно циркуляційної зони, показали можливість значного зниження гідравлічного супротиву такої схеми. В.Н. Крижановський показав можливість організації високоефективного мікродифузійного механізму горіння і впливу на нього деяких конструктивних і режимних факторів.

Однак для розвитку та ефективного застосування даних прямоочних схем у пальникових пристроях необхідні комплексні дослідження з аеродинаміки і сумішоутворення у ближньому сліді за системою струменів.

Виникла необхідність забезпечення і усунення аномальних явищ, що мали місце при дослідженні стійкості горіння у широкому діапазоні зміни швидкості

окиснювача та надлишку повітря

Доведено, що перспективною, з точки зору, стійкості і компактності аеродинамічної структури є струменево-нішова система (СНС) (рис. 3.4) сумішоутворення і стабілізації полум'я.

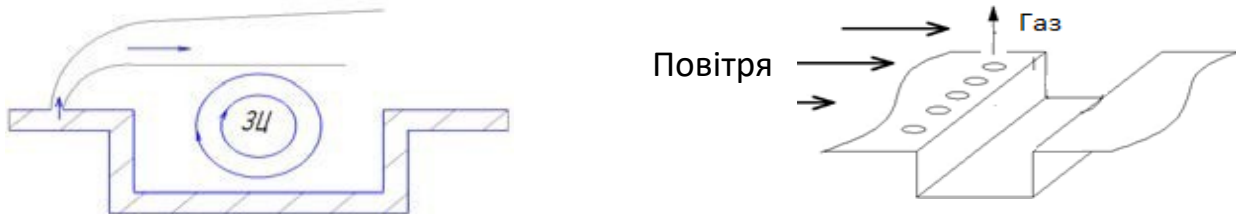


Рис. 3.4. Схема струменево-нішової системи

Паливо у даній схемі роздається однорядною системою струменів які перпендикулярні потоку окиснювача. За системою струменів за потоком розташована нішова порожнина. При цьому, ближній слід за струменями за потоком взаємодіє з течією у цій нішовій порожнині, створюючи стійку вихрову течію у широкому діапазоні швидкостей палива і окиснювача. Роботи Абдуліна М.З., Дворцина Г.Р. і Кулешова Ю.А. показали, що компоновка системи струменів палива перпендикулярно потоку окиснювача і вихроутворення у виді нішової порожнини або уступа дозволяє забезпечити існування стійкої вихрової структури з автотельністю складу паливної суміші у зоні стабілізації горіння за швидкості зносячого потоку. Відмінною властивістю такої схеми являється те, що стійка вихрова структура виникає у результаті гідравлічної взаємодії вихрових течій за системою струменів у нішовій порожнині. Експериментальні дослідження показали широкий діапазон стійкості факелу за швидкості зносячого потоку та коефіцієнту надлишку повітря. Крім того струменево-нішова система має малий гідравлічний опір (рис. 3.5). Натомість значними недоліками СНС є зтягнута довжина факелу та висока температура нішової порожнини.

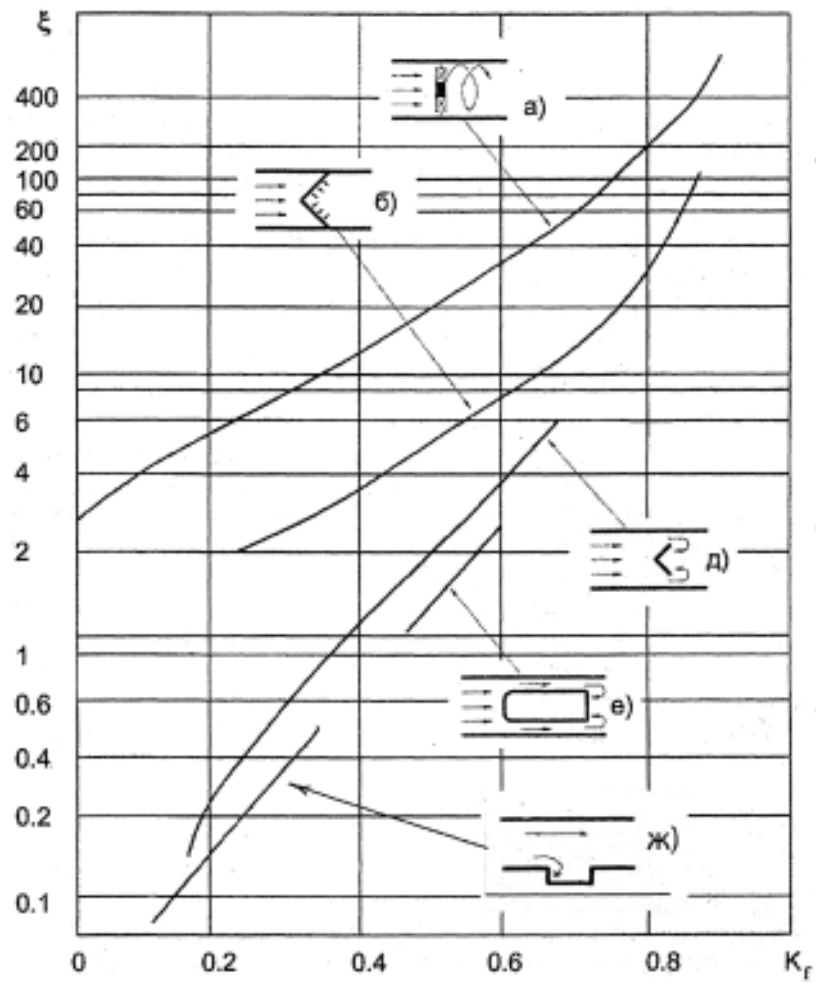


Рис. 3.5. Гідравлічний опір пальникових пристроїв у залежності від коефіцієнту захарачення каналу окиснювача: а) реєстрові ПП, б) струменево-стабілізаторні, д) кутові, е) пілонні, ж) струменево-нішова система.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ, ЩО МОДЕРНІЗОВАНІ СТРУМЕНЕВО-НІШОВИМИ ПАЛЬНИКОВИМИ ПРИСТРОЯМИ

4.1 Аналіз та оптимізація розташування елементів пального пристрою

Даний підрозділ присвячений розгляду результатів досліджень щодо встановлення залежності різних характеристик системи охолодження стабілізатора з плоским імпульсним струменем від відстані між вихідним перетином охолоджуючого каналу і внутрішньої торцевої поверхнею стінки стабілізатора. При проведенні обчислювальних експериментів величина варіювалась в широких практичних межах від 0,375 до 1,5.

На рис. 4.1 - 4.4 і в табл. 4.1 представлені характерні дані виконаних досліджень. Рис. 4.1 ілюструє особливості картини перебігу палива у внутрішній порожнині стабілізатора для найменшого 0,375 м і найбільшого 1,5 м з розглянутих значень. Як видно, зіставляються ситуації течії, що характеризуються певною спільністю, а саме наявністю великого стійкого вихору, прилеглого до стінки охолоджуючого каналу, а також оточуючого даний вихор потоку. Поряд з цим вбачаються також і суттєві відмінності, які стосуються в першу чергу розмірів зазначеного вихору і зон його обтікання.

					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Галько Ю.О.</i>			<i>Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоєфективних пального пристроїв</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>								
<i>Керівник</i>		<i>Філоненко В.М.</i>				<i>НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. 31Е-2м</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Петренко В.П.</i>						

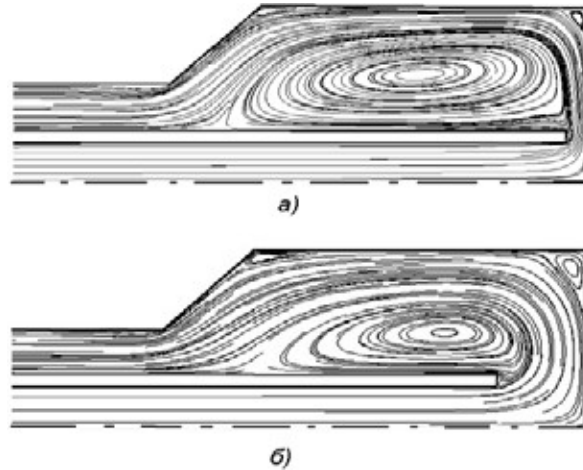


Рис. 4.1. Картина ліній току для системи самоохолодження з обдувом торця стабілізатора плоского імпактного струменя: а) $\delta=0,375$; б) $\delta=1,5$.

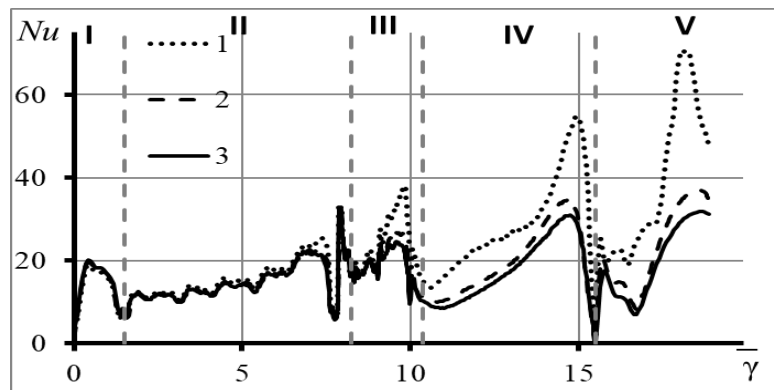


Рис. 4.2 Число Нусельта на внутрішній поверхні стабілізатора для системи самоохолодження з обдувом торця стабілізатора плоским імпактним струменем при різному значенні δ : 1 - $\delta = 0,375$; 2 - $\delta = 1,0$; 3 - $\delta = 1,5$.

Меншому значенню відповідають великі розміри вихору і в цілому менші величини поперечних перерізів потоку, що обтікає вихор. Відповідно до цього значення швидкостей в даному потоці виявляються суттєво вищими при менших.

До того ж, як відомо, зі зменшенням величини δ зростає швидкість газу в зоні удару плоскою струменя про торцеву поверхню стабілізатора. Згідно з отриманими даними максимальні величини швидкості у торцевій поверхні стабілізатора становлять 2,99 і 0,945 при 0,375 і 1,5, відповідно. Саме описані особливості аеродинаміки течії визначають зростання інтенсивності охолодження стабілізатора зі зменшенням відстані між вихідним перетином газоподаючого

каналу і внутрішньою поверхнею торцевої стінки стабілізатора.

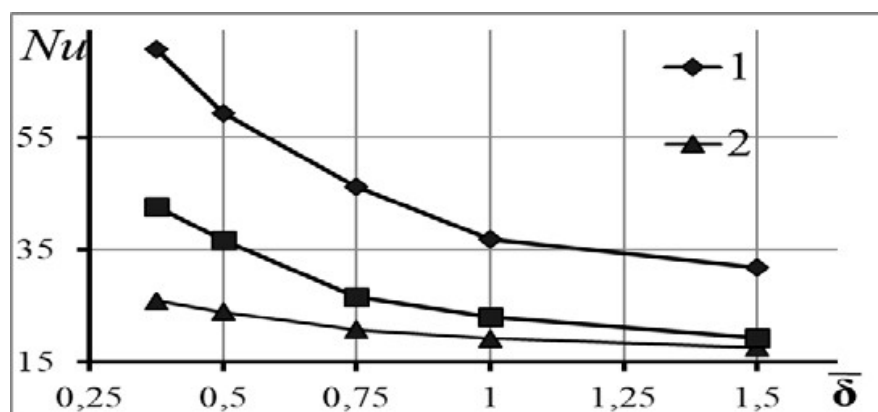


Рис. 4.3. Залежність чисел Nu_{max} , Nu_T і Nu_{cp} , від величини 1 - Nu_{max} ; 2 - Nu_T ; 3 - Nu_{cp} .

Зазначену закономірність ілюструє наведені на рис. 4.2 дані про зміну числа Нусельта уздовж внутрішньої поверхні стабілізатора. Найбільше значення Nu на торцевій поверхні стабілізатора складає згідно з отриманими даними 70,6 і 31,9 для 0,375 і 1,5 відповідно.

У міру віддалення від області максимальних значень числа Нуссельта вниз по потоку до газоподаючих отворів відмінності в величинах чисел Нуссельта, що відповідають різним значенням параметра, в цілому істотно зменшуються. І на достатньому видаленні від цієї області в зоні, яка відповідає дну ніші, відмічені відмінності виявляються вже незначними. Таким чином, в даній ситуації має місце ефект просторової локалізації впливу відстані на інтенсивність тепловіддачі.

На рис. 4.3 представлена залежність чисел Нуссельта: Nu_{max} , Nu_T і Nu_{cp} від відстані. Тут Nu_{max} , Nu_T - максимальне і середнє значення числа Nu на торцевій поверхні стабілізатора, Nu_{cp} - середнє значення числа Nu уздовж всієї охолоджуючої поверхні. Як видно, зі зменшенням найбільш істотно збільшується Nu_{max} , а найменш - Nu_{cp} . Звертає на себе також увагу той факт, що в найбільшій мірі ефект впливу проявляється в діапазоні його зміни від 0,375 м до 1,5. Подальше ж збільшення не робить настільки істотного впливу на величини Nu_{cp} і Nu_T .

