Форма № Н-9.02.1

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

Факультет _____ інженерії_____
(повне найменування факультету)

Кафедра_____хімічної інженерії та екології_____
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної магістерської роботи

освітнього ступеня _____магістр_____
(бакалавр, магістр)

спеціальності _____101 – Екологія_____
(шифр і назва спеціальності)

на тему: Розробка заходів зі зниження викидів пилу при роботі енергоблоків ТЕС

Виконав: здобувач вищої освіти групи ___ПЕО-19зм__

_____Зубцов Є.І._____ .....
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник ___Суворін О.В._____ .....
(прізвище та ініціали) (підпис)

Завідувач кафедрою ___Суворін О.В.__ .....
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Мохонько В.І.__ .....
(прізвище та ініціали) (підпис)

Сєвєродонецьк - 2021 р.

ЗУБЦОВ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

Факультет _____інженерії_____
Кафедра _____хімічної інженерії та екології_____
Освітній ступінь _____магістр_____
(бакалавр, магістр)
Спеціальність _____101 – Екологія_____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедрою ХІЕ
_____ О.В. Суворін
"_____" _____ 2020 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____Зубцову Євгену Івановичу_____

1. Тема роботи:

Розробка заходів зі зниження
викидів пилу
при роботі енергоблоків ТЕС

Керівник роботи _____Суворін Олександр Вікторович, д.техн.н., проф._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від 19.11.2020 р. № 163/15.25

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи - 15 січня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: літературні, патентні та регламентні дані.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Вступ. 1. Аналітичний огляд. 2. Обґрунтування обраного напрямку досліджень. 3. Теоретична частина. 4. Експериментальна частина. 5. Прикладна частина. 6. Охорона праці. 7. Еколого-економічні розрахунки. Висновки. Анотація. Література.

ЗУБЦОВ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Схема лабораторної установки (1 листи).
2. Дослідницькі данні (4 листи).
3. Технологічна схема (1 лист).
4. Реактор окислення вугілля в розплаві. Вид загальний (1 лист).

6. Дата видачі завдання – 20 листопада 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	25.11.2020	
2	Аналітичний огляд	01.12.2020	
3	Обґрунтування обраного напрямку досліджень	08.12.2020	
4	Теоретична частина	11.12.2020	
5	Експериментальна частина	17.12.2020	
6	Прикладна частина	23.12.2020	
7	Охорона праці	30.12.2020	
8	Еколого-економічні розрахунки	06.01.2021	
9	Висновки	14.01.2020	

Здобувач вищої освіти _____ __Зубцов Є.І._____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ ___Суворін О.В.___
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗУБЦОВ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
				Текстові документи		
А4		1	РМ 01.01. ПЗ	Пояснювальна записка		
				Графічні документи		
А4		2	РМ 01.02. Лб	Схема лабораторної установки	1	
А4		3	РМ 01.03. ДД	Дослідницькі данні	1	
А4		4	РМ 01.04. ДД	Дослідницькі данні	1	
А4		4	РМ 01.05. ДД	Дослідницькі данні	1	
А4		4	РМ 01.06. ДД	Дослідницькі данні	1	
А4		4	РМ 01.07. СХ	Технологічна схема	1	
А4		4	РМ 01.08. ВЗ	Реактор окиснення вугілля в розплаві. Вид загальний		

ЗУБЦОВ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РМ 01.01. ПЗ		
Розроб.		Зубцов Є.І.			Відомість	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Суворін О.В.						
Консульт.						СНУ ім. В.Даля гр. ПЕО-19зм		
Н. Контр.								
Затв.		Суворін О.В.						

Реферат

Магістерська робота на тему «Розробка заходів зі зниження викидів пилу при роботі енергоблоків ТЕС» складається з пояснювальної записки, що містить ___ сторінок, 26 таблиць, 19 рисунків, використано 28 найменувань літературних джерел. Графічна частина – 7 листів.

ВИКИД, РІДКИЙ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИЙ ТЕПЛОНОСІЙ, НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ, СПАЛЕННЯ, ЗНЕШКОДЖЕННЯ, ОКСИДИ ВУГЛЕЦЮ, СИНТЕЗ-ГАЗ, КОНВЕРСІЯ, ВУГЛЕЦЕВИЙ ЗАЛИШОК, ВУГІЛЛЯ

В роботі розглянуті сучасні процеси спалення вугілля на енергоблоках ТЕС. Саме окиснення твердих корисних копалин завдає значної шкоди навколишньому середовищу: великі обсяги викиду пилу та зважених часток, димові гази, що містять продукти не повного окислення, монооксид вуглецю, оксиди нітрогену та ін. На сьогодні в Україні більшість ТЕС в якості сировини використовують вугілля. Тому доцільна розробка альтернативних технологій переробки твердих горючих копалин в теплову, електричну енергії та/або технологічні гази.

Проведені експериментальні дослідження процесів окиснення, конверсії твердих горючих копалин в рідкому високотемпературному теплоносії. Організація процесів в розплаві дозволить забезпечити максимальну глибину переробки вугілля з мінімальним викидом. Виконаний аналітичний огляд науково-технічної літератури методів переробки твердої викопної сировини, розглянуто впливу відходів на природне середовище. В практичній частині запропонована технологічна схема стадії окиснення, виконані матеріальний баланс, описана конструкція реакторного вузла. Розглянуті питання з охорони праці на виробництві, визначені шкідливі фактори, запропоновані шляхи їх зменшення.

ЗУБЦОВ

					РМ 01.01. ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Зубцов Є.І.			Реферат	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Суворін О.В.						
Консульт.						СНУ ім. В.Даля гр. ПЕО-19зм		
Н. Контр.								
Затв.		Суворін О.В.						

Зміст

Вступ

1 Аналітичний огляд

2 Обґрунтування обраного напрямку досліджень

3 Теоретична частина

4 Експериментальна частина

5 Прикладна частина

6 Охорона праці

7 Еколого-економічні розрахунки

Висновки

Анотації

Література

ЗУБЦОВ

Вступ

Основні джерела забруднення повітря міст – теплоелектростанції (ТЕС) і автомобільний транспорт. Наприклад, на частку автотранспорту припадає близько 40% загального забруднення атмосфери. Приблизно стільки ж припадає на частку ТЕС. Тільки за одну годину роботи ТЕС середньої потужності спалює більше 80 т вугілля і викидає в атмосферу приблизно 5 т сірчистого газу і 16-17 т золи. ТЕС, що працюють на нафті, практично не викидають золи, але вміст сірки в їх викидах досить помітний. Найбільш екологічно чистим видом енергетичного палива на сьогодні є природний газ. При його спалюванні істотно забруднюють атмосферу оксиди нітрогену, але їх викид в середньому виявляється на 20% менше, ніж при спалюванні вугілля. Глобальне зростання споживання нафти і природного газу як енергоносіїв і сировини для промисловості став необхідною умовою розвитку держав. Однак ці продукти нерівномірно розміщені по території Землі. Починаючи з 70-х років минулого століття, створилися умови постійного зростання цін на світовому ринку нафти і газу. Очевидно, що природний газ - найбільш екологічно чистий вид палива. Однак природний газ є цінною сировиною для хімічних галузей, тому його широке застосування на ТЕС недоцільно.

Більшість країн світу мають запаси вугілля. Україна належить до країн, які володіють великими запасами вугілля і обмеженим ресурсом вуглеводневих палив. Сформовані умови – фінансова криза і необхідність відновлення виробництва – змусили багато, навіть розвинені країни фінансувати роботи по переробці вугілля. Актуальною стає задача організації робіт з максимальної заміни нафти і газу вугілля. Про це говорять багато політичних діячів і в Україні.

ЗУБЦОВ

Разом з тим більшість вугілля, що видобувається в Україні має низьку якість. З огляду на якість вітчизняного вугілля, фактично для України потрібна розробка технології ефективної переробки вугілля з підвищеною зольністю і так званого «солоного» вугілля.

У міру виснаження нафтових і газових родовищ і перехід на вугілля, як основний вид палива, феномен кислотних опадів може придбати загрозливих масштабів (табл.).

Таблиця – Забруднення атмосфери тепловими електростанціями при спалюванні різних видів палива, г/кВт·год.

Викид	Кам'яне вугілля	Буре вугілля	Мазут	Природний газ
SO_2	6,0	7,7	7,4	0,002
NO_x	21,0	3,4	2,4	1,9
Тверді частинки	1,4	2,7	0,7	
Фтористі з'єднання	0,05	1,11	0,004	

Сьогодні все більше уваги в світі приділяється зменшенню забруднення навколишнього середовища. Одне з основних завдань – поліпшення стану атмосферного повітря. Одним з рамкових законів в сфері охорони атмосферного повітря є Паризька угода, яка прийшла на зміну Кіотському протоколу. Вона передбачає регулювання заходів зі зменшення викидів діоксиду вуглецю з 2020 року.

Нині стан ТЕС в Україні можна вважати критичним. Обладнання, що було введено в експлуатацію в 60 – 70-і роки і запроектоване по нормах 50-х років минулого сторіччя, вже відробило свої ресурси і фізично застаріло.

У даній роботі розглядається новітня організація окиснення вугілля в розплаві теплоносія. Така організація процесу окиснення передбачає значне зменшення викидів твердих часток, які залишатимуться в розплаві теплоносія та повне використання горючої маси вугілля, що дозволить зменшити антропогенне навантаження ТЕС України на навколишнє середовище.

ЗУБЦОВ

1 Аналітичний огляд

Перспективною в області глибокої переробки вуглеводневої сировини представляється газифікація низькосортних твердих палив та вуглецевих залишків для отримання різних продуктів: горючого газу, моторних палив, цінних хімічних вуглеводневих сполук, металів, будівельних матеріалів, брикетів, добрив. В даному розділі наведені сучасні розробки з переробки твердих корисних копалень у світі, зокрема Японії, Казахстані, Росії та Україні.

Виробництво електроенергії з використанням комбінованого циклу з попередньою газифікацією вугілля в даний час привертає серйозну увагу як інноваційна технологія утилізації вугілля, що дозволяє підвищити ККД і поліпшити екологічні показники електростанції, забезпечуючи її відповідність жорстким вимогам енергетичної та екологічної безпеки.

З 1991 по 1996 рр. в Японії здійснювалася експлуатація експериментальної електростанції комбінованого циклу з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля, потужністю 200 тон вугілля в день (спільне напрацювання за вказаний період склало 4 770 годин). Ця станція стала інноваційним проектом національного значення. Виходячи з успішного досвіду її експлуатації, в 2001 р. десять японських енергокомпаній заснували підприємство «Clean CoalPower R&D Co., Ltd.» («CCP»), яке повинно стати експлуатуючою організацією демонстраційної дослідно-промислової електростанції потужністю 250 МВт, мета будівництва якої – підтвердити надійність, простоту в експлуатації і обслуговуванні , безпеку і економічність подібної установки. Для реалізації цього національного проекту компанією «CCP» була вибрана технологія газифікації з повітряним дуттям під тиском на основі двоступеневого внутрішньоциклового газифікатора з сухим завантаженням вугілля виробництва компанії «Mitsubishi Heavy Industries Ltd.» («MHI»).

ЗУБЦОВ

Технологія газифікації вугілля з повітряним дуттям вважається більш прийнятним рішенням для електростанцій в силу меншого споживання електроенергії на потреби повітря розподільчої установки, ніж технологія з кисневим дуттям, розроблена для застосування на хімічних виробництвах в Європі і США. У червні2004 р. була завершена оцінка впливу демонстраційної установки на навколишнє середовище, і в серпні того ж року на майданчику існуючої електростанції Накосо енергокомпанії «Joban Joint EPCo.» було розпочато будівництво. Передбачається, що експлуатація демонстраційної електростанції почнеться в 2007 р.; перші три роки вона буде працювати в тестовому режимі. Далі представлені характеристики внтуріциклового газифікатора з повітряним дуттям і дано загальний опис демонстраційної станції.

Переваги комбінованого циклу виробництва електроенергії з попередньою газифікацією вугілля

Розглянутий тут комбінований цикл виробництва електроенергії з газифікацією вугілля включає в себе двоступеневий внутрішньоцикловий газифікатор з повітряним дуттям, систему очищення (для видалення смоли і сірки) і парогазову установку для вироблення електроенергії (рисунок 1.1). Синтетичний газ, отриманий з вугілля в газифікаторі, спалюється в газовій турбіні (ГТ), а пар, вироблений котлом-утилізатором і газоохолоджувачем, подається на парову турбіну (ПТ). Смола з синтетичного газу видаляється циклонними і пористими фільтрами, а H_2S – установкою сіркоочистки. Частина стисненого повітря з компресора ГТ дотискається і подається на газифікатор як газифікуючий агент.

Завдяки використанню парогазової технології виробництва електроенергії електростанція з газифікацією вугілля дозволяє досягти значно більш високих показників ККД в порівнянні зі звичайними вугільними електростанціями. При використанні на комерційній електростанції ГТ 50Гц серії G (M701G) з системою вологого очищення чистий станційний ККД може досягати 48%. Пропонована електростанція вигідніша, ніж парогазові установки, що працюють

ЗУБЦОВ

на природному газі, оскільки ціни на вугілля більш стабільні. Що стосується екологічних показників, технологія утилізації вугілля дозволяє істотно знизити викиди завдяки високому ККД станції, а обсяги виробленої золи і споживаної води, що охолоджує тут значно нижче, ніж на звичайних станціях (рисунок 1.2). Крім того, технологія дозволяє отримувати промислові побічні продукти сірки, а також гіпс і шлак з вугільної золи.

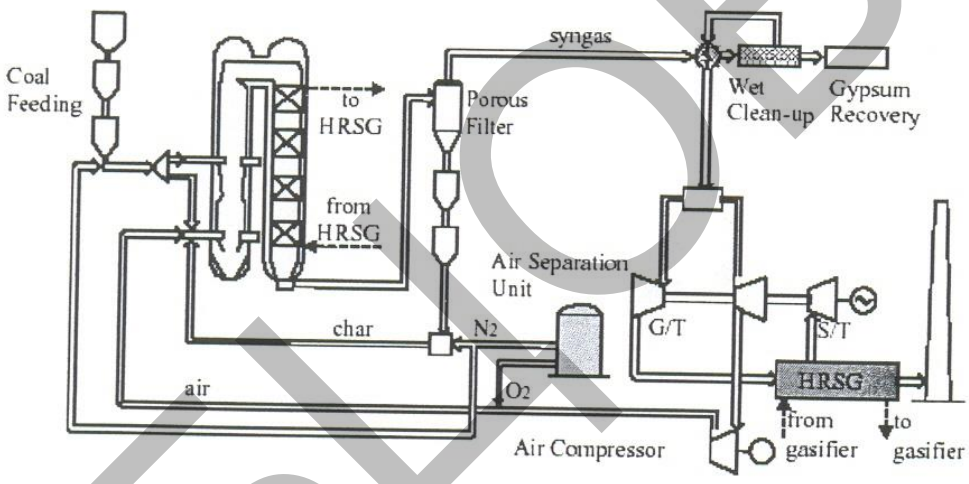


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу електростанції комбінованого циклу з газифікацією вугілля

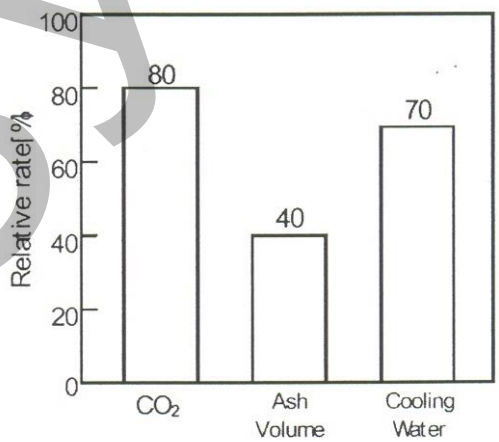


Рисунок 1.2 – Порівняння з пиловугільним блоком (технологія з десульфурізацією димових газів і SCR 100% при субкритичних температурах)

ЗУБЛОВ

Для збільшення ефективності установки «МНІ» застосувала двоступеневу схему, що складається з камери згоряння і редуктора (рисунок 1.3). Ця схема ідеально задовольняє цільовим призначенням установки.

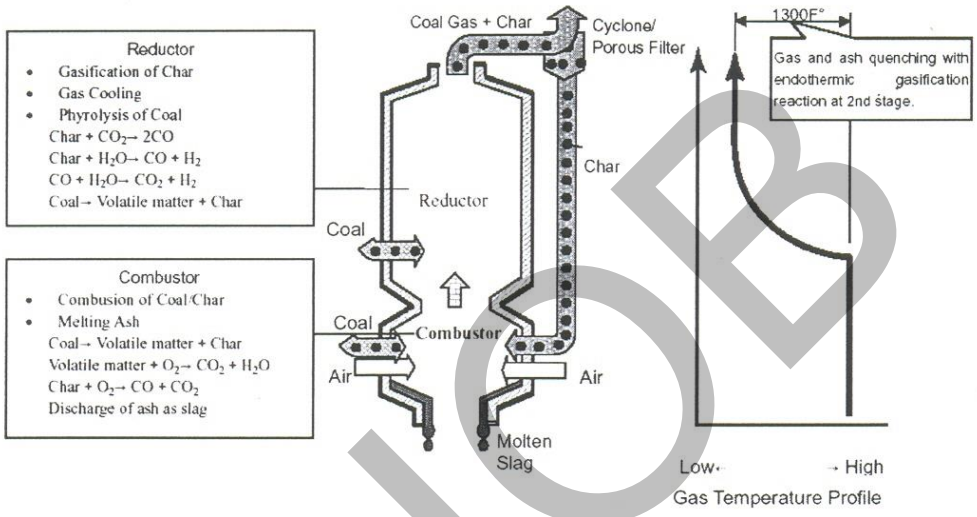


Рисунок 1.3 – Принцип роботи двоступеневої системи газифікації з повітряним дуттям

У камері згоряння, де при високій температурі і високому співвідношенні повітря і вугілля спалюються вугілля і реконструйована смола, виробляється кількість теплоти, яка забезпечує достатній рівень процесу газифікації в редукторі, при малому відсотку незгорілого вуглецю і вільному ході розплавленого шлаку. Ефективність цієї установки по конверсії вуглецю, що міститься у вугіллі, в синтетичний газ перевищує 99,8%. Теплотворна здатність синтетичного газу на вході в камеру згоряння ГТ є достатньою для підтримки стабільної роботи газової турбіни.

У редукторі відбувається вкидання додаткового обсягу вугілля в потік гарячого газу, що надходить з камери згоряння. Тут здійснюється газифікація вугілля, що представляє собою ендотермічну реакцію, достатня кількість теплоти для якої забезпечує гарячий газ з камери згоряння. З вугілля виділяються леткі речовини; смола, що залишилася, також перетворюється в горючий газ. У верхній частині редуктора гарячий газ охолоджується, що дозволяє уникнути

ЗУБЦОВ

збоїв в конвективному теплообміннику. Утворені тверді смоломісткі частки є сухими і нев`язкими, завдяки чому мінімізується ймовірність закупорки або засмічення нагрівальних поверхонь.

Синтетичний газ на виході з редуктора містить певний відсоток смоли, яка вловлюється циклонними і пористими фільтрами і повторно направляється в камеру згоряння, де перетворюється або в синтетичний газ, або в шлак [4].

Ще однією перевагою двоступеневого газифікатора з повітряним дуттям є те, що містяться в вугільному газі смоляні частинки в редукторі швидко охолоджуються до твердого стану внаслідок самої ендотермічної реакції газифікації вугілля. Це дозволяє уникнути необхідності створювати спеціальну охолоджуючу середу або використовувати потужні охолоджувачі, як в установках з кисневим дуттям.

Описана вище технологія газифікації була прийнята за основу на експериментальній установці потужністю переробки вугілля 200 тонн в день, де доцільність використання газифікатора з повітряним дуттям була підтверджена успішною експлуатацією протягом 4 770 годин.

Висновок з комбінованого циклу виробництва електроенергії з попередньою газифікацією вугілля

Електростанція комбінованого циклу, що використовує двоступінчастий процес газифікації вугілля з повітряним дуттям, є рішенням, що дозволяє досягти найвищого в світі чистого теплового ККД при прекрасних екологічних показниках. При проектуванні демонстраційної установки потужністю 250 МВт, будівництво якої почалося в серпні 2004 р., її розробник, компанія «ССР», спиралася на результати успішних дослідницьких випробувань експериментальної електростанції потужністю переробки вугілля 200 тонн в день, а також додаткові дані, отримані в результаті випробувань газифікатора потужністю 24 т/день в дослідницькому центрі м Нагасакі. Після того, як «ССР» і «МНІ» переконаються в високих експлуатаційних показниках установки, яка приступить до роботи в 2007 р., може бути розпочато промислове виробництво

ЗУБЦОВ

подібних станцій більшої потужності з відмінними показниками ефективності, екологічної чистоти і економічності, що стане важливим внеском в забезпечення енергетичної безпеки і охорони навколишнього середовища у всьому світі.

В даний час в Казахстані виявлено 25 родовищ горючих сланців. Як альтернативні джерела енергії хороші перспективи мають горючі сланці Кендирликського родовища, що знаходиться в Східному Казахстані, з запасами близько 4 млрд тонн [6].

Одним з основних переваг горючих сланців перед іншими видами твердого палива є висока атомне співвідношення Н/С в їх органічній масі. Даний показник в деяких випадках становить 1,7 (нафта 1,9; вугілля 0,4-0,5). У Кендирликських сланців атомне співвідношення Н/С становить 1,18-1,53. Це особливо важливо для отримання різних рідких вуглеводнів в синтезі Фішера-Тропша, де мольное співвідношення H_2/CO в синтез-газі варіюється в межах від 1 до 3.

Результати досліджень вчених показують доцільність газифікації горючих сланців Кендирликського родовища для отримання піролізного газу, який за своїми показниками цілком придатний для виробництва полімерних з'єднань [7].

Серед різних технологій газифікації твердих палив перспективною є безвідходна, енергозберігаюча та екологічна технологія газифікації в шлаковому розплаві, що барботується парокисневим дуттям. Дана технологія дозволяє переробляти низькосортні види твердого палива.

Суть даної технології полягає в організації процесу газифікації твердого палива в обсязі власного рідкого шлаку, який барботують дуттям, збагаченим киснем.

При цьому газифікацію вуглецю твердого палива в шлаковому розплаві можна розглядати як неповне окислення вуглецю. В якості агентів окисників найбільш часто використовують O_2 (1.1), CO_2 (1.2) і H_2O (1.3):

$$C + 0{,}5O_2 = CO + 123{,}2 \text{ кДж/моль} \quad (1.1)$$

$$C + CO_2 = 2CO - 161{,}5 \text{ кДж/моль} \quad (1.2)$$

$$C + H_2O = CO + H_2 - 136{,}9 \text{ кДж/моль} \quad (1.3)$$

ЗУБЦОВ

Для отримання синтез-газу заданого складу при газифікації палива спільно з повітряним дуттям (збагаченим киснем) вводиться водяна пара, кількість якого безпосередньо залежить від температури процесу. Надмірне збільшення кількості H_2O з метою підвищення H_2 в продуктах сприяє зниженню температури і застигання шлаку. При нестачі H_2O знизиться кількість H_2 в складі газів, що відходять, що знижує можливість отримання синтез-газу необхідного складу.

Процес газифікації в шлаковому розплаві здійснюється наступним чином (рис. 1.4). Зверху в газифікатор безперервно завантажують тверде паливо. У шлакову ванну через бічні фурми вдувають збагачене киснем пароповітряне дуття нижче рівня поверхні шлаку. При цьому розплав, що знаходиться вище рівня фурм, переходить в барботуємий стан, що характеризується високою інтенсивністю перемішування. Температура в зоні підведення фурми з дуттям до шихти залишається в інтервалі 1300-1500°С Нижня частина ванни залишається в спокійному стані. За рахунок високої інтенсивності перемішування відбувається заміс частинок ококсованого палива в обсяг барботуємої зони.

Кисень дуття, проходячи через шлак, окисляє замішані в шлаку частки твердого палива по реакціях: $2C + O_2 = 2CO$ и $C + O_2 = CO_2$. Крім O_2 в газифікації палива також бере участь спеціально подається в реактор разом з дуттям водяна пара: $C + H_2O = CO+H_2$.

Співвідношення CO/CO_2 в генераторному газі може регулюватися технологічними прийомами в широких межах аж до отримання CO з мінімальним вмістом CO_2.

Зола палива, що складається в основному з оксидів, розчиняється в шлаковому розплаві. У міру утворення шлак виводиться з газифікатора через сифонний пристрій. Утворений металевий сплав також виводиться з реактора.

Таким чином, основними перевагами технології газифікації в барботуємому шлаковому розплаві є: низькі викиди азоту, сірки і пилу (чому сприяють застосування O_2 і H_2O); рідке шлаковидалення; регулювання

ЗУБЛІОВ

продуктивності процесу в широких діапазонах; висока продуктивність і швидкий перехід від одного виду сировини до іншого; безвідходність виробництва та екологічна безпека даної технології.

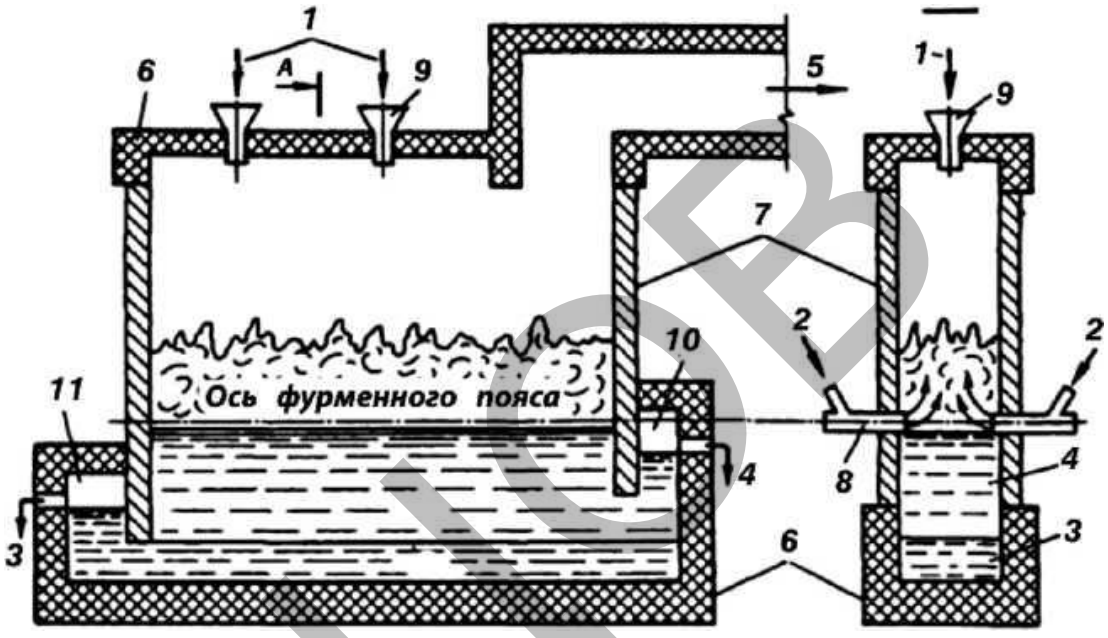


Рисунок 1.4 – Схема процесу газифікації палива в шлаковому розплаві:

1 - тверде паливо, 2 - дуття, 3 - металева фаза, 4 - рідкий шлак, 5 - газохід, 6 - вогнетривка кладка, 7 - мідні литі кесони, 8 - фурми, 9 - завантажувальна воронка, 10 - сифон шлаковий, 11 - сифон для рідкометалевої фази.

У разі промислового впровадження даної технології стане можливим багатоцільова переробка сланців, низькосортних марок вугілля і відходів вугільної промисловості (вугільних шламів, золовідвалів), як мінеральної сировини для виробництва з нього затребуваних на ринку матеріалів і товарів широкого асортименту.

Ще одним прикладом нової технології використання твердого палива, що дозволяє вирішувати проблему захисту навколишнього середовища, є метод газифікації вугілля в шлаковому розплаві. Сутність цього методу, який вже кілька років розробляє НДІ екологічних проблем енергетики [8, 9], полягає в наступному. Тверде паливо подається в спеціальну камеру-газифікатор, яка є складовою частиною енергетичного котла. При пуску ванна камери-газифікатора

ЗУБЛЮВ

заповнюється рідким шлаком, необхідний обсяг якого в подальшому підтримується автоматично. За допомогою фурм-пальників шар шлаку продувається збагаченим дуттям завдяки чому він підтримується в стані газошлакової емульсії. Вугілля в розплав подається без будь-якої попередньої підготовки. З метою зв'язування сірки і забезпечення певних в`язкостних характеристик розплаву до вугілля додається вапняк. Отриманий генераторний газ дожигається в топці розташованого над камерою-газифікатором котла (рис. 1.5).

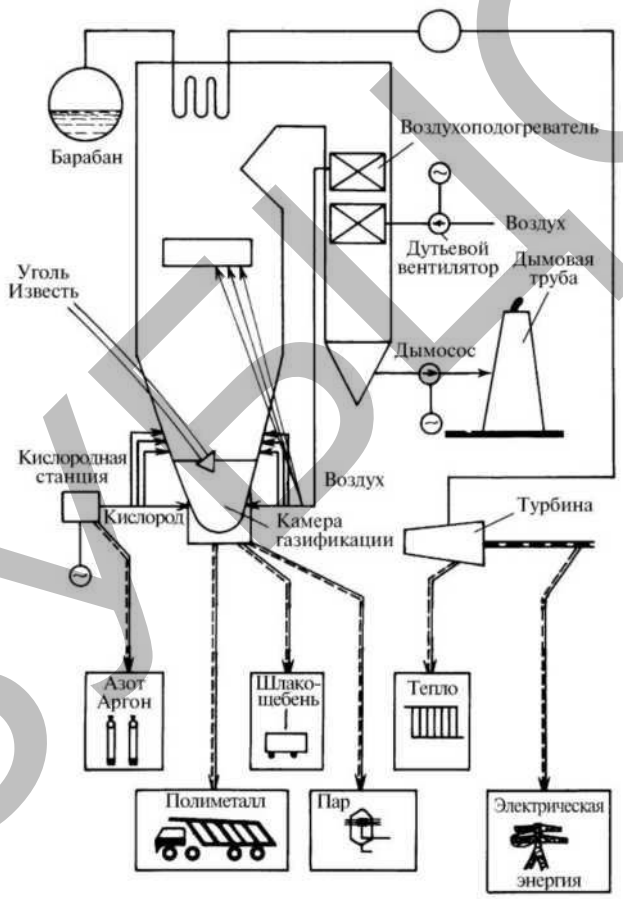


Рисунок 1.5 – Схема котельної установки з газифікацією вугілля в розплаві шлаку

При барботувані розплаву парокиснемістким дуттям в камері-газифікаторі шлак зазнає складні фізико-хімічні перетворення з відновленням металів і накопиченням їх в донній частині камери. Цей так званий важкий шлак являє

ЗУБІЦОВ

собою чавун або феросиліцій, в якому, досягаються відносно високі концентрації кольорових і рідкоземельних металів (поліметалоконцентрат), що робить ефективною подальшу переробку даної цінної сировини на підприємствах чорної і кольорової металургії. Важкий шлак зливається з камери-газифікатора періодично в виливниці розливної машини, де охолоджується, потім прямує в вигляді окремих чушок на склад готової продукції. Легкий шлак, що складається з оксидів кремнію, кальцію, алюмінію, магнію, натрію і калію, зливається з верхньої частини ванни камери-газифікатора і надходить на установки переробки його в товарну продукцію.

Грунтуючись на результатах експериментальних досліджень, проведених на лабораторних і напівпромислових установках, автори методу вважають, що технологія газифікації вугілля в барботуємому парокисневим дуттям шлаковому розплаві має ряд важливих переваг:

· можливість використання будь-яких низькосортних і непроектних вугілля незалежно від їх марки і якості;

· реалізація максимальної концентрації технологічного процесу в умовах ідеального змішування рідких, твердих і газоподібних компонентів;

· безвідходність по золошлакам, яка забезпечується перекладом практично всієї мінеральної частини палива в розплав і можливістю коригування його складу з метою вторинної переробки;

· відновлення та виведення з розплаву чорних і кольорових металів;

· висока екологічна чистота, особливо по твердим викидів (50 мкг/м^3) і оксидів азоту (100 мг/м^3), зниження на 30% викидів SO_2 і на 10% викидів CO_2;

· можливість регулювання за рахунок зміни кількості подаваного в розплав вапняку переходу сірчистих сполук в газоподібну (димові гази) або рідку (шлаки) фазу і зв'язування шлаком до 90% сірки палива;

· відсутність громіздких систем паливоприготування, пилеподачі і золоочистки; відсутність золовідвалу;

ЗУБЦОВ

· широка реалізація дефіцитних попутних газів кисневої станції (азоту, аргону) для потреб підприємств регіону;

· висока економічна ефективність, в тому числі за рахунок подальшого розширення асортименту продукції, що реалізується з мінеральної частини палива.

Для перевірки обґрунтованості перерахованих достоїнств методу передбачається в найближчі роки провести повномасштабний експеримент: на Несветай ГРЕС в ВАТ «Ростовенерго» буде створена дослідна установка (ОПУ) з технологією газифікації вугілля в шлаковому розплаві. Теплова потужність ОПУ 200 МВт, витрата пара від котельні установки з температурою 510°С і тиском 10 МПа 220 т/год. Основне паливо - донецьке вугілля АШ з теплотою згоряння 19,82 МДж/кг.

Технологічна схема ОПУ включає наступні структурні елементи: систему подачі палива і флюсу; котел з камерою-газифікатором; кисневу станцію;систему підготовки і подачі дуття; установки для переробки шлаку в товарну продукцію; сенсор і брикетування поліметалічних відходів; вузол подачі природного газу; систему технічного водопостачання.

Паливо і флюс зі складу за існуючим трактом подачі палива Несветай ГРЕС направляються в бункер сирого вугілля ОПУ, а потім без додаткової підготовки (металоуловлювання, дроблення, розмелювання і ін.) подаються в камеру-газифікатор. Кисень до фурм підводиться з тиском 0,3 МПа. Для виробництва кисню використовується серійна повітророзподільна установка. Вугілля в камері завдяки високій температурі піддається термічному руйнуванню і за рахунок барботажу ванни рівномірно розподіляється по перетину. В результаті в камері-газифікаторі створюються ідеальні умови тепломасообміну, що забезпечують високу ефективність процесу газифікації вугілля. Теплота згоряння отриманого генераторного газу становить 6,0 ... 11,0 МДж/м^3 (1400 ... 2700 ккал/м^3), що дозволяє допалити його в топці котла при помірному температурному рівні факела. Спалювання газів проводиться в

ЗУБЦОВ

середовищі гарячого повітря. Після проходження димовими газами конвективних поверхонь нагріву котла і повітряпідігрівача вони направляються в димову трубу ГРЕС.

Організований таким чином, процес газифікації в розплаві шлаку може здійснюватися як при атмосферному, так і при підвищеному тиску в камері-газифікаторі. Дослідно-промислова установка Несветай ГРЕС, призначена для дослідження і відпрацювання режимів нової технології, спроектована за найбільш простою схемою, в якій генераторний газ з камери-газифікатора, що працює при атмосферному тиску, направляється для спалювання в топку парового котла, що примикає безпосередньо до вихідного перерізу камери-газіфікатора. Енергетична ефективність такого варіанту використання генераторного газу визначається параметрами пари і тепловою схемою паросилового циклу. Параметри пара, прийняті в проекті ОПУ, не є оптимальними, оскільки в цілях забезпечення промислового використання ОПУ для вироблення електроенергії на ГРЕС при мінімальних додаткових капіталовкладень котельня установка ОПУ вбудовується в діючий на Несветай ГРЕС паросиловий цикл з відносно низьким тиском пари 10 МПа і температурою 510°С без проміжного перегріву.

Теплова ефективність використання вугілля при даній технології газифікації різко підвищується в разі застосування її в більш економічних теплових схемах і термодинамічних циклах (при надкритичних параметрах пари котла, ПГУ з внутріцикловою газифікацією при атмосферному і високому тиску, уприскуванням пари в ГТУ, термоемісійною надбудовою та ін.). Для практичної реалізації цієї технології планується створення газифікатора з аерошлаковим розплавом під тиском. Робочий тиск в його реакційній камері 2 МПа, теплова потужність 6 МВт.

Освоєння і застосування даної технології в електроенергетиці дозволяє здійснити комплексне безвідходне використання всієї органічної та мінеральної маси вугілля як цінного природного сировини для виробництва не тільки

ЗУБЦОВ

енергетичної, а й інших, що користуються широким попитом видів товарної продукції і тим самим значно підвищити ефективність використання вугілля в цілому.

В Україні існують наступні напрямки газифікації вугілля

Газогенератор для отримання генераторного газу з вугілля (Іванов А. І., Зятьєв В. П., Кравцов В. В. та ін..), виконаний у вигляді футированої шахти з подом і системами подачі повітря і золовідводу, який відрізняється тим, що його обладнано золодробарками, виконаними у вигляді лопатевих сегментних поверхонь, установлених на валах, система золовідводу виконана у вигляді шнека, розташованого під дробарками, а під печі утворено нахиленими до горизонту жалюзними решітками, обладнаними механізмом регулювання кута розкриття жалюзі. Газогенератор відрізняється тим, що жалюзні решітки розташовані під кутом 60 градусів до горизонту та привід шнека виконано з можливістю зміни напрямку обертання шнека

Описуваний передбачений винахід відноситься до теплотехнічних пристроїв, зокрема, до конструкції печей-газофікаторів та може бути використаний для газифікації різних видів вугілля.

Відомий пристрій-аналог, напівмеханізований генератор [9] для одержання генераторного газу, виконаний у вигляді футированої шахти із системою підвідних повітропроводів, під зроблений у вигляді колосникової решітки, а склепіння печі утворено непорушною кришкою зі встановленою на ній системою автоматичного завантаження вугілля та відвідних боровів. Даний пристрій відрізняється низькою продуктивністю через недосконалість конструкції та недостатню механізацію процесу.

За прототип обраний механізований генератор, який складається з футерованої шахти, що обертається із системою підвідних повітропроводів, під якої виготовлений як нерухома колосникова решітка з зольною чашею, а склепіння печі утворено нерухомою кришкою, на якій встановлена система

ЗУБЦОВ

автоматичного завантаження вугілля, водоохолоджувальний шурувальник, система відвідних боровів [1].

До недоліків цього пристрою-прототипу належить низька продуктивність газогенератора через недосконалість конструкції, недостатню автоматизацію та механізацію процесу.

Метою винаходу є вирішення задачі підвищення продуктивності установки за рахунок удосконалення конструкції газогенератора та механізації технологічного процесу, що водночас дозволяє розширити використану паливну базу агрегату, обираючи за паливо високозольні енергетичні виснаження приски, що містять сірку.

Поставлена задача вирішується тим, що газогенератор для одержання генераторного газу із вугілля устаткований золодробарками, зробленими у вигляді лопатевих сегментних поверхонь, встановлених на валах, що обертаються, привод який забезпечує можливість реверсу, та шнековою системою золовідводу, а під печі утворений складовими нахиленими жалюзними решітками, які встановлені під кутом 60° та обладнані механізмом регулювання кута розкриття жалюзі.

Технічна сутність та дія пропонованого пристрою пояснюється кресленням, на якому на рисунку 1.6 представлено поперечний розріз газогенератора. Пропонований газогенератор для одержання генераторного газу має прямокутну форму з внутрішнім прямокутним перерізом 1,73x3,46=6 м^2. На кришці генератора встановлений трубчатий живитель 1 та два борови для відведення газу 2. Стінки шахти 3 зовні утворені металевим листом 5=8 мм та з внутрішнього боку викладені листовим азбестом 4 5=10 мм. Внутрішні стінки шахти 5 викладені шаром шамотної цегли завтовшки 345 мм. Для надання механічної міцності конструкції вона обов'язується швелерами, які скріплені пов'язами в верхньої частині шахти. В нижній частині швелери опираються на балки години газогенератора та приварюється до них. Подина газогенератора утворена в складових похилих решіток 6, в котрих виконані отвори 7, а твірна

ЗУБЦОВ

решіток складає з горизонталлю кут у 60°. З нижнього боку решіток, встановлені жалюзі для регулювання об'єму подаваного повітря. В нижньої частині газогенератора, вище решіток, встановлені дві золодробарки 8, які виконані у вигляді лопатевих сегментних поверхонь, встановлених на двох валах, що обертаються, які через муфти та редуктор з'єднані з електродвигунами, що забезпечують можливість роботи в режимі реверсу. Вони дозволяють дробити великі шматки золи, забезпечуючи її рівномірне видалення. У випадку заклинювання золодробарок одна з них чи обидві можуть працювати в режимі реверсу, що дозволяє ліквідувати заклинювання та перейти на роботу у звичайному режимі. Підвід повітря 9 знаходиться нижче рівня жалюзі та подається в робочий простір для більш рівномірного розподілу повітря за площею поперечного перерізу генератора. Підводи повітря виконані у вигляді кутків, у яких кут звернений до гори назустріч потоку золи. В нижній частині генератора розташований шнек 10, за допомогою якого здрібнену золодробарками золу випроваджують в спеціальні герметичні бункери, з яких періодично за допомогою мостового крана зола переміщується у золо-контейнери.

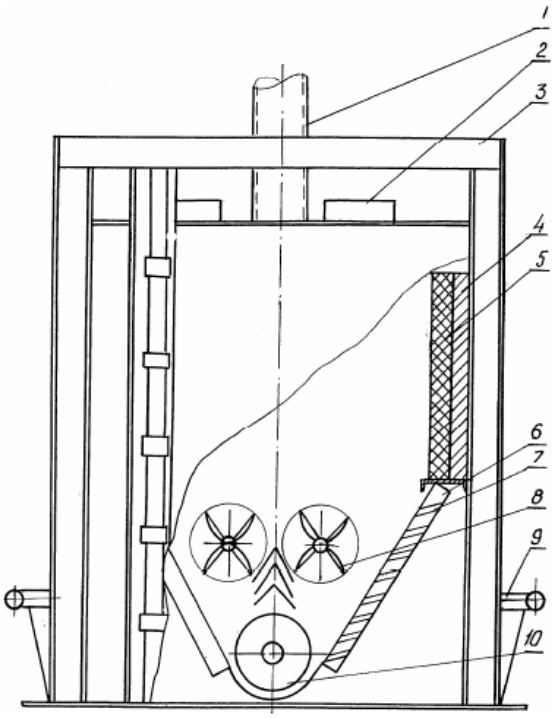


Рисунок 1.6 – Поперечний розріз газогенератору

ЗУБЦОВ

Описаним вище газогенератором користуються таким чином: крізь спеціальний лаз, що герметично зачиняється, в шахту газогенератора завантажуються пальні матеріали, що містять дерево, та робиться їх розпалювання. Потім з бункера, в який завантажений коксовий дріб'язок, крізь живитель дрібними порціями подається вугілля. З низу крізь жалюзі та решітки подається повітря. При спалюванні вугілля в струмені повітря йдуть реакції горіння: $C+0,5\ O_2 = CO+28,4$ ккал; $CO+0,5\ O_2 = CO_2+68,2$ ккал; $C+O_2=CO_2+96,6$ ккал.

З мірою розпалювання вугілля та стабілізації процесу горіння завантажувані порції палива збільшуються доти, доки процес не буде носити безперервного характеру. Внутрішня частина пічної шахти буде цілком завантажена вугіллям.

Під шаром вугілля виходять продукти горіння, які складаються з CO_2 та N_2 та напору повітря.

При збільшенні шару вугілля без зміни припливу повітря кількість O_2 у димових газах поступово зменшується.

Товщина шару вугілля підтримується постійно за рахунок постійного підкидання зверху нових порцій вугілля. Горіння відбувається тільки в нижньому шарі, а увесь O2 витрачається на утворення CO_2. CO_2, піднімаючись у верхні шари, буде реагувати з розжареними шматками вугілля за реакцією $CO_2+C=2CO$ - 39,8 ккал. Дана реакція ендотермічна та протікає за рахунок теплоти реакцій горіння вугілля у нижньому шарі. Внаслідок над шаром вугілля утворюється газ, який складається із суміші CO і N_2 (повітряно-генераторний газ). З урахуванням N_2 маємо: $2C+O_2+3,76\ N_2=2CO+3,76N_2$.

Суміш буде складатися в об'ємних відсотках %: CO - 34,7%, 65,3% - N_2.

Для збагачення повітряно-генераторного газу водночас з повітрям вдувається водяний пар. При зіткненні з розжареним вугіллям відбувається розкладення водяного пару за реакцією: $H_2O+C=H_2+CO$ - 30,2 ккал, внаслідок якої утворюється водяний газ зі складом: CO - 50%, H_2 - 50%.

ЗУБЦОВ

Внаслідок обох реакцій одержуємо змішаний генераторний газ, який складається із CO, H_2 та N_2. Водночас з наведеними вище реакціями при газифікації вугілля у верхніх шарах буде відбуватися його суха перегонка з виділенням летких.

Водночас пирітна та органічна сірка буде утворювати леткі сполуки H_2S. Якщо розглянути умови рівноваги реакції в температурному інтервалі 500-1000°C, можна визначити оптимальний температурний режим процесу генерування.

$CO_2+C=2CO$

$H_2O+C=H_2+CO$

Таким чином, при температурі вище 1000°C реакції протікають цілком зліва направо. Для стабілізації процесу необхідно підтримувати температуру в нижньому шарі вугілля у інтервалі 1000-1200°C. З мірою того, як вугілля нижнього шару цілком прореагує, утворюється зола, яка під тиском ваги стовпа вугілля опускається донизу до золодробарок, де здрібнюється та за допомогою шнека випроваджується з робочого простору.

Водночас здійснюється довантаження генератора вугіллям через живитель. Процес ведеться безперервно. При просуванні шару по шахті в нижній частині можуть утворитися спеки, для руйнування яких, призначені золодробарки. Для виключення ушкодження сегментів їх лопаті виконані у вигляді сегментних поверхонь, встановлених з кроком 100 мм на поверхнях, які обертаються. У випадку їх заклинювання вмикається реверс, і після руйнування спека вони перемикаються на звичайний режим роботи. Відведення генераторного газу здійснюється із підготовленої зони, вище рівня шихти, по засобах 2-х газоприймачів, з'єднаних з головною трубою генераторного газу.

Вугілля в приймальний бункер з трубою-живителем подається стрічковим конвеєром із бункера шихтового подвір'я, в який він навантажується 5-тонним мостовим краном, за допомогою грейфера з приямка.

ЗУБЦОВ

Відділення золовидалення приймає золу після виносу її шнеком в спеціальний герметичний бункер, з якого вона періодично вивантажується в самоскидальний залізничний вагон та вивозиться в шлаковідвал.

Описаний вище генератор може працювати у 3-х режимах: повітряно-генераторному, змішаному і водяному. Хімічний склад одержуваного газу приводиться у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Склад газу при різних режимах

Режим	H_2	CH_4	CO	N_2	CO_2	$Q_н$
	% об.					ккал/нм^3
Повітряно-генераторний	1-7	1-3	24-34	54-70	1-17	0,8-1000
Змішаний	13-19	0-1,5	17-27	49-50	6-8	1,3-1,4
Водяний	44-53	0-4	40-45	1-8	1,5-6	2,8-3

Для роботи у повітряно-генераторному режимі через шар вугілля пропускається повітря. Отриманий газ відрізняється низькою калорійністю і відносно високим утриманням CO_2. Цей режим використовується при запуску газогенератора. Змішаний режим відрізняється тим, що одночасно з повітрям, подається водяна пара у співвідношенні 0,5:1 к кількості вугілля. Якість газу поліпшується, але калорійність його знаходиться в межах 1,3-1,4 ккал/нм^3, це найбільш оптимальний режим роботи, який характеризується уривчастістю і може бути використаний при необхідності разового отримання висококалорійного газу. Для цього після повітряно-генераторного режиму припиняється подавання повітря, і подається тільки водяний газ. Запропонований газогенератор забезпечує інтенсивність газифікації до 550 кг/м^{2}г.

Економічний ефект, який чекають від використання газогенератора з порівнянням, з використанням природного газу становитиме 0,5 млн умовних одиниць на рік. За запропонованим пристроєм розроблені робочі креслення, та для забезпечення його промислового впровадження планується будова трьох шахтних котельних, що працюють на генераторному газі. Орієнтована потреба господарства України становить до 500 генераторів.

ЗУБЦОВ

2 Вибір та обґрунтування природоохоронного заходу

На кафедрі хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля розробляється технологія синтез-газу з вугілля та окиснення киснем повітря в розплаві теплоносія під керівництвом заслуженого діяча науки і техніки України д.т.н., проф. Глікіна Марата Ароновича. Дана технологія полягає в наступному.

Спосіб одержання синтез-газу шляхом парової газифікації вуглецевої сировини у реакторі, що включає зону конверсії і зону окислення у розплаві теплоносія при підтримуванні температури у зоні окислення вище, ніж у зоні конверсії, який відрізняється тим, що процес конверсії органічної частини вуглецевої сировини відбувається у зоні конверсії реактора за рахунок теплової енергії, яка утворюється у зоні окислення реактора і безперервно надходить з циркулюючим між зонами теплоносієм, а теплоносій перед виводом із реактора проходить зону доокислення вуглецю із розплаву теплоносія.

Запропонована технологія стосується способу хімічного перетворення твердої вуглецевої сировини, зокрема вугілля, у синтез-газ, що вміщує в основному водень і монооксид вуглецю, з використанням рідкого високотемпературного теплоносія і може використовуватися у паливно - енергетичній, хімічній та суміжних галузях промисловості.

В основу поставлена технічна задача створення такого способу одержання синтез-газу, в якому завдяки проведенню безперервного процесу газифікації вуглецевої сировини і використанню трьохзонного реактора з циркулюючим між зонами розплавом теплоносія при певній температурі, концентрації вуглецю, висоті теплоносія, уся органічна маса вуглецевої сировини переробляється у синтез-газ і гази окислення, при цьому спрощується процес і поліпшуються техніко - економічні показники.

ЗУБЦОВ

Поставлена задача вирішується тим, що у способі одержання синтез-газу шляхом парової газифікації вуглецевої сировини у реакторі, що включає зону конверсії і зону окислення у розплаві теплоносія при підтримуванні температури у зоні окислення вище, ніж у зоні конверсії, процес конверсії органічної частини вуглецевої сировини відбувається у зоні конверсії реактора за рахунок теплової енергії, яка утворюється у зоні окислення реактора і безперервно надходить з циркулюючим між зонами теплоносієм, а теплоносій перед виводом із реактора проходить зону доокислення вуглецю із розплаву теплоносія. Технічним результатом запропонованої технології є спрощення процесу переробки твердої вуглецевої сировини у синтез-газ та поліпшення техніко-економічних показників. Відмітною особливістю запропонованого способу одержання синтез-газу є проведення безперервного процесу у трьохзонному реакторі з циркулюючим між зонами розплавом теплоносія з температурою 1500-1800^{0}С, який забезпечує підвід енергії для реакції парової конверсії вуглецевої сировини. Циркуляція розплаву між зонами через гідрозатвір забезпечує одержання і вихід газоподібних продуктів із кожної зони окремо без змішування. Для збільшення часу перебування, поліпшення тепло- і масообміну між газифікуючим агентом і вуглецевою сировиною використовують насадку у розплаві теплоносія.

Запропонований спосіб здійснюють таким чином.

На рисунку 2.1 показана схема установки одержання синтез-газу.

Реактор I для переробки вуглецевої сировини поділений перегородками на три зони. Перегородки виконані у вигляді переливних пристроїв, що дає можливість забезпечити циркуляцію розплаву теплоносія між зонами реактора і вихід газових продуктів із кожної зони окремо. У розплав теплоносія, зони конверсії 1, вводять суміш водяної пари і вуглецевої сировини. Під впливом високої температури здійснюється парова газифікація з одержанням синтез-газу.

ЗУБЦОВ

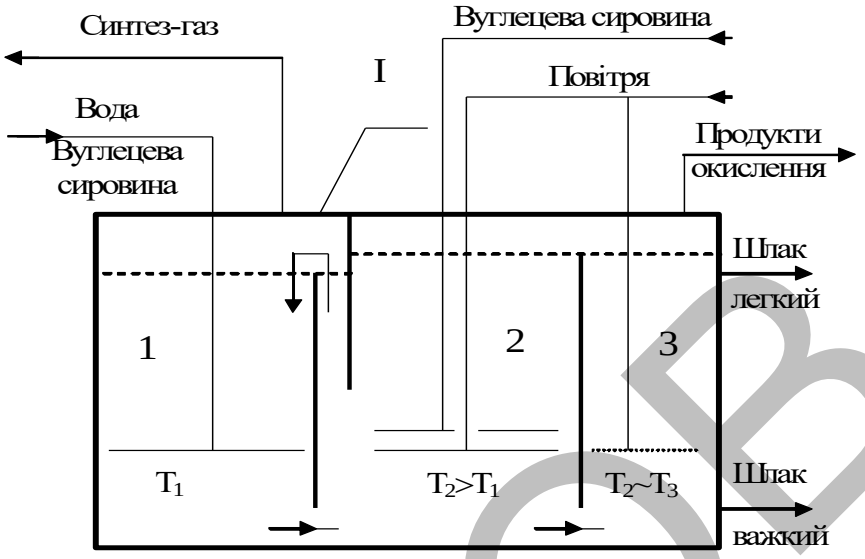


Рисунок 2.1 – Трьохзонний реактор одержання синтез-газу газифікацією вугілля в розплаві теплоносія: I - трьохзонний реактор; 1 - зона конверсії; 2 - зона окислення; 3 - зона доокислення.

Одночасно у зону окислення 2 у розплав теплоносія, який надходить із зони 1, вводять суміш повітря і вуглецевої сировини. Вуглець окислюється киснем повітря а оксиди. Енергія, що виділяється при окисленні, залишається у розплаві і переноситься у зону конверсії 1 та забезпечує перебіг ендотермічних процесів парової газифікації вуглецевої сировини.

У зону доокислення 3 у розплав теплоносія подають повітря. При цьому вуглець, який залишився в розплаві теплоносія, окислюється киснем повітря до необхідної кінцевої концентрації. Надлишкову кількість теплоносія виводять із системи з мінімальним вмістом вуглецю.

Запропонований спосіб одержання синтез-газу пояснюється прикладами.

Приклад 1 (порівняльний) [Патент США №5984985, СШ 3/20, заявл. 20.02.1992р., опубл. 16.11.1999р.].

Приклад розглядається для навантаження по вугіллю 15 т/год.

На першій стадії здійснюється розчинення вуглецю у розплаві заліза у першій камері реактора при температурі 1300°С. Відхідний газ, що містить

ЗУБЦОВ

вуглець та водень, використовують для пневматичного вводу твердих частинок у камеру.

На другій стадії здійснюється газифікація розчиненого вуглецю у розплаві заліза при підвищенні температури від 1300 до 1600°С сумішшю криогенного кисню та водяної пари. Одержаний синтез-газ є кінцевим продуктом процесу. Результати дослідження наведені у таблиці 2.1.

Приклади 2-11.

У реактор, який являє собою кварцову посудину діаметром 33 мм і висотою 135 мм, завантажують 100 г хлориду натрію і вміщують в електричну піч. Реактор нагрівають до температури 900-1100^{0}С. У розплав зони конверсії по кварцовій трубці на глибину 80 мм подають суміш водяної пари і газового вугілля (приклади 2-3), водяної пари і сажі (приклади 4-7), а також водяної пари і сажі у розплав, заповнений на 50% кварцовою насадкою (приклади 8-11). Пар і вуглецеву сировину барботують через розплав теплоносія, при цьому вуглець розчиняється у розплаві і відбувається процес парової конверсії. Газоподібні продукти конверсії виводяться з поверхні розплаву і аналізуються. Після проведення процесу конверсії в одержаний розплав подають суміш повітря і вуглецевої сировини.

Оксиди вуглецю утворюються у зоні окислення. Енергія, що виділилась при окисленні вуглецю, забезпечує нагрів розплаву теплоносія. У розплаві теплоносія після проведення процесу окислення з залишковим вуглецем в умовах надлишку повітря здійснюється повне доокислення вуглецю. Одержаний розплав виводять із реакційної системи. Результати дослідження наведені у таблиці. Як видно із прикладав, на стадії конверсії у запропонованому способі забезпечується повна переробка органічної маси і летючих компонентів вуглецевої сировини. Ступінь перетворення вуглецю в залежності від умов може досягати 99% (приклад 1, 2). При газифікації сажі (приклади 3-11) показано, що використання насадки дозволяє збільшити вихід синтез-газу у середньому на 20%.

ЗУБЦОВ

Таблиця 2.1 – Показники парової конверсії вугілля в розплаві теплоносія

№	Процес	Температура, ^{0}C	Газифікуючий агент					Склад продуктів реакції						Вихід синтез-газу, м^3/т	Ступінь перетворення вуглецю, %
			Кріогенний кисень (%мас.)			Витрата кисню, моль/год	Витрата води, моль/год	H_2	CO	N_2	Ar	CO_2	CH_4		
			Ar	O_2	N_2										
1	Газифікація вуглецю	1300 до 1600^0 C	1,7	98,0	0,3	1659,0	380,8	23,0	76,5	0,1	0,5	-	-	1923	-
Зона парової конверсії															
2	Газифікація без насадки газове вугілля	1000	-	-	-	-	2,13	43	30,5	-	-	16,3	10,2	3283	99
3			-	-	-	-	4,74	46,2	32,9	-	-	13,6	7,3	2549	73,4
4	Газифікація без насадки сажа	940	-	-	-	-	0,66	76,4	19,5	-	-	3,5	0,6	2318	-
5			-	-	-	-	1,57	78,8	16,1	-	-	4,6	0,5	-	-
6			-	-	-	-	2,13	80,4	14	-	-	5,1	0,5	-	-
7			-	-	-	-	4,74	79,5	11,4	-	-	8,5	0,6	-	-
8	Газифікація з насадкою сажа	940	-	-	-	-	0,66	71,9	25,9	-	-	1,1	1,1	3260	-
9			-	-	-	-	1,57	73,5	22,2	-	-	3,1	1,2	-	-
10			-	-	-	-	2,13	75,3	20,3	-	-	3,6	0,9	-	-
11			-	-	-	-	4,74	76,3	16,9	-	-	6,1	0,6	-	-

ЗУБЛОВ

На стадії окислення вуглецевої сировини (таблиця 2.2) у продуктах реакції містяться монооксид і діоксид вуглецю. Збільшення витрати повітря приводить до зменшення кількості монооксиду вуглецю, і в продуктах окислення міститься диоксид вуглецю та непрореагований кисень (приклади 3 – 11). Присутність насадки дозволяє збільшити навантаження по сировині на одиницю реакційного об'єму (приклади 8 – 11).

Таблиця 2.2 – Зона окислення киснем повітря вуглецевої сировини

Приклад	Температура, ^0C	Витрата окислювача, л/год	Витрата сировини, г/год	Склад продуктів окислення, %об.			
				O_2	N_2	CO	CO_2
1		-	-	-	-	-	-
2	1100	33	7	5	79	2,2	13,9
3	1100	43,8	7	6,3	78,5	1,0	14,2
4	1020	20	0,1	5,2	79,0	1,9	13,9
5	1020	20	0,1	1,3	79,0	1,1	18,6
6	1020	40	0,1	13,6	79,0	0,4	7,0
7	1020	13,5	1,24	2,3	79,0	10,6	8,1
8	1020	12,5	5,7	3,7	79,0	10,4	6,9
9	1020	20,5	5,7	4,2	79,0	6,5	10,3
10	1020	31,5	5,7	6,2	79,0	3,5	11,3
11	1020	43	5,7	14,7	79,0	1,1	5,2

При доокисленні киснем повітря залишкового вуглецю (табл. 2.3) із розплава теплоносія у продуктах реакції містяться монооксид і диоксид вуглецю. Збільшення концентрації вуглецю у розплаві теплоносія приводить до збільшення вмісту оксидів вуглецю в продуктах реакції (приклади 1 – 3).

Таблиця 2.3 – Зона доокислення киснем повітря

№	Темпе-ратура, ^0C	Початкова конц-ія вуглецю, $г/г_{теплоносія}$	Витрата окислювача, л/год	Висота точки ввода окислювача, мм	Склад продуктів окислення, %об.			
					O_2	N_2	CO	CO_2
1	2	3	6	7	8	9	10	11
1	1020	0,088	0,32	60	6,7	79,0	3,2	11,1
2	1020	0,076	0,32	60	12,0	79,0	1,7	7,3
3	1020	0,052	0,32	60	13,2	79,0	0,8	7,0
4	1020	0,05	0,32	35	16,7	79,0	0,0	4,3
5	1020	0,05	0,32	55	10,4	79,0	2,6	8,0
6	1020	0,05	0,32	70	6,3	79,0	4,8	9,9

ЗУБІОВ

Запропонований спосіб дозволяє переробляти усю органічну масу вуглецевої сировини, а також летючі компоненти. Безперервність процесу, що протікає у різних зонах реактора, забезпечує вибухобезпечність процесу. Циркуляція розплаву за рахунок різниці густини у зонах реактора дозволяє проводити процес як при атмосферному, так і при підвищеному тиску.

На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що суттєві ознаки, заявлені у формулі даної технології, достатні для одержання технічного результату і використання у промисловості.

Можливість повного корисного використання всієї органічної маси вугілля або вуглецевих залишків дозволить досягти максимального ступеня коефіцієнта корисної дії як термічного так і в цілому. При цьому отриманий синтез-газ можливо спалювати в котлах теплових електростанцій не завдаючи значної шкоди оточуючому середовищу (відсутній винос твердих часток, газове паливо можливо спалювати за більш спрощенною технологією ніж тверде). Димові гази зі стадій окиснення та доокиснення несуть із собою високопотенційну теплову енергію, яку можливо утилізовувати за технологічними стадіями наявними на сучасних теплових електростанціях. Можлива організація процесу без залучення стадії газифікації, тобто спалювання вугілля в розплаві. При цьому в обох випадках відсутній винос з реакційного вузла твердих часток, що безумовно покращує екологічну сторону виробництва теплової енергії з викопної сировини, наявної в Україні в значній кількості.

ЗУБЦОВ

3. Теоретична частина

3.1 Загальна характеристика ТЕС

Електроенергію виробляють на електростанціях за рахунок використання енергії, схованої в різних природних ресурсах. Це відбувається в основному на теплових (ТЕС), працюючих по тепловому циклу.

Типи теплових електростанцій

За видом генерованої і відпускної енергії теплові електростанції поділяють на два основних типи: конденсаційні (КЕС), призначені тільки для виробництва електроенергії, і теплофікаційні, або теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Конденсаційні електричні станції, що працюють на органічному паливі, будують поблизу місць його добування, а теплоелектроцентралі розміщують поблизу споживачів тепла – промислових підприємств і житлових масивів. ТЕЦ також працюють на органічному паливі, але на відміну від КЕС виробляють як електричну, так і теплову енергію у вигляді гарячої води і пари для виробничих і теплофікаційних цілей. До основних видів палива цих електростанцій відносяться: тверде – кам'яне вугілля, антрацит, напівантрацит, буре вугілля, торф, сланці; рідке – мазут і газоподібне – природний, коксовий, доменний і т.п. газ. [1]

У залежності від типу теплосилової установки для приводу електрогенератора електростанції поділяються на паротурбінні (ПТУ), газотурбінні (ГТУ), парогазові (ПГУ) і електростанції з двигунами внутрішнього згорання (ДЕС).

У залежності від тривалості роботи ТЕС впродовж року при покритті графіків енергетичних навантажень, які характеризуються числом годин використання встановленої потужності установки електростанції прийнято класифікувати на: базові ($\tau_{уст}$ > 6000 год/рік); напівпікові ($\tau_{уст}$ = 2000–5000 год/рік); пікові ($\tau_{уст}$ < 2000 год/рік).

ЗУБЦОВ

Базовими називають електростанції, які несуть максимально можливе постійне навантаження впродовж більшої частини року. У світовій енергетиці як базові використовують АЕС, високоекономічні КЕС, а також ТЕЦ при роботі по тепловому графіку.

Пікові навантаження покривають ГЕС, ГАЕС, ГТУ, що володіють маневреністю і мобільністю, тобто швидкими пуском і зупинкою. Пікові електростанції включаються в години, коли потрібно покрити пікову частину добового графіка електричного навантаження. Напівпікові електростанції при зменшенні загального електричного навантаження або переводяться на знижену потужність, або виводяться в резерв. [16]

По технологічній структурі теплові електростанції поділяються на блочні й неблочні. При блочній схемі основне і допоміжне обладнання паротурбінної установки не мають технологічних зв'язків з обладнанням іншої установки електростанції. Для електростанцій на органічному паливі при цьому до кожної турбіни пара підводиться від одного або двох з'єднаних з нею котлів. При неблочній схемі ТЕС пара від всіх котлів надходить в загальну магістраль і звідти розподіляється по окремих турбінах. [1]

Електроенергію на електростанціях виробляють за рахунок використання енергії, схованої в різних природних ресурсах (вугілля, мазут, уран та ін.), за достатньо простим принципом, реалізуючи технологію перетворення енергії. Загальна схема ТЕС відображає послідовність такого перетворення одних видів енергії в інші та використання робочого тіла (вода, пара) в циклі теплової електростанції. Паливо (в даному випадку вугілля) згоряє в котлі, нагріває воду і перетворює її в пару. Пара подається в турбіни, які перетворюють теплову енергію пари в механічну енергію і приводять в дію генератори, виробляючи електроенергію.

Сучасна теплова електростанція – це складне підприємство, яке включає велику кількість різноманітного обладнання. Склад обладнання електростанції

ЗУБЦОВ

залежить від вибраної теплової схеми, виду використовуваного палива і типу системи водопостачання.

Основне обладнання електростанції включає: котельні й турбінні агрегати з електричним генератором і конденсатором. Ці агрегати стандартизовані по потужності, параметрах пари, продуктивності, напрузі та силі струму і т.д. Тип і кількість основного обладнання теплової електростанції відповідають заданій потужності й передбаченому режиму її роботи. Існує і допоміжне обладнання, яке служить для відпуску теплоти споживачам і використання пари турбіни для підігріву живильної води котлів і забезпечення власних потреб електростанції. До нього відноситься обладнання систем паливопостачання, деаераційно-живильної установки, конденсаційної установки, теплофікаційної установки (для ТЕЦ), систем технічного водопостачання, маслопостачання, регенеративного підігріву живильної води, хімводопідготовки, розподілу і передачі електроенергії. [17]

Ефективність роботи ТЕС характеризується різними техніко-економічними показниками, одні з яких оцінюють досконалість теплових процесів (ККД, витрати теплоти і палива), а інші характеризують умови, в яких працює ТЕС. Найбільш важливими і повними показниками роботи ТЕС є собівартості електроенергії і теплоти.

Найбільшу шкоду екології навколишніх регіонів завдають електростанції, які працюють на вугіллі, особливо високозольному. Серед ТЕС найбільш «чистими» є станції, що використовують в своєму технологічному процесі природний газ. [2]

Дані про щорічні викиди ТЕС в Україні представлені в таблиці 3.1 [7]

Таблиця 3.1 - Дані про щорічні викиди ТЕС в Україні

Назва викиду	Кількість, т/рік	Назва викиду	Кількість, т/рік
Сірчистий ангідрид	5765,7	Окис вуглецю	50,3
Двоокис нітрогену	4576	Вуглеводні	1,8
Окис нітрогену	743,5	Формальдегід	6
Зважені частки (пил, аерозолі)	148,3	Важкі метали	5
Зола	2205,7		

ЗУБЦОВ

3.2 Географічна характеристика Луганської ТЕС

Луганська теплова електростанція (колишня Ворошиловградська ДРЕС) - розташована у місті Щастя поблизу Луганська. Станція має в своєму активі шість діючих та два законсервовані енергоблоки, що вичерпали свої проектні ресурси.

Була однією з перших потужних станцій СРСР в системі «Донбасенерго».

Електростанція під'єднана до енергосистеми за допомогою одніє ЛЕП 220кВт, також десять ЛЕП 220кВт відключені. Ще одна ЛЕП 220кВт будується.

В 1990-х почався період зниження навантаження усіх енергоблоків через недостатнє фінансування на відновлення виробничих потужностей. Через низьку якість твердого палива, що поставлялося на підприємство, довелося знизити потужність блоків на 200 до 175 мВт.

В квітні 2002 Луганська ТЕС разом із Зуївською та Курахівською увійшла до складу підприємства «Техремпостачання», яке здало її в оренду ТОВ «Східенерго». Під час капітальної реконструкції 2004-2007 на станції було відремонтовано чотири енергоблоки, внаслідок чого були збільшені потужності кожного з них з 175 до 200 мВт. Луганська ТЕС стала першою електростанцією на території України та СНД, де було успішно проведено відновлення проектної потужності енергоблоків.

Протягом 2008–2010 років станція стабільно входила до трійки станцій-найбільших виробників електроенергії. У 2008 році станція була третьою, поступаючись Бурштинській та Криворізькій ТЕС, 2009 та 2010 роках станція займала друге місце, поступаючись першою сходинкою Бурштинській та Криворізькій станціям відповідно.

У 2008 енергоблоки № 9, 15 і 14 за коефіцієнтом використання встановленої потужності зайняли перше, друге та четверте місця відповідно серед 88 теплових енергоблоків України потужністю понад 150 мВт.

У 2009 станція за коефіцієнтом використання встановленої потужності поступалась лише Зуївській ТЕС, а у 2010 - була лідером з показником 64,2%.

ЗУБЦОВ

Луганська ТЕС є лідером серед підприємств області за викидами шкідливих речовин в атмосферу. Частка викидів станції в атмосферу становить 97% викидів усіх підприємств Луганська та 25% викидів підприємств Луганської області. Причиною високого рівня викидів за словами керівництва станції є вік станції, використання палива низької якості та низький рівень сплати споживачів за електроенергію.

Протягом 2009- 2010 об'єм шкідливих викидів в атмосферу збільшився на 12,957 тис. тонн через зростання об'ємів виробництва. Проте було зменшено викиди сіркового ангідриду за рахунок використання якіснішого палива з меншим вмістом сірки.

В 2018 році Мінстерство енергетики та захисту навколишнього середовища опублікували ТОП-20 об’єктів, які більше за інші викидають забруднюючі речовини в атмосферне повітря, згідно з цього списку Луганська ТЕС посіла 18-е місце (в 2018 році об’єм викидів забруднюючих речовин склав 26,244 тис.т.) [25]

3.3 Вплив забруднень базового об'єкта на атмосферу, літосферу, гідросферу

3.3.1 Забруднення атмосфери викидами промислових підприємств

До 2014 року по валовим обсягам промислових викидів забруднюючих речовин в атмосферу Луганська область посідала 3 місце в Україні після Донецької та Дніпропетровської областей. Щільність викидів на 1км^2 перевищує майже в 5 разів середній показник по країні і становить 17,8 кг.

Загальна кількість викидів в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення підприємств та від автотранспорту по Луганській області становила 588,625 тис. тонн.

Протягом року стаціонарними джерелами підприємств у повітряний басейн області було викинуто в атмосферне повітря 474,593 тис. тонн забруднюючих речовин.

ЗУБЦОВ

Обсяги викидів у розрахунку на душу населення в 2005 р. склали 195,7 кг. Перевищуються обласні показники по містах: Алчевськ – в 4,6 рази, Краснодон – в 3,4 рази, Лисичанськ – в 1,8 рази, Луганськ – в 1,2 рази.

Основним забруднювачем атмосфери залишається енергетична галузь – 36,3 % від валового обсягу викидів області. При видобутку та розподілі викопного палива викиди в атмосферу складають 32,3%, викиди від основних виробничих процесів підприємств металургійної та вугільної промисловості – 20,5%, технологічних процесів в машинобудуванні, промисловості з виробництва неорганічних хімічних речовин – 5,8%, нафтовій промисловості – близько 2%, житлово – комунального господарства – 0,2%, сільського та лісового господарства – 0,01%.

У порівнянні з показниками 2004 року обсяг промислових викидів в атмосферне повітря збільшився в цілому по області на 21,6 тис. т., або на 4,8 %. Підвищення викидів становлять:

- метану – на 10,891 тис. тонн;
- сірчистого ангідриду – на 6,878 тис. тонн;
- азоту окис – на 3,583 тис. тонн;
- окису вуглецю – на 2,222 тис. тонн.

Визначальний вплив на стан повітряного басейну області справляли об'єкти, що зосереджені в містах Луганськ (118,8 тис. тонн або 25% від загальнообласних викидів), Алчевськ (104,8 тис. тонн або 22%), Краснодон (73,0 тис. тонн або 15%), Лисичанськ (45,1 тис. тонн або 10%), Стаханов (29,2 тис тонн або 6%) та в районах області: Перевальський (14,3 тис. тонн або 3%), Краснодонський (13,9 тис тонн або 3%), Лутугинський (8,2 тис тонн або 2%).

Поряд з цим в 6 містах та 6 районах області відбулося зменшення обсягу викидів забруднюючих речовин в основному за рахунок зниження об’ємів виробництва.

На діючому газоочисному обладнанні підприємств уловлюється та знешкоджується майже 60% утворених забруднюючих речовин. Частка

ЗУБЦОВ

оснащення газоочисними установками стаціонарних джерел забруднення атмосферного повітря в цілому по області становить 12,3%.

Кардинальних змін в технічному стані експлуатації установок очистки газу за період 2001-2005 років не відбулося. Поліпшення ситуації стримується технічною застарілістю очисного обладнання, його фізичним спрацьовуванням в результаті тривалої роботи без капремонтів і відсутністю достатніх коштів на новації і поновлення експлуатаційних властивостей.

З метою поліпшення екологічного стану області розроблено локальні програми на 7 екологічно небезпечних об'єктах загальнодержавного значення: СО "Луганська ТЕС" ТОВ "Східенерго", ВАТ "Алчевський металургійний комбінат", ВАТ "Лисичанська сода", ЗАТ "Сєвєродонецьке об'єднання "Азот", ВАТ "Об'єднання "Склопластик", ВАТ "Рубіжанський Краситель", в яких основними природоохоронними заходами є заходи по зменшенню викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Шкідливі викиди і природні речовини в атмосфері піддаються складним процесам перетворення, взаємодії, вимивання. Причому у атмосферу викидається дуже багато диму, який, змішуючись і взаємодіючи з повітрям, утворює велику кількість отруйних газів. Зола неспроможна довго перебувати в підвішеному стані - вона поступово опускається на поверхні Землі. У результаті щороку осідає дуже багато отруйних речовин на кожному квадратному кілометрі [9].

Оксид і діоксид нітрогену грають складну і важливу роль у фотохімічних процесах, що відбуваються в тропосфері і стратосфері під впливом сонячної радіації, що є причиною утворення високих концентрацій приземного озону і формальдегіду, а також фотохімічного смогу. Фотохімічний смог являє собою багатокомпонентну суміш газів і аерозольних частинок первинного і вторинного походження. До складу основних компонентів смогу входять озон, оксиди нітрогену і сірки, численні органічні сполуки перекисної природи, звані в сукупності фотооксидантами. Фотохімічний смог виникає в результаті фотохімічних реакцій за певних умов: наявності в атмосфері високої концентрації

ЗУБЦОВ

оксидів нітрогену, вуглеводнів і інших забруднювачів, інтенсивної сонячної радіації і затишності або дуже слабкого обміну повітря в приземному шарі при потужній і протягом не менше доби підвищеної інверсії [10].

Також поява кислотних дощів може бути викликано підвищеним з отриманням у тропосфері оксидів NO_x, які утворюються при горінні.

Кислотний дощ - це усі види метеорологічних опадів: дощ, сніг, град, туман, дощ зі снігом, - кислотність яких вища від нормальної.

У районах, де погода суха кислотні елементи можуть перетворюватися на смог або пилові викиди, а потім випадати на землю у вигляді сухих пилових опадів, потрапляючи на поля, будівлі, житлові будинки, автомобілі, дерева. Сухі пилові відкладення, гази і частинки можуть бути змиті з поверхонь під час гроз, після чого вони разом з водою стікають на землю, при чому концентрація кислот в таких змивах стає набагато вище. Майже половина всіх кислотовиникаючих сполук випадає на землю у вигляді сухих частинок.

Оксиди нітрогену в атмосфері не тільки присутні у виді і NO_2, але і перетворюються в азотну кислоту, нітрати й органічні нітросполуки, що абсорбуються крапельок води, можуть утворити аерозольні агломерати. Наявність в атмосфері інших газоподібних з'єднань, приводить до ще більш складного процесу забруднення атмосферного повітря в районах механізму взаємодії компонентів навколишнього середовища [5, 10].

Одним з найсильніших забруднювачів атмосфери є оксид вуглецю, який також потрапляє в атмосферу при виробництві оцтової кислоти. Діоксид вуглецю не перешкоджає проходженню сонячних променів до землі, але перешкоджає тепловому випаровуванню землі, створюючи, таким чином, парниковий ефект. Із збільшенням його концентрації в атмосфері кількість теплової енергії в приземних шарах атмосфери і на земній поверхні буде зростати. Створюється так званий «парниковий ефект» [10]. А він діє в атмосфері як скло в парнику - пропускає сонячну радіацію і не випускає назад теплове випромінювання. Атмосфера нагрівається, і через це може змінитися клімат.

ЗУБЦОВ

Також джерелами утворення забруднюючих атмосферу речовин є: рідкі забруднюючі речовини, які утворюються при конденсації парів, розливі рідин, в результаті хімічних або фотохімічних реакцій. Конденсація пари відбувається в результаті охолодження їх оточуючим атмосферним повітрям. В залежності від точки плавлення сконденсовані пари при низьких температурах можуть переходити в тверді частинки.

3.3.2 Забрудненням гідросфери скидами стічних вод промислових підприємств

Забруднення поверхневих вод області обумовлено скидами стічних вод підприємств промисловості, комунально-побутової сфери та поверхневого стоку з селітебних територій. Крім того, забруднюючий вплив здійснюють води шахтного водовідливу. Обсяги скиду стічних вод від промислових підприємств досяг позначки 249,0 млн. м^3, підприємств водопровідно-каналізаційного господарства 101,0 млн. м^3, шахтного водовідливу 215 млн. м^3. При цьому кількість забруднюючих речовин, що потрапляють до водних об’єктів становить близько 615 тис. т/рік.

Забруднення підземних вод області обумовлено фільтрацією з відстійників та накопичувачів промислових та побутових стоків промислових підприємств, підпором води водосховищ, затопленням гірничих виробок закритих шахт, експлуатацією водозаборів підземних вод централізованого водопостачання. Площа забруднення підземних вод Лисичано-Рубіжанського регіону, найбільш характерного регіону Луганської області, становить біля 50 км^2.

По території Луганської області протікає 88 малих річок, довжиною 2158,2 км, вісім з них паспортизовані.

Усі малі річки є типово рівнинними водотоками, протікають у широких терасаированих долинах. В цілому режим річок характеризується нерівномірним розподілом стоку впродовж року – короткочасним весняним паводком і тривалим низьким рівнем в літньо-осінній період.

ЗУБЦОВ

Природний режим річок значно змінився внаслідок наявності 72 водосховищ та 360 ставків та іншого антропогенного впливу.

Основним фактором негативного впливу на стан малих річок є господарська діяльність людини, а саме: забруднення стічними, шахтними, дренажними водами, стічними водами, які відводяться з забудованої території і сільгоспугідь, утвореними внаслідок випадання атмосферних опадів.

Найбільш значний антропогенний тягар несуть річки правобережжя р. С. Донець та річки басейну р. Міус. Із загального обсягу зворотних вод, які були скинуті у природні водні об'єкти у 2005 році – 381,4 млн. $м^3$, у малі річки скинуто 225,5 млн.$м^3$ зворотних вод (59%), з них 176,1 млн. м3 (78 %), віднесено до категорії забруднених. Найбільший обсяг забруднених зворотних вод скидається промисловими підприємствами (головним чином шахтами) та підприємствами водопровідно-каналізаційного господарства. Основні причини цього – недостатні потужності та технічна застарілість багатьох очисних споруд, скид до мережі міської каналізації виробничих стічних вод з високими концентраціями важких металів, нафтопродуктів, тощо.

З метою запобігання забрудненню та припинення скиду забруднених стічних вод у водні об′єкти, дотримання вимог чинного законодавства щодо охорони та відтворення водних об′єктів, особливо малих річок, а також відносно облаштованості прибережних захисних смуг та дотримання режиму господарської діяльності у них інспекторами Держуправління екоресурсів проводились перевірки суб'єктів господарювання та місцевих рад щодо приведення стану територій водоохоронних зон водних об′єктів у відповідність до вимог екологічного та санітарно-гігієнічного законодавства.

При загальній площі прибережних смуг 26,54 тис. га фактично залужено 2,71 тис. га і заліснено 1,38 тис. га або близько 10% від потреби. Винесено в натуру 1321,6 км прибережних захисних смуг при загальній їх довжині 6775 км. Кількість встановлених водоохоронних знаків, якими прибережні захисні смуги закріплюються в натурі, налічується одиницями. Заходи по їх встановленню

ЗУБЦОВ

місцевими органами виконавчої влади не приймаються і кошти на виконання проектних робіт з місцевих бюджетів не виділяються.

До основних екологічних проблем області відноситься захист від забруднення підземних вод, в тому числі водозаборів централізованого постачання.

Проблемою збереження підземних вод від забруднень, є незахищеність їх від потрапляння забруднюючих речовин з поверхні землі. Високий ступень техногенного навантаження на геологічне середовище негативно впливає на якість питних підземних вод.

Головними джерелами забруднення підземних вод є промислові і селітебні агломерації, де сформувалися значні осередки забруднення за рахунок витоків із промислових каналізацій, відсутності надійної гідроізоляції скидних каналів і накопичувачів підприємств Рубіжано-Лисичанского і Луганського промислових районів, відбору підземних вод водозаборами, скидання забруднених промислових і господарсько - побутових стоків у поверхневі водні об’єкти.

Площа забруднення підземних вод в Лисичано-Рубіжанському регіоні в 1991-93 рр. складала біля 150 км^2. У зв’язку із значним скороченням виробництва на протязі тривалого часу, а також виконанням природоохоронних заходів по захисту підземних вод від забруднення у останні роки, поступово відбувалося зменшення загальної площі та інтенсивності забруднення підземних вод. На теперішній час загальна площа забруднення підземних вод Лисичано-Рубіжанського регіону складає: мінеральними солями – 31,5 км^2, фенолами – 29,4 км^2, амонієм – 20,3 км^2.

3.3.3 Забруднення літосфери викидами промислових підприємств

Ґрунт - унікальна природна система. Головною властивістю ґрунту є нерозривний зв'язок живих і неживих (відсталих) компонентів, які входять до нього. Їх штучне розділення унеможливлює існування ґрунту і повністю руйнує її як систему. В. І. Вернадський вдало назвав ґрунт «біокосним тілом».

ЗУБЦОВ

Металургійна та енергетична галузі займають друге місце за показниками утворення та накопичення відходів. У 2005 р. утворено шлаків доменного, сталеплавильного, феросплавного та ливарного виробництв 2037,669 тис.т, накопичено станом на 01.01.06 р. – 18270,975 тис.т., що склало на одного мешканця області за показником утворення – 0,75 т/чол., за показником накопичення станом на 01.01.06р. – 6,74т; утворено золи та золошлакових відходів теплових електростанцій 520,103 тис.т, накопичено станом на 01.01.06 р. – 8936,044 тис.т, що склало на одного мешканця області за показником утворення – 0,2 т/чол., за показником накопичення станом на 01.01.06 р. – 3,29 т/чол. У цих галузях також існує проблема мінімізації відходів, показники утворення та накопичення відходів на багато разів перевищують показники їх утилізації.

За даними статистичного спостереження використання чорних металовідходів у 2005р. становило 53,1%, кольорових 41,1%. На власне металургійне виробництво витрачено 99,6% брухту чорних металів та 86,3% кольорових металів, на інші виробничо-технічні цілі – відповідно 0,3% та 0,1%, решту металобрухту використано на ремонтно-експлуатаційні потреби.

Значно збільшилось використання шлаків сталеплавильного виробництва і склало 1,6 млн.т. Використання шлаків доменного виробництва порівнюючи з минулим 2004р. зросло майже вдвічі та склало 911,2 млн.т.

Використання золошлакових відходів теплових електростанцій та місцевих котелень склало 5,1 млн.т.

Незважаючи на те, що використання відходів у якості вторинних ресурсів поступово зростає, питання раціонального використання ресурсів та відходів виробництва, впровадження високоефективних та безвідходних технологій, які б забезпечували зменшення утворення та збільшення використання відходів, переробку та їх утилізацію, залишається актуальним у цих галузях виробництва.

До інтенсивного забруднення ґрунтів також призводять відходи виробництва. Тверді відходи, що розміщуються на землях, інтенсивно забруднюють ґрунти, а їх здатність до самоочищення, як відомо, обмежена.

ЗУБЦОВ

Величезну шкоду для нормального функціонування ґрунтів представляють газодимові викиди промислових підприємств. Ґрунт має здатність накопичувати дуже небезпечні для здоров'я людини забруднюючі речовини.

При виробництві утворюється багато газоподібних відходів, димові гази, які також завдають шкоди ґрунтовому покриву.

Димові гази вносять у ґрунт сірчисту і сірчану кислоти, які з'єднуючись з основними елементами ґрунту, утворюють сульфати, в результаті чого скорочується запас поживних елементів і збільшується кислотність ґрунтових розчинів. Підвищені концентрації в ґрунтах у вигляді вільної кислоти і газу, а також зниження pH призводить до виснаження і поразці ґрунтових організмів, погіршення фізичних властивостей ґрунту.

Потрапляючи в атмосферу шкідливі речовини можуть переноситися на великі відстані. По дорозі вони осідають на поверхні ґрунту, поглинаються водною поверхнею і рослинністю, вимиваються опадами і, таким чином, впливають на всю природне середовище, промислові об'єкти і споруди на значній території.

З розглянутого матеріалу видно, що планована діяльність негативно впливає на ґрунт.

3.3.4 Вплив промислових відходів на рослинний і тваринний світ

Вплив забруднюючих речовин промислових викидів на тварин може бути як безпосереднім, так і непрямим. Зазвичай безпосередній вплив шкідливих речовин з атмосфери, що сприймаються організмом шляхом прямого контакту або при вдиханні, не призводить до серйозних пошкоджень, оскільки кількості поглинених забруднюючих речовин, незалежно від того, гази це чи пилові частинки, порівняно невелике. Набагато серйозніше вторинний, непрямий вплив, оскільки тварини при цьому отримують забруднюючі речовини з кормом. Забруднення, що накопичилися в рослинній їжі або при безпосередньому

ЗУБЦОВ

поглинання з повітря, або потрапили туди через кореневу систему, надходять в травний тракт тварин в значно більших кількостях, ніж при прямому впливі [13].

Вплив пилових і газових викидів, а також речовин, що накопичилися в кормах і рослинах, створює більш серйозну ситуацію, якщо ці речовини розчиняються у воді або шлунковому соці. Шкідливі речовини можуть розноситися при цьому по організму в різні його частини, порушуючи їх функціонування або навіть завдаючи їм шкоди. Залежно від ступеня забруднення і особливостей забруднюючих речовин, що містяться в промислових викидах, у тварин спостерігаються силікоз, втрати середньої ваги, уповільнене дозрівання, зниження надоїв, зростання самовільних викиднів, що в сумі становить значні економічні втрати. При дуже високих концентраціях СО тварини несподівано падають і гинуть впродовж 1 хвилини і навіть без судом.

Як правило, вплив промислових викидів на ґрунт і його властивості вкрай негативно з позицій сільського господарства і лише випадково може проявитися позитивно. У цілому газоподібні викиди кислотного характеру, такі як оксиди нітрогену та гідрохлорид, є шкідливими, оскільки вони нейтралізують лужні компоненти в ґрунті і, отже, призводять до його закислення. За тривалий час кислотність ґрунту зросла до такої міри, що її доводиться нейтралізувати вапняком, щоб запобігти різке погіршення родючості. Дерева втрачають частину листя, стаючи беззахисними перед морозами хворобами. Коріння дерев так само можуть уповільнити свій розвиток, що позначиться на нестачі поживних речовин. Через хімічних реакцій ґрунту втратять деякі мікроелементи і стануть менш поживним. Збільшення рівня кислотності води і ґрунтів може стати проблемою для водних тварин і рослин. Кислотні дощі не часто пошкоджують дерева безпосередньо. Замість цього найбільш ймовірно в'янення дерев через пошкодження їх листя, закислення ґрунту і знищення поживних речовин у ній, витримуванні коренів в контакті з отруйними сполуками, які, потрапивши туди одного разу, дуже повільно звідти вимиваються. Дуже часто ушкодження або

ЗУБЦОВ

смерть дерев є результатом синергетичного ефекту впливу наслідків кислотних дощів в сукупності з іншими причинами.

Можна зробити висновок, що викиди підприємства, що розглядається, дуже негативно впливає на тваринний і рослинний світ.

3.4 Токсикологічна характеристика відходів

Оксид вуглецю (чадний газ) CO. Є продуктом неповного згоряння вуглецю. Він утворюється в якості домішки скрізь, де відбувається горіння вуглецевмісних речовин (топка печей, експлуатація двигунів внутрішнього згоряння, горіння деревини, горіння полімерних матеріалів та ін.). Гранично допустима концентрація його в повітрі 0,03 мг/л. Токсична концентрація 0,23 мг/л. Гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони 20 мг/м^3. Клас небезпечності – 4. [1]

Виразна клініка гострого ураження розвивається при утриманні чадного газу в повітрі більше 0,1 об.%. Перебування в атмосфері, що містить 0,01 об.% чадного газу (0,2 мг/л) при фізичному навантаженні допустима не більше 1 години.

Єдиний спосіб надходження газу в організм - інгаляційний. Оксид вуглецю при вдиханні зараженого повітря легко долає аерогематичний бар'єр і проникає в кров. Швидкість насичення крові оксидом вуглецю збільшується при фізичному навантаженні. Виділення оксиду вуглецю з організму відбувається в незміненому стані також через легені. Період напіввиведення становить 2-4 години.

Для людини монооксид вуглецю становить смертельну небезпеку. Його токсична дія пояснюється утворенням в клітинах крові карбоксигемоглобіну- продукту приєднання оксиду вуглецю (II) до гемоглобіну крові. Високий рівень вмісту карбоксигемоглобіну викликає кисневе голодування, недостатнє надходження кисню до головного мозку та інших тканин організму. При слабкій інтоксикації вміст його в крові низький, руйнування природним шляхом

ЗУБЦОВ

можливо протягом 4-6 годин. При високих концентраціях діють тільки медичні препарати.

Діоксид нітрогену (NO_x) має виражену подразнюючу дію на дихальні шляхи, що може призвести до тяжких випадків набряку легенів. Діоксид нітрогену має і загальнотоксичну дію. Гранично допустима концентрація (ГДК) діоксиду нітрогену в повітрі робочої зони - 2,0 мг/м^3. Клас небезпеки - 3.

Оксиди нітрогену відповідальні за виникнення смогу і кислотних дощів. Смог викликає труднощі дихання, кашель у дітей і сприяє розвитку хвороб органів дихання. Особливо страждають від смогу астматики і діти. Вони чинять негативний вплив і на рослинність, утворюючи на листових пластинах розчини азотної і азотистої кислот. Цією ж властивістю обумовлено вплив оксидів нітрогену на будівельні матеріали та металеві конструкції. Крім того, вони беруть участь у фотохімічній реакції утворення смогу.

Оксид нітрогену, що утворюється головним чином природним шляхом, нешкідливий для людини. Вдихання невеликих кількостей NO призводить до притуплення больової чутливості, внаслідок чого цей газ іноді в суміші з киснем застосовують для наркозу. У малих кількостях NO викликає почуття сп'яніння (звідси назва «звеселяючий газ»). Вдихання чистого NO швидко викликає наркотичний стан і задуха. Оксид нітрогену NO та діоксид нітрогену N_2O в атмосфері зустрічаються разом, тому найчастіше оцінюють їх спільний вплив на організм людини. Тільки поблизу від джерела викидів відзначається висока концентрація NO. При згорянні палива в автомобілях і в теплових електростанціях приблизно 90% оксидів нітрогену утворюється у формі монооксиду нітрогену. Решта 10% припадають на діоксид нітрогену. Однак в ході хімічних реакцій значна частина NO перетворюється в N_2O-набагато більш небезпечне з'єднання. Монооксид нітрогену не дратує дихальні шляхи, і тому людина може його не відчути. При вдиханні NO зв'язується з гемоглобіном. При цьому утворюється нестійке нітрозоз'єднання, яке швидко переходить в метгемоглобін, при цьому Fe^{2+} переходить в Fe^{3+}. Іон Fe^{3+} не може оборотно

ЗУБЦОВ

зв'язувати O_2 і таким чином виходить з процесу переносу кисню. Концентрація метгемоглобіну в крові 60 – 70% вважається летальною. Але таке граничне значення може виникнути тільки в закритих приміщеннях, а на відкритому повітрі це неможливо. [2]

Оксиди нітрогену можуть впливати на рослини трьома шляхами:

1) прямим контактом з рослинами;

2) через утворення в повітрі кислотних опадів;

3) побічно – шляхом фотохімічного утворення таких окислювачів, як озон і ПАР (поверхнево-активні речовини).

Сірчистий ангідрид (SO_2) - надходить в організм різними шляхами: через рот, дихальні шляхи, шкіру, слизові оболонки, плаценту та ін. Клас небезпеки-3. Гранично допустима концентрація сірчистого ангідриду в повітрі не повинна перевищувати 0,01 мг/л. Гранично допустима концентрація сірчистого ангідриду в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 10 мг/м^3.

Подразнює дихальні шляхи, викликаючи спазм бронхів і збільшення опору дихальних шляхів. При впливі SO_2 у вигляді аерозолю, що утворюється при туманах і підвищеній вологості повітря, подразнюючий ефект сильніше. При несприятливих метеорологічних умовах може викликати масове отруєння населення.

Волога поверхня слизових поглинає SO_2, потім послідовно утворюються H_2SO_3 і H_2SO_4. Загальна дія полягає в порушенні вуглеводного і білкового обміну; пригнічення окисних процесів у головному мозку, печінці, селезінці, м'язах; гальмуванні окисного дезамінироваіія амінокислот і окислення піровиноградної кислоти; зниженні вмісту вітамінів В1 і С і т. д. подразнює кровотворні органи. Сприяє утворенню метгемоглобіну; збільшує виділення з сечею копропорфірину і бісульфітсвязанних сполук; викликає зміни в ендокринних органах, кісткової тканини; порушує генеративну функцію. Викликає ембріотоксичну дію. Можливо, що істотну роль у зазначених зрушення грає ацидоз (оскільки SO_2, що циркулює в крові, розчиняється в плазмі і

ЗУБЦОВ

перетворюється в H_2SO_3). Токсичність різко зростає при одночасному впливі SO_2 і CO. [1]

3.5 Нормування якості атмосфери

Повітряна оболонка - атмосфера, що оточує нашу планету, є тим середовищем, без якої життя не можлива. Нормальний хімічний склад атмосферного повітря наступний: азот - 78,08%; кисень - 20,95%; вуглекислий газ - 0,03%, аргон, гелій, неон, криптон, ксенон, радон, озон, водень - 0,94% . Забруднюючі речовини - це всі тверді, рідкі або газоподібні речовини, що змінюють природний склад атмосфери і несприятливо впливають на живі організми.

Гігієнічна наука визначила умови, за яких промислові викиди в атмосферу не можуть заподіяти шкоди здоров'ю людини. Концентрація шкідливих речовин в атмосфері, яка при щоденному впливі протягом необмеженого часу не може викликати у людини будь-яких ненормальних змін або захворювань, що виявляються сучасними засобами дослідження, називається гранично допустимою концентрацією шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, скорочено ГДК. Її прийнято виражати в міліграмах на один кубічний метр.

Екологічне нормування один з найважливіших заходів з охорони навколишнього середовища. Дозволяє вирішувати питання допустимого навантаження на екосистеми, встановити межі впливу людини на середовище існування в процесі виробництва.

Критеріями якості повітря, використовуваними при розрахунку, є ГДК забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. Якщо на підприємстві в одному регіоні величини ГДВ з об'єктивних причин не можуть бути досягнуті, то можна поетапно знижувати викиди до величин ГДК шляхом тимчасово узгодженого викиду (ТУВ).

ЗУБЦОВ

При розробці заходів щодо скорочення викидів в процесі проектування, будівництва, реконструкції промислового підприємства не рекомендується передбачати викиди забруднюючих речовин через велике число низьких труб, вентиляційних шахт, дефлекторів, аераційних ліхтарів.

Викиди повинні централізуватися в менше число труб, висота яких не повинна бути більше, ніж прилеглі будівлі в 2,5 рази в радіусі 4 - 5 висот. Збільшення висоти труб для розсіювання речовин до ГДК у приземному шарі атмосфери допускається лише після використання всіх доступних технічних засобів щодо скорочення викидів на сучасному рівні.

При використанні труб з висотою понад 250 м на енергетичних установках і більше 200 м на інших підприємствах потрібне узгодження з органами оргкомгідромета. За наявності техніко-економічного обґрунтування необхідності такої споруди ГДВ і ТУВ встановлюються для кожного джерела окремо. Для неорганізованих викидів, в т.ч. і вентиляційних, з одного виробничого приміщення або на відкритому повітрі невеликих установок приймається сумарне, для сукупності джерел, значення ГДВ або ТУВ. Поряд з встановленими ГДВ і ТУВ для одиночних джерел, в результаті підсумовування встановлюється їх значення для підприємства, промислових об'єктів і комплексів в цілому. У зв'язку з цим враховуються фонові концентрації, тобто концентрації, фактично створювані іншими джерелами даного та інших підприємств району.

Основним критерієм встановлення ГДВ є ГДК речовин в атмосферному повітрі. При цьому необхідно дотримуватися співвідношення (3.1):

$$C / ПДК \leq 1 \qquad (3.1)$$

Де, С - розрахункова концентрація домішки в приземному шарі атмосфери від усієї сукупності джерел.

При наявності в атмосфері і домішок, для яких встановлено необхідність обліку суміщеної їх дії в якості критерію при встановленому ГДВ використовуються вимоги виконання співвідношення (3.2):

$$(C_1 / ПДК_1) + (C_2 / ПДК_2) + \ldots + (C_i / ПДК_i) \leq 1 \qquad (3.2)$$

ЗУБЦОВ

На територіях санітарних зон і курортів, у місцях санаторіїв і будинків відпочинку, в зонах відпочинку міст 1 замінюється на 0,8.

Екологічні критерії якості атмосферного повітря при встановленому ГДВ застосовуються після їх затвердження і в тих випадках, коли вони є більш жорсткими, ніж ГДК забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. [13]

3.6 Нормування антропогенного навантаження

Принципи розрахунку ГДВ

Нормування викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище виконується шляхом встановлення гранично допустимих викидів цих речовин в атмосферу (ГДВ) [8].

Величина ГДВ для викиду нагрітої газоповітряної суміші з одиночного джерела із круглим устям або групи таких близько розташованих однакових джерел у випадку, коли фонова концентрація розглянутої домішки встановлена незалежно від швидкості й напрямку вітру, і постійної на території міста, розраховується за формулою:

$$ГДВ = \frac{(ГДК - Сф) * H^2 * \sqrt[3]{V_1 * \Delta T}}{A * F * m * n * \eta}, \qquad (3.3)$$

де ГДК – гранично допустима концентрація забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць, мг/м^3;

$C_ф$ – фонова концентрація домішки, визначена розрахунковим шляхом і не залежна від швидкості і напрямку вітру мг/м^3;

А - коефіцієнт, що залежить від температури стратифікації атмосфери і визначальної умов горизонтального і вертикального розсіювання атмосферних домішок. На території України А = 160;

F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднюючих речовин в атмосфері. Для газоподібних речовин і дрібнодисперсних аерозолів, швидкість упорядкованого осідання яких не більше

ЗУБЦОВ

3-5 м/с , F=1. Для більше дрібнодисперсних пилу і золи при середньому експлуатаційному коефіцієнті очищення не менш 90%, F =2. При експлуатаційному коефіцієнті очищення від 75% до 90%, F = 2,5, а менш 75% або при його відсутності, F=3.

H - висота джерела викиду, м;

ΔT - різниця між температурою газу й температурою повітря;

η - коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу на розсіювання домішок;

V_1 – об'єм газоповітряної суміші ($м^3/с$), визначається за формулою [8]:

$$V_1 = \frac{\pi * D^2}{4} * \omega_0 \qquad (3.4)$$

де D - діаметр устя джерела викидів, м;

ω_0 – середня швидкість виходу суміші із джерела, м/с.

Величини m та f розраховуються за формулами [8]:

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 * \sqrt{f} + 0{,}34 * \sqrt[3]{f}} \qquad (3.5)$$

та $$f = 10^3 * \frac{\omega_0^2 * D}{H^2 * \Delta T} \qquad (3.6)$$

При $V_m < 0{,}3$, n = 3, при $V_m > 2$, n = 1, а при $0{,}3 < V_m \leq 2$ n визначається за формулою [8]:

$$n = 3 - \sqrt{(V_m - 0{,}3) * (4{,}36 - V_m)} \qquad (3.7)$$

Максимальну приземну концентрацію забруднюючої речовини розраховують за формулою [8]:

$$C_m = \frac{A * ГДВ * F * m * n}{H^2 * \sqrt[3]{V_1 * \Delta T}} \qquad (3.8)$$

Розрахунок ГДВ

Вихідні дані: A=160; F=3; H=33; η=1; n=1; ΔT=320-25=295ºC; ω_0=3,04 м/с.

Діоксид азоту (NO_2):

$$V = \frac{3{,}14 * 1{,}27^2}{4} * 3{,}04 = 3{,}85\, м^3/с;$$

ЗУБЦОВ

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{1,21} + 0,34\sqrt[3]{1,21}} = 0,876$$

$$f = 10^3 * \frac{3,04^2 * 1,27}{33 * 295} = 1,21$$

$$ГДВ = \frac{(0,085 - 0) * 33^2 * \sqrt[3]{3,85 * 295}}{160 * 3 * 0,876 * 1 * 1} = 0,876 \text{ г/с}$$

$$C_m = \frac{160 * 0,876 * 3 * 0,876 * 1}{33^2 \sqrt[3]{3,85 * 295}} = 0,0324 \text{ мг/м}^3$$

C_m<ГДК

Оксид вуглецю СО:

$$ГДВ = \frac{(5,0 - 0) * 33^2 * \sqrt[3]{3,85 * 295}}{160 * 3 * 0,876 * 1 * 1} = 135,1 \text{ г/с}$$

$$C_m = \frac{160 * 135,1 * 3 * 0,876 * 1}{33^2 \sqrt[3]{3,85 * 295}} = 5 \text{ мг/м}^3$$

C_m=ГДК

Висновок: максимальна приземна концентрація шкідливих речовин не перевищує у всіх випадках гранично допустиму концентрацію. Установка не потребує додаткових засобів очищення.

Пил:

розрахуємо $ГДВ_{пил}$.

$ГДК_{мр,пил}$ = 0,15 мг/м^3.

$$ГДВ_{пил} = \frac{(0,15 - 0,01) * 33^2 * \sqrt[3]{3,85 * 295}}{160 * 3 * 0,876 * 1 * 1} = 0,78 \text{ г/с}$$

Фактичний викид пилу $m_{пил}$ складає:

$$m_{пил} = \frac{200 \cdot 5,3}{1000} = 1,06 \text{ г/с}$$

Висновок: так, як фактичний викид твердих домішок більше гранично допустимого, необхідні додаткові засоби очистки на діючому виробництві. В даній роботі пропонується організація процесу окиснення в розплаві, що дозволить значно зменшити винос твердих часток.

ЗУБЛІОВ

4 Експериментальна частина

4.1 Розробка та опис експериментальної установки

Для отримання досить надійної інформації про основні закономірності процесу конверсії та окиснення вугілля в розплаві був використаний проточний метод здійснення досліджень. Установка (рис. 4.1) включає кварцовий реактор (1) барботажного типу, поміщений в піч (2).

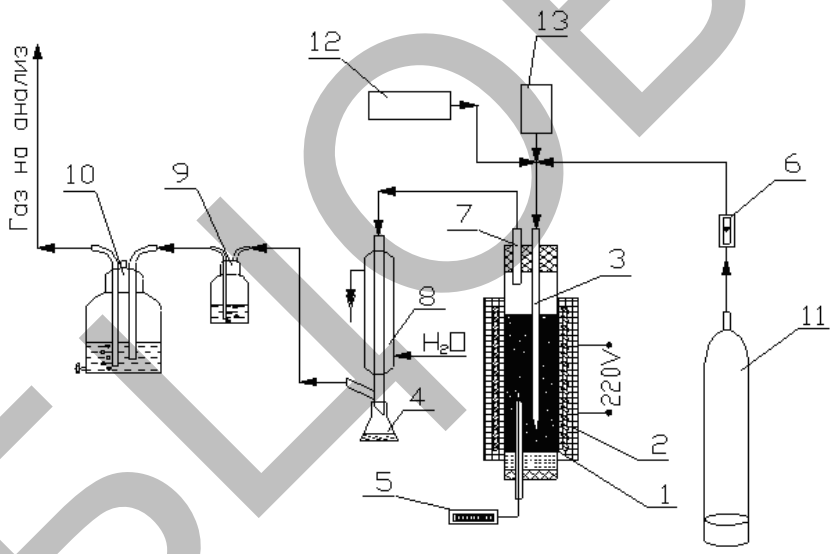


Рисунок 4.1 – Схема лабораторної установки конверсії вуглецевмісних матеріалів в рідкому високотемпературному теплоносії: 1 - реактор з жаростійкої стали; 2 - електрична піч; 3, 7 - кварцові трубки; 4 - збірник конденсату; 5 - термопара з потенціометром; 6 - ротаметр; 8 - холодильник; 9 - склянка Дрекселя; 10 - посудина Маріотта; 11 - балон з азотом або повітрям; 12 - шприцевий дозатор води; 13 - пневматичний дозатор твердого сировини.

Температура в печі підтримувалася на заданому рівні (1273-1373 К з точністю ± 20 К) за допомогою лабораторного трансформатора і вимірювалася каліброваною платино-родієвою термопарою, приєднаної до потенціометра (5).

ЗУБЦОВ

Подача води здійснювалася безпосередньо в реактор електромеханічним шприцевим дозатором (12) або через випарник (на схемі не показаний). Введення в реакційну зону газоподібних реагентів здійснювався з балонів (11) з азотом, повітрям і діоксидом вуглецю. Витрата газів регулювалася вентилем тонкого регулювання і вимірювалася за допомогою ротаметрів (6). Вугілля і інші тверді матеріали подавалися в реактор пневматичним дозатором (13). Система збору рідких і газоподібних продуктів реакції складалася з холодильника (8), приймача конденсату (4), склянки Дрекселя (9) і судини Маріотта (10). Обсяг газу, що утворився, визначався за кількістю розсолу, витісненого з посудини Маріотта.

В ході досліджень застосовувалися наступні типи реакторів.

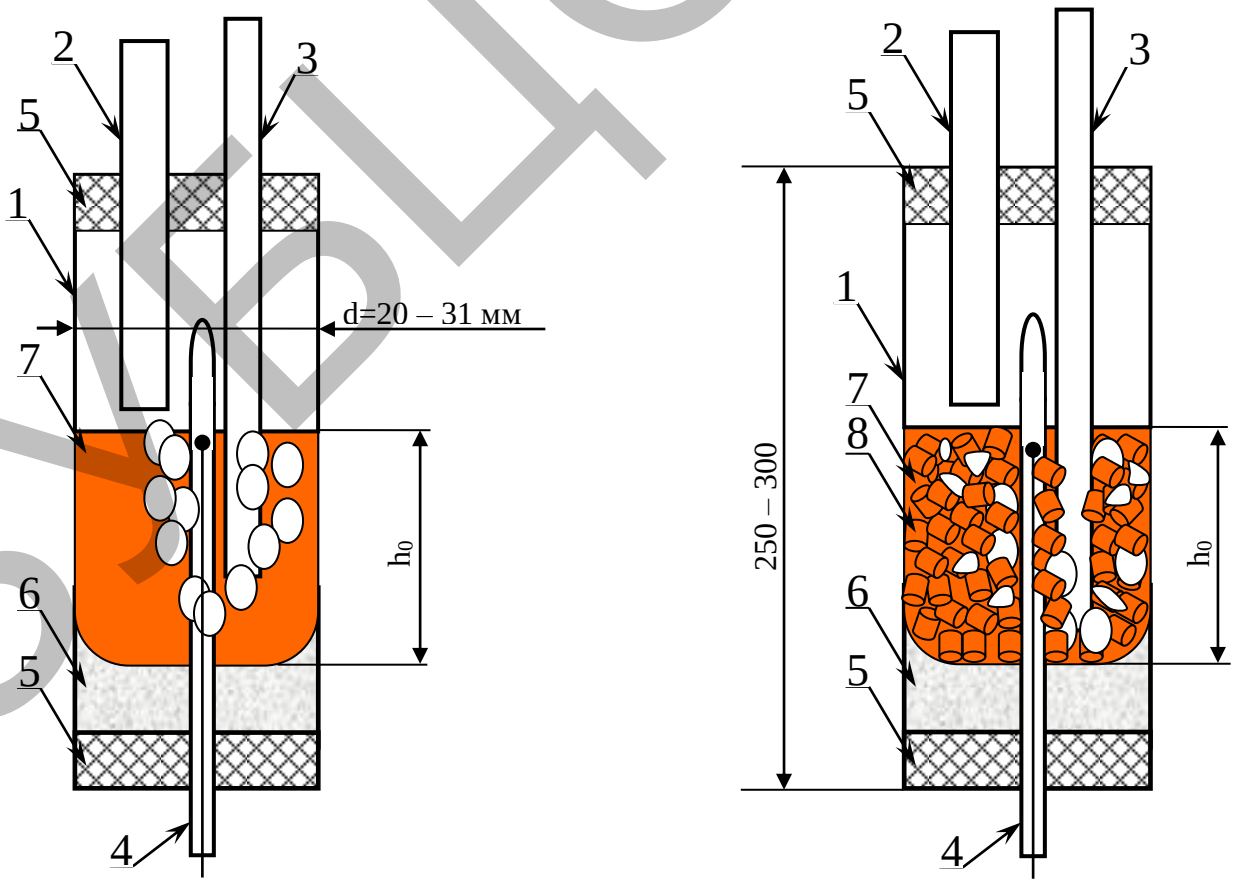


Рисунок 4.2 – Реактори конверсії в розплаві: а – реактор без насадки; б – ректор з насадкою.

Реактор (рис. 4.1 і 4.2 (а)) представляє собою трубку (1) з кварцу або жароміцної сталі діаметром 22-34 мм з співвісно-розташованою кишенею для

ЗУБЦОВ

термопари (4), введенням вуглецевої сировини і води (3), виводом продуктів реакції (2). Місткість хлориду натрію змінювалася в межах 60-120 г, а висота спокійного шару розплаву (h_0) становила 40-120 мм. Для зниження градієнта температури вздовж шару розплаву використовувалися печі з хорошою теплоізоляцією і достатньою поверхнею нагріву. Розмір печі більш ніж в 1,5 рази перевищував висоту реакційного шару в робочих умовах і в 3 рази висоту шару розплаву.

Другий тип реактора на рис. 4.2 (б) включав кварцову або з жароміцної сталі трубку (1) діаметром 20-31 мм з висотою робочої зони (7) 60-120 мм, кишеню для термопари (4) і пристрої введення-виведення (2, 3). У робочій зоні реактора розміщувалася кварцова насадка (8). Дно реактора заглушалося пробкою (5), над якою перебувала нерозплавлений частина хлориду натрію (6).

4.2 Методика експерименту

Методика приготування розплаву. В роботі для проведення експериментальних досліджень процесу конверсії і окислення вугілля в якості розплаву обраний хлорид натрію. Він багатьма дослідниками рекомендується для проведення процесів в розплавлених середовищах. У попередньо розігрітий до робочої температури (1100-1353 К) реактор завантажувалося навішення кристалічного натрію хлориду (ГОСТ 13830-97).

Фізико-хімічні властивості натрію хлориду [9]:

молекулярна маса: 58,44 г/моль; температура плавлення: 1073,8 ± 0,5 К; температура кипіння 1686 К; плавиться і кипить без розкладання; щільність ρж, 1100К = 1,56 г / см3; теплоємність Ср = 50,71 Дж · моль$^{-1}$ · К$^{-1}$; еквівалентна електропровідність при температурі плавлення: 133,5 Ом^{1} · см^{2}; ентальпія $\Delta H_{0кр}$ = -411 кДж · моль$^{-1}$; ентропія $\Delta S_{0кр}$ = 72,38 Дж · моль$^{-1}$ · К$^{-1}$; вільна енергія Гіббса $\Delta G_{0кр}$ = -384,5 кДж · моль$^{-1}$; теплота випаровування $\Delta H_{0вип}$ = 170,95 кДж · моль$^{-1}$; змочування вугілля на повітрі при 1123К θ = 78 град; залежність парціального тиску парів від температури lg(p) = 8,3297 - 9417 Т$^{-1}$ · мм.рт.ст.

ЗУБЦОВ

Після досягнення температури розплаву ≥ 1100 К він вважається підготовленим для експерименту.

Відзначено індиферентність розплавів хлоридів лужних металів до реагентів, що використовуються і утворюються в процесах конверсії (CO, H_2, CH_4, H_2O, CO_2); до газів піролізу (H_2, CH_4, H_2S, ароматичних і ненасичених органічних сполук) викопного сировини.

Вуглецевмісні матеріали в розплаві. Для дослідів використовувалися вугілля (табл. 4.1) з розмірами частинок <0,3 мм.

Таблиця 4.1 - Склад використаного вугілля

Вугілля	Вологість, W^p	Летючі р-ни, $V^г$	Зольність, A^p	Горюча маса					Склад золи		
				C	H	N	O	S	SiO_2	Fe_2O_3	Na_2O
	мас. %										
Газове вугілля	5,9	41,3	7,2	81,0	5,7	2,0	11,0	0,3	47,3	4,2	0,4
Антрацит типу АШ	8,0	4,0	28,0	93,0	1,8	1,0	3,0	1,7	52,0	15,0	1,5
Антрацит Донецьк	10,0	7,0	20,0	70,0	4,3	-	-	-	8,0	40,0	4,0
Кокс	3,4	4,0	2,0	95,5	0,5	1,2	1,8	1,0	-	-	-

Хімічний склад золи вугілля представлений в табл. 4.2. Здобувачем проведені термодинамічні розрахунки вірогідності реакцій між окисниками та мінеральними компонентами в роботі [9].

Таблиця 4.2 - Хімічний склад золи солоного вугілля Новомосковського родовища

Хімічний склад золи, мас. % ±0,05									
SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5	K_2O	Na_2O
29,8	31,8	4,45	1,52	3,14	21,06	0,55	0,17	1,25	6,5

Дослідження з попереднім завантаженням вугілля в розплав. Для багатьох експериментів в попередньо розігрітий до робочої температури (1100-1373 К) реактор завантажувалося навішення суміші кристалічного натрію хлориду з вуглецевмісним матеріалом. При цьому відбувалася дегазація і піроліз газів вугілля, а в розплаві залишався вуглецевий залишок. Попереднє видалення вуглеводневих газів дозволяє зіставити окислення тільки вуглецю. Після

ЗУБІЛОВ

досягнення однорідності розплаву (температура ≥ 1100 К) реакційна система продувалася азотом для повного видалення летючих компонентів, потім подавався окиснювач: вода або повітря. У цій серії експериментів можна встановити залежність кінетичних характеристик окислення вуглецевого залишку різного вугілля від: концентрації вуглецю, вмісту летючих, зольності, дисперсності частинок вугілля, газодинамічного режиму руху окиснювачу в розплаві, глибини точки введення окиснювачів в розплав, взаємодії розплаву з реагентами, температури.

4.3 Методика аналізів

Для аналітичного визначення вмісту газоподібних продуктів реакції використовували: газоаналізатори безперервного контролю типу MSI-150 Basic або «Тестотерм» (O_2 в діапазоні 0-21 об.% З точністю до 0,1 об.%; CO, NO, SO_2 в діапазоні 0- 2000 ppm з точністю до 1 ppm); газоаналізатор ОТІ-2 (періодично O_2 в діапазоні 0-21 об.% з точністю до 0,1 об.%; CO_2 в діапазоні 0-100 об.% з точністю до 0,1 об.%); газові хроматографи ЛХМ-8 (рис. 4.3), КОЛІР-500 (періодично H_2 і O_2 з точністю до 0,001 об.%; CO - з точністю до 0,01 об.%; сума горючих - з точністю до 0,01 об.%).

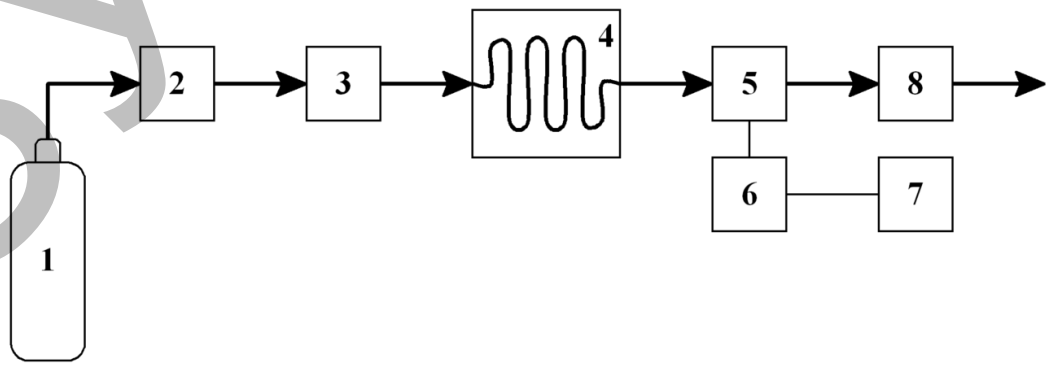


Рисунок 4.3 – Схема газового хроматографа: 1 – джерело газу-носія (рухомої фази); 2 – регулятор витрати газу носія; 3 – пристрій введення проби; 4 – хроматографічна колонка в термостаті; 5 – детектор; 6 – електронний підсилювач; 7 – реєструючий прилад (самописець, комп'ютер); 8 – витратомір.

ЗУБЦОВ

Газова хроматографія – метод поділу летючих компонентів, при якому рухомою фазою слугує інертний газ (газ-носій), що протікає через нерухому фазу з великою поверхнею. В якості рухомої фази використовують водень, гелій, азот, аргон, вуглекислий газ (в даному випадку використовувався азот). Газ-носій не реагує з нерухомою фазою і речовинами, які піддаються розділенню.

4.4 Експериментальні дослідження окислення вугілля в розплаві теплоносія

В літературі всебічно розглянуто окислення (спалювання) вугілля в газофазному горінні, дані по окисленню вуглецю в розплавах фрагментарні.

Експериментальні роботи по окисленню вугілля проводили аналогічно дослідженню конверсії на лабораторній установці з використанням реакторів діаметром 25-36 мм, в якості теплоносія використовувався розплав хлориду натрію.

Вивчення окислення вугілля дозволяє прийняти обґрунтовані висновки за технологією й апаратурою. Вугілля вносився в розплав в заданій кількості, при цьому проходила дегазація, формувався залишок, що містить в основному вуглець і мінеральну частину. Саме доступність поверхні вуглецю окиснювачем визначає швидкість і час окислення вугілля.

Проведено дослідження (табл. 4.3) з визначення впливу на процес окислення концентрації вуглецю антрациту (Донецьк) і коксу, практично в ідентичних умовах з великим часом відбору проб на аналіз. Встановлено, що швидкість окислення вуглецю коксу при концентрації $C_C > 0{,}016$ $г_C/г_P$ вище, ніж окислення вуглецю антрациту на 7-10%, що пов'язано зі значним вмістом золи у антрациты (20%). Однак подальше зменшення концентрації призводить до більш різкої зміни швидкості окислення антрациту (0,31 г/год) в порівнянні коксом (0,60 г/год). Також зниження концентрації вуглецю призводить до більш різкого зменшення кількості CO в порівнянні з CO_2. При досягненні концентрації 0,0114 $г_C/г_P$ для коксу і 0,0127 $г_C/г_P$ для антрациту CO в продуктах відсутній (табл. 4.3,

ЗУБЦОВ

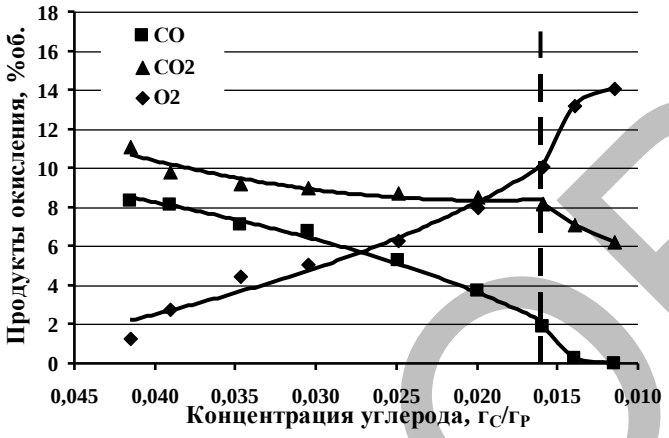
рис. 4.4). Це і потрібно з міркувань захисту навколишнього середовища. Характер кривих зміни складу реакційних газів (рис. 4.4) показує, що в умовах експерименту процес окислення має виражену практично лінійну залежність при концентрації вуглецю в розплаві більш 0,016 $г_C/г_P$, як для антрациту, так і для коксу (рис. 4.4 а, б). Подальше зниження концентрації вуглецю призводить до зміни характеру процесу окислення – різкого зниження кількості оксидів вуглецю та зростання вмісту залишкового кисню. Таким чином, значення концентрації вуглецю в розплаві 0,016 $г_C/г_P$ є граничним, при якому різко змінюється склад продуктів окислення вугілля. Причому при концентрації менше 0,012 $г_C/г_P$ CO в продуктах відсутній.

Таблиця 4.3 – Глибоке окислення в розплаві коксу і вуглецю антрациту (Донецьк) (фракція менш 0,3 мм, температура 1250 К, витрата повітря 18 л/год, висота розплаву 65 мм, глибина точки введення повітря 55 мм, час контакту 0,4 с, об'єм розплаву 62 мл, α (коефіцієнт надлишку повітря) початкове дорівнює 0,31)

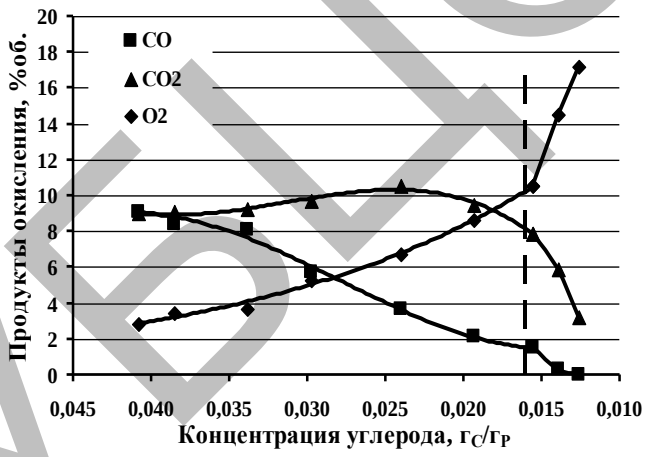
№	α	Час відбору проби	Концентрація С в розплаві		Склад продуктів окислення			Ступінь перетворення O_2	Швидкість окислення				
			$C_{Споч.}$	$C_{Сткін.}$	O_2	CO	CO_2		C	C	O	C	O
		хв	$г_C/г_P$		об. %			%	г/ч	г/($м^3_р$·с)		моль/($м^3_р$·с)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,33	5	Кокс 0,0441	0,0415	1,3	8,3	11,1	93,8	1,87	5,97	16,17	0,50	1,01
2	0,35	10		0,0391	2,8	8,1	9,8	86,7	1,73	5,51	14,94	0,46	0,93
3	0,39	20		0,0347	4,5	7,1	9,2	78,6	1,57	5,02	13,55	0,42	0,85
4	0,44	30		0,0305	5,1	6,8	9,0	75,7	1,52	4,86	13,05	0,41	0,82
5	0,54	45		0,0249	6,3	5,3	8,7	70,0	1,35	4,31	12,07	0,36	0,75
6	0,68	60		0,0200	8,0	3,7	8,5	61,9	1,18	3,76	10,67	0,31	0,67
7	0,85	75		0,0159	10,1	1,9	8,2	51,9	0,97	3,11	8,95	0,26	0,56
8	0,97	85		0,0139	13,2	0,3	7,1	37,1	0,71	2,28	6,40	0,19	0,40
9	1,18	100		0,0114	14,1	0,0	6,2	32,9	0,60	1,91	5,67	0,16	0,35
10	0,33	5	Антрацит (Донецьк) 0,0433	0,0408	2,8	9,1	9,0	86,7	1,75	5,57	14,94	0,46	0,93
11	0,35	10		0,0385	3,4	8,4	9,1	83,8	1,69	5,39	14,45	0,45	0,90
12	0,40	20		0,0339	3,7	8,1	9,2	82,4	1,67	5,33	14,20	0,44	0,89
13	0,45	30		0,0297	5,3	5,7	9,7	74,8	1,49	4,74	12,89	0,40	0,81
14	0,56	45		0,0240	6,7	3,7	10,5	68,1	1,37	4,37	11,74	0,36	0,73
15	0,70	60		0,0194	8,6	2,1	9,5	59,0	1,12	3,57	10,18	0,30	0,64
16	0,87	75		0,0156	10,5	1,5	7,9	50,0	0,91	2,89	8,62	0,24	0,54
17	0,97	85		0,0139	14,5	0,3	5,9	31,0	0,60	1,91	5,34	0,16	0,33
18	1,06	100		0,0127	17,2	0,0	3,2	18,1	0,31	0,99	3,12	0,08	0,19

ЗУБЦОВ

Залежності швидкості реакції окислення (рис. 4.5 а) і ступеня перетворення кисню (рис. 4.6 а) в процесі окислення вугілля також характеризуються наявністю граничної концентрації вуглецю 0,016 $г_C/г_P$. При

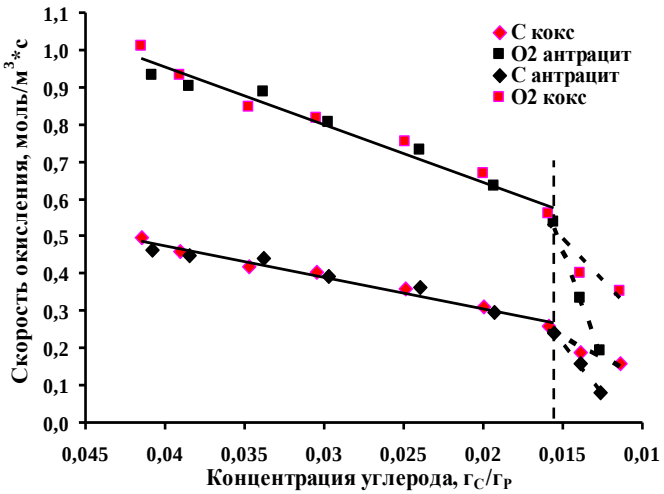


а



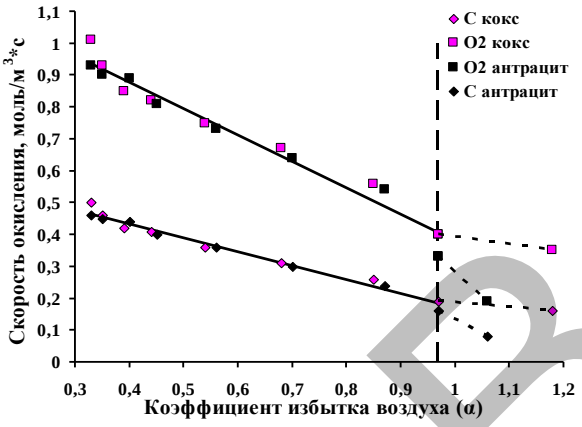
б

Рисунок 4.4 – Склад продуктів окислення вуглецю при 1250 К і зміні його концентрації: а - коксу; б - антрациту.



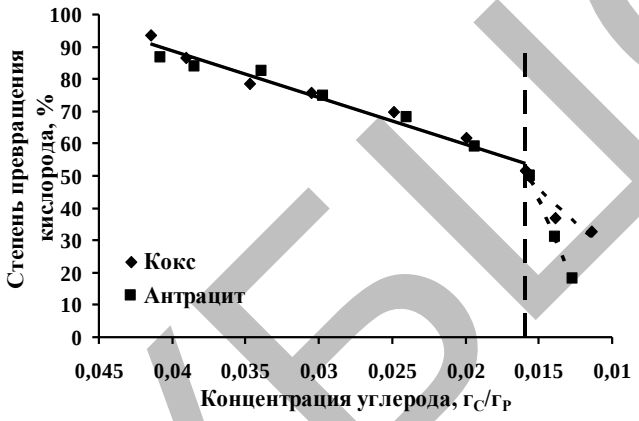
ЗУБЛОВ

а

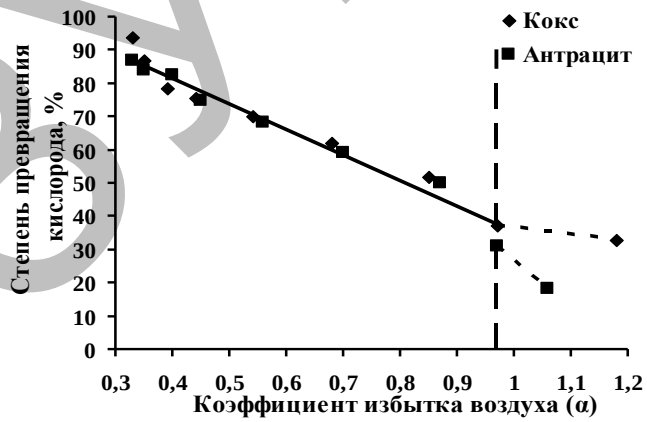


б

Рисунок 4.5 – Швидкість окислення коксу і антрациту при 1250 К і зміні концентрації вуглецю в розплаві (а) і коефіцієнта надлишку повітря (б).



а



б

Рисунок 4.6 - Ступінь перетворення кисню повітря в процесі окислення при 1250 К коксу і антрациту при зміні концентрації вуглецю в розплаві (а) і коефіцієнта надлишку повітря (б).

ЗУБЦОВ

концентрації вуглецю вище 0,016 $г_C/г_P$ швидкість окислення досить стабільна і має практично прямолінійну залежність від змісту вуглецю в розплаві. Причому ці залежності мають близький вид для антрациту і коксу. Зміна швидкості за коксом і антрациту укладаються на одну лінію. Це характерно для процесу, в якому протікання хімічної реакції не лімітується стадією масопереносу з обсягу до кордону розділу фаз. При зниженні концентрації вуглецю нижче 0,016 $г_C/г_P$ швидкість процесу окислення (рис. 4.5 а, 4.6 а - права частина) різко знижується. Також спостерігається розбіжність значень швидкості по вуглецю і кисню для досліджуваних зразків, причому окислення антрациту характеризується більш різким зниженням швидкості, ніж коксу. Як вже зазначалося раніше, це пов'язано з наявністю значного вмісту золи в антрациті. Таким чином, процес спочатку, при концентрації $C_C > 0,016$ $г_C/г_P$, протікає в області, близької до кінетичної, а потім переходить в дифузійну. Тобто, при зниженні концентрації менше 0,016 $г_C/г_P$ лімітуючою стадією окислення твердого палива стає дифузія молекул кисню до вуглецю.

Зниження концентрації вуглецю в розплаві призводить до збільшення значення коефіцієнта надлишку повітря, при постійній витраті повітря. Збільшення коефіцієнта надлишку повітря призводить до зниження швидкості окислення, як по вуглецю, так і по кисню. Залежності швидкості реакції окислення (рис. 4.5 б) і ступеня перетворення кисню (рис. 4.6 б) від коефіцієнта надлишку повітря мають такий же характер, як і при зміні концентрації вуглецю в розплаві. При досягненні $\alpha = 0,97$ (рис. 4.5 б, 4.6 б - права частина) спостерігається різке зниження швидкості реакції окислення і ступеня перетворення кисню для антрациту. Для коксу ці залежності залишаються практично прямолінійними. Отримані дані (рис. 4.4–4.6) свідчать, що за всіма реагентів порядок реакції близький до 1.

Процес залежить від інтенсивності перемішування розплаву і підведення вуглецю до кордону розділу фаз. Дослідження показали (табл. 4.3, рис. 4.4–4.6) наявність граничної концентрації $C_C = 0,016$ $г_C/г_P$, вище значення якої швидкість

ЗУБЦОВ

реакції окислення і ступінь перетворення реагентів мають високі значення і не залежать від складу використовуваного вугілля. У зв'язку з цим в реакторі виділена зона 3 – доокислення. Таке рішення дозволяє провести окислення поступово і зберегти в зоні 2 високі: швидкість реакції і тепловиділення.

Математичні залежності (табл. 4.4, рядки 4, 5) дозволять розрахувати зону 3 – доокислення вуглецю в шлаку. Це забезпечить високу ступінь окислення вуглецю в шлаку, що відводиться з реактора.

Таблиця 4.4 – Кінетичні рівняння процесу окислення коксового залишку антрациту (Донецьк) і коксу в розплаві NaCl (фракція менш 0,3 мм, температура 980^0С, витрата повітря 18 л/год, висота розплаву 65 мм, глибина точки введення повітря 55 мм, час контакту 0,021 с, обсяг розплаву 62 мл)

№	ТГК	за С	за O_2
		$C_C > 0{,}016$ $г_C/г_р$	
1	Кокс	$W_C = 8{,}51 \cdot C_C + 0{,}14$ (4.1)	$W_{O2} = 15{,}73 \cdot C_C + 0{,}33$ (4.2)
2	Антрацит	$W_C = 8{,}54 \cdot C_C + 0{,}13$ (4.3)	$W_{O2} = 15{,}20 \cdot C_C + 0{,}34$ (4.4)
3	Середнє	$W_C = 8{,}53 \cdot C_C + 0{,}14$ (4.5)	$W_{O2} = 15{,}48 \cdot C_C + 0{,}34$ (4.6)
		$C_C < 0{,}016$ $г_C/г_р$	
4	Кокс	$W_C = 21{,}95 \cdot C_C - 0{,}10$ (4.7)	$W_{O2} = 44{,}74 \cdot C_C - 0{,}18$ (4.8)
5	Антрацит	$W_C = 53{,}77 \cdot C_C - 0{,}60$ (4.9)	$W_{O2} = 117{,}01 \cdot C_C - 1{,}29$ (4.10)

Таким чином, процес спочатку, при концентрації $C_C > 0{,}016$ $г_C/г_р$, протікає в області, близької до кінетичної, а потім переходить в дифузійну.

Слід зазначити, що для реакції окислення і конверсії (табл. 4.5, рис. 4.7 – 4.9) швидкості реакції досить близькі (рис. 4.9), а розплав хлориду натрію інертний до продуктів реакції окислення вуглецю.

Дослідження впливу співвідношення водяної пари і вуглецю на цільову реакцію

Вплив співвідношення водяної пари до вуглецю обумовлено зміною концентрації вугілля в розплаві теплоносія при постійній витраті окислювача. Дослідження виконували на антрациті типу АШ фракцією менш 0,05 мм.

ЗУБІОВ

Досліди (табл. 4.5, рис. 4.7 – 4.9) проводили при температурі 1000°С, витраті води 0,006 л/год, висоті розплаву 90 мм, глибиною точки введення води 35 мм.

У міру протікання реакції природно знижується співвідношення вугілля/H_2O, що вносить зміни до складу продуктів реакції і їх характер (табл. 4.5, рис. 4.7 - 4.9).

Таблиця 4.5 – Дослідження процесу парової газифікації антрациту типу АШ (t = 1000°С, маса наважки 3 г, початкова концентрація вуглецю $г_C/г_P$, фракція менш 0,05 мм, витрата води 0,006 л/год, час контакту 0,3 сек, висота розплаву 90 мм , глибина точки введення води 35 мм)

Відбор проби	Вуглець в розплаві		$\frac{C}{H_2O}$	Склад сухого синтез-газу				X_{H2O}		Окислений С	Швидкість реакції			
				H_2	CO	CH_4	CO_2	по Н	по О		H_2	CO	CH_4	CO_2
сек	$г_C/г_P$		г/г	% об.				%		кг/м^3·год	моль/м^3·с			
309	Розрахунок за вмістом вуглецю в синтез-газі	0,032	5,50	80,1	12,8	1,2	7,7	88,5	30,3	10,8	24,8	4,0	0,4	2,4
648		0,031	5,33	79,1	11,2	1,3	8,4	87,7	30,1	10,4	24,5	3,5	0,4	2,6
675		0,029	5,00	80,0	10,6	1,2	8,2	83,8	27,5	9,4	24,8	3,3	0,4	2,6
747		0,028	4,83	79,8	9,9	1,1	9,2	71,4	24,6	8,1	24,8	3,1	0,3	2,9
875		0,027	4,67	79,7	9,3	1,0	9,9	64,8	23,1	7,4	24,7	2,9	0,3	3,1
986		0,025	4,33	80,3	8,2	0,9	10,2	58,6	20,4	6,4	24,9	2,5	0,3	3,2
1107		0,024	4,17	80,8	7,5	0,9	10,8	53,8	18,9	5,8	25,1	2,3	0,3	3,3
1300		0,022	4,00	80,2	7,0	0,8	12,0	43,0	16,3	4,8	24,9	2,2	0,3	3,7
1855		0,022	3,67	83,5	4,0	0,5	12,0	22,8	7,5	2,1	25,9	1,2	0,2	3,7
2353		0,021	3,50	89,9	1,4	0,3	8,3	15,6	3,1	0,8	27,9	0,5	0,1	2,6

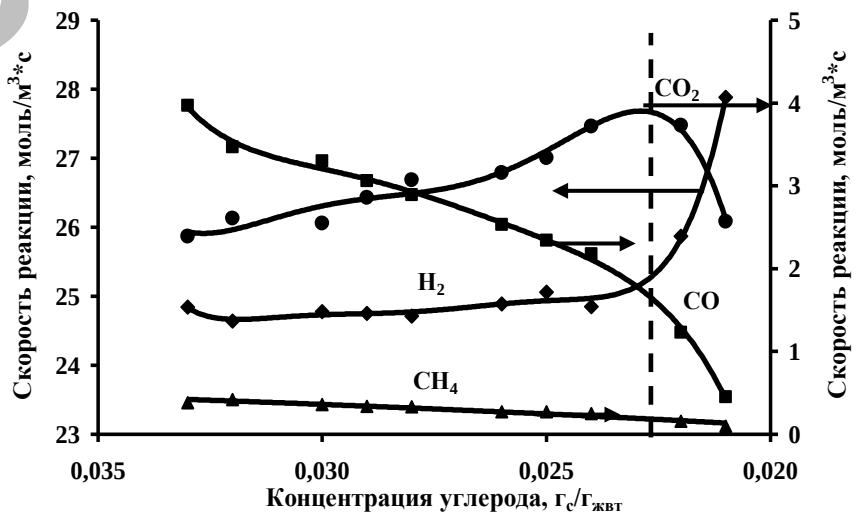


Рисунок 4.7 – Швидкість реакції конверсії вугілля при зміні концентрації вуглецю в теплоносії

ЗУНІОВ

З представлених даних видно, що максимальні значення вмісту, а також швидкості реакції утворення цих продуктів, в продуктах реакції метану і більшою мірою монооксиду вуглецю, спостерігаються при високій концентрації вуглецю (рис. 4.7). Для H_2 і CO_2 відбувається зростання швидкості реакції при зниженні концентрації вугілля в розплаві. Максимальне значення їх концентрацій і швидкості освіти знаходиться при концентрації вугілля ~ 0,023 $г_C/г_P$. При подальшому зниженні концентрації до 0,021 $г_C/г_P$ швидкість реакції утворення CO_2 знижується, як і для CO. Концентрація H_2 продовжує зростати з ще більшою швидкістю (рис. 4.7). Мабуть при зниженні концентрації вугілля в більшій мірі переважає реакція води з розплавом NaCl, яка зв'язує кисень в розплаві і призводить до виділення в газову фазу водню, а не взаємодія з вуглецем вугілля.

Рівняння швидкості процесу газифікації (W) за основними продуктами реакції в залежності від концентрації вуглецю в розплаві (C_C) (табл. 4.6), описують процес конверсії вугілля для двох областей з граничною концентрацією $г_C/г_P$.

Таблиця 4.6 – Рівняння швидкості процесу газифікації (W) за продуктами реакції конверсії вугілля від концентрації вуглецю в розплаві (C_C) ($\delta = \pm 7\%$)

Рівняння швидкості процесу газифікації			
При C_C>0,024 $г_C/г_P$	№	При C_C<0,024 $г_C/г_P$	№
W_{H2}=-21,03·C_C + 25,42	(4.11)	W_{H2}=-938,57·C_C + 47,16	(4.14)
W_{CO}=185,28·C_C – 2,29	(4.12)	W_{CO}=562,14·C_C – 11,27	(4.15)
W_{CO2}=-132,08·C_C + 6,71	(4.13)	W_{CO2}=1160,00·C_C – 21,79	(4.16)
W_{CH4}=23,40·C_C – 0,34			(4.17)

При досить високій концентрації вуглецю підвищується ймовірність проходження реакції його окислення з утворенням CO і CO_2, а при його низькій концентрації можлива і деструкція H_2O. Не виключено протікання окислювально-відновлювальних реакцій води з компонентами зольності вугілля і NaCl.

На рис. 4.8 представлена ступінь перетворення води, розрахована за синтез-газом з урахуванням концентрації вугілля. Характер залежності показує,

ЗУБЦОВ

що спостерігається дві області, в яких залежність ступеня перетворення води носить лінійний характер. Граничною точкою, яка розділяє залежність на дві області, є концентрація 0,024 $г_C/г_P$. Рівняння (4.18, 4.19) описують ступінь перетворення води при зміні концентрації С:

при C_C>0,024 $г_C/г_{ЖВТ}$: $X_{H2O}= 4{,}83\cdot10^3\cdot C_C - 61{,}85$ $\delta = \pm 7\%$ (4.18)

при C_C<0,024 $г_C/г_{ЖВТ}$: $X_{H2O}= 1{,}43\cdot10^4\cdot C_C - 283{,}87$ $\delta = \pm 7\%$ (4.19)

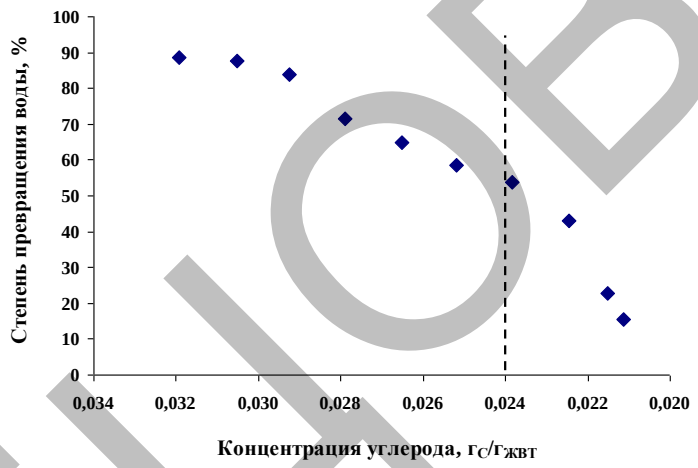


Рисунок 4.8 – Ступінь перетворення води в синтез газ від концентрації вуглецю в теплоносії

Корисна ступінь конверсії вуглецю (рис. 4.9) представлена за даними табл. 4.5. В результаті показано, що в області концентрації 0,024 $г_C/г_P$ і вище, залежність має практично лінійний характер. Це дозволяє екстраполювати дані в область більш високих концентрацій вуглецю. Математична обробка отриманої залежності дозволила отримати рівняння (4.20, 4.21), які описують швидкість конверсії вуглецю від його концентрації в розплаві для області вище і нижче 0,024 $г_C/г_{ЖВТ}$:

$г_C/г_{ЖВТ}$: $W_C = 0{,}0158\cdot C_C - 0{,}0002$ при C_C>0,024 $\delta = \pm 7\%$ (4.20)

$г_C/г_{ЖВТ}$: $W_C = 0{,}0725\cdot C_C - 0{,}0015$ при C_C<0,024 $\delta = \pm 7\%$ (4.21)

ЗУБЛОВ

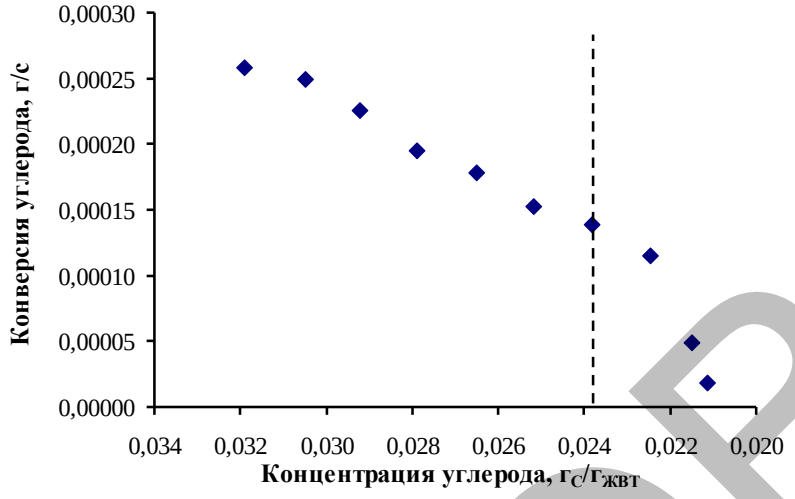


Рисунок 4.9 – Кінетика конверсії вугілля водяною парою при зміні концентрації вуглецю в розплаві.

Вплив гідродинамічних режимів і температури на окислення киснем повітря коксу і вугілля

Переваги в організації процесу окислення вугілля і вуглець речовин відомого початкового складу складаються в більш точної характеристиці складу сировини. У даній роботі використовувалася фракція ТГК менше 0,3 мм: коксу, що містить 2% мас. зольності і 4% мас. летких компонентів; антрациту (Донецьк) - зольність 20,0% мас., леткі 7,0% мас.

Дослідження газодинаміки (табл. 4.7) проводили при температурі теплоносія 980^{0}С, висоті шару 70 мм, початкової концентрації вуглецю 0,022 г/гР. Проведена серія дослідів з вивчення впливу витрати повітря на перебіг процесу окислення. Збільшення витрати повітря в 5 разів призводить в початковий період до зростання швидкості реакції в 3 рази. Після 10 хвилин роботи відмінність знижується до 1,2 раз, незважаючи на велику концентрацію кисню в продуктах реакції. При втраті кисню одночасно знижується і концентрація вуглецю в розплаві. Природно, що при цьому посилюється вплив дифузії на ступінь перетворення реагентів, склад продуктів і швидкість реакції (табл. 4.7, стовпчики 5-14).

ЗУБЦОВ

Таблиця 4.7 – Окислення коксу в розплаві при зміні витрати повітря (фракція менш 0,05 мм, температура 980^{0}С, обсяг теплоносія 50 мм, висота шару теплоносія 70 мм, $C_{поч}$ = 0,022 $г_C/г_P$, точка введення повітря 50 мм, $d_{тр}$ = 2,5 мм)

№	Витрата повітря	Час контакту	Відбор проби	Концентрація С	Склад продуктів окислення			X_{O2}	Швидкість окислення				
				$C_{кон.}$	O_2	CO	CO_2		С	С	О	С	О
	л/год	с	хв	$г_C/г_P$	%об.			%	г/год	г/(м^3_P·с)		моль/(м^3_P·с)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	7	0,49	5	0,0210	1,1	2,8	16,9	94,8	0,74	2,36	6,35	0,20	0,40
2			10	0,0202	5,6	1,3	13,7	73,3	0,56	1,80	4,92	0,15	0,31
3			20	0,0190	8,7	0,9	11,1	58,6	0,45	1,44	3,93	0,12	0,25
4	15	0,42	5	0,0199	1,5	2,5	16,5	92,9	1,53	4,87	13,34	0,41	0,83
5			10	0,0185	7,9	0,9	11,5	62,4	1,00	3,18	8,96	0,27	0,56
6			20	0,0162	10,3	0,4	10,1	51,0	0,84	2,69	7,32	0,22	0,46
7	23	0,35	5	0,0190	2,5	1,9	15,8	88,1	2,18	6,96	19,41	0,58	1,21
8			10	0,0179	14,0	0,4	6,3	33,3	0,83	2,64	7,34	0,22	0,46
9			20	0,0167	17,2	0,1	3,2	18,1	0,41	1,30	3,99	0,11	0,25
10	36	0,19	5	0,0188	8,1	1,1	11,1	61,4	2,35	7,51	21,18	0,63	1,32
11			10	0,0178	17,1	0,0	3,5	18,6	0,68	2,16	6,40	0,18	0,40
12			20	0,0170	19,3	0,0	1,5	8,1	0,29	0,92	2,79	0,08	0,17

У кожній серії початкова концентрація коксу однакова. Збільшення витрати повітря призводить до зміни газодинамічного режиму і співвідношення C/O_2 як в кожній серії, так і за серіями. Слід зазначити, що висота барботажа газу по розплаву всього 50 мм. При збільшенні витрати повітря в 5 і більше разів знижуються всі показники реакції окислення. Виходячи з цього в промисловому реакторі рекомендується: діаметр отворів виходу повітря в розплав $d_{тр}$ = 2,5 мм; відстань між отворами 15-20 мм (уточнюється на дослідній установці); висота шару теплоносія над точкою введення повітря не менше 100 мм; кількість повітря вище стехіометричного не більше ніж на 20%. Це все відноситься до зони окислення.

З огляду на, що в зоні доокислення середня швидкість реакції знижується до 10 разів (табл. 4.3, 4.4, рис. 4.4 і 4.6) через низький вміст горючих компонентів, то в ній висота розплаву повинна бути до 1 м і забезпечена гомогенізація системи «повітря-розплав».

ЗУБІСТР

Дослідження були продовжені зі зміною температури. Досліди проведені з використанням антрациту тип АШ при 980^0С і 1090^0С, початкової концентрації вуглецю 0,022 г/$г_Р$ і висоті шару теплоносія 70 мм. Результати досліджень представлені в табл. 4.8. Підвищення температури на 110^oС призвело до певного зростання швидкості реакції.

Таблиця 4.8 – Окислення антрациту в розплаві при різних температурах ($С_{поч}$ = 0,01 г/$г_Р$, фракція менш 0,05 мм, висота шару теплоносія 70 мм, точка введення повітря 600 мм, $d_{тр}$ = 2,5мм)

№	Витрата повітря	Час кон-такту	Склад продуктів окислення			X_{O2}	Швидкість окислення					k
			O_2	CO	CO_2		C	C	O	C	O	
	л/год	с	%об.			%	г/год	г/($м^3_р$·с)		моль/($м^3_р$·с)		$с^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Температура 980^0С												
1	8	0,490	3,6	8,9	8,5	82,9	0,75	2,38	6,35	0,20	0,40	3,87
2	16	0,420	4,5	7,6	8,8	78,6	1,41	4,49	12,04	0,37	0,75	
3	23	0,350	5,7	5,3	9,8	72,9	1,86	5,94	16,05	0,50	1,00	
4	36	0,190	8,9	2,5	9,5	57,6	2,31	7,39	19,87	0,62	1,24	
Температура 1090^0С												
6	8	0,370	1,4	2,8	16,8	93,3	0,84	2,68	7,15	0,22	0,45	7,26
7	16	0,280	2,7	1,9	16,4	87,1	1,57	5,01	13,36	0,42	0,83	
8	23	0,220	4,3	1,1	15,1	79,5	2,00	6,37	17,52	0,53	1,09	
9	36	0,145	7,4	0,5	12,3	64,8	2,47	7,88	22,33	0,66	1,40	

Збільшення витрати повітря підвищує ступінь перемішування і гомогенізацію системи «вуглець - розплав - гази». При збільшенні витрати повітря з 8 до 36 л/год (табл. 4.8) для температур 980 і 1090^0С спостерігається інтенсифікація процесу окислення вуглецю. Збільшення кількості повітря, що подається в ~ 5 разів призводить до зниження СО з 8,9 і 2,8 об. % до 2,5 і 0,5 об. % для температури 980 і 1090^0С відповідно. Збільшується кількість непрореагувавшого кисню з 3,6 і 1,4 об. % до 8,9 і 7,4 об. % температури 980 і 1090^0С відповідно, і ростуть відповідно втрати тепла. Збільшення витрати повітря при температурі 980^0С сприяє збільшенню кількості діоксиду вуглецю з 8,5 до 9,5 об. %, а при 1090^0С зниження з 16,8 до 12,3 об. %.

При підвищенні температури значення швидкості хімічних перетворень зростає. Збільшення температури на 110^0С призвело до зростання швидкості

ЗУБНОВ

окислення вуглецю з 0,75-2,31 г/год при 980^{0}С до 0,84-2,47 г/год 1090^{0}С в середньому на 12% в залежності від гідродинамічного режиму.

У даній системі «газ - розплав - тверде» поверхня контакту фаз постійно оновлюється. Це не дозволяє точно визначити її питому поверхню. Пропонується використовувати в якості параметра, що характеризує поверхню, вміст вуглецю в розплаві. При заданому гідродинамічному режимі протікання процесу в реакторі визначається в основному температурою теплоносія. З її збільшенням зростає кількість тепла, підведеного до системи «газ-розплав-тверде». Внаслідок цього зростає швидкість хімічної реакції.

З літературних даних [15, 16] відомо, що окислення повітрям вуглецю протікає по реакції першого порядку. На базі даних дослідження при концентрації вуглецю 0,022 г/г$_Р$ і температурах 980 і 1090^{0}С розрахована здається енергія активації. Її значення становить 80000 Дж/моль.

Відповідно до рівняння Ареніуса удавана енергія активації:

$$E = \frac{R}{1/T_1 - 1/T_2} ln\frac{k_2}{k_1} = \frac{8.314}{1/1253 - 1/1363} ln\frac{7,26}{3,87} \approx 80000 Дж/моль$$

Предекспоненціальний множник:

$$k_0 = k_T e^{\frac{E}{RT}} = 3,87 \cdot e^{\frac{80000}{8.314 \cdot 1253}} = 8,4 \cdot 10^3 \qquad (4.22)$$

Ефективна константа швидкості реакції окислення киснем повітря вуглецю в розплаві хлориду натрію описується при концентрації вуглецю вище 0,01 г/г$_Р$ рівнянням:

$$k = (8,4 \cdot 10^3 \pm 10\%) \cdot e^{\frac{-80000 \pm 8000}{RT}} \qquad (4.23)$$

Рівняння швидкості набуде вигляду:

$$W_C = (8,4 \cdot 10^3 \pm 10\%) \cdot e^{\frac{-80000 \pm 8000}{RT}} \cdot [O_2] \qquad (4.24)$$

Рівняння швидкості реакції окислення киснем повітря вуглецю в розплаві хлориду натрію (при C_C > 0,016 г$_C$/г$_р$) з урахуванням рівнянь (4.23) і представлених в табл. 4.2 (рядок 3) набуде вигляду:

$$W_C = (0,38 \pm 0,4) \cdot 10^3 \cdot C_C \cdot e^{\frac{-80000 \pm 8000}{RT}} \qquad (4.25).$$

ЗУБЦОВ

Отримані кінетичні залежності процесів конверсії та окислення коксового залишку вугілля в розплаві теплоносія, показали, що обсяг зони окислення повинен бути в 3 рази більше, ніж зони конверсії. І для максимально повної переробки сировини досить висоти розплаву теплоносія 1 м.

Окислення газового вугілля в розплаві в проточному режимі

Окислення газового вугілля, проводили в розплаві хлориду натрію. Дослідження щодо впливу коефіцієнта надлишку повітря при окисленні газового вугілля представлені в табл. 4.9 і рис. 4.10.

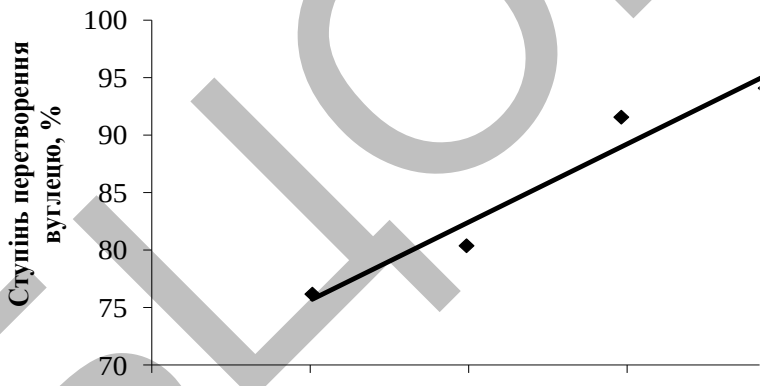


Рисунок 4.10 – Ступінь перетворення вуглецю в залежності від зміни коефіцієнта надлишку повітря

Дослідження щодо впливу глибини точки введення суміші повітря з вугіллям на процес окислення газового вугілля представлені в табл.4.10 і рис 4.11.

В продуктах реакції з'являються H_2 і CH_4, присутніх в летючих компонентах газового вугілля. Занурення трубки введення в розплав на 15 мм знижує кількість водню і метану в ~ 9 і 7 разів. При досягненні глибини точки введення окиснювача більш 50 мм спостерігається повна відсутність цих компонентів. Це дозволяє зіставити швидкість окислення летючих компонентів газів і коксового залишку. При однакових умовах (табл. 4.10, рядок 4): ступінь перетворення газів становить ~ 100%, а коксового залишку 76,7% – тобто вище за все на ~ 25%.

ЗУБЦОВ

Таблиця 4.9 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря на процес окислення газового вугілля (Т = 1160^{0}С, висота розплаву 110 мм, глибина точки введення в розплав 60 мм)

№ оп.	Витрата повітря	α	Склад продуктів окислення							Ступінь перетворення				Швидкість процесу окислення		
			O_2	N_2	CO	CO_2	H_2	CH_4	H_2O	O_2	С по					
											CO	CO_2	ΣCO_X	H_2O	CO	CO_2
	л/год		%об.							%				моль/(м^3*с)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	33	1,01	3,9	62,0	3,0	9,4	0,1	0,1	21,5	76,2	18,2	57,5	75,7	10,62	1,48	4,64
2	49	1,49	8,2	66,6	2,1	7,4	0,0	0,0	15,7	53,8	17,8	62,6	80,4	14,10	1,89	6,65
3	65	1,98	9,9	69,3	1,1	7,5	0,0	0,0	12,3	46,2	11,3	80,2	91,5	24,31	2,17	14,82
4	80	2,44	11,6	70,9	0,0	7,3	0,0	0,0	10,2	38,6	0,0	94,1	94,1	50,40	0,00	36,07

Таблиця 4.10 – Вплив глибини точки введення окислювача на процес окислення газового вугілля (витрата повітря 33 л год, витрата вугілля 3,69 г/год, α = 1,01, Т = 1160^{0}С, висота розплаву 110 мм)

№ оп.	Глибина вводу реагентів	Склад продуктів окислення							Ступінь перетворення				Швидкість процесу окислення		
		O_2	N_2	CO	CO_2	H_2	CH_4	H_2O	O_2	С по					
										CO	CO_2	ΣCO_X	H_2O	CO	CO_2
	мм	%об.							%				моль/(м^3*с)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17
1	0	5,1	65,9	2,7	4,6	3,9	1,3	16,6	71,0	15,3	26,4	41,7	8,20	1,33	2,27
2	15	4,7	62,3	3,3	8,0	0,4	0,2	21,1	71,9	20,1	48,9	69,0	10,43	1,63	3,95
3	30	4,3	62,2	3,2	8,7	0,2	0,2	21,3	73,8	19,6	52,7	72,3	10,52	1,58	4,30
4	50	3,9	62,0	3,1	9,3	0,1	0,1	21,5	76,2	18,7	57,0	75,7	10,62	1,53	4,60
5	80	3,4	61,9	2,8	10,2	0,0	0,0	21,7	79,1	16,9	62,2	79,0	10,72	1,38	5,04

ЗУБІЮВ

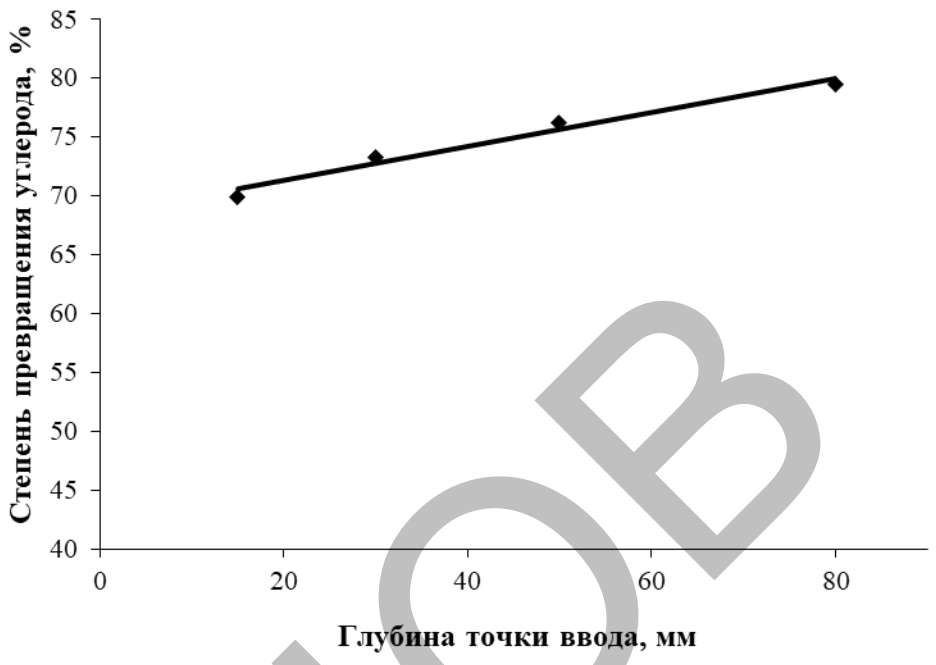


Рисунок 4.11 – Ступінь перетворення вуглецю в залежності від зміни глибини точки введення газового вугілля в розплав

Ступінь перетворення вуглецю від глибини занурення в розплав теплоносія точки введення окисника описується рівнянням:

$X_C=55{,}2\cdot H^{0{,}08}$ при $\alpha=1{,}01$ $\Delta\pm5\%$ (4.26)

Занурення трубки введення суміші повітря і вугілля в розплав збільшує ступінь перетворення вуглецю на 27% в порівнянні з подачею просто на поверхню розплаву (рис. 4.11). Зростання глибини занурення призводить до підвищення ступеня перетворення вуглецю в діоксид та зниження в монооксид. Залежність зміни ступеня перетворення вуглецю від глибини точки введення суміші реагентів в розплав дозволяє визначити, що для 100% ступеня перетворення вугілля необхідна висота розплаву 1,70 м. Використання насадки дозволить знизити необхідну висоту в 1,4 рази і вона складе 1,18 м.

Узагальнення до експериментальної частини

Дослідження окислення повітрям вуглецю або вугілля, попередньо диспергованого в розплаві хлориду натрію і дегазованого:

ЗУБЦОВ

- окислення вугілля в зоні 2 забезпечує підігрів циркулюючого розплаву до 1800°С, що забезпечує енергоспоживання конверсії вугілля водою при 1500°С, для чого необхідно окислити ~ 33% вугілля (теоретично), постійно надходить в реактор сировини;

- дослідження окислення вуглецю попередньо дегазованого коксу, практично не має зольності, показало (табл. 4.3) можливість практично повного його окислення в розплаві;

- при бульбашковому режимі подачі повітря в розплав і вмісті вугілля > 0,016 $г_с/г_р$ реакція окислення вуглецю протікає в кінетичній області, а при зниженні концентрації (рис. 4.4 і 4.5) спостерігається хаотичне зміна концентрацій продуктів реакції, характерне для дифузійної області;

- швидкість реакції окислення С по продуктам реакції СО і CO_2 описується рівнянням першого порядку;

- з огляду на, що будуть перероблятися і високозольні вугілля, вся мінеральна частина переходить в розплав, який виводиться із зони 3 з температурою 1800°С, обов'язково необхідно утилізовувати його теплову енергію;

- при утриманні вугілля в розплаві 0,01 $г_с/г_р$ в продуктах реакції СО відсутня;

- збільшення витрати повітря в 5 разів призводить до зростання швидкості реакції в 3 рази через підвищення ступеня перемішування системи «вуглець - розплав», але після 10 хвилин роботи відмінність знижується до 1,2 раз, незважаючи на велику концентрацію кисню в продуктах реакції, що дозволяє допустити зміна лімітуючої стадії процесу;

- в процесі окислення антрациту в розплаві лімітуючою стадією є дифузія кисню до частинки вугілля;

- швидкість реакції окислення коксового залишку вугілля описується рівнянням:

$$W_C = (3{,}4 \pm 0{,}03) \cdot 10^4 \cdot C_C \cdot e^{\frac{-79900 \pm 8000}{RT}}$$

ЗУБЦОВ

Висновки до експериментальної частини

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено технологія парової конверсії різних типів вугілля в високотемпературному розплаві з отриманням синтез-газу, вільним від негорючих домішок (CO_2 і N_2) і енергозабезпечення конверсії окисленням частини вугілля.

2. Реактор пропонованої технології включає мінімум дві зони (конверсії і окислення) розділені по газовій фазі і об'єднані циркулюючим теплоносієм, але доцільна і зона доокислення, що дозволяє знизити вміст вуглецю в виведеному з реактора шлаку до менш 1% мас.

3. Вивчено кінетику окислення в розплаві хлориду натрію коксового залишку антрациту і коксу і встановлена близькість значень швидкості реакцій, що узгоджується з теоретичними положеннями газофазного спалювання вугілля.

4. Збільшення витрати повітря, температури, вмісту вуглецю призводить до зростання швидкості реакції і ступеня окислення сировини.

5. Енергія активації окислення вуглецю дорівнює 80 кДж/моль.

4. Встановлено, що найбільш високі значення швидкості процесу конверсії вугілля водою в розплаві спостерігаються при концентрації вуглецю вище 0,023 $г_C/г_P$, значення енергії активації становить 100 кДж/моль. При зниженні концентрації вуглецю менш 0,023 $г_C/г_P$ порушується стабільність процесу, що лімітує стадією стає процес дифузії, значення енергії активації становить 78 кДж/моль.

6. Встановлено, що для забезпечення високої швидкості окислення вугілля необхідно виділити третю зону - доокислення. Встановлено, що в зоні окислення необхідно підтримувати значення концентрація вугілля вище 0,016 $г_C/г_P$.

ЗУБЦОВ

5 Прикладна частина

Пропонована технологія окислення вугілля в розплаві теплоносія з отриманням енергетичного газу (синтез-газу) калорійністю 10-12 МДж/м^3, передбачає забезпечення енерговитрат стадії конверсії (зона 1), які доцільно компенсувати окисленням частини вугілля (зона 2) і здійснювати енергообмін розплавом шлаку, що циркулює між зонами (рис. 5.1). Причому зони окислення і конверсії розділені по газовій фазі і об'єднані по розплаву.

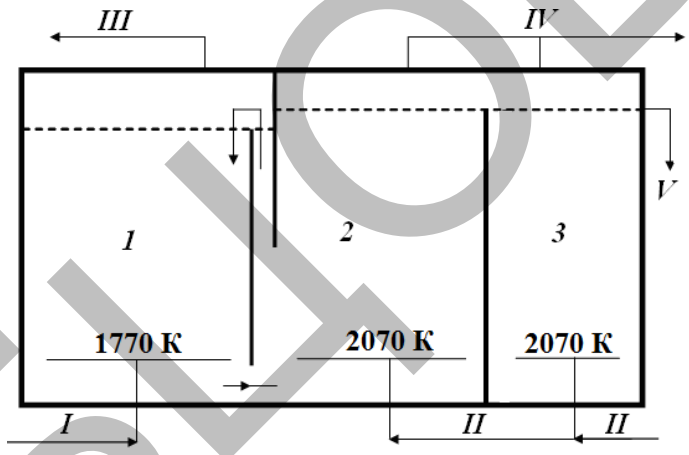


Рисунок 5.1 – Реакційний вузол отримання синтез-газу в розплаві:

1 – зона конверсії, 2 – зона окислення, 3 – зона доокислення (встановлюється за необхідністю концентраціїї вуглецю в розплаві шлаку менше 1%мас.); I – водно-вугільна суміш (можливе додавання вапняку $CaCO_3$ для зв'язування сірки вугілля), II – повітря, III – синтез-газ, IV – димові гази.

Циркуляція розплаву між зонами здійснюється через гідрозатвор. Це виключає контакт горючих газів зони окислення з димовими газами, що містять кисень. Дане рішення забезпечує вибухобезпечність технології і дозволяє застосовувати в зоні 2 і 3 в якості окислювача повітря. Надлишок шлаку відводиться із зони 2 реакційного блоку в зону 3. Залишок непрореагувавшего вуглецю пропонується доокислювати до значення в виведеному з реактора

ЗУБЦОВ

шлаку менше 1%. В даний час великі енергоблоки ТЕС спалюють вугілля з зольністю 25-40%, залишковий вміст вугілля в золі 3% і більше (енергетичні втрати 3-5%) [11]. Теплова енергія розплаву шлаку в даний час не утилізуються. Розрахунки показують, що утилізація доцільна, так як при зольності 30% шлак містить 3-5% енергії, що виділилася на стадії окислення. Температура по зонам реактора різниться на ~ 300 К. Максимальні значення температур по зонах: конверсії – 1770 К; окислення і доокислення – 2070 К. Реальне значення визначається температурою плавлення шлаку, яка знаходиться в межах 1473 – 1773 К [11].

5.1 Розробка технологічної схеми процесу

Результати експериментальних досліджень дозволяють запропонувати принципову технологію в розплаві теплоносія. В даному розділі представлено варіант принципової схеми конверсією вугілля в розплаві зі стадією отримання синтез-газу та окиснення частини вугілля киснем повітря.

Отримання синтез-газу конверсією вугілля в розплаві.

Вугілля з бункера Е і нагріте понад 100^0С повітря подають в кульовий млин М для видалення вологи, що міститься у вугіллі, і його подрібнення. З кульового млина повітряно-вугільна суміш надходить в циклон-сепаратор Ц, де повітря відокремлюється від антрациту. Необхідна кількість антрациту направляється в вузол отримання синтез-газу.

Вузол отримання синтез-газу складається із змішувача СМ, реактора синтез-газу з розплавом Р, золоуловлюючих пристроїв Ф1 і Ф2, котла-утилізатора КУ, повітряного теплообмінника АТ1 і турбін електрогенераторів Т.

Необхідна кількість вугілля фракцією менше 50 мкм змішується з водою в змішувачі СМ і надходить у вигляді водно-вугільної суспензії в І зону реактора Р. У ІІ і ІІІ зони (зона ІІІ встановлюється при необхідності залишкової концентрації вуглецю в розплаві на рівні менше 1 % мас.) реактора через фурми

ЗУБЦОВ

подається повітря нагріте до 770^0С синтез-газом, що відходить з I зони реактора. Балансова кількість розплавленого шлаку виводиться з III зони реактора (якщо вона не встановлена то з II зони). Синтез-газ з I зони направляють на синтез метанолу. З огляду на те, що отриманий синтез-газ може нести частинки золи і вугільного пилу, він не може бути використаний без попереднього очищення, тому передбачений фільтр-золоуловлювач Ф1.

З II і III зони окислення виходять димові гази. Пройшовши вузол золоуловлення Ф2, котел-утилізатор КУ, вони надходять на турбіну Т електрогенератора, потім направляються на каталітичне очищення.

Шлак, який відводиться з III зони реактора синтез-газу, може бути використаний для виробництва будівельних матеріалів. Для цього його спочатку піддають грануляції (на схемі не вказана). Грануляція - надання шлаку форми зерен (гранул) – здійснюється за допомогою струменя води або пари. Вода для грануляції подається під тиском паралельно струменю витікаючого шлаку і змішується з ним. Під впливом швидкого паротворення струмінь шлаку розривається на частки, які падають в грануляційний басейн з циркулюючою водою і твердіє у вигляді зерен або дрібних шматків.

Основні шлаки в гранульованому вигляді йдуть для виробництва цегли, бетону (як заповнювач), а також цементу. Кислі шлаки застосовуються для виготовлення дорожньої бруківки та інших литих виробів [5].

5.2 Матеріальний і тепловий розрахунки

5.2.1 Матеріальний розрахунок

Вихідні дані:

1. Проводимо розрахунок на потужність за вугіллям 12 т/год.

2. Склад і характеристики вугілля:

- марка А (антрацит);
- вологість W = 8% (від загальної маси вугіля);
- зольність A = 28% (від сухої маси вугіля).

ЗУБЦОВ

- Склад горючої маси (% мас.):

C – 93,0 %, H – 1,8 %, O – 2,7 %, S – 1,7 %, N – 0,8 %

Розрахунок

Виходячи із складу вугілля визначаємо кількість окремих компонентів:

1. Зола $G_{зол}$ = 12000*0,28 = 3360 кг/год
2. Горюча маса $G_{горюч.част}$ = 12000 – 3360 = 8640 кг/год, в т.ч.:

G_C = 8640*0,93 = 8035,2 кг/год

G_H = 8640*0,018 = 155,5 кг/год

G_O = 8640*0,027 = 233,3 кг/год

G_S = 8640*0,017 = 146,9 кг/год

G_N = 8640*0,008 = 69,1 кг/год

При паровій конверсії вуглецю перебігають наступні основні реакції:

$C + H_2O = CO + H_2$ (5.1)

$S + H_2 = H_2S$ (5.2)

$CO + 0,5*O_2 = CO_2$ (5.3)

За реакцією (5.1) для повної конверсії 8035,2 кг/год вуглецю потрібно води:

G_{H2O} = 8035,2*18/12 = 12052,8 кг/год

При цьому утворюється наступна кількість CO і H_2:

G_{CO} = 8035,2*28/12 = 18748,8 кг/год

G_{H2} = 8035,2*2/12 = 1339,2 кг/год

При перебігу реакції (5.2) для повного перетворення 146,9 кг/год сірки потребується H_2:

G_{H2} = 146,9*2/32 = 9,2 кг/год

При цьому утворюється H_2S:

G_{H2S} = 146,9*34/32 = 156,1 кг/год

Весь наявний у вугіллі кисень приймає участь в реакції (5.3). При цьому 233,3 кг/год O_2 прореагує з CO в кількості:

G_{CO} = 233,3*28/0,5*32 = 408,3 кг/год

ЗУБЦОВ

При цьому утворюється CO_2:

G_{CO2} = 233,3*44/0,5*32 = 641,6 кг/год

Залишається CO:

$G_{CO(зал)}$ = 18748,8 - 408,3 = 18340,5 кг/год

Весь наявний у вугіллі азот переходит в N_2.

Далі проводимо розрахунок кількості вугілля потрібну для забезпечення теплового режиму реактору (тобто енерговитрат процесу конверсії).

Знайдемо теплотворну здатність вугілля. Розрахунок проводимо на масу сухого вугілля $G_{сух.вуг}$ = 1 кг.

$G_{золи}$ = 1*0,28 = 0,28 кг

$G_{горюч.част}$ = 0,72 кг, в т.ч.

G_C = 0,72*0,93 = 0,670 кг

G_H = 0,72*0,018 = 0,013 кг

G_O = 0,72*0,027 = 0,019 кг

G_S = 0,72*0,017 = 0,012 кг

G_N = 0,72*0,008 = 0,006 кг

При окисленні вугілля перебігають наступні реакції:

$C + O_2 = CO_2$ ΔH_{2073} = -397,57 кДж/моль;

$H_2 + 0{,}5O_2 = H_2O$ ΔH_{2073} = -243,66 кДж/моль;

$0{,}5*S_2 + O_2 = SO_2$ ΔH_{2073} = -352,61 кДж/моль.

$Q = \sum \nu_i * \Delta H_i = \sum (m_i/M_i) * \Delta H_i$

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0{,}670*397{,}57*10^3/12 + 0{,}013*243{,}66*10^3/2 + 0{,}012*352{,}61*10^3/32 = 23913{,}7$ кДж

Теплотворна здатність вугілля Q^P_H = 23913,7 кДж/кг.

Визначемо витрати тепла в зоні конверсії:

1) Нагрів води:

а) нагрів води від 20^0C до температури кипіння:

$Q = G*C_P*\Delta t$;

Q = 12052,8*75,30*(100-20)/18 = 4,03 ГДж;

ЗУБЦОВ

б) випар води:

$Q = G*\Delta H_{вип}$;

$Q = 12052,8*44,02*10^3/18 = 29,48$ ГДж;

в) нагрів пари від 100^0С до 1500^0С:

$Q = 12052,8*33,61*(1500-100)/18 = 31,51$ ГДж;

$Q_{H2O(заг)} = 4,03 + 29,48 + 31,51 = 65,02$ ГДж.

2) Нагрів вихідного вугілля:

$Q = 12000*1,04*(1500 - 20) = 18,47$ ГДж;

3) Витрати тепла на перебіг реакцій (за реакцією (5.1)):

$\Delta H_{1773} = 123,43$ кДж/моль;

$Q_{р\text{-}ції} = 8035,2*123,43*10^3/12 = 82,65$ ГДж;

Витрати тепла в зоні конверсії:

$Q_{витр.} = 65,02 + 18,47 + 82,65 = 166,14$ ГДж;

Витрата вугілля в зоні окислення складе:

$G_{вуг.(ок)} = 166,14*10^9/23913,7*10^3 = 6947,5$ кг/год.

Для врахування втрат тепла приймаємо 20%-й надлишок вугілля, що необхідно окислити:

$G_{вуг.над} = 6947,5*1,2 = 8337$ кг/год.

Для подальших розрахунків приймаємо, що окисленню підлягає 8400 кг/год вугілля.

Загальна кількість вугілля, що підлягає переробці для забезпечення заданої потужності за синтез-газом складе:

$G_{вуг(заг)} = 12000 + 8400 = 20400$ кг/год сухого вугілля.

Для подальших розрахунків витратних коефіцієнтів визначаємо кількість вологого вугілля:

$G_{ввл.вуг} = 20400/(1 - 0,08) = 22174$ кг/год

Отриманні дані зводимо до таблиці матеріального балансу.

ЗУБЦОВ

Таблица 5.1 – Матеріальний баланс стадії конверсії на сухе вугілля

Прихід			Витрата				
Потік	%мас.	кг/год	Потік	%об.	$м^3$/год	%мас.	кг/год
1.Вугілля, в т.ч.	62,9	20400	1. Вугілля на окислення			25,8	8400
- на конверсію		12000	2. Синтез-газ, в т.ч.	100	31793,7	63,8	20692,8
C		8035,2	CO	46,15	14672,4		18340,5
H		155,5	H_2	52,33	16637,6		1485,5
O		233,3	CO_2	1,03	326,6		641,6
S		146,9	H_2S	0,32	102,8		156,1
N		69,1	N_2	0,17	55,3		69,1
зола		3360	3. Зола			10,4	3360
- на окислення		8400					
2. Вода	37,1	12052,8					
Разом:	100	32452,8	Разом:	100	31793,7	100	32452,8

5.2.2 Розрахунок основних витратних коефіцієнтів на одиницю продукції

Витратні коефіцієнти характеризують витрату сировини, води, енергії та допоміжних матеріалів, віднесені до одиниці цільового продукту.

k=m/n,

де k – витратний коефіцієнт, т/т, $м^3$/т, кВт/т;

m – витрата сировини, реагенту, електроэнергії, т/год, кг/год, $м^3$/год, кВт*год і т.п.;

n – маса цільового продукту, т.

Розрахуємо витратні коефіцієнти за основними видами сировини. розрахунок виконаємо на базі матеріального балансу агрегату отримання синтез-газу потужністю 30000 $м^3$/год.

Витратний коефіцієнт за вологим вугіллям:

k_1=22174/30000=0,74 кг/$м^3$

Витратний коефіцієнт за водою:

k_2=12052,8/30000=0,40 кг/$м^3$

5.2.3 Тепловий розрахунок

Вихідні дані:

ЗУБЦОВ

1. Таблиця 5.1 матеріального балансу реактора.
2. Теплоємність вугілля $C_в$ = 1,04 кДж/кг*К
3. Теплоємність шлаку $C_ш$ = 1,103 кДж/кг*К
4. Фізико-хімічні властивості речовин (таблиця 5.2).

Таблица 5.2 – Фізико-хімічні властивості речовин [16]

Речовина	Молекулярна маса М, г/моль	$Cp_{,298,}$ Дж/моль*К	$\Delta H_{298,}$ кДж/моль
H_2	12	8,54	0
CO	28	29,14	-110,53
$H_2O_{пар}$	18	33,61	-241,81
$H_2O_р$	18	75,30	-285,83
O_2	32	29,37	0
N_2	28	29,12	0
CO_2	44	37,11	-393,51
SO_2	64	39,87	-296,90
H_2S	34	33,44	-20,60

Розрахунок

Для розрахунку теплового балансу визначимо кількість тепла, що можливо утилізувати при охолодженні синтез-газу з температури 1500^0С до температури синтезу метанолу 300^0С.

І. Визначаємо теплоємність синтез-газу за правилом аддитивності:

$C_{СГ}$= 29,14·0,4615 + 28,83·0,5233 + 37,11·0,0103 + 33,44·0,0032 + + 29,12·0,0017 = 29,07 Дж/(моль*К)

Витрата синтез-газу за матеріальним балансом:

$G_{СГ}$ =31793,7 $м^3$/год

Кількість тепла, що виділеться при охолодженні синтез-газу від 1500 до 300^0С, складе:

$Q_{СГ}$ = 31793,7·29,07·(1500 - 300)/22,4 = 49,5 ГДж/год

З урахуванням втрат на рівні 10%:

$Q_{втр}$ = 0,1× $Q_{СГ}$ = 0,1×49,5= 4,95 ГДж/год

Кількість тепла, можлива до корисної утилізації складе:

$Q_{ут}$ = $Q_{СГ}$ – $Q_{втр}$ = 49,5 – 4,95 = 44,55 ГДж/год

Тепло екзотермічних реакцій (за теплотворною здатністю вугілля) складе:

ЗУБЦОВ

$Q_{екз}$ = 23913,7×8400 = 200,9 ГДж/год

II. Тепловий баланс за зоною конверсії

1. Тепло, необхідне для нагріву вугілля від 20 до 1500^{0}С:

$Q_{вуг}$ = 20400×1,04×(1500 – 20)= 31,4 ГДж/год

2. Тепло на нагрів води, її випар і перегрів пари:

розраховано в матеріальному балансі:

$Q_{H2O\ заг}$ = 65,0 ГДж/год

3. Тепло, що потрібно витрати на перебіг ендотермічних реакцій конверсії розраховано в матеріальному балансі:

$Q_{енд}$ = 82,7 ГДж/год

Теплові втрати в зоні конверсії приймаємо на рівні 10% від приходу тепла, що складається з тепла екзотермічних реакцій та корисної утилізації тепла синтез-газу:

$Q_{втр}$ = (200,9 + 44,55)·0,1 = 24,55 ГДж/год

Тоді в зону конверсії, з зони окислення повинно підводитися кількість тепла:

$Q_{конв.} = Q_{енд} + Q_{H2O\ заг} + Q_{вуг} + Q_{втр} – Q_{ут}$

$Q_{конв.}$= 82,7 + 65,0 + 31,4 + 24,55 – 44,55 = 159,1 ГДж/год

Розраховані дані заносимо до таблиці теплового балансу.

Таблиця 5.3 – Тепловий баланс зони конверсії

Прихід	ГДж/год	Витрата	ГДж/год
1. Тепло з зони окислення	159,1	1. На ендотермічні реакції	82,7
2. Утилізація тепла синтез-газу	44,55	2. На нагрів вугілля	31,4
		3. Нагрів води, випар та перегрів пари	65,0
		4. Втрати	24,55
Разом:	203,65	Разом:	203,65

5.3 Вибір і розрахунок основного апарату

5.3.1 Вибір та опис основного апарату

Основним технологічним апаратом є реактор газифікації антрациту в розплаві рідкого високотемпературного теплоносія, в якості якого

ЗУБЦОВ

запропоновано застосовувати розплав шлаку, отриманий при окисленні антрациту.

Для реалізації внутрішньої циркуляції теплоносія рекомендується використовувати ерліфт, розташований в зоні окислення. Дія повітряного підйомника засноване на принципі поєднаних посудин, заповнених незмішуючимися рідинами з різною питомою вагою. Циркуляція суспензії відбувається за рахунок різниці щільності гетерогенних систем в циркуляційній трубі і просторі між корпусом апарату і циркуляційною трубою. Інтенсивність циркуляції тут перш за все залежить від витрати повітря, висоти труби і ефективної в'язкості суспензії [14].

При розробці конструкції (футеровки, теплоізоляції, пристроїв введення реагентів і ін.) реактора необхідно використовувати розрахунки пічей, застосовуваних у металургії.

5.3.2 Розрахунок реактора конверсії вугілля в розплаві

Для розрахунків було прийнято, що газифікатор працює в барботажному режимі. Швидкість руху газів у вільному перерізі реактора знаходиться в діапазоні 1,5 – 3,0 м/с [18]. Для розрахунків була прийнята швидкість руху газу 2 м/с.

Площа робочої зони знаходиться за формулою:

$$S = \frac{V_г}{w}, \text{ м}^2 \qquad (5.4)$$

де $V_г$ – витрата газу за р.у., м^3/с;

w – швидкість руху газів у вільному перетині реактора, м/с.

Витрата газу за робочих умов розраховується за формулою:

$$V_{р.у.} = \frac{V_{н.у.}}{3600} \times \frac{t+273}{298} \times \frac{P_1}{P_2}, \text{ м}^3/\text{с} \qquad (5.5)$$

де $V_{н.у.}$ – витрата газу за н.у., м^3/год.

Витрата димових газів за р.у.:

ЗУБЦОВ

$$V_{ДГ} = \frac{56972{,}4}{3600} \times \frac{1800+273}{298} \times \frac{1}{40} = 2{,}8 \text{ м}^3/\text{с}$$

Витрата синтез-газу при р.у.:

$$V_{СГ} = \frac{31793{,}7}{3600} \times \frac{1500+273}{298} \times \frac{1}{40} = 1{,}3 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа робочої зони:

– окислення: $S_1 = \frac{2{,}8}{2} = 1{,}4$ м^2;

– конверсії: $S_2 = \frac{1{,}3}{2} = 0{,}6$ м^2.

Залежно від вимог, що пред'являються до якості одержуваного шлаку, можливе використання третьої зони реактора – зони глибокого окислення. Приймемо площу зони глибокого окислення, рівну площі зони окислення.

Для розрахунків була прийнята висота шару шлаку 0,8 м, висота газового простору 0,8 м (загальна висота 1,6 м).

Об’єм шлаку в зоні:

- окислення: $V_{1ш} = 1{,}4 \times 0{,}8 = 1{,}12$ м^3;

- конверсії: $V_{2ш} = 0{,}6 \times 0{,}8 = 0{,}48$ м^3.

Загальний об’єм шлаку в обох зонах $V_ш = 1{,}12 + 0{,}48 = 1{,}6$ м^3.

Загальний об’єм кожної зони:

- окислення: $V_1 = 1{,}4 \times 1{,}6 = 2{,}24$ м^3;

- конверсії: $V_2 = 0{,}6 \times 1{,}6 = 0{,}96$ м^3.

При ширині реактора 1 м довжина кожної зони:

- окислення: $l = 1{,}4/1 = 1{,}4$ м;

- конверсії: $l = 0{,}6/1 = 0{,}6$ м;

- доокислення: $l = 1{,}4/1 = 1{,}4$ м.

5.3.3 Розрахунок ерліфта

З причини відсутності даних про роботу ерліфтів з розплавами речовин, приймаємо, що їх робота ідентична транспортуванню води з свердловин.

ЗУБЦОВ

Для роботи ерліфта необхідне дотримання умови:

$$\frac{H+h}{H} \le \frac{\rho_p}{\rho_{см}} \qquad (5.6)$$

де $\rho_р$ і $\rho_{см}$ – густина рідини і суміші відповідно, кг/м^3;

Н – глибина занурення змішувача, м;

h – висота підйому рідини, м.

Різниця густини розплаву, що знаходиться в реакційній зоні і в ерліфті забезпечується введенням в ерліфт повітря. Його кількість необхідна для підйому 1 м^3 рідини на висоту h можна визначити за емпіричною формулою [17, (180), с.625]:

$$V \approx \frac{1.75 \cdot h}{C \cdot lg \frac{H+10}{10}} \qquad (5.7)$$

де С – досвідчений коефіцієнт, що залежить від $\frac{H+h}{H}$; С=8,23.

При кратності циркуляції теплоносія 10 год$^{-1}$ кількість циркулюючого розплаву складе: 1,6 × 10 = 160 м^3/год.

$$V_B \approx \frac{V_P \cdot 1{,}75 \cdot h}{\frac{T_P}{T_H} \cdot C \cdot lg \frac{H+10}{10}} \qquad (5.8)$$

де $V_В$ – витрата повітря при початковій температурі, м^3/год;

$V_р$ – витрата теплоносія, м^3/год;

$T_н$, $T_р$ – початкова і робоча температури повітря, м^3/год;

$T_н$ = 770 + 273 = 1043 К; $T_р$ = 1800 + 273 = 2073 К.

Приймемо висоту підйому рідини h = 400 мм і глибину занурення змішувача ерліфта Н = 300 мм.

Тоді за формулою (5.8):

ЗУБЦОВ

$$V_B \approx \frac{160 \times 1{,}75 \times 0{,}4}{\frac{2073}{1043} \times 8{,}23 \times lg\frac{0{,}3+10}{10}} \approx 533$$ м^3/год повітря (при 770^{0}С і 40 атм), що при н.у. складе: $V_{B\,(н.у.)}$ = 6090 нм^3/год.

За матеріального балансу необхідно подати в зону окислення 56160 нм^3/год повітря. Таким чином, необхідно додатково подати через фурму:

56160-6090 = 50070 нм^3/год повітря.

Швидкість входу розплаву у змішувачів приймається від 1,8 до 3,5 м/с [17]. Приймаємо для розрахунку 2,7 м/с.

Швидкість руху суміші від змішувача до виходу з циркуляційної труби вельми важливий фактор, і часто через неправильний вибір величини цієї швидкості ерліфт працює незадовільно. По мірі підйому суміші по трубах її секундний об'єм змінюється, а, отже, змінюється і швидкість руху суміші. На виході з напірної труби ця швидкість має найбільше значення. Величини швидкостей на виході з напірної труби бувають порядку від 6 до 12 м/с [17]. Для розрахунку приймаємо 9 м/с.

Визначення площі поперечного перетину напірної труби по швидкості руху суміші проводиться таким чином.

Приймаємо такі позначення:

q – витрата розплаву, м^3/с; q = 160/3600 = 0,04 м^3/с;

q_1 – витрата стисненого повітря, м^3/с; визначається за формулою:

$q_1 = q_2 \times P_2/P_1$,

де q_2 – витрата вільного повітря; q_2 = 1800/3600 = 0,5 м^3/с;

P_1 = 40 атм, P_2 = 60 атм.

q_1 = 0,15 × 60/40 = 0,22 м^3/с;

υ_1 – швидкість руху суміші у змішувача, м/с;

υ_2 – швидкість руху суміші на виході з напірної труби, м/с.

Тоді перетин циркуляційної труби буде:

а) у змішувача: $S_1 = (q+q_1)/\upsilon_1$ = 0,1 м^2; d_1 = 0,36м;

б) на виході: $S_2 = (q+q_2)/\upsilon_2$ = 0,02 м^2; d_2 = 0,16м.

ЗУБЦОВ

Після визначення d_1 і d_2 підбираємо з відповідного сортименту найближчу за розмірами трубу. Приймаємо трубу діаметром 377×10 мм [18].

Площа робочої зони ерліфта складе: $0,785 \times 0,357^2 = 0,1$ м^2.

Розраховуємо діаметр повітряпровідної труби. Швидкість руху газів в нагнітальних трубопроводах знаходиться в діапазоні 15 - 25 м/с. Приймаємо швидкість руху повітря по повітряпровідній трубі ерліфта 20 м/с.

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 * \omega}}, \text{ м} \qquad (5.9)$$

$$d = \sqrt{\frac{533}{3600 \times 0,785 \times 20}} = 0,1 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартну трубу розміром 108×4 мм.

Подача кисневого дуття в реактор здійснюється вертикальною водоохолоджуваною фурмою. Тіло фурми виготовлено з трьох концентрично розташованих труб. Внутрішня труба служить для підведення повітря, середня - для відводу води. По зовнішній трубі підводиться охолоджуюча вода. Найбільш важливою частиною фурми, що визначає умови формування окисного газового струменя і її впливу на розплав, є сопло. Сопло являє собою головку, яка герметично з'єднана з зовнішньою і внутрішньою трубами фурми.

5.4 Матеріальний і тепловий баланс виробництва синтез-газу з антрациту типу АШ на 1000 г вугілля за трьома варіантами

Технологію пропонується організувати при тиску до 5-6 МПа. За результатами досліджень (експериментальна частина) спільно розрахований матеріальний і тепловий баланси стадії конверсії і її енергозабезпечення зоною окислення. Результати представлені в таблицях 5.5 і 5.6. Розрахунки виконані для витрати сухої маси вугілля 1000 г. Склад антрациту типу АШ, використаний для розрахунку, наведено в таблиці 5.4.

Беремо до уваги такі припущення: при 1500^{0}С в зоні конверсії органічна частина вугілля піддається термічному розкладанню, в результаті якого в газову фазу переходять водень, сірка, азот, кисень і частина вуглецю. У розплаві

ЗУБЦОВ

Таблиця 5.4 – Елементний склад 1 кг антрациту типу АШ

Елементи і склад сухої беззольної маси	Склад,% мас.		Грам-атоми
	%	г	-
C	93,00	595,20	49,60
H	1,81	11,56	11,56
S	1,69	10,84	0,34
N	0,81	5,16	0,37
O	2,69	17,24	1,08
зольність	28,00	280,00	-
волога	8,00	80,00	4,44
всього		1000,00	

залишаються частина вуглецю (коксовий залишок) і зола (шлак). При цьому в відновної середовищі зони конверсії кисень переходить в CO (99,5%) і CO_2 (0,5%), азот зв'язується до N_2 (імовірно 100%), сірка зв'язується до H_2S. Приймаємо, що співвідношення азот/кисень в сухому вугіллі дорівнює 1/3.

Розглянуто три варіанти технології газифікації вугілля в розплаві теплоносія: 1-й варіант - без підігріву вихідних потоків (t = 20°C); 2-й - з підігрівом потоку повітря в зону окислення і випаровуванням і підігрівом потоку води в зону конверсії до 400°C; 3-й - випаровуванням і підігрівом потоку води в зону конверсії до 400°C і з підігрівом потоку повітря в зону окислення до 800°C. В результаті проведених розрахунків отримані наступні дані. Склад і кількість одержуваного синтез-газу в зоні 1 при конверсії 1000 г вугілля і димових газів в зоні енергозабезпечення 2 представлені в табл. 5.5.

ЗУБЛОВ

Таблиця 5.5 – Склад синтез-газу і димових газів, одержуваних в реакторі газифікації вугілля за технологією в розплаві теплоносія

Синтез-газ					Димові гази				
Варіант 1									
речовина	моль	г	л	% об.	речовина	моль	г	л	% об
CO	12,70	355,49	284,39	41,69	CO_2	36,85	1621,21	825,34	20,00
H_2	17,17	34,35	384,69	56,40	N_2	145,54	4075,13	3260,10	79,00
CO_2	0,06	2,57	1,31	0,19	O_2	1,84	58,95	41,27	1,00
H_2S	0,34	11,52	7,59	1,11	всього	-	5755,29	4126,71	100,00
N_2	0,18	5,16	4,12	0,60					
всього	-	409,08	682,11	100,00					
Варіант 2									
речовина	моль	г	л	% об.	речовина	моль	г	л	% об
CO	15,56	435,71	348,57	42,96	CO_2	33,97	1494,51	760,84	20,00
H_2	20,07	40,14	449,52	55,40	N_2	134,17	3756,66	3005,33	79,00
CO_2	0,07	3,20	1,63	0,20	O_2	1,70	54,35	38,04	1,00
H_2S	0,34	11,52	7,59	0,94	всього	-	5305,52	3804,22	100,00
N_2	0,18	5,16	4,12	0,51					
всього	-	495,72	811,43	100,00					
варіант 3									
речовина	моль	г	л	% об.	речовина	моль	г	л	% об
CO	21,30	596,39	477,11	44,57	CO_2	28,20	1240,75	631,65	20,00
H_2	25,86	51,73	579,35	54,12	N_2	111,39	3118,80	2495,04	79,00
CO_2	0,10	4,47	2,28	0,21	O_2	1,41	45,12	31,58	1,00
H_2S	0,34	11,52	7,59	0,71	всього	-	4404,66	3158,27	100,00
N_2	0,18	5,16	4,12	0,39					
всього	-	669,26	1070,45	100,00					

Проведені розрахунки показали, що при 1-му варіанті організації процесу конверсії вугілля в розплаві з 49,6 моль переробляється вуглецю (1000 г вугілля) в зоні окислення (енергозабезпечення зони конверсії) необхідно окислити 36,8 моль С, що становить 75% від кількості переробляється палива. При 2-му варіанті організації процесу необхідно окислити 33,9 моль С, що становить ~ 68% від загальної кількості переробляється вуглецю і в 3-му варіанті схеми необхідно окислити 28,1 моль, ~ 56% від переробленої палива.

Зведений матеріальний баланс процесу парової конверсії антрациту типу АШ в реакторі з циркулюючим теплоносієм представлений в табл. 5.6.

Тепловий баланс процесу конверсії вугілля в розплаві теплоносія представлений в табл. 5.7.

ЗУНТОВ

Таблиця 5.6 – Матеріальний баланс реактора з розплавом теплоносія для процесу парової конверсії 1 кг нтрациту типу АШ

Варіант 1			
прихід		витрата	
потік	г	потік	г
1. Сухий антрацит, в т.ч.	1000,00	1. Синтез-газ, в т.ч.	409,08
C	595,20	CO	355,49
H	11,56	H_2	34,35
S	10,84	CO_2	2,57
N	5,16	H_2S	11,52
O	17,24	N_2	5,16
зола	280,00	2. Димові гази	5755,29
вода	80,00		
2. Додаткова вода	131,23	CO_2	1621,21
3. Повітря в зону окислення, в т.ч.	5313,143	N_2	4075,13
O_2	1238,01	O_2	58,95
N_2	4075,13	3. Шлак	280,00
Всього	6444,37	Всього	6444,37
Варіант 2			
потік	г	потік	г
1. Сухий антрацит, в т.ч.	1000,00	1. Синтез-газ, в т.ч.	495,72
C	595,20	CO	435,71
H	11,56	H_2	40,14
S	10,84	CO_2	3,20
N	5,16	H_2S	11,52
O	17,24	N_2	5,16
зола	280,00	2. Димові гази	5305,52
вода	80,00		
2. Додаткова вода	183,32	CO_2	1494,51
3. Повітря в зону окислення, в т.ч.	4897,93	N_2	3756,66
O_2	1141,26523	O_2	54,35
N_2	3756,66	3. Шлак	280,00
Всього	6081,25	всього	6081,25
варіант 3			
потік	г	потік	г
1. Сухий антрацит, в т.ч.	1000,00	1. Синтез-газ, в т.ч.	669,26
C	595,20	CO	596,39
H	11,56	H_2	51,73
S	10,84	CO_2	4,47
N	5,16	H_2S	11,52
O	17,24	N_2	5,16
зола	280,00	2. Димові гази	4404,66
вода	80,00		
2. Додаткова вода	287,65	CO_2	1240,75
3. Повітря в зону окислення, в т.ч.	4066,28	N_2	3118,80
O_2	947,4820823	O_2	45,12
N_2	3118,80	3. Шлак	280,00
Всього	5353,93	всього	5353,93

ЭУБЛІОВ

Таблиця 5.7 – Тепловий баланс реактора з розплавом для процесу парової конверсії 1 кг антрациту типу АШ

Варіант 1			
прихід		витрата	
Стаття	Дж	Стаття	Дж
1. Спалювання частини вуглецю в зоні окислення	14499131,27	1. Нагрівання вугілля, що надходить в зону конверсії від 20^0С до 1500^0С	1687200,00
		2. Нагрівання води в зоні конверсії від 20^0С до 100^0С	70691,38
		3. Випаровування води, Q_3	516572,77
		4. Перегрів пара від 100^0С до 1500^0С	552176,63
		5. Перегрів золи, що надходить із зони конверсії в зону окислення від 1500^0С до 1800^0С	129864,00
		6. Перегрів частини вуглецю, що надходить із зони конверсії в зону окислення від 1500^0С до 1800^0С	94288,02
		7. Нагрівання повітря від 20^0С до 1800^0С	9575447,22
		8. Витрати тепла на перебіг реакцій конверсії	1872891,26
всього	14499131,27	всього	14499131,27
Варіант 2			
прихід		витрата	
Стаття	Дж	Стаття	Дж
1. Спалювання частини вуглецю в зоні окислення	13366049,99	1. Нагрівання вугілля, що надходить в зону конверсії від 20^0С до 1500^0С	1687200,00
		2. Перегрів пара від 100^0С до 1500^0С	701756,97
		3. Перегрів золи, що надходить із зони конверсії в зону окислення від 1500^0С до 1800^0С	129864,00
		4. Перегрів частини вуглецю, що надходить із зони конверсії в зону окислення від 1500^0С до 1800^0С	327502,36
		5. Нагрівання повітря від 400^0С до 1800^0С	8269417,63
		6. Витрати тепла на перебіг реакцій конверсії	2250309,03
всього	13366049,99	всього	13366049,99
варіант 3			
прихід		витрата	
Стаття	Дж	Стаття	Дж
1. Спалювання частини вуглецю в зоні окислення	11096537,92	1. Нагрівання вугілля, що надходить в зону конверсії від 20^0С до 1500^0С	1687200,00
		2. Перегрів пара від 100^0С до 1500^0С	979806,11
		3. Перегрів золи, що надходить із зони конверсії в зону окислення від 1500^0С до 1800^0С	129864,00
		4. Перегрів частини вуглецю, що надходить із зони конверсії в зону окислення від 1500^0С до 1800^0С	271893,52
		5. Нагрівання повітря від 800^0С до 1800^0С	5021514,04
		6. Витрати тепла на перебіг реакцій конверсії	3006260,25
всього	11096537,92	всього	11096537,92

* - втрати тепла на рівні 5% від приходу.

ЗУБІЦОВ

Утилізація теплової енергії всіх відходять потоків при 1-му варіанті організації процесу (початкові потоки сировини подаються без нагріву при 20°С) дозволить згенерувати 258 моль водяної пари 5 атм з 1 кг переробленого антрациту типу АШ. При 2-му варіанті процесу (вихідний потік повітря в зону окислення і водяної пари в зону конверсії підігрівається до 400°С) утилізація тепла відхідних потоків дозволить згенерувати 208 моль і при 3-му варіанті схеми (вихідний потік повітря в зону окислення підігрівається до 800°С і водяної пари в зону конверсії до 400°С) дозволить згенерувати 129 моль водяної пари 5 атм з 1 кг переробленого антрациту типу АШ. Необхідно відзначити, що в 2-му і 3-му варіанті організації процесу конверсії вугілля в розплаві для підігріву вихідних потоків використовується тепло відхідних (димових газів, синтез-газу і шлаку). При цьому розрахунки показують, що при нагріванні потоку водяної пари в зону конверсії до 400°С і повітря в зону окислення до 800°С дозволяють додатково генерувати 129 моль технологічного водяної пари 5 атм з 1 кг переробленого антрациту типу АШ, без урахування енергії спалювання синтез-газу, який направляється на заміну природного газу.

ЗУБЦОВ

6 Охорона праці

Серед величезної кількості речовин, що забруднюють атмосферу в результаті людської діяльності, особливе місто займають різного типу продукти згоряння. Практично жоден технологічний процес не обходиться без споживання атмосферного кисню, що виконує в основному функцію окиснювача.

Основні джерела забруднення повітря міст – теплоелектростанції (ТЕС) і автомобільний транспорт. Наприклад, на частку автотранспорту припадає близько 40% загального забруднення атмосфери. Приблизно стільки ж припадає на частку ТЕС. Тільки за одну годину роботи ТЕС середньої потужності спалює більше 80 т вугілля і викидає в атмосферу приблизно 5 т сірчистого газу і 16-17 т золи. ТЕС, що працюють на нафті, практично не викидають золи, але вміст сірки в їх викидах досить помітний. Найбільш екологічно чистим видом енергетичного палива є сьогодні природний газ. При його спалюванні істотно забруднюють атмосферу оксиди нітрогену, але їх викид в середньому виявляється на 20% менше, ніж при спалюванні вугілля.

Проведена в США оцінка викидів сірчистого газу і оксидів нітрогену показала, що внесок ТЕС в викиди SO_2 складає 65%, а транспортних засобів – тільки 3%. Проте по викиду оксидів нітрогену транспорт посідає перше місце (41%), а електростанції - друге (29%).

Щорічно в результаті діяльності людини в атмосферу потрапляє 60-70 млн т сірки у вигляді двоокису сірки (SO_2). Це приблизно в два рази вище за природні викиди.

Вміст вуглекислого газу в атмосфері зростає зі швидкістю 3% в десятиліття. Спалювання викопного палива поставляє в атмосферу щорічно 5 млн т вуглецю.

ЗУБЦОВ

Загальна кількість нітрогену, щорічно надходить в атмосферу (перш за все у вигляді оксидів нітрогену), - близько 60 млн т, з них 12 млн т має своїм джерелом спалювання викопного палива.

Обумовлені присутністю в атмосфері оксидів сірки, вуглецю та нітрогену, кислотні опади у вигляді кислотних дощів стали відомі давно. У 1911 році вперше повідомлялося про випаданні дощів з явно кислої реакцією в районі м. Лідса (Англія). До середини 1950-х років в північно-східній частині США чітко визначився епіцентр явного закислення опадів. В даний час зона закислення опадів просунулася далеко на захід і практично половина території США піддається дії кислотних дощів. Дослідження показали, що розширення зони закислення опадів сприяло як загальний розвиток промисловості, так і будівництво високих димових труб. Аналогічна ситуація складається і в Європі. Як показали спостереження, виконані в рамках Європейської програми моніторингу, західні райони європейської території: Україна, Білорусія і країни Прибалтики – відчувають на собі кислотний пресинг, також як і країни Центральної та Західної Європи.

Охорона праці – це система законодавчих актів і відповідних їм соціально-економічних, технічних, гігієнічних і організаційних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Основними складовими частинами охорони праці є трудове законодавство, техніка безпеки, виробнича санітарія і протипожежна техніка. Трудове законодавство регламентує питання трудового права; техніка безпеки і виробнича санітарія направлені на забезпечення здорових і безпечних умов праці; протипожежна техніка є системою заходів щодо попередження пожеж і боротьби з ними.

Численні і різноманітні технологічні процеси промисловості засновані на використанні високих температур, високого і надвисокого тиску, вибухо- і пожежонебезпечних і токсичних речовин в різноманітних агрегатних станах. Для забезпечення сприятливих і безпечних умов праці працюючих необхідне

ЗУБЦОВ

застосування принципово різних технічних прийомів і способів захисту, створення нової техніки і технології, що забезпечують оптимальні умови праці.

6.1 Характеристика токсичності, пожежно- та вибухонебезпечності речовин, які використовуються та отримують при виробництві

Таблиця 6.1 – Характеристика токсичності [22]

Речовина	Клас небезпеки	Характер дій на організм людини	ГДК робочої зони мг/м^3	Засоби індивідуального захисту
Оксид нітрогену	3	Визиває гостре подразнення слизової оболонки, сльозоточіння, опікає шкіру.	20	Шлангові протигази ПШ – 1, ПШ – 2
Діоксид нітрогену	3	Визиває гостре подразнення слизової оболонки, сльозоточіння, опікає шкіру.	20	Шлангові протигази ПШ – 1, ПШ – 2
Оксид карбону	4	Наявне головокружіння, шум у вухах, печіння шкіри обличчя, пришвидшення пульсу, рвота, судороги, втрата свідомості. Страждає ЦНС, органи почуттів, особливо зір, серцево-судинна система, органи дихання.	20	Фільтруючий протигаз марки М для СО.
Оксид сульфуру	3	Різкий біль в очах, сльозоточіння. Почервоніння шкіри. Сильний дратівливий кашель. Задишка, втрата свідомості.	10	Шлангові протигази ПШ – 1, ПШ – 2.

Показники пожежно- та вибухонебезпечності представлені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Показники пожежної небезпеки та вибухонебезпечності. [24]

Речовина	Температура запалення, ^{0}С	Температура самозапалення, ^{0}С	Концентраційні межі вибухонебезпечності, % об.	
			нижній	верхній
Окисли нітрогену	73	537	5 (95 г/м^3)	15 (500 г/м^3)
Оксид карбону	280-320	610	12,5	74,2
Діоксид карбону	–	510	4 (3,4 г/м^3)	75 (66,4 г/м^3)

ЗУБІОВ

6.2 Небезпечні виробничі фактори

До небезпечних та шкідливих відносять наступні фактори:

1) Токсичні речовини (промислові отрути). Проникають до організму, вступають у хімічну та фізичну взаємодію, визивають порушення нормальної життєдіяльності (гострі чи хронічні отруєння).

На даному виробництві до таких речовин можна віднести усі вище наведені сполуки.

2) Виробничий пил – це тонко дисперсні частки, які утворюються при різних виробничих процесах. Основними джерелами утворення промислового пилу є наступні процеси: механічне подрібнення твердих тіл; обробка поверхні матеріалу; транспортування, змішування, упаковка подрібнених матеріалів.

Дія пилу залежить від її вмісту, дисперсності (особливо небезпечні часточки розміром 0,25 – 10 мкм), твердості, форми та електричного заряду. Виділення пилу може визвати різні захворювання (наприклад, силікоз, бронхіт і т.п.).

3) Теплові та хімічні опіки.

Причиною теплового опіку може стати полум’я, гарячі рідини, пар, нагріті предмети.

Причиною хімічного опіку може стати в основному дія кислот та лугів, хлорного вапна, бензину, керосину і т.п.

У досліджуваному процесі теплові опіки може визвати: використання температур до 1800ºС, гаряча суміш продуктів з котла до охолодження її до температури 25-30ºС .

4) Виробничий шум та вібрація.

Шум виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких та газоподібних середовищах. При довготривалій дії шуму не тільки знижується гострота слуху, але й змінюється кров’яний тиск, знижується увага, погіршується зір, виникають зміни у рухових центрах і т.п.

ЗУБЦОВ

Коливання частин апаратів, машин, комунікацій та споруд, що викликані неврівноваженістю деталей, які обертаються, пульсацією тиску при транспортуванні рідин та газів та іншими причинами, прийнято називати вібрацією. Під її дією виникають зміни у периферичній та центральній нервовій системах, серцево-судинній системі, опорно-руховому апараті. [41]

5) Електричний струм.

При неполадках та порушенні правил експлуатації електричних засобів можливе ураження електричним струмом. Дія струму на організм людини може бути місцевим (опіки, електричні ознаки електрометалізації шкіри) та загальним (електричний удар) [23].

6.3 Класифікація та категорійність виробництва та його приміщень, які проектуються чи досліджуються

Хімічна лабораторія за ступінню ураження людей електричним струмом відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тобто відноситься до сухих, без пилу приміщень з нормальною температурою повітря, ізолюючою підлогою, приміщеннями, що не мають чи мають незначну кількість заземлених предметів.

За класифікацією вибухонебезпечних зон лабораторії відносяться до категорії В – 1б. Це зона, у якій горючі гази та ЛЗР маються у невеликих кількостях, яких недостатньо для створення вибухонебезпечної суміші в зоні, що перевищує 5 % вільного об’єму приміщення, і в якій робота з горючими газами та ЛЗР проводиться без використання відкритого полум’я, у витяжних шафах або під витяжними парасолями.

Лабораторія за вибуховою, пожежно-вибуховій та пожежній небезпеці відноситься до категорії В. Характеристика речовин та матеріалів, які присутні у лабораторії – рідини з температурою загоряння вище 61 ^{0}C; горючий пил та

ЗУБЦОВ

волокна з нижньою межею вибухонебезпечності більше 65 г/м^3; речовини, які здатні при взаємодії з водою чи одне з одним тільки горіти.

За санітарною характеристикою хімічна лабораторія відноситься до V класу з шириною санітарної зони 50 м. [24].

6.4 Заходи з попередження шкідливих та небезпечних виробничих факторів

6.4.1 Вентиляція та опалення

Вентиляцією називається комплекс взаємопов'язаних приладів та процесів, що призначенні для створення організованого повітряного обміну, яке полягає у видаленні з виробничого приміщення забрудненого або перегрітого (охолодженого) повітря з поданням замість нього чистого або охолодженого (нагрітого) повітря, що дозволяє створити в робочій зоні нормальні умови повітряного середовища.

Вентиляційні системи можуть бути загально обмінними, місцевими та комбінованими. В залежності від способу переміщення повітря у робочих приміщеннях вентиляція ділиться на звичайну та штучну (механічну). Крім того, вентиляційні установки можуть бути приточними або витяжними.

У виробничих приміщеннях, у яких постійно або довготривалий час знаходиться обслуговуючий персонал, передбачують систему опалення.

Системи, у яких тепло утворюється та використовується в одному приміщенні, називаються системами місцевого опалення; системи, у яких від одного генератору опалюється декілька приміщень, називають центральними опалювальними системами.

У хімічній промисловості місцеве опалення виробничих приміщень зазвичай не використовують.

Центральне опалення може бути паровим, водяним, повітряним, панельним.

ЗУБЦОВ

Система опалення складається з трьох елементів: генератора для отримання тепла, теплопроводів та нагрівальних приладів для передачі тепла у приміщення.

У хімічних лабораторіях передбачена приточно-витяжна вентиляція з механічним примусом. Кратність обміну повітря повинна бути не менш 5 год$^{-1}$.

Кількість повітря, яке необхідно подати у лабораторне приміщення:

$W = K \cdot V$, м^3/год (6.1)

де К – кратність обміну повітря (приймаємо К = 5), год$^{-1}$;

V – об'єм робочого приміщення:

$V = a \cdot b \cdot c$, м^3 (6.2)

де а – довжина робочого приміщення, а = 6,8 м;

b – ширина робочого приміщення, b = 6 м;

с - висота робочого приміщення, с = 3,23 м.

$V = 6{,}8 \cdot 6 \cdot 3{,}23 = 132$ м^3

$W = 5 \cdot 132 = 660$ м^3/ч

Приймаємо кількість витяжних шаф у лабораторії рівним 1.

Кількість повітря, яке видаляється з кожної витяжної шафи:

$W_ш = F \cdot V_ш \cdot 3600$, м^3/год (6.3)

де F – робочий отвір, для витяжної шафи довжиною 1,86 м:

$F = 1{,}86 \cdot 0{,}4 = 0{,}744$ м^2;

$V_ш$ – швидкість руху повітря, який подається у отвір шафи, м/с.

Приймаємо $V_ш$ = 0,4 м/с (для речовин 3-го класу небезпеки – вуглець).

$W_ш = 0{,}744 \cdot 0{,}4 \cdot 3600 = 1072$ м^3/год

Потужність вентилятора для витяжної шафи:

$L = W_ш \cdot k$, м^3/год, (6.4)

де k – коефіцієнт підсосу повітря через щілини, k = 1,15.

$L = 1072 \cdot 1{,}15 = 1233$ м^3/год

Обираємо вентилятор осьовий типу В – 06 – 300:

ЗУБЦОВ

– продуктивність 2500 м^3/год,

– номер вентилятора 4,

– тиск 7 мм. вод. ст.,

– електродвигун типу 4АА56А4 потужність 0,12 кВт з частотою обертань 1375 об/хвил.

Площа поверхні приладів опалення:

$$H = \frac{Q}{506}, \text{ екм} \qquad (6.5)$$

Розрахункова кількість теплоти на опалення хімічних лабораторій:

$$Q = q \cdot F \cdot (1 + K), \text{ Вт} \qquad (6.6)$$

де q – збільшений показник максимальної витрати теплоти на опалення 1 м^2 площі приміщення, q = 152 Вт/м^2;

F – площа приміщення, м^2;

К – коефіцієнт, що враховує витрати тепла на опалення, К = 0,34.

$$Q = 152 \cdot 6{,}8 \cdot 6 \cdot (1 + 0{,}34) = 8310 \text{ Вт}$$

$$H = \frac{8310}{506} = 16{,}4 \text{ екм або } 13{,}4 \text{ м}^2$$

Приймаємо радіатор марки М – 104А:

– площа поверхня нагріву одної секції 0,254 м^2 або 0,31 екм,

Кількість радіаторів (кількість секцій) складатиме:

$$\frac{16{,}4}{0{,}31} = 53 \text{ шт.}$$

6.5 Умови безпеки перед початком роботи в лабораторії

1) Одягнути спецодяг.

2) Перевірити працездатність обладнання та посуду, правильність її зборки та установки.

3) Перевірити працездатність витяжних шаф, наявність води у системі, наявність видимого захисного заземлення.

ЗУБЦОВ

4) Впевнитися у тому, що газові лінії працюють та приладів, відсутності запаху газу у приміщенні.

5) Перевірити наявність необхідного посуду та реактивів.

6) Включити витяжну вентиляцію.

7) Перед виконанням незнайомих операцій необхідно отримати детальний інструктаж у керівника.

6.5.1 Умови безпеки під час виконання робіт у лабораторних приміщеннях

1) Всі роботи у хімічних лабораторіях необхідно проводити не менш як двома співпрацівниками, щоб у разі необхідності дати допомогу.

2) Всі роботи повинні проводитися при достатньому освітленні.

3) Всі роботи з шкідливими, токсичними та отруйними речовинами слід проводити у витяжній шафі при опущених рамах.

4) Газопроводи, підведені до робочих місць та витяжних шаф повинні мати крани, які дозволяють відключати окремі горілки.

5) Забороняється залишати без уваги палаючі горілки.

6) При наявності запаху газу у приміщенні не запалювати вогонь та не включати електроприладів до повного провітрювання приміщення та видалення місць пропускання газу.

7) У разі несподіванного відключення вентиляції роботу у витяжній шафі необхідно припинити, приміщення провітрити, сообщить об этом руководителю и не приступать к работе до пуска вентиляции [26].

6.5.2 Засоби боротьби з пилом

Основним напрямком боротьби з пилом є попередження її появи та потрапляння до повітря виробничого приміщення. Для цього рекомендується використовувати притічно-витяжну вентиляцію та індивідуальні засоби захисту (протигази, респіратори, спецодяг).

ЗУБЦОВ

6.5.3 Освітлення приміщень

Приміщення для контрольно-вимірювальних приладів, лабораторій та ін.

відносяться до III (точні роботи) і II (роботи з високою точністю) розрядам. Для їх освітлення використовують природне світло та світло від джерел штучного освітлення.

Природне освітлення, яке здійснюється через світлові пройми у стінах будівель (бічне освітлення) або у світлових ліхтарях (верхнє освітлення), приблизно розраховується, виходячи з співвідношення площі світлових пройм до площі підлоги (світловий коефіцієнт). Для будівель хімічних виробництв світловий коефіцієнт дорівнюватиме $\frac{1}{5} \div \frac{1}{6}$.

$$S_{ок} = (\frac{1}{5} \div \frac{1}{6}) \cdot S_п \text{, м}^2 \qquad (6.7)$$

де $S_{ок}$ – площа віконних пройм, м^2;

$S_п$ – площа підлоги, м^2:

$$S_п = 6{,}8 \cdot 6 = 40{,}8 \text{ м}^2$$

$$S_{ок} = \frac{1}{5} \cdot 40{,}8 = 8 \text{ м}^2$$

Площа одного вікна:

$$S_1 = 2{,}1 \cdot 2{,}5 = 5{,}25 \text{ м}^2$$

Тоді кількість вікон:

$$n_{ок} = \frac{8}{5{,}25} = 2 \text{ шт.}$$

Кількість світильників, необхідна для освітлення приміщення визначається методом світлового потоку за формулою:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot K}{F \cdot U \cdot Z} \qquad (6.8)$$

де E – мінімально допустиме освітлення робочих поверхонь.

Для робіт II розряду приймаємо E = 150 лк (лампи накалювання);

S – площа, яка освітлюється, м^2:

ЗУБЦОВ

$S = 6 \cdot 6{,}8 = 41$ м^2;

F – світловий потік лампи, лм. Для лампи потужністю 200 Вт

F = 2510 мм;

K – коефіцієнт запасу. Приймаємо K = 1,3;

Z – поплавковий коефіцієнт. Для типу світильника "Люцета"

Z = 0,83;

U – коефіцієнт використання освітлюваної установки, який залежить від конструкції (типу) світильника, коефіцієнта віддзеркалювання стелі та стін, а також показника i, значення якого визначається за формулою:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}, \qquad (6.9)$$

де a і b – довжина та ширина приміщення, м;

h – висота підвішування світильника від рівня робочого місця:

$$h = H - h' - h'', \qquad (6.10)$$

де H – висота приміщення, м;

h' – рівень робочого місця, h' = 0,8 м;

h'' – рівень підвішування світильника, h'' = 1,2 м.

$h = 3{,}23 - 0{,}8 - 1{,}2 = 1{,}23$ м

$$i = \frac{6 \cdot 6{,}8}{(6 + 6{,}8) \cdot 1{,}23} = 3.$$

Тоді, U = 0,6.

$$n = \frac{150 \cdot 41 \cdot 1{,}3}{2510 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}83} = 6 \text{ шт.}$$

Потужність електроосвітлювальної установки з урахуванням місцевого освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{n \cdot W + (0{,}1 \div 0{,}2) \cdot n \cdot W}{1000}, \text{ кВт} \qquad (6.11)$$

де n – розрахункова кількість ламп для освітлення даного приміщення;

W – потужність одної лампи, Вт;

(0,1÷0,2) W – додаткова потужність для ламп місцевого освітлення, Вт.

ЗУБЦОВ

$$N = \frac{6 \cdot 200 + 0{,}15 \cdot 6 \cdot 200}{1000} = 1{,}38$$ кВт.

Приймаємо відстань між рядами світильників $1{,}7 \cdot h'' = 1{,}7 \cdot 1{,}2 = 2$ м. Тоді світильники можна розмістити у два ряди по три світильника у кожному.

6.5.4 Засоби боротьби з шумом та вібрацією

Розробляють організаційні та технічні засоби, які дозволяють значно знизити рівень шуму та вібрації на робочих місцях. Насамперед, слід видалити чи зменшити вібрацію та шум у джерелах їхнього утворення. В даній роботі для цих цілей можна використовувати наступне: жорстке кріплення вібруючих деталей та вузлів, амортизація та віброізоляція за допомогою сталевих пружин та пружних матеріалів, балансування деталей, які рухаються, зміна кількості обертів джерела вібрації і т.п. Необхідно передбачати засоби індивідуального захисту від шуму та вібрації: заглушки, протишумові навушники, віброізолююче взуття та рукавиці [26].

6.5.5 Засоби захисту від статичного електризування

Засоби захисту від статичного електризування направлені на попередження виникнення та накопичення зарядів, створення умов розсіювання зарядів та видалення небезпеки шкідливої дії статичної електрики. До основних засобів захисту в даних умовах роботи можна віднести: заземлення устаткування та комунікацій, виконаних з електропровідних матеріалів, зменшення електричного опору перетворюваних речовин, зниження інтенсивності виникнення зарядів статичної електрики, нейтралізація та відвід зарядів, які накопичуються на людях на людях [23] .

6.5.6 Заходи з електробезпеки

До таких засобів відносяться: забезпечення недосяжності струмоведучих частин; електричне розподілення мережі; видалення небезпеки ураження при

ЗУБЦОВ

появі напруги на корпусах, кожухах та часинах електроустаткування, яке досягається використанням малих напруг, подвійною ізоляцією, захисним заземленням, захисним відключенням і т.п.; використання спеціальних захисних засобів – переносних приладів та засобів; організація безпечної експлуатації електроустановок і т.п.

Для видалення переходу напруги на корпус та на струмоведучі частини електричного та технологічного устаткування при замиканні на них одної з фаз використовують захисне заземлення чи обнуління.

Розрахунок заземлюючого контуру проводиться, виходячи з умови, що загальний опір заземлюючого контуру $R_{ЗЗУ}$ повинне бути меншим від 4 Ом.

Загальний опір захисного заземлюючого пристрою визначається за формулою:

$$R_{ЗЗУ} = \frac{R_З \cdot R_n}{R_n \cdot n \cdot \eta_З + R_З \cdot \eta_n}, \text{ Ом} \qquad (6.12)$$

де $R_З$ – опір заземлювача, яким можуть бути стержні, труби, вуголки та ін., Ом;

R_n – опір лінії, яка з'єднує заземлювачі, Ом;

n – кількість заземлювачів;

$\eta_З$ – коефіцієнт екранування заземлювачів, приймається, приймається в інтервалі 0,2 – 0,9. Приймемо $\eta_З = 0,6$;

η_n – коефіцієнт екранування з'єднувальної полоси, приймається в інтервалі 0,1 – 0,7. Приймаємо $\eta_n = 0,4$.

Опір заземлювача визначається за формулою:

$$R_З = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right), \text{ Ом} \qquad (6.13)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м. Для піску ρ = 600 Ом·м.

l – довжина заземлювача, для стержнів l = 10 м;

d – діаметр заземлювача, для стержнів d = 0,02 м;

t – відстань від середини забитого у грунт заземлювача до рівня землі, м:

ЗУБЦОВ

$$t = \frac{10}{2} + 0{,}5 = 5{,}5$$ м.

$$R_з = \frac{600}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 10}{0{,}02} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 5{,}5 + 10}{4 \cdot 5{,}5 - 10} \right) = 70{,}7$$ Ом.

Опір полоси, яка з'єднує заземлювачі, визначається за формулою:

$$R_п = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t^1}$$, Ом, (6.14)

де L – довжина полоси, яка з'єднує заземлювачі, м. Приблизно дорівнює периметру будівлі: $L = 2 \cdot 87 + 2 \cdot 16 = 206$ м;

b – ширина полоси, м. При прокладці зовні будівлі

b = 0,05 м;

t^1 – глибина заземлювання від рівня землі, приймається 0,5 м.

$$R_п = \frac{600}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 206} \cdot \ln \frac{2 \cdot 206^2}{0{,}05 \cdot 0{,}5} = 6{,}97$$ Ом.

Кількість заземлювачі захисного заземлюючого пристрою визначається за формулою:

$$n = \frac{2 \cdot R_з}{4 \cdot \eta_з}$$, (6.15)

де 4 – допустимий загальний опір, Ом;

2 – коефіцієнт сезонності.

$$n = \frac{2 \cdot 70{,}7}{4 \cdot 0{,}6} = 59$$

$$R_{ззу} = \frac{70{,}7 \cdot 6{,}97}{6{,}97 \cdot 59 \cdot 0{,}6 + 70{,}7 \cdot 0{,}4} = 1{,}8$$ Ом.

Загальний опір заземлюючого контуру задовольняє умові $R_{ззу}$ = 1,8 Ом < 4 Ом, значить, він може бути використаний у даних умовах [23]

6.6 Пожежна безпека

Пожежна безпека вирішує коло задач – попередження пожежі, обмеження його розповсюдження, створення умов для успішного тушіння, забезпечення

ЗУБЦОВ

безпеки людей та збереження матеріальних цінностей. Робота в хімічних лабораторіях пов’язана з підвищеною пожежною небезпекою внаслідок необхідності використання легкозаймистих та горючих рідин, лужних металів, сильних окислювачів, концентрованих кислот та інших хімічних реактивів.

Всі роботи, пов’язані з можливістю виділення пожежно небезпечних парів та газів, повинні проводитися у витяжних шафах, обладнаних працюючою притічно-витяжною вентиляцією.

Приміщення хімічних лабораторій повинні бути забезпечені первинними засобами тушіння пожежі – вогнегасниками, піском, азбестовим полотнищем.

Умови безпеки при роботі з природним газом:

1.Всі газові відключаючи пристрої повинні мати вільний доступ та надписи "Газ", "Повітря".

2. Необхідно слідкувати за тим, щоб газопроводи, які не використовуються були відключені та перекриті.

3. Забороняється експлуатація газових приладів при відсутності вентиляції або несправності самих приладів.

4. При припиненні подачі газу або зриву полум’я необхідно у той же час перекрити відмикаючий пристрій.

5. Забороняється використання полум’я для пошуку протікання газу. Для цих цілей необхідно використовувати мильну піну.

Пожежна безпека при роботі з ЛЗР та ГР. В лабораторних приміщеннях ЛЗР та ГР необхідно зберігати у товстостінному скляному посуді з гарно закритими пробками.

Забороняється зберігати паливо у витяжній шафі, у якому проводяться роботи з горілками та іншими нагрівальними приладами, або поряд з окислювачами. Всі роботи з ЛЗР чи ГР необхідно проводити у витяжній шафі при працюючій вентиляції.

На ємкостях з реактивами повинні бути чіткі надписи з вказівкою назви речовини та його хімічної формули.

ЗУБЦОВ

Якщо під час проведення дослідницьких робот в хімічних лабораторіях проливається ЛЗР , необхідно у той же час вимкнути всі джерела відкритого полум'я, електронагрівальні прилади.

Після проведення робіт з використанням ЛЗР та ГР ємкості, у яких проводили ці роботи, слід у той же час вимити. Забороняється виливати ЛЗР та ГР у каналізацію.

6.7 Індивідуальні та колективні засоби захисту

Індивідуальні засоби захисту:

1. Як індивідуальні засоби захисту органів дихання і зору від дії шкідливих газів, пари, рідин присутніх в повітрі застосовується протигаз марки «М».

2. Для захисту від механічних травм голови застосовуються захисні каски типу «Праця» з підшоломником.

3. Для оберігання очей від пошкодження хімічними, термічними, механічними діями використовуються захисні окуляри.

4. Для захисту органів дихання від пилу використовуються респіратори.

5. Для захисту органів слуху від підвищеного рівня шуму використовуються протигаласливі навушники або «Бервуші».

Засоби колективного захисту:

1. Теплоізоляції апаратів та трубопроводів.

2. Система опалення.

3. Штучне освітлення.

4. Захисне заземлення та занулення від поразки електричним струменем.

5. Стаціонарні або пересувні майданчики для обслуговування арматури, що знаходиться на висоті більше 1,3м від підлоги.

6. Загально обмінні приточно-витяжні системи, вентиляції виробничих приміщень.

ЗУБЦОВ

7 Еколого-економічні розрахунки

На кафедрі хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля розробляється технологія синтез-газу з вугілля та окиснення киснем повітря в розплаві теплоносія під керівництвом заслуженого діяча науки і техніки України д.т.н., проф. Глікіна Марата Ароновича. Дана технологія полягає в наступному. Окиснення вугілля та вуглецьвміщуючих речовин в розплаві високотемпературного теплоносія дозволить значно скоротити викиди твердих частинок (будуть залишатися в розплаві) та забезпечити максимальну глибину переробки вуглецю.

Можливість повного корисного використання всієї органічної маси вугілля або вуглецевих залишків дозволить досягти максимального ступеня коефіцієнта корисної дії як термічного так і в цілому. При цьому отриманий синтез-газ можливо спалювати в котлах теплових електростанцій не завдаючи значної шкоди оточуючому середовищу (відсутній винос твердих часток, газове паливо можливо спалювати за більш спрощенною технологією ніж тверде). Димові гази зі стадій окиснення та доокиснення несуть із собою високопотенційну теплову енергію, яку можливо утилізовувати за технологічними стадіями наявними на сучасних теплових електростанціях. Можлива організація процесу без залучення стадії газифікації, тобто спалювання вугілля в розплаві. При цьому в обох випадках відсутній винос з реакційного вузла твердих часток, що безумовно покращує екологічну сторону виробництва теплової енергії з викопної сировини, наявної в Україні в значній кількості.

ЗУБЦОВ

7.1 Узагальнена оцінка відверненого еколого-економічного збитку від зменшення промислових викидів в навколишнє середовище

Вихідні дані:

1. Район розташування підприємства – південніше 50° п.ш.
2. Площа підприємства – $46,1 \cdot 10^6$ м^2.
3. Кількість опадів у рік – менше 400 мм.
4. Середньорічний модуль швидкості вітру – 2,4 м/сек.
5. Середньорічна температура повітря +10 °С
6. Роза вітрів – відносно близька до кругової.
7. Середньорічні дані по напрямку вітру:

- 10% південно східне – убік населеного пункту,
- 30% південне – убік зрошувальних орних земель,
- 40% південно-західне – убік дачних ділянок,
- 20% північно-західне – убік лісів 2-ої категорії.

8. Підприємство розташоване в межах міста.
9. Щільність населення – 20 осіб/га.
10. Кількість джерел викидів – 1.
11. Висота джерела викиду – 170 м.
12. Середньорічна температура в усті приведеного джерела викидів – 79,1 °С, отже $\Delta T = 79,1 - 10 = 69,1$ °С

Приймаємо, що валовий викид пилу складає 3366 т. Ступінь очистки від пилу, при використанні запропонованих методів, складає 90%.Перелік речовин, що викидаються виробництвом до і після впровадження заходів представлено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 - Склад газових викидів до і після впровадження заходів

Склад газових викидів	діючого виробництва		після впровадження заходів	
	т	% мас.	т	% мас.
Пил	3366	100,0	336,6	100,0
Усього	3366	100	336,6	100

ЗУБЦОВ

7.1.1 Визначення еколого-економічного збитку до виконання природоохоронного заходу

Відвернений еколого-економічний збиток визначається за формулою:

$$Y_a = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot \Delta M, \quad (7.1)$$

де Y_a – відвернений економічний збиток від промислових викидів в атмосферу;

γ – константа, що показує розмір шкоди, яка завдається при надходженні в природне середовище 1 т умовної забруднюючої речовини, грн./ум.т; γ = 2,4 грн./ум.т;

σ – безрозмірна величина, показник відносної небезпеки забруднення атмосфери промисловими викидами в межах окремих територій, що називають зонами активного забруднення (ЗАЗ);

f – коефіцієнт розсіювання домішок в атмосфері, який залежить від фракційного складу;

ΔM – зниження приведеної маси домішок, що викидаються джерелом в атмосферне повітря.

Зона активного забруднення ЗАЗ неоднорідна (населений пункт, зрошувальні орні землі, дачні ділянки, ліси ІІ-ї групи), тому необхідно розрахувати показник σ для кожної частини ЗАЗ.

Визначимо загальну площу ЗАЗ:

$$S_{ЗАЗ} = \pi \cdot \left(r_{ЗАЗ}^{зовн}\right)^2 - \pi \cdot \left(r_{ЗАЗ}^{внутр}\right)^2, \quad (7.2)$$

Радіуси зовнішньої і внутрішньої межі ЗАЗ:

$$r_{ЗАЗ}^{зовн} = 20\varphi h, \quad (7.3)$$

$$r_{ЗАЗ}^{внутр} = 2\varphi h, \quad (7.4)$$

Розрахуємо φ за формулою:

$$\varphi = 1 + \frac{\Delta T}{75^o C} = 1 + \frac{69,1}{75} = 1,92$$

$$r_{ЗАЗ}^{зовн} = 20 \cdot 1,92 \cdot 170 = 6528_м$$

ЗУБЛІОВ

$r_{ЗАЗ}^{внутр} = 2 \cdot 1{,}92 \cdot 170 = 652{,}8$

$S_{ЗАЗ} = \pi \cdot (6528)^2 - \pi \cdot (652{,}8)^2 = \pi \cdot (42614784 - 426147{,}84) = 132{,}47 \cdot 10^6\ м^2$

$S_п = 46{,}1 \cdot 10^6$ м^2.

На підставі середньорічних даних по напрямку вітру знаходимо площі забруднення населеного пункту, лісів II-ої категорії, зрошувальних орних земель та дачних ділянок:

$S_{н.п.} = (132{,}47 - 46{,}1) \cdot 10^6 \cdot 0{,}1 = 8{,}637 \cdot 10^6$;

$S_л = (132{,}47 - 46{,}1) \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 = 17{,}274 \cdot 10^6$;

$S_{о.з.} = (132{,}47 - 46{,}1) \cdot 10^6 \cdot 0{,}3 = 25{,}911 \cdot 10^6$;

$S_д = (132{,}47 - 46{,}1) \cdot 10^6 \cdot 0{,}4 = 34{,}548 \cdot 10^6$.

Визначаємо значення відносного показника небезпеки за формулою:

$$\sigma_{ЗАЗ} = \frac{S_п}{S_{ЗАЗ}} \cdot \sigma_п + \frac{S_{н.п}}{S_{ЗАЗ}} \cdot \sigma_{н.п} + \frac{S_{з.з}}{S_{ЗАЗ}} \cdot \sigma_{з.з} + \frac{S_{д.д}}{S_{ЗАЗ}} \cdot \sigma_{д.д} + \frac{S_л}{S_{ЗАЗ}} \cdot \sigma_л \qquad (7.5)$$

$$\sigma_{ЗАЗ} = \frac{46{,}1 \cdot 10^6}{132{,}47 \cdot 10^6} \cdot 4 + \frac{8{,}637 \cdot 10^6}{132{,}47 \cdot 10^6} \cdot 0{,}1 \cdot 20 + \frac{25{,}911 \cdot 10^6}{132{,}47 \cdot 10^6} \cdot 0{,}25 + \frac{34{,}548 \cdot 10^6}{132{,}47 \cdot 10^6} \cdot 8 +$$

$$+ \frac{17{,}274 \cdot 10^6}{132{,}47 \cdot 10^6} \cdot 0{,}1 = 0{,}348 + 0{,}0652 + 0{,}1956 + 0{,}2608 + 0{,}1304 = 1$$

Безрозмірний коефіцієнт f, що враховує характер розсіювання домішок в атмосфері знаходимо по формулі, приймаючи до уваги, що шкідливі викиди, що розглядаються, складаються в основному з газоподібних і дрібнодисперсних домішок з дуже малою швидкістю осідання (менш 1 м/сек.):

$$f = \frac{100\,(м)}{100\,(м) + yh} \cdot \frac{4(м/с)}{1(м/сек) + U}, \qquad (7.6)$$

$$f = \frac{100}{100 + 1{,}92 \cdot 170} \cdot \frac{4}{1 + 2{,}4} = 0{,}2345 \cdot 1{,}1765 = 0{,}28$$

Зниження приведеної маси річного викиду забруднень від джерела знаходимо за формулою:

$$\Delta M = M_1 - M_2, \qquad (7.7)$$

Значення M_1 і M_2 визначають за формулами:

ЗУБЛІОВ

$$M_1 = \sum_{i=1}^{n} Ai \cdot \mathrm{m}_i^1 , \qquad (7.8)$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^{n} Ai \cdot m_i^2 , \qquad (7.9)$$

де i – вид домішки, що викидається, (=1,2...n)

n – число домішок, що викидаються джерелом забруднення.

Ai – показник відносної агресивності домішки кожного виду, ум.т/рік

m_i^1 і m_i^2 – маса домішки кожного виду, що викидається продуктом забруднення в атмосферне повітря, відповідно до і після запровадження в дію природоохоронного об'єкта (установки), т/рік.

Показник відносної агресивності визначаємо за формулою:

$$A_i = a_i \cdot \alpha_i \cdot \delta_i \cdot \lambda_i \cdot \beta_i , \qquad (7.10)$$

$$\mathrm{a}_i = \sqrt{\frac{60 мг/м}{ПДКср.сут.i \cdot ПДКр.з.i.}} , \qquad (7.11)$$

– для коксового пилу (пил неорганічний):

$a_{пк} = \sqrt{\frac{60}{0,1 \cdot 6}} = 10$ $\alpha_{пн} = 2;$ $\delta_{пн} = 1,2$; $\lambda_{пн} = 1;$ $\beta_{пн} = 1$

$A_{пн} = 10 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 24$

Отримані значення підставляємо в формулу для розрахунку приведених мас річних викидів:

$M_1 = 24 \cdot 3366000 = 80784 \cdot 10^3$ кг або 80784 т;

$M_2 = 24 \cdot 336600 = 80784 \cdot 10^2$ кг або 8078,4 т;

$\Delta M = 80784 – 8078,4 = 72705,6$ т.

Еколого-економічний збиток становить

- по базовому варіанту: $Y_{а_{баз.}} = 2,4 \cdot 1 \cdot 0,28 \cdot 80784 = 54286,85$ грн./рік.;

- по проектованому варіанту: $Y_{а_{проект}} = 2,4 \cdot 1 \cdot 0,28 \cdot 8078,4 = 5428,7$ грн./рік.

Відвернений еколого-економічний збиток:

$\Delta Y_а = Y_{а_{баз.}} - Y_{а_{проект}} = 54286,85 - 5428,7 = 48858,15$ грн./рік, або

ЗУБЦОВ

$\Delta Y_a = 2{,}4 \cdot 1 \cdot 0{,}28 \cdot 72705{,}6 = 48858{,}2$ грн./рік.

7.2 Визначення еколого-економічних результатів, отриманих при розробці проектованих заходів

Зниження розміру сплати зборів за забруднення за рахунок зменшення забруднення навколишнього середовища для атмосферного повітря визначається за формулою:

$$\Delta Д_з = \sum_{i=1}^{n} (\Delta M_i \cdot H_{бi}) = \sum_{i=1}^{n} (M_{1_i} \cdot H_{бi}) - \sum_{i=1}^{n} (M_{2_i} \cdot H_{бi}), \quad (7.12)$$

де ΔM_i - зміна обсягу викиду i-тої забруднюючої речовини в тонах до і після впровадження заходів;

$H_{бi}$ - норматив збору за тонну i-тої забруднюючої речовини, у гривнях (грн./т);

Згідно з Податковим кодексом України ставки податку за викиди в атмосферне повітря окремих забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення з 01.01.2018 р. мають такий розмір (п. 243.1 ст. 243 Податкового кодексу): для твердих речовин – 92,37 грн./т. Отже розмір сплати зборів за забруднення до і після впровадження природоохороного заходу складе:

$Д_{з_1} = 3366 \cdot 92{,}37 = 310917{,}42$ грн./рік,

$Д_{з_2} = 336{,}6 \cdot 92{,}37 = 31091{,}7$ грн./рік,

$\Delta Д_з = 310917{,}42 - 31091{,}7 = 279825{,}72$ грн./рік.

Еколого-економічний результат визначається за формулою:

$$Р = \Delta Y_а + \Delta Д, \quad (7.13)$$

Р = 48858,15 + 279825,72 = 328683,87 грн.

Розрахунок показників еколого-економічної оцінки проекту зведено в табл. 7.2.

ЗУБЦОВ

Таблиця 7.2 – Показники еколого-економічної оцінки проектованих заходів

Показники	Одиниці вимірювання	Діюче виробництво	Проектоване виробництво	Зміна показників, %
Еколого-економічний збиток	грн.	54286,85	5428,7	-48858,15
Плата за забруднення навколишнього середовища	грн.	310917,42	31091,7	-90
Усунений еколого-економічний збиток	грн.	-	48858,15	-
Загальний еколого-економічний результат проекту	тис. грн.		328,68	

В результаті отриманих даних можна зробити висновок, що запропоновані техніко-екологічні рішення з економічної точки зору є доцільними, при впровадженні яких плата за забруднення навколишнього середовища знижується на 279,8 тис. грн./рік, еколого-економічний результат складе 328,68 тис. грн. Необхідно відмітити, що це попередні розрахунки без врахування вартості заміни котлоагрегату.

ЗУБЦОВ

Висновки

В даній магістерській роботі розглянуті сучасні процеси спалення вугілля на енергоблоках теплоелектростанцій (ТЕС). Виконано аналіз викидів при роботі енергоблоків на різних видах викопної сировини: вугілля, мазут, природний газ. Найбільш екологічно чистим видом енергетичного викопного палива на сьогодні є природний газ. При спалюванні вугілля наявні значні викиди сірчистого газу і золи. При спалюванні рідкого палива (мазуту) з викидами в атмосферу потрапляють: оксиди сірки і нітрогену, газоподібні і тверді продукти неповного згоряння палива. Однак природний газ є цінною сировиною для хімічних галузей, тому його широке застосування на ТЕС недоцільно. До того ж в Україні наявні незначні запаси природного газу та нафти і навпаки значні запаси вугілля, що зумовлює широке використання твердих горючих копалин в різних галузей промисловості. Тому на сьогодні в Україні більшість ТЕС в якості сировини використовують вугілля. До того ж ТЕС використовуються для регулювання виробництва електроенергії в єдину енергетичну систему України у пікові години. Тому на ТЕС може постійно змінюватися режими горіння, що може призвести до ведення процесу не в оптимальних параметрах, тому ще гірших екологічних показниках. Тому доцільна розробка альтернативних технологій переробки твердих горючих копалин в теплову, електричну енергії та/або технологічні гази.

В роботі проведені дослідження процесів окиснення киснем повітря та конверсії водою твердих горючих копалин в рідкому високотемпературному теплоносії. Організація процесів в розплаві дозволить забезпечити максимальну глибину переробки вугілля. Передбачається, що викид пилу та зважених часток в даній технології буде практично відсутній, продуктами процесів окиснення будуть енергетичні та/або технологічні гази, шлак із мінімальним вмістом

ЗУБЦОВ

вуглецю, що дозволить переробляти основні шлаки в гранульованому вигляді – для виробництва цегли, бетону (як заповнювач), а також цементу, кислі шлаки – для виготовлення дорожньої бруківки та інших литих виробів.

В результаті експериментальних досліджень сформовані наступні висновки:

- досліджено кінетику окислення в розплаві хлориду натрію коксового залишку антрациту та коксу і встановлена близькість значень швидкості реакцій, що узгоджується з теоретичними положеннями газофазного спалювання вугілля;

- збільшення витрати повітря, температури, вмісту вуглецю призводить до зростання швидкості реакції і ступеня окислення сировини;

- найбільш високі значення швидкості процесу конверсії вугілля водою в розплаві спостерігаються при концентрації вуглецю вище 0,023 $г_C/г_P$, значення енергії активації становить 100 кДж/моль. При зниженні концентрації вуглецю менш 0,023 $г_C/г_P$ порушується стабільність процесу, що лімітує стадією стає процес дифузії, значення енергії активації становить 78 кДж/моль

- для забезпечення високої швидкості окислення вугілля необхідно виділити третю зону – доокислення. Встановлено, що в зоні окислення необхідно підтримувати значення концентрації вугілля вище 0,016 $г_C/г_P$.

- реактор пропонованої технології включає мінімум дві зони (конверсії і окислення) розділені по газовій фазі і об'єднані циркулюючим теплоносієм, але доцільна і зона доокислення, що дозволяє знизити вміст вуглецю в виведеному з реактора шлаку до менш 1% мас.

Виконаний аналітичний огляд науково-технічної літератури методів переробки твердої викопної сировини, розглянуто впливу відходів на природне середовище. В практичній частині запропонована технологічна схема стадії окиснення, виконані матеріальний баланс, описана конструкція реакторного вузла. Розглянуті питання з охорони праці на виробництві, визначені шкідливі фактори, запропоновані шляхи їх зменшення.

ЗУБЦОВ

Анотація

В даній дипломній роботі розглянуті сучасні процеси спалення вугілля на енергоблоках теплоелектростанцій. Проведені експериментальні дослідження процесів окиснення, конверсії твердих горючих копалин в рідкому високотемпературному теплоносії. Організація процесів в розплаві дозволить забезпечити максимальну глибину переробки вугілля з мінімальним викидом твердих часток, які будуть залишатися в розплаві теплоносія. Запропоновано реакторний вузол, що суміщає процеси конверсії вугілля в синтез-газ та окиснення вуглецевого залишку киснем повітря.

Аннотация

В данной дипломной работе рассмотрены современные процессы сжигания угля на энергоблоках теплоэлектростанций. Проведены экспериментальные исследования процессов окисления, конверсии твердых горючих ископаемых в жидком высокотемпературном теплоносителе. Организация процессов в расплаве позволит обеспечить максимальную глубину переработки угля с минимальным выбросом твердых частиц, которые будут оставаться в расплаве теплоносителя. Предложен реакторный узел, совмещающий процессы конверсии угля в синтез-газ и окисления углеродного остатка кислородом воздуха.

Annotation

In this thesis, modern processes of coal combustion at power units of thermal power plants are considered. Experimental studies of oxidation processes, conversion of solid fossil fuels in a liquid high-temperature coolant have been carried out. The organization of processes in the melt will ensure the maximum depth of coal processing with a minimum emission of solid particles that will remain in the coolant melt. A reactor unit is proposed that combines the processes of converting coal into synthesis gas and oxidizing the carbon residue with atmospheric oxygen.

ЗУБЦОВ

Література

1. П.С. Бєлов, І.А. Голубєв, С.А. Низова Екологія виробництва хімічних продуктів із вуглеводородів нафти і газу. М.:Хімія, 1991.

2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року та подальшу перспективу (проект). Мінпаливенерго та НАН України, 2003.

3. Підсумки роботи електроенергетики у 2003 році: Звіт Мінпаливенерго України за 2003 рік від 20.02.2004 р.

4. Квасова А.В., Зубцов Є.І., Тарасов В.Ю. Порівняльний аналіз технологій очистки скидних газів теплових електростанцій «Вісник СНУ ім. В. Даля», 2019. №7. с.32-34

5. Захист атмосфери від промислових забруднень; Дов. Вид.: В 2-х ч. Ч. 1: Пер. с англ./Під ред. С. Карверта, Г.М. Інглунда М.: Металургія, 1988-712 с.

6. Захист атмосфери від промислових забруднень: Дов. Вид.: В 2-х ч. Ч. 2: Пер. с англ./Під ред. С.Карверта, Г.М. Інглунда. М.: Металургія, 1988 – 712 с.

7. А.І. Родіонов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников Техніка захисту навколишнього середовища. -М.: Хімія, 1989-512с.

8. Жабо В.В. Охорона навколишнього середовища на ТЕС. Підручник для технікумів. - М.: Енергоатомвид, 1992-240с.

9. Хотунцев Ю.Л. Екологія и екологічна безпека: Навч. посібник для студ. вищ. пед. навч. закладів. – 2-е вид., перероб. – М.: Видавничий центр «Академія», 2004. – 480 с.

10. Ганз С.Н., Кузнєцов І.Е. Очистка промислових газів. Київ, 1967

11. Очистка промислових викидів і утилізація відходів. Збірник наукових праць. Л.,1985

ЗУБЦОВ

12. Тимонин А.С. Інженерно-екологічний довідник. том 1, - Калуга: Видавництво Н.Бочкарьової, 2003. – 917с.

13. Саранчук В. І. Хімія і фізика горючих копалин / В. І. Саранчук, В. В. Ошовський, Г. О. Власов. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. – 204с. – ISBN 966-7804-45-3.

14. Короткий довідник фізико-хімічних величин. Вид. 8-е, перероб./Під ред. А.А. Равделя и А.М. Пономарьової – Л.: Хімія, 1983. – 232 с.

15. Довідник хіміка, том 5. Друге видавництво; перероб. і доповнене./Під ред. З.И. Грива, В.А. Коц – М.: Хімія, 1968. – 976с.

16. А.Г. Касаткін. Основні процеси і аппарати хімічної технології. Видавництво 8-е. - М.: Хімія, 1971, 784 с., с. 606.

17. Екологія: Навчальний посібник/ Під ред. проф. В.В. Денисова. – 2-е вид., виправлене і доповнене. – Москва: ІКЦ «МарТ», Ростов-на-Дону, 2004. – 672 с.

18. Пат. 39402 Україна, МПК C10J 3/46. Спосіб одержання синтез-газу / М. А. Глікін, І. М. Глікіна, Є. І. Зубцов, В. Ю. Тарасов; заявитель и патентообладатель М. А. Глікін, І. М. Глікіна, Є. І. Зубцов, В. Ю. Тарасов. – № 200811469; заявл. 23.09.08.; опубл. 25.02.09, Бюл. №4. с. 8.

19. Лазарев Н.В., Гадаскина М.Д. Шкідливі речовини в промисловості. Том III. – Л.: Хімія, 1977. – 608 с.

20. Г.П. Беспамятнов, Ю.А.Кротов. ГДК хімічних речовин в навколишньому середовищі. Довідник, Л., Хімія, 1985. – 528 с., іл.

21. Степановских А.С. Біологічна екологія. Теорія і практика: підручник для студентів вузів, які навчаються за екологічним спеціальностями. М .: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. 791 с.

22. Березина Н.А., Афанасьєва Н.Б. Екологія рослин: навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів. М .: Изд. центр «Академія», 2009. 400 с.

23. Калигін В.Г. Промислова екологія: навч. посібник для вузів. М .: Изд. центр «Академія», 2006. 431 с.

ЗУБЦОВ

24. Зубцов Є.І., Гальченко А.М. Термодинамічний аналіз взаємодії мінеральних компонентів вугілля із газифікуючим агентом – водяною парою // Майбутній науковець – 2020 : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю 4 груд. 2020 р., м. Сєвєродонецьк. / укладач В. Ю. Тарасов – Сєвєродонецьк : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2020. – с. 164-166.

25. Моніторинг довкілля. Методичні вказівки до виконання практичних робіт. Рекомендовано студентам напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / Укладач Мохонько В.І. – Сєвєродонецьк: Технологічній інститут СНУ ім. Володимира Даля, 2013. – 52 с. (електронний варіант).

26. Методичні вказівки до виконання еколого-економічних розрахунків в дипломних проектах (для студентів, що навчаються за спеціальністю 7.070801 "Промислова екологія та охорона навколишнього середовища") /Склала О.В. Маслош. – Сєвєродонецьк, 2006. – 52 с.

27. Методичні вказівки до виконання розділу дипломних проектів (робіт) «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» для студентів V курсу денної та заочної форми навчання спеціальностей: 7.04010601, 7(8).05130101, 7(8).05130102, 7(8).05130105, 7(8).05130107 7(8).05020201 / Укладачі: Т.Е. Римар, Г.В. Попенко, О.П. Шарун – Сєвєродонецьк: ТІ СНУ ім. В. Даля, 2012 р., 108 с.

28. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної магістерської роботи. Рекомендовано студентам спеціальності 101 «Екологія та охорона навколишнього середовища» денної та заочної форм навчання. / Укладачі Суворін О.В., Мохонько В.І., Ожередова М.А. – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2016. – 40 с.

29. Екологічний податок. // Вісник. Офіційно про податки / В. Горохов. – 13.11.2018. – 13 с.

ЗУБЦОВ