

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота
другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження процесів горіння водомазутних емульсій в котлі ТГМ-200.

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1440
спеціальності теплоенергетика

(код і назва спеціальності)

освітньої програми теплоенергетика

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

Гаспарян Артем Артурович

Керівник д.т.н., проф. Чейлитко А.О.



Рецензент Сумін О.О.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики

Рівень вищої освіти другий магістерський

Спеціальність 144 Теплоенергетика

(код та назва)

Освітня програма Теплоенергетика

(код та назва)

Спеціалізація _____

(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« 05 » листопада 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Гаспарян Артем Артурович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проекту) Дослідження процесів горіння водомазутних
емульсій в котлі ТГМ-200

керівник роботи Чейлитко Андрій Олександрович, д.т.н., проф.



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

затверджені наказом ЗНУ від «30» червня 2021 року № 974-с

- 1 Строк подання студентом роботи: 01 грудня 2021 р
- 3 Вихідні дані до роботи Характеристики акустичного середовища. Частота коливань.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розрахунок енергії палива, Розрахунок ентальпій дійсних об'ємів димових газів, Визначення основних характеристик пальника, Розрахунок теплообміну в топці і конструктивне оформлення будови топки, Температура горіння палива, Теплофізичні особливості фронту горіння, Аналіз сучасних експериментальних досліджень температурного поля при горінні емульсій
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Котел ТГМ – 200, розрахункова схема котла ТГМ-200; Комп'ютерна моделі горіння палива в котлі ТГМ – 200


6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання	завдання
1	Чейлитко А.О.	видав	прийняв
2	Чейлитко А.О.		
3	Чейлитко А.О.		

7 Дата видачі завдання 05 травня 2021 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оціночний розрахунок котельної установки	05.05.2021	
2	Аналіз сучасних експериментальних досліджень температурного поля при горінні емульсій	01.08.2021	
3	Охорона праці	05.11.2021	
4	Оформлення пояснювальної записки	25.11.2021	
5	Підготовка презентації	01.12.2021	


Студент 
(підпис)

А.А. Гаспарян
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) 
(підпис)

А.О. Чейлитко
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер 
(підпис)

С.С. Чижов
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Гаспарян А.А. Дослідження процесів горіння водомазутних емульсій в котлі ТГМ-200.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник докт. техн. наук, професор Чейлитко А.О. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2021.

Виконано аналіз літературних джерел, щодо дослідження процесів горіння водомазутних емульсій в котлі ТГМ-200. Розглянуто основні способи створення водо мазутних емульсій та способів його спалювання. Наведено оціночний розрахунок котла ТГМ-200 на мазуті та розрахована теоретична температура горіння. Наведено комп'ютерне моделювання процесу спалювання водо мазутних емульсій у котлі. Досліджено процес горіння водомазутних емульсій в котлі ТГМ-200 як на комп'ютерній моделі так і на основі емпіричних досліджень різних авторів. Визначено методи підвищення ефективності при виробництві тепла. Наведено заходи з охорони праці. Зроблено висновки.

Ключові слова: котел ТГМ-200, розрахунок палива, водо мазутна емульсія, енергоефективність, теплоенергетика.

ABSTRACT

Gasparian A.A. Combustion Processes of Diesel Oil Emulsion in the TGM-200 Boiler Research.

Qualification final work for obtaining a master's degree in the specialty 144 - Heat Power Engineering, supervisor A.O. Cheilytko. Zaporizhia National University. Department of Heat and Hydropower, 2021.

The analysis of literature sources on the study of combustion processes of water-oil emulsions in the boiler TGM-200. The main methods of creating water-oil

emulsions and methods of its combustion are considered. The estimated calculation of the TGM-200 boiler on fuel oil is given and the theoretical combustion temperature is calculated. Computer simulation of the process of burning water-oil emulsions in a boiler is given. The process of burning water-oil emulsions in the TGM-200 boiler was studied both on a computer model and on the basis of empirical studies of various authors. Methods of increasing efficiency in heat production are determined. Occupational safety measures are given. Conclusions are made.

Key words: TGM-200 boiler, fuel calculation, water-oil emulsion, energy efficiency, heat energy.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОЦІНОЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	10
1.1 Розрахунок енергії палива	12
1.2 Розрахунок ентальпій дійсних об'ємів димових газів	15
1.3 Визначення основних характеристик пальника	17
1.4 Розрахунок теплообміну в топці і конструктивне оформлення будови топки.....	19
1.4.1 Конструктивні розрахунки топки	19
1.4.2 Розрахунок теплообміну у топці	23
1.5 Температура горіння палива.....	27
1.6 Метод спалювання водомазутної емульсії.....	31
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ ВОДОМАЗУТНИХ ЕМУЛЬСІЙ	37
2.1 Особливості горіння в топці ТГМ.....	37
2.2 Аналіз сучасних експериментальних досліджень температурного поля при горінні емульсій	46
2.3 Горіння іонізованого палива.....	57
2.4 Оптимізація процесів спалювання паливної емульсії.....	65
2.5 Енергозбереження в системах централізованого тепlopостачання	67
2.6 Запропоновані заходи.....	71
3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	73
3.1 Характеристика небезпечних та шкідливих виробничих факторів виробництва.....	73
3.2 Заходи з поліпшення умов праці	75

	7
3.3 Виробнича санітарія	77
3.4 Електробезпека.....	79
3.5 Пожежна безпека	80
3.6 Засоби індивідуального захисту.....	81
3.7 Розрахунок редуктора.....	82
ВИСНОВКИ.....	89

ВСТУП

Актуальність роботи. Природоохоронні заходи, що проводяться на діючих ТЕС і котельних, спрямовані в основному на зниження викидів оксидів азоту, вуглецю і сірки. Але багато методів організації процесу спалювання палив, які мають на меті придушення утворення окислів, сприяють посиленому утворенню високомолекулярних вуглеводнів. Процес їх утворення при спалюванні органічних палив досліджений поки недостатньо. Відомо, що зниження концентрації $C_{20}H_{12}$ в димових газах можливо, наприклад, шляхом підвищенням температури в зоні горіння понад $1500\text{ }^{\circ}C$. При цьому введення вологи в зону горіння і дисоціація молекул води на іони сприяє зниженню концентрації $C_{20}H_{12}$ в продуктах згоряння палива. Диспергована вода впливає і на кінетичні характеристики топкових процесів.

На підставі оцінки зазначених вище особливостей горіння, введення вологи в високотемпературну зону горіння палива можна вважати комплексною, багатоцільовий, екосовместимой технологією з точки зору повноти окислювальних процесів, тепловиділення і складу димових газів.

Аналіз літературних джерел показує, що дослідження в даному напрямку присвячені вивченню процесу горіння і супутніх теплофізичних явищ відокремлено. Узагальнені теорії поки відсутні. Тому дослідження процесів горіння водомазутних емульсій в котлі ТГМ-200 є актуальною задачею.

Об'єкт дослідження – теплообмінні процеси в топковій камері котла ТГМ-200.

Предмет дослідження – котельна установка ТГМ-200.

Мета роботи - підвищення ефективності котла ТГМ-200 шляхом сплавання водомазутних емульсій.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз літературних джерел за темою досліджень;

- вивчення теплофізичних особливостей процесу горіння паливної емульсії і формування складу продуктів згорання;
- математичне моделювання та рішення пов'язаних задач з підбору оптимальних режимів емульгування, оптимізації процесу спалювання;
- складання висновків.

Методи та засоби дослідження. У роботі використовується класичні методи дослідження, в тому числі розрахунково-табличний та типовий метод розрахунку котельній установці. Також комп'ютерне моделювання гідродинамічних, термодинамічних і тепломасообмінних процесів у котлі.

Наукова новизна отриманих результатів. Проведено моделювання процесу горіння емульсій в котельній установці в сучасних інженерних програмних комплексах.

Практична цінність роботи полягає в наступному – розроблено комп'ютерну модель котла ТГМ-200.

Особистий внесок здобувача. Аналітичні дослідження виконанні безпосередньо автором. Автору також належить комп'ютерна модель та отримані на ній результати.

Апробація роботи. Результати роботи представлені на загальноуніверситетській конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2021» та I Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» 19-21 жовтня 2021 р.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань. Загальний обсяг складає 93 сторінки, 13 таблиць, 11 рисунків, список посилань з 39 джерел посилань.

1 ОЦІНОЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Поняття екологізації технологій виробництва полягає в проведенні заходів, спрямованих на запобігання негативного впливу виробничих процесів на природне та навколишнє середовище людини. Здійснення екологізації проводиться шляхом розробки маловідходних технологій, при реалізації яких забезпечується мінімальний рівень шкідливих викидів. У відношенні застосування газоподібного і рідкого (в основному мазуту) палив, що є основними складовими в загальноукраїнському балансі споживання при виробництві енергії, екологізація означає запобігання викидів в атмосферу, які утворюються при спалюванні сотень мільйонів тон на рік різних шкідливих речовин, а також запобіганні забрудненню гідросфери і літосфери стічними водами, які містять, нафтопродукти. Залежно від виду інгредієнта і потужності джерела (ГРЕС, ТЕЦ, котельні) ці викиди можуть призводити до погіршення довкілля на локальному, регіональному та навіть глобальному рівнях. Природоохоронні заходи які проводять на енергоустановках що споживають газоподібне та рідке паливо лише в малій ступені відповідають поняттю екологізації технологій, так як технологічні процеси, як правило, характеризуються низькою еко-сумісністю, тобто при їх здійсненні не досягається комплексне запобігання шкоди природному та навколишньому середовищу.

В даний час природоохоронні заходи, що проводяться на діючих газомазутних ТЕС і котельнях, спрямовані в основному на зниження викидів оксидів азоту, оксиду вуглецю, а також оксидів сірки. І абсолютно не виправдано поза розглядом залишаються питання, що стосуються запобіганню утворенню багатоядерних ароматичних вуглеводнів, таких, як бензопірен та інших високомолекулярних вуглеводнів, які є найсильнішими канцерогенами.

Горіння палива є окислювальний процес, що протікає між горючими речовинами палива та окислювачем, в якості якого найчастіше використовується кисень повітря. При розгляді процесів горіння приймаємо,

що в складі повітря входять (об'ємних відсотків) 21 % O₂ і 79 % N₂ кисню та азоту відповідно.

Горіння палив протікає з великими швидкостями з виділенням великої кількості теплоти, чим і відрізняється від окисного процесу при гнитті органічних речовин.

Становлення науки про горіння пов'язано з розвитком хімії, фізики та фізичної хімії. У 1661 р. Роберт Бойль пояснював горіння як передачу вогненної матерії обпалюють металу. На початку XVIII в. М. В. Ломоносов показав, що в горінні бере участь повітря. У 1773 р. Лоран Лавуазьє показав, що повітря складається з азоту, який не бере участі в горінні, і кисню, який з'єднується з речовиною в процесах горіння. З тих пір горіння отримало теоретичну основу, на базі якої розвивається в даний час.

Подальший розвиток науки про горіння пов'язано з роботами Менделєєва, який створив методи розрахунку процесів горіння. У розвитку сучасної теорії горіння чільне місце належить радянським ученим: Н. Н. Семеновим, А.С. Предводителеву, Г.Ф. Кнорре, Л.Н. Хітріна.

Під керівництвом академіка Семенова М.М. розробляється теорія ланцюгових реакцій, теорія горіння і детонації газів. Кнорре Г.Ф плідно працював у галузі вивчення топкових процесів. Предводителевим А.С. успішно велися роботи в області горіння вуглецю.

Незважаючи на наявний в даний час досвід в області горіння питання горіння ще вимагають значного вивчення.

Паровий котел на мазуті - затребуваний тип опалювальних установок, що пояснюється високими властивостями цього виду пального. При неможливості підключення до газової магістралі є сенс розглянути котли та парогенератори, адаптовані до роботи з важким паливом підвищеної в'язкості. Щоб обладнання працювало повноцінно, його оснащують мазутними пальниками. Цей варіант оптимально підходить для промислових об'єктів та технологічних підприємств. Принцип роботи таких пальників полягає в тому, що закачене насосом паливо змішується з повітрям, після чого отримана суміш подається в камеру

нагрівання і доводиться до потрібної температури. Потім паливо потрапляє на форсунку і спалюється. За витрату пального відповідає спеціальний регулятор.

Класифікація мазутних пальників промислових передбачає поділ агрегатів за способом регулювання потужності. Існують одноступеневі, двоступеневі та модулюючі пальники на мазуті. Одноступеневі моделі працюють за принципом «включити-виключити» - коли теплоносій нагрівається до максимально допустимої температури, пальник відключається. Устаткування відновлює свою роботу, коли температура теплоносія падає нижче заданих значень. Двоступеневі агрегати працюють в двох режимах горіння («мале» та «велике» горіння). У модулюючих пальниках є можливість плавно змінювати потужність, задаючи проміжні значення між мінімальним та максимальним порогом.

При виборі мазутного пальника необхідно враховувати:

- характеристики котла або парогенератора. Обладнання повинне бути адаптоване до роботи з продуктами підвищеної в'язкості. В іншому випадку можливе утворення великої кількості сажі, неповне згоряння палива та вихід з ладу всієї опалювальної системи.
- ступінь в'язкості мазуту, який ви плануєте використовувати. Різні моделі пальників розраховані на певну в'язкість палива.
- необхідність установки насосної станції. Якщо бак з паливом знаходиться на значній відстані, то буде потрібно установка насосної станції.

1.1 Розрахунок енергії палива

Елементарний склад палива визначається згідно [1] та занесене у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Елементарний склад палива, %

W^P	A^P	S_{op+k}^P	C^P	H^P	N^P	O^P
3,0	0,05	0,3	84,65	11,7		0,3

Теоретичний об'єм повітря, м³/кг

$$\begin{aligned} V_B^O &= 0,0889 \cdot C^P + 0,375 \cdot S_{\text{оп+k}}^P + 0,265 \cdot H^P - 0,0333 \cdot O^P = \\ &= 0,0889 \cdot 84,65 + 0,375 \cdot 0,3 + 0,265 \cdot 11,7 - 0,0333 \cdot 0,3 \\ &= 7,54 + 3,1 - 0,00999 = 10,63. \end{aligned}$$

Теоретичний об'єм продуктів згоряння, м³/кг

- азоту

$$\begin{aligned} V_{N_2}^O &= 0,79 \cdot V_B^O + 0,8 \cdot N^P / 100 = 0,79 \cdot 10,63 + 0,8 \cdot 0,3 / 100 = \\ &= 8,3977 + 0,0024 = 8,4 \end{aligned}$$

- трьохатомних газів

$$V_{RO_2}^O = 0,01866 \cdot C^P + 0,375 \cdot S_{\text{оп+k}}^P = 0,01866 \cdot 84,65 + 0,375 \cdot 0,3 = 1,58$$

- об'єм водяного пару

$$\begin{aligned} V_{H_2O}^O &= 0,111 \cdot H^P + 0,0124 \cdot W^P + 0,0161 \cdot V_B^O = \\ &= 0,111 \cdot 11,7 + 0,0124 \cdot 3 + 0,0161 \cdot 10,63 = 1,51. \end{aligned}$$

- об'єм димових газів

$$V_r^O = V_{N_2}^O + V_{RO_2}^O + V_{H_2O}^O = 8,4 + 1,58 + 1,51 = 11,49.$$

Розрахуємо ентальпії продуктів згоряння та повітря. Ентальпія теоретичного об'єму повітря визначається за формулою, кДж/кг

$$I_g^o = V_g^o \cdot \rho \cdot g.$$

При розрахунку ентальпій димових газів та повітря використаємо дані з [1]:

$$100^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 132 = 1403,16;$$

$$200^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 226 = 2402,38;$$

$$300^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 403 = 4283,89;$$

$$400^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 542 = 5761,46;$$

$$500^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 684 = 7270,92;$$

$$600^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 830 = 8822,9;$$

$$700^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 979 = 10406,77;$$

$$800^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 1130 = 12011,9;$$

$$900^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 1281 = 13617,03;$$

$$1000^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 1436 = 15264,68;$$

$$1500^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 2239 = 23800,57;$$

$$2000^{\circ}\text{C} - I_{\text{B}}^{\circ} = 10,63 \cdot 3064 = 32570,32.$$

Результати розрахунку занесемо у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Ентальпія теоретичного об'єму повітря

$\vartheta, ^{\circ}\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
$I_{\text{B}}^{\circ},$ кДж/кг	1403,16	2402,38	4283,89	5761,46	7270,92	8822,90	10406,77	12011,9	13617,03	15264,68	23800,57	32570,32

Теоретичний об'єм димових газів, кДж/кг

$$I_{\Gamma}^{\circ} = V_{RO_2}^{\circ} \cdot C \cdot g_{RO_2} + V_{N_2}^{\circ} \cdot C \cdot g_{N_2} + V_{H_2O}^{\circ} \cdot C \cdot g_{H_2O}$$

При розрахунку ентальпій димових газів використаємо дані з [1].
Результати розрахунку занесемо у таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 - Ентальпія теоретичного об'єму димових газів

$g, ^\circ C$	$I_{RO_2}^{\circ},$ кДж/кг	$I_{N_2}^{\circ},$ кДж/кг	$I_{H_2O}^{\circ},$ кДж/кг	$I_{\Gamma}^{\circ},$ кДж/кг
100	267,02	1092,00	228,01	1587,03
200	564,06	2184,00	459,04	3207,10
300	883,22	3292,80	699,13	4875,15
400	1219,76	4426,80	945,26	6591,82
500	1573,68	5577,60	1198,94	8350,22
600	1930,76	6753,60	1460,17	10144,53
700	2308,38	8097,60	1731,97	12137,95
800	2692,32	9181,20	2015,85	13889,37
900	3082,58	10441,20	2301,24	15825,02
1000	3479,16	11709,60	2604,75	17793,51
1500	5536,32	18177,60	4196,29	27910,21
2000	7651,94	24897,60	5928,26	38477,80

1.2 Розрахунок ентальпій дійсних об'ємів димових газів

Коефіцієнт надлишку повітря визначаємо з конструктивних особливостей котельного агрегату:

- в топці

$$\alpha_T = 1,1;$$

- в 1 газоході

$$\alpha_1 = \alpha_T + \Delta\alpha_1 = 1,1 + 0,08 = 1,18;$$

- в 2 газоході

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta\alpha_2 = 1,18 + 0,06 = 1,24 .$$

Розрахунок ентальпій димових газів по газоходам, кДж/кг:

- в топці

$$2000 - I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^0 + \alpha_{\Gamma} - 1 \cdot I_{\text{B}}^0 = 38477,8 + 1,1 - 1 \cdot 32570,32 = 41734,83 ;$$

$$1500 - I_{\Gamma} = 27910,21 + 1,1 - 1 \cdot 23800,57 = 30290,27$$

$$1000 - I_{\Gamma} = 17793,51 + 1,1 - 1 \cdot 15264,68 = 19319,98$$

$$900 - I_{\Gamma} = 15825,02 + 1,1 - 1 \cdot 13617,03 = 17186,72$$

$$800 - I_{\Gamma} = 13889,37 + 1,1 - 1 \cdot 12011,9 = 15090,56 ;$$

- в 1 газоході

$$900 - I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^0 + \alpha_1 - 1 \cdot I_{\text{B}}^0 = 15825,02 + 1,18 - 1 \cdot 13617,03 = 18276,09 ;$$

$$800 - I_{\Gamma} = 13889,37 + 1,18 - 1 \cdot 12011,9 = 16051,51 ;$$

$$700 - I_{\Gamma} = 12137,95 + 1,18 - 1 \cdot 10406,77 = 14011,17 ;$$

$$600 - I_{\Gamma} = 10144,53 + 1,18 - 1 \cdot 8822,90 = 11732,65 ;$$

- в 2 газоході

$$700 - I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^0 + \alpha_2 - 1 \cdot I_{\text{B}}^0 = 12137,95 + 1,24 - 1 \cdot 10406,77 = 14635,57 ;$$

$$600 - I_{\Gamma} = 10144,53 + 1,24 - 1 \cdot 8822,9 = 12262,03 ;$$

$$500 - I_{\Gamma} = 8350,22 + 1,24 - 1 \cdot 7270,92 = 10095,24 ;$$

$$400 - I_{\Gamma} = 6591,82 + 1,24 - 1 \cdot 5761,46 = 7974,57 ;$$

$$300 - I_{\Gamma} = 4875,15 + 1,24 - 1 \cdot 4283,89 = 5903,28 ;$$

$$200 - I_{\Gamma} = 3207,10 + 1,24 - 1 \cdot 2402,38 = 3783,67 ;$$

$$100 - I_{\Gamma} = 1587,03 + 1,24 - 1 \cdot 1403,16 = 1923,79 .$$

Результати розрахунку занесемо у таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 - Ентальпія об'єму димових газів та повітря

$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$I_g^\circ,$ кДж/кг	$I_{\Gamma}^\circ,$ кДж/кг	$I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^\circ + (\alpha_{\Gamma} - 1) I_B^\circ$		
			в топці $\alpha_{\Gamma} = 1,1$	в 1 газоході $\alpha_1 = 1,18$	в 2 газоході $\alpha_2 = 1,24$
100	1403,16	1587,03	-	-	1923,79
200	2402,38	3207,10	-	-	3783,67
300	4283,89	4875,15	-	-	5903,28
400	5761,46	6591,82	-	-	7974,57
500	7270,92	8350,22	-	-	10095,24
600	8822,90	10144,53	-	11732,65	12262,03
700	10406,77	12137,95	-	14011,17	14635,57
800	12011,90	13889,37	15090,56	16051,51	
900	13617,03	15825,02	17186,72	18276,09	
1000	15264,68	17793,51	19319,98	-	
1500	23800,57	27910,21	30290,27	-	
2000	32570,32	38477,80	41734,83	-	

1.3 Визначення основних характеристик пального

Теплова потужність пального, МВт

_____ ,

де B – витрата палива, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_p – теплота згорання палива, $\text{кДж}/\text{м}^3$;

n - кількість пальників, шт.

Тип пальника, визначений за тепловою потужністю – ГМГ-5,5/7 II.

Номінальна паропроодуктивність, МВт

$$Q_{\Gamma} = 8,1.$$

Діапазон регулювання відносно номінальної теплопродуктивності, %

$$15-100.$$

Витрата повітря, м³/год

$$B = 10000.$$

Тиск розпилюючого пара, МПа

$$P = 0,2.$$

Тиск газу з тепловою згорання 36 МДж/м³, даПа

$$P = 300.$$

За розрахунковою тепловою потужністю та типом пальника обираються геометричні розміри габаритних і приєднувальних частин пальника, що занесені до таблиці 3.2.1 і за якими виконане креслення.

Таблиця 1.3 – Габаритні і приєднувальні розміри пальника, мм

Розміри та тип пальника	D ₁	D ₂	D ₃	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	h ₁	h ₂
ГМГ- 5,5/7 II	420	168	432	1291	525	285	495	600	260	427

1.4 Розрахунок теплообміну в топці і конструктивне оформлення будови топки

1.4.1 Конструктивні розрахунки топки

Ширина активного об'єму топки, мм

$$a = 4280.$$

Глибина активного об'єму топки

$$b = 4020.$$

Кути нахилу фестонона, град

$$\alpha_{\phi 1} = 55;$$

$$\alpha_{\phi 2} = 52.$$

Екранні поверхні в топці, що виконані з труб, мм

$$d = 60.$$

Крок труб у задньому екрані, мм

$$S_3 = 80.$$

Крок труб у фронтівому і бокових екранах, мм

$$S_{\phi} = S_{\sigma} = 110.$$

Відстань між вісями труб та площинами стін, мм

$$e = 60.$$

Відстань крайніх труб фронтального екрану від площини бічних екранів,
мм

$$m_{\phi} = 160.$$

Відстань крайніх труб заднього екрану від площини бічних екранів, мм

$$m_3 = 260.$$

Кількість труб у фронтальному екрані, шт.

$$n_{\phi} = 37.$$

Кількість труб у задньому екрані, шт.

$$n_3 = 48.$$

Відстань крайніх труб бічних екранів від площини фронтального та
заднього екранів, мм

$$m_6 = 195.$$

Кількість труб у кожному з бічних екранів, шт.

$$n_6 = 34.$$

Відносний крок труб екранів

$$S_3/d = 80/60 = 1,33;$$

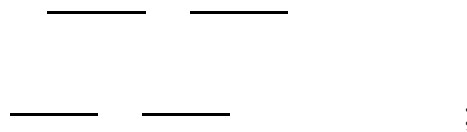
$$S_{\phi p}/d = S_6/d = 110/60 = 1,83.$$

Відносна відстань труб від площини стін

$$e/d = 60/60 = 1.$$

Площа поверхонь, які обмежують активний об'єм топки, м²:

- по фронтній стіні



- по задньому екрану

;

- по бічному екрану

$$F_6 = 37,93;$$

- по фестону



Сумарна площа поверхонь, які обмежують активний об'єм топки, м²

$$F_{ст.} = F_{фр} + 2 \cdot F_6 + F_3 + F_ф = 48,36 + 2 \cdot 37,93 + 22,898 + 22,941 = 170,06.$$

Об'єм активного простору топки, м³

$$V_T = F_6 \cdot a = 37,93 \cdot 4,28 = 162,34.$$

Кутовий коефіцієнт заднього екрану

$$x_3 = 0,96.$$

Кутовий коефіцієнт бічних та фронтального екранів

$$x_{\text{фр}} = x_6 = 0,91.$$

Кутовий коефіцієнт площини, яка проходить крізь перший ряд фестона

$$x_{\text{ф}} = 1.$$

Коефіцієнт забруднення промінеприймаючих поверхонь

$$\xi = 0,65.$$

Коефіцієнт теплової ефективності заднього екрану

$$\psi_3 = 0,96 \cdot 0,65 = 0,624.$$

Коефіцієнт теплової ефективності бічних та фронтального екранів

$$\psi_{\text{фр}} = \psi_6 = 0,91 \cdot 0,65 = 0,5915.$$

Коефіцієнт теплової ефективності площини, яка проходить крізь перший ряд фестону

$$\psi_{\text{ф}} = 1 \cdot 0,65 = 0,65.$$

Площа поверхонь, які зайняті амбразами пальників, м²

— — — .

Сумарна ефективна поомінесприймаюча поверхня, м²

$$=(2 \cdot 37,93 + 48,36 - 0,69) \cdot 0,5915 + 22,898 \cdot 0,624 + 22,941 \cdot 0,65 = 101,5.$$

Середнє значення коефіцієнта теплової ефективності

— — — .

Оптична товщина випромінювального шару топчного середовища, м

— — — .

1.4.2 Розрахунок теплообміну у топці

Присос повітря у топці

$$\Delta\alpha_T = 0,05.$$

Температура холодного повітря, °С

$$t_{x.n} = 30.$$

Ентальпія повітря при цій температурі, кДж/м³

Температура гарячого повітря, °С

$$\vartheta_{г.п} = 200.$$

Ентальпія повітря при цій температурі, кДж/м³

Кількість тепла, яке вноситься в топку разом з повітрям, кДж/м³

Рециркуляція продуктів згорання в топку не передбачена.

Корисне тепловиділення в топці, кДж/м³

Теоретична температура горіння, яка відповідає корисному тепловиділенню в топці, °С

$$\vartheta_a = 1924,52.$$

Температура продуктів згорання в кінці топки передбачається, °С

Ентальпія продуктів згорання при цій температурі, кДж/м³

Середня сумарна теплоємність продуктів згорання в інтервалі температур від \mathcal{G}_m'' до \mathcal{G}_a , кДж/(м³·К)

_____ .

Коефіцієнт збереження тепла

_____ .

Відносне місцеположення максимуму температур передбачається

$$X_r = h_r / H_r = 2,88 / 8,0625 = 0,357;$$

$$X_m = X_r + 0,15 = 0,2589 + 0,15 = 0,507.$$

Параметр температурного поля

$$M_x = 0,54 - 0,2 \cdot x_r = 0,54 - 0,2 \cdot 0,507 = 0,4386.$$

Тиск продуктів згорання в топці приймається, бар

$$P = 1.$$

Об'ємна доля водяного пару в продуктах згорання в топці

.

Об'ємна доля трьохатомних газів у продуктах згорання

Сумарний парціальний тиск у продуктах згорання, бар

Оптична товщина газового потоку полум'я

Ступінь чорноти факелу напівсвітнього полум'я

Ступінь чорноти топки

Випромінювальна спроможність абсолютно чорного тіла, кВт/(м²·К)

$$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-11}.$$

Розрахункова витрата палива, яка визначена раніше, м³/с.

$$V_p = 0,805.$$

Температура продуктів згорання на виході з топки, °С

$$g_m'' = \frac{T_a}{M \cdot \left(\frac{\sigma_o \cdot a_m \cdot \bar{\psi} \cdot F_{cm} \cdot T_a^3}{\varphi \cdot B_p \cdot V_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273 =$$

Ентальпія продуктів згорання, відповідна температурі 1087 °С, кДж/м³

Кількість тепла, яке передане в топці променистим теплообміном, кДж/м³

Видиме енерговиділення в об'єм топки, кВт/м³

що не перевищує припущеного значення.

1.5 Температура горіння палива

Під температурою горіння палива розуміється та температура, до якої нагріваються продукти згорання за рахунок теплоти, що виділяється при горінні палива.

В залежності від способу визначення кількості теплоти, що іде на підвищення температури продуктів згорання, розрахункові температури будуть різними.

Так, якщо припустити, що вся теплота, котра виділяється при горінні палива, піде тільки на підвищення температури продуктів згорання, то в цьому випадку їх температура буде найвищою і зветься калориметричною.

Коли паливо і повітря до спалювання не підігріваються, а також відсутній хімічний недопал, залежність для калориметричної температури має вигляд

$$t_k = \frac{Q_n^{hp}}{V_{п.з.} \cdot C_o^{t_k}},$$

де $C_o^{t_k}$ - середня об'ємна теплоємність продуктів згорання в інтервалі температур від 0°C до t_k .

Однак, на практиці застосовують підігрів як палива, так і повітря, тому треба враховувати їх фізичну теплоту, яка іде на підвищення температури продуктів згорання. В той же час хімічний недопал зменшує теплоту згорання палива. Формула для розрахунку калориметричної температури у загальному випадку має вигляд

$$t_k = \frac{Q_n^p + Q_{ф.пов.} + Q_{ф.пал.} - Q_{х.н.}}{V_{п.з.} \cdot C_o^{t_k}},$$

де $Q_{ф.пов.}$ – фізична теплота підігрітого повітря;

$Q_{ф.пал.}$ - фізична теплота підігрітого палива;

$Q_{х.н.}$ – теплота, що загублена внаслідок хімічного недопалу, віднесена до одиниці палива.

Фізична теплота повітря розраховується за формулою

$$Q_{ф.пов.} = L_d C_o^{t_{пов.}} t_{пов.},$$

де $C_o^{t_{пов.}}$ - середня об'ємна теплоємність повітря в інтервалі температур від 0°C до $t_{пов.}$;

$t_{\text{пов}}$ – температура підігріву повітря.

Аналогічно

$$Q_{\text{ф.пал.}} = C_0^{t_{\text{пал.}}} t_{\text{пал.}},$$

де $C_0^{t_{\text{пал.}}}$ - середня теплоємність палива в інтервалі температур від 0°C до $t_{\text{пал.}}$;

$t_{\text{пал.}}$ – температура підігріву палива.

Величина хімічного недопалу може бути розрахована за формулою

$$Q_{\text{х.н.}} = 0,01 \left(2,77 \text{CO}^{\text{п.з.}} + 10,8 \text{H}_2^{\text{п.з.}} + 35,8 \text{CH}_4^{\text{п.з.}} \right) \gamma_{\text{п.з.}},$$

де $Q_{\text{х.н.}}$ вимірюється у МДж/кг, або МДж/м³;

$\text{CO}^{\text{п.з.}}$, $\text{H}_2^{\text{п.з.}}$, $\text{CH}_4^{\text{п.з.}}$ - об'ємний процентний вміст горючих компонентів у сухих продуктах згорання;

$\gamma_{\text{п.з.}}$ - об'єм сухих продуктів згорання.

Таким чином на величину калориметричної температури впливають такі фактори:

- а) підігрів повітря і палива;
- б) теплота згорання палива;
- в) хімічний недопал;
- г) коефіцієнт витрати повітря;
- д) процентний вміст кисню у повітрі.

Підігрів повітря і палива завжди підвищує калориметричну температуру. Із збільшенням коефіцієнту витрати повітря t_k знижується, тому що збільшується об'єм продуктів згорання. Збільшуючи частку кисню в повітрі, ми зменшуємо об'єм продуктів згорання і таким чином підвищуємо t_k .

Вз збільшенням теплоти згорання одночасно згорає і об'єм продуктів згорання і тому, наприклад, теплота згорання водню нижча ніж метану, проте його калориметрична температура велика.

Розрахунок калориметричної температури ведуть наближеними методами. Орієнтоване значення t_k можна знайти з використанням $i - t$ діаграми (рис. 6.1). На цій діаграмі процентний вміст надлишкового повітря у продуктах згорання.

$$V_L = \frac{L_d - L_o}{V_{п.з.}} \cdot 100\% .$$

Спочатку підраховують калориметричну ентальпію за формулою

$$i_k = \frac{Q_n^p + Q_{ф.пов.} + Q_{ф.пал.} - Q_{х.п.}}{V_{п.з.}}$$

Далі за допомогою $i - t$ діаграми знаходять наближене значення $t_k = t'$, підраховують теплоємність продуктів згорання C_o^t , а тоді визначають

$$t_k = \frac{i_k}{C_o^t} .$$

Для того, щоб калориметрична температура була характеристикою палива, її треба визначати при однакових умовах.

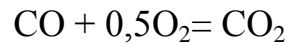
Ці умови такі:

- а) температура суміші палива з повітрям дорівнює 0°C ;
- б) повне горіння відбувається з теоретичною кількістю повітря;
- в) у камері горіння підтримується нормальний тиск ($p=101,3$ кПа).

В цьому разі калориметрична температура зветься жаро видатністю палива. Відповідна залежність буде такою

$$t_{ж} = \frac{Q_n^p}{V_{п.з.}^o \cdot C_o^{t_{ж}}} .$$

Калориметричну температуру підраховують, приймаючи, що реакції горіння ідуть до утворення вищих окислів CO_2 і H_2O , тобто до кінця. Насправді реакції горіння оборотні, наприклад,



при цьому ендотермічні зворотні реакції дисоціації CO_2 і H_2O призводять до зниження температури продуктів згорання.

Із урахуванням дисоціації одержимо залежність для так званої теоретичної температури

$$t_{\text{теор}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф.пал.}} + Q_{\text{ф.пов.}} - Q_{\text{х.п.}} - Q_{\text{дис}}}{V_{\text{п.з.}} \cdot C_0^{t_{\text{теор}}}},$$

де $Q_{\text{дис}}$ – теплота дисоціації.

Спалювання палива в промислових агрегатах неподільно зв'язане з тепловіддачею до нагріваємих виробів, кладки, водо охолоджуваних елементів. Тому тільки частина теплоти, що виділяється при горінні палива залишається у продуктах згорання і іде на підвищення $t_{\text{п.з.}}$. Відповідно дійсна температура завжди нижча ніж калориметрична.

В інженерних розрахунках використовують так званий пірометричний коефіцієнт і дійсну температуру визначають так

$$t_{\text{д}} = \eta t_{\text{к}},$$

де η - пірометричний коефіцієнт, що дорівнює 0,65-0,75.

1.6 Метод спалювання водомазутної емульсії

Надзвичайно гостро стоїть питання про забруднення водних басейнів стічними водами. Застосовувані зараз методи очищення стічних вод від

нафтопродуктів є дорогими і не завжди вискоєфективними. Особливо це відноситься до очищення сильно забруднених водойм. У той же час розробка і застосування безвідходних, безстічних технологій майже не практикуються. Звідси випливає, що існуюча стратегія проведення природоохоронних заходів на діючих енергоустановках, що використовують природний газ, мазут (і інші види палива), не базується на комплексному підході і не виправдана ні в екологічному, ні в економічному відношенні. Необхідний аналіз ступеня впливу на природне середовище всіх шкідливих викидів енергетичних установок при зміні технології спалювання палива і, як наслідок, досягнення еко-сумісності технологій.

Однією з таких технологій для теплоенергетики, яка спрямована на захист атмосферного повітря та водного басейну від викидів оксиду азоту, вуглекислого газу, сажі, багатоядерних вуглеводнів, нафтопродуктів та інших шкідливих речовин є спалювання мазуту у вигляді водо-мазутних емульсій (ВМЕ).

Метод спалювання водомазутних емульсії широко відомий. У дослідженнях, присвячених цьому питанню [11-14], встановлено, що для досягнення поставленого завдання ВМЕ повинна бути приготовлена у вигляді однорідної суміші мазуту із додаванням вологи по типу "вода-масло", в якій вода як дисперсна фаза у вигляді частинок діаметром кілька мікрометрів знаходиться всередині паливної оболонки. Тільки при дотриманні цієї умови і вологості водомазутних емульсії до 20% забезпечуються надійне запалення і стійке її горіння з високою повнотою згорання. Підвищення ефективність процесу горіння емульсії (навіть при гранично низьких надлишках повітря) обумовлено мікробухом її крапель внаслідок різниці температур кипіння води і мазуту. При додатковому дробленні крапель емульсії досягається прискорення їх випаровування і поліпшується процес перемішування палива з повітрям, внаслідок чого з урахуванням наявності в зоні горіння продуктів дисоціації води процес згорання мазуту істотно інтенсифікується.

Для приготування кондиційних ВМЕ необхідної вологості, дисперсності, в'язкості та ін. повинні застосовуватися відповідні пристрої - емульгатори.

Використання в якості додаткової води стічних вод дає можливість піддати вогневому знешкодженню значний її обсяг (приблизно до 20% витрати палива на котел). Це дозволяє перевести ТЕС або котельню на маловідходну технологію (принаймні шляхом утилізації всіх стічних вод, забруднених нафтопродуктами). Аналогічний ефект досягається при спалюванні природного газу з додаванням вологи.

Спалювання ВМЕ і природного газу з додаванням вологи призводить до зниження рівня температур в зоні максимальної генерації оксидів азоту, отже і до значного (на 30-50%) зниження їх концентрації в димових газах. Більш значного пригнічення оксиду азоту можна досягти в тому випадку, якщо в якості додаткової вологи разом зі стічними водами використовувати розчини азотовмісних речовин при відповідній організації процесу спалювання палива. Для зниження концентрації оксидів сірки при спалюванні сірчистих мазутів в складі додаткових вод можна також використовувати розчин або слабку суспензію кальцій гідроксиду.

Процес утворення багатоядерних вуглеводнів при спалюванні органічних палив досліджений поки вкрай мало. Однак відомо, що зниження концентрації бензопірену в димових газах можливо шляхом організації спалювання продуктів неповного згоряння палива, підвищенням температури в зоні горіння понад 1500 °С, а також введенням спеціальних інгібіторів. Встановлено також, що при введенні вологи в зону горіння з подальшою дисоціацією молекул води на іони H^+ і OH^- значно знижується концентрація бензопірену в продуктах згоряння палива.

На підставі оцінки зазначених вище факторів: вплив вологи або розчинів реагентів в високотемпературній зоні горіння палива на утримання в димових газах різних шкідливих речовин (оксидів азоту, оксидів сірки, вуглекислого газу, бензопірену та ін.) і можливого вогневого знешкодження стічних вод спалювання мазуту у вигляді ВМЕ або природного газу з додаванням вологи

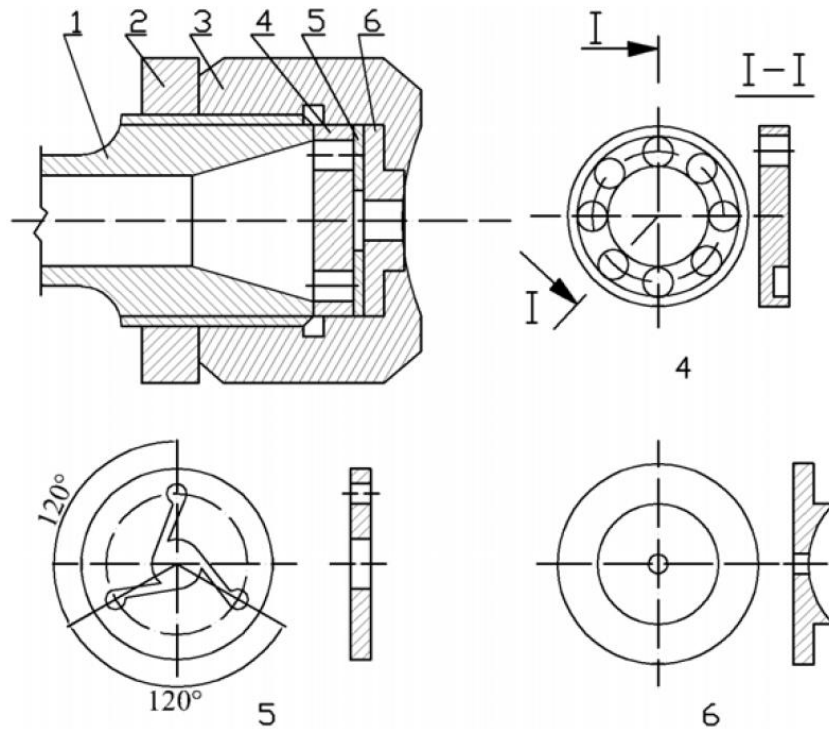
можна вважати комплексною, багатоцільовою, еко-сумісною технологією. Застосування цієї технології виправдано і економічно, так як при її здійсненні досягається більш раціональне використання теплоти палива і для реалізації цього методу не потрібні великі капіталовкладення. Виконання цієї технології на діючих ТЕС і котельнях має ще одну важливу перевагу: переведення котлів на спалювання ВМЕ або природного газу з добавками стічних вод не викликає необхідності істотної зміни їх конструктивного виконання. Не потрібно також ніяких змін і в схемі газового господарства.

При проведенні досліджень розроблені і випробувані кілька варіантів технологічних схем по спалюванню ВМЕ. З них найбільшої уваги заслуговують: схема з центральним вузлом приготування ВМЕ, схема з індивідуальним вузлом приготування ВМЕ і комбінована схема. Схема з центральним вузлом приготування ВМЕ, розташованим між насосами першого і другого підйомів, найбільш проста. Але в цій схемі в разі добавки води в тракт палива відбувається обводнення всього потоку мазуту, що циркулює в контурі, включаючи мазутні баки, що небажано. Тому необхідно здійснювати надійний контроль вологості мазуту на різних ділянках тракту. Наявність в цій схемі центрального вузла емульгування має експлуатаційні переваги в режимах роботи котлів без введення додаткової вологи, так як дозволяє надійно працювати котлам навіть при спалюванні вихідного мазуту з підвищеною вологістю (20% і більше). У схемі з індивідуальним вузлом приготування ВМЕ обводнення мазуту передбачається тільки на вході в окремі котли (один або кілька). У цьому варіанті полегшується використання в якості додаткових вод розчинів реагентів (гідроксид кальцію, сечовини (карбаміду) та ін.), вживання яких має додатково знизити викиди шкідливих речовин.

Найбільші можливості для приготування водомазутних емульсій і гнучкість в експлуатації обладнання досягаються при реалізації комбінованого способу приготування ВМЕ який поєднує переваги двох розглянутих вище варіантів

Основні типи форсунок, що використовуються в даний час в енергетиці:

- механічні і з розпилюючим середовищем. Механічне розпилювання здійснюється при продавлюванні палива під значним тиском (1,0 ... 2,0 МПа) через малий отвір (1 ... 3 мм). Розпилююча частина відцентрової форсунки (головка) показана на рис. 1.1. Вона складається з трьох основних деталей. У диску №4 відбувається дроблення палива на дрібні струмки, в диску №5 струмки завихрюються, в сопловій насадці №6 паливо розпилюється.



1 - наконечник головки; 2 - гайка стопорная; 3 - гайка накидна; 4 - диск розподільний; 5 - диск завихрюючий; 6 – соплова насадка.

Рисунок 1.1 - Головка мазутної форсунки з механічним розпилюванням

У схемі з індивідуальним вузлом приготування застосовується емульгатор, принцип роботи якого аналогічний кавітатору. Емульгатор складається з послідовно з'єднаних колін труби з розташованими в них турбулізуючими вставками. Конструктивне виконання емульгатора дозволяє встановлювати його в мазутопроводах безпосередньо перед форсунками котла (тобто вони можуть працювати на мазуті високого тиску). Основні характеристики пропонованих емульгуючих пристроїв - це технологічність, простота в конструкції і виготовленні, відсутність деталей що обертаються,

гарна якість одержуваної ВМЕ, висока надійність роботи і відносно помірна вартість.

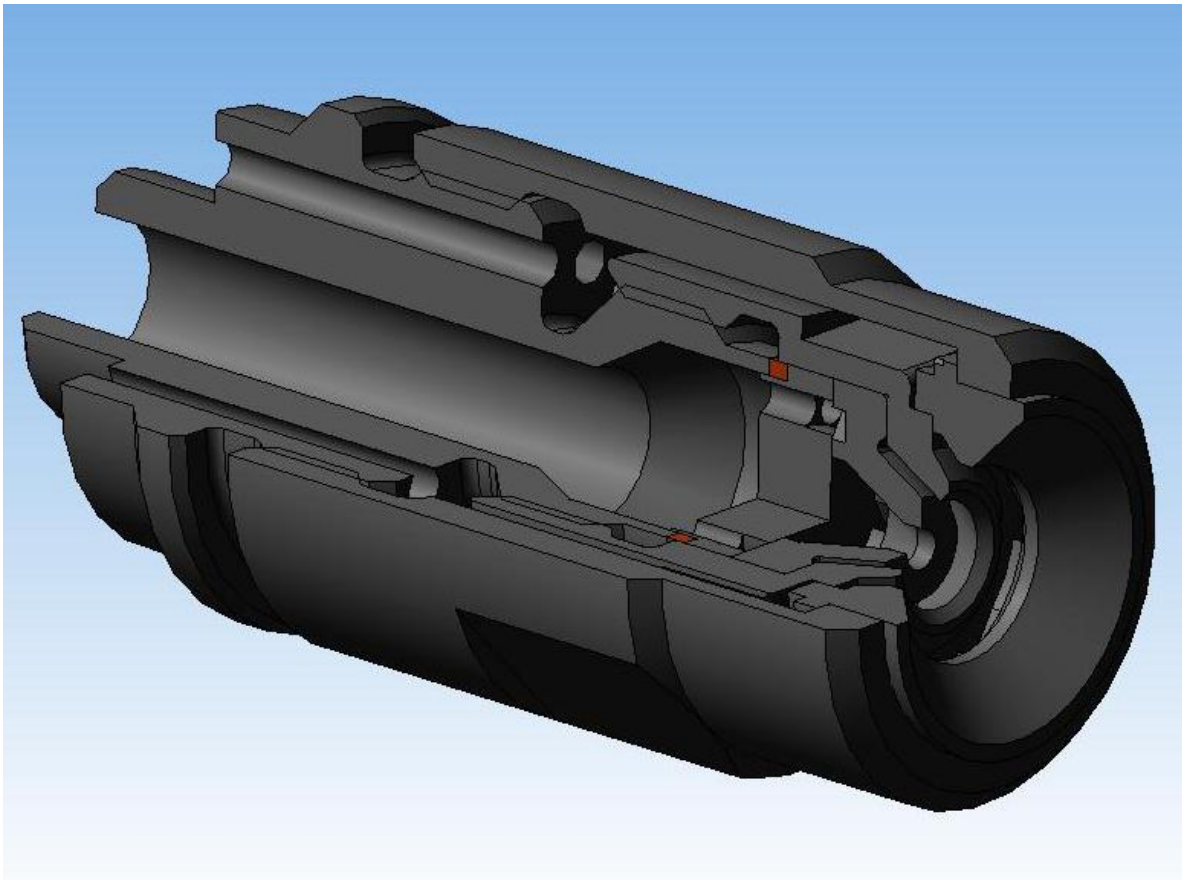


Рисунок 1.2 - Форсунка котла ГМ-50

У технологічній схемі спалювання природного газу з добавками стічних вод або розчинів спеціальних реагентів при роботі на газі додається волога, вона подається в зону горіння через спеціальні розпилюючі пристрої, що встановлюються на стінах топки котла або в пальниках. Ці розпилювачі пристрої розроблені і випробувані авторами на парових котлах в умовах промислової експлуатації. Інші елементи схеми: баки, насоси, вимірвальна апаратура загальні для схем спалювання ВМС і спалювання газу з додаванням вологи, тобто використовуються при роботі і на газі, і на мазуті.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ ВОДОМАЗУТНИХ ЕМУЛЬСІЙ

2.1 Особливості горіння в топці ТГМ

При розпилюванні рідкого мазуту тепло, яке надходить по дисперсному потоку від топкових газів, підвищує температуру палива, в результаті чого формується газоподібна фаза вуглеводнів і відбувається газофазна окислювальна реакція з киснем повітря. Для ефективного спалювання мазуту необхідно його тонке подрібнення, швидке змішання з повітрям. Чим дрібніше дисперговані паливо, тим більше його вільна поверхня. При розпилюванні об'єму рідини 1 см^3 сумарна поверхня розпилу, що містить фракції від 0,5 мкм до 500 мкм, складає близько 1200 см_2 , тобто збільшується в порівнянні з початковою поверхнею приблизно в 250 разів. Тонке розпилювання і велика вільна поверхня (енергія) палива скорочує час, необхідний для тепломасообмінних процесів, зменшує предпламенну зону факелу. Одночасно прискорюються термохімічні процеси газифікації твердих коксових залишків крапель. Ці ефекти досліджували багато авторів. У наших дослідженнях також відзначалася інтенсифікація горіння при більш дрібному розпилюванні мазуту, яке досягалося застосуванням механічних подрібнювачів, зниженням в'язкості мазуту при введенні різних присадок і нагріванні, підвищенні тиску в нагнітальному гілки [21].

Емульгування мазуту дозволяють домогтися більш значного розпилу і інтенсифікації окислювальних процесів в топці. Помічено також, що досягається більш повне окислення вуглеводнів, знижується вміст оксидів азоту в продуктах згоряння і практично повністю усувається відкладення сажі на нагрівальних поверхнях котлоагрегату.

Процес окислення реалізується в кілька етапів, тривалість протікання яких різна. На певному етапі починається гетерогенна реакція горіння коксу. Відпрацьовані гази ускладнюють доступ кисню до поверхні частинок. Така

динаміка горіння наводиться в класичній літературі з теорії горіння. Гарне утворення сумішей палива з повітрям потрібно також і в тій частині факела, де відбувається догорання твердого каркаса краплі. Відзначимо також, що теплота, що виділяється при окисленні летючих компонентів, витрачається ще й на горіння коксу.

Для того, щоб оптимізувати окислювальні процеси в камері згорання, необхідно виділити їх основні етапи, які визначають якісні характеристики даних процесів.

В цілому горіння вуглеводнів протікає не по запропонованими найпростішими рівняннями схемою, а протікає через ряд послідовних, повторюваних проміжних стадій, тобто через активні центри, якими є проміжні продукти реакції - частини вихідних молекул у вигляді вихідних атомів або радикалів. Процеси горіння за участю таких нестійких проміжних сполук повинні йти набагато активніше простих молекулярних, так як вимагають значно менших енергій активації. Очевидно, що і температура горіння в цьому випадку повинна бути вищою. Як показано в попередніх розділах температура при спалюванні ВМЕ вище на 70 - 100 °С. На наш погляд саме нестійкі сполуки і визначають (як буде показано далі) рівень температур в камері згорання. Швидкість ланцюгових реакцій в порівнянні зі швидкістю прямих реакцій між вихідними речовинами виявляються на порядок більшою. Тому однією з основних практичних завдань, які належить вирішити в даному розділі, є формування умов зародження максимально можливої кількості центрів реакції технологічними прийомами.

Головну роль в процесах запалення відіграють такі типи проміжних сполук. Вуглеводневі радикали. Це молекули вуглеводню, у яких вилучено один або кілька атомів водню і валентний зв'язок не замкнутий (алкіл). Перекису - з'єднання, що виходять в результаті приєднання до вуглеводневого радикалу кисню. Альдегіди - з'єднання RCOH. Зазначені сполуки є активними центрами.

На погляд [21] емульгування мазуту сприятиме турбулізації факела і інтенсифікації енергообміну на всій його довжині за рахунок утворення наведених вище активних сполук.

Передача тепла від полум'я і продуктів згоряння до поверхонь нагріву здійснюється в основному за допомогою випромінювання. Кількість переданого тепла залежить від умов займання, горіння і допалювання палива. Ці процеси визначають поля температур, ступеня чорноти в котельній камері. Інтенсивність росту відкладень золи на поверхнях теплообмінних екранів при спалюванні мазуту залежить від тривалості роботи топки і умов спалювання. У наших дослідах протягом перших трьох годин (рис 2.1) спостерігалися відкладення, що знижують ефективність теплосприй до (60...70) %, в порівнянні з чистою поверхнею екранних труб. Протягом 30 годин роботи теплова ефективність екранів досягла 30 % (при спалюванні мазуту марки М100). При горінні ВМЕ (рис. 2.1б) відкладень не було.

а)



б)



а - при спалюванні мазуту М100; б - при спалюванні 17% ВМЕ

Рисунок 2.1 – Фотографії екранних труб лабораторного стенду

Дослідження теплової ефективності роботи теплообмінних труб в топці виконано автором в котельній камері реконструйованого котельного агрегату КСВ - 2,9 Г. Котельний агрегат має топку об'ємом 48 м³;

поверхню нагріву котла 110 м^2 ; обсяг води в трубах $1,6 \text{ м}^3$; витрата води 56 тон / годину . Стіни екрановані гладкими трубами (рис.3.2).

Крок екранних труб 60 мм . Топка забезпечена двома відцентровими форсунками для механічного розпилювання палива. Все повітря, необхідний для згоряння палива подається до кореня факела за допомогою реєстрів з направляючими для закрутки потоку. Теплові потоки вимірювалися термодатчиками в 12 точках (рис. 3.2б). Температуру газів, що відходять вимірювали оптичним пірометром. У першій серії дослідів спалювали мазут М100, по - друге - ВМЕ з вмістом води $10 - 30\%$. Отримані в [21] дані наведені в таблиці 2.1.

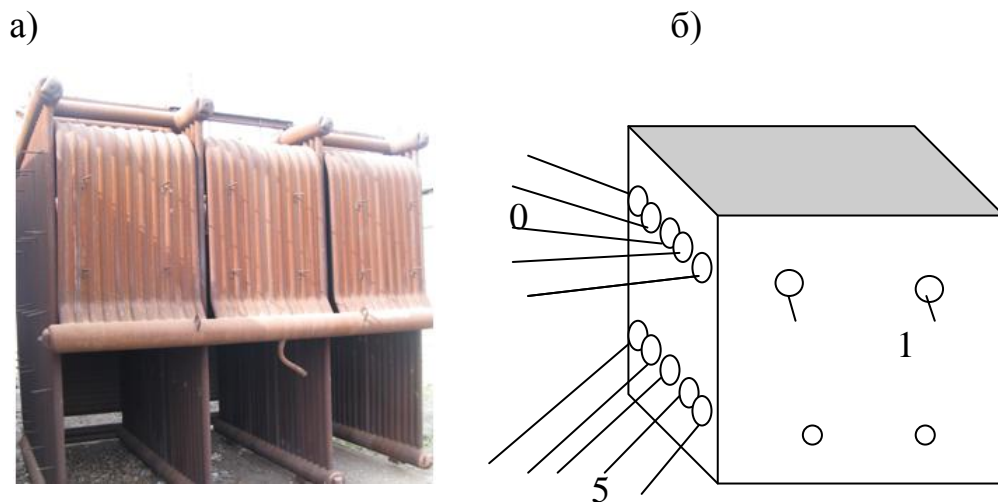


Рисунок 2.2 - Елементи реконструйованого котла КСВ: а - екранні труби котла; б - схема контролю температури

Таблиця 2.1 - Температура в точці при спалюванні мазуту і ВМЕ (%)
протягом 10/20/30 годин

№ кратк и	M100	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
1	1270/1250/ 1240	1320/1320/ 1320	1380/1380/ 1380	1380/1380/ 1380	1340/1340/ 1340	1220/1220/ 1220
2	1680/1600/ 1490	1720/1720/ 1720	1780/1780/ 1780	1780/1780/ 1780	1740/1740/ 1740	1670/1670/ 1670
3	1740/1670/ 1500	1760/1760/ 1760	1820/1820/ 1820	1820/1820/ 1820	1790/1790/ 1750	1070/1700/ 1700
4	1740/1670/ 1600	1760/1760/ 1760	1820/1820/ 1820	1820/1820/ 1820	1790/1790/ 1750	1670/1670/ 1670
5	1740/1670/ 1620	1780/1780/ 1780	1860/1860/ 1860	1860/1860/ 1860	1800/1800/ 1800	1790/1790/ 1790
6	860/860/ 860	1130/1130/ 1130	1380/1380/ 1380	1340/1340/ 1340	1340/1340/ 1340	1100/1100/ 1100
7	860/840/ 840	1330/1330/ 1330	1380/1380/ 1380	1340/1340/ 1340	1340/1340/ 1340	1100/1100/ 1100
8	1000/1000/ 1000	1460/1460/ 1460	1520/1520/ 1520	1480/1480/ 1480	1440/1440/ 1440	1170/1170/ 1170
9	1320/1320/ 1320	1780/1780/ 1780	1800/1800/ 1800	1800/1800/ 1800	1790/1790/ 1790	1640/1640/ 1640
10	1320/1300/ 1300	1780/1780/ 1780	1860/1860/ 1860	1860/1860/ 1860	1800/1800/ 1800	1790/1790/ 1790
11	580/560/ 550	640/640/ 640	670/670/ 670	670/670/ 670	670/670/ 670	670/670/ 670
12	580/560/ 550	640/640/ 640	670/670/ 670	670/670/ 670	670/670/ 670	670/670/ 670

У таблиці наведено усереднені дані, отримані в точках в процесі роботи камери згоряння. Похибка визначення температури складає 10 - 15°C. Температура газів в точках вимірювання становила $T_{г} = 550 - 1860^{\circ}\text{C}$ у всіх дослідах; твір критеріїв $Gr \cdot Pr = (6 - 7) \cdot 10^4$; тепловий потік, який передається вільною конвекцією становив 10 - 11 кВт/м².

На рис. 2.3 наведені дані, отримані розрахунковим шляхом, експериментальним (при спалюванні мазуту марки М100 і 17% водомазутних емульсії) [21]. Нев'язка теплового балансу становить до 30 %. Розбіжність даних збільшується в часі щодо спалювання мазуту. Це пов'язано з тим, що поверхня екранних труб покривається зольними відкладеннями. Але очевидно, що розрахункові дані істотно відрізняються від експериментальних, особливо для випадку спалювання водомазутних емульсії. Описані в попередніх розділах ефекти горіння ВМЕ не враховуються жодної з існуючих методик розрахунку топкових процесів, і тому вимагають детальних досліджень.

Розрахунок і зіставлення даних з експериментальними, отриманими на котельному агрегаті ТГМ - 200 (рис.3.4, 3.5) ТЕЦ Дніпровського металургійного комбінату також показують істотне неузгодженість.

а)



б)

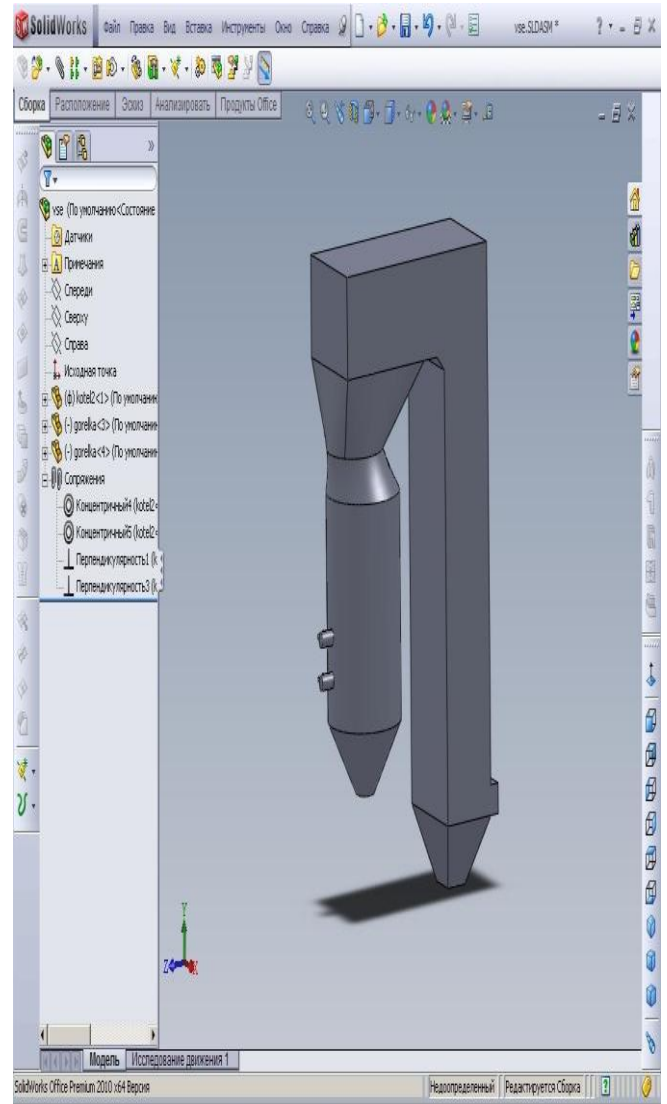
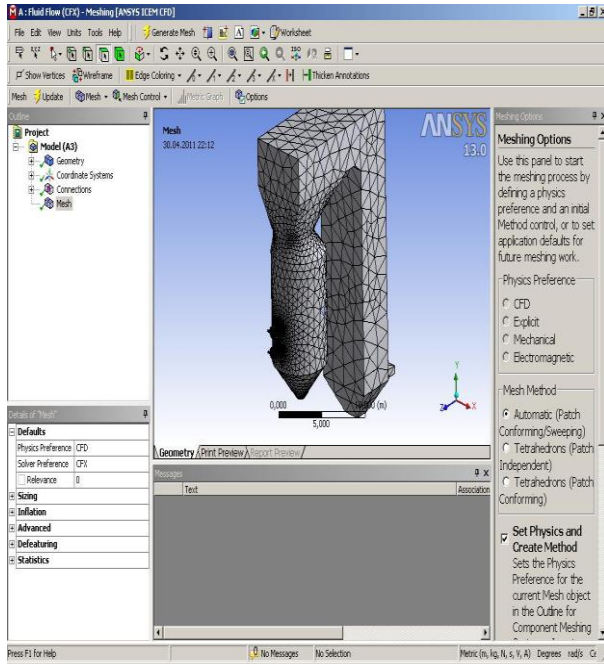
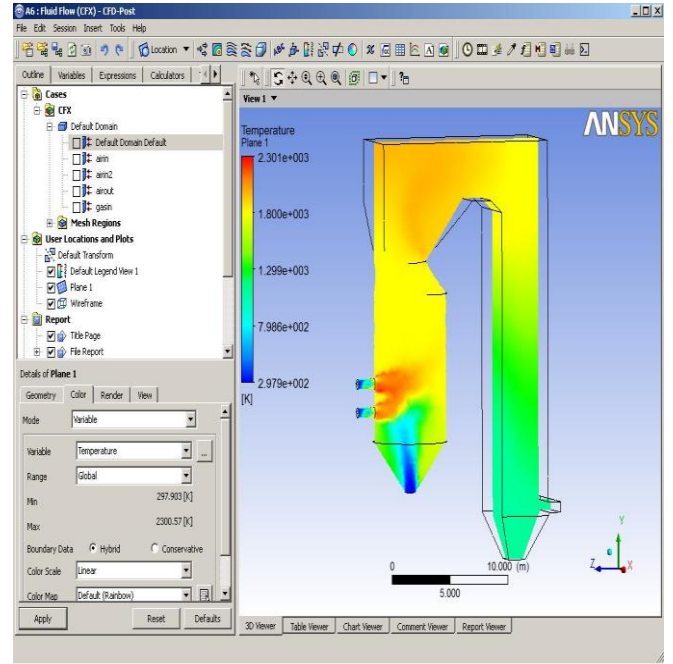


Рисунок 2.3 - Котел ТГМ - 200: а - фоторафии; б - розрахункова схема

a)



б)



B)

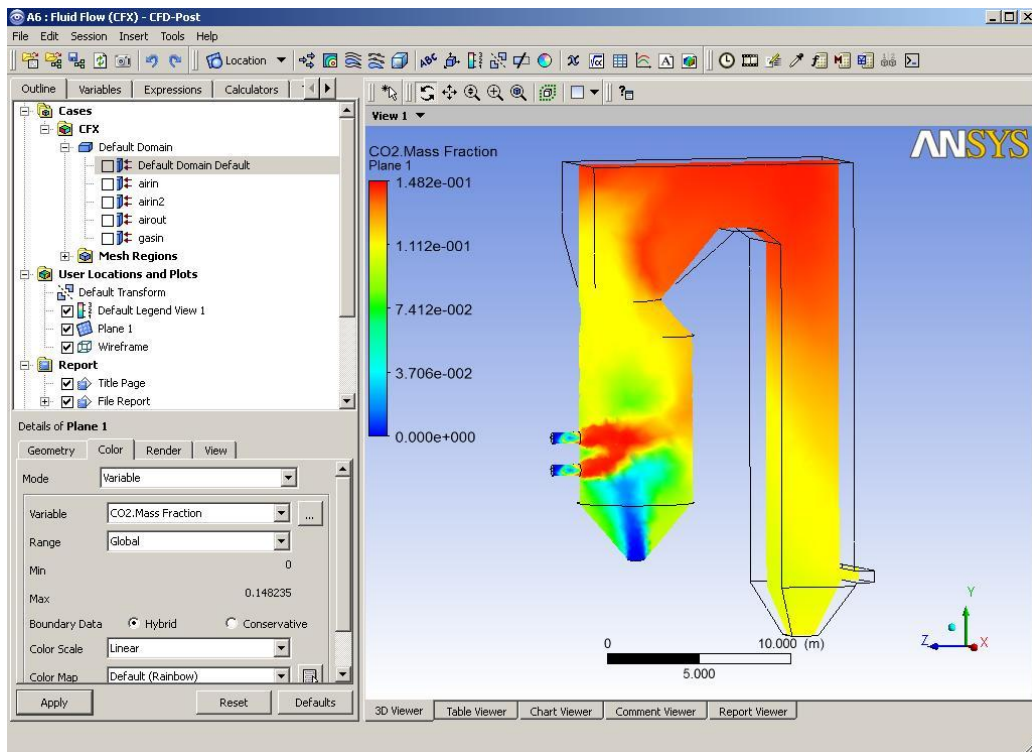
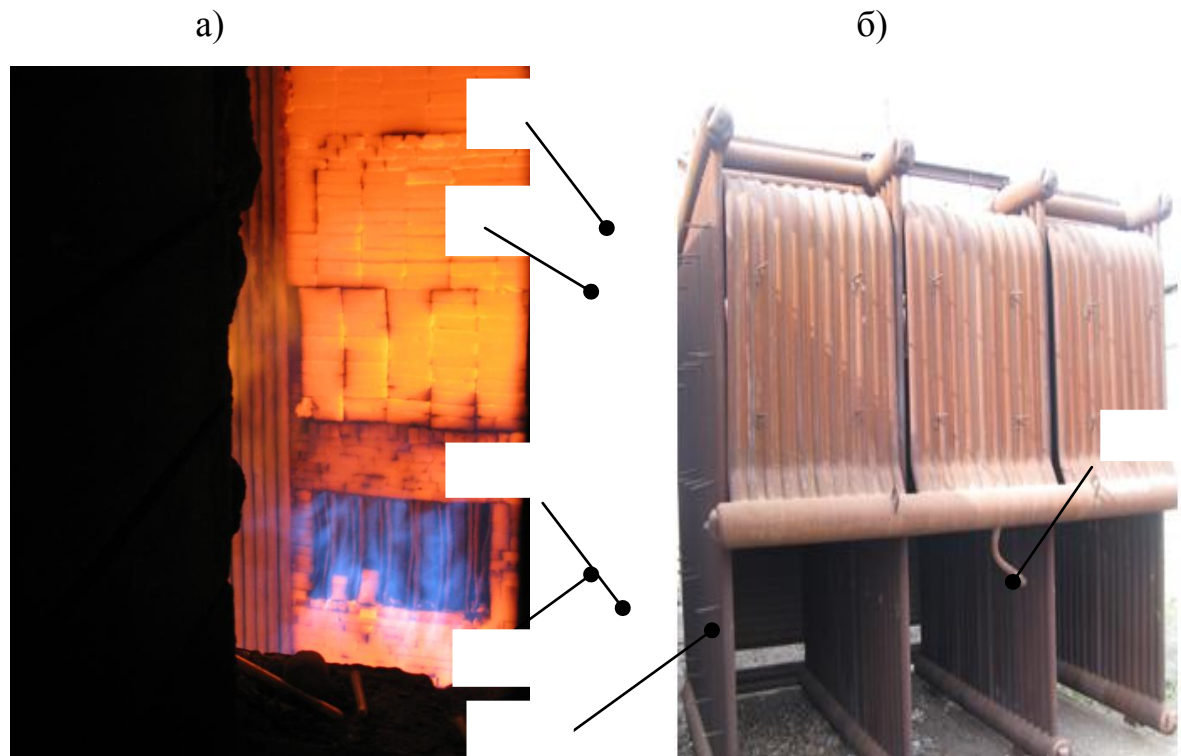


Рисунок 2.4 – Комп’ютерна модель горіння палива в котлі ТГМ - 200

Розрахунок виконаний з використанням пакета ANSYS CFX за стандартними математичними моделями та наведений у [21]. На представлених малюнках також видно неузгодженість розрахункових і практичних даних. В області факела розрахункова температура становить в середньому 1900 °С. Тим часом, вимірювання, виконані пірометром через оглядове вікно (рис.2.5) показують середнє значення температури 1700 °С.



а - оглядове вікно (ТГМ - 200), б - значення температур в КСВ

Рисунок 2.5 - Визначення температури полум'я

Розрахункові дані дають істотно завищені значення температур в котельній камері навіть в разі спалювання мазуту. Це пов'язано з тим, що існуючі методи розрахунку не враховують специфічні особливості процесу горіння даного палива. Що стосується спалювання водомазутних емульсій, відомі методики не дають можливості визначити кінетичні характеристики окислення такого палива. Тому необхідні додаткові ґрунтовні дослідження.

Слід зазначити й значну нерівномірність потоків тепла в котельній камері в разі спалювання мазуту (рис.3.5 б). З отриманих даних випливає, що зі збільшенням навантаження і коефіцієнта надлишку повітря тепловіддача по

довжині мазутного факела стає більш рівномірною, однак нерівномірність розподілу теплових потоків залишається значною. При спалюванні ВМЕ дана нерівномірність істотно знижується.

Таким чином до основних особливостей горіння водомазутних емульсій слід віднести: більш високі температури горіння, що досягаються за рахунок підвищення інтенсивності окислювальних реакцій і механічного подрібнення крапель палива при вибуховому вскипанні води в мазуті; більш повне механічне і хімічне окислення палива, що виключає засмічення гріючої поверхні труб; істотну турбулізацію факела за рахунок додаткового подрібнення крапель при вибуховому вскипанні крапель води в мазуті.

2.2 Аналіз сучасних експериментальних досліджень температурного поля при горінні емульсій

Єдиним представником натуральних рідких палив на планеті є нафта. Нафта у сирому вигляді практично не споживається, а переробляється в інші види палива: бензин, мазут та інше.

Мазути, що є основним видом котельного та пічного палива, поділяються на ряд марок в залежності від їхньої в'язкості. При цьому береться до уваги величина умовної в'язкості, що являє собою відношення часу витікання 200 см^3 мазуту крізь трубку малого діаметру до часу витікання такого ж об'єму дистильованої води. Умовна в'язкість виражається у градусах умовної в'язкості ($^{\circ}\text{УВ}$).

У відповідності з ГОСТ 10585-75 мазут розділяється на такі марки: флотський Ф5 і Ф12; топкові 40 і 100. Флотський мазут призначений для судових котлів, газових турбін, двигунів. Наприклад, флотський мазут характеризується умовною в'язкістю при температурі 50°C не більше 5°УВ . Мазут марки 40 використовується у судових котлах, промислових печах, котлах і рідко на електростанціях. Мазут марки 100 призначений для спалювання на електростанціях.

У межах марок мазути розділяються на три сорти в залежності від вмісту сірки: малосірчасті ($S^p < 0,5\%$), сірчасті ($S^p < 0,5 - 2,0\%$), високосірчасті ($S^p > 2,0\%$).

Важливими характеристиками мазуту є температура спалаху і температура займання. Температурою спалаху зветься така температура, при якій з рідкого палива виділяється достатня кількість пари, що спалахує на повітрі від джерела запалювання. При цьому горіння відразу ж припиняється. Мазути, що не містять парафіни, мають температуру спалаху у межах 135-237°C температура спалаху парафіністих мазутів близька до 60°C. Температуру займання іноді називають верхньою межею температури спалаху, тому що при цій температурі після спалаху пари горіння триває не менше 5 с. Різниця між температурами спалаху і займання складає не більше 60-70°C.

Значно вище знаходиться температура самозаймання, що характеризує ступінь нагрівання мазуту, при якій займається без зовнішнього джерела. Для мазутів ця температура знаходиться у межах 500-600°C.

Зниження витрати палива в котлоагрегатах в основному досягається за рахунок скорочення подачі повітря в топковий простір, прискорення процесу згоряння палива, збільшення теплопередачі від газів до гріючих поверхнях, припинення подачі пари до форсунок для розпилення палива, збільшення потоку променевої енергії, внаслідок підвищення температури факела і різкого зменшення нагарообформування на гріючих поверхнях.

З перекладом роботи котлоагрегатів на емульговане паливо, зміни в динаміці горіння можна спостерігати візуально (рис. 3.6), а отже, вимірювати температуру різними пристроями, робота яких заснована на аналізі випромінювання досліджуваного об'єкта. У наших експериментах температуру полум'я визначали через оглядове вікно (рис.3.5) за допомогою радіаційного пірометра.



а - температура горіння 1350 °С (мазут М100); б - температура горіння 1720 ° С (ВМЕ 7%); в - температура горіння 1890 ° С (ВМЕ 17%).

Рисунок 2.6 - Горіння мазуту (а) і водомазутних емульсії (б):

Випромінювання газів виникає через те, що окремі атоми, з яких складаються молекули газу, мають електричний заряд. При здійсненні цими атомами прискорених рухів випромінюються електромагнітні хвилі. Елементарні гази, молекули яких складаються з одного або з двох однорідних атомів (інертні гази, водень, кисень, азот), що немає вільними зарядами і тому діатермічне у всьому інтервалі теплового спектру, якщо температура не перевищує тисячі градусів, і не починається збудження електронних ступенів волі. Ряд інших газів, навпаки, має смугами поглинання такої ширини, що практичне значення їх випромінювання при теплообміні не може бути залишено без уваги. До таких газів відносяться перш за все водяна пара і вуглекислий газ, потім окис вуглецю, двоокис сірки, аміак, хлористий водень і вуглеводні.

У радіаційних пірометрах використовується теплове дію повного випромінювання нагрітого тіла, включаючи як видиме, так і не видиме випромінювання. Як чутливий елемент використовується термобатарей з декількох мініатюрних послідовно з'єднаних термопар, робочі спаї яких нагріваються випромінюванням об'єкта вимірювання, фокусованих за допомогою оптичної системи.

Залежність між повною енергією випромінювання абсолютно чорного тіла і його температурою виражається рівнянням

$$E_r = \sigma T^4 \quad (2.1)$$

де E_r - повна енергія випромінюється тілом при абсолютній температурі T за одну секунду з поверхні площею 1 см^2 ;

σ - коефіцієнт пропорційності дорівнює $5,75 \text{ Вт} / \text{см}^2 \text{ град.}^4$

Для тіл, які не є абсолютно чорними

$$E_r = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2.2)$$

де ε - коефіцієнт випромінюючої здатності, певний для повного випромінювання тіла.

В даний час пірометри застосовуються для вимірювання температур в діапазоні від -40 до $2500 \text{ }^\circ\text{C}$. Для забезпечення точності вимірювання радіаційним пірометром необхідно, щоб зображення об'єкта, що створюється об'єктивом на робочих спаях термопар, повністю покривало робочі спаї. При занадто малій поверхні, що випромінює показання приладу будуть заниженими. Для захисту пірометрів від випадкових ушкоджень різними викидами газів і розпечених частинок при вимірюванні температури в топці котла застосовують капільні трубки. Гартівне трубку виготовляють з вогнетривкого матеріалу і поміщають в топку котла закритим кінцем всередину. Полум'ям топки трубка швидко нагрівається, і температура її стає рівною температурі топки. Телескоп радіаційного пірометра направляється у внутрішню порожнину трубки, яка виконує роль випромінювача, і потім в звичайному порядку проводять вимірювання температури.

Горіння ВМЕ відбувається в турбулентному газодинамічному потоці [16] на мікрорівні, тобто на відстанях менше середнього розміру краплі палива, полум'я не володіє певною температурою. Температура змінюється від точки до точки і пульсує в часі. На макрорівні, тобто на розмірах, що перевищують

середню відстань між частинками, але менше середнього розміру гідродинамічних турбулентних вихорів, полум'я також не має стійкої температури, тому що її значення пульсують через гідродинамічної турбулентності. Таким чином, температура полум'я в топці котла є типовою випадковою функцією просторових координат і часу. Суворі математичні моделі для опису топкових процесів в котельних агрегатах відсутні. Відомі моделі завжди є напівемпіричні, тобто містять параметри, які слід уточнювати досвідченим шляхом. На практиці визначення температури полум'я зводиться до усереднення показань датчика у часі. Сам датчик, володіючи кінцевими розмірами чутливого елемента і кінцевої постійної часу релаксації, реалізує усереднення по мікропульсації температури полум'я.

Слід зазначити, що повторюваності даних результатів в виконаних дослідженнях не вдається досягти. Тому необхідно було вивчити всі фактори, що впливають на інтенсифікацію процесів спалювання водомазутних емульсії і підвищення температури горіння. Для цього виконані дослідження, метою яких була розробка математичної моделі, узагальнюючої вплив основних факторів на інтенсивність горіння емульсії.

Реальні процеси енергетичної галузі часто можна розглядати як випадкові і аналізувати їх за допомогою імовірнісних методів. Досліджуваний процес при цьому вважається реалізацією деякої випадкової змінної X , і для його опису необхідно знати функцію $F(x)$ розподілу ймовірностей, функцію щільності розподілу $f(x)$, або математичне очікування, дисперсію і інші моменти розподілу змінної X . Однак зазвичай на практиці вид і параметри функції розподілу точно не відомі і інформація про характеристики випадкової величини повинна бути отримана за допомогою експерименту.

Завдання математичної статистики в загальному вигляді можна сформулювати наступним чином: вивчення випадкових явищ, коли відсутня інформація про розподіли ймовірностей випадкових величин, що породжують ці явища, може бути отримана з експерименту.

Нехай результат експерименту (досвіду, спостереження) представляється деякою випадковою змінною X . Вважаємо, що експеримент може багаторазово повторюватися. Реалізація n експериментів дає конкретний ряд значень $x_1 \dots x_n$. При цьому говорять, що отримана реалізація (x_1, x_2, \dots, x_n) вибірки обсягу n із заданої генеральної сукупності. На основі цієї вибірки необхідно побудувати оцінки певних параметрів розподілу випадкової змінної X . Так, значення

може використовуватися в якості оцінки математичного очікування m випадкової змінної X .

Можна сказати, що математична статистика серед інших проблем вивчає питання про те, наскільки добре деякий параметр α , справжнє значення α якого не відомо, може бути оцінений за допомогою реалізації певної вибіркової функції

Для отримання практично корисної відповіді на питання про властивості оцінок конкретні експериментальні результати x_i розглядаються як реалізації випадкової змінної X . Вводиться в розгляд вектор (X_1, X_2, \dots, X_n) випадкових величин з однаковими розподілами, що збігаються з розподілом змінної X , який являє собою вибірку, а також вибіркова функція властивості якої повинні бути досліджені. При цьому (x_1, x_2, \dots, x_n) є конкретна реалізація вибірки, а $\Psi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - реалізація вибіркової функції.

При дослідженні випадкових явищ часто висловлюються деякі припущення, іншими словами, формулюються деякі гіпотези H . Такими гіпотезами можуть бути, наприклад, такі твердження:

1. деяка випадкова величина розподілена за нормальним законом;

2. випадкова змінна має математичне очікування m і (або) дисперсію σ^2 ;
3. дві випадкові величини X і Y мають одне і те ж математичне очікування m і (або) однакову дисперсію σ^2 .

Сукупність (X_1, X_2, \dots, X_n) n незалежних випадкових величин X_i , розподілених по одному і тому ж закону, що збігається з законом розподілу випадкової величини X , називається вибіркою обсягу n з генеральної сукупності X (величини X_i представляють n примірників однієї й тієї ж випадкової величини X).

Якщо (X_1, X_2, \dots, X_n) - вибірка, згідно з визначенням 2.1, то послідовність чисел (x_1, x_2, \dots, x_n) називається реалізацією цієї вибірки.

Найважливіше значення для опису деякої випадкової змінної X має функція розподілу ймовірностей

Якщо функція розподілу не відома, можна на основі реалізації (x_1, x_2, \dots, x_n) вибірки обсягу n з генеральної сукупності X побудувати деяке наближення до $F(x)$ за допомогою функції

—

де $n(x)$ – число значень x_i , менших, ніж x . Ця функція являє собою реалізацію емпіричної функції розподілу $W_n(x)$.

Як фактори, що визначають інтенсивність і, відповідно, температуру горіння, обрані: температура емульсії (X_1), вміст води в емульсії ($X_2, \%$), в'язкість (X_3), коефіцієнт надлишку повітря (X_4). Змінюючи значення даних параметрів в діапазонах, позначених в таблиці 3.2 за планом експериментів (таблиця 3.3), вимірювали температуру полум'я пірометром. Дані, обрані в літературі, на основі проведених експериментів інших авторів [21], наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.2 - Рівні варіювання факторів [21]

X	Фактор	-1,414	-1	0	+1	+1,414	Δ
X ₁	температура емульсії, °C	10,76	20	40	60	70,24	20
X ₂	вміст води, %	2,73	5	10	15	17,27	5
X ₃	в'язкість	11,7	20	40	60	68,3	20
X ₄	коефіцієнт надлишку повітря	1	2	3	4	4,7	1

Таблиця 2.3 - Значення факторів [21]

№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁
1	+1	+1	+1	+1	1550
2	-1	+1	+1	+1	1440
3	+1	-1	+1	+1	1680
4	-1	-1	+1	+1	1530
5	+1	+1	-1	+1	1550
6	-1	+1	-1	+1	1440
7	+1	-1	-1	+1	1700
8	-1	-1	-1	+1	1640
Продовження таблиці 2.3					
9	+1	+1	+1	-1	1660
10	-1	+1	+1	-1	1540
11	+1	-1	+1	-1	1730
12	-1	-1	+1	-1	1750
13	+1	+1	-1	-1	1730

14	-1	+1	-1	-1	1530
15	+1	-1	-1	-1	1720
16	-1	-1	-1	-1	1660
17	-1,414	0	0	0	1650
18	1,414	0	0	0	1770
19	0	-1,414	0	0	1850
20	0	+1,414	0	0	1690
21	0	0	-1,414	0	1710
22	0	0	+1,414	0	1720
23	0	0	0	-1,414	1750
24	0	0	0	+1,414	1670
25	0	0	0	0	1820

Після проведених розрахунків за алгоритмом методу були отримані наступні оцінки коефіцієнтів в моделях, наведені в табл.2.4.

Таблиця 2.4 – Оцінки коефіцієнтів в моделях, що характеризують ступінь впливу факторів і їх взаємодій на показники

При факторі	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1^2	X_2^2	X_3^2
Коефіцієнти рівняння регресії	47,98	-59,81	-3,79	-35,16	-66,75	-36,75	-64,25
При факторі	X_4^2	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_1 X_4$	$X_2 X_3$	$X_2 X_4$	$X_3 X_4$
Коефіцієнти рівняння регресії	-66,75	5,63	8,13	4,38	10,63	-10,63	-10,63

Для перевірки значущості впливу факторів і їх взаємодій на показник Y_1 , а також адекватності отриманої моделі, була знайдена помилка

спостережень S^2 для показника Y_1 . Для цього в «нульовій» точці $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = 0$ були проведені чотири повторних досліду. Їх результати наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення повторних дослідів та дисперсій помилок для функції Y_1

Функція	Значення показника в повторних дослідях				Дисперсія похибок спостережень
	1	2	3	4	
Y_1	1640	1670	1650	1640	200

В результаті при розрахунку за формулою оцінки дисперсії помилки спостереження:

$$S^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^4 (Y_i - \bar{Y})^2, \quad (2.3)$$

де Y_i - спостережуване значення показника Y в i -ому повторному досліді, а \bar{Y} - середнє значення Y в «нульовій» точці, отримали дисперсії помилок спостережень (табл. 2.5).

«Пороги значущості» для оцінок коефіцієнтів, що характеризують силу впливу факторів і їх ефектів взаємодії, знаходилися як $h_i \cdot S$, де S - середньоквадратичне відхилення помилки спостереження, $h_i = t_{kp}(\alpha; \varphi) \cdot \sqrt{c_i}$, $t_{kp}(\alpha; \varphi)$ - критичне значення розподілу Стюдента для рівня значущості α і числа ступенів свободи φ . У проведених дослідженнях $\alpha = 0,05$, $c_1 = 0,05$ для x_i , $c_2 = 0,125$ для x_i^2 , $c_3 = 0,0625$ для $x_i \cdot x_j$, $i, j = 1, \dots, 4$ [8]. В результаті розрахунків за наведеною вище формулою, отримані для показників Y «пороги значущості» для оцінок коефіцієнтів наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - «Пороги значущості» для факторів і їх взаємодій

Функція	Пороги значущості		
	X_i	X_i^2	$X_i X_j$
Y_1	10,06	15,91	11,25

Виключивши з моделі чинники і їх взаємодії, величина коефіцієнтів яких по модулю менше зазначених «порогів значущості», для рівня значущості $\alpha = 0,05$ отримали наступну залежність

$$Y_1 = 1738,8 + 47,98X_1 - 59,81X_2 - 35,16X_4 - 66,75X_1^2 - 36,75X_2^2 - 64,25X_3^2 - 66,75X_4^2, \quad R^2 = 0,967. \quad (2.4)$$

Перевірка адекватності отриманих моделей проводилася за критерієм Фішера. Розрахункове значення F статистики знаходилось за формулою:

$$F_P = \frac{S_{ост}^2}{S^2} \quad (2.5)$$

Для отриманої моделі залишкова дисперсія знаходилась як

$$S_{ост}^2 = \frac{1}{n - m} \sum_{i=1}^n (e_i - Y_i)^2, \quad (2.6)$$

де $n=25$ – число дослідів, m – число коефіцієнтів в моделі.

Отримані залишкові дисперсії, розрахункові і табличні значення статистики Фішера, наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Розрахункові і табличні значення статистики Фішера

Показники	Значення статистичних значень		
	$S_{ост}^2$	$F_{расч}$	$F_{табл.}$
Y_1	513,12	2,566	8,703

Так як F_p для моделі менше $F_{табл.}$, то модель адекватна з надійністю 0,95 істинної залежності і може бути використана для технологічного аналізу процесу і прогнозу значень показників Y .

Отримана математична модель дозволяє аналізувати вплив досліджуваних факторів на температуру горіння паливної емульсії. Найбільший вплив на температуру горіння емульсії надає фактор X_2 – зміст диспергованої води в мазуті. Присутність води, звичайно, знижує температуру горіння, але істотно інтенсифікує його. У краплі емульсії, що зійшла з форсуночного пристрою, міститься кілька тисяч мікрокрапель води. Тому в високотемпературній зоні камери згорання крапля емульсії вибухає і відбувається вторинне диспергування палива. Чим більше дрібних крапель в емульсії, тим помітніше цей ефект. В результаті таких мікробибухів в топці виникають вогнища турбулентних пульсацій і збільшується число елементарних крапель палива. Завдяки цьому факел збільшується в об'ємі, вирівнюється температурне поле в топці камери горіння зі зменшенням локальних максимальних температур і збільшенням середньої температури в топці; підвищується світність факела завдяки збільшенню поверхні випромінювання, що ми і спостерігали на рис.3.6. Таким чином, отримати необхідну температуру полум'я можна, забезпечивши певний рівень значень факторів: кількості емульгованої води (дисперсність); температуру емульсії і коефіцієнт надлишку повітря.

2.3 Горіння іонізованого палива

Отже, іони в полум'ї утворюються в результаті хімічної іонізації в реакції з участю радикалів C_2 , CH , OH . Вимірювання [9 - 11] концентрації іонів в полум'я різних вуглеводневих палив показали що в залежності від умов горіння і виду палива воно становить 10^{10} - 10^{12} $см^{-3}$, тобто на 4-6 порядків перевищує концентрацію, яка повинна була б спостерігатися при чисто термічному механізмі іонізації. Існуюча в факелах нерівноважна іонізація обумовлена

процесом хеміонізації, причому концентрація заряджених частинок в полум'ї залежить від виду палива і умов горіння і може перевершувати рівноважну на 4-6 порядків.

2.3.1 Особливості іонізації

У роботах [19 - 23] розглянуті різні механізми іоноутворення в полум'я і доведено, що саме механізм хемоіонізації відповідальний за аномально високу концентрацію іонів в полум'я. У процесах такого роду частинки зазнають хімічне перегрупування, при якому звільнюється кількість енергії, що достатньо для іонізації одного з продуктів реакції. Передбачається, що в разі горіння такий процес йде як побічна реакція між частинками, що бере участь в основній реакції горіння.

Наявність в факелах заряджених частинок в досить високих (в порівнянні з рівноважною) концентраціях закономірно призводить до висновку про можливість впливу на процес горіння в цілому через локальну дію на електрзаряджену компоненту, присутню в полум'ї. Такий електрофізичний вплив може бути здійснено двома шляхами: накладенням на полум'я електричних, магнітних або комбінованих полів, і введення в полум'я заряджених частинок ззовні.

Різними дослідженнями [23 - 25] була виявлена зміна швидкості горіння і швидкості поширення полум'я в поздовжніх і поперечних електричних полях, причому в залежності від схеми накладення поля спостерігалось як зменшення, так і збільшення цих параметрів. У деяких випадках швидкість горіння збільшилася до десяти разів, показана залежність ефекту впливу поля від тиску і частоти прикладеної зовнішньої напруги, можливість гасіння полум'ям електричним полем.

В цілому експериментальний матеріал по дослідженню іонізації полум'я недостатній для того, щоб судити про величину концентрації іонів в різних зонах полум'я, особливо тому, що більшість робіт з цього питання виконано на низькотемпературних факелах [26]. Однак на підставі проведених досліджень

можна зробити ряд важливих висновків. Перш за все, при горінні вуглеводневого палива концентрація іонів набагато перевищує рівноважну термічну іонізацію, причому розбіжність може досягати величини декількох порядків. Хоча в зоні реакції не можна очікувати рівномірного розподілу енергії, що виділяється з різних можливих форм, тобто рівноважного стану, все ж неможливо пояснити тільки відсутністю рівноваги спостережувану величину концентрації іонів, рівну 10^{12} см^{-3} , замість рівноважного значення 10^6 см^{-3} . Крім того, аномально висока концентрація іонів властива лише вуглеводневим палив і відсутня, наприклад, у полум'ї H_2 або CO , причому для CH_4 зазначена розбіжність проявляється в меншій мірі.

У цитованих роботах іонізація здійснюється шляхом накладення електричних полів безпосередньо на полум'я. Але можна збільшувати кількість активних центрів і іонізацією повітря, що йде на горіння.

В енергетиці процеси іонізації повітря для інтенсифікації горіння палива практично можуть використовуватися в двох напрямках: плазмотрони і коронуючі решітки. При цьому електроенергія витрачається тільки на підтримку корони. Утворені в результаті іонізації іони молекул кисню є більш сильними окислювачами і активніше беруть участь в реакціях горіння палива, ніж його нейтральні молекули. Іонізований газ, вдаряючись з молекулами палива, змінює внутрішню структуру останніх, приводячи до збільшення швидкості реакцій окиснення за рахунок зменшення енергії активації. Це пояснюється переходом молекул палива у збуджений, дисоційований або іонізований стан. Крім того водяні пари, які перебувають в обробляємо повітрі, під дією коронного розряду розпадаються на іони, які також є активними окислювачами палива.

Збільшення завершеності окислювальних хімічних реакцій призводить як до підвищення частки зв'язування молекул палива з киснем, так і до переходу незавершених процесів окислення палива до завершених. Все це веде до зниження втрат тепла з механічним недожогом, за рахунок зменшення вмісту горючих в осередкових залишках, і хімічним недожогом, за рахунок

зменшення або виключення змісту монооксиду вуглецю у вихідних газах. Велику роль в зазначених процесах відіграє роль утворення додаткових центрів горіння за рахунок іонізації і дисоціації водяної пари. Таким чином, емульгування мазуту дозволяє інтенсифікувати хімічну іонізацію палива, а електрична іонізація повітря підсилює окислювальні процеси. Такий комплексне вплив дозволяє покращити енергетичні показники камери горіння, підвищити температуру горіння, знизити вміст NO_x в продуктах згорання, тобто істотно поліпшити досліджувані в дисертаційній роботі показники.

2.3.2 Сучасні дослідження провідних вчених України

Аналізуючи роботу [21] розглянемо схему іонізації повітря, що надходить в топку модернізованого котла. Іонізуючий розряд, організований у вигляді решітки, сприяє розсіюванню енергії, що виділяється при розряді. Важливою у практичному відношенні перевагою такого пристрою є можливість роботи з високою напругою (до 40 кВ) та невеликим струмом (десятки мА), що дозволяє для їх роботи застосовувати серійні трансформатори і кабелі.

Електрична схема іонізатора показана на рисунку 2.7. На множнику напруга може досягати 60 кВ. Схема налаштовується резистором R_1 (струм споживання не перевищує 0,8 – 0,9 А). Діаметр іонізаційної трубки $D = 60$ мм, довжина $L = 20$ мм. Робоча напруга 50 кВ.

Вольт-амперна характеристика показана на рис.3.8.

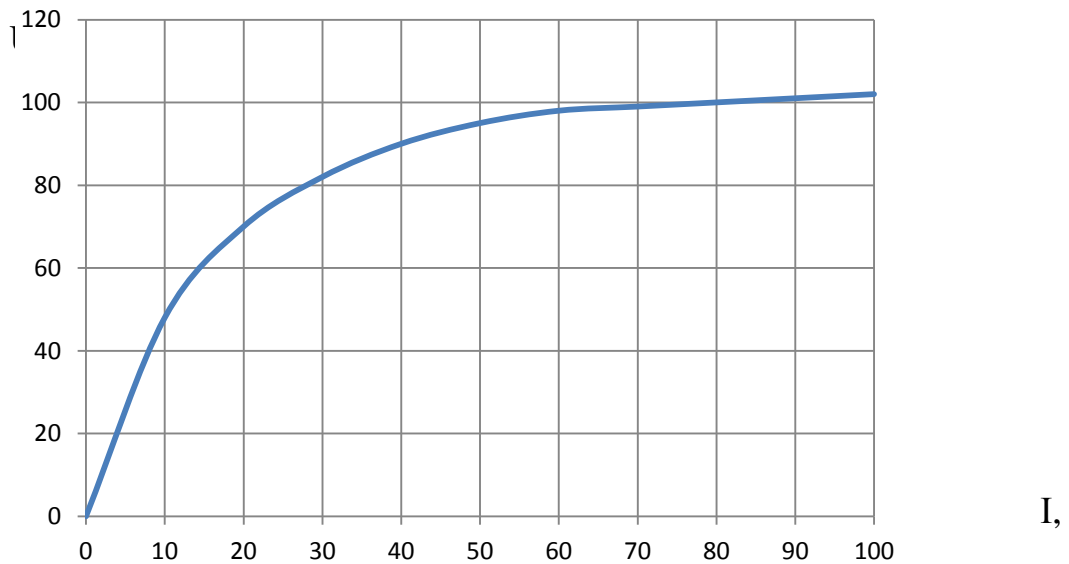
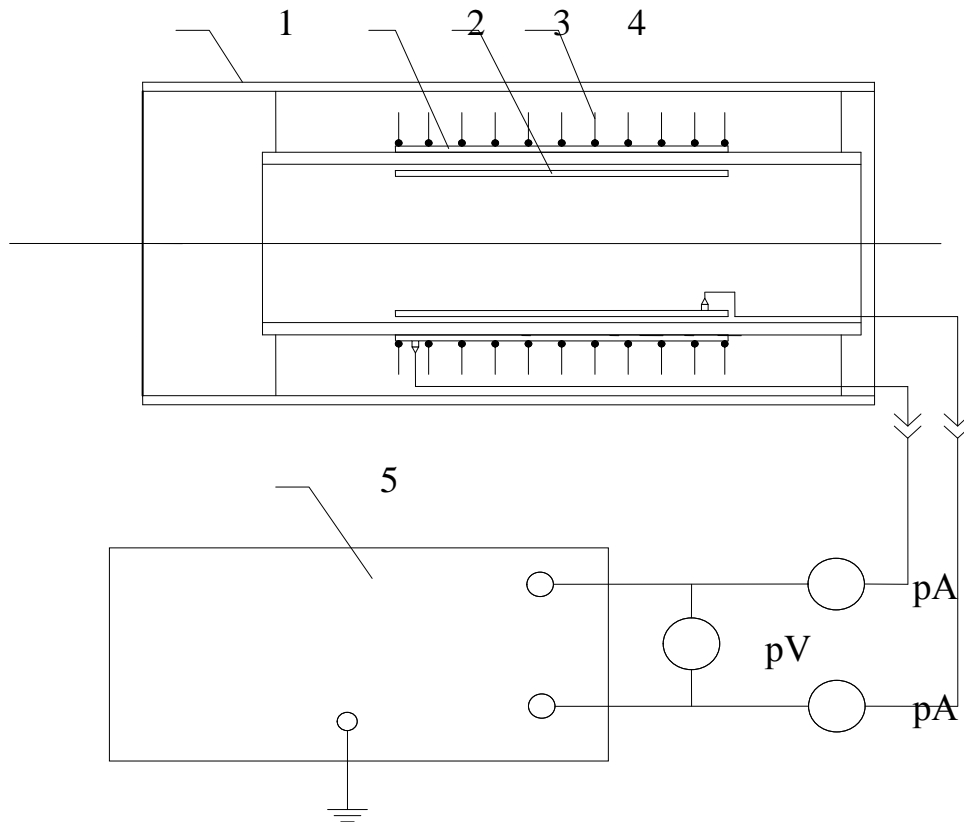


Рисунок 2.7 – Вольт-амперна характеристика іонізатора

Вольт-амперна характеристика залежить від геометричних параметрів розрядної системи, температури, тиску, відносної вологості, газового складу навколишнього середовища і визначається експериментально [14, 15].

Поширення і рух повітряної іонно-озонної суміші в іонізаторі здійснюється за допомогою вентилятора.

На рис.2.9 представлена принципова схема іонізатора. Вимірювання електричного струму в установці здійснювалося мікроамперметром М-95 (0-500 мкА) і авометром Ц 4311 (от 0-750 мкА), що вмикаються у високовольтний ланцюг. Напруга на іонізаторі вимірювали статичним кіловольтметром С-96.



1 – корпус; 2 – зовнішній електрод; 3 – внутрішній електрод; 4 – голки; 5 – високовольтне джерело харчування

Рисунок 2.8 - Схема іонізатора

Для вивчення комплексного впливу (емульгування мазуту і іонізації повітря) на процес горіння, зокрема, на температуру горіння, автором [21] проведена серія експериментів. В її основі закладено план (табл. 3.3), який доповнений ще одним керуючим фактором - напругою іонізації віднесеної до витрати повітря (X_3).

Як фактори, що визначають температуру горіння, обрані: температура емульсії (X_1), вміст води в емульсії (X_2 , %), коефіцієнт надлишку повітря (X_4). Змінюючи значення даних параметрів в діапазонах, позначених в таблиці 3.8 за планом експериментів (таблиця 2.3), вимірювали температуру полум'я пірометром, як і в попередній серії дослідів.

Дані, отримані в ході експерименту, наведені в табл. 1.9. Для побудови моделей використовувався ортогональний центральний композиційний план другого порядку з ядром 2^4 [21].

Таблиця 2.8 – Рівні варіювання факторів

X	Показник	-1,414	-1	0	+1	+1,414	Δ
X ₁	температура емульсії, °C	10,76	20	40	60	70,24	20
X ₂	вміст води, %	2,73	5	10	15	17,27	5
X ₃	Напруга, кВ	23	30	40	50	57	10
X ₄	коефіцієнт надлишку повітря	1	2	3	4	4,7	1

Таблиця 2.9 – Значення показника і факторів

№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁
1	+1	+1	+1	+1	1620
2	-1	+1	+1	+1	1560
3	+1	-1	+1	+1	1740
4	-1	-1	+1	+1	1700
5	+1	+1	-1	+1	1610
6	-1	+1	-1	+1	1490
7	+1	-1	-1	+1	1760
8	-1	-1	-1	+1	1720
9	+1	+1	+1	-1	1810
10	-1	+1	+1	-1	1690
11	+1	-1	+1	-1	1880
12	-1	-1	+1	-1	1830

13	+1	+1	-1	-1	1790
14	-1	+1	-1	-1	1610
15	+1	-1	-1	-1	1720
16	-1	-1	-1	-1	1690
17	-1,414	0	0	0	1740
18	1,414	0	0	0	1750
19	0	-1,414	0	0	1870
20	0	+1,414	0	0	1730
21	0	0	-1,414	0	1760
22	0	0	+1,414	0	1890
23	0	0	0	-1,414	1820
24	0	0	0	+1,414	1730
25	0	0	0	0	1880

Після проведених розрахунків за алгоритмом методу були отримані наступні оцінки коефіцієнтів в моделях, наведені в табл.2.10.

Таблиця 2.10 – Оцінки коефіцієнтів в моделях, що характеризують ступінь впливу факторів і їх взаємодій на показники

Фактори і їх взаємодії	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1^2	X_2^2	X_3^2
Y_1	31,76	54,12	39,27	-33,76	-62,12	-31,78	-59,33
Фактори і їх взаємодії	X_4^2	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_1 X_4$	$X_2 X_3$	$X_2 X_4$	$X_3 X_4$
Y_1	-62,46	3,21	9,17	3,67	11,01	-7,28	-11,35

Для перевірки значущості впливу факторів і їх взаємодій на показник Y_1 , а також адекватності отриманої моделі, була знайдена помилка спостережень S^2 для показника Y_1 , дисперсії помилок спостережень, «пороги значущості» для оцінок коефіцієнтів, що характеризують силу впливу факторів, $t_{кр}(\alpha; \varphi)$ - критичне значення розподілу Стюдента для рівня значущості α і

числа ступенів свободи φ . Апостеріорний аналіз виконувався за наведеним в алгоритму [21].

Виключивши з моделі чинники і їх взаємодії, величина коефіцієнтів яких по модулю менше зазначених «порогів значущості», отримана наступна залежність

$$Y_1 = 1792,7 + 31,76X_1 + 54,12X_2 + 39,27X_3 - 33,76X_4 - 62,12X_1^2 - 31,78X_2^2 - 59,33X_3^2 - 62,46X_4^2, \quad R^2 = 0,9. \quad (2.7)$$

Перевірка адекватності отриманих моделей проводилася за критерієм Фішера.

Так як F_p для моделі менше $F_{табл.}$, то модель адекватна з надійністю 0,95 істинної залежності і може бути використана для технологічного аналізу процесу іонізованого горіння ВМЕ і прогнозу значень температури.

2.4 Оптимізація процесів спалювання паливної емульсії

Так як регресійні залежності, отримані вище, для всіх показників виявилися адекватними (перевірка виконувалася за критерієм Фішера), то це дозволило використовувати їх для управління процесом спалювання водомазутної емульсії з метою його оптимізації. В якості функції мети взята температура горіння, інші показники - кількість NOx і теплота згоряння включені в обмеження. В результаті отримана оптимізаційна модель згоряння ВМЕ з максимальною прогнозованою температурою.

Для оптимізації та спільного вирішення регресійних рівнянь необхідно узагальнити залежні аргументи привести в вигляді функцій Y_i від однакових змінних X_i . Для цього рівняння (3.7) залишаємо без змін, а в рівнянні (2.3) фіксуємо середнє значення факторів X_2 і X_3 . При цьому дане рівняння приймає вигляд

(2.8)

У рівнянні (2.8) фактори X_2 і X_3 не значимі, тому це рівняння для визначення кількості NOx в продуктах згоряння залишаємо без змін, прийнявши X_1 не в масових частках, а в процентах.

Таким чином, отримаємо систему рівнянь для визначення оптимальних умов горіння

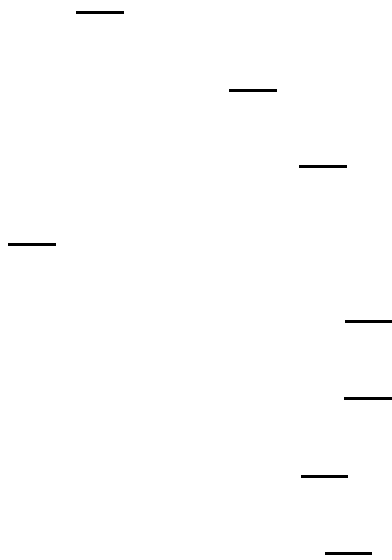
$$\max Y_T = 1792,7 + 31,76X_1 + 54,12X_2 + 39,27X_3 - 33,76X_4 - 62,12X_1^2 - 31,78X_2^2 - 59,33X_3^2 - 62,46X_4^2;$$

Чисельні значення обмежень прийняті після підсумовування середніх величин з інтервалами розкиду.

З огляду на прийняті допущення, функція Лагранжа прийме наступний вигляд

$$L = Y_1 + \lambda_1(Y_2 + X_5 + 26000) + \lambda_2(Y_3 + X_6 - 4) \quad (2.5)$$

Для визначення оптимальних значень X_i отримана система рівнянь:



В результаті рішення рівнянь отримані стаціонарні точки функції Лагранжа в кодованих значеннях змінних X_i . Точковий прогноз показників за отриманими моделям дозволяє визначити оптимальні значення управляючих чинників процесу горіння. Оптимальні значення факторів: $X_1 = 60$ °С; $X_2 = 17$ %; $X_3 = 40$ кВ; $X_4 = 1,5$.

2.5 Енергозбереження в системах централізованого теплопостачання

Енергозбереження в теплоенергетиці, як і в інших галузях промисловості і сферах життєдіяльності, набуло особливої актуальності у зв'язку зі зростаючим рівнем енергоспоживання і низькою ефективністю використання енергетичних ресурсів.

Енергозбереження в теплоенергетиці стало можливим багато в чому завдяки сучасним технологіям автоматизації виробництва, зокрема, системам моніторингу та діагностики трансформаторного обладнання.

Ефективне та раціональне використання енергетичних ресурсів у галузі комунальної енергетики, а саме в системах теплопостачання, набуває великого значення, оскільки дозволяє знизити витрати на виробництво і реалізацію теплових послуг. Зниження витрат на виробництво, в свою чергу, призводить

до підвищення рівня прибутковості підприємств житлово-комунального господарства, а також поліпшення якості наданих послуг і термінів надходження теплової енергії. Актуальність даної теми полягає в тому, що нині, коли постійно зростає вартість теплової енергії, гарячої та холодної води, електроенергії, проблема економії, оплати за фактично спожиту, а ненадану теплову енергію, воду виходить на перше місце. У зв'язку із цим впровадження заходів з енергозбереження в системи тепlopостачання є необхідним.

Сьогодні на багатьох об'єктах тепlopостачання теплоенергетичне обладнання більшою мірою фізично й морально застаріле, тому з кожним роком збільшується кількість обладнання, що відпрацювало свій нормативний термін служби. У зв'язку із цим на даний момент на багатьох підприємствах комунальної енергетики проводиться постійна робота з модернізації обладнання та вдосконалення теплових джерел і мереж. Теплові мережі є найбільш слабкою ланкою в системі тепlopостачання. У теплових мережах теплові втрати мають значну величину. Це пов'язано з поганим станом теплової ізоляції теплових мереж як у надземному, так і в підземному виконанні. В останньому випадку основною причиною є наявність води в каналах і колодязях теплових мереж. Значно скоротити тепловтрати, витрати на будівництво та обслуговування теплових мереж, оперативно встановити і усунути можливі аварії за допомогою системи оперативного дистанційного контролю, яка вбудовується в конструкцію теплопроводів, дозволить безканальна прокладка труб з пінополіуретановою теплоізоляцією в поліетиленовій оболонці, а також застосування гнучких теплоізольованих труб [5]. Також важливим аспектом підвищення енергоефективності системи тепlopостачання та енергозбереження є здійснення реконструкції теплових розподільчих станцій зі встановленням індивідуальних теплових пунктів.

Встановлення ІТП у житлових будинках дозволить скоротити протяжність транспортної системи, розв'яже проблему відновлення рециркуляційних систем і, як наслідок, зменшить експлуатаційні витрати, спрямовані на підтримання в робочому стані квартальних мереж гарячого

водопостачання; виключить втрати тепла в процес і транспортування; значно скоротить споживання електричної енергії, що витрачається на роботу насосів [6].

Питання істотного зниження енерговитрат можуть бути вирішені, коли проблема виділяється в окрему, чітко структуровану систему, локалізується за територіальною ознакою в рамках населеного пункту, вивчається всебічно у взаємозв'язках із факторами зовнішнього середовища, з'ясовуються причини виникнення зайвих енерговитрат та їх джерела, визначаються ключові цілі й формулюються конкретні чіткі рекомендації для їх досягнення. Для того щоб досягти більш високого ефекту від енергозбереження, необхідно розробити та впровадити економічний і правовий механізм, який би стимулював енергозбереження як споживачами, так і виробниками теплової енергії. За будь-якого варіанту теплопостачання необхідне його систематичне комплексне обстеження і своєчасне впровадження енергозберігаючих заходів, досягнень науки і техніки на всьому шляху від джерела до споживачів теплової енергії та гарячої води включно, що дозволить скоротити вартість теплової енергії [5]. Виконання перерахованих заходів вимагає вкладення значних матеріальних коштів, проте вони дозволяють максимально ефективно використовувати енергетичні й фінансові ресурси. Теплопостачання належить до тих галузей, які функціонують і розвиваються за будь-яких економічних і політичних обставин. Особливо актуальним стає перехід на режим найсуворішої економії енергетичних і фінансових ресурсів. Отже, життєво важливо контролювати, щоб ці ресурси використовувалися максимально ефективно. Також необхідно відзначити, що для включення конкретних заходів у стратегію енергозбереження вважається доцільним, якщо нова енергозберігаюча технологія буде перевірена відносно ринкових критеріїв прийняття інвестиційних рішень. Таким чином, виконання комплексу заходів з енергозбереження дозволяє оптимізувати витрати на виробництво та реалізацію теплової енергії в системах теплопостачання, забезпечувати істотну економію енергоносіїв, води та інвестиційних ресурсів,

підвищити ефективність галузі, безпосередньо пов'язану з життєзабезпеченням країни [8].

Економія енергоресурсів досягається за рахунок інтенсифікації технологічних процесів і впровадження нової техніки і прогресивної технології, скорочення норм витрати на виробництво продукції, зменшення витрат енергії, робота обладнання в економних режимах, використання вторинних енергоресурсів.

Резерви економії згідно [11] розподіляють:

- 60 – 70 % дає розробка і використання нової більш економного енергоспоживання обладнання, застосування менше енергомістких технологій, застосування засобів автоматизації і контролю;
- 20 – 25 % можна отримати шляхом зниження енергоресурсів на стадії споживання і при передачі, транспортуванні і зберіганні енергоресурсів;
- 10 – 15 % можуть давати організаційно – технічні міроприємства, використання вторинних енергоресурсів. Оснащення систем тепlopостачання сучасними приладами обліку і регулювання дозволить отримати значну економію енергоресурсів, покращити тепловий комфорт при відносно низьких капітальних вкладеннях і строках окупності. З метою забезпечення економного споживання тепла та води, налагодження прозорої системи постачання та споживання енергоресурсів, було прийнято цілий ряд постанов "Про програму виробництва засобів витрачання ПЕР і приладів регулювання систем електро-, тепло- та газопостачання".

Відсутність на об'єктах засобів обліку споживання води, газу, тепла та електроенергії призводить до значних розбіжностей між встановленою нормою споживання та фактичним споживанням, тому встановлені нормативи на 30% вищі від фактичного використання. Оплата за енергоресурси за нормативами включає оплату за енергоресурси, які не споживалися, що провокує їх розкрадання, завищує показники фактичної потреби в них, змушує сплачувати за послуги, які не були надані, що в свою чергу призводить до неспроможності їх оплати, росту боргів та збільшення заборгованості перед

енергопостачальними організаціями. Повне впровадження засобів обліку споживання енергетичних ресурсів дає можливість навести порядок в оплаті, вивести з "тіні" значні кошти. Відсутність контролю за споживанням енергоресурсів дає можливість збільшувати терміни ремонту енергомереж, безконтрольно припиняти надання послуг. Потрібна метрологічна перевірка приладів обліку води та тепла і лічильників електроенергії.

Резерви економії ресурсів, а саме:

- 1) встановлення регуляторів температури забезпечує додаткову економію тепла на 3-5%;
- 2) впровадження розподілювачів тепла забезпечує економію тепла на 15%;
- 3) впровадження лічильників води забезпечує економію на 40%;
- 4) впровадження повітряних клапанів забезпечує поліпшення теплообміну і зниження витрат теплоносія при заповненні систем опалення, та економію тепла на 2-5%;
- 5) впровадження багатофункціональних багатотарифних лічильників може суттєво знизити плату за енергоресурси: до 40-50%, якщо раніш обліку не було; до 10-20%, якщо впроваджені лічильники з класом точності 0,5; 1; замість застарілих з класом точності 2,5-4,0.

У сумі це становить майже 65% економії тепла та 20-25% економії електроенергії.

2.6 Запропоновані заходи

Методи підвищення ефективності при виробництві тепла:

- 1) Установка котлоагрегатів з високим ККД;
- 2) Інтенсифікація топкового теплообміну;
- 3) Модифікація інших технічних характеристик;
- 4) Установка сучасних мережних насосів з регуляторами частоти.

Основними факторами ефективності мережі передачі тепла є ізоляція трубопроводів. Тому в даному проекті я передбачив прокладку теплової мережі з попередньо ізольованих трубопроводів з коефіцієнтом ефективності від 91 до 95,8%.

Методи підвищення ефективності споживання тепла:

- 1) Встановлення на вводах теплолічильників;
- 2) Встановлення систем теплоконтролю;
- 3) Встановлення енергоефективних вікон;
- 4) Запровадження ізоляції підвалів, дахів;
- 5) Запровадження ізоляції труб;
- 6) Утеплення входних дверей в під'їздах;
- 7) Утеплення входних дверей в квартирах.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Для досліджування зміни швидкості полум'я при імпульсно – акустичному горінні використовувався персональний комп'ютер та випробуваний стенд у лабораторії.

Приміщення, використовуване під лабораторію, знаходиться на вулиці. Дане приміщення, виходячи з норм на окремі робочі місця, відповідає нормам. Норма площі на одну людину становить 6 м². Площа приміщення становить 10 м². Кількість працівників в лабораторії становить одна особа, таким чином норма площі не перевищується.

3.1 Характеристика небезпечних та шкідливих виробничих факторів виробництва

Умови праці на лабораторному місці, безпека технологічних лабораторних процесів, механізмів, устаткування та інших засобів лабораторії, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам.

Умови в лабораторії нерідко характеризуються дією на працюючих несприятливого мікроклімату, запиленої, високої бактерійної і грибової забрудненості повітря робочої зони. У ряді випадків трудовий процес протікає в умовах низького освітлення.

Зробимо аналіз і оцінку чинників професійних ризиків в лабораторії. Оскільки в лабораторії використовуються теплоенергетичні установки, то на організм людини впливають ряд специфічних цій області несприятливих чинників, таких як:

- 1) Підвищена температура;
- 2) Підвищений рівень шуму;
- 3) Недостатня освітленість.

3.1.1 Підвищена температура

Підвищена температура зовнішнього середовища, виникає в результаті одночасної роботи обчислювальної техніки і освітлювальних установок, які значну частину споживаної електроенергії перетворюють в теплову. Дія цього чинника на організм людини призводить до зайвих витрат енергії на нормалізацію теплового балансу, слідством чого являється відчуття дискомфорту і зниження працездатності. Влітку 34 °С, і 25 °С зимою.

У лабораторії є поверхні, що мають високу температуру на приклад стенд для проведення експерименту. При роботі з ним є можливість отримати опіки оскільки апарат працює на високих температурних режимах.

Усі ділянки елементів (стенду), доступні для персоналу, покриті тепловою ізоляцією, що забезпечує температуру зовнішньої поверхні не більше 40 °С, Персонал у свою чергу зобов'язаний працювати в спецодязу, і засобах індивідуального захисту. Рукави і полу спецодязу слід застебнути на усі гудзики, волосся прибрати.

3.1.2 Підвищений рівень шуму

Підвищений рівень шуму, джерелами якого є друкувальні пристрої і установки кондиціонування. Дія шуму на організм людини призводить до зниження гостроти зору, зорової адаптації, порушує сприйняття зорової інформації і знижує продуктивність праці на 30-60%. Фактичний сумарний рівень шуму в цій лабораторії складає 46 дБ, оскільки в приміщенні працюють 2 машини (1 кондиціонер і 1 принтер).

Згідно [38] необхідно забезпечити рівень шуму (звукового тиску) в межах 50-55 дБА.

У лабораторії використовуються наступні заходи захисту від шуму:

- а) застосовуються пружні прокладки між підставою машини і поверхнею опори;
- б) застосовується звукобірна облицювання, глушники.

3.1.3 Недостатня освітленість

Відсутність або нестача природного світла, причиною якого можуть стати наступні джерела: площа і орієнтація вікон, міра чистоти скла вікон, забарвлення стін і підлоги приміщення. Природне освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне значення для працюючих. Крім того, природне освітлення має і психологічну дію, створюючи для працюючих відчуття безпосереднього зв'язку з оточенням. Коефіцієнт природного освітлення в лабораторії складає 1%.

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань, джерелами якого є електронно-променеві трубки моніторів ПК. Дія цього чинника на організм людини призводить до захворювань нервової системи, раку. При частоті 5 Гц - 2 кГц значення складає менше 25 В/м.

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

У практиці роботи з організацію в лабораторії праці важливою складовою є поліпшення умов праці. Важливе значення поліпшення умов праці пояснюється лише тим, що вони в основному є виробничою середою, у якій протікає життєдіяльність людини в час праці. Від його стану у прямій залежності перебуває рівень працездатності людини, результати його роботи, стан здоров'я, ставлення до праці. Поліпшення умов праці серйозно впливає для підвищення його продуктивності.

При підвищеній температурі в приміщенні використати систему вентиляції і кондиціонування, так само використати природну систему

вентиляції. Використати засоби індивідуального захисту, рукавички, костюми.

При підвищенні рівня шуму, використати навушники. Зниження шуму звукопоглинанням та звукоізоляцією. Об'єкт, котрий випромінює шум, розташовують у кожусі, внутрішні стінки якого покриваються звукопоглинальним матеріалом. Кожух повинен мати достатню звукопоглинальну здатність, не заважати обслуговуванню обладнання під час роботи. Звукоізоляційний ефект забезпечується також встановленням екранів та ковпаків. Вони захищають робоче місце і людину від безпосереднього впливу прямого звуку, однак не знижують шум в приміщенні.

При недостатньому освітленні використати, додаткові освітлювальні прилади. Відсутність або нестача природного світла, причиною якого можуть стати наступні джерела: площа і орієнтація вікон, міра чистоти скла вікон, забарвлення стін і підлоги приміщення. Природне освітлення має важливе фізіологічне - гігієнічне значення для працюючих. Крім того, природне освітлення має і психологічну дію, створюючи для працюючих відчуття безпосереднього зв'язку з оточенням. Коефіцієнт природного освітлення в лабораторії складає 1 %.

Під час створення оптимальних умов діяльності зорового аналізатора необхідно враховувати, що ефективність залежить тільки від освітленості, а й від такого типу важливих функцій очі, як контрольна чутливість, гострота зору, швидкість розрізнення деталей і стійкість ясного бачення. Відомо, що максимальної контрастної чутливості (здатність очі розрізняти яскравість забарвленою поверхні) забезпечується яскравістю фону не більше 100 – 3200 кд/кв.м. За межами цих величин вона знижується.

3.3 Виробнича санітарія

В лабораторії повинні виконуватися відповідно до вимог проектування. Лабораторна територія повинна забезпечуватися належними умовами природного освітлення, водопостачання, а також провітрюватись.

Приміщення, в яких лабораторні процеси, пов'язані з виділенням шкідливих газів, парів, пилу та інших негативних виробничих факторів, розташовуються стосовно інших будинків і населених пунктів з підвітряної сторони для вітрів переважного напрямку, територія повинна бути упоряджена.

Приміщення повинне бути обладнане водопроводом і каналізацією, мати тверді покриття, знаки безпеки руху.

Оздоровчі пункти для надання першої допомоги потерпілим в лабораторії, а також для проведення лікувальної і санітарно-профілактичної роботи.

Коли потрібні допоміжні приміщення, то вони повинні розташовуватись в прибудовах виробничих будинків чи в окремих будинках.

Роботи виконуються операторами ПК належать до категорії Ia - легкі роботи (до 120 ккал. / Ч.) згідно [38], так як вони не пов'язані з перенесенням ваги .

Значення мікрокліматичних параметрів, що забезпечують комфортні умови працівникам даної категорії , згідно [38].

Таблиця 3.1.- Оптимальні параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Температура поверхонь, °С	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с
Холодний	1a (< 139)	23-25	22-26	40-60	0,1
Теплий	1a (175-232)	20-22	19-23	40-60	0,2

Для забезпечення встановлених норм мікрокліматичних параметрів і чистоти повітря використовується кондиціонер. У приміщенні забезпечується приплив свіжого повітря, кількість якого складає 50-60 м³ на одну людину.

Для забезпечення цих умов передбачена подача в лабораторію повітря двоступеневого очищення в системі кондиціонування.

Для попереднього очищення використовуються фільтри другого і третього класів (типу ФСВУ, ФППУ), а для остаточного очищення - фільтри тонкого очищення першого і другого класів (типу ФПП, ФЯП).

Для підтримки настановних параметрів мікроклімату в досліджуваному приміщенні цілком досить 1 -го кондиціонера типу Tadiran TNL S 9 H.

Надання першої допомоги, лікувально і санітарно-профілактичні роботи проводять в оздоровчих пунктах.

Під час створення оптимальних умов діяльності зорового аналізатора необхідно враховувати, що ефективність залежить тільки від освітленості, а й від такого типу важливих функцій очі, як контрольна чутливість, гострота зору, швидкість розрізнення деталей і стійкість ясного бачення. Відомо, що максимальної контрастної чутливості (здатність очі розрізняти яскравість забарвленою поверхні) забезпечується яскравістю фону не більше 100 – 3200 кд/кв.м. За межами цих величин вона знижується

Швидкість зорового сприйняття підвищується зі збільшенням висвітлення. Вона швидко зростає при висвітленні в 70 – 75 лк. Повільніше – при висвітленні в 1000 – 1200 лк. і більше. Чітке сприйняття предмета очей зберігає певний час. Стійкість ясного бачення залежить від характеру виконуваної роботи, умов виробничої середовища, зокрема, від тривалості висвітлення (з поліпшенням висвітлення різко підвищується тривалість ясного бачення).

Існуючі норми штучного висвітлення виробничих приміщеннях передбачають різний рівень висвітлення для різної точності робіт.

Норми встановлюють найменші допустимі значення освітленості, при яких забезпечується успішне виконання різної характером і складності зорової роботи.

Висвітлення виробничих приміщень лише штучним світлом припустиме лише як виняток. Необхідно враховувати, що природний світло стимулює життєдіяльність організму людини (біологічне дію, сформоване у процесі філоонтогенезагенеза). Він створить відчуття безпосередній зв'язок із зовнішнього середовищем, дозволяє забезпечити рівномірний висвітлення приміщень.

Створення сприятливих умов праці, його подальше полегшення сприяють, з одного боку, збереження здоров'я трудящих, вдосконалення їх трудових навичок, а, з іншого - підвищенню працездатності і продуктивності праці, зниження плинності кадрів і поліпшення дисципліни на виробництві.

3.4 Електробезпека

Енергопостачання лабораторії здійснюється від трифазної мережі 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю, змінного струму частотою 50 Гц.

Електрообладнання, що використовується в лабораторії згідно [38] відноситься до установок напругою до 1000 В.

Умови, які створюють особливу небезпеку (особлива сирість, хімічно активна або органічна середу, струмопровідна пил тощо) у даному приміщенні відсутні. Тому за ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення лабораторії відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки, тому що відсутня можливість одночасного дотику людини до заземленим металевим поверхням і корпусу ПЕОМ.

Для зниження небезпеки ураження людини електричним струмом проведемо наступні заходи технічного характеру:

Така як в лабораторії використовується мережа з заземленою нейтраллю до 1000 В, то згідно [38] всі металеві конструкції і частини обладнання НДЛ, доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку, повинні підлягати зануленню (захисне заземлення не ефективно).

Нульовий захисний провідник забезпечується надійністю з'єднань; забезпечуватися безперервність ланцюга від кожного корпусу електроустановки до нейтралі джерела.

Додатково застосовується повторне заземлення нульового проводу з метою зниження потенціалу занулених корпусів і напруги дотику. Шина занулення доступна для огляду. Величина робочого заземлення становить 4 Ом, кожного повторного заземлення нульового проводу 30 Ом згідно [80].

Проводити періодичний контроль ізоляції не рідше рази на рік виміром її активного опору при випробуванні підвищеним напругою протягом 1 хвилини.

Організаційні заходи згідно [38] : а) використовувати плакати наочної агітації; б) забезпечити нормальний режим праці та відпочинку робітникам: час безперервної роботи не більше 4 -х годин; 10 -ти хвилинні перерви через кожну годину роботи.

3.5 Пожежна безпека

За пожежонебезпеки дане приміщення, відноситься до категорії В - пожежонебезпечна, тому що в приміщенні знаходяться газоподібні горючі і важко горючі речовини і матеріали, які при взаємодії з киснем повітря здатні тільки горіти.

За ступенем вогнестійкості дане приміщення відноситься до 1 -го ступеня вогнестійкості (виконано з цегли, яке відноситься до неспаленим матеріалами).

Пожежна безпека в лабораторії забезпечується відповідно до системою запобігання пожежі, протипожежного захисту та організаційно - технічними заходами.

Система протипожежного захисту згідно з [38]:

а) встановлена автоматична пожежна сигналізація на димових извещателях ДІП - 1, з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення, враховуючи високу вартість обладнання, наявність прихованих комунікацій і специфіку загоряння ПК. Тобто на площу 10 м² необхідно 1 димовий сповіщувач .

б) розміщені 2 вуглекислотних вогнегасники ОУ-5 (ручні) з розрахунку 1 вогнегасник на 40-50 м².

Організаційні заходи:

- а) проводиться інструктаж персоналу з ТБ;
- б) розроблені заходи щодо дій адміністрації на випадок виникнення пожежі;
- в) схема евакуації при пожежі поміщена на видному місці ;
- г) ширина дверного отвору на випадок евакуації 1,5 м., висота 2 м.

3.6 Засоби індивідуального захисту

Робочі комбінезони і халати, головні убори і чисте взуття повинні видаватися як персоналу, так і усім відвідувачам, що входять до лабораторії .

Обов'язковим повинно бути вимоги миття рук дезінфікуючим розчином або водою з милом.

Персонал і відвідувачі не повинні мати контакту – як прямій, так і непрямої - дослідом.

Комплект ЗІЗ - спецодяг, спецвзуття, рукавиці, захисні окуляри, респіратори повинні бути підібрані індивідуально та закріплені за кожним на весь період досліда. Засоби індивідуального захисту повинні знаходитися

індивідуальних пакетах, у спеціально виділеному сухому, чистому приміщенні, яке добре провітрюється.

3.7 Розрахунок редуктора

Початкові дані: $p_{вх}=47$ кгс/см²; $p_{вих}=8$ кгс/см²; $m=0,4$ г/с; робоче тіло – газ ізобутан

Швидкість протікання газу через дроселюючий перетин в цей період буде найменшою, оскільки найменшим буде перепад тисків. При цьому тиск газу на вході згідно виразу визначається за формулою

$$P_{вх\ min}=8+3,2=11,2\ \text{кгс/см}^2.$$

Визначимо величину $\Delta p_{ред}$, значення якої невідомо:

- при великих тисках на виході (наприклад, при газобалонної подачі)

$$\Delta p_{ред}=0,4 \cdot p_{вих}=0,4 \cdot 8=3,2\ \text{кгс/см}^2;$$

-при малих $p_{вих}$ (наприклад, при наддуванні баків)

Площа дроселюючого перетину визначаємо по рівнянню (при $h_x = h$)

Підставивши в цю формулу h , отримаємо розрахункову формулу

$$\frac{F_{\text{дрос}}}{F_{\text{вх}}}$$

Визначаємо $A(\gamma)$

$$A(\gamma)=0,47,$$

$$T_{\text{вх min}}=293 \text{ K},$$

$$R=8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг*К)},$$

$$\mu=0,7.$$

Визначаємо $F_{\text{дрос}}$


$$F_{\text{дрос}}=17,266 \text{ мм}^2,$$

де $A(\gamma)$ визначається залежно від величини відношення $p_{\text{вих}}/p_{\text{вх}}$.

Задамо величину коефіцієнта витрати

Якщо через редуктор проходить газ для витіснення компонентів з баків і відомі звільняється за секунду обсяг баків Q_c , тиск і температура в баках p_6 і T_6 то, очевидно

—



Знаючи величину $F_{\text{дрос}}$, визначаємо $d_{\text{кл}}$ і h . Відповідно з впливом площі клапана на $\Delta p_{\text{вих}}$, діаметр $d_{\text{кл}}$ беремо можливо меншим (15...40 мм). Ширина сідла клапана становить $\delta = 0,3 \dots 0,5$ мм

$$F_{\text{дрос}} = \pi d_{\text{дрос}}^2 / 4,$$

$$d_{\text{кл}} = d_{\text{дрос}} + (15 \dots 40) \text{ мм} = 30 \text{ мм},$$

$$F_{\text{кл}} = \pi d_{\text{кл}}^2 / 4 = 706,5 \text{ мм}^2 = 706,5 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2,$$

$$d_{\text{ср}} = d_{\text{кл}} + \delta = 30 + (0,3 \dots 0,5) \text{ мм} = 30,05 \text{ мм},$$

$$h = F_{\text{дрос}} / (\pi \cdot d_{\text{ср}}) = 0,18 \text{ мм}.$$

Для того, щоб знайти $q_{\text{герм}}$, необхідно знайти різницю вхідного і вихідного тиску

$$p_{\text{вх}} - p_{\text{вих}} = 47 - 8 = 39 \text{ кгс/см}^2 = 3,8259 \text{ Мпа}.$$

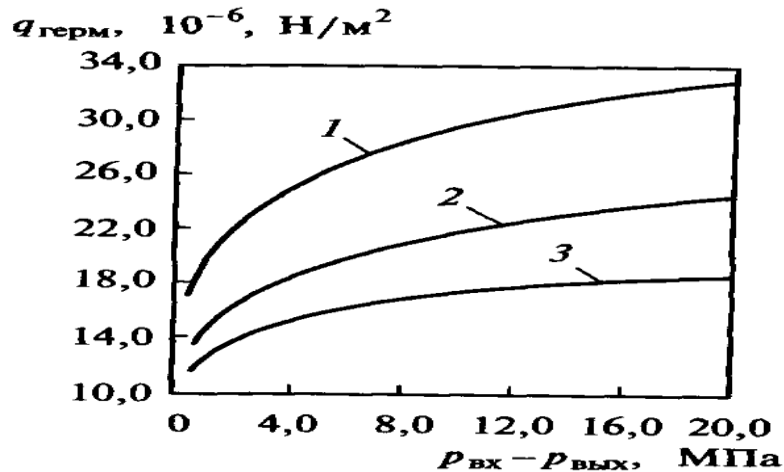
За графіком впливає, що $q_{\text{герм}} = 14,8 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м}^2 = 14,8 \text{ Н/см}^2$.

На малюнку 3.1 наведені необхідні питомі тиски герметичності для різних матеріалів клапана і ущільнюючого паска. За обраному для заданих матеріалів необхідному значенню $q_{\text{герм}}$ можна підрахувати силу пружини $Q1$.

Тиск герметичності визначимо за формулою

$$F_{\text{сед}} = 3,14 \cdot 30,5 \cdot 0,5 = 47,885 \text{ мм}^2 = 47,885 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$Q_{\text{герм}} = 14,8 \cdot 47,885 \cdot 10^{-6} = 7,1 \cdot 10^{-5} \text{ кгс.}$$



1- фібра тверда; 2 - фібра; 3 - ебоніт

Рисунок 3.1 - Найменші питомі тиски герметичності для деяких матеріалів

Силу пружини Q_1 знаходимо з рівняння

$$Q_1 = 7,1 \cdot 10^{-5} - 706,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3,2 = 22,6 \text{ кгс.}$$

Задамо величину F_M площі поверхні основної мембрани або сільфона. Чим вище F_M , тим більше точність редуктора. Однак крім точності редуктора при виборі F_M керуються ще допустимими габаритами і масою редуктора. При визначенні розмірів поршня F_P або допоміжної мембрани F_M для редукторів з урівноваживаниєм, щоб поліпшити характеристику, беруть d_P (або d_M) відповідно більше або менше $d_{\text{кл}}$ на 0,2... 1,5%

$$d_{\Pi} = d_{\text{кл}} + 1\% = 30,3 \text{ мм},$$

$$F_{\Pi} = \pi d_{\Pi}^2 / 4 = 720,7 \text{ мм}^2,$$

$$d_{\text{М}} = d_{\text{кл}} - 1\% = 29,7 \text{ мм},$$

$$F_{\text{М}} = \pi d_{\text{М}}^2 / 4 = 692,44 \text{ мм}^2.$$

Сила затягування Q_1 основний пружини редуктора визначається з рівняння рівноваги сил або в момент відкриття клапана, т. е. коли переміщення клапана $h = 0$.

Визначаємо Q_2

$$Q_2 = (p_{\text{вих}} - p_{\text{вх}}) F_{\text{кл}} + p_{\text{вих}} F_{\text{М}} + Q_1 = (8 - 47) \cdot 706,5 \cdot 10^{-2} + 8 \cdot 692,44 \cdot 10^{-2} + 22,6 = 353,53.$$

Оскільки характеристика редуктора завжди проходить нижче граничної, то іноді після її розрахунку буває необхідно скорегувати силу затяжки основний пружини, збільшивши її на 50 ... 100 Н. Тому при розрахунку пружини значення розрахункового зусилля на пружину береться дещо більше, ніж затягування пружини.

Розміри пружин і їх жорсткість визначаємо, виходячи з конструктивних міркувань і використовуючи звичайні формули, застосовувані в розрахунках деталей машин.

Жорсткість металевих мембран розраховують або визначають за експериментальними графіками, побудованим для кожного даного типу і матеріалу мембрани. Жорсткість «м'яких», гумових або пластикових, мембран враховується введенням замість $F_{\text{М}}$ наведеної площі

Величина a_m для мембран із захисними дисками або без них визначається за формулою

$$D_1 = d_d = d_m - 50\% = 14,85 \text{ мм},$$

$$D = d_m = d_{кл} - 1\% = 29,7 \text{ мм}.$$

Визначаємо a_m

$$a_m = 0,5775.$$

Визначаємо $F_{m \text{ прив}}$

$$F_{m \text{ прив}} = F_m \cdot a_m = 399,9 \text{ мм}^2.$$

Для сальфонів можна приймати $a_m = 1$.

Дійсна точність роботи редуктора

Точність роботи редуктора визначається величиною $\pm \Delta p_{\text{вих}}$. При роботі редуктора дійсна величина відхилення тиску на виході $\Delta p_{\text{вих.д}}$ буде більше теоретичної величини $\Delta p_{\text{вих}}$, отриманої з розрахунку. Причина відхилення полягає в неможливості абсолютно точного виготовлення деталей редуктора і точної його налаштування.

Залежно від класу точності виготовлення редуктора дійсне відхилення можна оцінити величиною

$$p_{\text{вих0}} = 8,01 \text{ кгс/см}^2,$$

$$\Delta p_{\text{вих}} = -0,01 \text{ кгс/см}^2,$$

$$\Delta p_{\text{вих д}} = -0,01 + (0,05 \dots 0,15) = -0,01 + 0,05 = 0,04 \text{ кгс/см}^2.$$

Слід також мати на увазі, що на величину вихідного тиску $p_{\text{вих}}$ чи впливає температура редуктора, так як при зміні температури змінюються механічні властивості пружних елементів редуктора і їх розміри.

ВИСНОВКИ

1. Експериментальні дослідження, виконані на модернізованому котлі підтверджують якісні і кількісні зміни процесу горіння мазуту при його емульгуванні водою. Встановлено, що додавання 17% води у вигляді тонкої дисперсії інтенсифікує процес горіння, виключає утворення сажистих відкладень на поверхнях нагрівальних труб. При цьому істотно знижується вміст оксидів азоту і вуглецю в продуктах згорання, температура горіння підвищується в середньому на 100 °С. Причиною цього є активне утворення іонізованих радикалів завдяки кращому сумішоутворенню і подрібненню крапель палива при вибуховому закипанні води.

2. Визначено методи підвищення ефективності при виробництві тепла:

- що додаткова іонізація повітря перед камерою горіння дозволяє ще більше інтенсифікувати процес горіння, оскільки активних іонів стає більше. Температура горіння підвищується ще на 100-150 °С Установа котлоагрегатів з високим ККД;
- інтенсифікація топкового теплообміну;
- модифікація інших технічних характеристик;
- установка сучасних мережних насосів з регуляторами частоти.

Основними факторами ефективності мережі передачі тепла є ізоляція трубопроводів. Тому в даному проекті передбачено прокладку теплової мережі з попередньо ізольованих трубопроводів з коефіцієнтом ефективності від 91 до 95,8 %.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 4058-2001 Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови.
2. Бердишев М.Ю, Чейлитко А.О., Назаренко О.М. Низькопотенційні та альтернативні джерела енергії. Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА Енергетичного напрямку всіх форм навчання. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. – 270 с.
3. Безгрешнов, А. Н. Розрахунок парових котлів у прикладах і задачах. Уч. посібник для вузів [Текст] / А.Н. Безгрешнов, Ю.М. Липів, Б.М. Шлейфер. – М.: Вища школа, 1991. – 240 с.
4. Кузнецов, Н.В. Тепловой расчет котельных установок. Нормативный метод [Текст] / Н.В. Кузнецов. - М: Энергия, 1973. – 324 с.
5. Частухин, В.И. Тепловой расчет промышленных парогенераторов [Текст] / В.И. Частухин.– К: Вища школа, 1980. – 184 с.
6. Балдіна, О.М. Гідравлічний розрахунок котельних агрегатів: Нормативний метод [Текст] / О.М. Балдіна, В.А. Локшина, Д.Ф. Петерсон. – М.: Енергія, 1978. – 256 с.
7. Бобровський, Р.С. Котельні установки малої потужності [Текст] / Р.С. Бобровський. – М.: Машгіз, 1961. – 331 с.
8. Нечаєв, Р.К. Автоматика і автоматизація виробничих процесів [Текст] / Р.К. Нечаєв. – К.: Вища школа, 1985. – 279 с.
9. Файерштейн, Л.М. Довідник з автоматизації котелень [Текст] / Л.М. Файерштейн, Л.С. Этинген, Р.Р. Гохбойн. – М.: Вища школа, 1985. – 296 с.
10. Бузников, Е.Ф. Виробничі та опалювальні котельні [Текст] / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис. – М.: Вища школа, 1984. – 248 с.
11. Дубковский, В.А. Рациональные процессы, циклы и схемы энергоустановок [Текст] / В.А. Дубковский.- Одесса: Наука и техника, 2003. - 224 с.

12. Ривкин, С.Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара [Текст] / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.
13. Павленко А.М., Басок Б.И. Дезинтеграция эмульсий в вихревых аппаратах. – Киев: Наукова думка, 2005. – 204с.
14. А.А. Долинский, А.М. Павленко, Б.И. Басок. Теплофизические процессы в эмульсиях: получение, использование, утилизация. – Киев: Наукова думка. 2005. – 264с.
15. В.Н. Кормилицын, М.Г. Лысков, А.А. Румынский. Комплексная экосовместимая технология сжигания водо-мазутной эмульсии и природного газа с добавкой сбросных вод // Теплоэнергетика. – 1996.– №9. С. 13 – 17.
16. Математичне моделювання та оптимізація процесів тепломасообміну. Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 144 “Теплоенергетика” денної та заочної форми навчання / Укл.: А.О.Чейлитко – Запоріжжя: ЗДІА, 2018. - 146 с.
17. Чейлитко, А. О. Ресурсозберігаючі технології в системах теплового захисту силового обладнання: монографія / А. О. Чейлитко, С.В. Ільїн, Ю.В. Бондаренко, Т.В. Черненко. — Запоріжжя : ЗНУ, 2019. — 208 с.
18. Чейлитко А.О., Кушнір С.М. Енергозаощадження: визначення коефіцієнту теплопровідності пористих структур. Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Science and Practice: Implementation to Modern Society» (Манчестер, Великобританія, 6-8 грудня, 2019). – Манчестер: Peal Press Ltd – 2019. – С. 31 – 36
19. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
20. А.А. Долинский, Б.И. Басок. Динамика роста паровых пузырьков вскипающей воды при резком сбросе давления. // Доклады НАНУ. – 1995 .-№1. – С.75 – 77.
21. Сенчурова Ю.А. Совершенствование технологии сжигания водоугольного топлива в вихревых топках. Дисертація на здобуття наукового

ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.04–промислова теплоенергетика. Кемерово, 2008

22. Ялечко В. І. Підвищення ефективності енерготехнологічного процесу спалювання здрібненої деревної біомаси. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06–технічна теплофізика та промислова тепло-енергетика. – Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2021

23. Павленко А.М. Особенности конвективного переноса тепла в замкнутом объеме/ Павленко А.М., Сайко Е.Н., Осенняя О.С. // Промышленная теплотехника. – 2011. - № 7. – С. 57.

24. Lacava P.T., Carvalho J.A., McQuay M.Q. Pulsating combustion characteristics of a spray flame in a Rijke tube with two different atomizers // Fuel. 1997. Vol. 76, №9. P. 845–851.

25. Lawn C.J. Interaction of the acoustic properties of a combustion chamber with those of premixture supply // Sound and Vibration. 1999. Vol. 224. N5. P. 785–808.

26. Fleifil M., Annaswamy A.M., Ghoneim Z.A. and Ghoniem A.F. Response of a laminar premixed flame to flow oscillations: a kinematic model and thermoacoustic instability results // Combustion and Flame. 1996. Vol.106. P.487–510.

27. Im H.G., Law C.K., Kim J.S., Williams F.A. Response of counterflow diffusion flames to oscillating strain rates // Combustion and Flame. 1995. Vol. 100. P. 21–30.

28. Boshoff–Mostert L., Viljeen H.J. Analysis of combustion–driven acoustics // Chemical Engineering Sciences. 1998. Vol. 53, N9. P. 1679–1687.

29. Artyukh L.Y., Itskova P.G., Lukyanov A.T. Mathematical modeling of stability of a nonadiabatic laminar premixed flame // Heat Mass Transfer, 1997. Vol. 40, N9. P.2235–2240.

30. Ржевкин, С.Н. Курс лекций по теории звука / С.Н. Ржевкин. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960. 336 с.

31. Stuhltager E., Thomann H. Oscillation of a gas in a open-ended tube near resonance // Appl. Math. Phys. 1986. Vol. 37. P. 155–175.

32. Pavlenko A. Cheylyitko A. Dimensions of the nucleus agent pore former closed spherical pores. Aktualne Zagadnienia Energetyki, Budownictwa i Inżynierii Środowiska: I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-techniczna (Koszalin, 26-28 stycznia 2016). Koszalin: Politechnika koszalińska. 2016. p.75-83

33. Чейлитко А.О., Кірюшков В.О. Підвищення енергоефективності приморської клінічної лікарні. Матеріали XXIV науково-технічній конференції аспірантів, магістрів, студентів та викладачів Енергетика, електроніка та інформаційні технології. (26-29 листопада 2019 р.) Запоріжжя: ЗНУ, 2021. Т.3 с.9

34. Чейлитко А.О., Кірюшков В.О. Реконструкція котельні дніпровської дитячої клінічної лікарні. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2019». (15-17 квітня 2019). Запоріжжя: ЗНУ, 2019. Т.5. с.146-148

35. Чейлитко А.О., Гаспарян А. Дослідження процесів горіння водомазутних емульсій в котлі ТГМ-200. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2021». (19-24 квітня 2021). Запоріжжя: ЗНУ, 2021. Т.5. с.128

36. Чейлитко А.О., Голобоков Є. Характеристика вогнетривів, що застосовується в промисловості України. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2021». (19-24 квітня 2021). Запоріжжя: ЗНУ, 2021. Т.5. с.129-130

37. Чейлитко А.О. Інформаційні технології в промисловості: монографія / С.В. Ільїн, А. О. Чейлитко, О.І. Федченко, С.Ю. Головка. — Запоріжжя: ЗНУ, 2020. — 134 с.

38. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень

39. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення