

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

**Кваліфікаційна робота**  
**другий магістерський**  
(рівень вищої освіти)

на тему Шляхи підвищення ефективності технології спалювання  
водоемульсивних палив

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1449з  
спеціальності 144 теплоенергетика

(код і назва спеціальності)

освітньої програми теплоенергетика

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

\_\_\_\_\_ (код і назва спеціалізації)

Северухін Олег Миколайович

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, д.т.н.

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

Рецензент професор, д.т.н.

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

Запоріжжя  
2020

**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 \_\_\_\_\_  
« 01 » грудень 2020 року

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

Северухін Олег Миколайович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Шляхи підвищення ефективності технології спалювання водоемульсивних палив  
керівник роботи Мних Антон Сергійович, д.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «25» травня 2020 року № 601-с

2 Строк подання студентом роботи 15 грудня 2020 р.

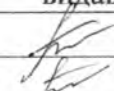

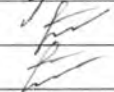



3 Вихідні дані до роботи Хімічний склад диспергованих емульсій. Теплотворна властивість згоряння палива. Хімічний склад продуктів згоряння палива.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Особливості горіння паливних емульсій. Склад продуктів згорання паливних емульсій. Вплив структури ТЕ на склад продуктів згорання. Особливості формування температурного поля при горінні емульсій. Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих факторів. Виробнича санітарія. Розрахунок захисного заземлення.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Структура водомазутних емульсій. Горіння мазутного палива в котлі ДКВР – 25. Горіння мазуту і водомазутних емульсій. Залежність

в'язкості водо-паливної емульсії від температури при різній залежності в'язкості ТЕ від розміру крапель води при зволоженні значущості факторів моделі.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	
1	Мних А.С.		
2	Мних А.С.		
3	Мних А.С.		


7 Дата видачі завдання 05 травня 2020 р

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вплив структури мазутних емульсій на процеси їх горіння	05.05.2020
2	Шляхи підвищення ефективності технології спалювання водоемульсивних палив	30.07.2020
3	Техніка безпеки і охорона праці	15.10.2020
4	Оформлення пояснювальної записки	15.11.2020
5	Підготовка презентації	01.12.2020


Студент  (підпис)

О.М. Северухін  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис)

А.С. Мних  
(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер  (підпис)

Ю.М. Каюк  
(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Северухін О. М. Шляхи підвищення ефективності технології спалювання водоемульсивних палив.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник доктор техн. наук, професор А.С. Мних. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

В роботі розглянуто питання згорання емульгованих палив. Встановлено, що стійкість емульсійного палива залежить від співвідношення густин рідин, що становлять емульсію. Встановлено, що при уприскуванні емульгованого палива в камеру згорання паливний струмінь руйнується по межі поділу фаз палива і води, дробиться на високодисперсні краплі, в результаті чого інтенсивно взаємодіють з киснем повітряного заряду і згоряють без утворення нагару.

Ключові слова: емульговане паливо, мазут, згорання, топка, факел, високодисперсні краплі.

## ABSTRACT

Severukhin O.M Ways of increasing the efficiency of combustion technology of water-emulsion fuels.

Qualification graduation work for the degree of higher education of master's degree in specialty 144 - Thermal power engineering, scientific supervisor doct. of Sciences, Professor A.S. Mhykh. Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Thermal Power and Hydropower, 2020.

The problem of combustion of emulsified fuels is considered in the paper. It is established that the stability of the emulsion fuel depends on the ratio of the

densities of the liquids that make up the emulsion. It is established that during the injection of emulsified fuel into the combustion chamber, the fuel jet collapses along the boundary of the separation of the fuel and water phases, splits into fine particles, resulting in intensive interaction with the oxygen of the air charge and combusting without the formation of deposits.

Keywords: emulsified fuel, fuel oil, combustion, furnace, torch, fine droplets.

## АННОТАЦИЯ

Северухин А. Н. Пути повышения эффективности технологии сжигания водоэмульсионных топлив.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель докт. тех. наук, профессор А.С. Мних. Запорожский национальный университет, Инженерный учебно-научный институт, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

В работе рассмотрены вопросы сгорания эмульгированных топлив. Установлено, что устойчивость эмульсионного топлива зависит от соотношения плотностей жидкостей, составляющих эмульсию. Установлено, что при впрыскивании эмульгированного топлива в камеру сгорания, топливный поток разрушается по границе раздела фаз топлива и воды, дробится на высокодисперсные капли, в результате чего интенсивно взаимодействуют с кислородом воздушного заряда и сгорают без образования нагара.

Ключевые слова: эмульгированное топливо, мазут, сгорание, топка, факел, высокодисперсные капли.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ВПЛИВ СТРУКТУРИ МАЗУТНИХ ЕМУЛЬСІЙ НА ПРОЦЕСИ ЇХ ГОРІННЯ.....	9
1.1 Особливості горіння емульгованих палив.....	13
1.2 Вплив дисперсності емульсії на реологічні характеристики і процеси горіння ТЕ.....	22
1.3. Методи емульгування ПЕ.....	29
2 ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ СПАЛЮВАННЯ ВОДОЕМУЛЬСИВНИХ ПАЛИВ .....	33
2.1 Особливості горіння паливних емульсій.....	33
2.2. Теплота згорання емульсованого мазуту.....	35
2.3 Склад продуктів згорання паливних емульсій.....	40
2.4 Вплив структури ТЕ на склад продуктів згорання.....	48
2.5 Особливості формування температурного поля при горінні емульсій ..	58
3 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	67
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	67
3.2 Заходи з поліпшення умов праці .....	68
3.3 Виробнича санітарія.....	70
3.4 Електробезпека.....	72
3.5 Пожежна безпека.....	73
3.6 Розрахунок ізоляції котла.....	74
ВИСНОВКИ.....	79
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	80

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* В даний час перед більшістю країн виникають проблеми із забезпеченням власної енергетичної безпеки, викликані виснаженням ресурсів, подорожчанням видобутку і транспортування нафти і газу, а також екологічними проблемами. Тому вдосконалюються технології спалювання традиційних і резервних палив, наприклад мазуту, інтерес до якого з боку енергоспоживаючих підприємств зростає. У цих умовах оптимізація методів спалювання мазуту при неухильному забезпеченні економічності, надійності і екологічності роботи енергоагрегатів є актуальним завданням.

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, багатоцільовою, екосумісною технологією з точки зору повноти окислювальних процесів, тепловиділення і складу димових газів.

*Об'єкт дослідження* - технології спалювання водомазутних емульсій.

*Предмет дослідження* - теплофізичні процеси, що протікають в камерах згоряння паливних емульсій.

*Мета роботи* – розрахунок ефективного спалювання обводнених мазутів на базі отриманих експериментальних і теоретичних залежностей процесу гідротермічного емульгування і горіння паливних емульсій.

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

- вивчення теплофізичних особливостей процесу горіння паливної емульсії і формування складу продуктів згоряння;
- оптимізація спалювання паливної емульсії;
- визначення залежності теплової ефективності спалювання паливних емульсій від їх структури.

*Методи та засоби дослідження.* Метод дослідження – розрахунково-табличний з використанням стандартних методик та теорії ймовірності. Включають сучасні експериментальні і розрахункові методики, засновані на оптимальному математичному плануванні експериментів, математичному моделюванні гідродинамічних, термодинамічних і тепломасообмінних процесів.

*Наукова новизна отриманих результатів.* Знайдено функціональний зв'язок між структурою паливних емульсій і ефективністю їх спалювання, що дозволяє оптимізувати структуру емульсії і режими горіння

*Практична цінність роботи* полягає в наступному – дістала подальший розвиток методика визначення основних режимних параметрів спалювання водомазутних емульсій.

*Особистий внесок здобувача.* Теоретичні дослідження виконанні безпосередньо автором спільно із науковим керівником. Автору належать обґрунтування основних припущень, теоретичні викладки та аналіз отриманих результатів і формулювання висновків за результатами проведених досліджень.

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань з 65 позиції. Загальний обсяг складає 86 сторінки у тому числі 10 таблиць, 12 рисунків.



## 1 ВПЛИВ СТРУКТУРИ МАЗУТНИХ ЕМУЛЬСІЙ НА ПРОЦЕСИ ЇХ ГОРІННЯ

Людина більше 80 % проводить в приміщенні: вдома, на роботі, в громадських будівлях. Її здоров'я, самопочуття, працездатність багато в чому визначаються рівнем комфорту приміщень. Крім того, знання основ теплотехніки і вентиляції дасть можливість проводити заходи, спрямовані на економію паливно-енергетичних ресурсів і охорони довкілля. Людству потрібна енергія, причому потреби в ній збільшуються з кожним роком. Разом з тим запаси традиційного викопного палива (нафти, вугілля, газу й ін.) кінцеві. Кінцеві також і запаси ядерного палива - урану й торію. Практично невичерпні запаси термоядерного палива - водню, однак керовані термоядерні реакції поки не освоєні, і невідомо, коли вони будуть використані для промислового одержання енергії в чистому вигляді, тобто без участі в цьому процесі реакторів розподілу. У зв'язку із зазначеними проблемами стає усе більше необхідним впровадження енергозберігаючих технологій. У світовій енергетичній структурі частка споживання природного газу, як основного енергоносія для муніципальної енергетики, безупинно зростає й досягає в паливно-енергетичному балансі України 50 %. У той же час робота паливно-енергетичного комплексу як єдиної системи, що забезпечує розвиток усього народного господарства країни, визначається в першу чергу ефективністю енергоспоживання, що поставило проблему розробки, дослідження й впровадження енергозберігаючих технологій у ряд стратегічних завдань держави. Дана проблема загострюється роботою теплоенергетики України в умовах недостачі природних паливних ресурсів. Положення, що створилося, також викликане дешевизною органічного палива до 1991 року, що сприяло розробці заходів щодо зниження капітальних, а не експлуатаційних витрат. Після 1991 року по теперішній час енергозберігаючі технології одержали значний розвиток, зокрема у зниженні експлуатаційних витрат. При цьому збільшення теплових втрат у трубопроводах внаслідок фізичного старіння

теплових мереж сприяло децентралізації систем теплопостачання. Разом з тим, зменшення довжини теплових мереж і відповідно тепловтрат у них привело до зменшення числа теплогенеруючого устаткування у котельнях, тобто до зниження ефективності роботи устаткування внаслідок його роботи в неоптимальних режимах значну частину опалювального періоду. Сучасний стан паливно-енергетичних ресурсів, подорожчання їхнього видобутку вимагає ефективного використання одержуваної енергії. Однак теплоенергетичне устаткування встановлене з розрахунку максимальних навантажень, з невеликим запасом варіювання вироблення теплової енергії, не забезпечує ефективного використання палива. Таким чином, ефективність використання енергоносіїв визначається не тільки ефективністю вироблення тепла й електричної енергії, але й збалансованістю режимів вироблення й споживання цієї енергії. У теперішній час, незважаючи на численне будівництво «елітних» будинків з автономним теплопостачанням і перехід частини споживачів на індивідуальне опалення, у великих містах України, як і раніше, основним джерелом тепла є ТЕЦ і районні котельні. При цьому найпоширеніші в житлових і громадських будинках однотрубні системи водяного опалення, що запроектовані до 1996 року (через те, що є уніфікованими системами опалення і, як правило, мають більш низьку металоємність і дешевий у період їх будівництва енергоносії). Коли мова йде про опалення, як правило, мається на увазі підтримка в приміщеннях, оснащених опалювальними системами, необхідного значення температури повітря. Однак температура повітря є тільки одним з параметрів внутрішнього середовища, що характеризують її якість. Другим параметром завжди виступає температура навколишніх поверхонь. Комфортні мікрокліматичні умови в приміщеннях формуються не тільки цими двома параметрами, але й рядом інших факторів. Системи опалення призначені в основному для забезпечення названих температур. Причому регулювання, тобто підтримка на необхідному рівні температури методами й засобами опалення, можливо далеко не завжди внаслідок зміни зовнішньої температури, теплонадходжень, повітрообміну в даному

приміщенні. Після 1996 р. положення з вибором термічного опору огороджуючих конструкцій трохи покращилося. Тепер його нормативна величина виросла більш, ніж у два рази, що зменшує необхідну потужність системи опалення. Необхідно відзначити, що розрахунки економічно доцільної (з погляду теплотехніки) огороджуючої конструкції, завдяки дешевизні палива, привели до переваги в недавньому минулому в масовому будівництві легких малоінерційних, зате дещо дешевих, огорожень, теплотехнічні недоліки яких зараз призивають вирішити за допомогою методів і засобів регулювання роботи систем опалення. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії стали останнім часом одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання. Головними причинами такої уваги є очікуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, шкідливий вплив на довкілля, наслідки якого все більше і більше турбують світовому спільноту.

Використання традиційних вуглеводнів шляхом спалювання супроводжується загальними втратами енергії до 80-90 % і тому вже на сьогодні розроблено технології електрохімічного їх перетворення, які зменшують втрати до 10 % та є більш екологічно безпечними.

Альтернативна енергетика стає одним із базових напрямів розвитку технологій у світі, разом із інформаційними та нанотехнологіями вона стає важливою складовою нового постіндустріального технологічного укладу.

До нетрадиційних та відновлюваних джерела енергії будемо відносити гідроелектростанції (великі, середні та малі), геотермальну, сонячну, фотоелектричну та теплову енергію, енергії припливів, хвиль океану, вітру, тверду біомасу, гази з біомаси, рідкі біопалива та відновлюванні муніципальні відходи (ці види енергії за визначенням МЕА – відновлювані джерела енергії), а також теплоенергію „створювану” завдяки тепловим насосам, торф, шахтний метан та вторинні джерела енергії, такі як: скидне тепло, муніципальні

промислові відходи, тиск доменного газу та природного газу під час його транспортування.

На сьогодні частка нетрадиційних та відновлюваних джерела енергії у виробництві енергії у світі ще не є значною (близько 14 %), але їх потенціал на кілька порядків перевищує рівень світового споживання паливно-енергетичних ресурсів. Темпи зростання обсягів виробництва енергії також значно перевищують аналогічні для традиційних видів енергії. Так, у найближчі 10 років, прогнозується щорічне зростання світових обсягів виробництва електроенергії традиційної електроенергетики порядку 2,8 %, а електроенергії НВДЕ – 9,2 %.

В Україні також існує значний потенціал використання нетрадиційних та відновлюваних джерела енергії. З іншого боку, проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсу використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів шкідливих викидів. Значні втрати при транспортуванні, розподілі та використанні електроенергії і тепла, а також монопольна залежність від імпорту енергоносіїв ще більш ускладнюють ситуацію на енергетичних ринках країни.

Таким чином, Україна має нагальну потребу у переході до енергетично ефективних та екологічно чистих технологій, якими є, в тому числі, і НВДЕ. Але, незважаючи на декларацію щодо усвідомлення цієї потреби з боку різних гілок влади та низку нормативно-законодавчих актів, які стосуються розвитку НВДЕ, - реальних кроків щодо впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерела енергії зроблено досить мало. Частка в енергетичному балансі країни становить лише 7,2 % (6,4 % — позабалансові джерела енергії; 0,8 % — відновлювані джерела)

Змінити ситуацію можна шляхом проведення відповідної енергетичної політики, вдосконалення нормативно-правової бази та залучення інвестицій у

розвиток нетрадиційних та відновлюваних джерела енергії. Звісно, що цей процес не є швидким, але задля забезпечення майбутнього економічного процвітання України, її гідного місця у Європейській спільноті потрібно вже сьогодні активізувати вирішення цієї актуальної проблеми.

### 1.1 Особливості горіння емульгованих палив

Раціональне використання вуглеводневих енергоресурсів, розробка та впровадження ресурсозберігаючих екологічно безпечних технологій паливоспоживання у системах виробництва теплової енергії на даний час є одними з найбільш актуальних завдань теплоенергетичної галузі.

В даний час однією з найважливіших проблем сталого розвитку економіки держави є забезпечення промислових та комунальних підприємств енергоресурсами. Енергетичні потреби практично повністю задовольняються за рахунок викопних палив, головним чином – нафти і природного газу. Іншими, не менш важливими задачами, є зниження негативного впливу промислових підприємств на навколишнє середовище і необхідність утилізації накопичуваних відходів різноманітного походження. Виходячи з цього, одними з найбільш актуальних завдань на сучасному етапі розвитку теплоенергетичної галузі є раціональне використання вуглеводневих енергоресурсів і розробка та впровадження нових ресурсозберігаючих екологічно безпечних технологій паливоспоживання у системах виробництва теплової енергії.

Одним з ефективних рішень цих завдань є часткова заміна традиційних видів вуглеводневих енергоресурсів на промислових і енергетичних об'єктах новими видами рідких композиційних палив, які являють собою стійкі емульсії і суспензії на основі вуглеводнів з можливістю додавання у якості паливних компонентів відходів різноманітного походження. До складу таких гідросумішей можуть входити різні промислові стоки або їх концентрати, такі як фенольні стічні води, нафтозмиви, некондиційні вуглеводні, відпрацьовані технологічні рідини нафтовидобутку і нафтопереробки, відходи збагачувальних

підприємств, комунальних очисних споруд, продукти переробки твердих побутових відходів, полімерів, гуми та ін.

Як відомо, нафту добувають разом з водою. І, незважаючи на те, що нафтопереробна промисловість повинна по [1] поставляти мазут з вологістю (0,3...1,5) %, значення вологості в результаті зберігання в резервуарах може досягати 20 %. У традиційному плані підготовка мазуту до спалювання зводиться в даний час в основному до двох операцій: зневоднення і нагрівання.

Заходи по зневодненню мазуту випаровуванням води енергоємні і ведуть до втрат летючих компонентів палива. Зневоднення виконується в основному шляхом відстоювання з тим, щоб не допустити неконтрольованого потрапляння води в топку. Поділ фаз мазут-вода в накопичувачах-відстійниках вимагає досить багато часу і є малоефективним через близькість щільності мазуту і води. Проблема утилізації або очищення таких вод не наважується хімічними і біологічними методами, т.я. вони вимагають великих додаткових площ, капітальних і експлуатаційних витрат. Таким чином, з точки зору підвищення надійності роботи топкових пристроїв, було б доцільно рівномірно розподілити воду в обсязі мазуту у вигляді дрібних крапель.