Як видно з наведених на рис. 4.4 даних, виявляється можливим значне збільшення як максимальної, так і середньої величини числа Nu на торцевій поверхні стабілізатора за рахунок зменшення відстані. Так, при зниженні від 1,5 до 0,375 величини Nu_{max} і Nu_T зростають приблизно в 2,2 рази. Дана обставина заслуговує на особливу увагу, оскільки саме торцеві поверхні стабілізатора є найбільш теплонапружених.

Рис. 4.5 ілюструє зміну температури уздовж зовнішньої поверхні стінки стабілізатора при різних значеннях. Згідно з наведеними даними загальний характер цієї зміни однаковий для різних величин. При цьому меншим відповідають в цілому більш низькі значення температури. Найбільша розбіжність безрозмірних температур, що відповідають різним величинам (0,375 і 1,5), має місце в центрі торцевій зони стабілізатора і становить 0,23. Значні, хоча і менш високі, розбіжності зіставляються температур зберігаються на всій торцевій поверхні стабілізатора (зона V на графіку), а також і на ділянці його бічної поверхні (зона IV). Таким чином, наведені дані свідчать про те, що зменшення у розглянутих межах величини параметра, дозволяє знизити температуру стінок стабілізатора у найбільш теплонапружених торцевих зонах у середньому приблизно на 0,18.

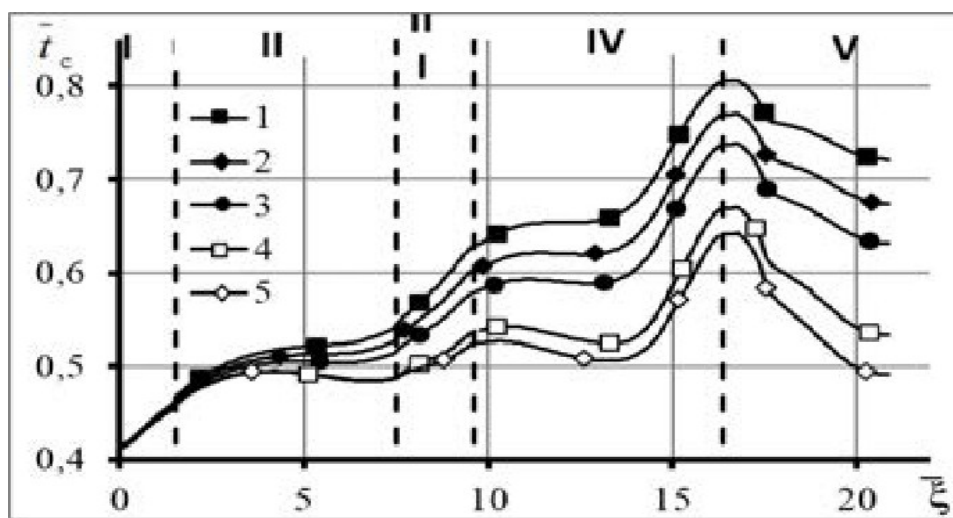


Рис. 4.4 Температура зовнішньої поверхні стінки стабілізатора для системи самоохолодження з обдувом торця стабілізатора плоским імпактним струменем при різному значенні 1 - 1,5; 2 - 1,0; 3 - 0,75; 4 - 0,5; 5 - 0,375.

Тобто варіювання параметра δ є одним із дуже ефективних засобів впливу на тепловий стан стінок стабілізатора у його високотемпературних підгалузях.

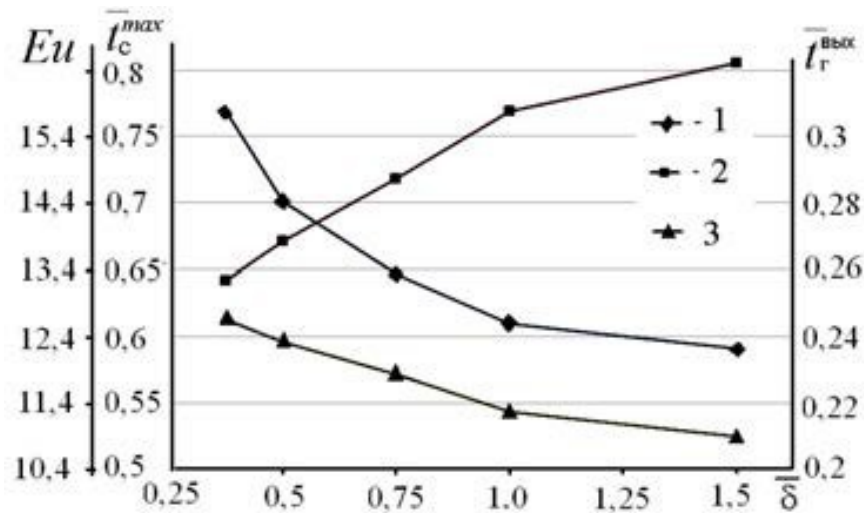


Рис. 4.5. Залежність чисел Eu від величини зазору між торцем газоподаючого каналу та стінкою стабілізатора

Таблиця 4.1.

Характеристики системи охолодження при варіюванні відстані

$\bar{\delta}$	0,375	0,5	0,75	1	1,5
\bar{U}	2,99	2,38	1,66	1,30	0,95
Nu_{max}	70,6	59,2	46,3	36,8	31,9
Nu_{Γ}	42,7	36,7	26,5	23,0	19,3
Nu_{cp}	25,8	24,0	20,7	19,2	17,6
\bar{t}_{c}^{max}	0,642	0,671	0,718	0,769	0,805
Eu	15,8	14,4	13,3	12,6	12,2
$\bar{t}_{\Gamma}^{вых}$	0,245	0,238	0,229	0,217	0,210

Слід зазначити, що зі зменшенням зазору між торцем газоподаючого каналу і стінкою стабілізатора має місце зростання числа Ейлера, відповідного втрат тиску по тракту охолоджувача (природного газу). Однак це зростання у дослідному діапазоні параметрів порівняно невелика (табл. 4.1 і рис. 4.5). Що стосується температури охолоджуючого газу, то, як очевидно, вона підвищується

у міру зменшення зазору через збільшення інтенсивності тепловіддачі від стінок стабілізатора до газу. Величина ж цього підвищення виявляється відносно невеликий внаслідок значної витрати охолоджувального газу. Так, температура газу на виході з системи охолодження становить 0,244 і 0,209 при 0,375 і 1,5 відповідно.

4.2 Теплотехнічні дослідження параметрів котла КВГМ-20 з пальником СНТ-45

Для випробувань пальникового пристрою був обраний котел КВГМ-20 з продуктивністю за теплом 20 Гкал/год. Котли цього типу мають високу ступінь екранування топкового простору, розвинуту поверхню конвективного теплообміну і працюють в умовах врівноваженої самотяги. Крім того котли типу КВГМ мають схильність до вібраційного горіння в діапазонах теплової потужності приблизно $(0,5 - 1) N_{\text{ном}}$.

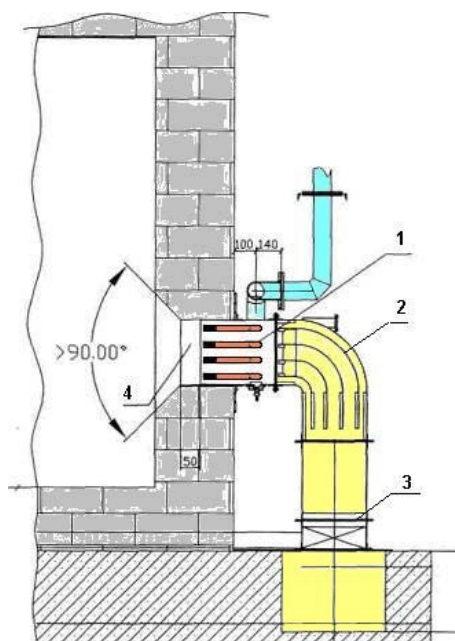


Рис. 4.6. Монтажний ескіз встановлення ПП СНГ в амбразуру котла

1 – пальник газовий СНГ, 2 – напрямний повітровід, 3 – спрямляючий регулюючий шибер, 4 – амбразура.

На рис. 4.6 представлений приклад ПП СНГ в амбразуру котлоагрегату КВГМ-20.

Теплотехнічні дослідження котла проводилось у відповідності з загальноприйнятою методикою за допомогою пристрою «Testo-342» виготовленого у Германії.

Із співставлення результатів випробувань, проведених до і після модернізації палинкових пристроїв, видно, що заміна ротаційного палинкового пристрою вихрововго типу, що був встановлений раніше на два струменеві-нішових палиників типу СНГ-44 дозволила отримати наступні покращення характеристик котла КВГМ-20:

1. ККД котла в однакових умовах виріс до 90,70 до 95,32 % за рахунок зниження температури газів, які уходять на 27°C (від 125 до 98°C) і коефіцієнт надлишку повітря на 0,50 (від 1,73 до 1,23), а також повної відсутності хімедопалу ($CO = 0$).
2. Діапазон стійкого горіння у котлі значно розширений, коефіцієнт робочого регулювання збільшився від 2 до 10.
3. Емісія токсичних речовин, які знаходяться у межах норми.
4. Зниження аеродинамічного спротиву палинкового пристроюзумовило можливість роботи котла у режимі без аварій та суттєвому зниженню витрати електроенергії на привід тяго-дутьових приладів.
5. В результаті пробних пусків котла встановлено, що палинкові пристрої стійко розпалюється при значеннях тиску 5 мм вод. ст. і менше.
6. В усьому робочому діапазоні зникли режими вібраційного горіння.

4.3 Теплотехнічні дослідження параметрів котла НИИСТУ-5 модернізованого на основі СНТ

На сьогоднішній день на теренах України знаходяться в експлуатації десятки тисяч котлів з ККД нижче 80%. Такі котли працюють не тільки на периферії, але і у комунальній енергетиці великих міст. Враховуючи те, що матеріальних ресурсів на заміну застарілої техніки недостатньо, нагальною проблемою є суттєве підвищення їх ефективності.



Рис. 4.7. Котел НИИСТУ-5 з палинковим пристроєм СНТ

Підвищення ККД котлів на 10 - 15% можливе для котлів типу НИИСТУ- 5, Надточія (рис. 4.7) і аналогічних. Конструктивною особливістю даних котлів є недостатнє знімання теплоти за рахунок відсутності інтенсивного конвективного теплообміну. Тому температура газів, що відходять, значно перевищує 300°C, і може сягати 400°C і більше. Використання теплоти цих газів, за рахунок технології спалювання, є значним потенціалом для підвищення ККД вогнетехнічних об'єктів.

СНТ дозволяє знизити критичний коефіцієнт надлишку повітря ($\alpha_{кр}$) з 1,15 - 1,25 які характерні для існуючих палинкових пристроїв до значень 1,01 - 1,02. Таке зниження надлишкового повітря приведе до збільшення температури продуктів горіння у топковому просторі на 150 - 200°C. Це в відповідності з законом Стефана-Больцмана дозволяє значно збільшити радіаційний теплообмін у топковому просторі і таким чином дозволяє знизити температуру газів, що уходять і кількість надлишкового повітря. І таким чином дозволяє значно підвищити ККД вогнетехнічних об'єктів. Випробування десяти котлів НИИСТУ-5 у Горлівській тепломережі показали, що зниження надлишку повітря призводить до зниження температури газів, що уходять до 140°C. При цьому ККД котла зріс до 89,5%. А рівень емісії забруднюючих речовин не перевищує нормальних значень.

4.3 Результати модернізації котлів малої потужності

Досліджено впровадження ПП при модернізації котлів малої продуктивності (0,3 - 0,7 Гкал/год) НИИСТУ-5, «Надточия» та інш. (рис. 4.8). Особливістю таких котлів є відсутність яскраво вираженої конвективної частини, і внаслідок цього, високий рівень температури газів що виходять (350 – 450°C), значні присоси повітря у топку. Через це кількість надлишкового повітря у декілька раз перевищує нормативні значення. Внаслідок цього реальний ККД таких котлів рідко перевищує 75%. І хоча такі котли вважають морально і фізично застарілими, струменево-нішова технологія дозволяє суттєво підвищити рівень їх ефективності при відносно невеликих витратах на модернізацію.

Результати промислових випробувань котлів НИИСТУ-5 з газовими пальниками СНТ протягом декількох опалювальних сезонів підтвердили можливість модернізації застарілих котлів, з переводом на низький тиск газу (котли стійко забезпечують номінальне тепловенавантаження при тиску газу 40 - 50 мм вод. ст.) і підвищення ККД котлів до 90%.



Рис. 4.8. Котел НИИСТУ-5, модернізований на основі СНТ

Оптимізація аеродинамічних і термохімічних процесів в даних котлах дозволила значно зменшити коефіцієнт надлишку повітря у порівнянні з штатними пальниками завдяки збільшенню температури факела і відповідно, інтенсифікації променевих теплових потоків, що допомогло значно знизити температуру відходящих газів (більш ніж на 250°C). Порівняння роботи ПП СНТ

з встановленими раніше на котлі подовими пальниками в котельних міст Прилуки, Чернігів, Сокаль, Горлівка, Київ показали, (всього більше 30 котлів) що витрати палива на котлах знижувалась як мінімум на 10 - 15%, а викиди NO_x зменшились до 121 - 128 мг/м^3 .

За результатами порівняльних випробувань ефективності роботи котлів з встановленими сучасними пальниковими пристроями типу СНГ-22 (з автоматикою управління і безпеки з їх роботою на штатних подових пальниках встановлено (табл. 4.2):

1. Пальникові пристрої СНТ працюють стійко і високоефективно по всьому діапазоні заданих навантажень (від 100 кВт до 600 кВт).
2. Відмічено пониження температури відходячих газів на 45 - 60°C. Відмічено пониження емісії шкідливих викидів більш чим на 30%. Відмічено зниження коефіцієнта надлишку повітря на 0,72 - 1,1.

Таблиця 4.2.

Результати модернізації котлів НИИСТУ на основі ПП СНТ-22

Назва параметра	Горлівка		Дніпропетровськ		Саки	
	до	після	до	після	до	після
До модернізації/після модернізації						
Витрата газу, $\text{м}^3/\text{год}$	52,8	44	55	50	53	48
Теплове навантаження, Гкал	0,29	0,34	0,34	0,38	0,36	0,37
Температура відходящих газів	215	170	223	175	230	170
ККД, %	78	91	74	90	71	89
Кількість надлишку повітря	2,05	1,32	2,12	1,4	2,6	1,5
NO_x , мг/м^3	185	144	180	138	198	140

При стабільному навантаженні на котли середня питома витрата газу на вироблену Гкал складає відповідно: на котли Горлівської тепломережі до модернізації – 144,8 $\text{м}^3/\text{Гкал}$, після модернізації – 131,2 $\text{м}^3/\text{Гкал}$; на котли Дніпропетровської обл. тепломережі до модернізації – 147,2 $\text{м}^3/\text{Гкал}$, після

модернізації – 133,4 м³/Гкал; на котли тепломережі м. Саки – до модернізації 148,8 м³/Гкал, після модернізації – 134,2 м³/Гкал. Як видно з приведених даних усереднених значень приведених даних показують ефективну роботу пальникових пристроїв типу СНТ. Крім того дана модернізація дозволяє вести режим навантажень котельної в реальному часі в залежності від температури повітря по заданому графіку, або по заданому температурному рівні зворотної мереживної води. Також застосування пальникових пристроїв з автоматикою керування і безпеки дозволяє роботу котла з дотриманням у повному обсязі сучасних вимог до безпеки.

4.4 Вплив робочого процесу струменево-нішових пальникових пристроїв на характеристики котлів КВГМ та ПТВМ

Котли з високою ступеню екранування радіаційної частини (ПТВМ, КВГМ, ДЕ) після модернізації також значно покращили свої техніко- експлуатаційні характеристики. ККД таких котлів після модернізації склав 95% і вище за рахунок гранично низьких коефіцієнтів надлишку повітря і температури відходячих газів. Так, в м. Донецьк (Пролетарський район) котельня з трьома котлами ПТВМ-30 повністю переведена на низький тиск (до 500 мм вод. ст.). Значно розширений діапазон роботи котлів по потужності при роботі всіх ПП, тобто виключена необхідність регулювання потужності відключенням частини пальникових пристроїв. Встановлено, що розпал пальників СНТ на всіх типах модернізованих котлів легко здійснюється при мінімально можливій витраті газу. Тиск газу на пальники при цьому складає декілька Па. Струменево-нішова технологія, реалізована в пальниках СНТ, забезпечує впорядковану течію продуктів згорання в топці, що, в свою чергу, дозволяє усунути потужні вихрі, викликані закруткою потоку повітря. В результаті запобігають виникненню досить частих вібраційних режимів котлів КВГМ-10, ДЕ-2,5, ДЕ-10, ДЕ-25 та інші при навантаженні більше 50 - 60% номінальної. Як правило, модернізовані котли експлуатувались 20-40 років і більше і їх технічний стан був незадовільним: завищенні в декілька раз

присоси повітря, занесені труби (гідравлічний опір деяких котлів доходив до 6 – 7 кг/см²), розбалансовані тягодуттьові засоби та інш. Однак застосування струменево-нішової технології незмінно відчутно покращувало всі характеристики роботи котлів.

Малий аеродинамічний опір СНТ по трактам горючого і окиснювача понижує навантаження на тягодуттьові засоби в 1,3 - 2 рази, що дозволяє заміну існуючих тягодуттьових пристроїв на пристрої меншої потужності. В діапазоні до 60%, котлоагрегати можуть працювати в безвентиляторному режимі, а в деяких випадках і на самотязі, за рахунок розрідження, що створює димова труба.

За рахунок плавного розпалу пальників і стійкості їх роботи при витраті газу, що складають не більше 2% від номінальної потужності досягається підвищення безпеки роботи котла на пускових режимах.

Висока степінь перемішування газо-повітряної суміші в ПП СНТ забезпечує зразу за пальниковим пристроєм рівномірну стехіметричну суміш для ефективного її спалювання. Даний факт дозволяє створювати в топковому просторі вогнетехнічного об'єкту температурне поле продуктів згорання високої рівномірності. Це сприяє високоефективному теплосприйняттю екранними поверхнями котла всієї енергії, що виділилась в результаті спалювання палива, а також усуненню теплових перекосів в топковому просторі і призводить до збільшення строку служби вогнетехнічного об'єкту в цілому.

Високе значення (більше 10) коефіцієнту робочого регулювання дозволяє збільшувати діапазон ефективної роботи вогнетехнічного об'єкту (від 10% до 100% потужності), причому нижче значення потужності об'єкту залежить лише від щільності закриття шиберного апарату тяго-дутьтьових засобів. Відмінною особливістю струменево-нішової технології спалювання є можливість вирішувати неочікувані завдання (в тому числі і соціальні), виникаючі при експлуатації обладнання. Так в м. Запоріжжі було зірвано початок опалювального сезону (2003 - 2004р.) через низький тиск газу в мережі струменево-нішова технологія дозволяє вирішувати ці виклики.

Котельня м. Донецьк (теплова потужність 120 Гкал котли ПТВМ-30) настільки стійко працювала в зимовий період, що на 37% (більше 1 млн. грн) збільшила збір коштів з населення за високу якість подачі теплоти. Розпалювання пальників типу СНТ на котлі ПТВМ-50 відбувається при тиску газу в декілька міліметрів водяного стовбця. Завдяки цьому вихід на режим котла здійснюється при одночасній роботі всіх 12 ПП.

У поточному часі почали приділяти все більше уваги автоматизації роботи ВО. В зв'язку з цим необхідно відмітити, що технічний рівень автоматики знаходиться в прямій залежності з можливостями технології спалювання. Наприклад ця технологія забезпечує: розпал ПП при тиску газу менше 1 - 3 мм вод. ст., регулювання потужності ВО всіма ПП одночасно, роботу ПП у безвентиляторному режимі і т.д. Розв'язання таких нових задач потребує від автоматики більш високого рівня розвитку. Потрібно відмітити, що автоматика за останні декілька років зробила великий крок вперед, але досі значно відстає від можливостей нових технологій спалювання.

5. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОТЕЛЬНОЇ

5.1 Вихідні технічні умови

В проект реконструкції котельні входить монтаж нових пальників СНТ-100 в котлах КВГМ-20.

В приміщенні насосної встановлюються два нові мережеві насоси НК 150-400/394 з електродвигуном $N = 90$ кВт (робочий та резервний) та залишається існуючий насос НК 200-400/359 з електродвигуном $N = 75$ кВт в якості резервного. Мережеві насоси передбачені з електронним управлінням обертів електродвигунів.

В приміщенні водопідготовки встановлюється проектні насоси підживлювальної води.

Проектом передбачається встановлення дренажного погрузного насосу, електрозасувок на трубопроводі мережевої води, на баках підживлення води та запасу гарячого водопостачання, а також на газопроводі до котла та передпускове освітлення приміщення котельного залу системи ОВ.

Електроприймачі за надійністю електропостачання відносяться до II категорії згідно ПУЕ. Напряга мережі живлення 380/220В.

5.2 Підбір обладнання та його технічні характеристики

Визначення потужності електроприводу проводиться на основі графіка навантажень, ККД механізму та передачі; коефіцієнтів перевантаження та інших вихідних даних.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
Розроб.		Галько Ю.О.			Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоєфективних пальникових пристроїв	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Керівник		Філоненко В.М.						
Н. Контр.								
Затверд.		Петренко В.П.						
						НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТБ ⁷⁶ 2м		

Використовуюється наступна формула, що дозволяє за відомими технологічними параметрами визначити розрахункове значення потужності

$$P_{\text{розр}} = \frac{k_3 \cdot Q_n \cdot \rho \cdot g \cdot H_n \cdot 10^{-3}}{\eta_n \cdot \eta_{\text{нас}}}, \quad (5.1)$$

де $P_{\text{розр}}$ - розрахункова (необхідна) потужність електродвигуна, кВт; k_3 - коефіцієнт запасу, що приймаються 1,1...1,3 залежно від потужності електродвигуна; $g = 9,81$ - прискорення вільного падіння, м/с²; Q_n - подача (продуктивність) насоса, м³/с; H_n - розрахункова висота підйому, м; ρ - щільність рідини, що перекачується, кг/м³; $\eta_{\text{нас}}$ - ККД насоса (для відцентрового насоса з тиском понад $0,4 \times 10^5$ Па - 0,6 - 0,75; з тиском до $0,4 \times 10^5$ Па – (0,45-0,6)); η_n - ККД передачі, рівний 0,9 - 0,95.

Залежно від потужності з типових каталогів вибираємо електродвигуни до насосів, димососів, вентиляторів та іншого обладнання. Умови вибору двигуна – $P_{\text{розр}} \leq P_n$. Результати вибору зводимо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Характеристика встановлюваного силового обладнання котельні

Назва пристрою	Кількість	Характеристика пристрою							Електричний двигун	
		Тип	Продуктивність, Q_n		Напір H_n м.в.ст.	ККД		P_p кВт	Тип	P_n , кВт
			м3/год	м3/с		$\eta_{\text{нас}}$	η_n			
Дуттьовий вентилятор	1	HW1000-6-300	20000	5,6	0,39	0,9	0,95	27,3	HW1000-6-М	30
Насос рециркуляції води для котла	2	TP62 - 140 /2A	62	0,0172	20	0,6	0,9	6,9	TP62 -М	7,5
Насос сітрової води для системи опалення та вентиляції	2	NK 150-400/394	400	0,111	40	0,6	0,9	88,8	MMG 280 М	90
Насос сітрової води для системи опалення та вентиляції	1	NK 200-400/359	300	0,083	40	0,6	0,9	66,6	IVB-М	75
Насос підживлюваної води	2	CR(E)15-3-F	15	0,0042	30	0,6	0,9	2,5	CR(E)15-3-М	3
Насос дренажний	1	VC-32/10	10	0,0028	6	0,6	0,9	0,3	VC-32/10	0,37

Номінальний струм електродвигуна розраховується за формулою

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (5.2)$$

де P_n – номінальна потужність приймача, кВт; U_n – номінальна лінійна напруга мережі живлення, кВ; η і $\cos \varphi$ – ККД і коефіцієнт потужності двигуна при його номінальному завантаженні β .

Розраховані значення номінального струму в лінії живлення електричних приймачів в залежності від потужності та їх завантаження, а також технічні параметри для подальшого визначення розрахункового навантаження, прикладеного до шин РПр ТП ВП, наведені нижче.

Технологічне обладнання, що включає нестандартизоване, в основному, постачається комплектно із електрообладнанням. Для живлення та електронного керування мережевими насосами та насосами підживлення води, проектом передбачається встановлення шаф управління Control MPC-F і MPC-E та залишається існуюча шафа керування для існуючого мережевого насоса (табл. 5.2). Шафи управління враховані в розділі автоматики і КВП.

Таблиця 5.2.

Характеристика апаратури управління

Місце установки, апарат, агрегат	Тип електричного двигуна	I_n ,	$1,1 \cdot I_n$,	Тип шафи управління
		А	А	
Дуттьовий вентилятор	HW1000-6-М	56,8	62,4	HW1000-6-300- K1
Насос рециркуляції води для котла	TP62-М	13,6	14,9	
Насос сітьової води для системи опалення та вентиляції	MMG 280 М	165,4	181,9	МПС-F
Насос сітьової води для системи опалення та вентиляції	IVB-М	139,3	153,3	МПС-F
Насос підживлюваної води	CR(E)15-3-М	5,2	5,7	МПС-E
Насос дренажний	VC-32/10	0,7	0,8	КМИ10920
Засувка на газопроводі ЗГ-М	4A100L8Y3	4,1	4,5	Я-5430-2674УХЛ
Засувка на трубопроводі ЗТ-М	4AA50B4Y3	0,4	0,5	КМИ10932

Для іншого обладнання передбачається встановлення пускової і захисної апаратури. В якості пускової апаратури приймаються магнітні пускачі.

Магнітні пускачі (МП) вибирають і застосовують для дистанційного управління електричними приймачами різної потужності. Їх встановлюють на пультах управління, в шафі керування або безпосередньо біля двигунів.

Для захисту електричних двигунів від перевантаження в МП встановлено теплове реле. МП вибирають з умов:

- 1) $I_{мп} > I_n$
- 2) $U_{мп} = U_n$
- 3) $I_{спр.т.р.} > 1,1 I_n$,

де $I_{мп}$ і I_n - номінальний струм МП і розраховане значення струму електричного приймача; $I_{спр.т.р.}$ - струм спрацьовування теплового реле.

Управління механізмів котла передбачається зі щита управління котлом. Для іншого електрообладнання схеми передбачають місцеве та дистанційне управління зі щита оператора.

Напруга силових мереж – 380/220 В змінного струму частотою 50 Гц, мереж управління – 220 В.

Автоматичні повітряні вимикачі (автомати) застосовують для захисту мереж електричних приймачів від пошкоджень, що вимикають під впливом струму при перевищенні допустимих значень, в тому числі, струмів КЗ. Вони виробляються із електромагнітними та комбінованими роз'єднувачами. Вибір автоматів виконується згідно умов:

- 1) $I_{н.а.} > I_l$;
- 2) $U_{н.а.} > U_l$;
- 3) $\Sigma I_{э.р.} > 1,25 I_{пуск}$ - доля ланцюгів з одним двигуном;
- 4) $I_{т.р.} > \beta I_n$;

Тут $I_{н.а.}$ і $U_{н.а.}$ - номінальний струм і напруга автоматів; I_l і U_l - струм і напруга лінії; $I_{э.р.}$ - струм спрацьовування магнітного роз'єднувача; $I_{пуск}$ - пусковий струм двигуна; $I_{т.р.}$ - струм спрацьовування теплового роз'єднувача.

Згідно технічних умов, що розробляються енергопостачальною організацією, живлення електроприймачів 0,4 кВ котельні, яка реконструюється, здійснюється від існуючих щитів 51ЩС-3 (мережеві насоси) і 51ЩС-5. Існуючі електрокабелі 0,4 кВ від відповідної ТП до щитів 51ЩС-3, ЩС-5 перевірені розрахунками по тривало допустимому струму, по втраті напруги і струмам однофазного короткого замикання із урахуванням існуючого та проектного навантаження.

В зв'язку зі збільшенням навантаження на щиті 51ЩС-3 $I_{роз.}=160A$, а $I_{доп.}=140A$ кабелю АВРГ 3x70+1x35, проектом передбачається додаткова прокладка кабелю АВРГ 3x70+1x35 від 51ЩСУ-2 до щита 51ЩС-3. Кабель прокласти по існуючим металевим конструкціям паралельно з існуючим кабелем.

В зв'язку зменшенням навантаження в щиті 51ЩС-5 передбачається заміна автоматичних вимикачів фірми Moeller PL7 відповідно потужності електроприймачів і трансформаторів струму 400/5 на 200/5.

Розподільча мережа виконується кабелями марки ВВГнг відповідних перетинів, що прокладається по металевим кабельним конструкціям і в металеворукаві. Ланцюги управління виконуються кабелями КВВГнг. Вибір кабелів наведено в табл. 5.3.

5.3 Електроосвітлення

У котельні передбачено існуюче робоче і аварійне освітлення напругою 220В змінного струму 50 Гц; місцеве – для ремонтних робіт напругою 12 В змінного струму 50 Гц. Існуюче освітлення відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Додатково передбачається пускове освітлення приміщення котельного залу системи ОВ. Пускове освітлення котельні виконується світильниками у вибухозахищеному виконанні

Мережа пускового освітлення виконується у вибухозахищеному виконанні кабелями ВВГнг.

Управління пусковим освітленням передбачається вимикачами встановленими поза межами котельні.

Таблиця 5.3.

Кабельно-трубний журнал

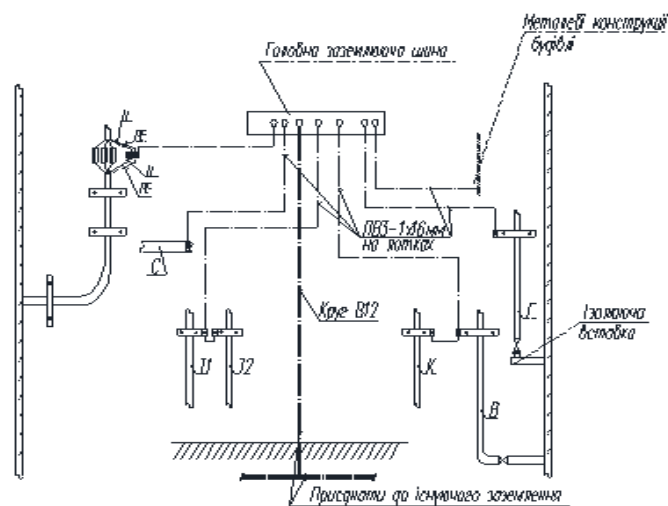
Позначка кабелю (трубу)	Трасса		Проклад через трубу				Кабель (труба)						
	Початок	Кінець	Початок в'їжд.	Діаметр кабелю	Довжина каб.	Протяг каб. в'їжд.	По трасі			Проложено			
							Марка	Кількість	Довжина м.	Марка	Кількість	Довжина м.	
		4Б											
Котел водонагрівний автоматизований НМ1000-6-300-03													
1-1	51ШО-5 шит	Шит управл котла К1	т	63	3		ВВГчс	1,5х2,5	22				
1-2-1	Шит управл котла К1	1-2М1-ел. везун	МР	32	5		ВВГчс	1,4х4	18				
1-2-2	Шит управл котла К1	1-2М2-ел. везун	МР	32	6		ВВГчс	1,4х4	19				
1-3-1	Шит управл котла К1	1-3-М1-ел. везун	т	32	7		ВВГчс	1,4х1,6	14				
Народи гітрової води для системи опалення і вентиляції													
2-1	51ШО-3 шит	Шафа управл МРС-Р					4ВВГ	1х3х0,1х0,1	27				
2-1-2	Шафа управл МРС-Р	2М1-ел. везун					ВВГчс	1,3х0,1х0,1	20				
2-2-2	Шафа управл МРС-Р	2-2М2-ел. везун					ВВГчс	1,3х0,1х0,1	22				
2-3-2-1	51ШО-3 шит	Шафа управл ШУ					ВВГчс	1,3х0,1х0,1	28				існуючий
МВ-2	Шафа управл ШУ	1-2М1-ел. везун					ВВГчс	1,3х0,1х0,1	24				
Народи підживлювальної води													
3-1	51ШО-3 шит	Шафа управл МРС-Е					ВВГчс	1,5х2,5	20				
3-1-2	Шафа управл МРС-Е	3М1-ел. везун					ВВГчс	1,4х2,5	14				
3-2-2	Шафа управл МРС-Е	3М2-ел. везун					ВВГчс	1,4х2,5	15				
Народи дренажний													
10-1	51ШО-5 шит	10-КМ-пункт					ВВГчс	1,5х1,5	7				
10-2	10-КМ-пункт	10М-ел. везун	т	32	5		ВВГчс	1,4х1,5	5				
Заруки для баку підживлювальної води													
31-1	51ШО-5 шит	31-КМ-пункт	МР	25	5		ВВГчс	1,5х1,5	7				
31-3	31-КМ-пункт	3К-1 коробка					КВВГчс	1,10х1,5	1				
31-2	3К-1 коробка	31-М1-ел. везун	МР	25	5		КВВГчс	1,10х1,5	32				
31-2	3К-1 коробка	Шит оператора					КВВГчс	1,10х1,0	10				
Заруки на трубопроводі гітрової води													
3Т1-1	51ШО-5 шит	3Т1-КМ-пункт	МР	25	5		ВВГчс	1,5х1,5	7				
3Т1-3	3Т1-КМ-пункт	3К-1 коробка					КВВГчс	1,10х1,5	1				
3Т1-2	3К-1 коробка	3Т1-М1-ел. везун	МР	25	5		КВВГчс	1,10х1,5	15				
3Т1-2	3К-1 коробка	Шит оператора					КВВГчс	1,10х1,0	10				
3Т2-1	51ШО-5 шит	3Т2-КМ-пункт					ВВГчс	1,5х1,5	7				
3Т2-3	3Т2-КМ-пункт	3К-1 коробка					КВВГчс	1,10х1,5	1				
3Т2-2	3К-1 коробка	3Т2-М1-ел. везун	МР	25	3		КВВГчс	1,10х1,5	22				
3Т2-2	3К-1 коробка	Шит оператора					КВВГчс	1,10х1,0	10				
Заруки на газопроводі													
3Г-1	51ШО-5 шит	3Г-3Г-ящик					ВВГчс	1,5х2,5	15				
3Г-2	3Г-3Г-ящик	3Г-М-ел. везун	МР	25	10		ВВГчс	1,4х2,5	23				
3Г-3	3Г-3Г-ящик	3Г-3Г-вимикачі	МР	25	10		ВВГчс	1,10х1,5	23				

5.4 Захисні заходи електробезпеки. Блискавкозахист і заземлення

Захист від прямих ударів блискавки димових труб (ІІІ рівень блискавкозахисту) забезпечено існуючими однострижньовими блискавкоприймачами, що встановлені безпосередньо на димових трубах котельні, відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.5-38:2008 «Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд» і не потребують додаткових проектних рішень. Згідно з Додатком А ДСТУ Б В.2.5-38:2008 будівля котельні не потребує додаткового блискавкозахисту, оскільки має ступінь вогнестійкості – ІІ.

Газовідвідні і скидні свічки згідно розрахунків не утворюють вибухонебезпечних концентрацій і тому не потребують включення до зони захисту блискавковідводів.

З метою вирівнювання потенціалів виконано заземлення металевих виробничих конструкцій технологічного обладнання та трубопроводів всіх призначень шляхом їх приєднання до головної заземлювальної шини (п. 2.4.1.9 ДБН В.2.5-27-2006).



- Г- труба газопостачання
- П- трубопровід подавальної сіткової води до проектних стаціонарних теплогостачання
- З- трубопровід зворотної сіткової води від проектних стаціонарних теплогостачання
- В- труба водопроводу
- К- труба каналізації
- Г- труба газопостачання
- С- система вентиляції

Рис. 5.1. Основна система вирівнювання потенціалів

6. АВТОМАТИЗАЦІЯ КОТЛА КВГМ-100

Магістерською роботою передбачається модернізація котлів КВГМ-20 шляхом встановлення паликових пристроїв СНТ-100 в існуючій котельні районної системи тепlopостачання, а також впровадження допоміжного устаткування котельні.

Робота котельні передбачається без присутності постійного обслуговуючого персоналу, але за вимогою замовника передбачено присутність в котельні одного оператора в зміну.

Проект містить основні рішення щодо оснащення засобами контролю, керування і автоматизації технологічного устаткування котельні в обсязі, достатньому для надійної, економічної і безаварійної його експлуатації, а також забезпечують можливість аналізу роботи устаткування і проведення госпрозрахункових операцій, як для внутрішньо виробничого, так і для комерційного розрахунку за енергоресурси і енергоносії.

Проект виконаний відповідно до вимог СНиП II-35-76 «Котельные установки», «Тимчасові правила обліку відпустки і споживання теплової енергії», вимог «Загальних положень про порядок обліку і контролю витрати палива» і «Правил безпеки систем газопостачання України».

6.1 Теплотехнічний контроль

Прилади теплотехнічного контролю прийняті у відповідності з наступними принципами:

– параметри, спостереження за якими необхідно для правильного ведення технологічного процесу і здійснення передпускових операцій вимірюються показуючими приладами;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
Розроб.		Галько Ю.О.			Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоєфективних паликових пристроїв	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Керівник		Філоненко В.М.						
Н. Контр.								
Затверд.		Петренко В.П.						
						НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м ⁸³		

- параметри, облік яких необхідний для господарських розрахунків або аналізу роботи устаткування, контролюються самописними або підсумовуючими приладами;

– параметри, зміни яких може привести до аварійного стану устаткування, контролюються сигналізуючими приладами.

6.2 Засоби автоматизації

Котел КВГМ-20 оснащений комплексом засобів автоматизації та контрольно-вимірювальними приладами, що забезпечують безаварійну економічну і надійну роботу котла.

Для забезпечення нормального режиму теплопостачання проектом передбачений контролер Sipart DR, що контролює подачу теплоносія до споживача, змінюючи положення регулюючої засувки в залежності від температури зовнішнього повітря.

Проектом передбачене автоматичне підживлення системи теплопостачання в залежності від тиску зворотної мережної води й автоматичне регулювання рівня в баку підживлювальної води регулятором прямої дії.

Для запобігання роботи підживлювальних насосів без заливу проектом передбачене блокування роботи насосів при досягненні аварійного нижнього рівня в баку підживлювальної води.

Для виміру теплової енергії, виробленої котельною, проектом передбачається лічильник теплової енергії Multical 601, який на цифровому дисплеї показує значення вимірюваних параметрів (об'ємна витрата теплоносія, різниці температур теплоносія в прямому та зворотньому трубопроводах, теплової потужності, дати поточного часу і коду несправності). Крім того, Multical 601 має вихід для інформаційного зв'язку по стандартному інтерфейсу RS232 а також M-Bus для автоматичного дистанційного знімання показань і передачі цієї інформації на ЕОМ.

Для візуального контролю за поточними параметрами і роботою устаткування проектом передбачені показуючі контрольно-вимірювальні прилади в обсязі вимог СНиП II-35-76 «Котельные установки».

Існуючі котли „Vitomax 200” та UWM-1000 забезпечені системою автоматики в повному обсязі і додаткових проектних рішень не потребують.

Існуюча котельня забезпечена комплексом технічних засобів призначених для:

- автоматичного виявлення пожежі (в існуючих побутових приміщеннях котельні);

- прийому інформації від датчиків, що мають релейні виходи (датчик температури в приміщенні котельні, датчик охоронної сигналізації, датчик загазованості);

- керування клапаном-відсікачем газу на котельню при загазованості, пожежі і відключенні електроживлення (в зв'язку із встановленням пальникового пристрою СНТ-100) передбачено встановлення додаткового клапану-відсікачу газу на лінії подачі газу до котла аналогічно існуючим. Управління клапаном виконати за допомогою існуючої системи загазованості «Gazex» шляхом паралельного підключення до існуючих клем управління клапанами).

6.3 Розміщення засобів автоматизації

Місця розміщення засобів автоматизації в котельні показано на плані (дивись креслення аркуш 3).

Щити управління котлом КВГМ-20 встановлюється безпосередньо біля котла в спеціальному відведеному для цього місці. Контролер ECL Comfort 200, обчислювачі теплової енергії Multical 601 встановлюються на стіні котельні та стійках після монтажу технологічного устаткування в місцях зручних для обслуговування на висоті 1,5 м від рівня підлоги.

Щити управління насосами сітьової води встановлюються в

електрощитовій, щити управління насосами підживлювальної води встановлюються в приміщенні водопідготовки безпосередньо біля насосів.

Кабелі та провід прокладати в перфорованому лотку, по перфополосі та по стіні з кріпленням накладними скобами, а також в існуючих кабельних каналах.

6.4 Вказівки для системи диспетчеризації на АРМ оператора

Планом реалізації даного проекту передбачається забезпечення функціонування інформаційного диспетчерського пункту. Програмне забезпечення та схему системи диспетчеризації на АРМ оператора надає підрядна монтажна організація на стадії виконання монтажних та налагоджувальних робіт.

Перелік сигналів для забезпечення візуалізації на місці оператора наведено нижче:

- тиск води на виході із котельні (Т1);
- тиск води на вході в котельню (Т2);
- тиск газу до пальника;
- тиск повітря до пальника;
- тиск води до котла та після котла;
- тиск димових газів ;
- температура води на виході із котельні (Т1);
- температура води на вході в котельню (Т2);
- температура води до котла;
- температура води після котла;
- температура води до економайзера;
- температура води після економайзера;
- температура димових газів до та після економайзера;
- витрата води через котел;
- витрата води від котла в тепломережу;
- витрата води загальна від котельні в тепломережу;
- витрата газу у котлі;

- стан обладнання;

* положення заслінки на перепуску; * положення трьохходового клапану; * стан роботи насосів; * стан роботи котла.

6.5 Вказівки з експлуатації. Техніка безпеки

Після виконання всіх видів робіт, обкатки устаткування і прийомки їх робочими комісіями проводиться комплексне опробування технологічного устаткування і виведення технологічного процесу на робочий режим. Після усунення монтажними і налагоджувальними організаціями виявлених при цьому недоліків і досягнення заданої якості, об'єкт приймається в експлуатацію.

Для чергового персоналу повинна бути розроблена і затверджена головним інженером підприємства виробнича інструкція по обслуговуванню з додатком оперативної схеми трубопроводів, котра повинна бути розташована на робочому місці.

Експлуатаційний персонал повинен чітко знати і виконувати усі вимоги, викладені в виробничій інструкції.

Роботи по налагоджуванню та регулюванню приладів дозволяється виконувати особам, що мають спеціальну підготовку, посвідчення кваліфікаційної комісії та допуск до експлуатації електроустаткування напругою до 1000 В.

При профілактичних роботах живлення від мережі повинно бути відключено.

Всі роботи виконувати тільки справним інструментом. Згідно з ПУЕ всі металеві неструмопровідні частини електроустаткування автоматизації, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути надійно занулені.

Таблиця 6.1.

Обладнання та прилади системи автоматизації

Позиція	Найменування та технічна характеристика	Тип, марка позначення документа, опитувального листа	Завод-виготовлювач	Одиниця вимірювання	Кількість
	Лічильник теплової енергії в складі:		Фірма Техномір		
2	Обчислювач	Multical 601	м. Київ	шт.	1
2а, 2в	Витратомір	Ultraflow 65S FF CR		шт.	2
2б, 2г	Датчик температури	Pt500		шт.	2
Лічильник теплової енергії в складі:				шт.	1
3,4,5	Обчислювач з виходом 4...20 мА	Multical 601 (67C2302D8456)	Фірма Техномір, м. Київ	шт.	3
3а, 4а, 5а	Витратомір	Ultraflow 65S FD CN		шт.	3
3б, 3в, 4б, 4в, 5б, 5в	Датчик температури	Pt500		шт.	6
6	Контроллер (регулятор температури)	Sipart DR 19	Фірма Simiens, м. Київ	шт.	1
6а	Датчик температури зовнішнього повітря	ESMT	Фірма Danfoss, м. Київ	шт.	1
6б,г	Датчик температури прямої сітрової води	ESMU		шт.	2
6в	Регулятор "Баттерфляй" диск нж304, PTFE Ду150 комплектно з електроприводом 20 200Нм (управління 4...20мА)	Art.RBV-16-55SS		шт.	1
7	Термоманометр показуючий Шкала по тиску 0...0,6МПа, темп. 0...150°C	ВП80-Р	ТД "Манометр", м. Київ	шт.	4
8	Термоманометр показуючий Шкала по тиску 0...1,0МПа, темп. 0...150°C	ВП80-Р		шт.	4
9	Манометр технічний показуючий Шкала 0...0,06МПа	Д59-Д-100-1,0МПа ТУ33.2-30676682001-2002	ТД "Манометр" м. Київ	шт.	2
10	Манометр технічний показуючий Шкала 0...0,6МПа			шт.	8
11	Манометр технічний показуючий Шкала 0...1,0МПа			шт.	2
13	Шафа управління двома насосами по 90 кВт кожен	Control MPC-F 2x90 SD-I 4	Фірма Grundfos, м. Київ	шт.	1
13а, 13б	Датчик тиску 0-16 бар номер продукту 96637453			шт.	2
14	Шафа керування двома насосами по 3 кВт кожен	Control MPC-E 2x3.0 ESS		шт.	1
14а	Датчик тиску 0-16 бар номер продукту 96637453			шт.	1
14б	Поплавковий датчик (захист по сухому ходу)	Reifa E		шт.	1
16	Тягонапоромір (-300...+300 кг/см*2)	НМП-52		шт.	1
17	Комплект приладів для газових аналізів	КГА-1-1 ТУ 92.891.006-90	"Химлаборприбор" м. Клин, Росія	шт.	1

7. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕКОНСТРУКЦІЇ

7.1 Вихідні дані для розрахунку

Передбачається модернізація котлів КВГМ-20 шляхом встановлення палинкових пристроїв СНТ-100 в існуючій котельні районної системи тепlopостачання, а також впровадження допоміжного устаткування котельні.

Економічна доцільність проекту полягає в збільшенні теплового навантаження - опалення та вентиляція – 6,08 Гкал/год (7,08 МВт), теплоносій - вода з параметрами 115 – 65°C.

Метою цього розрахунку є визначення обсягу витрат на проведення проектних робіт та підтвердження економічної доцільності запропонованого проекту реконструкції, а також визначення її економічних показників ефективності.

Вихідні дані для проведення розрахунків наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1.

Основні показники

Назви величин	Одиниці виміру	Позначення	Значення
Відпускання теплоти до реконструкції	Гкал/рік	Q _{оп_в}	36236,00
Прогнозоване відпускання теплоти після реконструкції	Гкал/рік	Q _{оп_в}	47364,00
Калорійність природного газу	ккал/м ³ н	Q _{нр_пг}	8050
Ціна природного газу	грн./тис. м ³ н	Ц _г	4100
Ціна електричної енергії	грн./кВт·год	Ц _{е/е}	0,89
Опалювальний період	днів	К _{рд}	187
Середньоексплуатаційне ККД котлів до реконструкції	-	ККД _к	0,9
Середньоексплуатаційне ККД котлів після реконструкції	-	ККД _{пк}	0,905

					00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Галько Ю.О.			Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоєфективних палинкових пристроїв	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Керівник		Філоненко В.М.						
Н. Контр.								
Затверд.		Петренко В.П.						
						НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. 31Е-2м ⁸⁹ 22м		

7.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні затрати на реалізацію проектних заходів розраховується за формулою

$$K = V_{\text{пр}} + V_{\text{обл}} + V_{\text{ту}} + V_{\text{тз}} + V_{\text{нр}} + V_{\text{м}} + V_{\text{пд}} + Д - Л, \quad (7.1)$$

де $V_{\text{пр}}$ – витрати на проектні роботи;

$V_{\text{обл}}$ – витрати на придбання обладнання;

$V_{\text{ту}}$ – вартість тари та упаковки обладнання;

$V_{\text{тз}}$ – транспортно - заготівельні витрати на транспортування обладнання від підприємства-виробника до місця призначення;

$V_{\text{нр}}$ – витрати на вантажно - розвантажувальні роботи за рахунок покупця;

$V_{\text{м}}$ – витрати на монтажні роботи;

Д – витрати на демонтаж застарілого обладнання;

Л – вартість демонтованого обладнання.

Таблиця 7.3.

Витрати на придбання та монтаж обладнання, тис. грн.

№	Обладнання	Кількість одиниць	Витрати на одиницю обладнання, тис. грн.						Загальні витрати
			Придбання обладнання	Проектні роботи, 5%	Монтажні роботи, 8%	Тара і упаковка, 2%	Транспортно-заготівельні, 5%	Вантажні, 1%	
1	Труби, запірно-регулювальна арматура	1	70,00	3,50	5,60	1,40	3,50	0,70	84,70
2	Пальниковий пристрій СНТ-100	2	10000,00	500,00	800,00	200,00	500,00	100,00	12100,00
3	Насос	1	100,00	5,00	8,00	2,00	5,00	1,00	121,00
Всього		3	10070,00	508,50	813,60	203,40	508,50	101,70	12305,70

Таблиця 7.3.

Витрати на демонтаж обладнання, що здається в металобрухт, тис. грн.

Вид обладнання	Кількість, шт.	Первісна вартість	Залишкова вартість	Маса, т	Ціна за 1 т металобрухту	Виручка від реалізації	Витрати на демонтаж
Пальниковий пристій РГМГ-20	2	2000	100	3	5	150	100
Всього	1	2000	100	30	5	150	100

7.3 Визначення економії палива за сезон

Таблиця 7.4.

Показники рентабельності

Назви величин	Одиниці виміру	Позначення, формула	Значення	
			До реконструкції	Після реконструкції
Теплове навантаження котельні	МВт	Q	21,52	29,30
	Гкал/год		18,51	25,20
Річне споживання тепла	Гкал/рік	Q _{оп_в}	36236,00	47364,00
Середньоексплуатаційне ККД котлів	%	ККДкотлів	90,00	90,05
Калорійність природного газу	ккал/м ³	Q _{нр_пг}	8050,00	8050,00
Витрата палива за рік	тис. м ³ н/рік	G _р	5001,52	6533,84
Питоме споживання газу	тис. м ³ н/Гкал	g_г	138,03	137,95
Питома економія газу	тис. м ³ н/Гкал	e_г	0,00	0,08
Економія газу за рік	тис. м ³ н/рік	E _г		3629,91
Ціна природного газу	грн./тис. м ³ н	Ц _г	7600	7600
Економія коштів за рахунок зменшення споживання газу за рік	тис. грн./рік	E _{e/e}		27587,34
Встановлена електрична потужність	кВт	W	287,5	370
Годинне споживання e/e	кВт·год/год	W _{годинне}	230,00	296
Добове споживання e/e	кВт·год/добу	W _{добове}	5175,00	6660
Витрата електричної за рік	кВт·год/рік	W _{річне}	1620206,25	2085135
Питоме споживання електричної енергії	кВт·год/Гкал	w	44,71	44,02
Питома економія e/e	кВт·год/Гкал	w _{e/e}	0,00	0,69
Економія e/e за рік	кВт·год/рік	W _{e/e}		32633,21
Ціна електричної енергії	грн./кВт·год	Ц _{e/e}	0,82	0,82
Економія коштів за рахунок зменшення споживання e/e за рік	тис. грн./рік	E _{e/e}		26,76
Економія коштів за рік	тис. грн./рік	E		27614,10

Д = 100 тис. грн.

Сума капіталовкладень: К = 12403,20 тис. грн.

З урахуванням ПДВ: $12403,20 \cdot 1,2 = 14883,84$ тис. грн.

З урахуванням приросту оборотних активів, що приймаються на рівні 100 тис. грн. К = 12403,20 + 100 = 12503,20 тис. грн.

З урахуванням ПДВ: $12503,20 \cdot 1,2 = 15003,84$ тис. грн.

7.4 Визначення амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування на обладнання теплоенергетичних підрозділів розраховані як мінімальний корисний термін експлуатації згідно Податкового кодексу України (5 років). Розрахунок збільшення амортизаційних відрахувань проводиться з урахуванням вартості нового обладнання і залишкової вартості демонтованого обладнання

$$\Delta A = 12505,70 / 5 = 2501,14 \text{ тис. грн.}$$

7.5 Визначення основних показників економічної ефективності запроєктованих заходів

Так як економія собівартості складає прибуток, тоді П = 20592,63 тис. грн. Грошовий потік ГП, складається з прибутку П і амортизаційних відрахувань А. Оскільки підприємство повинно відраховувати податки з прибутку, складається так званий чистий (генерований) грошовий потік ЧГП, що розраховується за формулою

$$\text{ЧГП} = \text{П} \cdot (1 - \text{Н}) + \text{А}, \quad (7.2)$$

де Н – ставка податку на прибуток, 18 %

$$\text{ЧГП} = 25112,96 \cdot 0,82 + 2501,14 = 23093,77 \text{ тис. грн.}$$

Під чистим приведеним доходом (ЧПД) розуміється різниця між приведеними до теперішньої (дійсної) вартості сумою чистого грошового потоку за період експлуатації нового обладнання і сумою інвестиційних витрат на реалізацію проекту.

Таблиця 7.5.

Розрахунок зміни собівартості	
Статті витрат	Зміна значення, тис.грн.
Паливо і е/е	- 27614,10
Амортизаційні відрахування	+2501,14
Разом	- 25112,96

Чистий приведений дохід розрахований так:

$$\text{ЧПД} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ЧГП}_t}{(1+p)^t} - K, \quad (7.3)$$

де ЧГП_t – сума чистого грошового потоку за окремі інтервали загального періоду експлуатації проекту;

t – період життєвого циклу проекту, величина, що підлягає обґрунтуванню і в розрахунках прийнята рівні терміну експлуатації обладнання котельні, що проваджується, до його повного зношення у відповідності до норм амортизації, а саме $t = 5$ років;

n – кількість періодів в загальному розрахунковому періоді t ;

p – ставка дисконту (в частках одиниці), яка характеризує можливий рівень втрат чистих грошових потоків під впливом різних чинників протягом періоду t . Величина, що підлягає обґрунтуванню і прийнята на рівні ставки середнього позичкового відсотка комерційних банків України на рівні $p = 20\%$, враховуючи те, що фінансування передбачається за рахунок не державних коштів (0,22 в частках одиниці).

Нормативне значення $\text{ЧПД} \geq 0$.

$$\begin{aligned} \times \ddot{A} &= \frac{23093,77}{(1+0,2)^1} + \frac{23093,77}{(1+0,2)^2} + \frac{23093,77}{(1+0,2)^3} + \frac{23093,77}{(1+0,2)^4} + \frac{23093,77}{(1+0,2)^5} - 15\ 003,84 = \\ &= 69064,50 - 15\ 003,84 = 54060,66 \text{ тис. грн} \end{aligned}$$

Незалежний інвестиційний проект, по якому показник чистого приведенного доходу є негативний або дорівнює нулю, повинен бути відхилений, тому що він не принесе підприємству прибуток на вкладені кошти. В нашому випадку ЧПД з позитивним значенням і дає можливість збільшити капітал підприємства і його ринкову вартість, проект можна рекомендувати до впровадження.

Індекс (коефіцієнт) доходності (ІД) дозволяє співвіднести об'єм інвестиційних витрат з майбутнім чистим грошовим потоком по проекту, а також може бути використаний не тільки для порівняльної оцінки, але й в якості критеріального при прийнятті інвестиційного рішення про можливість реалізації заходу. Якщо значення індексу доходності менше одиниці або дорівнює їй, проект повинний бути відхилений в зв'язку з тим, що він не принесе додаткового прибутку на інвестовані засоби.

Індекс доходності розрахований так

$$\frac{\sum_{t=1}^n \frac{ЧГП_t}{(1+p)^t}}{К}, \quad (7.4)$$

Нормативне значення $ІД \geq 1$

$${}^2A = \frac{69064,50}{15003,84} = 4,60.$$

Індекс рентабельності (ІР) характеризує прибутковість проекту.

Розрахунок цього показника здійснено так

$${}^3D = \frac{\frac{ЧП}{К}}{K}, \quad {}^2D = \frac{20592,63}{15003,84} = 1,37.$$

Показник періоду окупності (ПО) використаний для порівняльної оцінки ефективності.

Недисконтований показник періоду окупності визначається статичним методом і розрахований так

$$ПО_n = \frac{К}{ЧГП_{сер}}, \quad (7.5)$$

де $ЧГП_{сер}$ – середньорічна сума чистого грошового потоку за період експлуатації

проекту (при короткострокових реальних вкладеннях цей показник розраховується як середньомісячний).

$$\dot{i} \hat{i} i = \frac{15003,84}{23093,77} = 0,65$$

Дисконтований показник періоду окупності визначений так

$$ПО_{д} = \frac{K}{\left[\sum_{t=1}^n \frac{ЧГП_t}{(1+p)^t} \right] \div n}, \quad (7.6)$$

$$\dot{i} \hat{i} \ddot{a} = \frac{15003,84}{13812,90} = 1,09.$$

Таблиця 7.6.

Показники ефективності проекту

Показник	Одиниця виміру	Значення
Загальна сума інвестицій	тис. грн.	15003,84
ЧГП	тис. грн.	23093,77
Чистий приведений дохід	тис. грн.	54060,66
Індекс доходності	-	4,6
Індекс рентабельності	-	1,37
Дисконтований період повернення інвестицій	роки	1,09

Розрахунки показують, що після впровадження реконструкції котла фінансові показники ефективності проекту та грошові потоки за період експлуатації проекту наступні достатньо коректні.

Розрахований чистий приведений дохід – величина позитивна і складає 54060,66 тис. грн. Це означає, що віддача від проекту на 54060,66 тис. грн. перевищує капіталовкладень, що становлять з урахуванням податку на додану вартість та перехідними оборотними активами 15003,84 тис. грн.

Індекс доходності складає 4,6. Це означає, що віддача від впровадження проекту в 2,85 рази перевищує інвестиційні вкладання.

Рентабельність (прибутковість) проекту становить 137,0%.

Період повернення інвестицій – в межах життєвого циклу проекту і складає 1,09 року. Проект доцільний до впровадження.

8. ОХОРОНА ПРАЦІ

При експлуатації водогрійної котельні з котлами КВГМ-20 мають місце такі шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що в певних умовах можуть зробити негативний вплив на організм людини.

До них відносяться:

- підвищені й знижені температури в робочій зоні;
- відсутність або недостатність природного освітлення;
- підвищена напруга в електричному ланцюзі, замкнення якого може відбутися крізь тіло людини;
- пожежна безпека й інші.

8.1 Мікроклімат і чистота виробничих приміщень

Робота оператора котельні відноситься до категорії середньої важкості (IIa), що вимагає забезпечувати на робочому місці параметри повітря, згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Санітарні норми поширюються на умови мікроклімату в межах робочої зони виробничих приміщень підприємств, закладів, установ тощо, незалежно від їх форми власності та підпорядкування.

Цей документ регламентує нормативні величини оптимальних та допустимих показників мікроклімату та встановлює вимоги до методів вимірювання мікрокліматичних параметрів та їх оцінки.

					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Галько Ю.О.			<i>Модернізація водогрійних отлів шляхом</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Керівник		Філоненко В.М.						96
Н. Контр.								НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м
Затверд.		Петренко В.П.						

Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Таблиця 8.1.

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість (%) на робочих місцях - постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) на робочих місцях - постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період	Середньої важкості Па	23	24	17	15	75	не більше 0,3
Теплий період	Середньої важкості Па	27	29	18	17	65 - при 26°С	0,4 - 0,2

Нормалізація несприятливих мікрокліматичних умов здійснюється за допомогою комплексу заходів та способів, які включають: будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-технічні та ін. заходи колективного захисту. Для профілактики перегрівань та переохолоджень робітників використовуються засоби індивідуального захисту.

Формовані параметри мікроклімату на робочих місцях досягнені, в першу чергу, за рахунок раціонального планування виробничих приміщень і оптимального розміщення в них устаткування з тепло-, холодо- та вологовиділеннями. Для зменшення термічних навантажень на працюючих передбачається максимальна механізація, автоматизація та дистанційне управління технологічними процесами і устаткуванням.

У приміщенні котельні використовують природну вентиляцію (аерацію). Аераційні ліхтарі та шахти розташовують безпосередньо над основними джерелами тепла на одній осі.

У приміщенні операторської котельні використовується системи кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається.

Для запобігання впливу тепловипромінювання вжито комплекс заходів з теплоізоляції устаткування та нагрітих поверхонь за допомогою теплозахисного обладнання.

Підтримання чистоти повітря та параметрів мікроклімату у вказаних межах у котельному залі здійснюється вентиляцією. У приміщенні котельного залу передбачено 3-кратний повітрообмін. Надходить повітря через фрамуги, а видаляється через витяжні прорізи аераційного ліхтаря на даху котельного відділення. Повітря на горіння палива у котлах подається припливними установками, виходить з приміщення через ліхтар.

Підтримання параметрів мікроклімату досягається також теплоізоляцією котлів та допоміжного обладнання (температура на поверхні обладнання та ізоляції не перевищує 45 °С), крім того ізоляція є надійним захистом від інфрачервоного випромінювання.

У перехідний і літній періоди року видалення повітря запроектоване за допомогою осьових вентиляторів.

М := III

8.2 Виробничий шум та вібрація

У приміщенні котельні присутні шум та вібрація, що викликані роботою котлів, двигунів, тяго-дутьового обладнання, насосів.

На ділянці обслуговування котлів загальна вібрація становить 83 - 85 дБ, що знаходиться в межах допустимих норм, встановленого ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

Рівень шуму є допустимим згідно вимог ДСН – 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

Рівень середньочастотного шуму в приміщенні, який дорівнює 76 - 78 дБА.

В приміщенні котельні загальна вібрація не повинна перевищувати 67 - 70 дБ, а шум — 65 дБА.

Для зменшення рівня шуму та вібрації застосовуються такі заходи:

— своєчасно проводити ремонт обладнання;

- вібруючі частини обладнання розміщують на гумових амортизаторах;
- машини, що викликають шум (насоси, електродвигуни) розміщенні в окремому приміщенні (на першому поверсі);
- для зниження аеродинамічних шумів передбачені розширення та плавні повороти трубопроводів для зниження швидкості руху пари, а також теплоізоляція обладнання та паропроводів.

Таблиця 8.2.

Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора

Середньо геометричні частоти октавних полос, Гц	Нормативні значення у напрямках			
	Віброприскорення		Віброшвидкості	
	м/с ²	дБ	м/с·10 ⁻²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	135	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85,0	159	1,4	109

При проектуванні передбачений ряд конструктивних методів вібраційного захисту в джерелі:

- точне припасування всіх деталей, що сполучаються, і балансування обертових елементів, або заміна зношених вузлів;
- застосування матеріалів, що демпфірують, з великим коефіцієнтом внутрішнього тертя;
- виконання акустичного розриву в стінах;
- установка устаткування на подушках-опорах, що демпфірують.

8.3 Освітлення виробничого приміщення

В котельному залі використовується комбіноване природне (одностороннє бічне та аераційний ліхтар, коефіцієнт природної освітленості $e_{cp} = 2 \%$). Природне та штучне освітлення ділянки котельні має відповідати СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение, ДБН В 2.5.28-2006. Природне і штучне освітлення.

В денний час вистачає природного освітлення. У вечірній та нічний час використовують штучне освітлення двох видів:

- робоче (загальне, місцеве);
- аварійне.

У вечірній та нічний час для освітлення котельного залу передбачено робоче загальне освітлення $E = 150$ лк (люмінесцентні лампи), для приміщень розташування баків, збірників та сходів $E = 20$ лк (лампи розжарювання). Живлення здійснюється від джерела, напруга мережі якого становить 380/220В.

Під час аварійних ситуацій для продовження роботи при вимкненні загального освітлення використовується аварійне, встановлене для освітлення щита в ПУ, на площадках огляду котлів, сходах, шляхах евакуації, насосних станціях. Аварійне освітлення складає 5 % від рівня загального рівномірного освітлення ($E_a = 8 - 10$ лк) і здійснюється лампами розжарювання. Живлення аварійного освітлення передбачено від акумуляторної батареї.

Система природного освітлення котельні комбінована (односторонні бокові віконні прорізи та світловий ліхтар $e_{cp} = 5\%$), вдень освітлення повністю забезпечується природним. У вечірній та нічний час передбачено штучне освітлення. Нормована освітленість на робочому місці згідно вимог СНиП 23-05-95 — 150 лк (люмінесцентні лампи).

8.4 Електробезпека

Приймаємо 4 світильники. Розміщуємо їх рівномірно по котельні в 2 ряди (через 6 м) і по 2 шт. (через 6 м).

За умовами навколишнього середовища і ступенем електробезпеки ураження людей, котельня та ПУ відноситься до приміщень з підвищеною електробезпекою згідно з ПУЕ, ГОСТ12.1.01.9–79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Безпечна експлуатація електрообладнання має відповідати вимогам:

- ПУЕ, Правила улаштування електроустановок;
- ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів;
- ВСН 205-84. «Инструкция по проектированию электроустановок системы автоматизации технологического оборудования» і передбачає:
 - ізоляцію струмопровідних елементів електрообладнання $R_{iz} > 0.5 \text{ Ом}$;
 - електрообладнання, яке може опинитися під напругою заземлюється ($R_z \leq 4 \text{ Ом}$);
 - механічне і електроблокування, що забезпечує відключення напруги на неізольовані струмопровідні частини при відкритому доступі до них;
 - застосовуються знижені напруги: 12 В для аварійного освітлення, 24 В – в щиті перетворювачів, 36 В – для підключення електроінструменту;
 - струмопровідні частини закриті та недоступні для стороннього втручання, розташовані на висоті вище 2,5 м, а розміщення апаратури управління у відкритому виконанні здійснюється таким чином, щоб виключити випадкове дотикання людини до струмоведучих частин;
 - забезпечення обслуговуючого персоналу засобами індивідуального захисту, безпечним інструментом;

— до обслуговування електрообладнання допускають людей, які проходять інструктаж та спеціальне навчання, проводиться атестація та переатестація електротехнічного персоналу;

— для захисту обладнання мережі від струмів КЗ служать вимикачі повітряного типу А 3616УФУ.

— проводяться планово-попереджувальні роботи і профілактичні випробування електрообладнання, апаратів та мереж.

8.5 Пожежна безпека

Приміщення котельні не відноситься до вибухонебезпечним приміщенням. Вогневе навантаження складає менше 500 МДж/м².

Протипожежні заходи в проекті розроблені у відповідності з діючими нормами та правилами:

- «Протипожежні норми»;
- СНіП II-35-76 «Котельні установки»;
- ПУЕ-2006 «Правила улаштування електроустановок»;
- НАПБ Б.03.002-2007 «Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Приміщення котельні має розміри 21,8x25,6 м. Висота до низу конструкцій покриття – 3,98 м, над котлом – 4,38 м. Підлога котельні розташована на відмітці +0.000. Приміщення котельні обладнано одним виходом.

Категорія виробництва згідно пожежної небезпеки – «Г». Ступінь вогнестійкості будівлі котельної – Ша. В місцях проходу комунікацій через стіни та перекриття передбачаються футляри або вузли проходу.

Вогнестійкість стін, перекриття і покрівлі – 0,75 години, вогнестійкість дверей – 0,6 години.

Окремі конструктивні елементи мають характеристики вогнестійкості і максимальної межі розповсюдження вогню:

- стіни,- RE 130, MO;

- покриття -RE 15, MI;
- двері E 160;

Труби мають утеплення мінеральним утеплювачем "Conrok" виробництва фірми "Deutsche Rockwool" група негорючості - негорючий матеріал.

Напір початкової води на вводі в будівлю котельні складає – 20 м.

Відповідно до НАПБ В.01.034-2005-111 проектом передбачено обладнання модуля первинними засобами пожежогасіння:

- вогнегасниками вуглекислими ОУ-5 - 2шт;
- ящик з піском об'ємом 0,5 м³ - 1шт,

які використовуються для локалізації та ліквідації пожеж в їх початковій стадії розвитку. В місцях розміщення вогнегасників встановити вказівні знаки згідно ДСТУ ISO 6309:2007.

Зовнішнє пожежогасіння виконується від існуючого пожежного гідранту, встановленого на закільцьованій водопровідній мережі.

Розрахункова витрата на зовнішнє пожежогасіння згідно ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди» складає 10 л/с.

Розрахункова тривалість гасіння пожежі – 2 години.

У місці розташування пожежного гідранта встановлений флуоресцентний показник з нанесеним індексом «ПГ» і цифровими значеннями: в метрах – довжина від показника до гідранта, в мм – внутрішній діаметр трубопроводу відповідно до ГОСТ 12.4.009-83.

У котельній встановлена пожежна сигналізація, виконана на підставі ДБН В.2.5-13-98 "Пожежна автоматика будівель і споруд", підключена до швидко закриваючого запірною клапану на ввідному газопроводі в котельню.

Проект передбачає використання засобів пожежної сигналізації, які мають сертифікат відповідності з використанням їх на території України.

Вибір і розміщення апаратури і кабелів, а також монтаж і наладка, виконані заводом-виробником.

З метою виявлення пожежі в котельній використовуються автоматичні димові пожежні сигналізатори. Шлейф пожежної сигналізації підключається на

вхід приладу пожежної сигналізації. Проектом передбачений звуковий спосіб сповіщення про пожежу.

Проект котельні передбачає питання по забезпеченню здорових умов праці персоналу, чистоти повітря і робочого середовища, зменшення шкідливого впливу виробничих шумів і випромінювання. Створено комфортні умови для повноцінної праці людини:

- система регулювання працює автоматично;
- у приміщенні котельні відсутня підвищена запиленість і загазованість повітря;
- відсутній підвищений рівень шуму і вібрації завдяки використанню безшумних насосів і регуляторів малої потужності (до 360 Вт);
- теплова ізоляція обладнання та трубопроводів.

9. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

При розробці заходів по охороні навколишнього середовища виконані вимоги діючого в Україні природоохоронного законодавства, а також технологічних норм і правил в частині розробки природоохоронних заходів при проектуванні котелень.

9.1 Характеристика об'єкта

В якості основного палива використовується природний газ з нижчою теплотою згорання 8050 ккал/м³ н (при 30°C; 131,1 кПа).

Видалення димових газів від існуючих котлів забезпечується через існуючу цегляну димову трубу діаметром 1500 мм висотою 29,8 м. Видалення димових газів від проектного котла передбачається через індивідуальну димову трубу із елементів системи двійних димоходів з теплоізоляцією (МКД) діаметром 1000 мм з верхньою відміткою устя +30,202 з кріпленням на сталевих кільцях до існуючої цегляної димової труби. Температура відхідних газів – 130°C.

Монтаж збірної труби виконанор згідно з вимогами діючих норм та інструкцій підприємства-виготовлювача.

З цілю запобігання накопичення атмосферних осаджень в газоході передбачається відведення конденсату з нижньої точки. Також газохід обладнаний ревізією для очистки.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
Розроб.		Галько Ю.О.			Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоєфективних пальникових пристроїв	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Керівник		Філоненко В.М.						
Н. Контр.								
Затверд.		Петренко В.П.						
						НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м 105		

9.2 Правова охорона навколишнього природного середовища у промисловості

Основним забруднювачем навколишнього природного середовища є промисловість. Великої шкоди об'єктам природи і здоров'ю людини завдає чорна та кольорова металургія, вугільна, нафтовидобувна і нафтопереробна, а також хімічна промисловість. Тому екологізація всієї економічної діяльності є необхідною і обов'язковою.

Зменшення шкідливого впливу промислового виробництва вирішується за кількома напрямками:

- 1) шляхом удосконалення очищення шкідливих викидів і відходів промислового виробництва, підвищення ефективності роботи очисних споруд, суворого дотримання нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище;

- 2) шляхом удосконалення технологічних процесів з метою очищення відходів виробництва, випуску екологічно чистої продукції;

- 3) шляхом зміцнення режиму екології;

- 4) шляхом запровадження маловідходної і безвідходної технології, заснованої на комплексному використанні природних ресурсів, при замкнутому циклі виробництва.

Загальні вимоги охорони навколишнього природного середовища в процесі господарювання повинні охоплювати всі стадії господарського процесу: доексплуатаційну, експлуатаційну і післяексплуатаційну.

Доексплуатаційна стадія включає розміщення об'єкта, проектування, будівництво, приймання в експлуатацію. Експлуатаційна передбачає паспортизацію виробничої діяльності об'єкта, дозвіл на викиди, встановлення нормативів викидів та лімітів використання природних ресурсів, контроль за виконанням відповідних правил. Післяексплуатаційна стадія включає випуск продукції і розміщення відходів.

На промислових підприємствах, що шкідливо впливають або можуть впливати на стан навколишнього природного середовища, розробляються екологічні паспорти. Екологічний паспорт — це нормативно-технічний документ, який містить дані щодо використання природних ресурсів та визначення впливу виробництва на навколишнє природне середовище. В екологічному паспорті містяться такі дані: обсяги викидів, скидів забруднюючих речовин та види; обсяги та їх види використання природних ресурсів; відомості про обсяги та характер виробництва, наявність природоохоронного обладнання.

В основі взаємовідносин підприємства з навколишнім середовищем лежать екологічні нормативи, що їх встановлюють центральні органи державної виконавчої влади. Йдеться про гранично допустимі викиди та скиди в навколишнє природне середовище забруднюючих хімічних речовин, рівні допустимого шкідливого впливу на нього фізичних та біологічних факторів.

Згідно зі ст. 153 Господарського кодексу України суб'єкт господарювання, здійснюючи господарську діяльність, зобов'язаний: використовувати природні ресурси відповідно до цільового призначення, визначеного при їх наданні (придбанні) для використання у господарській діяльності; ефективно і економно використовувати природні ресурси на основі застосування новітніх технологій у виробничій діяльності; здійснювати заходи щодо своєчасного відтворення і запобігання псуванню, забрудненню, засміченню та виснаженню природних ресурсів, не допускати зниження їх якості у процесі господарювання; своєчасно вносити відповідну плату за використання природних ресурсів; здійснювати господарську діяльність без порушення прав інших власників та користувачів природних ресурсів; відшкодовувати збитки, завдані ним власникам або первинним користувачам природних ресурсів.

З метою дотримання екологічних вимог на підприємствах промисловості здійснюється поряд з державним і виробничий контроль. На підприємствах з великим обсягом виробництва та розгалуженою системою управління створюється служба охорони навколишнього середовища. Контрольна діяльність служби охоплює практично всі сторони природоохоронної роботи підприємства.

Основними її напрямками є контроль за виконанням природоохоронних планів та заходів, дотриманням норм і правил по охороні навколишнього середовища у процесі виробництва, удосконалення технологічного виробництва.

Чинне законодавство передбачає певні вимоги до продукції, що виробляється. Основні екологічні вимоги до товарів закріплені в Законі України «Про захист прав споживачів» у редакції Закону від 15 грудня 1993 року. Зокрема, товари, на які законодавством встановлено обов'язкові вимоги щодо забезпечення безпеки навколишнього природного середовища, підлягають обов'язковій сертифікації.

До основних напрямків нормування належить встановлення нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин стаціонарних джерел (ст. 7 Закону). Порядок розроблення та затвердження цих нормативів регламентується відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2001 року № 1780 р.

До технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин належать: поточні технологічні нормативи — для діючих окремих типів обладнання, споруд на рівні підприємств з найкращою існуючою технологією виробництва аналогічних за потужністю технологічних процесів; перспективні технологічні нормативи — для нових і таких, що проектуються, будуються або модернізуються, окремих типів обладнання, споруд з урахуванням досягнень на рівні передових вітчизняних і світових технологій та обладнання.

При розробці нормативів гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел (ст. 9 Закону) слід враховувати приписи, які містяться у постанові Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 року № 300 «Про Порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого рівня впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел забруднення на стан атмосферного повітря».

Встановлюються також нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел (ст. 9

Закону). Порядок розроблення та затвердження цих нормативів регулюється постановою Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 року № 303.

Таким чином, стандартизація і нормування у галузі охорони атмосферного повітря складають єдину основу для розробки і здійснення відповідних правоохоронних заходів.

Оскільки право водокористування розглядається і як правовий інститут, водокористувачі володіють певними правами і обов'язками. Перелік прав і обов'язків закріплено як у Водному кодексі України, так і в інших нормативних актах.

Розрізняють загальні права та обов'язки, які поширюються на усіх або на велику групу водокористувачів, та особливі, які стосуються тільки суб'єктів, котрі здійснюють конкретний вид водокористування. Загальні права та обов'язки містяться переважно в кодексах, а специфічні, особливі права та обов'язки (у першу чергу обов'язки) зосереджені і в кодексах, і в підзаконних нормативних актах — інструкціях, правилах, положеннях. І оскільки нині широко використовується договірна форма водокористування, то права і обов'язки можуть бути передбачені і в договорах на водокористування.

Права та обов'язки водокористувачів різноманітні. Основним правом водокористування виступає право користування водними об'єктами за цільовим призначенням (це право є одночасно і обов'язком водокористувачів). Згідно з Водним кодексом України (ст. 43) встановлені такі права водокористувачів: здійснювати загальне, спеціальне водокористування; користуватися водними об'єктами на умовах оренди; вимагати від власника водного об'єкта або водопровідної системи підтримання належної якості води за умовами водокористування; споруджувати гідротехнічні та інші водогосподарські об'єкти, здійснювати їх реконструкцію і ремонт; передавати в користування воду іншим водокористувачам та на визначених умовах; здійснювати й інші функції щодо водокористування в порядку, встановленому законодавством. Це приблизний перелік прав водокористувачів.

Водокористувачі мають право на відшкодування завданих їм збитків, за винятком випадків, передбачених законодавством (ст. 57 ВК України). Вони також мають право вимагати усунення перешкод при здійсненні водокористування.

Права водокористувачів у передбачених законодавством випадках можуть бути обмежені. Так, у разі маловоддя, загрози виникнення епідемій та епізоотій та в інших випадках права водокористувачів можуть бути обмежені або змінені умови водокористування з метою забезпечення охорони здоров'я людей та в інших державних інтересах. Обмеження може виникнути під час аварій або за умови, що призвели чи призведуть до забруднення вод, або в інших випадках (ст. 45 ВК України).

Права водокористувачів охороняються законом. Так, у ст. 43 ВК України зазначено, що порушені права водокористувачів підлягають поновленню в порядку, встановленому законодавством.

Дбати про ресурси, їх відновлення і поліпшення якості вод; використовувати води (водні об'єкти) відповідно до цілей і умов їх надання; дотримуватися встановлених нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин та встановлених лімітів забору води, лімітів використання води та лімітів скиду забруднюючих речовин, а також санітарних та інших вимог щодо впорядкування своєї території; використовувати ефективні сучасні технічні засоби і технології для утримання своєї території в належному стані, а також здійснювати заходи щодо запобігання забрудненню водних об'єктів стічними (дощовими, сніговими) водами, що виводяться з неї; не допускати порушення прав, наданих іншим водокористувачам, а також заподіяння шкоди господарським об'єктам та об'єктам навколишнього природного середовища; утримувати в належному стані зони санітарної охорони джерел питного та господарсько-побутового водопостачання, прибережні захисні смуги, смуги відведення, берегові смуги водних шляхів, очисні та інші водогосподарські споруди і технічні пристрої тощо. Законодавством передбачаються також й інші обов'язки водокористувачів.

9.3 Перелік і характеристика потенційних джерел впливу на навколишнє середовище

Клімат і мікроклімат.

При здійсненні проекрованої діяльності впливу на клімат та мікроклімат не передбачається. Кліматичні умови не погіршують умови розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Об'єкт, що розміщується, не вплине на зміну клімату та мікроклімату в зв'язку з відсутністю виділення в атмосферу інертних газів, теплових виділень, вологи. Також не виникає сприятливих факторів для розповсюдження шкідливих видів флори і фауни.

Повітряне середовище.

При використанні природного газу, як палива, в порівнянні з іншими видами палива (тверде, рідке) в продуктах його згорання, що викидаються в атмосферу, немає твердих часток (попелу, диму, сажі, сірчаних сполук). При спалюванні природного газу утворюються такі викиди забруднюючих речовин: NO_x – оксиди азоту; CO – оксиди вуглецю. Кількість викидів залежить від конструктивних властивостей котлів і пальникових пристроїв, а також режиму спалювання палива.

Річна витрата палива: природний газ – 8349,78 тис. м^3 н/рік.

Діаметр димової труби котла - 1000 мм.

Висота димових труб 30 м.

Шкідливими викидами від котельної являються димові гази від котла: оксиди азоту і оксид вуглецю та діоксид сірки.

Концентрація:

- $\text{NO}_x = 195 \text{ мг/кВт}\cdot\text{год}$,

- $\text{CO} = 7,93 \text{ мг/кВт}\cdot\text{год}$.

Таблиця 9.1.

Параметри джерел забруднюючих речовин

№ дж.	Найменування джерела	Параметри		Характеристика пилоповітряної суміші			Забруднюючі речовини		Потужність викиду	
		висота, м	діаметр, м	об'єм, м ³ /с	швид. м/с	темп., °С	код	найменування	г/с	т/рік
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Димова труба котла	30	1	1,76	2,2	130	301	NO ₂	0,41	12,84
							304	NO	0,004	0,136
							337	CO	0,08	0,52

Вимірювання концентрацій шкідливостей в викидах із димових труб повинно здійснюватися періодично 2 - 3 рази на рік та після виводу котлів на проектну потужність. Контроль необхідно здійснювати на підставі договору з РАЙСЕС, або іншої організації, яка має відповідну ліцензію і спеціальне обладнання.

Таблиця 9.2.

Пропозиції щодо встановлення гранично допустимих викидів.

№ п/п	Речовина	№ джерела	Викиди забруднюючих речовин	
			г/с	т/рік
1	Азоту оксиди	1	0,41	12,84
2	Вуглецю оксид	1	0,004	0,136
3	Діоксид сірки	1	0,08	0,52
Разом			0,494	13,496

Водне середовище.

Джерелом водопостачання є існуюча водопровідна мережа. Каналізування – в існуючу каналізаційну мережу. Місце спуску стічних вод – без скиду неочищених стічних вод у відкриті водойми та по рельєфу місцевості.

В котельні передбачена виробнича та побутова каналізація.

Відведення поверхневих вод з майданчиків та проїздів передбачено відкритою системою водовідводу. Відвід дощових і талих вод з даху будівлі передбачається системою внутрішніх водостоків.

При експлуатації утворюються дощові стоки, побутові стоки від персоналу та виробничі стоки: від котлів, водопідготовки, та періодичного миття підлоги. Підживлення систем опалення та вентиляції передбачається хіміччищенням водою. Система опалення є закритою та герметичною, втрат води з системи не передбачається, тому експлуатація ВПУ передбачається лише в аварійному режимі. Передбачається організований прийом та відведення забруднених стічних вод від виробничого обладнання та сантехнічних приладів, що встановлені в котельні. Відвід стоків передбачається через трапи в каналізацію. Вміст забруднень стоків не перевищує допустимих концентрацій забруднюючих речовин, які відводяться до міської каналізації і складає 230 г/м³ - хлориди; 370 г/м³ – сульфати.

Можливості забруднення дощових та талих вод нема. Порухення гідротехнічних та гідрогеологічних параметрів відсутні. Вплив на поверхневі води відсутній. Діяльність, яка буде проводитися на об'єкті, не супроводжується виділенням забруднюючих речовин у відкриті водоймища. Об'єкт обладнаний водомірним вузлом, витрати води завдяки сучасному сантехнічному обладнанню мінімальні. Попередження забруднення та виснаження підземних водних джерел забезпечується: суворим дотриманням встановлених лімітів на воду, обліком використання води.

Реалізація проекту не надасть негативного впливу на роботу існуючих водопровідних та каналізаційних мереж, не порушить гідрологічний та гідробіологічний режими підземних вод.

ВИСНОВКИ

1. Порівняльні промислові дослідження струменево-нішової технології на водогрійному та паровому котлі та контактному підігрівачі на стенді розігріву сталерозливних ковшів та агломераційних печей підтвердили дані лабораторних досліджень стосовно ефективності робочого процесу струменево-нішових модулів.

2. Пальникові пристрої на основі струменево-нішових модулів забезпечують:

- можливість підвищення ККД котла на 2 - 5%;
- зниження пускового тиску газу до 10 - 20 Па;
- зниження витрат газу при пуску котла у декілька раз;
- розширення діапазону коефіцієнта робочого регулювання до значення 10 і більше;
- зниження аеродинамічного опору котлоагрегату у декілька разів, що приводить до зниження витрат електроенергії та шуму;
- зниження критичного значення коефіцієнта повітря до 1,01...1,05;
- можливість забезпечення рівномірного температурного поля у топковому просторі.

3. Випробування показали реальну можливість ефективної роботи котла без вентилятора за рахунок димососу, а також на амбразурі. Випробування показали значне зниження емісії шкідливих викидів.

4. Зміна навантажень вогнетехнічних об'єктів в усьому робочому діапазоні показали повну відсутність вібраційних режимів горіння. Випробування показали високі рівні рівномірності температурного поля, яке формує факел пальника СНТ у топковому просторі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
Розроб.		Галько Ю.О.			Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження високоефективних пальникових пристроїв	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Керівник		Філоненко В.М.						
Н. Контр.								
Затверд.		Петренко В.П.						
						НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТБ-2м 114		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Khedia K.S., Ghoniem A.F. Mechanisms of stabilization and blowoff of a premixed flame downstream of a heat-conducting perforated plate// Combustion and Flame. Elsevier 2012. Vol. 159, №3. P. 1055-1069 DOI:10,1016/j.combustflame.2011.10.014.
2. А.Ю. Крайнов, К.М. Моисеева Влияние скорости газа на устойчивость горения метановоздушной смеси в щелевой горелке с внутренней вставкой. // Вестник томского государственного университета №1(33). 2015. С.63 - 71.
3. М.А. Тайманов, М.Р. Шарипов Котел пульсирующего горения природных и пиролизных газов. 2017 р.
4. Минаев С.С., Срещенко Е.Р., Фурсенко Р.В., Фан А., Марута К. Разделяющиеся пламена в узком канале с градиентом температур в стенках// Физика горения и взрыва. 2009. №2(45). С. 12 - 19.
5. Крайнов А.Ю, Моисеева К.М. Режимы горения бедной метано- воздушной смеси в U-образной горелке // Вестник томского государственного университета. Математика и механика. 2014.№2(28). С.69 - 76.
6. Крайнов А.Ю, Моисеева К.М. Колебательные режимы горения бедной метно-воздушной смеси в в U-образной горелке // XXXI Сибирский теплофизический семинар, посвященный 100-летию со дня рождения академика С.С. Кутателадзе: доклады. Новосибирска: Институт теплофизики СО РАН, 2014. С. 207 - 210.
7. Тайманов М.А. Повышение эффективности работы энерготехнологических печей. Монография. Научное издание. Казань, КГЭУ, 2010. 108 с.
8. Kheida K.S., Ghoniem A.F. Mechanisms of stabilization and blowoff of a premixed flame downstream of a heat-conducting perforated plate // Combustion and flame. Elsevier. 2012. Vol. 159, №3.P.1055-1069. DOI: 10.1016/j.combustflame.2011.10.014.

					<i>00МКР144ОП ТЕЕТ 003.010ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Галько Ю.О.</i>			<i>Модернізація водогрійних котлів шляхом впровадження вискоефективних пальникових пристроїв</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>								
<i>Керівник</i>		<i>Філоненко В.М.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Петренко В.П.</i>						
						<i>НУХТ. Каф. ТЕХТ, гр. ЗТЕ-2м 115</i>		

9. Aerodynamic characteristics of transonic and supersonic flow over rectangular cavities / Dang Guo Yang, Jian Qiang Li, Zhao Lin Fan, Dan Yao // Flow, Turbulence and Combustion 2010. P. 639 - 652.
10. Сигал И.Я., Смихула А.В. Выброс СО при сжигании природного газа в котлах крупных котельных и ТЭЦ // Отопление, водоснабжение, вентиляция. - 2006, №1. - С. 41 - 43.
11. Вулис Л.А., Ершин Щ.А., Ярин Л.П. Основы теории газового факела.- Л.: Энергия, 1968. - 204 с.
12. Кнорре Г.Ф., Арефьев К.М., Блох А.Г. Теория топковых процессов. – М. - Л.: Энергия, 1968. – 492 с.
13. Гидродинамика і теорія потоку палива. Під ред. Б.В.Канторовича, М., 1971. – 430 с.
14. Баев В.К., Головичев В.І, Ісаков В.А. Двовірні турбулентні течії реагуючих газів. Новосибірськ, 1976. – 262 с.
15. Красницький В.П., Філімонов М.Л., Фрост В.А. Математичні описання тербулентного горіння. – В кн.: Питання теорії горіння. М., 1970, С. 7 - 17.
16. Вилунов В.Н., Дік І.Г. Про вплив турбулентності на теплообмін, структуру і хімічне реагування в полум'я. – ФГВ, 1977. ІЗ,№3, С. 359 - 366.
17. Зімонт В.Л. До розрахунку турбулентного горіння частково перемішаних газів.- В кн.: Горіння гетерогенних та газових систем. Чорноголовка, ОІХФ АН СРСР, 1997. - С. 76 - 80.
18. Тюльпанов Р.С. Дифузійне турбулентне полум'я. - Л.: Ленінградський університет, 1981. – 156 с.
19. Тюльпанов Р.С., Михальчук С.А. Оптимізація параметрів при дифузійному горінні в турбулентному потоці. – Л.: Ленінградський університет, 1981. –104 - 109 с.
20. Иванов Ю.В. Основы расчета і проектування газових пальників. М.: Гостоптехиздат, 1963. - 360с.

21. Поляцкин М.А., Афросимова В.Н. Експерименталне дослідження роботи пального пристроїв на ізотермічних та гарячих моделях. – В кн.: Досвід спалювання газу та мазуту на електростанціях. М., Енергія, 1968, С. 100 - 115.
22. Привалова К.А. Дослідження, розрахунок і викривання прямоочних периферійних газових пальників.- В кн.: Теорія та практика спалювання газу. Л., Недра, 1964. - С. 490 - 501.