Нагрівання виконують в декілька етапів:

- первинний розігрів для забезпечення зливу та транспортування;
- циркуляційний підігрів;
- підігрів перед спалюванням.

Обводнення палива в процесі первинного розігріву коливається в межах (5...17) % і залежить від ряду факторів: марки мазуту; початкової температури, температури навколишнього середовища, параметрів пари, що гріє та ін. Волога надходить в приймальні ємності не диспергованій. Середній розмір первинних крапель води збільшується в період первинного нагріву. Стадія перекачування мазуту з прийомних ємностей в основні резервуари не впливає на зміну середньої вологості палива, але зменшує розміри крапель води на (30...45) %.

Циркуляційний розігрів усереднює склад палива.

Прикінцеві технологічні операції підготовки мазуту до спалювання - подача палива до спалюють пристроїв, підігрів до (380...400) К, тонке очищення - не впливають на середню вологість мазуту і характеризуються зниженням дисперсності водної фази до значень (100...200) мкм [2].

На рисунку 1.1 наведено приклад зміни волого-дисперсних характеристик мазуту М100 перед спалюванням в котельнях [2]. Проби палива відбиралися безпосередньо перед форсунками з інтервалом 15 хвилин. З графіка випливає, що вже підготовлене до спалювання обезводнене паливо містить в середньому 7 % води. Мінімальний розмір крапель води - 150 мкм. Очевидно, що ефективність спалювання водопаливних емульсій визначається їх вологістю і розмірами крапель води. Тому особливий інтерес представляє дослідження впливу цих показників на ефективність горіння. Слід зазначити, що емульгованих лише 30 % присутньої в мазуті води.

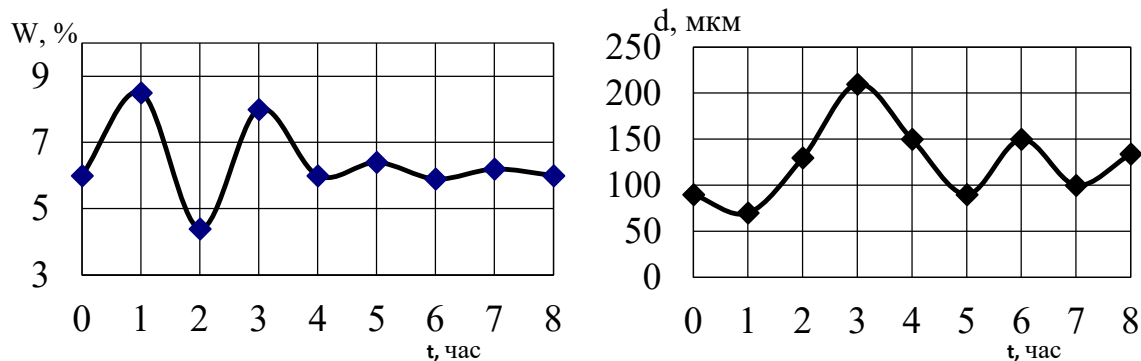


Рисунок 1.1 - Зміна волого - дисперсних показників мазуту М100 в процесі його підготовки до спалювання

З графіків випливає, що в початковий період дисперсність крапель води мінімальна, потім відбувається підвищення розмірів водних включень. Подрібнення крапель відповідає періоду перекачування мазуту насосами, в яких і відбувається дроблення крапель. Коагуляція здійснюється протягом усього технологічного циклу підготовки. При подрібненні крапель до певних розмірів, наприклад, до (8...10) мкм коагуляція мимоволі не відбувається [3].

Для мазуту співвідношення фаз вода-паливо в емульсії в залежності від поставленого завдання може змінюватися в широких межах (до 30 % води).

Фізичні особливості спалювання, що відрізняють емульговане паливо (ПЕ) як нове паливо в порівнянні з відомими, визначаються в значній мірі недосконалістю існуючих форсункових пристроїв. Останні практично не в змозі забезпечувати диспергування рідких палив на рівень дисперсності менше 100 мкм. Тому в високотемпературній зоні камери згоряння крапля емульсії вибухає і відбувається вторинне диспергування палива. Чим більше дрібних крапель в емульсії, тим помітніше цей ефект. Інтенсифікувати цей процес можливо гомогенізацією водомазутних сумішей (рис.1.2) [4]. Подрібнення певної кількості води (види на рис. 1.2 зліва - направо) формує безліч центрів мікробибухів.

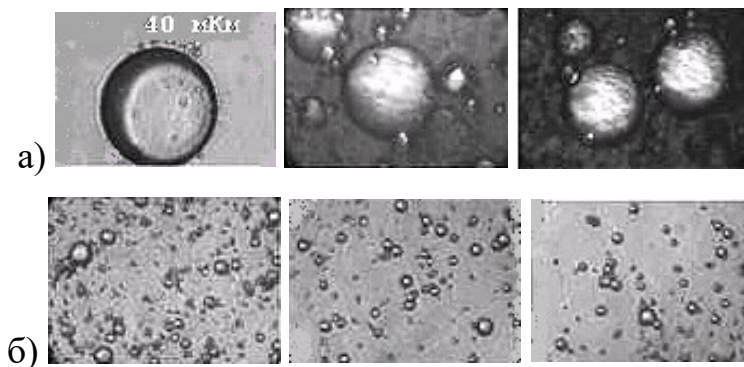
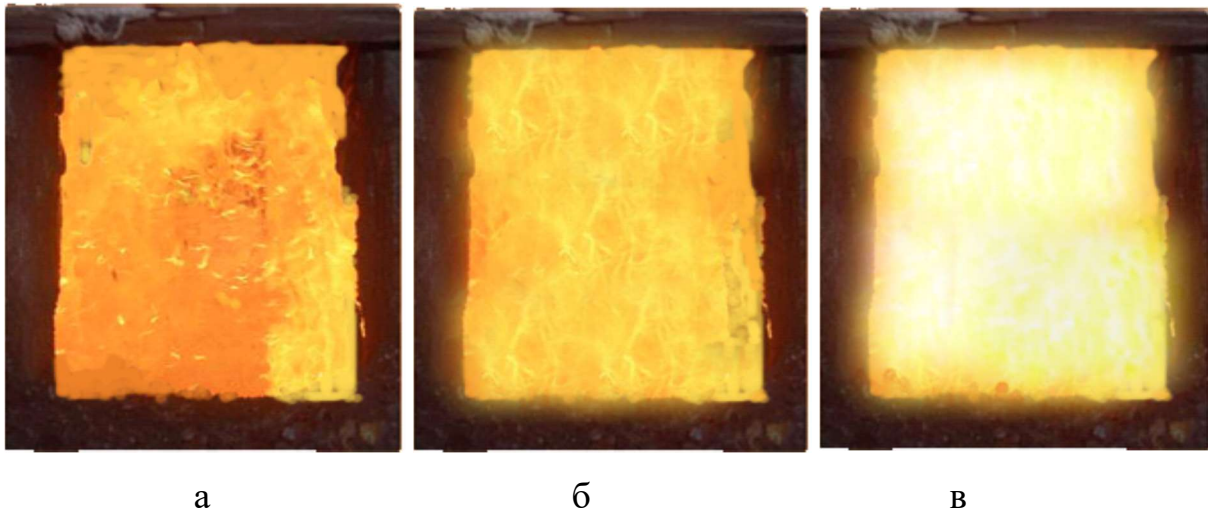


Рисунок 1.2 - Структура водомазутних емульсії до (а) і після (б) гомогенізації

На рисунку 1.3 (а) показана фотографія горіння мазуту М100, на рисунку 1.3 (б) - горіння 7 % водомазутних емульсії на основі М100; на рисунку 1.3 (в) – 15 % водомазутної емульсії [5]. Візуально можна спостерігати підвищення світності факела і його розширення, що свідчить про більш інтенсивному і повному згорянні палива і горінні з великими температурами.





а) - мазут М100; б) – 7 % ВМЕ; в) – 15 % ВМЕ

Рисунок 1.3 - Горіння мазутного палива в котлі ДКВР - 25

В результаті таких мікровибухів в топці виникають вогнища турбулентних пульсацій і збільшується число елементарних крапель палива, завдяки чому факел збільшується в об'ємі і більш рівномірно заповнює топкову камеру (див.рис.1.3), що призводить до вирівнювання температурного поля топки зі зменшенням локальних максимальних температур і збільшенням середньої температури в топці; підвищення світності факела завдяки збільшенню поверхні випромінювання (див.рис.1.4); істотного зниження недопалу палива; дозволяє зменшити тепловтрати.

Одночасно у факелі відбуваються каталітичні реакції, що ведуть до зменшення шкідливих газових викидів. Можливість зниження кількості вдихається при спалюванні водопаливних емульсій важлива, оскільки згідно досвідченим даними ККД котельного агрегату при зменшенні коефіцієнта надлишку повітря на 0,1 збільшується на 1 % [6-15].

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

потоків променевої енергії, внаслідок підвищення температури факела і різкого зменшення нагароутворень на гріючих поверхнях [16-19].

З переводом роботи котлоагрегатів на емульговане паливо, зміни в динаміці горіння можна спостерігати візуально (рис. 1.4).



а



б

а - температура горіння 1350 °С; б - температура горіння 1890 °С

Рисунок 1.4 - Горіння мазуту (а) і водомазутних емульсії (б)

Факел емульсованого палива в топковому просторі скорочується в обсязі, стає прозорим. Температура відхідних газів зменшується в порівнянні з зневодненим мазутом на (30...35) °С. Зміна параметрів процесу горіння і складу газів свідчать про підвищення ефективності використання палива. Яка готується на базі мазуту водопаливної емульсії з розмірним рядом частинок 1-3 мкм є колоїдним розчином, який має високу агрегативну і кінетичну стійкість і рівномірно розподіляється в об'ємі. У той же час зниження теплопродуктивності котельного агрегату великої паропроодуктивності при вмісті води в емульсії в межах (9...10) % не відбувається [17-18].

Ще одним важливим фактором, що характеризує ефективність використання водопаливних емульсій в котельнотопочних процесах, є підвищення ефективності і довговічності топкового обладнання. За деякими зарубіжними даними перевитрата палива через забруднення поверхонь нагріву в котлах сажистими і коксовими частинками може перевищити (30...35) %. При спалюванні емульсії частина крапель останньої долітає до поверхонь нагріву і вибухає на них, що сприяє не тільки запобіганню відкладень, а й очищення цих

поверхонь від старих сажістих утворень. Однією з серйозних проблем, що виникають при спалюванні топкового мазуту, є великий вміст в них сірки. Сполуки сірки несуться з поточними газами, забруднюючи атмосферу, а при використанні високосірчистих мазутів в металургії частково переходять в розплав [6-13].

Для запобігання цьому використовують присадки, що дозволяють пов'язувати сірку. Введення цих присадок здійснюють в димові гази або в мазут. У металургійних процесах введення присадок в мазут при використанні високосірчистих мазутів обов'язково. Оскільки велика частина присадок водорозчинні, то додавання в емульгованість воду недорогих компонентів в кількості 1 кг на 1т мазуту дозволяє найбільш простим шляхом пов'язувати сірку і використовувати низькоякісні мазути.

Застосування гідродинамічних пристроїв в паливній системі обумовлюється необхідністю підвищення дисперсності, перетворення вуглеводневих молекул залишкових фракцій мазуту в більш активні радикали, що прискорюють згоряння [14].

Водопаливна емульсія є особливим видом палива, яке якісно і кількісно змінює процес горіння. Вміщені в паливі високодисперсні частинки водної фази при прогріванні в камері згоряння перетворюються в парові бульбашки, миттєво дроблять паливні краплі на найдрібніші частинки, які швидше прогриваються і інтенсивніше взаємодіють спочатку з киснем, що утворюється в результаті дисоціації води, спалахують і, перемішуючись з киснем повітряного заряду, згоряють [16-18]. Що знаходиться в складі емульгованого палива, водна фаза може бути дісоційованна частково в ході окислення палива в передпламенних процесах. Потім у міру підвищення температури у фазі активного згоряння реакція дисоціації води прискорюється. Утворений при дисоціації надлишок атомів водню швидко дифундує в область з надлишком кисню, де їх реакція компенсує витрати енергії на дисоціацію води. Участь в реакції горіння додаткової кількості водню призводить до збільшення кількості продуктів згоряння. Молекули води прискорюють хід реакції в окислювальних

процесах і внаслідок виникнення полярного ефекту, істотно поліпшує орієнтацію часток радикалів палива.

Показники процесу спалювання емульсій наведені в таблиці 1.1 [6, 7].

Таблиця 1.1 - Склад продуктів згоряння паливних емульсій

Вид паливної емульсії, її теплота згоряння і робоча вологість	Коефіцієнт витрати повітря	Склад продуктів згоряння			
		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>
Емульсія з торф'яної смоли, $Q_n^p = 28,7$ МДж / кг, $W_p = 16,2$ %	1,15	13,9	3,2	-	82,9
Емульсія з Черемховской кам'яновугільної смоли, $Q_n^p = 28,1$ МДж / кг, $W_p = 16$ %	1,14	14,2	3,0	0,6	82,2
Емульсія з сланцевої смоли, $Q_n^p = 29,3$ МДж / кг, $W_p = 16,1$ %	0,98	13,9	0,7	2,3	83,1

Перш ніж приступити до практичних досліджень особливостей процесів горіння водо-мазутних емульсій в топках енергетичних котлів, попередньо виконані відповідні теоретичні розрахунки. Їх результатом було визначення температур на виході з топки, теоретичної температури згоряння, температури відхідних газів, ККД котлоагрегату.

Всі розрахунки проводилися на 1 кг палива з заданим вмістом води. В результаті було встановлено, що обводнені мазути можна досить ефективно спалювати в парових котлах як великий, так і середньої потужності. Звідси випливає висновок, що застосування методу спалювання водо-мазутних емульсій доцільно і для різних видів технологічних печей. Однак при вмісті в паливі води в кількості  $W=30$  % на її випаровування витрачається до 1,7 % мазуту. Співвідношення обсягів води і палива на рівні (10... 20) % при відповідній організації процесу спалювання палива наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Показники при спалюванні мазуту різної вологості

Показники	Вологість мазуту, %			
	0 (сухий)	4 (ДСТУ)	15	30
Витрата палива, кг	1	1,04	1,16	1,32
Коефіцієнт надлишку повітря	1,2	1,2	1,2	1,2
Витрата повітря, кг / кг	16,49	16,49	16,49	16,49
Кількість водяної пари в продуктах згорання палива, кг/кг	0,165	0,165	0,165	0,165
Загальна кількість продуктів згорання, кг / кг	16,56	16,56	16,96	17,2
Теплота згорання робочого палива, кДж / кг	39,97	38,37	34,87	29,15
Теплота згорання робочого палива з урахуванням тепла, внесеного повітрям, кДж / кг	40,64	40,54	38,62	36,21
Теоретична температура горіння, °С	1830	1812	1780	1620

З таблиці 1.2 випливає, що вологість рідких палив до 30 % не дає різкого зниження показників топкового процесу.

Аналогічні дані наводяться в роботі [11], де сказано, що при спалюванні обводнених мазутів вологістю (18...20) % теоретична температура в топці знижувалася всього на 50 °С, а ККД знижувався не більше ніж на 2 %.

Таким чином, порівняльні дані про горіння чистого і емульгованих палив показують, що паливні емульсії згорають значно швидше зневоднених, при цьому спалювання, наприклад, водо-мазутної емульсії в котлоагрегатах забезпечує економію до 15 % мазуту в порівнянні зі спалюванням чистого палива. Крім того, емульгування палив вирішує ряд екологічних проблем [4-11]. Спалювання ПЕ скорочує вміст у газових викидах NO<sub>x</sub> (≈ на 50 %),

приблизно в 3-4 рази знижує викид сажістих відкладень, зменшує вихід СО в середньому на 50 %, бензапирена в 2-3 рази і ін. [12-16].

Найбільший економічний ефект застосування такого палива досягається при додаванні в ПЕ (10...15) % води, а найбільший екологічний ефект реалізується при вмісті води до 30 %.

## 1.2 Вплив дисперсності емульсії на реологічні характеристики і процеси горіння ТЕ

Аналізуючи літературні джерела можна стверджувати, що гомогенізація мазуту з водою в тонкодисперсну емульсію дозволяє вирішувати проблему зайвого зволоження мазутів і пов'язану з цим проблему надійності роботи топкового обладнання, поліпшити технологічні та екологічні показники роботи котлів. Розпилення емульсії в топковому просторі дозволяє реалізувати ефект додаткового дроблення крапель за рахунок вибухового скипання води в ПЕ при швидкому нагріванні. Таким чином, слід було б очікувати, що зі збільшенням ступеня дисперсності, перераховані ефекти будуть наростати.

При механічному емульгуванні дисперсність залежить від часу перемішування, розмірів робочих елементів і ємності, в якій готується емульсія, від числа обертів або окружної швидкості обертових частин, числа імпульсів, що впливають на рідину при ультразвуковому методі отримання. Ультразвукове коливання - метод дуже дорогий і тому використовується лише в деяких випадках.

Шляхом барботування мазуту стисненим повітрям або парою виходить груба емульсія із середнім розміром крапель 60 мкм при часу обробки (15...25) хвилин.

Якість емульсії і її стійкість визначаються наступними факторами: дисперсністю; в'язкістю, яка визначає витрати енергії на переміщення емульсії і впливає на продуктивність, а також на якість розпилювання форсунками; активністю поверхнево-активних речовин.

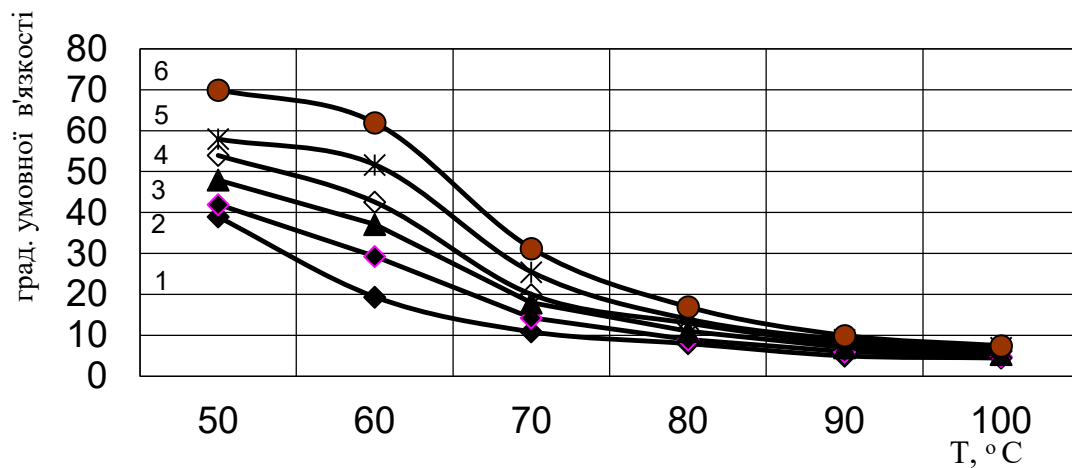
Освітлення дисперсних систем пов'язано з адсорбцією поверхнево-активних речовин на межі поділу, що визначає стійкість фаз. Будь-який вид нестабільності дисперсій призводить до їх часткового руйнування, що супроводжується рекомбінацією крапель і їх злиттям. Дослідження кінетики цього процесу, а також можливих технологічних впливів на нього важливо для розвитку техніки емульгування. В роботі [38] представлені результати дослідження впливу різних чинників на швидкість агрегації дисперсій, яка оцінювалася по зміні розмірів частинок. В якості основних факторів, що впливають на стабільність, прийняті концентрація емульгатора і температура.

На підставі літературних даних [37] можна було очікувати, що з ростом температури повинен зменшатися внесок позитивної структурної складової в загальну енергію взаємодії частинок. В результаті цього повинна знижуватися Агрегативна стійкість емульсій. Отримані дані свідчать про те, що підвищення температури при постійній концентрації емульгатора призводить до часткового руйнування і стоншення граничних шарів. При цьому з'являється можливість зближення частинок, реалізації глибшого енергетичного мінімуму і, отже, збільшення їх розмірів. З плином часу ці процеси розвиваються і без додаткових впливів. Тому часовий фактор також робить істотний вплив на стабільність дисперсних систем.

Прогнозування зміни властивостей емульсій дозволяє визначити температурний режим процесів розшарування, що дозволяє зберегти придатність масляного залишку для подальшого застосування.

Дисперсність емульсій, перш за все, характеризує рівномірність розпилення води в масі палива і впливає на стійкість емульсії і в'язкість. Це основні реологічні показники, які оцінюються в технологіях підготовки палива до спалювання. Очевидно, що чим вище дисперсність, тим рівномірніше розподіляється вода в паливі, стійкіше емульсія і вище її якість.

Дисперсність залежить від щільності, в'язкості, поверхневого натягу перемішуються рідин, від кількісного співвідношення і способу отримання водо-паливних емульсій (рис.1.5).



1 -  $W_p = 15\%$ ; 2 -  $W_p = 20\%$ ; 3 -  $W_p = 2\%$ ; 4 -  $W_p = 30\%$ ; 5 -  $W_p = 40\%$ ; 6 -  $W_p = 50\%$

Рисунок 1.5 - Залежність в'язкості водо-паливної емульсії від температури при різній вологості

З графіків слід, що в'язкість ПЕ залежить від змісту вторинної фази, а також і те, що визначити в'язкість, використовуючи метод адитивності можна лише з істотною похибкою, оскільки на графіках явно простежується зміна якісного характеру кривих в залежності від вмісту води. Очевидно, що ступінь дисперсності має неоднозначний вплив на в'язкість ТЕ.

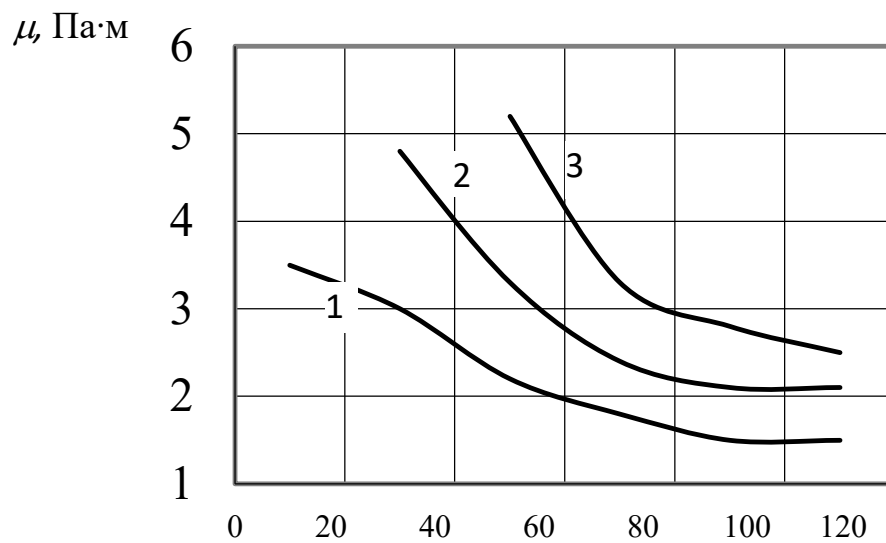
Основною причиною аномалії в'язкості емульсій є деформація диспергованих частинок, що виникає в процесі збільшення напруги зсуву. Із зростанням прикладеної сили краплі емульгованої рідини подовжуються, перетворюючись з кульок в еліпсоїди, що ускладнює перебіг і призводить до підвищення умовної в'язкості емульсії.

Досліджуючи вплив дисперсності глобул води на в'язкість емульсій, можна сказати, що зменшення розміру часток при однаковій концентрації дисперсної фази призводить до збільшення в'язкості системи. Зв'язок цей нелінійна і слабшає в міру збільшення розміру частинок. Встановлено, що при діаметрах часток більш 100 мкм вплив їх розміру на в'язкість системи стає незначним і суттєво збільшується, коли розмір крапель досягає 10 і менше мкм (див. рис.1.6, рис. 1.7).



З рисунку 1.6 випливає, що вплив дисперсності на в'язкість емульсії істотно при невеликих розмірах крапель води в ПЕ.

Відповідно до кінетичної теорії вплив дисперсності має проявитися лише тоді, коли відстань між частинками виявиться порядку розміру часток. Отже, це явище можна спостерігати при високій концентрації дисперсної фази або при її дуже тонкому подрібненні.



1 - 20%; 2 - 30%; 3 - 40%

Рисунок 1.6 - Залежність в'язкості ТЕ від розміру крапель води при зволоженні

З рисунку 1.6 випливає, що зменшення розмірів крапель до деякої величини не впливає на в'язкість. Після досягнення порогового значення подальше зменшення розміру крапель веде до появи і подальшого посилення залежності в'язкості від розміру крапель.

З [17] випливає, що зі зменшенням розміру частинок підвищується в'язкість. Але ця залежність також не однозначна, оскільки при досягненні певних розмірів крапель емульсії спостерігається скачок значень в'язкості. Очевидно, що на в'язкість гомогенної середовища великий вплив мають структурні сили в ПЕ. У свою чергу, величина структурної сили залежить від

розмірів частинок, активності і кількості ПАР і температури ПЕ. Нами встановлено, що емульсія з розмірами крапель менше 10 мкм стійка тривалий час. Така дисперсність ефективно проявляється при вторинному дробленні ПЕ в камері горіння при нагріванні.

Присутність поверхнево - активних речовин в ТЕ збільшує їх в'язкість [18]. Такий вплив ПАР на реологію емульсії викликано утворенням навколо глобул води шарів з поверхневою в'язкістю, що відрізняється від об'ємної в дифузійної зоні. ПАР знижують поверхневий натяг. Їх конвективний потік змінює адсорбційну насиченість граничних шарів і це призводить до того, що між фазний поверхневий натяг стає неоднорідним. На величину зміни в'язкості впливають: кількість ПАР (X1), обводненість (X2), температура (X3), тривалість існування емульсії (X4).

Для вивчення впливу різних чинників виконано ортогональне композиційне планування для умов плану, показаних в таблиці 1.3. Досвідчені дані параметрів ПЕ (усереднені за чотирма повторним результатами) представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.3 - Умови експериментів

Фактори	Код	рівні варіювання					Інтервал варіювання
		-1,414	-1	0	1	1,414	
Концентрація ПАР, %	X1	0,19	0,4	0,9	1,4	1,61	0,5
Вміст води, %	X2	6,72	15	35	55	63,28	20
Температура, °C	X3	22	30	50	70	78	20
Час, хв	X4	10,5	40	100	160	185	60

Дисперсія помилок дослідів визначена при чотириразовому дублювання експерименту в нульовій точці (18,19,20,19),  $S_2 = 0,67$  для числа ступенів свободи 3.

Після обробки експериментальних даних і оцінки значущості коефіцієнтів отримана модель

$$Y = 19,5 + 2,22 X_1 + 1,2 X_2 - 10,92 X_3 + 0,9 X_2^2 + 4,4 X_3^2 + 1,4 X_4^2 - 0,75 X_2 X_3,$$

де  $Y$  - в'язкість ЕТС,  $m^2/c$ .

Для перевірки адекватності рівняння знайдена залишкова сума квадратів  $SR_2 = 1,83$  і розрахункове значення критерію Фішера  $FP = 2,73$ . Отримана модель адекватна істиною залежності.

Таблиця 1.4 - Умови проведення та результати експериментів по визначенню впливу структурних характеристик на в'язкість ПЕ мазуту М100

N	фактори				Y	N	фактори				Y
	X1	X2	X3	X4			X1	X2	X3	X4	
1	1	1	1	1	0,49	14	-1	1	-1	-1	1,03
2	-1	1	1	1	0,41	15	1	-1	-1	-1	0,81
3	1	-1	1	1	0,46	16	-1	-1	-1	-1	0,96
4	-1	-1	1	1	0,4	нульовий рівень					
5	1	1	-1	1	1,14	17	1,414	0	0	0	0,68
6	-1	1	-1	1	1,05	18	-1,414	0	0	0	0,57
7	1	-1	-1	1	1,1	19	0	1,414	0	0	0,59
8	-1	-1	-1	1	1,02	20	0	-1,414	0	0	0,5
9	1	1	1	-1	0,47	21	0	0	1,414	0	0,37
10	-1	1	1	-1	0,37	22	0	0	-1,414	0	1,23
11	1	-1	1	-1	0,43	23	0	0	0	1,414	0,53
12	-1	-1	1	-1	0,38	24	0	0	0	-1,414	0,57
13	1	1	-1	-1	1,12	25	0	0	0	0	0,55

На рисунку 1.7 наведено доля значущості факторів моделі. З представленої залежності випливає, що в'язкість ПЕ підвищується прямо пропорційно концентрацій ПАР і дисперсної фази ( $X_1$  і  $X_2$ ) і не може бути точно визначена методом аддитивності.

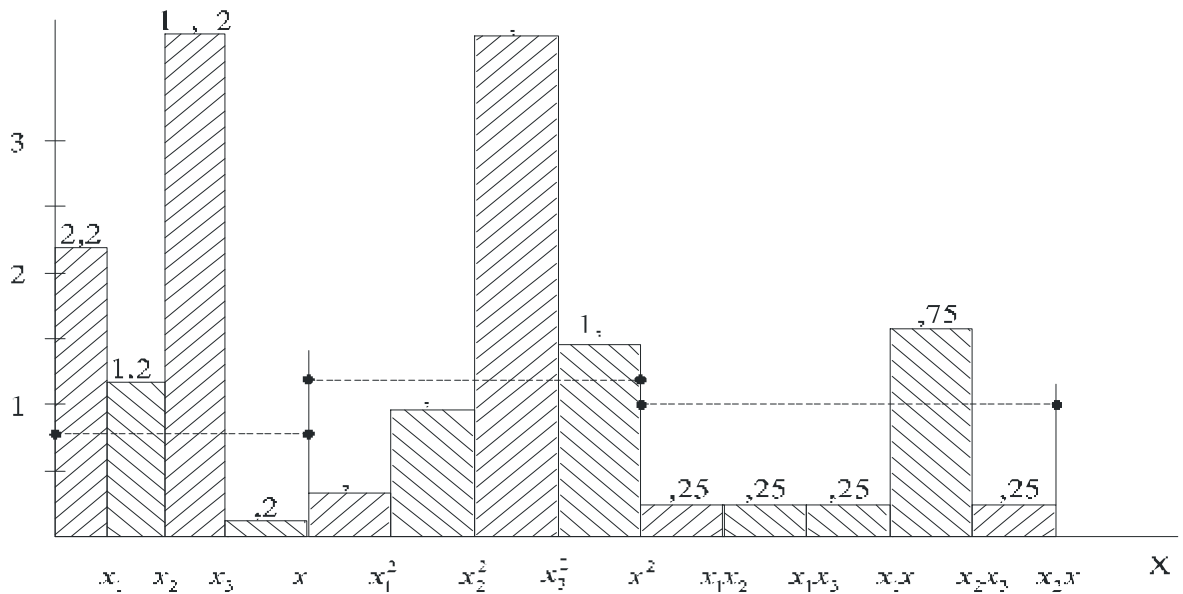


Рисунок 1.7 - Діаграма значущості факторів моделі

Таким чином, високодисперсні системи кінетично стійкі (для них характерне встановлення седиментаційно-дифузійної рівноваги), а грубодисперсні системи руйнуються (поділяються на мазут і воду) внаслідок осідання (або спливання) частинок дисперсної фази. Разом з тим підвищення дисперсності призводить і до збільшення в'язкості, що ймовірно ускладнить технологію підготовки мазутної емульсії до спалювання. Очевидно, що необхідні додаткові дослідження, що дозволяють оптимізувати значення дисперсності ТЕ з точки зору енерговитрат на гомогенізацію і ефективності спалювання палива.

### 1.3 Методи емульгування ПЕ

Основними класичними методами отримання емульсій, на основі аналізів різних джерел посилань [1-6], є наступні:

1. Конденсаційний метод. У цьому методі пар однієї рідини інжектуються під поверхню іншого. При таких умовах пар стає пересиченим і конденсується у вигляді крапель розмірами  $\approx 1$  мкм. Утворилися краплі стабілізуються в рідині, яка містить пар. Цим методом отримують краплі з розмірами до 20 мкм навіть при дуже високих концентраціях емульсій.

2. Дисперсійні методи. До цих методів відносять: метод переривчастого струшування (застосовують переважно для лабораторних аналізів, розмір крапель порядку (50...100) мкм), метод змішування (для рівномірного змішування застосовують мішалки пропелерного, турбінного та інших типів, які внаслідок ініціювання відцентрових сил створюють імпульси в різних напрямках і таким чином розподіляють частки рідини по всьому об'єму; діаметр крапель в емульсіях отриманих змішанням, становить  $\approx 5$  мкм), метод колоїдної млини (емульгування відбувається при видавлюванні рідини в вузький зазор між ротором, що обертається з великою швидкістю, і нерухомим статором;  $d_k = 2$  мкм), метод гомогенізації (застосовуються пристрої (гомогенізатори) в яких розпилення рідини досягається пропусканням її через малі отвори під високим тиском; при гомогенізації отримують краплі розміром 1 мкм і менше).

В [1, 2] представлено зіставлення методів змішування, колоїдної млини і гомогенізації по споживаній енергії при однакових продуктивності, звідки видно, що при змішуванні (в простих змішувачах) витрачається значно менше енергії.

3. Методи емульгування звуком і ультразвуком. Якщо в дисперсійних методах енергія, необхідна для емульгування, необхідна не тільки для утворення нових поверхонь, але і для подолання внутрішнього тертя рідини і приведення її в рух, то при емульгуванні ультразвуком використовують

ультразвук великої потужності (при частоті менше 15 МГц). Порушення звукових хвиль в рідинах досягається перетворенням електричної енергії в механічні високочастотні коливання.

4. Електричний метод. Руйнування великого об'єму рідини на краплі малих розмірів досягається за рахунок дії сил електричного поля. Радіус заряджених крапель, одержуваних цим методом, становить близько 1 мкм.

Для створення дисперсних систем найбільшого поширення набув метод механічного дроблення за допомогою різного виду пристроями, (метод змішування) [1, 8-10]. Але ці пристрої мають високу питому енергоємність і низьку надійність в експлуатації. Основним недоліком дроблення за допомогою перемішують є те, що ефективно дроблення частинок здійснюється переважно в області введення енергії - на диску ротора, на краю лопатей мішалки, на механічних частинах вібратора, в зоні введення струменя і тощо. Основний вплив на швидкість процесів перенесення відбувається в локальному обсязі поблизу зони введення енергії, значна частина введеної енергії витрачається на подолання вузьких сил і сил тертя, і тільки мала частина корисно використовується для інтенсифікації. Так, наприклад, в мешалках велика частина об'єму рідини знаходиться в пасивній зоні, в якій і виникають непродуктивні витрати. Для інтенсифікації процесів масообміну застосування апаратів проточного типу непрактично, тому що ці процеси протікають повільно в порівнянні з процесами миттєвого руйнування дисперсних частинок,

Одним із способів вирішення цієї проблеми є концепція дискретно-імпульсного введення енергії [1, 13-15, 25], яка передбачає попередньо стаціонарно введеної і довільним чином розподілену в робочому обсязі енергію акумулювати в локальних дискретних точках системи і надалі імпульсно реалізувати для досягнення необхідних фізичних ефектів. Необхідною умовою реалізації принципу ДІВЕ [13,14, 25] є наявність в робочій системі істотних градієнтів термодинамічних і гідродинамічних параметрів: температури, тиску, щільності, швидкості та ін. Достатньою умовою є існування робочих елементів. Класифікація основних елементів принципу ДІВЕ показує, що їх характерний

розмір знаходиться в мікронном і субмікронних діапазоні, а значить, дозволяє їм активно впливати на робочі системи з близькою дисперсністю гетерогенних утворень. Робочі елементи активним чином впливають на поведінку включень і крапель несмешиваючимися рідкого компонента дисперсної системи.

Створені на основі принципу ДІВЕ апарати описані в [15-25]. У роторно-імпульсних пристроях досягаються значні дотичні напруження, що діють на краплі дисперсної фази, в результаті чого останні дробляться, а пульсації диспергатори ударного типу використовують різке загальмування або прискорення потоку для процесів дроблення.

Розглянуті методи промислового емульгування мають деякі переваги щодо один одного, але також мають і ряд істотних недоліків в цілому. Найбільше застосування знаходять дисперсійні методи. У перемішують пристроях, як було зазначено вище, значна частина енергії витрачається на приведення в рух приєднаного обсягу середовища. Також в даному типі пристроїв отримують емульсії з більш великими частками, ніж в апаратах іншого типу. Гомогенізатори споживають менше потужності, в порівнянні з колоїдними млинами, але вони дорожче в експлуатації, через високого тиску, які призводять до передчасного зносу і поломки деталей.

За допомогою ультразвукових методів можна отримати емульсії типу вода-масло і масло-вода одночасно. Щоб цього не відбувалося, необхідно використовувати спеціальні стабілізатори. Якщо в посудині для емульгування, який озвучується в безперервному режимі, немає примусового течії рідини, то при досить боргом озвучуванні поблизу областей стоячій хвилі, де амплітуда найменша, може відбуватися коагуляція часток і, як наслідок подальше розшарування емульсії [2, 32].

Основним недоліком електричних методів є неможливість емульгування рідин з помітною в'язкістю.

Недоліком же апаратів роторно-імпульсного типу є наявність великого числа рухомих частин, на привід яких витрачається значна кількість енергії, і які не підвищують експлуатаційну стійкість до зношування обладнання.

Як видно всі методи емульгування мають ряд суттєвих недоліків, які потребують значних удосконалень. Тому необхідна розробка нових способів і устаткування, які дозволять скоротити і оптимізувати витрати енергії в процесах емульгування, диспергування і гомогенізації.

Це все вказує на те, що процеси емульгування, гомогенізації і дроблення залишаються не до кінця вивченими і дана проблема залишається актуальною.



## 2 ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ СПАЛЮВАННЯ ВОДОЕМУЛЬСИВНИХ ПАЛИВ

### 2.1 Особливості горіння паливних емульсій

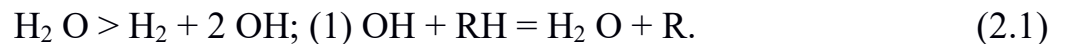
У мазуті, як кінцевому продукті нафтопереробки, зосереджуються найбільш важкі фракції вуглеводнів, продукти термічного крекінгу, окислення, полімеризації, коксування; баласт - негорюча частина, що складається з мінеральної маси, металів, золи, механічних домішок. У процесі крекінгу залишкові фракції збіднюються воднем, що призводить до зниження теплотворної здатності, жаропродуктивності мазуту. Якість мазуту погіршується під час транспортування, при тривалому зберіганні в ємностях мазут окислюється, полимеризується, насичується біологічними організмами, обводнюється; внаслідок хімічних реакцій вуглеводні мазуту перетворюються в тверді, що випадають в осад продукти.

Сполуки, що входять до складу залишкових нафтових палив, асфальтенов, смол, желеподібних згущень, мають довгі, розвинені молекулярні ланцюги, з невисокою стабільністю зв'язків С-С, які можуть бути розірвані під впливом високочастотних коливань і за рахунок масообмінних процесів між шарами оброблюваного середовища. В процесі реакцій змінюється геометрія молекул, ступінь впорядкованості надмолекулярної структури вуглеводнів. Довгі молекулярні сполуки високов'язких вуглеводнів в гідродинамічних пристроях установки розщеплюються на легкі прямоланцюгові вуглеводні, що перетворюються при розвитку реакцій в циклічні або розгалужені радикали. При досить високій температурі, внаслідок впливу високочастотних коливань довгі молекули мазуту розщеплюються на більш короткі з'єднання С<sub>2</sub> - С<sub>5</sub>, які при критичних параметрах оброблюваного середовища, внаслідок фазових перетворень, утворюють газові фракції; молекулярні сполуки С<sub>8</sub> - С<sub>10</sub>, фракції дистилятивних палив С<sub>15</sub>. Термічна обробка викликає складні рекомбінаційні перетворення осколків розірваних молекул в легені вуглеводневі фракції з перерозподілом водню. Нові якісні характеристики мазуту, обумовлені

фазовими перетвореннями, тривалий час зберігають свої властивості в умовах навколишнього середовища без змін.

Встановлено, що при уприскуванні емульсованого палива в камеру згорання паливна струя, зустрічаючи опір повітряного заряду руйнується по межі поділу фаз палива і води, де поверхневий натяг має найменше значення, дробиться на високодисперсні краплі. У камері згорання після прогріву і миттєвого руйнування глобул, осколки важких фракцій, переміщуючись з високою швидкістю, інтенсивно взаємодіють з киснем повітряного заряду, згорають без утворення нагару.

Вміщені в паливі високодисперсні частинки водної фази, при прогріванні в камері згорання перетворюються в парові бульбашки, миттєво дроблять паливні краплі на найдрібніші частинки, які швидше прогріваються, інтенсивніше взаємодіють спочатку з киснем, що утворюється в результаті дисоціації води, спалахують і переміщуючись з киснем повітряного заряду, прискорено згоряють. Вільний радикал ОН має високу хімічну активність, в процесі горіння вступає у взаємодію з вуглеводнями



Швидкість реакції горіння пропорційна концентрації гідроксилу ОН. Молекули води прискорюють хід реакцій в окислювальних процесах і внаслідок виникнення полярного ефекту, істотно поліпшує орієнтацію позитивно і негативно заряджених частинок активних радикалів палива. Внаслідок конверсії в гідродинамічних пристроях газових фракцій, що утворилися в результаті фазових перетворень, що горить з водяною паром мазут збагачується воднем, згоряє з виділенням додаткової енергії, без утворення нагару, зі зменшенням шкідливих викидів. Що знаходиться в складі емульгованого палива водна фаза, може бути дисоційована частково і в ході окислення палива в передпламенивих процесах. Потім, у міру підвищення температури у фазі активного згорання, реакція дисоціації води прискорюється. Утворений при

дисоціації надлишок атомів водню, швидко дифундує в область з надлишком кисню, де їх реакція компенсує витрати енергії на дисоціацію води. Теплота згорання водню 143 кДж/г (в п'ять разів більше ніж у вуглеводнів). Участь в реакції горіння додаткової кількості водню прискорює підвищення температури в області згорання, збільшує кількість продуктів згорання, що відповідно підвищує внутрішню енергію робочого тіла.

В ході експериментальних досліджень встановлено, що додавання до палива (5...10) % води прискорює процес згорання в 5-6 разів.

## 2.2. Теплота згорання емульсованого мазуту

В натуральних рідких паливах горючі елементи знаходяться в різних хімічних сполуках, по теплоті утворення яких немає даних і не представляється можливим врахувати всю різноманітність їх в різних паливах. Тому не можна визначити теплоту згорання палива як суму теплот згорання горючих елементів. Так як теплоту згорання рідких палив неможливо аналітично визначити по їх елементарному хімічному складі, то її визначають експериментально за допомогою калориметра.

Сутність цього методу полягає в тому, що в герметично закриваємій сталевій циліндричній посудині розміщують в середовищі кисню під тиском (2,5...3) МПа навішення випробуваного палива в 1 г. Апарат занурюють у водяний калориметр. Після настання в калориметр сталого теплового стану за допомогою електричного запальника запалюють паливо. За приростом температури води в калориметрі, заміряємому з точністю до 0,001 °С, і масі проби палива обчислюють його теплоту згорання, яка в цьому випадку називається теплотою згорання  $Q_b$ .

У калориметрі водяні пари, що виділяються при згоранні водню і випаровуванні вологи проби палива, конденсуються, виділяючи теплоту пароутворення. Але разом з тим теплота згорання виходить більше, ніж  $Q_b^p$ , так як при згоранні проби палива в середовищі кисню протікають екзотермічні

реакції утворення сірчаної та азотної кислоти, які в топкових умовах не мають місця [22, 38-42].

Ввівши поправку до величини  $Q_6$  на теплоту утворення азотної кислоти і окислення сірчастого газу в  $SO_3$  і розчинення останнього в воді, отримують вищу теплоту згорання, МДж / кг

$$Q_{в}^p = Q_6 - 94,3 \cdot 10^{-2} S_{ор+к} - 4,19 \cdot 10^{-6} Q_6. \quad (2.2)$$

У формулі (2.2)  $Q_6$  - теплота згорання, виміряна в апараті;  $94,3 \cdot 10^{-2} S_{ор+к}$  - теплота, що виділяється при окисленні  $SO_2$  і  $SO_3$  і розчинення останньої в воді;  $4,19 \cdot 10^{-6} Q_6$  - теплота утворення азотної кислоти для рідких палив. Умови експериментів наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Умови експериментів

Фактор	Код	Рівні варіювання					Інтервал варіювань $\Delta$
		-1,414	-1	0	1	+1,414	
Температура емульсії, °С	$X_1$	28	40	70	100	116	30
Вміст води, %	$X_2$	0	6	18	30	36	12
Вміст емульгатора, %	$X_3$	0	2	6	10	12	4
Дисперсність, мкм	$X_4$	10	20	40	60	70	20

Обробку отриманих даних по теплоті згорання водомазутної емульсії з добавками дизельного палива виробляли з використанням методів планування експериментів. Приймаємо, що теплота згорання визначається температурою емульсії, вмістом води, вмістом емульгатора і кількістю крапель води в одиниці об'єму емульсії. Перераховані фактори були обрані в якості варійованих

змінних. Температуру емульсії  $X_1$  змінювали в діапазоні (40...116) °С. Вміст води  $X_2$  - в межах (0...36). Вміст емульгатора  $X_3$ -від 0 до 12. Дисперсність  $X_4$  - в ході експериментів становила (10...70) мкм. Матриця планування експериментів представлена в таблиці 2.3.

В якості залежної змінної  $Y$  розглядали теплоту згорання. Для виключення систематичної помилки встановлювали випадковий порядок постановки дослідів в часі. Матриця планування експериментів і результати дослідів з визначення теплоти згорання водомазутної емульсії надані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2- Матриця планування експериментів

фактор				Y
X1	X2	X3	X4	
+	+	+	+	6030
-	+	+	+	5920
+	-	+	+	8290
-	-	+	+	7600
+	+	-	+	5930
-	+	-	+	7750
+	-	-	+	7980
-	-	-	+	5430
+	+	+	-	5920
-	+	+	-	5710
+	-	+	-	8000
-	-	+	-	7510
+	+	-	-	7700
-	+	-	-	5250
+	-	-	-	5390
-	-	-	-	5200
-1,414	0	0	0	6900
+1,414	0	0	0	6300
0	-1,414	0	0	6100
0	+1,414	0	0	7200
0	0	-1,414	0	8400
0	0	+1,414	0	8000
0	0	0	-1,414	6300
0	0	0	+1,414	6200
0	0	0	0	6500

Для опису багатофакторної залежності обраний ортогональний багатокомпозиційний план  $2^4$  і квадратична модель. Математико-статистичну обробку експериментів виробляли за прийнятою методикою [40]. Перевірку відтворюваності дослідів проводили за критерієм Кохрена. Значимість отриманих коефіцієнтів рівняння регресії визначали критерієм Стюдента.

Адекватність отриманої математичної моделі оцінювали за допомогою F - критерію Фішера. Після обробки результатів експериментів отримано рівняння регресії для обчислення параметра оптимізації з точністю до 1 %.

$$\begin{aligned}
 Y = & 6976.946 + 283.42X_1 - 339.77X_2 + 248.28X_3 + 217.07X_4 - 246.9966X_1^2 - \\
 & -222.0042X_2^2 + 552.7617X_3^2 - 421.9439X_4^2 - 176.25X_1 \cdot X_2 - \\
 & -126.25X_1 \cdot X_3 - 103.75X_1 \cdot X_4 - 662.5X_2 \cdot X_3 - 125X_2 \cdot X_4 - 187.5X_3 \cdot X_4
 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Вплив досліджуваних факторів показано на діаграмі (див.рис.2.1).

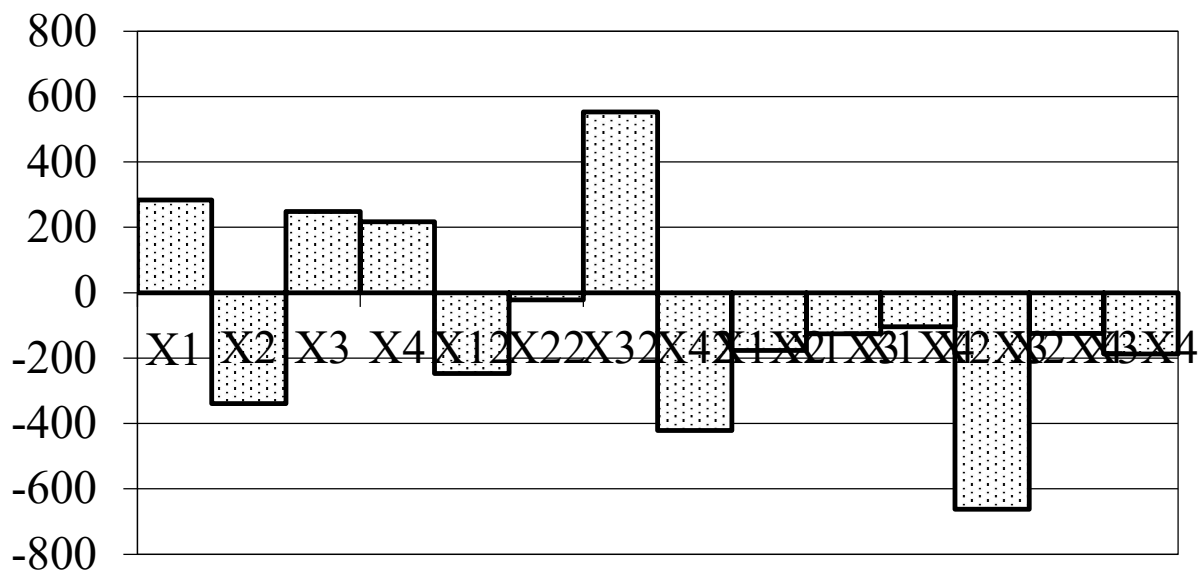


Рисунок 2.1-Діаграма значущості факторів моделі.

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший вплив на теплоту згорання надає фактор  $X_2$  - вміст води в емульсії. Очевидно, що зі збільшенням обсягу дискретної фази води теплота згорання водо-мазотної емульсії

знижується, що і відображено якісно і кількісно в результатах експериментів. Слід зазначити, що при спалюванні палива ця залежність проявляється інакше. В процесі диспергування ВМЕ краплі води при закипанні, розриваючись, надають додатковий вплив на процес дроблення. В результаті цього утворюється потік з великою дисперсністю. У свою чергу, краплі менших розмірів швидше випаровуються і факел стає коротшим. Таким чином, спалювання відбувається ефективніше з меншими хімічним і механічним недополами. Тому, незважаючи на помітне зниження теплоти згорання ТЕ при збільшенні вмісту в ній води, вода безумовно надає позитивний ефект. Однак, значне збільшення обсягу води недоцільно. У наших експериментах встановлювалася гранична концентрація  $H_2O$  – 23 %, перевищення якої призводило до необґрунтованого зниження теплоти згорання.

Наступний за ступенем впливу на теплоту згорання фактор -  $X_1$  - температура емульсії. З підвищенням температури емульсії збільшується теплота згорання, оскільки менше енергії витрачається на нагрів палива.

У наших експериментах в якості емульгатора використано дизельне паливо (фактор  $X_3$ ), яке виконувало ще й функцію пластифікатора. При попередньому грубодисперсному емульгуванні з подальшим охолодженням емульсії спостерігалася наступна закономірність. При зниженні температури до 60 °С змінювалася структура мазуту (в експериментах М-100) і вода "вижималась" у великі краплі, які потім зливалися в проміжні шари. При додаванні дизельного палива до 10 % це явище не спостерігалось. ТЕ мала однорідну структуру. Таким чином, наявність дизельного палива в ТЕ підвищувало стійкість емульсії, що в свою чергу позначалося і на теплоті згорання. Крім того, дизельне паливо саме по собі є в даному випадку висококалорійною добавкою до палива.

Фактор  $X_4$  - дисперсність - визначає стійкість емульсії (див.рис.2.2). Очевидно з вищесказаного, що підвищення ступеня дисперсності сприяє збільшенню теплоти згорання, але швидше за все опосередковано.

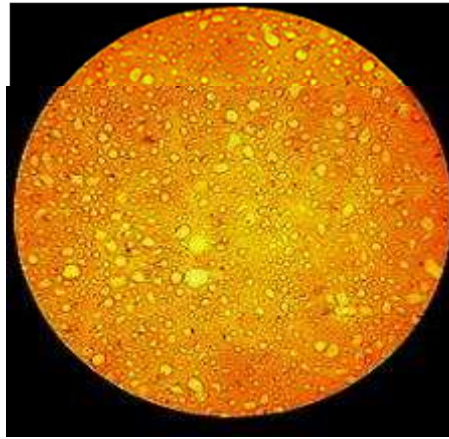


Рисунок 2.2 - Фотографія емульсії M100 (вміст вологи 12 %)

Вплив коефіцієнтів при квадратичних факторах відображає, швидше за все, особливості вибору діапазону зміни варійованих величин факторів. Таким чином, при зміщенні коефіцієнтів при чинниках були б іншими і інші коефіцієнти. Тому закономірності  $Y=f(X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_4^2, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4)$  опускаємо.

### 2.3 Склад продуктів згорання паливних емульсій

При спалюванні мазуту утворюється значна кількість відпрацьованих газів, які викидаються в атмосферу і в складі яких неминуче присутні різні сполуки, які мають шкідливий вплив на здоров'я людини і навколишню природу.

#### *Механічний недопал.*

При спалюванні мазуту найбільші труднощі при експлуатації та налагодженні установок пов'язані головним чином з обмеженням викидів сажі, оксидів сірки і оксидів азоту. Підвищення вмісту частинок сажі легко виявляється за кольором газів на виході димової труби. Абсолютно прозорий вихлоп вказує на відсутність або порівняно низький вміст сажистих викидів, які за величиною можуть бути еквівалентні недопалу палива в (0...0,2) %. Такий результат вдається отримати при спалюванні паливної емульсії з вологістю



(12...15) % і дисперсністю до 40 мкм. При досить прозорому сірому кольорі викидів сажі недопал палива становив (0,2...0,5) %, щільний чорний дим вказує на те, що, недопал палива може бути (0,5...1) % і більш. Слід зазначити, що у всіх вищезазначених випадках загальний механічний недопал палива може перевищувати наведені значення через наявність недопалу в великих золоних і коксових частках, які слабо впливають на візуальну оцінку викидів.

Процес сажоутворення в топковому пристрої тісно пов'язаний з конструкцією топки, видом палива, що спалюється і режимом горіння.

За сажоутворенням можна судити про процес горіння і оптимальності його характеристик. Хоча в ряді випадків наявність сажі в факелі дозволяє в якійсь мірі оптимізувати роботу топкового пристрою (збільшити тепловіддачу факела, знизити викиди  $NO_x$ ).

#### *Викиди оксидів сірки.*

Іншими шкідливими викидами є оксиди сірки. Сірка присутня в мазуті головним чином у вигляді органічних сполук. У меншій мірі вона присутня у вигляді сірководню і сірки елементарної.

У топочному процесі в окислювальній атмосфері сірка згорає і переходить в сірчистий ангідрид  $SO_2$ . Залежно від температури і концентрації кисню частина утворюється  $SO_2$  може переходити в  $SO_3$ . При нестачі повітря в факелі може утворитися також і сірководень  $H_2S$ . Всі ці сполуки є сильнотоксичними речовинами.

Великий вплив на утворення сполук сірки надає режим горіння. Так, наприклад, при спалюванні мазуту з надлишком повітря  $\alpha = 1,1 \div 1,2$  і підводі всього повітря до кореня факела в ядрі факела розвивається порівняно висока температура при великому температурному градієнті між ядром і периферійною зоною факела. Крекінг в ядрі факела супроводжується утворенням простих, легко спалювальних молекул з малим сажовиділенням. При цьому на першій стадії сірка, що міститься в паливі, окислюється до  $SO_2$ .

Вивчення утворення  $SO_3$  за наведеними вище реакціями в топкових пристроях вказує, що окислення  $SO_2$  до  $SO_3$  здійснюється головним чином

атомарним киснем. Тому на концентрацію  $\text{SO}_3$ , крім термодинамічних факторів - концентрації та температури реагуючих речовин, - впливає сукупність умов вигорання і охолодження факела.

Залежно від температурних умов і концентрації атомарного кисню в реальних умовах з підвищенням температури може спостерігатися як зростання, так і зниження концентрації  $\text{SO}_3$  у вихідних топкових газах. Однак, у всіх випадках при спалюванні сірчастого палива з надлишком повітря більш  $\alpha = 1,1$  у вихідних газах спостерігається високий вміст  $\text{SO}_3$ , який коливається в межах (0,005...0,01) %.

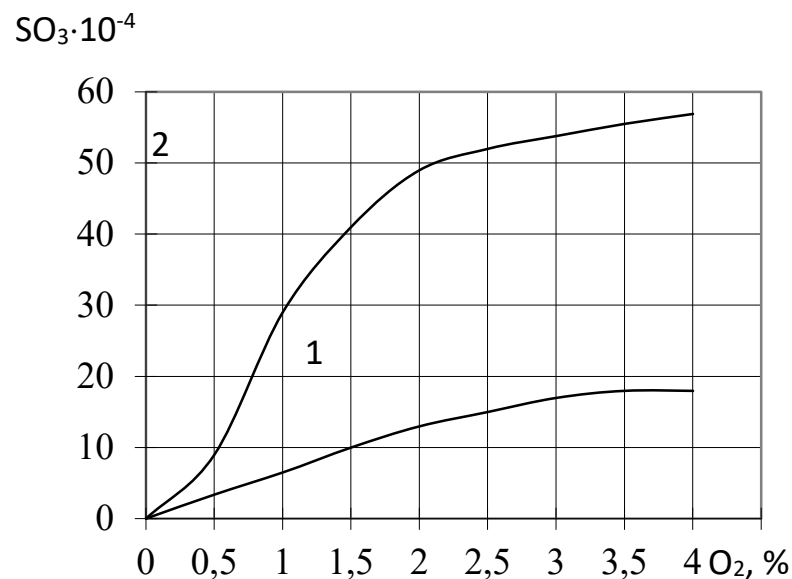
Спалювання сірчастого мазуту з малим надлишком повітря ( $\alpha < 1,05$ ) обумовлює погіршення сумішоутворення і підвищення теоретичної температури горіння. Залежно від ефективності сумішоутворення горіння при малому надлишку повітря може супроводжуватися утворенням  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  та інших, більш важких, молекул вуглеводнів, а також коксових частинок і сажі.

Спалювання палива з низьким надлишком повітря розтягує зону горіння, що супроводжується зниженням максимальної температури в ядрі і зниженням температурного градієнта в обсязі факела. Зниження температури в ядрі факела і наявність малого надлишку повітря, що сприяє зменшенню концентрації атомарного кисню, запобігає окисненню  $\text{SO}_2$ . Крім того, в газифікаційній зоні факела протікають відновні реакції по перетворенню  $\text{SO}_3$  в  $\text{SO}_2$ . Збіднення ядра факела киснем перешкоджає також переходу  $\text{V}_2\text{O}_4$  в  $\text{V}_2\text{O}_5$ . Таким чином, спалювання високосірчаного палива з малим надлишком повітря знижує корозійну активність продуктів згорання в зв'язку з наявністю в них агресивних оксидів сірки і ванадію.

Характерні залежності концентрації  $\text{SO}_3$  у вихідних газах від вмісту кисню і навантаження для котельного агрегату продуктивністю 450 т / год при спалюванні мазуту  $S_p \approx 3$  %. Наведені на рисунку 2.3.

За даними робіт [8] суттєве зменшення корозійної активності димових газів слід очікувати при утриманні  $S_3 < 0,002 \%$  в відпрацьованих газах, що відповідає вмісту  $O_2 < 0,5 \%$  або  $\alpha < 1,04 \div 1,03$ .

Таким чином, спалювання високосірчаного мазуту з малим надлишком повітря різко знижує корозійну активність продуктів згорання в зв'язку з наявністю в них оксидів сірки і ванадію. Однак, для ефективного спалювання мазуту з малим надлишком повітря необхідно забезпечити гарне його розприскування і інтенсивне змішування з повітрям. Тільки така організація процесу дозволяє здійснити спалювання при малому надлишку повітря з допустимими втратами від хімічного і механічного недопалу. У деяких випадках спалювання палива з малим надлишком повітря може виявитися практично неможливим (низька ефективність пальників, великі присоси повітря в топку і т. п.).



1 - навантаження 100 %; 2 - навантаження 50 %.

Рисунок 2.3 - Концентрація  $SO_3$  в димових газах котельного агрегату в залежності від вмісту кисню в повітрі для горіння.

Деяка частка сірки, що міститься в паливі, може зв'язуватися мінеральною частиною палива. Здатність мінерального палива вступати в хімічні з'єднання з

сіркою визначається вмістом в ньому різних активних компонентів. Такими компонентами головним чином є CaO і MgO. На жаль, в рідкому паливі наявність CaO і MgO незначно і кількість зв'язаної сірки при спалюванні мазуту не перевищує 2 % загального вмісту палива. Однак такий спосіб зв'язування сірки використовується і при спалюванні мазуту шляхом додаткового введення в топку доломіту, магнезиту або вапна.

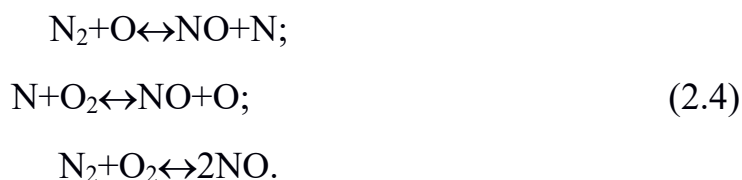
#### *Викиди оксидів азоту.*

В даний час велика увага при проектуванні і експлуатації топкових пристроїв приділяється проблемі зниження викидів оксидів азоту. На повітрі оксид азоту легко переходить в діоксид. У певних концентраціях ці оксиди азоту мають різко виражений токсичний й дратівливий вплив на живий організм.

У загальному випадку механізм реакцій утворення окислів азоту залежить від природи і концентрації реагентів, тобто від сполук, що містять азот і кисень. В даний час розрізняють три основних механізми реакції утворення NO: тепловий механізм, механізм утворення "паливного" оксиду азоту і механізм "швидкої" NO.

При розгляді теплового механізму найчастіше наводяться три основні схеми реакції:

1. Процес утворення оксидів азоту по тепловому механізму розроблений Я. Б. Зельдовичем виходячи з ланцюгового механізму реакції:



У цьому випадку швидкість реакції утворення NO визначається залежністю

$$\frac{dNO}{d\tau} = \frac{5 \cdot 10^{11}}{\sqrt{O_2}} e^{-\frac{86000}{RT}} \left[ O_2 N_2 e^{-\frac{43000}{RT}} - (NO)^2 \right], \quad (2.5)$$

де  $O_2$ ,  $N_2$  і  $NO$  - миттєві концентрації компонентів, г-моль / л;

$\tau$  - час, с;  $T$  - температура в зоні реакції, К. звідси рівноважна концентрація при  $dNO / d\tau = 0$  виражається залежністю виду

$$NO_p = 8 \sqrt{\frac{O_2 N_2}{3}} e^{-\frac{43000}{2RT}}. \quad (2.6)$$

2. Механізм Кауфмана передбачає, крім протікання реакцій виду (2.4), утворення  $NO$  також шляхом молекулярної реакції  $N_2 + O_2 \leftrightarrow 2NO$ .

3. У механізмі, запропонованому Хейвудом, крім вищенаведених реакцій, додаються реакції за участю радикалів  $H$  і  $OH$ :



Аналіз різних механізмів утворення  $NO$  і звідношення з експериментальними даними показує, що вплив додаткових реакцій незначний, а результати розрахунків по другій і третій схемами не надто відрізняються від розрахунків за простішою першою схемою, тому в більшості практичних випадків аналіз процесу утворення  $NO$  при спалюванні палива може здійснюватися на основі механізму, запропонованого Я. Б. Зельдовичем. Підвищення вмісту води при емульгуванні до 23 % (оптимальна кількість, встановлене в роботі) сприяє більшою мірою механічному руйнуванню суцільної рідкої фази, подрібненню і інтенсивному перемішуванню крапель мазуту.

При оптимальній організації процесу спалювання можна отримати зниження викидів  $\text{NO}_x$  до 50 % при переводі обладнання на роботу з малим надлишком повітря, до 50 % при подачі газів рециркуляції в корінь факела, до (30...40) % при двоступеневій подачі окислювача, до 40 % при збільшенні тепловідведення і до 30 % при введенні пари або уприскуванні води в зону горіння. Слід зазначити, що ефект придушення  $\text{NO}_x$  за рахунок одночасного застосування різних способів не відповідає сумарному ефекту від кожного способу окремо. Як показує досвід одночасне застосування, наприклад, малого надлишку повітря і рециркуляції дозволяє зменшити викиди  $\text{NO}_x$  тільки на (50...70) %.

Іншим фактором, який впливає на утворення оксиду азоту, є час перебування компонентів в зоні реагування. У топкових пристроях розміри цієї зони залежать від багатьох умов: потужності топкового пристрою, потужності окремих пальників, компонування пальників, інтенсивності сумішоутворення, дисперсності розпилювання і т. п. Час перебування газової суміші в зоні реагування не еквівалентне часу перебування в обсязі топки і досить важко піддається розрахунку параметром. Для визначення цього часу необхідно знати аеродинамічні і температурні поля в котельній камері. З аналізу характеристик топкового процесу можна припустити, що час реагування зменшується при зменшенні потужності топкової камери, зменшення потужності окремих пальників, підвищення теплової напруги топкового об'єму. Зменшення часу згорання може призвести до істотного зниження утворення  $\text{NO}_x$  тільки в тому випадку, якщо одночасно буде передбачене інтенсивне відведення теплоти від ядра факела, а також від продуктів реакції після завершення процесу горіння.

Дослідження утворення оксидів азоту в топкових пристроях парових котлів, високонапірних парогенераторів і камерах згорання газотурбінних установок проводилося багатьма авторами. В результаті цих досліджень були отримані докладні матеріали, добре узгодженні з вищевикладеними фізико-хімічними процесами. Так, наприклад, було встановлено, що основна частка

оксидів азоту при горінні (до 80 %) утворюється в обсязі зони максимального тепловиділення.

У топкових пристроях спостерігається також сильна залежність концентрації  $\text{NO}$  від максимальної температури факела і концентрації кисню.

У зв'язку з цим у всіх топкових пристроях спостерігається максимум в залежності  $\text{CNO}_x = f(\alpha)$  при  $\alpha \approx 1,15 \div 1,25$ . При зменшенні  $\alpha$  концентрація  $\text{NO}_x$  різко падає внаслідок зменшення концентрації кисню і одночасному незначному збільшенні температури в ядрі факела. У зв'язку з цим оптимальним надлишок повітря при факельній спалюванні слід вважати  $\alpha = 1,01 \div 1,02$ , при якому концентрація оксидів азоту знижується на (40...50) %. Можливості реалізації таких низьких надлишків повітря залежать від стабільності характеристик горіння при зниженні  $\alpha$ .

При роботі з малим надлишком повітря велике значення має рівномірність розподілу повітря по пальникам. Нерівномірність подачі повітря збільшує концентрацію  $\text{NO}_x$  в топкових газах. Це пояснюється значним збільшенням концентрації  $\text{NO}_x$  в пальниках, що працюють з великим надлишком, і незначним зменшенням в пальниках, що працюють з недоліком повітря. Відомо також, що в цьому випадку значно ускладнюється можливість досягнення високої повноти горіння.

Безпосередніми вимірами встановлена сильна залежність утворення  $\text{NO}_x$  від способу і ступеня рециркуляції. Найбільш ефективним способом рециркуляції є безпосереднє підведення інертних низькотемпературних газів в зону максимальних температур. Досить велике зниження  $\text{NO}_x$  (до 50 %) при незмінних характеристиках горіння можна отримати при циркуляції (15...20) % і температурі газів рециркуляції (300...500) °С.

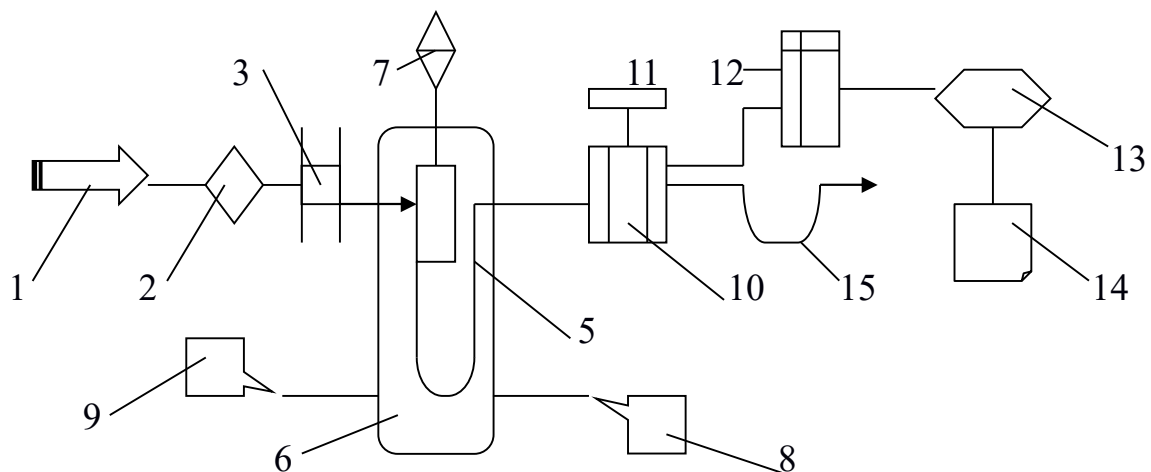
Існування кількох механізмів утворення оксидів азоту при спалюванні палива значно ускладнює розробку методів зниження їх концентрації в газах що викидаються в атмосферу. У зв'язку з цим до теперішнього часу не розроблено досить точних методів розрахунку викидів оксиду азоту, які враховували б все різноманіття впливаючих на цей процес факторів.

## 2.4 Вплив структури ТЕ на склад продуктів згорання

За допомогою фізико-хімічних методів аналізу продуктів згорання палива можна визначити їх кількісний склад. Для реалізації цієї методики вимірювання використовують прилад «Газохром 3201», який фіксує в відпрацьованих газах наявність  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  і т.п.

Хроматографічний аналіз - це метод розподілу газоподібних сумішей, заснований на різній сорбції їх компонентів окремим сорбентом в динамічних умовах. Хроматографічний аналіз полягає в пропусненні газу через колонку, що заповнена сорбентом. Якщо компоненти суміші абсорбуються з різною інтенсивністю, то в процесі проходження по пласту сорбенту вони поділяються і їх можливо отримати з колонки у вигляді окремих фракцій.

Дослідження з визначення вмісту  $\text{NO}_x$  в продуктах згорання виконані на лабораторній установці, показаній на рисунку 2.4.



1 - Газ - носій; 2 - Регулятор витрати газу; 3 - Регулятор потоку; 4 - Дозатор - випарник; 5 - Хроматографічна колонка; 6 - Термостат; 7 - Дозатор; 8 - Терморегулятор; 9 - Прилад для програмування температури; 10 - Детектор; 11 - Харчування детектора; 12 - Підсилювач; 13 - Самописець; 14 - Інтегратор з принтером; 15 - Пастка

Рисунок 2.4 - Схема хроматографа



При проведенні хроматографічного аналізу послідовно виконувалися наступні операції:

1. Отримання первинної хроматограми, коли через пласт сорбенту пропускають порцію суміші газів. Первинні хроматограми можна використовувати для якісного, а іноді і кількісного аналізу, порівнюючи їх з аналогічними хроматограму стандартних речовин.

2. Отримання виявленої хроматограми, коли для повного розподілу речовин первинну хроматограму миють чистим розчином. При цьому в результаті різної сорбруемості компонентів аналізованої суміші перемішуються в пласті сорбентів з різною швидкістю, що призводить до утворення зон окремих компонентів і їх поступового розчинення. Ці хроматограми можна використовувати для якісного і кількісного аналізу.

3. Витіснення речовин з фази сорбенту.

Для кількісного визначення речовин після їх розподілу в пласті сорбенту необхідно кожен з компонентів аналізованої суміші витіснити з сорбенту окремо. Для цього використовуються такі способи:

1. Аналіз промивання - коли крізь виявлену хроматограму, через шар сорбенту пропускають чистий розчин до повного вимивання компонентів аналізованої суміші.

2. Аналіз вимиванням - у багатьох випадках найбільш ефективно вимивання окремих компонентів за допомогою реагентів, які утворюють з ними з'єднання і не адсорбуються даною речовиною.

3. Витискувальний аналіз - після отримання виявленої хроматограми через сорбент пропускають речовини, які найкраще адсорбують компоненти аналізованої суміші.

4. Фронтальний аналіз - через пласт сорбенту пропускають порцію суміші аналізованих речовин і вимірюють концентрацію кожного з них на виході з колонки.

Тиск газу перед надходженням до колонки вимірюється манометром, а його витрати — ротаметрами. Перед колонкою розташовується пристрій для введення проби, що аналізується (дозатор - випромінювач). Ця проба вводиться в дозатор разом з газом - носієм, переміщається в хроматографічну колонку. Безпосередньо на виході з колонки розміщується детектор, що вимірює кількість компонента, який знаходиться в газі - носії. Зміна складу газової суміші фіксується датчиками, які реагують на відповідні зміни в електричній схемі. Таким чином, на самописці записується крива зміни електричного потенціалу за певний термін, пропорційний концентрації або току речовини в газі - носії на виході з колонки. З цієї кривої - хроматограмми роблять висновки про якісний і кількісний склад аналізованої суміші.

Обробку отриманих даних за вмістом  $\text{NO}_x$  в продуктах згорання водо-мазотної емульсії з добавками дизельного палива виробляли з використанням методів планування експериментів. Приймаємо, що  $\text{NO}_x$  емульсії визначається відношенням вмісту мазуту до вмісту води, вмістом дизельного палива, витримкою емульсії і коефіцієнтом надлишку повітря. Перераховані фактори були обрані в якості варійованих змінних. Відношення вмісту мазуту до вмісту води  $X_1$  змінювали в діапазоні  $0,6 \div 1,0$  %. Кількість дизельного палива  $X_2$  - в межах  $0 \div 30$  %. Витримку емульсії  $X_3$  - від 0 до 12 годин. Коефіцієнт надлишку повітря  $X_4$  - в ході експериментів становив  $1 \div 1,5$ . Умови експериментів представлені в таблиці 2.3.

В якості залежної змінної  $Y$  розглядали вміст  $\text{NO}_x$  в продуктах згорання. Для виключення систематичної помилки встановлювали випадковий порядок постановки дослідів в часі. Матриця планування експериментів і результати дослідів з визначення вмісту  $\text{NO}_x$  в продуктах згорання водо-мазотної емульсії наведені в таблиці 2.4. Для опису багатofакторної залежності обраний ортогональний багатокомпозиційний план  $2^4$  і квадратична модель.

Таблиця 2.3 -Умови експериментів

фактор	Код	Рівні варіювання					Інтервал варіювання, Δ
		-1,414	-1	0	1	+1,414	
Відношення вмісту мазуту до вмісту води, %	X1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	0.1
Вміст дизельного палива, %	X2	0	5	15	25	30	10
Витримка емульсії, год.	X3	0	1	6	11	12	5
Коефіцієнт надлишку повітря	X4	1	1,1	1,25	1,4	1,5	0,15

Математико-статистичну обробку експериментів проводили за прийнятою методикою [19, 20]. Перевірку відтворюваності дослідів проводили за критерієм Кохрена. Значимість отриманих коефіцієнтів рівняння регресії визначали критерієм Стьюдента.

Адекватність отриманої математичної моделі оцінювали за допомогою F-критерію Фішера. Після обробки результатів експериментів отримано рівняння регресії для обчислення параметра оптимізації з точністю до 0,7 %.

$$Y=1.387-3.6 \cdot 10^{-2} X_1+4.08 \cdot 10^{-2} X_4+8.54 \cdot 10^{-3} X_3^2-2.187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_2-0.0194 X_1 \cdot X_3-2.187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_4+0.0118 X_2 \cdot X_4 \quad (2.8)$$

Таблиця 2.4-Матриця планування експериментів

фактор				Y
X1	X2	X3	X4	
+	+	+	+	1.38
-	+	+	+	1.52
+	-	+	+	1.4
-	-	+	+	1.48
+	+	-	+	1.4
-	+	-	+	1.5
+	-	-	+	1.39
-	-	-	+	1.45
+	+	+	-	1.3
-	+	+	-	1.4
+	-	+	-	1.34
-	-	+	-	1.38
+	+	-	-	1.31
-	+	-	-	1.35
+	-	-	-	1.45
-	-	-	-	1.3
-1.414	0	0	0	1.28
+1.414	0	0	0	1.5
0	-1.414	0	0	1.4
0	+1.414	0	0	1.37
0	0	-1.414	0	1.38
0	0	+1.414	0	1.42
0	0	0	-1.414	1.43
0	0	0	+1.414	1.34
0	0	0	0	1.38

Вплив досліджуваних факторів показано на діаграмі (рис. 2.5).

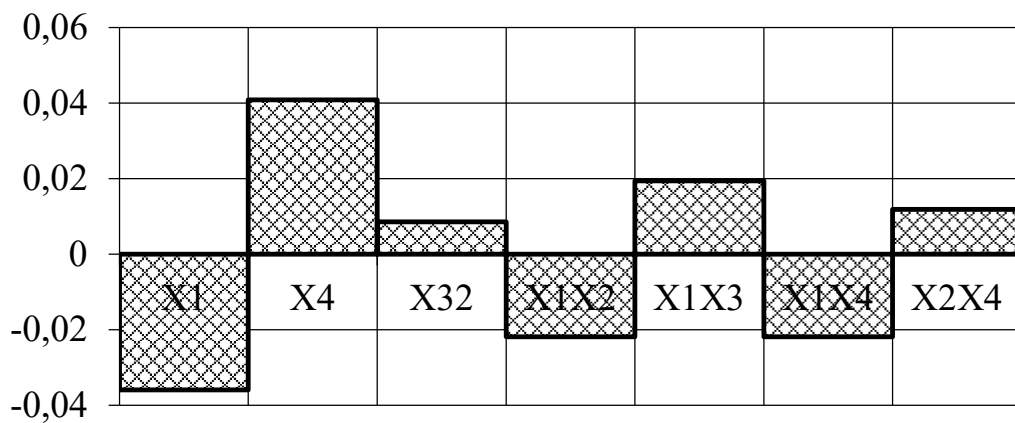
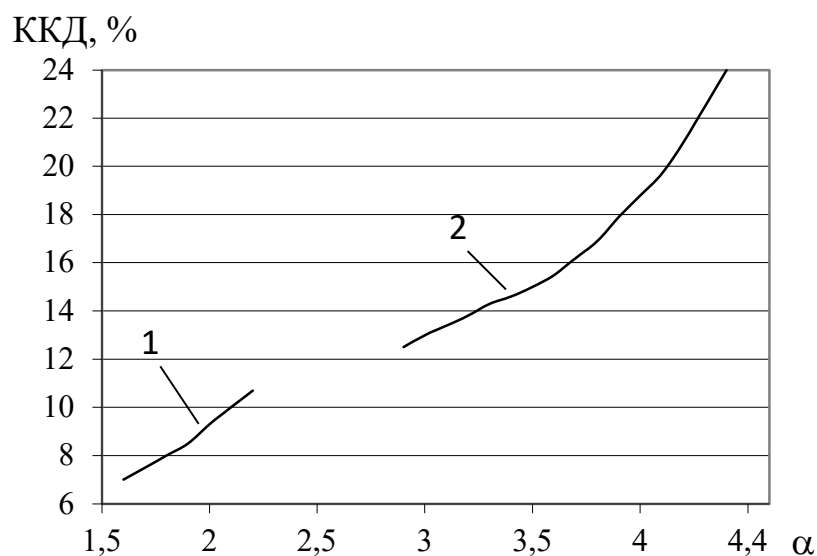


Рисунок 2.5 - Діаграма значущості факторів моделі

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший вплив на вміст  $\text{NO}_x$  в продуктах згорання надає відношення вмісту мазуту до вмісту води ( $X_1$ ), причому цей вплив проявляється і у взаємодії з  $X_2$  (вміст дизельного палива) і  $X_4$  (коефіцієнт надлишку повітря).

Очевидно, що зі збільшенням кількості води в співвідношенні  $C_M/C_B$  вміст  $\text{NO}_x$  в продуктах згорання зменшується. Порівняльний аналіз процесу горіння мазуту і водо-мазутної емульсії показав, що диспергована волога надає як фізичний, так і хімічний вплив на топкові процеси [22]. Фізичний вплив полягає в явищі мікроривів дрібних крапельок води, що знаходяться всередині паливної оболонки. При цьому відбувається додаткове перемішування палива з повітрям. Дисоціація водяної пари, що вивільнилася в результаті мікроривів, призводить до збільшення концентрації активних центрів реакції. Значні концентрації гідроксильного радикала збільшують швидкість вигорання окису вуглецю. Додатково покращує вигорання водо-мазутної емульсії реакція водяної пари - реакція між парою і розпеченим вуглецем. Поліпшення перемішування частинок палива і повітря за рахунок «мікроривів» дозволяє знизити надлишок повітря до критичної позначки і таким чином підвищити ККД котла (див.рис. 2.6).



1—робота на водо-мазутної емульсії; 2—робота на мазуті

Рисунок 2.6 - Залежність втрат ККД від коефіцієнта надлишку повітря

Спалювання емульсій призводить до зменшення оксидів азоту в продуктах згорання, так як знижується температура полум'я. Крім того, збільшення кількості активних центрів реакції активізує горіння і відповідно знижує концентрацію атомарного кисню. В результаті знижується швидкість окислення азоту. Швидке і повне вигорання палива сприяє зменшенню кількості сажі.

Що стосується впливу фактора  $X_4$  коефіцієнт надлишку повітря, зазначимо наступне. За ступенем впливу на  $Y$  він домінує і проявляється прямопропорційна залежність. Експериментально встановлено, що вона має екстремальний характер. Збільшення виходу  $NO_x$  до критичного значення пояснюється підвищенням концентрації вільного кисню. При подальшому підвищенні  $\alpha$  на вихід  $NO_x$  впливає температура горіння. При зміні  $\alpha$  змінюється також і теоретична температура горіння. Графік на рисунку 2.7 являє собою залежність  $NO$  не тільки від  $\alpha$ , але також і від температури. При постійній температурі зі збільшенням  $\alpha$  вихід  $NO$  збільшується.

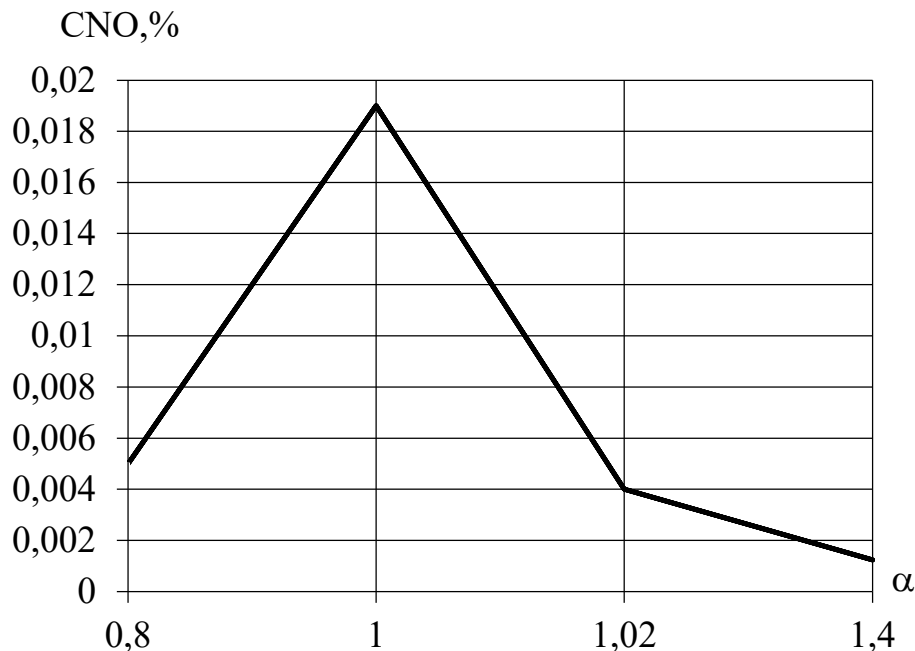


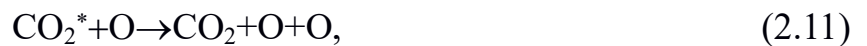
Рисунок 2.7 - Вихід окислів азоту в залежності від коефіцієнта надлишку повітря

Було встановлено, що в факелі NO утворюється в основному в зоні максимальних температур і в порівняно вузькому їх діапазоні на ділянці малої довжини. При форсуванні факела концентрація NO зростає пропорційно  $q_F^{0.5}$  (де  $q_F$  - поверхнева щільність тепловиділення, МВт / м<sup>2</sup>).

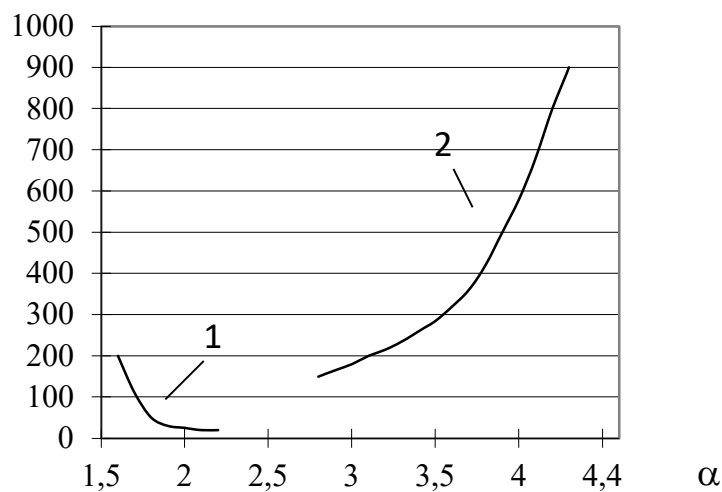
Виходячи з експериментально встановленого факту, що в зоні реакції при високих температурах утворюється атомарний кисень, кількість якого в кілька разів перевищує кількість атомарного кисню, що утворюється в результаті дисоціації атмосферного повітря, представляється наступний механізм утворення окисів азоту:



При цьому атомарний кисень утворюється в значній кількості в проміжних стадіях протікання реакції горіння вуглеводнів і окису вуглецю (рис. 2.8), зокрема по реакції (2.11)



Концентрація CO



1—робота на водо-мазутній емульсії; 2—робота на мазуті

Рисунок 2.8 - Концентрація CO в продуктах згорання

Розпад надмірної кількості молекулярного кисню відбувається в зіткненнях з утвореними в процесі горіння активованими молекулами вуглекислого газу  $\text{CO}_2$ , Що призводять до розриву зв'язків в молекулі кисню і звільнення його атомів. В утворенні атомарного кисню значно меншу роль грає термічний розпад молекул кисню.

У топковій камері температура горіння нижче, ніж в дослідах [21], Так як значна частина тепла, що виділяється передається екранним поверхням. У цих умовах максимальний вихід окисів азоту виходить при  $\alpha = 1,10 \div 1,15$ . В діапазоні зміни  $\alpha$  від 1,0 до зазначених величин температура горіння в котельній камері змінюється не сильно і переважаючий вплив на вихід оксидів азоту надає підвищення концентрації кисню.

Отже, при малих надлишках повітря ( $\alpha_T = 1,02 \div 1,03$ ) і менш високих температурах горіння зменшення утворення атомарного кисню може привести до зменшення виходів окисів азоту.

Ці умови також приведуть до зменшення утворення сірчаного ангідриду, що протікає по реакціях:



або



де  $h\nu$  - квант випромінювання;

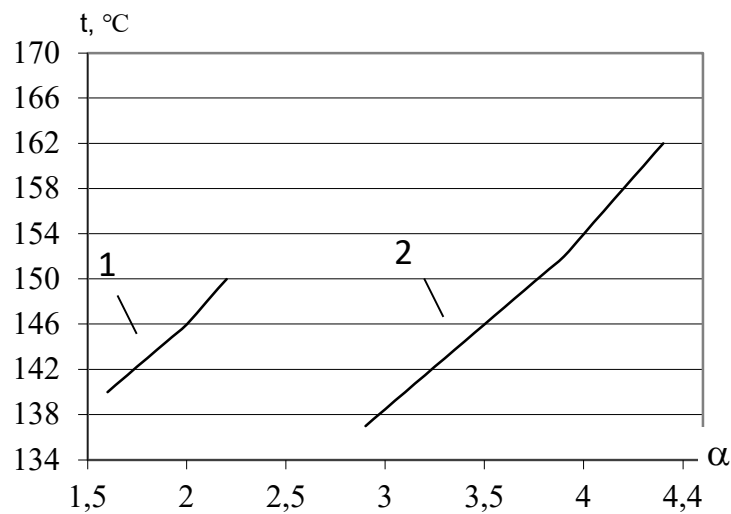
M - молекула інертного речовини.

Двоокис сірки, будучи найбільш окислюваним з утворюючихся газоподібних продуктів згорання, реагує з атомом кисню, перетворюючись в молекулу  $\text{SO}_3^*$  з запасом надлишкової енергії. При цьому надлишкова енергія кисню поглинається, частково витрачаючись на утворення додаткових зв'язків і



на випромінювання знову утвореною молекулою  $\text{SO}_3$  або витрачається при зіткненні її з іншими молекулами.

Зазначені умови досягаються при деяких способах організації топкового процесу, застосовуваних для зменшення утворення окисів азоту та  $\text{SO}_3$ . До них відносяться: рециркуляція продуктів згорання, відібраних з газоходу за економайзером або за повітряпідігрівачем в нижню частину камери згорання. Рециркульовані гази подаються через сопла, що розташовуються нижче пальників або через пальники. Рециркуляція одночасно знижує температуру і концентрацію кисню; внутрішня рециркуляція газів зниженої температури; двоступеневе спалювання, при якому горіння основної маси палива йде при нестачі повітря, а решта горючих дожигается в зоні знижених температур; зниження температури уприскуванням пари або емульгуванням мазуту (див. рис. 2.9).



1 – робота на водо-мазутній емульсії; 2 – робота на мазуті

Рисунок 2.9 - Залежність температури продуктів згорання від коефіцієнта надлишку повітря

Застосування цих методів спалювання сприятиме також підвищенню надійності роботи парогенераторів на мазуті. Високі температури горіння, характерні для спалювання газу і мазуту, обумовлюють великі теплові напруги поверхонь нагріву, що викликає загрозу перепалу екранних труб. Зниженням

температурного рівня в нижній частині камери згорання ця загроза може бути знята.

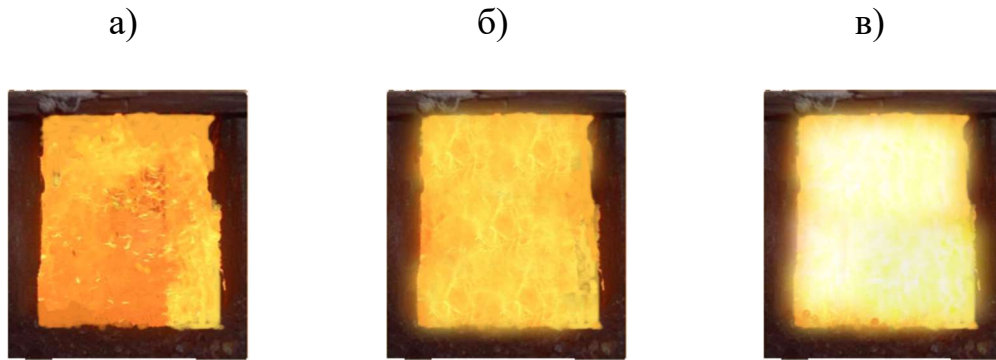
Залежність  $Y$  від витримки емульсії  $X_3$  має нелінійний характер, обумовлений швидше за все кінетикою коагуляції частинок дискретної фази. Але нами встановлено, що при значній стійкості ЕТС цей вплив практично не значимий.

У ефекти взаємодій проявляється вплив домінуючого фактора. Виняток становить  $X_1 \cdot X_4$ . Мабуть збільшення концентрації води в ЕТС сприяє утворенню додаткового атомарного кисню в реакції горіння при дисоціації води або зниження температури. В результаті чого зменшується і вихід окисів азоту. Таким чином, чим більші значення приймає співвідношення  $X_1 \cdot X_4$ , тим менше  $Y$ .

## 2.5 Особливості формування температурного поля при горінні емульсій

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

З переводом роботи котлоагрегатів на емульговане паливо, зміни в динаміці горіння можна спостерігати візуально, 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 (див. рис. 2.10) 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 2.10 – Горіння мазуту (а) і водомазутних емульсій (б, в)

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), не мають вільних зарядів і тому діатермічні у всьому інтервалі теплового спектру, якщо температура не перевищує тисячі градусів, і не починається збудження електронних ступенів волі. Ряд інших газів, навпаки, мають смуги 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 тепла дія повного випромінювання нагрітого тіла, включаючи як видиме, так і невидиме 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

$$E_r = \sigma T^4,$$

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

$\sigma$ - коефіцієнт пропорційності рівний  $5,75 \text{ Вт/см}^2 \text{ град}^4$

Для тіл, які не є абсолютно чорними

$$E_r = \varepsilon \sigma T^4,$$

де  $\varepsilon$  - коефіцієнт випромінюючої здатності, визначений 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 розпеченими частинками при вимірюванні температури в топці котла застосовують каплеві трубки. 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 направляє у внутрішню порожнину трубки, яка виконує роль випромінювача, і потім в звичайному порядку проводять вимірювання температури.

Горіння ВМЕ відбувається в турбулентному газодинамічному потоці [51] 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 експериментальним 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.

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 2.5 за планом експериментів (таблиця 2.6), вимірювали температуру полум'я пірометром.

Дані, отримані в ході експерименту, наведені в таблиці 2.6. Для побудови моделей використовувався ортогональний центральний композиційний план другого порядку з ядром 24 [52].

Таблиця 2.5 – Рівні варіювання факторів

X	Показник	-1,414	-1	0	+1	+1,414	Δ
X <sub>1</sub>	Температура емульсії, °С	10,76	20	40	60	70,24	20
X <sub>2</sub>	Вміст води, %	2,73	5	10	15	17,27	5
X <sub>3</sub>	В'язкість	11,7	20	40	60	68,3	20
X <sub>4</sub>	коефіцієнт надлишку повітря	1	2	3	4	4,7	1

Таблиця 2.6 – Значення показника та факторів

№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>1</sub>
1	2	3	4	5	6
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
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

## Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6
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 були отримані наступні оцінки коефіцієнтів в моделях, що наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Оцінки коефіцієнтів в моделях, що характеризують ступінь впливу факторів і їх взаємодій на показники

Фактори та їх взаємодія	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X^2_1$	$X^2_2$	$X^2_3$
$Y_1$	47,98	-59,81	-3,79	-35,16	-66,75	-36,75	-64,25
Фактори та їх взаємодія	$X^2_4$	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_1 X_4$	$X_2 X_3$	$X_2 X_4$	$X_3 X_4$
$Y_1$	-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 для показника  $Y_1$ . Для цього в «нульовий» точці  $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = 0$  були проведені чотири повторних досвіду. Їх результати наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Значення повторних дослідів і дисперсій помилок для показника  $Y_1$

Показник	Значення показника в повторних дослідях				Дисперсія помилок спостережень
	X1	X2	X3	X4	Sy
$Y_1$	1640	1670	1650	1640	200

«Пороги значущості» для оцінок коефіцієнтів, що характеризують силу впливу факторів і їх ефектів взаємодії, знаходилися як  $h_i \cdot S$ , де  $S$  - середнє квадратичне відхилення помилки спостереження,  $h_i = t_{kp}(\alpha; \varphi) \cdot \sqrt{c_i}$ ,  $t_{kp}(\alpha; \varphi)$  - критичне значення розподілу Стюдента для рівня значущості  $\alpha$  і числа ступенів свободи  $\varphi$ . В проведених дослідженнях  $\varphi = 3$ ,  $c_1 = 0,05$  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 таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - «Пороги значущості» для факторів і їх взаємодій

Показники	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



$$Y_1 = 1738,8 + 47,98X_1 - 59,81X_2 - 35,16X_4 - 66,75X_1^2 - 36,75X_2^2 - 64,25X_3^2 - 66,75X_4^2,$$

Перевірка адекватності отриманих моделей проводилася за критерієм Фішера. Розрахункове значення F статистики знаходилося по формулі

$$F_P = \frac{S_{ост}^2}{S^2}.$$

Для отриманої моделі залишкова дисперсія

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

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

Отримані залишкові дисперсії, розрахункові і табличні значення статистики Фішера, наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Розрахункові і табличні значення статистики Фішера

Показники	Значення $S_{ост}^2$ , $F_{расч.}$ , $F_{табл.}$		
	$S_{ост}^2$	$F_{расч.}$	$F_{табл.}$
$Y_1$	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  $X_2$  - вміст 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 згоряння 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. Таким чином, отримати необхідну температуру полум'я можна, забезпечивши певний рівень значень факторів: кількості емульгованої води (дисперсність); температури емульсії і коефіцієнту надлишку повітря.

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Розгляд і аналіз питань по охороні праці, виробничої санітарії і пожежної безпеки ведеться для котельні.

При роботі персоналу поряд з тепловими установками на нього впливають небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори»: небезпечний виробничий фактор - це фактор середовища і трудового процесу, який може бути причиною гострого захворювання або раптового різкого погіршення здоров'я, смерті. Шкідливий виробничий фактор - це виробничий фактор, вплив якого на працюючого приводить до захворювання, зниження працездатності. У цеху в зоні роботи експлуатаційного та ремонтного персоналу небезпечними і шкідливими виробничими факторами є:

- фізичні фактори: виробничий шум та вібрація;
- шум та вібрація виникають внаслідок роботи парогенератора, насосів, димососу та вентилятора;
- травматичні фактори: гаряча вода, пар високого тиску (трубопроводи пару та гарячої води в межах котельної ); обертів механізми (насоси, вентилятори, димососи); небезпека ураження електричним током (ел. двигуни, електроосвітлювальні установки, щити управління);
- хімічні фактори: небезпека можливого витоку газу (у разі виникнення свища на газопроводі чи нещільності в з'єднаннях, арматурі та обладнанні); загазованість приміщення котельні димовими газами (через нещільності обмурування);
- фактори трудового процесу (психофізіологічні фактори) важкість праці: навантаження на опорно-руховий апарат, на серцево-судинну, дихальну та інші системи організму; напруженість праці, навантаження на центральну нервову систему, на органи чуття, емоційне, сенсорне навантаження (змінність

праці, спостереження за роботою обладнання, щогодини обхід, контроль та ведення технологічного процесу)

Вплив теплових навантажень на організм людини сприяє швидкому стомленню, ослабленню, зниженню опірності організму до захворювань, теплових ударів, катаракті.

Висока температура поверхонь обладнання є причиною опіків.

Підвищений рівень шуму на робочих місцях робить шкідливий вплив на людину: притуплює зір, порушує діяльність серцево-судинної системи (підвищується внутрішньочерепний і кров'яний тиск, можливо розлад серцевого м'яза) ; діяльність центральної нервової системи (страждає кора головного мозку, сповільнюються психічні реакції, послаблюється увага) ; діяльність травної, кровоносної систем, слухового апарату. Значною мірою може розвинутися туговухість та в кінцевому разі привести до повної втрати слуху. Вплив вібрації на людину може привести до розладу центральної нервової системи, органів чуття та опорно-рухової системи. Постійний вплив вібрації призводить до професійного захворювання - вібраційної хвороби. Вібрація і високий тиск дуже швидко зношують обладнання, в тому числі, знос сальників на засувках трубопроводів гарячої води і газопроводах, призводить до виникнення свищів гарячої води і як наслідок можливість отримання опіків, і до витоку природного газу, що призводить до отруєння персоналу, а в зрештою до вибуху.

Обертів механізми можуть призвести до травм персоналу, робоче місце якого знаходиться в безпосередній близькості від них.

Фізичні та нервово-психологічні навантаження призводять до помилок персоналу при експлуатації котлів.

### 3.2 Заходи з поліпшення умов праці

В цьому пункті вирішується завдання по зниженню впливу небезпечних шкідливих виробничих факторів.

Захист від теплового випромінювання: модульні котли, трубопроводи, підігрівачі є джерелом надлишкових виділень тепла. В цілях профілактики теплових травм, температура зовнішніх поверхонь технологічного обладнання або огорожувальних його конструкцій повинна мати теплову ізоляцію.

В котельній є годинник і телефон для зв'язку з технічними службами і власником.

В котельню не допускають осіб, що не мають відношення до експлуатації котлів і устаткування котельної. В необхідних випадках сторонні особи можуть потрапити в котельню тільки з дозволу власника і у супроводі його представника.

Для управління роботою, забезпечення безпечних умов і розрахункових режимів експлуатації котли оснащені:

– пристроями, що оберігають від підвищення тиску: запобіжний клапан, встановлений на барабані; два запобіжних клапана, встановлені на пароперегрівачі;

- рівнемірами-показниками рівня води;
- манометрами;
- приладами для вимірювання температури середовища;
- запірною і регулюючою арматурою;
- приладами безпеки;
- живильними пристроями.

Засоби захисту від вібрації:

1) інженерно-технічні заходи:

- а) використання дистанційного керування;
- б) вібропоглинання;
- в) віброізоляція.

2) організаційно-технічні методи:

- а) якісний монтаж;
- б) проведення своєчасних ремонтів.

До ЗІЗ від вібрації відноситься: застосування рукавичок, віброзахисних прокладок, спеціального взуття, килимів. Також необхідне дотримання раціонального режиму праці і відпочинку.

### 3.3 Виробнича санітарія

Заходи з виробничої санітарії забезпечують раціональне влаштування і використання систем опалення, освітлення і вентиляції, забезпечують оптимальні умови праці.

Оцінка чинників виробничого і трудового процесу наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінка чинників виробничого і трудового процесу

Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас:шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
			I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1.Шкідливі хімічні речовини,мг/м <sup>3</sup> 3й класс небезпеки (вуглецю оксид)	20,0	2,6	-	-	-	90,8
2.Вібрація ( загальна і локальна ), дБ	50	37	-	-	-	20,83
3.Шум, дБА	80	77	-	-	-	100
4.Інфразвук, дБ						
5.Теплове випромінювання Вт/м <sup>2</sup>	35	30	-	-	-	25

#### 3.3.1 Мікроклімат

Оператори щита управління виконують роботу з енерговитратами організму (100...150) ккал/г. Це робота, виконується стоячи, сидячи або

пов'язана з ходьбою, що не вимагає систематичної фізичної напруги або підняття і перенесення тягарів.

Метеорологічні умови (температура повітря, вологість і швидкість руху повітря), з урахуванням категорії робіт наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Оптимальні значення параметрів метеорологічних умов

Приміщення	Категорія навантаження роботи	Відносна вологість повітря, %	Температура повітря, °С		Швидкість руху повітря, м/с	
			Холодний період	Теплий період	Холодний період	Теплий період
Щит управління	Легка	40-60	20-23	22-25	0,2	0,3

### 3.3.2 Вентиляція і опалювання

Для забезпечення нормованих параметрів мікроклімату, згідно, передбачена система вентиляції і опалювання.

Система опалювання ї водяною з ребристими трубами та радіаторами. Для котельного відділення опалювання не передбачається, оскільки підтримка необхідних температур повітря відбувається за рахунок наявних надлишків теплоти при роботі котлоагрегата.

В котельному залі застосовується природна вентиляція з витягом повітря з верхньої зони за рахунок підсосів повітря в газоповітряний тракт котлоагрегата.

В приміщенні щитів управління передбачена штучна припливна вентиляція з подачею повітря і очищенням повітря від пилу.

### 3.3.3 Виробниче освітлення

При освітленні виробничих приміщень використовується природне освітлення, штучне і суміщене, при якому природне доповнюється штучним

освітленням. У виробничих приміщеннях природне освітлення бічне, одностороннє. Штучне освітлення здійснюється газорозрядними лампами і лампами розжарювання. Також передбачено аварійне і евакуаційне освітлення.

Аварійне освітлення роблять для продовження роботи в тих випадках, коли раптове відключення робочого освітлення не дозволяє нормально обслуговувати устаткування. Якнайменша освітленість робочих поверхонь, що вимагають обслуговування при аварійному режимі, повинна складати 5% від загальної освітленості, але не менше 2 лк всередині будівлі і не менше 1 лк на території. Для аварійного і евакуаційного освітлення застосовують лампи розжарювання.

Підлягають обов'язковому устаткуванню аварійним освітленням наступні місця: 1) фронт котельних модулів; 2) щит і пульт управління; 3) водовказівні і вимірювальні прилади; 4) устаткування водопідготовки; 5) майданчики і сходи.

Евакуаційне освітлення передбачається для евакуації людей з приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення, в місцях небезпечних для проходу людей: на сходових клітках, уздовж основних проходів приміщень, в проходах між котлам.

Евакуаційне освітлення повинне забезпечувати якнайменшу освітленість в приміщеннях на підлозі основних проходах і на рівнях не менше 0,5 лк, а на відкритих територіях – не менше 0,2 лк. Вхідні двері повинні бути відзначені світловими сигналами-показчиками. За неробочого часу, співпадаючого з темним часом доби необхідно забезпечити охоронне освітлення. За відсутності спеціальних технічних засобів охорони воно повинне складати 0,5 лк.

### 3.4 Електробезпека

Блокові трансформатори і трансформатори власних потреб розташовані уздовж фасадної стіни котельного приміщення. У котельній розміщено таке устаткування: електроспоживачі на напругу 380/220В, що живляться від мережі



з глухозаземленої нейтраллю (двигуни насосів, вентиляторів, димососів, засувок, тощо). По небезпеці електротравматизму котельне відділення відноситься до 3-ої категорії приміщень («особливо небезпечні»), оскільки присутні два чинники небезпеки: струмопровідна підлога і можливість одночасного дотику до корпусу електроспоживачів і металоконструкцій що мають контакт із землею. Все електротехнічне устаткування, апаратура, кабелі і дроти, розподільні пристрої всіх видів і напруги по своїх номінальних параметрах задовольняють умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапруженнях, перевантаженнях.

Всередині приміщення вбудованої котельні по периметру приміщення виконаний контур заземлення, до якого підключається все електроустаткування. Внутрішній контур заземлення в двох місцях підключається до існуючого зовнішнього контуру заземлення. Прилади забезпечені запобіжниками, що забезпечують розрив ланцюга живлення при коротких замиканнях або перевантаженні мережі. При проведенні ремонтних і монтажних робіт в котельному цеху, персоналом використовуються засоби індивідуального захисту (гумові рукавиці, інструменти з ізольованими ручками тощо).

Будівля котельні захищена від ударів блискавки громовідводом, що складається з опори димаря, блискавкоприймача, струмопроводу і заземлення. Тип зони захисту А.

### 3.5 Пожежна безпека

Причини пожеж і вибухів: 1) несправність електроустаткування; 2) самозагоряння палаючих речовин; 3) іскри при електро- і газозварювальних роботах; 4) порушення технологічного режиму.

Згідно [58] передбачено такі системи: 1) запобігання пожежі; 2) пожежного захисту; 3) організаційно-технічних заходів;

Тип вогнестійкості будівлі визначений згідно [59]. Категорії приміщень за вибуховою, вибухопожежною небезпеках наведені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Категорії вибухо- та пожежонебезпеки

Назва приміщення	Площа, м <sup>2</sup>	Категорія приміщень з вибухопожежонебезпеки	Ступінь вогнестійкості будівлі	Первинні засоби пожежогасіння	
				Назва, тип	Кількість, шт.
Котельне приміщення	30	Г	II	Пожежний щит	2
Щит керування	10	В	II	Вогнегасник ВВК-8	3

До складу пожежного щита входять: сокира – 2 шт.; лопати і лом – 2 шт.; багри залізні – 2 шт.; відра – 2шт; вогнегасники ВВК-8 – 3 шт., ОП-5Б – 1 шт.; ящик з піском 0,5м<sup>3</sup>.

### 3.6 Розрахунок ізоляції котла

#### 3.6.1 Розрахунок температури на поверхні обмурування в районі топки

Температура зовнішньої стінки згідно [60] приймаємо не вище  $t_3=55$  °С. Визначається відстань від екрану до обмурування  $l$  по формулі, м

$$l = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 0,051 = 0,0255,$$

де  $d$  – діаметр труб, прийнятий конструктивно, м.

Ступінь чорноти факела приймаємо  $\epsilon_1 = 0,352$ .

Визначається температура на виході з топки  $T$  по формулі, °К

$$T = t_t + 273 = 1091,4 + 273 = 1364,4,$$

де  $t_r$  - температура на виході з топки у режимі природній газ приймаємо  
 $t_r = 1091,4$  °С.

Визначається адіабатична температура  $T_a$  по формулі, °К

$$T_a = t_a + 273 = 1785,4 + 273 = 2058,4,$$

де  $t_a$ - адіабатна температура у режимі природній газ прийнята  
 $t_a=1785,4$  °С.

Визначається середня температура факела  $T_1$  по формулі, °К

$$T_1 = \sqrt{T \cdot T_a} = \sqrt{1364,4 \cdot 2058,4} = 1675,85.$$

Температура стінки екрану труби визначається по формулі  $T_2$ , °К

$$T_2 = (t_n + 60) + 273 = (194,1 + 60) + 273 = 527,1.$$

Ступінь чорноти топки приймаємо  $\epsilon_2 = 0,460$ .

Визначається допоміжний параметр  $a$ , по формулі

$$a = \frac{S}{d} = \frac{55}{51} = 1,078,$$

де  $S$  – крок труб.

Визначається допоміжний параметр  $C$  по формулі

$$C = \frac{2 \cdot l}{d} = \frac{2 \cdot 0,0255}{0,055} = 1.$$

Кутовий опір між обмуровуванням і факелом визначається по формулі

$$\varphi_{A1} = \frac{a\sqrt{a^2 + c^2 - 1 - c}}{a^2 + c^2},$$

$$\varphi_{A1} = \frac{1,078\sqrt{1,078^2 + 1^2 - 1 - 1}}{1,078^2 + 1^2} = 0,075,$$

$$\varphi_{A2} = 1 - \varphi_{A1},$$

$$\varphi_{A2} = 1 - 0,075 = 0,925.$$

Визначається максимальна температура вогневої поверхні обмуровування по формулі  $T_{\max}$ , °К

$$T_{\max} = \sqrt[4]{\frac{\varphi_{A1} \cdot \varepsilon_1 \cdot T_1^4 + \varphi_{A2} \cdot \varepsilon_2 \cdot T_2^4}{\varphi_{A1} \cdot \varepsilon_1 + \varphi_{A2} \cdot \varepsilon_2}},$$

$$T_{\max} = \sqrt[4]{\frac{0,075 \cdot 0,352 \cdot 1675,85^4 + 0,925 \cdot 0,460 \cdot 527,1^4}{0,075 \cdot 0,352 + 0,925 \cdot 0,460}} = 859.$$

Визначається максимальна температура вогневої поверхні обмуровування по формулі  $t_{\max}$ , °С

$$t_{\max} = T_{\max} - 273 = 859 - 273 = 586.$$

Середнє кутове відношення між факелом і трубами, приймається  $\bar{\varphi} = 0,97$ .

Визначається середня температура вогневої поверхні  $T_3$  по формулі, °К

$$T_3 = \sqrt[4]{\frac{(1 - \bar{\varphi}_{12}) \cdot \varepsilon_1 \cdot T_1^4 + \bar{\varphi}_{12} \cdot \varepsilon_2 \cdot T_2^4}{(1 - \bar{\varphi}_{12}) \cdot \varepsilon_1 + \bar{\varphi}_{12} \cdot \varepsilon_2}},$$

$$T_3 = \sqrt[4]{\frac{(1 - 0,97) \cdot 0,352 \cdot 1675,85^4 + 0,97 \cdot 0,460 \cdot 527,1^4}{(1 - 0,97) \cdot 0,352 + 0,97 \cdot 0,460}} = 715.$$

Визначається середня температура вогневої поверхні по формулі  $t_3, ^\circ\text{C}$

$$t_3 = T_3 - 273 = 715 - 273 = 442.$$

### 3.6.2 Розрахунок товщини шару ізоляції

Температура зовнішньої стінки ізоляції приймаємо  $t_1=445 ^\circ\text{C}$ .

Зовнішня температура шамотобетона приймається з послідуочим уточненням  $t_2=433 ^\circ\text{C}$ .

Визначається середня температура полотнів БСМКВ за формулою  $t_{cp1}, ^\circ\text{C}$

$$t_{cp1} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{445 + 433}{2} = 439.$$

Визначається коефіцієнт теплопровідності шамотобетона за формулою  $\lambda, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$

$$\lambda_1 = 0,7 + 0,00055 \cdot t_{cp1} = 0,7 + 0,00055 \cdot 439 = 0,941.$$

Зовнішня температура мінераловатних матів приймається  $t_3=52,2 ^\circ\text{C}$  з послідуочим уточненням.

Визначається середня температура мінераловатних матів за формулою  $t_{cp2}, ^\circ\text{C}$

$$t_{cp2} = \frac{t_2 + t_3}{2} = \frac{433 + 52,2}{2} = 242,6.$$

Визначається коефіцієнт тепловіддачі повітря  $\alpha_B$  за формулою,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

$$\alpha_B = 8,4 + 0,06 \cdot (t_3 - t_{3п}) = 8,4 + 0,06 \cdot (52,5 - 25) = 10.$$

де  $t_{з.п}$  - температура зовнішнього повітря, приймаємо  $25^{\circ}\text{C}$ .

Визначається термічний опір повітря  $R_v$  за формулою,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$

$$R_v = \frac{1}{\alpha_v} = \frac{1}{10} = 0,1,$$

Визначається тепловий потік визначається  $q$  за формулою,  $\text{Вт}/\text{м}^2$

$$q = \frac{t_3 - t_6}{R_v} = \frac{52,2 - 25}{0,1} = 272.$$

Визначається розрахункова температура стінки ізоляції  $t_{2д}$  за формулою,  $^{\circ}\text{C}$

$$t_{2д} = t_1 - q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 445 - 272 \cdot \frac{0,04}{0,941} = 433,4,$$

де  $\delta_1$  - товщина шамотобетону, приймаємо  $\delta_1 = 0,04$  м

Визначається розрахункова температура стінки ізоляції  $t_{3д}$  за формулою,  $^{\circ}\text{C}$

$$t_{3д} = t_2 - q \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_2} = 433,4 - 272 \cdot \frac{0,1}{0,0714} = 52,5,$$

де  $\delta_2$  - Товщина мінераловатних матів, приймаємо  $\delta_2 = 0,1$  м

$\lambda_2$  - Коефіцієнт теплопровідності мінераловатних матів  
 $\lambda_2 = 0,0714$   $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ .

Прийнята товщина ізоляції забезпечить температуру на поверхні нижче допустимої.

## ВИСНОВКИ

Застосування водо-паливної емульсії дозволяє значно підвищити ефективність використання вуглеводневих палив і набагато зменшити викид шкідливих речовин в навколишнє середовище. При цьому економія палива становить (15...20) % при збереженні тієї ж механічної або теплової потужності, а зменшення викидів за деякими видами забруднень становить 2 - 3 рази.

Якість емульсії і її стійкість визначаються наступними факторами: дисперсністю, в'язкістю, які визначає витрати енергії на переміщення емульсії і впливає на продуктивність.

Стійкість емульсійного палива залежить від співвідношення густин рідин, що становлять емульсію. Якщо не змінювати хімічну природу середовища, то, швидше за все емульсія не буде стійкою і розшарується вже при елементарної нестабільності.

Застосування апаратів-диспергаторів доцільно лише на стадії безпосередньої підготовки палива до спалювання. На сьогоднішній день цей висновок може бути заключним і в загальному випадку визначати новий напрямок досліджень по стійкості паливних складів з глибоким вивченням природи середовищ, їх теплофізичних характеристик, закономірностей емульгування і при цьому - технологічної якості отриманої емульсії.

Встановлено, що при уприскуванні емульгованого палива в камеру згорання паливний струмінь руйнується по межі поділу фаз палива і води, дробиться на високодисперсні краплі, в результаті чого інтенсивно взаємодіють з киснем повітряного заряду і згоряють без утворення нагару.

Підвищення ступеня дисперсності мазутної емульсії сприяє збільшенню теплоти згорання. Емульгування мазуту призводить до зниження окисів азоту в продуктах згорання в 4 - 5 разів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 4058-2001 Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови.
2. Кузнєцов, Н.В. Тепловий розрахунок котельних агрегатів: Нормативний метод [Текст] / Н.В. Кузнєцов. – М.: Енергія, 1973. – 296 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. Кузнєцов, Н.В. Тепловой расчет котельных установок. Нормативный метод [Текст] / Н.В. Кузнєцов. - М: Энергия, 1973. – 324 с.
5. Мочан, С.И. Аэродинамический расчет котельных установок [Текст] / С.И. Мочан. - Л: Энергия, 1977. – 255 с.
6. Липов, Ю.М. Компонировка и тепловой расчет парогенератора [Текст] / Ю.М. Липов. – М: Энергия, 1975. – 266 с.
7. Частухин, В.И. Тепловой расчет промышленных парогенераторов [Текст] / В.И. Частухин.– К: Вища школа, 1980. – 184 с.
8. Макаров, В.Н. Методика поверочного теплового расчета парогенератора [Текст] / В.Н. Макаров.– М: МЭИ, 1976. – 52 с.
9. Балдіна, О.М. Гідравлічний розрахунок котельних агрегатів: Нормативний метод [Текст] / О.М. Балдіна, В.А. Локшина, Д.Ф. Петерсон. – М.: Енергія, 1978. – 256 с.
10. Бобровський, Р.С. Котельні установки малої потужності [Текст] / Р.С. Бобровський. – М.: Машгїз, 1961. – 331 с.
11. Нечаєв, Р.К. Автоматика і автоматизація виробничих процесів [Текст] / Р.К. Нечаєв. – К.: Вища школа, 1985. – 279 с.
12. Староверов, К.В. Справочник проектировщика [Текст] / К.В. Староверов. - М.: Стройиздат, 1976. – 120 с.
13. Николаев, А.А. Справочник проектировщика. Проектирование топок и печей [Текст] / А.А. Николаев. - М.: Стройиздат, 1965. – 236 с.



14. Файерштейн, Л.М. Довідник з автоматизації котелень [Текст] / Л.М. Файерштейн, Л.С. Этинген, Р.Р. Гохбойн. – М.: Вища школа, 1985. – 296 с.
15. Бузников, Е.Ф. Виробничі та опалювальні котельні [Текст] / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис. – М.: Вища школа, 1984. – 248 с.
16. Староверов, К.В. Справочник проектировщика [Текст] / К.В. Староверов. - М.: Стройиздат, 1976. – 120 с.
17. Николаев, А.А. Справочник проектировщика. Проектирование топок и печей [Текст] / А.А. Николаев. - М.: Стройиздат, 1965. – 236 с.
18. Денисенко, Р.Ф. Охорона праці: Уч. посібник для інж.- екон. спец. Вузів [Текст] / Р.Ф. Денисенко. – М.: Вища школа, 1985. – 248 с.
19. Гаджієв, Р.В. Охорона праці в тепловому господарстві промислових підприємств: Уч. посібник для технікумів [Текст] / Р.В. Гаджієв, А.А. Вороніна. – М.: Енергія, 1980. – 224 с.
20. Оніщенко, Н.С. Охорона праці при експлуатації котельних установок [Текст] / Н.С. Оніщенко. – М.: Енергія, 1992. – 350 с.
21. ДНАОП 0.00-1-08.-94. Правила будови і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів [Текст] – К: Стройиздат, 1995 – 12 с.
22. Прузнер, С.С. Правила пристрої і безпечної експлуатації судин, працюючих під тиском [Текст] / С.С. Прузнер. – М.: Металургія, 1971. – 45 с.
23. Нормативи чисельності робітників, що обслуговують парокотельные установки промислових підприємств [Текст] – М: Економіка, 1988 – 26 с.
24. Златопольський, Е.В. Економіка, організація і планування теплового господарства промислових підприємств: Підручник для технікумів [Текст] / Е. В. Златопольський. – М.: Енергія, 1979. – 376 с.
25. Plechec, L. Tepelny vypocet plynuteho vinuti transformatoru s prirodzenym obehem obeje [Text] / L. Plechec // Electrotechnic obz. — 1972— №1— P.5-10.
26. Petras, V. Teplotne pole olejoveha transformatora so zvitkovym vinutim [Text] / V. Petras, L. Kriho, T. Fiedler // Transformatory.- 1984.- №2.- P. 7-13.

27. Guerra, F. Primeira abordagem a utilização de modelos reduzidos para a determinação experimental do campo térmico de transformadores arrefecidos por convecção natural [Text] / Franklin Guerra, Isaac Moreira // Electricidade.- 1987.- № 233.- P. 141-145.

28. Pivnek, M. Vyzkum tepelných závislostí na modelech vinuti transformatoru [Text] / M. Pivnek, K. Havlichek // Electrotechn. obz. — 1974. — №4. — pp. 175-181.

29. Die Darstellung des Wärmeübergangskoeffizienten im Transformator mit Kriteriellen Potenzfunktion [Text] / H. Lobenstein // Elektr. — 1979. — №4. — pp. 218-220.

30. Вукалович, М.П. Теплофизические свойства воды и водяного пара [Текст] / М.П. Вукалович. - М.: Машиностроение, 1967. - 160 с.

31. Дубковский, В.А. Рациональные процессы, циклы и схемы энергоустановок [Текст] / В.А. Дубковский.- Одесса: Наука и техника, 2003. - 224 с.

32. Ривкин, С.Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара [Текст] / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.

33. Будан Б.М., Самарский А.А., Тихонов А.Н. Сборник задач по математической физике. – М.: Высшая школа. 1954. – 681 с.

34. Соболев С.А. Уравнение математической физики. – М.: Высшая школа. 1954. – 143 с.

35. Павленко А.М., Басок Б.И. Дезинтеграция эмульсий в вихревых аппаратах. – Киев: Наукова думка, 2005. – 204с.

36. А.А. Долинский, А.М. Павленко, Б.И. Басок. Теплофизические процессы в эмульсиях: получение, использование, утилизация. – Киев: Наукова думка. 2005. – 264с.

37. 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.

38. 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.

39. Енергоаудит [Електронний ресурс] : навч.-метод. посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації центру безперервної освіти : навч.-метод. посібник / С. В. Ільїн, А. О. Чейлитко, І. М. Мних ; ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2018. - 130 с.

40. 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.

41. 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

42. Низькопотенційні та альтернативні джерела енергії. Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА Енергетичного напрямку всіх форм навчання/ Уклали Бердищев М.Ю, Чейлитко А.О., Назаренко О.М. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. – 270 с.

43. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. – М.: Мир, 1977. – 552 с.

44. Фиалков Б.С., Щербаков Н.Д., Плицин В.Т. Распределение электрического потенциала в углеводородных пламенах //ФГВ.- с1978.- т.14,в.2.-с.104-108.

45. Лавров Ф.А., Малиновский А.Э. Влияние продольного электрического поля на процесс горения газовых смесей.//ЖФХ.-1933.-т.4,в.1.- с.104-108.

46. Фиалков Б.С., Щербаков Н.Д. Распределение положительных ионов в пламёнах смесей пропан-бутана с воздухом.// ФГВ.-1980.-т.54, в.10. –с. 2655-2659.
47. Лаутон Дж., Вайнберг Ф. Электрические аспекты горения.- М.Энергия,1976.-296с.
48. Фиалков Б.С., Плицин В.Т. Кинетика движения и характер горения кокса в доменной печи.-М.:Металлургия,1971.-288с.
49. Ксенз Н.В. Электроозонирование воздушной среды животноводческих помещений. – зерноград, 1991. 171 с.
50. Сторчевой В.Ф. Ионизация и озонирование воздушной среды. //Монография. – М.: МГУП, 2003. 169 с.
51. А.А. Долинский, Б.И. Басок. Динамика роста паровых пузырьков вскипающей воды при резком сбросе давления. // Доклады НАНУ. – 1995 .-№1. – С.75 – 77.
52. А.А. Долинский, Б.И. Басок. Экспериментальные исследования разрушения жидких пленок воды. // Пром. теплотехника . – 1994. – Т.16, № 2 – 3. – С. 13 – 15.
53. Геврик Є О Охорона праці. - К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003 - 280 с
54. Линецкой, В.А. Охрана труда и техника безопасности и пожарная профилактика на предприятиях химической промышленности [Текст] / В.А. Линецкой.– М.: Химия, 1976. – 440 с.
55. Кораблев, В.П. Электробезопасность на предприятиях химической промышленности [Текст] / В.П.Кораблев.– М.: Химия, 1977. – 232 с.
56. Кукин, П.П. Безопасность технологических процессов и производств [Текст] / П.П. Кукин.– М.: Высшая школа, 2007. – 335 с.
57. Зотов, Б.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве [Текст] / Б.И. Зотов. - М.: Колосс, 2003.- 432с.
58. Пчелинцев, В.П. Охрана труда в строительстве [Текст] / В.П. Пчелинцев. – М.: Высшая школа, 1991. –272 с.

59. Макаров, Г.В. Охрана труда в химической промышленности [Текст] / Г.В. Макаров. – М.: Химия, 1977. – 568 с.
60. Сафонов, Н.А. Спецодежда и спецобувь [Текст] / Н.А. Сафонов. – М.: Химия, 1976. – 152 с.
61. Анисимов, А.С. Предупреждение и тушение пожаров на промышленных предприятиях [Текст] / А.С. Анисимов. – К.: Техника, 1978. – 164 с.
62. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
63. Законодавство про охорону праці [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: <https://refdb.ru/look/1076513-pall.html>.
64. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. Наказ Міністерства соціальної політики України № 333 від 05.03.2018.
65. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення